

Inhaltsverzeichnis

	Seiten
Grundlagen	
A Dr. Ulrich Heinemann, ZAE Bayern, Würzburg „Wesen, Potentiale und Besonderheiten von Vakuumisulationspaneelen“	10
B Hans-Frieder Eberhardt, POREXTHERM-Dämmstoff GmbH, Kempten „Vom Pulver zum Paneel – Wie entsteht ein VIP?“	9
C Dr. Roland Caps, Va-Q-Tec GmbH, Würzburg „Kann der langfristige Anstieg der Wärmeleitfähigkeit in VIPs wesentlich verringert werden?“	8
D Dr. Dirk Kaczmarek, WIPAK Walsrode GmbH & Co. KG, Walsrode „Barrierefolien für Vakuum-Isulationspaneele im Bauwesen“	7
E Prof. Dr. Klaus Sedlbauer, Lenz, K., Leistner, PhL., König, N. , Fraunhofer-Institut für Bauphysik, Stuttgart und Holzkirchen „Vakuumisulationspaneele aus hygrothermischer und akustischer Sicht“	13
F Ekkehard Nowara, lambdasave GmbH, Emden „tempsave® elements – VakuumWärmedämmelemente mit Stahldeckschichten“	15
VIPs in der Sanierung	
G Dieter Bindel, energie-tib GmbH, Bindel Isolierungen GmbH, Korb und Waiblingen „Erfahrungen aus der handwerklichen Verarbeitung von VIP in der Sanierung“	5
H Heiko Winkler, Universität Rostock „Gebäudesanierung mit VIP am Beispiel der Kita „Plappersnut““	9
I Anton Ferle, GruppeBlitzblauAustria, Loibichel / Österreich „Praxistaugliche Hochleistungswärmedämmsysteme in der Sanierung“	4
J Marc Großklos, Institut Wohnen und Umwelt GmbH, Darmstadt „Energetische Sanierung von Fassaden mit großformatigen, vorgefertigten Dämmelementen“	7

	Seiten
Produkte und Systeme mit VIPs Teil I	
K Markus Luib, Bauelemente GmbH F.J. Linzmeier, Riedlingen „Verbundelemente für vorgehängte Fassaden“	9
L Andree Ebert, Boetker GmbH & Co. KG, Stuhr „Heizen und Dämmen – moderne Technik zieht sich an“	4
M Manfred Rupprecht, Polywert GmbH, Bobingen „Fußbodendämmung im Bestand mit Polywert-THERMOSILENT“	19
N Markus Zwerger, STO AG, Stühlingen „Integration von VIPs in Wärmedämmverbundsysteme“	7
Systemische Betrachtungen und Planen im Detail	
O Dr. Hans Simmler, EMPA, Dübendorf / Schweiz „High Performance Thermal Insulations: Aktivitäten und Ergebnisse des IEA Annex 39“	13
P Jan Cremers, TU München, LS Prof. Herzog „Systematisierung architektonischer Anwendungsmöglichkeiten von Vakuum-Dämmsystemen im Bereich der Gebäudehülle“	11
Q Florian Lichtblau, Nicole Jendges, Lichtblau Architekten BDA, München „VIP in der Architektur: 2 ganzheitliche Prototypen Bestand / Neubau aus der Sicht der Planer“	10
R Martin Pool, pool architekten, München „VIP-Architektur – Gestaltungsmöglichkeiten und Wirtschaftlichkeit“	9
S Carsten Grobe, ecoba GmbH, Hildesheim „Einsatz von VIPs zur kostengünstigen Problemlösung“	9
T Dr. Roland Gellert, FIW München e.V. „Einflussfaktoren auf die bauphysikalischen Eigenschaften von VIPs: vom Labormesswert zum anwendungsbezogenen Bemessungswert“	8

VIP-Bau: 2. Fachtagung „Erfahrungen aus der Praxis“ am 16./17.06.2005 in Wismar

- U Prof. Dr. Andreas Beck, Oswald Frank, HfT Stuttgart, FB Bauphysik 10
“Auswirkungen von Wärmebrücken beim Einsatz hocheffizienter Vakuumpaneele am Bau“

Seiten

Produkte und Systeme mit VIPs Teil II

- V Matthias Hangleiter, A. Hangleiter GmbH & Co. KG, Ravensburg 7
“Systematisiertes Bauen mit vakuumgedämmten Betonfertigteilen“
- W Christof Stölzel, VARIOTEC-Sandwichelemente GmbH & Co. KG, Neumarkt 7
“ Entwicklung von vakuumgedämmten Verbundfertigteilen im Passivhausstandard und deren Anwendung in einem Prototypen“
- X Michael Schwarz, C. Hasse und Sohn, Uelzen 9
„Vakuumisolationen im Flachdach – hohe Wärmedämmung und geringe Aufbauhöhe – kein Widerspruch. Problemlösung am Beispiel von Terrassenaufbauten“

Poster

- Y Dietrich Büttner, Cornelia Stark, Daniel Kraus, Marco H. Keller, ZAE Bayern, Würzburg 9
„Messverfahren zur Qualitätskontrolle bei Vakuumisulationspaneelen“

Anhang

Teilnehmerliste

Wesen, Potentiale und Besonderheiten von Vakuumisulationspaneelen

Dr. Ulrich Heinemann

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

Abteilung: Wärmedämmung und Wärmetransport

Am Hubland

97074 Würzburg

Tel.: 0931 / 70564-35 Fax: 0931 / 70564-60

ulrich.heinemann@zae.uni-wuerzburg.de

www.zae-bayern.de

www.vip-bau.de

1 Einleitung

Während herkömmliche Dämmmaterialien, wie Glas-, Mineralwolle oder Polystyrenschäume 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 0.026 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.

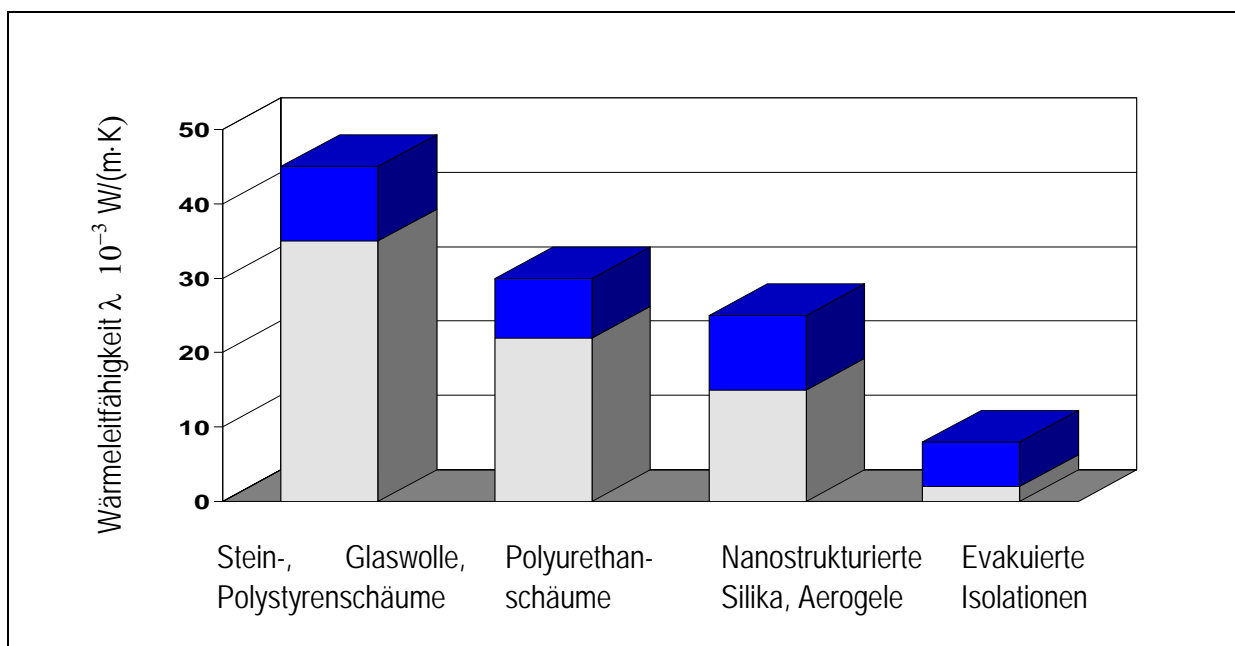


Bild 1: Dämmmaterialien (-systeme) im Vergleich.

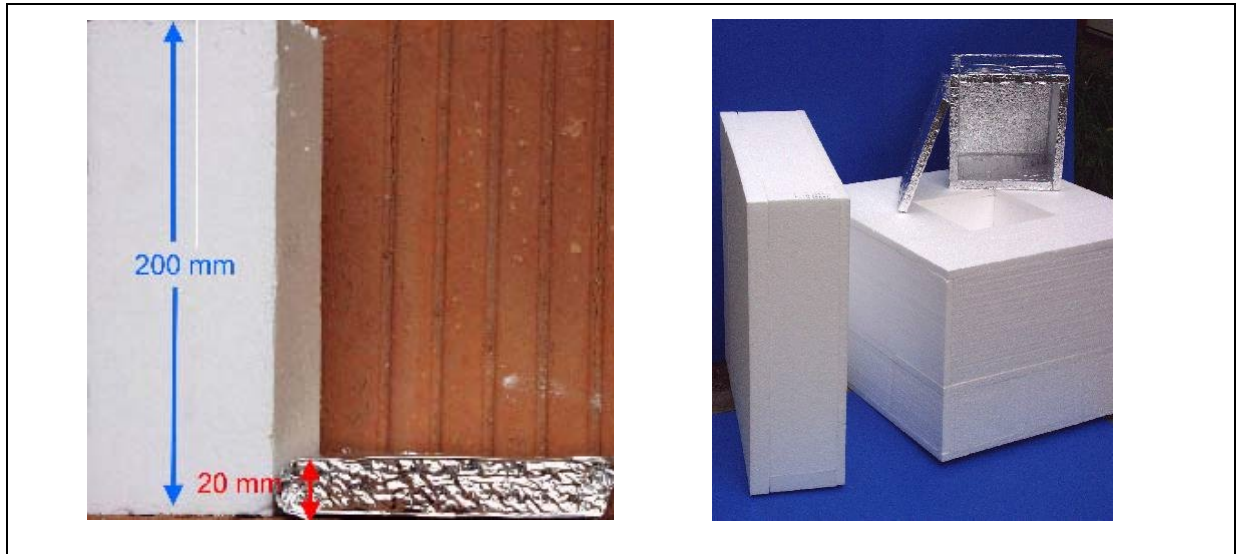


Bild 2: Thermisch äquivalente Dämmsysteme.

Anwendungsbereiche für evakuierte Isolationen sind zum einen Latentwärmespeicher für Fahrzeuge, Hochtemperatur-Batterien für Fahrzeuge, Kühlfahrzeuge, Kühlzellen oder Kühlhäuser, oder auch Heißwasserbehälter. Bei diesen sind metallische Hüllen erforderlich oder von Vorteil. Für weitere Anwendungen, Kühl- und Gefrierschränke, Transportboxen und aber auch für Anwendungen im Bauwesen, kommen spezielle Hochbarrierefolien und -filme in Frage, die Gegenstand der weiteren Ausführungen sein werden.

2 Aufbau und Wesen von Vakuumisolationspaneelen (VIP)

Während bei herkömmlichen evakuierten Dämmsystemen zylindrische Gehäuse in der Lage sind, den äußeren atmosphärischen Druck von 1 bar zu tragen, müssen bei flachen VIPs druckstabile Füllmaterialien die entsprechenden Druckkräfte aufnehmen. Hierfür kommen verschiedene Faser-, Pulver- oder Schaumprodukte in Frage, die, um sie evakuieren zu können, offenporig sein müssen. Zudem sollten sie möglichst wenig ausgasen. Ein VIP besteht prinzipiell aus dem Füllmaterial und einer Hülle. Damit ist es weniger ein Dämmmaterial, das nach Bedarf bearbeitet und zurechtgeschnitten werden kann, sondern mehr ein vorgefertigtes hocheffizientes Dämmelement, in verschiedener Hinsicht vergleichbar mit einem Fenster.

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:

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

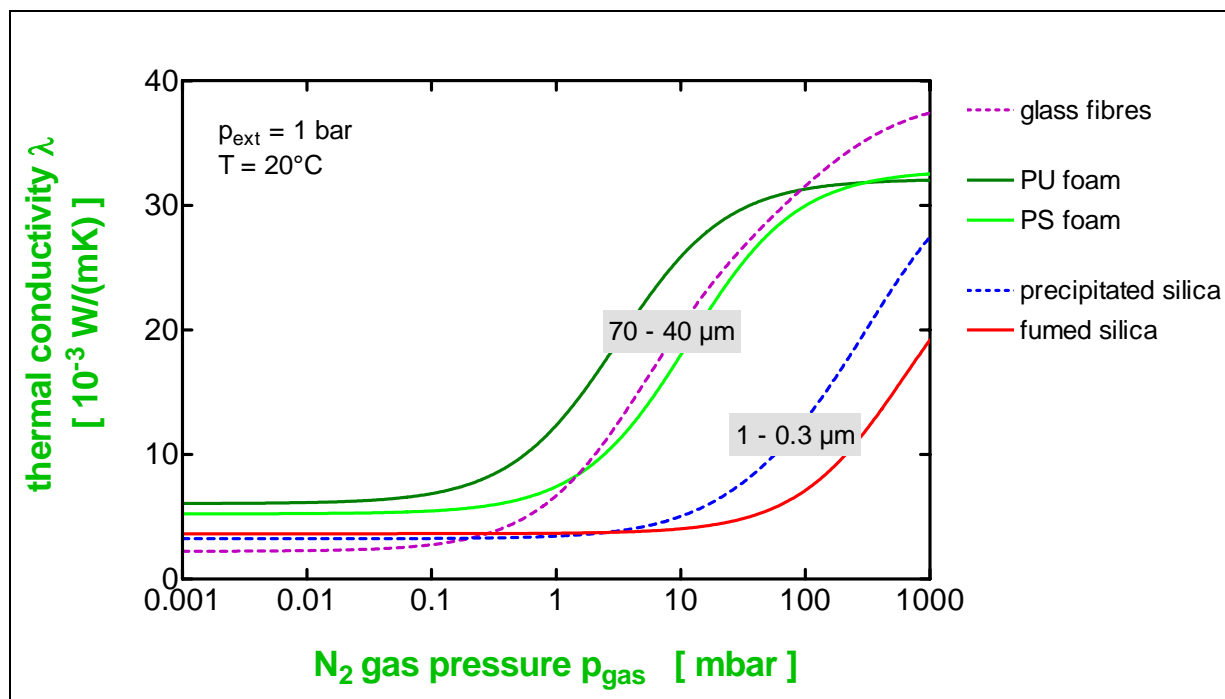


Bild 3: Wärmeleitfähigkeit verschiedener Füllmaterialien in Abhängigkeit vom Gasdruck (N_2).

In Bild 3 sind die Abhängigkeiten verschiedener mehr oder weniger für den Einsatz in evakuierten Dämmungen optimierter 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. In welchem Druckbereich dieser Übergang erfolgt, wird wesentlich von der Größe der (größten) Poren bestimmt. Je feiner das Material, je kleiner die Poren, um so geringer sind die Anforderungen an die Qualität des Vakuums, das erreicht und aufrechterhalten werden muss. So ist bei den pyrogenen Kieselsäuren (fumed silica) 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 bei den konventionellen Dämmstoffen, ein Umstand, der das technische Risiko im Falle des kompletten Versagens der Vakuumhülle mindert.

4 Hüllmaterialien für Vakuumisulationspaneele

Ausgehend von 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 und werden daher im Weiteren eingehender betrachtet. Besonders attraktiv ist die Kombination mit den nanostrukturierten Füllmaterialien, die auch VIP-Produkte mit Funktionsdauern von Jahren oder gar Jahrzehnten erwarten lässt. Bei gleicher Permeationsrate eines Laminats wäre die zu erwartende Funktionsdauer bei VIPs mit Schäumen oder Fasern etwa um einen Faktor 100 kürzer. Es ist zu erwarten, dass weitgehend Pinhole-freie Aluminiumverbundfolien mit Al-Schichtdicken von 8 oder 7 μm den mehrlagigen Kunst-

stoffhochbarrierefilmen mit mehreren nur wenige zig Nanometer „dünnen“ aufgedampften Al-Sperrschichten in Bezug auf die Dichtigkeit überlegen sind. Jedoch ist Aluminium ein hervorragender Wärmeleiter. In Bild 4 ist der zum Teil gravierende Einfluss der Wärmeleitung der Hüllen, aber auch der Spalten zwischen den Paneelen, auf einen über mehrere Paneele gemittelten Wärmedurchgangskoeffizienten U abzulesen. Selbst bei Paneelen mit 1 m Kantenlänge ist dieser Effekt beachtlich. Lamineate mit insgesamt nur etwa 80 nm Aluminiumschichtdicke sind aus wärmetechnischen Gründen daher vorzuziehen.

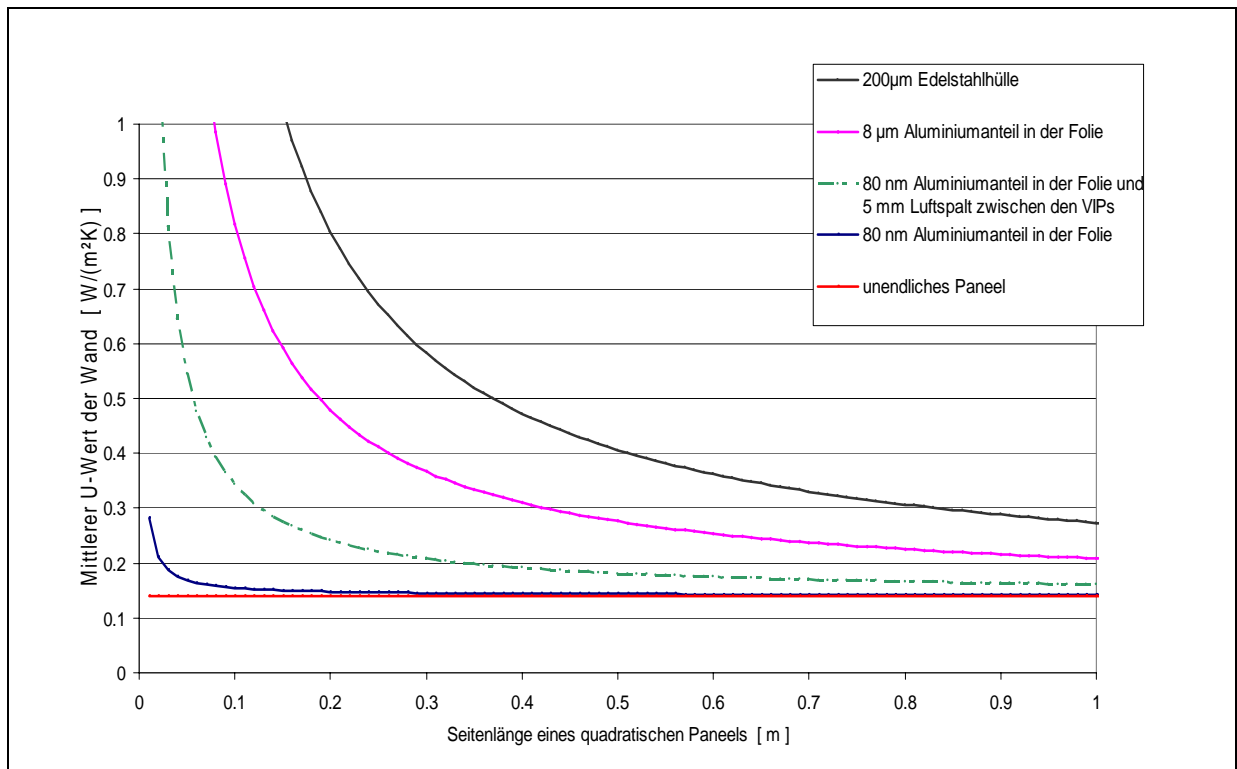


Bild 4: Einfluss von verschiedenen Hüllen und einem Spalt auf den gemittelten Wärmedurchgang für einen Wandaufbau aus 3 cm VIP und 3 cm Polystyrolämmung.

5 Permeation durch Hüllen aus Kunststoffhochbarrierefilmen

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 zu erwarten. Zudem bestimmen relative Feuchte und treibende Partialdruckdifferenzen den Gastransport (Bild 5).

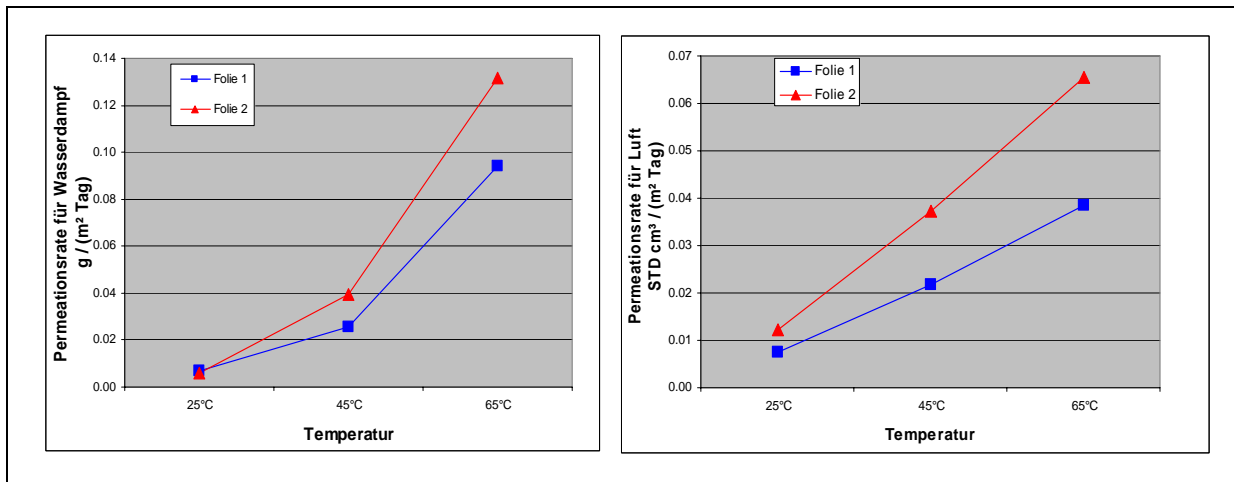


Bild 5: Temperaturabhängigkeit der Permeationsraten in Hochbarrierefilmen (Beispiele).

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 Umgebungsfeuchte sich ergebende Einfluss von zusätzlich 1 bis $2 \cdot 10^{-3} \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ toleriert werden kann (siehe Bild 6). Das tolerable Maß für die effektive Wärmeleitfähigkeit zusammen mit der gewünschten Funktionsdauer bestimmen die zulässige Permeationsrate für Wasserdampf.

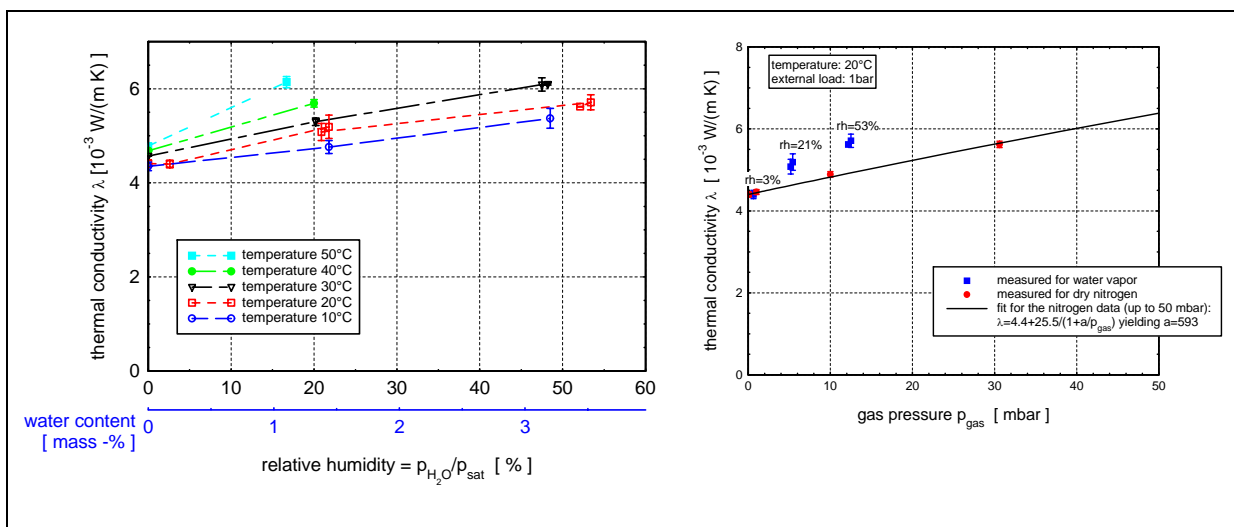


Bild 6: Einfluss von Feuchte und von Luft auf die Wärmeleitfähigkeit in pyrogene-Kieselsäureboards.

Legt man die extremen Anforderungen bzgl. der Funktionsdauer von bis zu 50 Jahren bei Anwendungen im Bauwesen zugrunde und akzeptiert den in Bild 6 rechts dargestellten Anstieg der Wärmeleitfähigkeit, so darf der Druckanstieg in einem Panel 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 berücksichtigt werden.

7 Messungen zur Permeation mit Hilfe von Testpaneelen in Klimaboxen

Für verschiedene Laminare (eine Alu-Folie + zwei metallisierte Filme) wurden Sets von kleinen Testpaneelen in zwei Größen – quadratisch, Kantenlänge 10 cm und Kantenlänge 20 cm, Dicke jeweils 1 cm – hergestellt und über mindestens 6 Monate bei sechs verschiedenen Klimata gelagert: 25°C, 45°C, 65°C, einmal mit unregelmäßiger Feuchtigkeit (im Labor ca. 14 mbar Partialdruck) und einmal mit jeweils 75% rel. Feuchtigkeit (H_2O -Partialdruck: 24 mbar, 73 mbar bzw. 187 mbar)).

In regelmäßigen Abständen wurde die Masse(-zunahme), wie auch der Paneelinnendruck gemessen. Geht man näherungsweise davon aus, dass der eindringende Wasserdampf komplett von dem Kern aus pyrogener Kieselsäure adsorbiert wird und der Anstieg im Gasdruck allein den eindringenden trockenen Gasen zuzuordnen ist, so lassen sich aus den linearen Anstiegen mit der Zeit die Permeationsraten für Wasserdampf und Luft quantifizieren. Im Vergleich der Ergebnisse für kleine und größere Paneele mit unterschiedlichen Oberfläche-zu-Rand-Verhältnissen lässt sich zudem unterscheiden, ob die Permeation überwiegend über die Fläche erfolgt oder über Kanten und Siegelnähte.

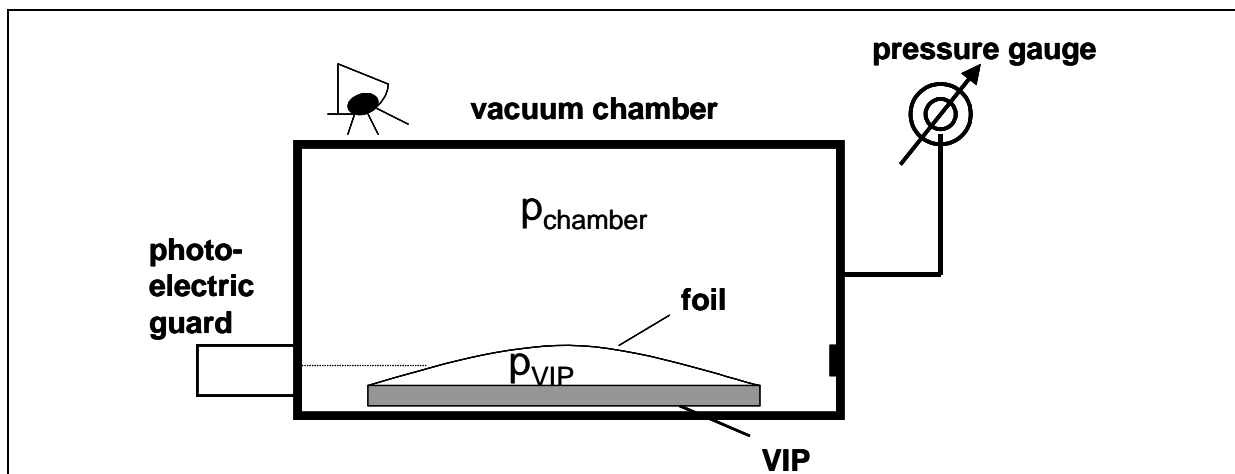


Bild 7: Skizze einer Apparatur zur Bestimmung des Paneelinnendrucks nach dem Folienabhebeverfahren.

Der Paneelinnendruck wird nach dem Folienabhebeverfahren bestimmt. Dabei wird der Druck in einer Vakuumkammer, in der das Testobjekt liegt, kontinuierlich soweit abgesenkt, bis dass dieser geringer ist als der Paneelinnendruck. Die Kräfte aufgrund einer Differenz zwischen dem Paneelinnendruck (Überdruck) und dem Druck in der Vakuumkammer von nur wenigen zehntel Millibar reichen aus, um die Folie anzuheben. Dieses Anheben kann visuell oder mit einem photoelektrischen Detektor erfasst und einem Paneelinnendruck zugeordnet werden.

8 Wesentliche Ergebnisse

Die Permeation für Luft ist stark temperaturabhängig (Arrheniusfunktion mit Aktivierungsenergien von etwa 30 bis 40 kJ/mol), erfolgt bei diesen relativ kleinen Testpaneelen überwiegend über die Siegelnähte und Kanten und ist deutlich größer als aus den flächen- und längenbezogenen Materialdaten theoretisch zu erwarten. Die Permeationsraten sind sehr unterschiedlich für die verschiedenen Laminare.

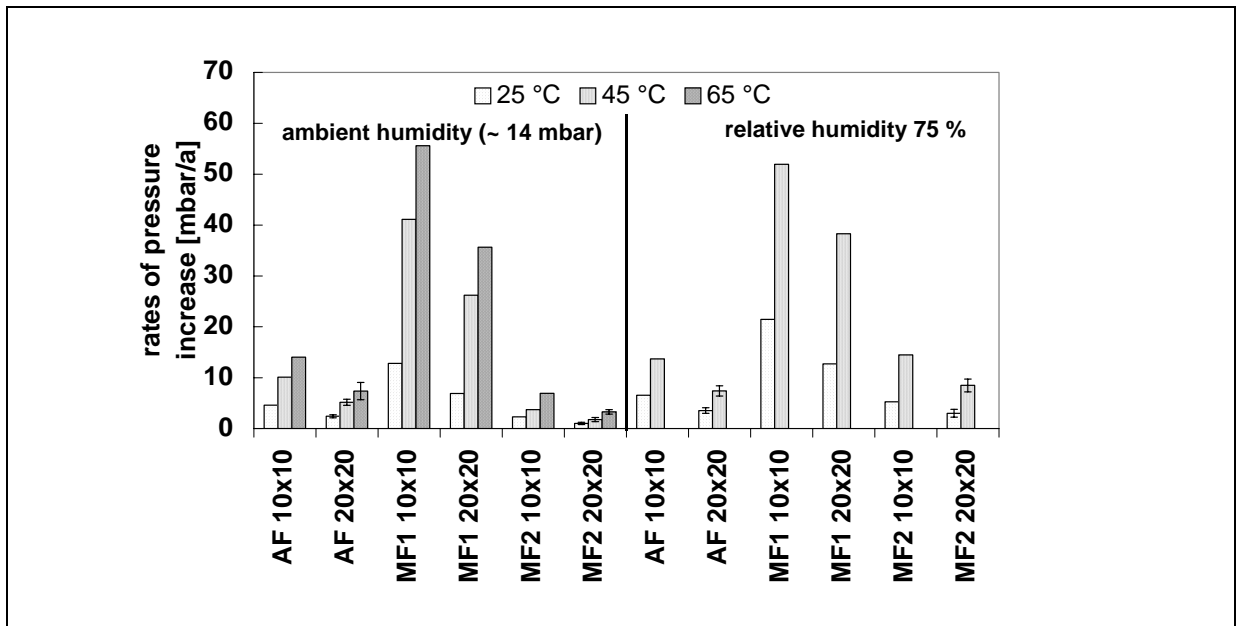


Bild 8: Gemessene Druckanstiegsraten für Paneele mit zwei unterschiedlichen Größen, gelagert in sechs verschiedenen Klimate.

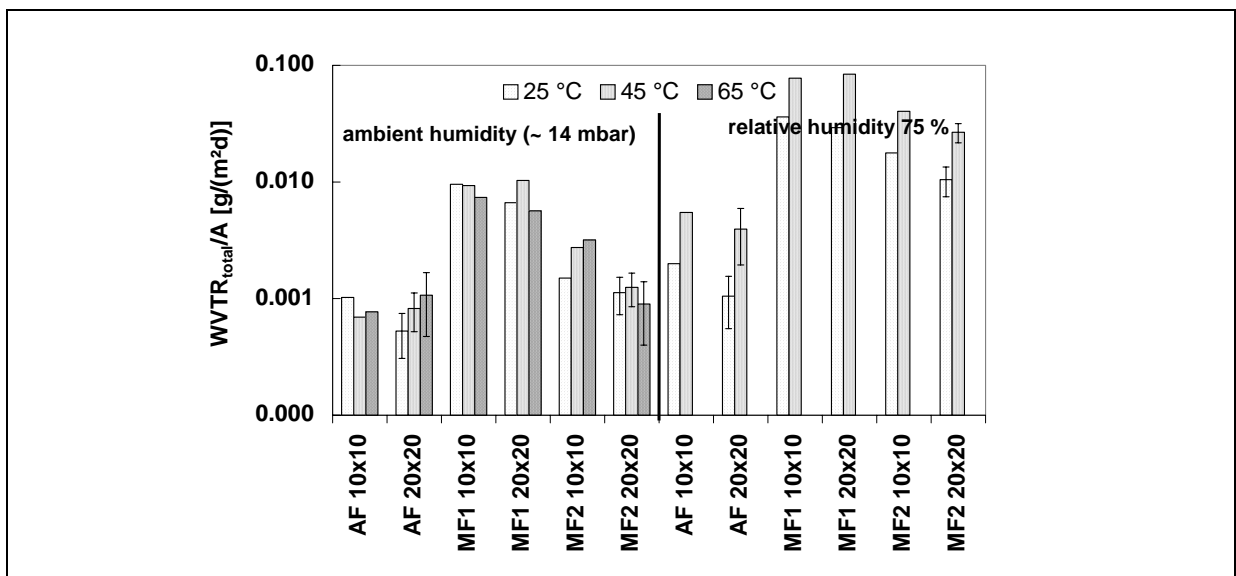


Bild 9: Gemessene Masseanstiegsraten für Paneele mit zwei unterschiedlichen Größen, gelagert in sechs verschiedenen Klimate (! logarithmische Darstellung !).

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.

9 Ursachenuche für unerwartet hohe Permeationsraten

Untersuchungen zeigen, dass die Lamine mit einer großen Anzahl von Fehlstellen wie Gasblasen im PU-Kleber, Demetallisierungen, Delaminierungen und Verunreinigungen durchsetzt sind.

Der Einfluss dieser Fehlstellen ist in den Herstellerangaben bereits berücksichtigt. 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. Die unerwartet hohen Permeationsraten proportional zur Länge der Kanten sind daher vermutlich wesentlich auf Verletzungen im Aufbau der Lamine in den Bereichen hoher mechanischer Beanspruchung zurückzuführen.

Weitere Ursachen mögen sein: nicht optimal eingehaltene Parameter während des Siegelprozesses, Verunreinigungen der Siegelnähte mit Pulvern oder Fasern, oder aber auch Falten in der Hülle im Bereich der Siegelnähte.

10 Ergebnisse aus weiteren Untersuchungen

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 Hochbarrierefilmen verschiedener Hersteller für die trockenen Bestandteile der Luft (O_2 , N_2) Druckanstiegsraten kleiner als 1 mbar/a erreicht!

Damit ergibt sich die Möglichkeit VIPs mit derartigen Kunststoffhochbarrierefilmen in Kombination mit einem Füllkern aus nanostrukturiertem Material auch im Bauwesen mit extremen Anforderungen bezüglich der Dauerhaftigkeit (50 Jahre) einzusetzen. Zumindest rechnerisch werden die Anforderungen erfüllt.

Tests an VIPs in der baupraktischen Anwendung unter real variierenden klimatischen Bedingungen ergaben gegenüber numerischen Kalkulationen, bei denen die aufgezeichneten Temperatur- und Feuchteverläufe berücksichtigt wurden, geringere Druckanstiege und Massezunahmen.

Für eine einfache Abschätzung von Druckanstieg und Massezunahme über einen Zeitraum von mehreren Jahren lässt sich daher mit den Jahresmittelwerten für Temperatur und Feuchte arbeiten.

11 Zusammenfassung

- In Vakuum-Isolations-Paneelen können extrem niedrige Wärmeleitfähigkeiten erreicht werden: 0,002 bis 0,008 (W/mK).
- Hüllen aus Edelstahl sind ausreichend dicht für alle Füllmaterialien und bieten einen guten Schutz gegen mechanische Verletzung.
- Nanostrukturierte Materialien ermöglichen den Einsatz von Kunststoffbarrierefilmen für VIPs mit einer Funktionsdauer von mehr als 50 Jahren.
- Für eine zuverlässigere Qualität der VIPs und ein geringeres Verletzungsrisiko ist eine bessere mechanische Stabilität der Lamine wünschenswert.
- Noch dichtere Lamine würden den Einsatz weiterer Füllmaterialien mit größeren Poren ermöglichen.
- Für die Verwendung von Hochbarrierefilmen in Kombination mit Schäumen oder Fasern kommt der Dichtigkeit bezüglich Wasserdampf eine verstärkte, wenn nicht sogar entscheidende Bedeutung zu. Je nach Auslegungsgebrauchsdauer sind zusätzlich Getter und/oder Trockenmittel einzusetzen.
- In der praktischen Anwendung ist die besondere Gefahr, die Hülle der Vakuumisulationspaneele 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 Vakuum-Isolations-Paneelen 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.

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 et al.: *Entwicklung und Anwendung von evakuierten höchsteffizienten Dämmungen für Gebäude (Vakuumdämmung für Gebäude)*. Schlußbericht, Homepage ZAE Bayern: www.zae-bayern.de/a2/deutsch/projekte_vip/d_vakuum_start.html, 2004.
- H. Schwab, U. Heinemann, H.-P. Ebert, J. Fricke: *Permeation of different gases through foils used as envelopes for vacuum insulation panels*. Accepted for publication in: *Thermal envelope and building science*, 2005.
- H. Schwab, U. Heinemann, H.-P. Ebert, J. Fricke: *Dependence of thermal conductivity on water content in vacuum insulation panels with fumed silica kernels*. Accepted for publication in: *Thermal envelope and building science*, 2005.
- H. Schwab, U. Heinemann, H.-P. Ebert, J. Fricke: *Prediction for the increase in pressure and water content of vacuum insulation panels (VIP) integrated into building constructions using a model calculations*. Accepted for publication in: *Thermal envelope and building science*, 2005.
- H. Schwab, U. Heinemann, H.-P. Ebert, J. Fricke: *Prediction of service life time for vacuum insulation panels with fumed silica kernels*. Accepted for publication in: *Thermal envelope and building science*, 2005.
- H. Schwab, U. Heinemann, H.-P. Ebert, J. Fricke: *Thermal bridges of vacuum insulated building facades*. Accepted for publication in: *Thermal envelope and building science*, 2005.
- Hans Simmler, Samuel Brunner, Ulrich Heinemann, Hubert Schwab, Kumar Kumaran, Phalguni Mukhopadhyaya, Daniel Quénard, Hébert Sallée, Cornelia Stramm, Martin Tenpierik, Hans Cauberg, Markus 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.
- Armin Binz, André Moosmann, Gregor Steinke, Uwe Schonhardt, Franco Fregnan, Hans Simmler, Samuel Brunner, Karim Ghazi, Reto Bundi, Ulrich Heinemann, Hubert Schwab, Hans Cauberg, Martin Tenpierik, Gudni Johannesson, Thomas Thorsell, Markus Erb, Beat 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.

Dr. Ulrich Heinemann

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

Abteilung Wärmedämmung und Wärmetransport

Am Hubland, 97074 Würzburg,

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

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

Vom Pulver zur Paneele – Wie entsteht ein VIP ?

Hans-Frieder Eberhardt, Porextherm Dämmstoffe GmbH

1 Rohstoffe, Eigenschaften und physikalische Grundlagen

Basierend auf Siliziumdioxid (SiO_2) stellt die Firma Porextherm Dämmstoffe GmbH ihr Produkt Vacupor® - eine Vakuum-Isolations-Paneele (VIP) mit ausgezeichneten Wärmedämmeigenschaften – her.

Silizium ist mit 27,8 Gew.-% das nach dem Sauerstoff (46,6 Gew.-%) zweithäufigste Element der 17 km mächtigen Erdkruste. In der Natur ist Silizium fast immer mit Sauerstoff verbunden, und zwar entweder nur mit Sauerstoff als SiO_2 , oder, wie in den Silikaten, mit weiteren Elementen.

Die natürlichen Silikate bilden die Rohstoffbasis für wichtige technische Produkte wie Zement, Glas, Porzellan, Ziegel, usw.

Das Siliziumdioxidbeeinflusst in der Natur das Wachstum einiger Pflanzen und deren Resistenz gegen Pilze und Insekten. Gelöste Kieselsäure ist z.B. auch im Trinkwasser oder Bier (aus der Gerste stammend) enthalten; von Menschen und Tieren wird sie daher mit der natürlichen Nahrung in erheblichen Mengen aufgenommen.

Neben dem natürlichen Vorkommen können Kieselsäuren auch synthetisch hergestellt werden.

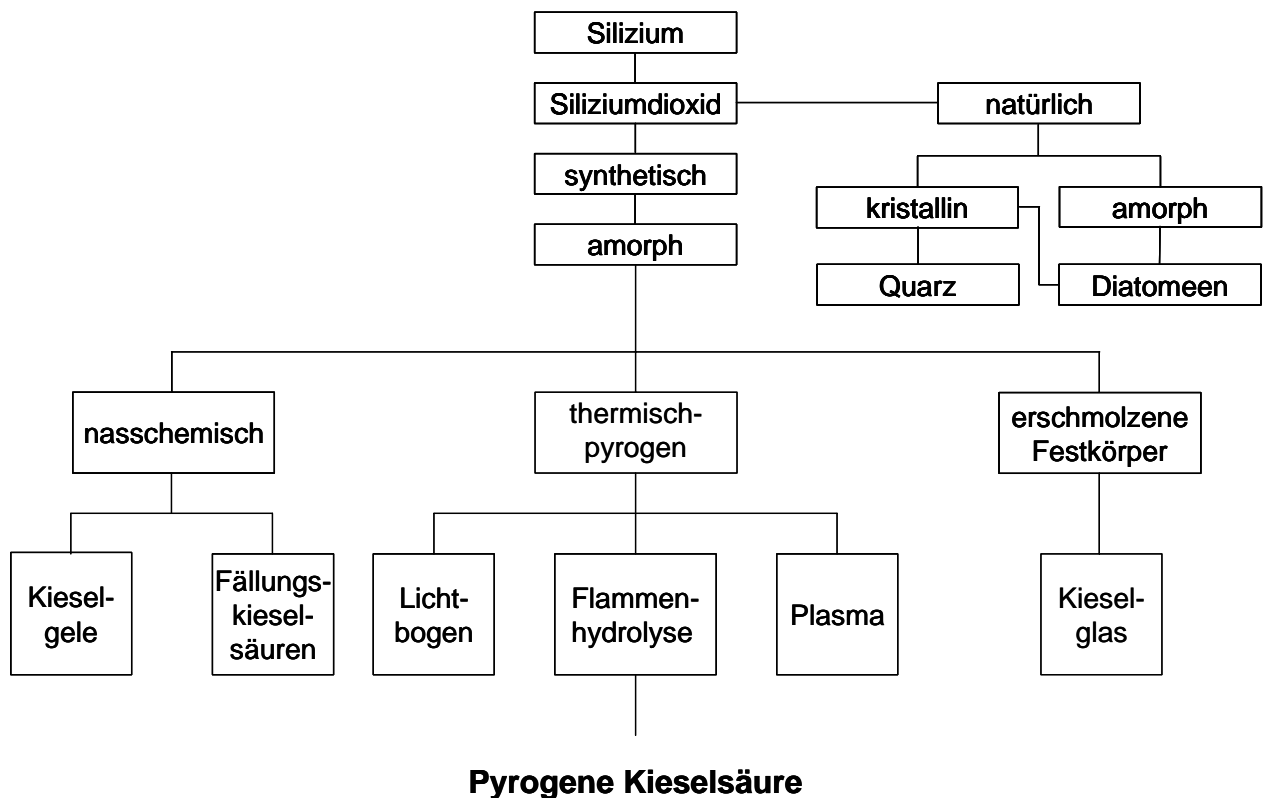
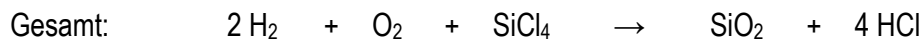
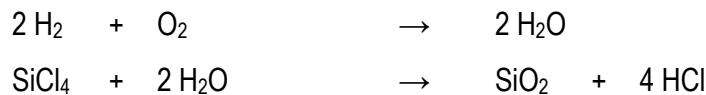


Abb. 1:

Kieselsäure-Stammbaum

Synthetische Kieselsäuren sind heute fest verwurzelte Bestandteile oder Rohstoffe für vielfältige hochtechnisierte Produkte. In der westlichen Hemisphäre wurden 1990 schätzungsweise 1.000.000 Tonnen pro Jahr hergestellt.

Die großtechnische Synthese von pyrogener Kieselsäure lässt sich im wesentlichen als kontinuierliche Flammenhydrolyse von Siliciumtetrachlorid (SiCl_4) bei einer Temperatur von ca. 1200°C beschreiben. Hierbei wird SiCl_4 in die Gasphase übergeführt und reagiert anschließend innerhalb einer Knallgasflamme mit dem intermediär gebildeten Wasser spontan und quantitativ unter Bildung des gewünschten Siliciumdioxids.



Unter den Reaktionsbedingungen in der Flamme entstehen zunächst hochviskose Siliciumdioxid-Primärteilchen. Ihre Größenordnung liegt bei ca. $5 - 50 \text{ nm}$ (10^{-9} m). Die SiO_2 -Oberfläche dieser Teilchen ist glatt und nicht mikroporös. Diese Primärteilchen verschmelzen in der Flamme fest zu größeren Einheiten, den so genannten Aggregaten. Die Größenordnung dieser Partikel liegt im Bereich von 100 bis 500 nm . Beim Abkühlen bilden diese Aggregate flockige Agglomerate, so genannte Tertiärstrukturen. Die Größe dieser Agglomerate liegt im Bereich von $10 - 100 \mu\text{m}$ (10^{-6} m). Aggregate sind offen strukturiert und daher makroporös. Die große zugängliche Oberfläche der Aggregate und Agglomerate führt zu einer hohen spezifischen Oberfläche nach BET (S. Brunauer – P. H. Emmett – E. Teller; Vorschrift zur Bestimmung der Oberfläche eines Adsorbens).

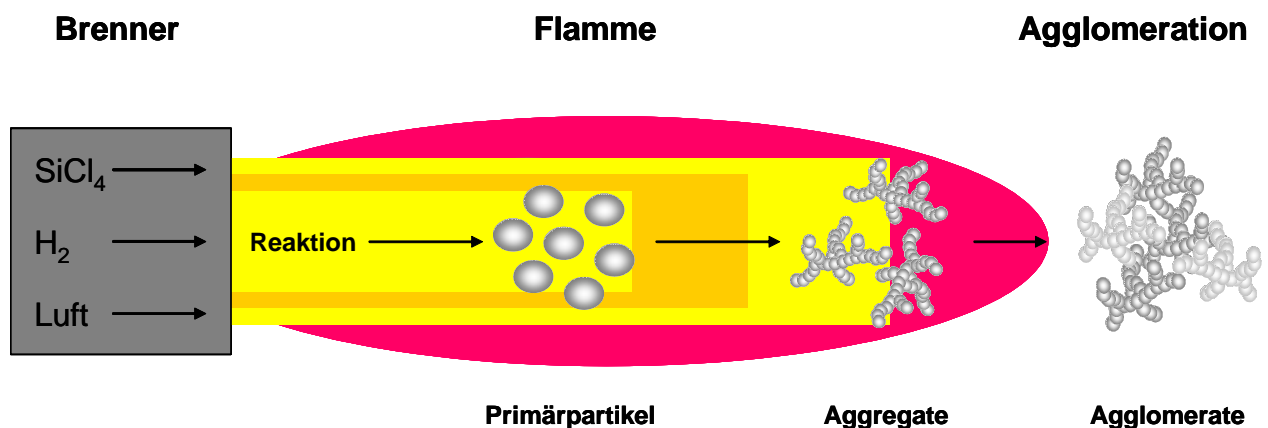


Abb. 2: Entstehungsprozess der pyrogenen Kieselsäure

Neben den verschiedenen Typen der pyrogenen Kieselsäure finden auch die aus dem nasschemischen Verfahren gewonnenen Fällungskieselsäuren Anwendung in der Herstellung von Wärmedämmprodukten. Allerdings zeigt ein Vergleich der wichtigsten Eigenschaften schon erhebliche Unterschiede.

Tabelle 1: Vergleich der wichtigsten Eigenschaften synthetischer Kieselsäuren

Eigenschaften	Einheit	Pyrogene Kieselsäure	Fällungskieselsäure
Spez. Oberfläche nach BET	m ² /g	50 bis 600	30 bis 800
Primärteilchengröße	Nm	5 bis 50	5 bis 100
Aggregat- bzw. Agglomeratgröße	µm	0,1 bis 100	1 bis 40
Dichte	g/cm ³	2,2	1,9 bis 2,1
Stampfvolumen	ml/100 g	1000 bis 2000	200 bis 2000
Trocknungsverlust	%	≤ 2,5	3 bis 7
Glühverlust	%	1 bis 3	3 bis 7
pH-Wert		3,6 bis 4,3	5 bis 9
Porendurchmesser	nm	nicht porös bis ca. 300 m ²	≥ 30
Struktur der Aggregate und Agglomerate		Kettenförmige Agglomerate	Mäßig aggregierte, nahezu sphärische Teilchen

Basierend auf den unterschiedlichen Strukturen der Aggregate und Agglomerate der pyrogenen Kieselsäure und der Fällungskieselsäure werden auch unterschiedlichste Verfahren benötigt, um aus dem pulverförmigen Rohmaterial eine handhabbare Wärmedämmplatte herzustellen.

Ist es bei den Fällungskieselsäuren nötig, aufgrund deren sphärischer Struktur das Material in vorformatierte Vliesbeutel einzufüllen und anschließend in speziell den Formaten angepassten Formen zu Plattenkörpern zu verpressen, so ist es bei den pyrogenen Kieselsäuren möglich, eine formatunabhängige Grundplatte zu pressen, aus welcher dann sofort nach dem Pressvorgang oder zu einem späteren Zeitpunkt die entsprechenden Formate des Kundenauftrages herausgesägt werden. Grund dafür ist die kettenförmige Struktur der Agglomerate, welche sich während des Pressprozesses in einander verhaken und so eine stabilisierende Wirkung auf die gesamte Platte ausüben.

Vor dem Pressvorgang werden üblicherweise drei Materialien in einem bestimmten Verhältnis zueinander vermischt, nämlich eine pyrogene Kieselsäure, eine Infrarotstrahlung absorbierende Komponente sowie Faser-Filamente. Die Filamente sind ebenfalls Struktur bildende und Stabilität gebende Elemente, welche zur Festigkeit und Handhabung der gepressten Platten wesentlich beitragen.



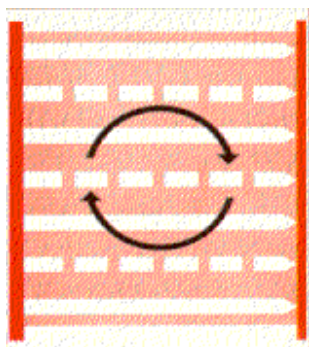
Bild 1: Komponenten einer Standardmischung für Wärmedämmplatten

Diese Wahl der Materialien hat natürlich etwas mit dem physikalischen Phänomen der Wärmeübertragung zu tun. Wärme wird durch Konvektion, Festkörperleitung und Strahlung transportiert. Nun besteht die pyrogene Kieselsäure aus winzig kleinen Kügelchen mit einem Durchmesser von 5 bis

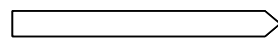
50 nm. Zwischen den einzelnen Kieselsäure Teilchen gibt es somit nur wenige punktförmige Berührungen, so dass dadurch die Wärmeübertragung durch die Festkörperleitfähigkeit minimal gehalten wird.

Beim Pressen der pyrogenen Kieselsäure wird ein mikrozelluläres Gefüge gebildet. Es entstehen winzige Porenstrukturen mit einem Durchmesser im Bereich der mittleren freien Weglänge von Gasen. Durch dieses quasi „Einsperren“ der Gasmoleküle wird die Übertragung der Wärme durch Konvektion minimiert.

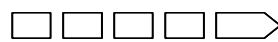
Normalerweise steigt die Wärmeleitfähigkeit bei den meisten Wärmedämmstoffen mit höheren Temperaturen aufgrund der zunehmenden Wärmeübertragung durch Strahlung steil an. Aus diesem Grund wird in die Materialmischung eine Infrarotabsorbierende Komponente integriert, um die IR-Durchlässigkeit deutlich zu verringern und damit die Wärmeübertragung durch Strahlung zu minimieren.



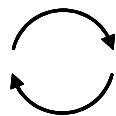
Ungehinderte Wärmeübertragung ohne Wärmedämmung



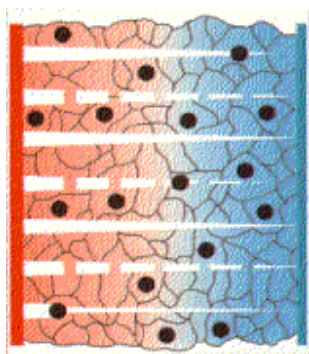
Festkörperleitung



Infrarot-Strahlung



Konvektion



Funktionsweise der Wärmedämmung



IR-Trübungsmittel



Struktur der pyrogenen Kieselsäure

Abb. 3: Wirkprinzip der Wärmedämmung auf Basis der Standard-Materialmischung

Nachdem nun der so genannte Stützkörper bereits mit einem Wärmeleitfähigkeitswert von 18 – 20 mW/(m×K) bei Raumtemperatur eine sehr gute Wärmedämmeigenschaft besitzt, kann diese durch den Prozess des Evakuierens noch um einen Faktor 4 – 5 verbessert werden. Dabei wird der Anteil der durch Konvektion verursachten Wärmeübertragung durch das „Absaugen“ der Gasmoleküle signifikant reduziert.

Im Vergleich mit herkömmlichen, in der Bauindustrie eingesetzten Wärmedämmmaterialien wie Mineralwolle oder extrudiertem Polystyrol stellt man fest, dass eine nicht evakuierte Platte mit pyrogener Kieselsäure zur Erreichung des selben U-Wertes in der Dicke um einen Faktor 1,8 bis 2,8 reduziert werden kann. Wird die Platte durch den Vorgang des Evakuierens zu einer Vakuum-Isolations-Paneele weiter veredelt, so kann die Plattenstärke sogar um einen Faktor 8 bis 12,5 vermindert werden. Diese

Minimierung in der Wärmedämmstärke erlaubt es, viele architektonische und energiespezifische Problemstellungen geschickt zu lösen.

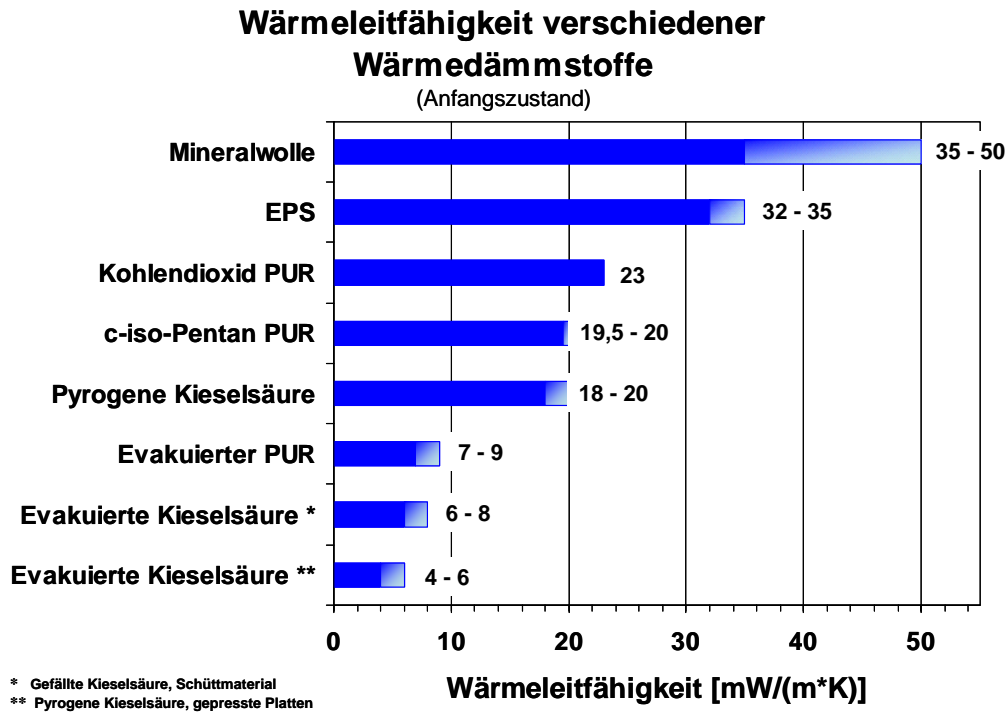


Diagramm 1: Vergleich der Wärmeleitfähigkeitswerte verschiedener Wärmedämmmaterialien im Anfangszustand

Grundsätzlich sind alle offenzelligen Materialien geeignet, evakuiert zu werden. Derzeit sind hauptsächlich Schäume, mikroporöse Materialien und Faserwerkstoffe in der Anwendung. Aufgrund der verschiedenen Porengrößen sind unterschiedliche Vakuumbereiche notwendig, um die mittlere freie Weglänge der Gasmoleküle so zu reduzieren, dass die Wärmeübertragung durch Konvektion minimiert ist.

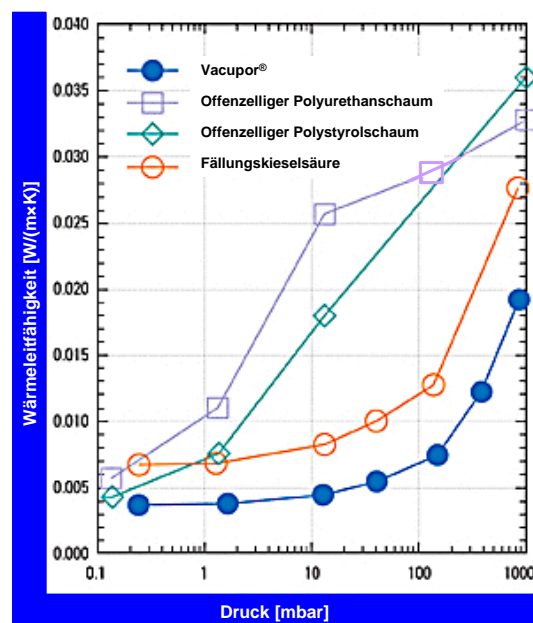


Diagramm 2: Wärmeleitfähigkeit vs. Druck für verschiedene Materialien

Aufgrund der Tatsache, dass die hocheffizienten Barrierefolien der Vakuum-Isolations-Paneele immer noch eine gewisse Restpermeation von Wasserdampf und Sauerstoff durch die Folie selbst sowie durch die Siegelnähte besitzen, werden bei Schäumen und Fasermaterialien so genannte Getter eingesetzt. Diese Getter sind dazu da, eindiffundierende Gase zu „fangen“ und so den Druck in den evakuierten Paneelen möglichst konstant zu halten. Kieselsäuren dagegen haben die Fähigkeit, Wasserdampf zu absorbieren und so den Einfluss auf einen möglichen Druckanstieg zu unterbinden. Allerdings hat die dann aufgenommene Feuchtigkeit einen gewissen negativen Effekt hinsichtlich der Festkörperleitfähigkeit des mikroporösen Kernmaterials.

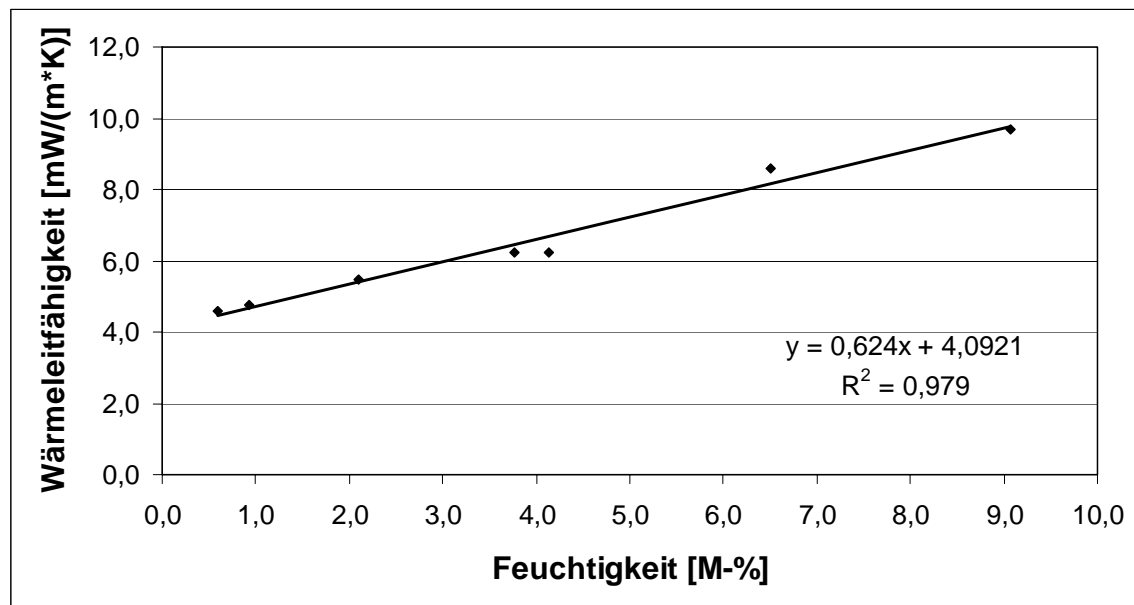


Diagramm 3: Einfluss der absorbierten Feuchtigkeit auf die Wärmeleitfähigkeit einer pyrogenen Kieselsäure

Aus dem in Diagramm 3 gezeigten Verhalten der Kieselsäure kann es bei entsprechender Fertigung oder Lagerung gepresster Stützkörperplatten notwendig sein, dass diese vor dem Prozess des Evakuierens in einem Durchlaufofen getrocknet werden, um den Feuchtgehalt und damit die Wärmeleitfähigkeit des Stützkörpers zu reduzieren.

2 Herstellung einer Vakuum-Isolations-Paneele auf Basis mikroporöser Materialien

Schon zu Beginn der Fertigung eines VIPs auf Basis mikroporöser Materialien steht ein enorm wichtiger Prozessschritt, nämlich das Mischen der Komponenten. Es ist dabei darauf zu achten, dass sich die verschiedenen Bestandteile vollständig durchmischen und so eine homogene Gesamtmischung als Resultat entsteht. Meist werden zur Herstellung der Mischung nicht nur „jungfräuliche“ Komponenten, d.h. frisch angelieferte Materialien, sondern auch wiederaufbereitete und vermahlene Mischungen ehemaliger Stützkörper verwendet. Einer der größten Vorteile eines Stützkörpers auf Basis einer Kieselsäure ist, dass er nach seinem Gebrauch als Wärmedämmung zu 100 % recyclingfähig ist und so dem Rohstoffkreislauf wieder bedenkenlos zugeführt werden kann.

Nach dem Prozess des Mischens erfolgt die Herstellung des Stützkörpers, wobei es hier zwei verschiedene Varianten gibt. Möglichkeit eins ist, die Mischung in eine Form „fließen“ zu lassen und in dieser eine Platte mit vorgegebener Höhe zu pressen. Vorteil hierbei ist, dass sich dieses Verfahren als

sehr flexibel darstellt, denn aus der gepressten Grundplatte lassen sich danach verschiedenartigste Plattenformate konfektionieren. Genau diese Tatsache stellt den Schwachpunkt des Verfahrens zwei dar, bei welchem das mikroporöse Schüttmaterial in einen so genannten „Bag“ gefüllt und in diesem in einer bereits dem Endformat der Platte entsprechenden Werkzeugform gepresst wird. Dies bedeutet letztendlich, dass für jede Plattengröße eine separate Pressform benötigt wird. Flexibilität in punkto Formate bleibt dabei mit Sicherheit auf der Strecke sofern man nicht gewillt ist, durch einen immensen Einsatz von Geldmitteln für eine Vielzahl von Pressformen zu sorgen.

Sobald die Endformate vorliegen, kann es aufgrund der bereits beschriebenen Fähigkeit der Kieselsäure Feuchtigkeit aufzunehmen notwendig sein, einen zusätzlichen Prozessschritt, nämlich den des Trocknens der Platte, einzuschleichen. Hierbei befinden sich die Stützkörper bei ca. 130°C für eine Dauer in der Größenordnung von 80 bis 120 Minuten in einem Durchlaufofen. Dabei wird die Feuchtigkeit auf einen Gehalt von kleiner 0,5 % reduziert.

Befindet sich die Kieselsäure nach dem Herstellungsverfahren zwei bereits in einem Vlies-Bag, so muss die gepresste Platte aus Verfahren eins zur besseren Handhabung noch vor dem Evakuierprozess in eine Polyethylenfolie eingeschumpft werden. Beide Verpackungsarten sind perforiert und stellen deshalb während der Evakuierung kein Hindernis für die aus dem Stützkörper abzusaugenden Gasmoleküle dar.

Die nun so vorliegenden Stützkörper werden üblicherweise in vorgefertigte Dreirand-Siegelbeutel, welche aus speziellen Barrierefolien mit Aluminium- oder metallisierten Kunststoffschichten gefertigt sind, geschoben und anschließend in speziellen Kammern evakuiert. Dort wird auch die bis zuletzt offene Seite des Beutels vakuumdicht versiegelt.

Dies war der letzte Fertigungsschritt für ein Vakuum-Isolations-Paneel. Nach obligatorischer Lagerung, Endprüfung und transportsicherer Verpackung werden dann diese hocheffizienten Wärmedämmplatten den entsprechenden Kunden zugestellt.

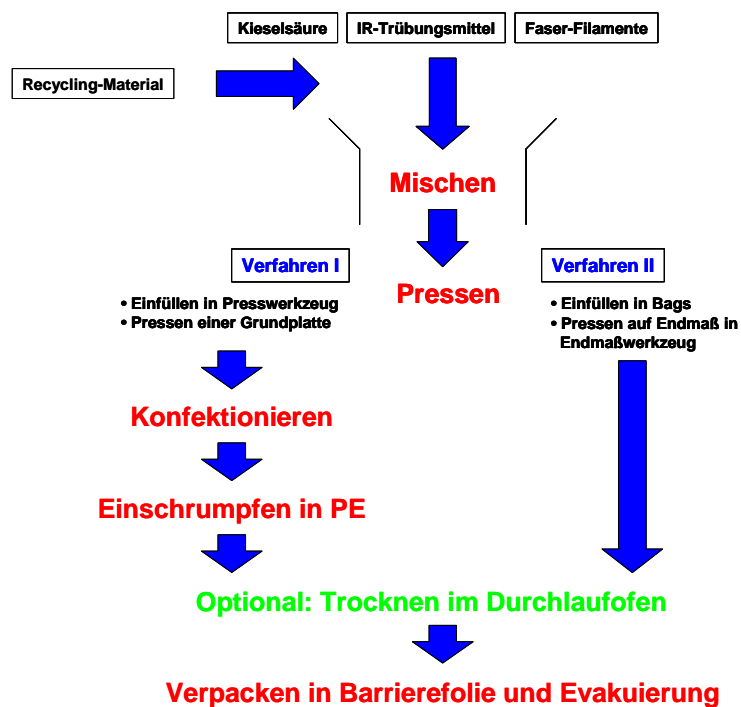


Abb. 4: Schematischer Herstellungsablauf einer Vakuum-Isolations-Paneele auf Basis mikroporöser Materialien

3 Verfahren der Qualitätssicherung

Neben den üblichen Verfahren der Überprüfung der Maßhaltigkeit der Vakuum-Isolations-Paneele ist es erforderlich, auch die thermische Eigenschaft zu prüfen. Hierbei gibt es die Möglichkeit, den Wärmeleitfähigkeitswert direkt zu bestimmen oder mittels einer Kalibrierkurve durch Bestimmung des Innendruckes des VIPs auf diesen Wert zu schließen.

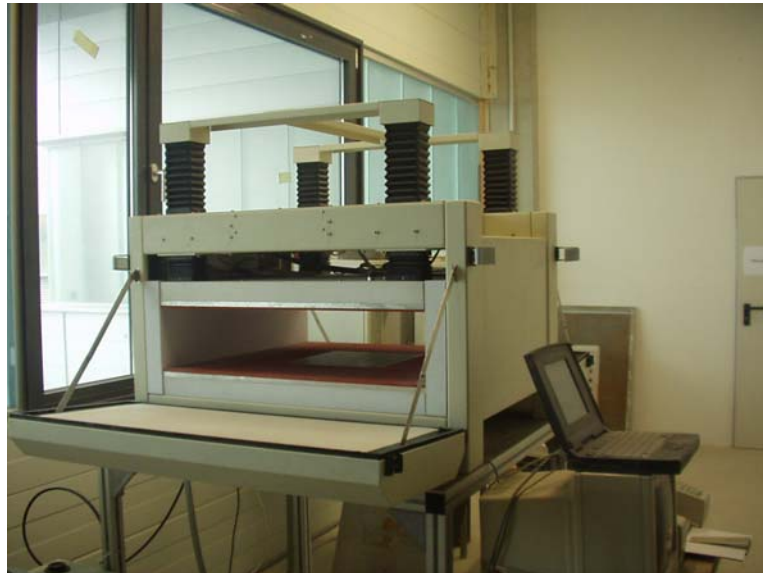


Bild 2: Wärmeleitfähigkeitsmessgerät FOX 800 (Lasercomp) der Firma Porextherm

Der Innendruck einer Vakuum-Isolations-Paneele kann z. B. mittels einer Laser-Distanzmessung in einer Vakuumkammer erfolgen. Dabei wird ausgenutzt, dass im Falle, dass der Innendruck p_{innen} der Vakuum-Isolations-Paneele größer ist als der Umgebungsdruck $p_{\text{außen}}$ des VIPs, sich die Hüllfolie vom Stützkörper des VIPs abhebt bzw. aufbläht. Exakt dieser „Aufbläh“-Zeitpunkt ist entscheidend für die Messung, denn dadurch ändert sich der Abstand der Folie zum Messequipment, welcher durch den Lasermessstrahl detektiert wird. Somit kann doch sehr genau der kritische Druck abgelesen werden.

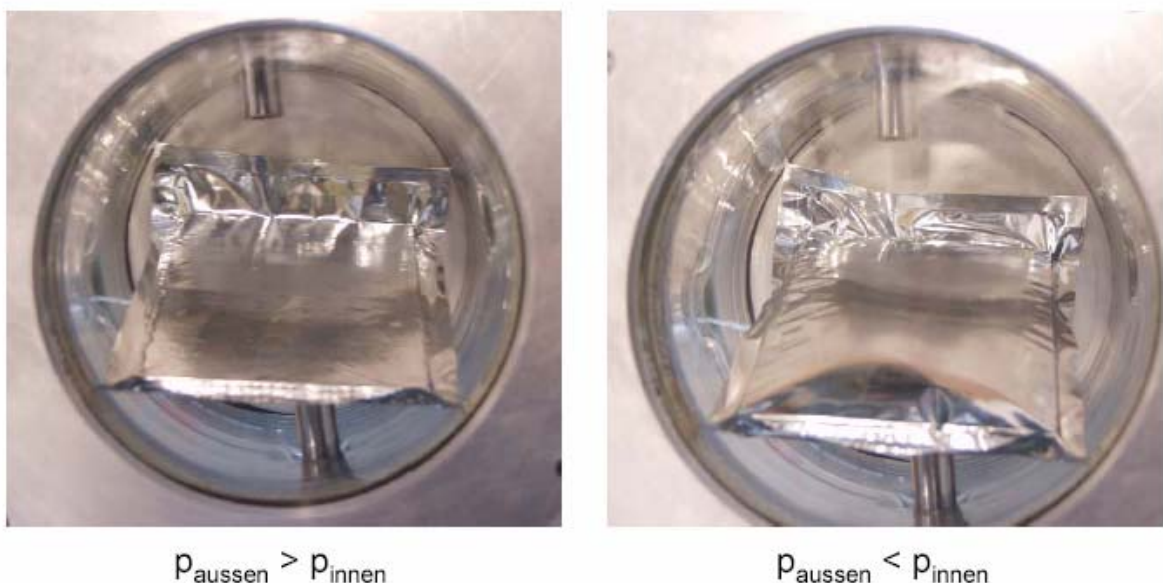


Bild 3: Verhalten der Folie bei einer Innendruckprüfung in einer Vakuum-Kammer

Verfahren zur berührungslosen Innendruckmessung sind derzeit in der Entwicklung und werden aller Voraussicht nach in Bälde für Feldversuche zur Verfügung stehen. Diese Messmöglichkeit wäre eine Revolution in Fragen der Qualitätssicherung von Vakuum-Isolations-Paneele, denn dann wäre es erstmals möglich, bereits verbaute VIPs ohne spezielle Vorhaltungen für Messfühler oder –köpfe langfristig im „Einsatz“ zu prüfen, Erfahrungen zu sammeln und Vertrauen in diese hocheffiziente Wärmedämmung, welche der Bauindustrie erhebliche wärmedämmtechnische Möglichkeiten eröffnet, zu generieren.

Literatur

Degussa, Aerosil & Silanes, Schriftenreihe Fine Particles, Nummer 11: *Grundlagen von AEROSIL®* Printed 03 / 2003, Seite 6 - 11

H. Ferch, *Chem. Ing. Techn.* 48, 922 (1976)

Wacker HDK® Pyrogene Kieselsäure, *Verdicken und Thixotropieren – Verstärken – Rieseln*, November 2001, Seite 4 – 5

Wacker WDS®, *WDS lässt Hitze kalt*, Dezember 1990, Seite 4

EMPA, Dr. Hans Simmler, Dr. K. Ghazi Wakili, *Vakuumdämmung im Baubereich – Aufbau, Physik und Anforderungen*, Präsentation Workshop 10.09.2002

Hans-Frieder Eberhardt

Porextherm Dämmstoffe GmbH

Heisinger Straße 8

D-87437 Kempten

Tel.: +49 (0) 831 / 57 53 61 26

PC-Fax: +49 (0) 831 / 57 53 61 76

Fax: +49 (0) 831 / 57 53 63

Handy: +49 (0) 174 / 3 27 21 54

E-Mail: Hans-Frieder.Eberhardt@Porextherm.com

www.Porextherm.com

Kann der langfristige Anstieg der Wärmeleitfähigkeit in VIPs wesentlich verringert werden?

Dr. Roland Caps
va-Q-tec AG

1 Anstieg der Wärmeleitfähigkeit in mikroporösen Vakuumdämmplatten

Es wird erwartet, dass Vakuumdämmplatten, die im Baubereich eingesetzt werden, für eine Zeit von 30 bis 50 Jahren genutzt werden können. In dieser Zeit darf die Wärmeleitfähigkeit von einem Anfangswert (im Bereich von 0,004 bis 0,005 W/(mK)) auf einen maximal zulässigen Wert (z.B. 0,008 W/(mK)) ansteigen. Dies entspricht einem Anstieg der Wärmeleitfähigkeit von weniger als 0,1 mW/(mK) pro Jahr. Eine solch geringe Änderung der Wärmeleitfähigkeit ist innerhalb eines überschaubaren Zeitraums, z.B. eines Jahres, wenn überhaupt, messtechnisch nur äußerst schwierig feststellbar. Sehr viel einfacher ist die Höhe des Gasdruckes messbar, der direkt über bekannte Beziehungen mit der Wärmeleitfähigkeit verknüpft ist. Typischerweise werden Vakuumdämmplatten aus mikroporöser Kieselsäure auf einen Gasdruck von 1 bis 3 mbar evakuiert. Nimmt der Gasdruck zu, so steigt auch die Wärmeleitfähigkeit der Vakuumdämmplatte an - mit 0,043 mW/(mK) pro Zunahme des Gasdruckes um 1 mbar. Bei einem Anstieg des Gasdruckes auf 50 mbar hat sich die Wärmeleitfähigkeit des Vakuumpaneels dadurch um etwa 2 mW/mK erhöht.

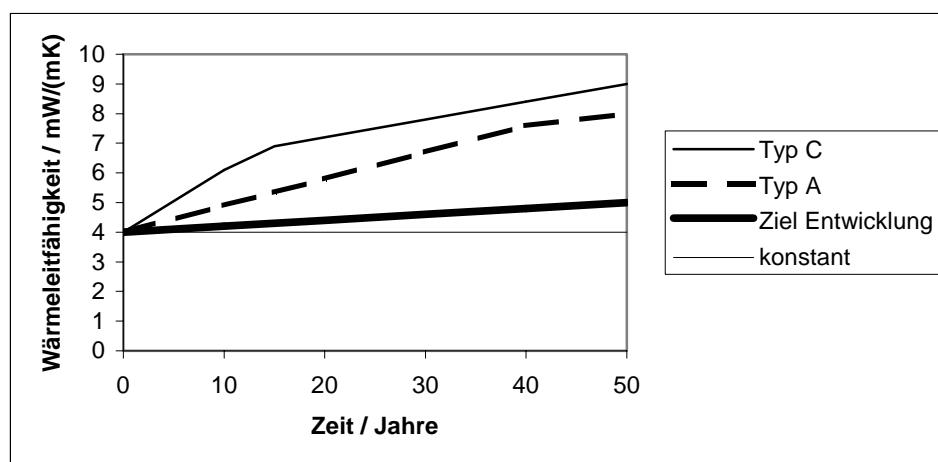
Über die Umhüllung der Vakuumdämmplatte dringt im Laufe der Zeit allerdings nicht nur Luft in den Dämmkern ein, sondern auch Wasserdampf. Zum großen Teil wird der Wasserdampf von der mikroporösen Kieselsäure aufgenommen, ein kleiner Teil trägt aber ebenfalls zu einer Erhöhung des Gasdruckes bei. Untersuchungen des ZAE Bayern haben gezeigt, dass eine Änderung des Wassergehaltes des Dämmkerns von 1% in etwa eine Erhöhung der Wärmeleitfähigkeit um 0,5 mW/(mK) bedingt. Bei einer Gleichgewichtsfeuchte des Dämmkerns von etwa 3 bis 4 % kommen also auch noch etwa bis zu 2 mW/(mK) Wärmeleitfähigkeit zu der Ausgangswärmeleitfähigkeit hinzu. In Kombination mit einem Gasdruckanstieg auf 50 mbar verdoppelt sich also die Wärmeleitfähigkeit aufgrund von Gas- und Wasserdampfdiffusion durch die Hüllfolie des Vakuumpaneels von anfangs 4 mW/(mK) auf 8 mW/(mK). Diese Verdoppelung der Wärmeleitfähigkeit kann man als Grenze für die Nutzung des Vakuumpaneels ansehen.

Innerhalb welcher Zeit werden diese Grenzwerte - 50 mbar Gasdruck und 3 bis 4% Wasserdampfgehalt des Kerns und damit eine Gesamtwärmeleitfähigkeit von 8 mW/mK - überschritten? Frühere Untersuchungen (Caps 2003) haben gezeigt, dass mit hochwertigen Barrierefolien (Typ A) bei einem 20 mm dicken Vakuumpaneel Anstiege des Gasdruckes auf einen Betrag von 1 mbar pro Jahr begrenzt werden können. Der Anstieg des Wasserdampfgehaltes im Dämmkern liegt im Bereich von etwa 0,1%-Massenprozent pro Jahr. Damit können also rechnerisch die oben angegebenen Grenzwerte von 50 mbar und 3 bis 4% Feuchtegehalt bei einer Nutzungsdauer von 30 bis 50 Jahren gerade eingehalten werden. Abb. 1 zeigt schematisch den Anstieg der Wärmeleitfähigkeit in evakuierten mikroporösen Kernen für unterschiedliche Folien (Typ A, Typ C). Für die Folie Typ C wurde eine um 50 % höhere Gasdurchlässigkeit und eine um den Faktor 3 höhere Wasserdampfdurchlässigkeit als für die Folie A angesetzt. Das Erreichen einer Gleichgewichtsfeuchte von 4 % wurde berücksichtigt (Knick im Anstieg der Kurven in Abb. 1).

Die Frage ist nun, ob man sich mit dem bisherigen, machbaren Anstieg der Wärmeleitfähigkeit um den Faktor 2 innerhalb dieses Zeitraums zufrieden geben soll, oder ob es Möglichkeiten gibt, den Anstieg der Wärmeleitfähigkeit zu verringern. Denn zum einen muss sich ein mit Vakuumdämmplatten ausgerüstetes Gebäude bei der wärmetechnischen Auslegung am maximalen Wärmeverlust der Bauteile orientieren, d.h. am Wert, der gegen Ende der Nutzungsdauer auftritt. Zum anderen kostet eine Vakuumdämmplatte gegenüber konventioneller Dämmung immer noch ein Mehrfaches. Jede Verbesserung des Langzeitverhaltens bedeutet daher effektiv eine Kostenreduzierung, wenn damit geringere Grenzwerte der Wärmeleitfähigkeit während der Nutzungsdauer erreicht werden können.

Im folgenden werden erste Ergebnisse von Entwicklungen gezeigt, die das Ziel haben, den Gas- und Wasserdampfeintrag in Vakuumdämmplatten zu verringern. Dazu werden zunächst die verwendeten Messmethoden vorgestellt, die es ermöglichen auch kleinste Gasdruckanstiege in hinreichend kurzer Zeit zu quantifizieren.

Abb. 1: prognostizierter Anstieg Wärmeleitfähigkeit VIPs mit Folien Typ A, Typ C und Ziel für verbesserte Umhüllung (schematisch)



2 Bestimmung der Gas- und Wasserdampftransmission von Hochbarrierefolien

Die Höhe des Gasdruckanstieges und Wasserdampfeintrages werden im wesentlichen von den Eigenschaften der Hüllfolie bestimmt. Aluminiumverbundfolien zeigen die geringste Gas- und Wasserdampfdurchlässigkeit. Mit den besten zur Verfügung stehenden Aluminiumverbundfolien hätte man sogar die Möglichkeit, die Wärmeleitfähigkeit von evakuierten, mikroporösen Dämmstoffen über mehrere Jahrzehnte hinweg praktisch konstant zu halten. Aluminiumverbundfolien werden allerdings bei mikroporösen Dämmplatten kaum als Hüllfolie genutzt, da über die Aluminiumfolie mit einer typischen Stärke von 6 bis 8 μm am Rand des Vakuumpaneels recht viel Wärme abgeleitet wird. Deswegen hat man spezielle Kunststoffverbundfolien entwickelt, die meist mit mehreren Schichten einer hauchdünnen Metallbedampfung ausgerüstet sind. Diese Metallbedampfungen weisen insgesamt eine Stärke von einem Bruchteil eines Mikrometers auf, so dass die Wärmeübertragung über diese Schichten praktisch keine Rolle mehr spielt. Die Durchlässigkeit dieser metallisierten Verbundfolien für Gase und Wasserdampf ist allerdings wesentlich höher als bei Aluminiumverbundfolien.

Es gibt verschiedene Möglichkeiten die Gasdurchlässigkeit von Folien zu testen. So stehen kommerzielle Geräte zur Messung der Sauerstofftransmission von Folien zur Verfügung, deren Messgrenze aber schon in einem Bereich liegt, die die hochwertigen, metallbedampften Barrierefolien für Vakuumdäm-

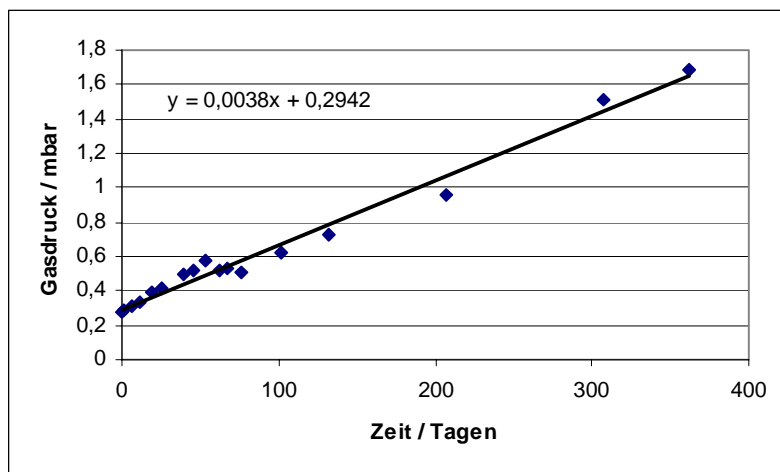
mungen erreichen. Ähnliches gilt für die Messung der Wasserdampfdurchlässigkeit. Für die Bewertung einer Barrierefolie hat es sich als vorteilhaft erwiesen, die Durchlässigkeiten der Hülle an der Vakuumdämmplatte selber zu testen. Denn die Gas- und Wasserdampftransmission wird nicht allein von der Eigenschaft der Hülle festgelegt sondern auch von den Defekten in der Hülle, die beim Verarbeiten zum rechteckförmigen Paneel auftreten, aber auch von der Eigenschaft der Siegelnaht. Letztendlich zählt der Anstieg des Gasdruckes im Vakuumpaneel und die Zunahme des Feuchtegehalts im Kern.

Bisherige Messungen des Gasdruckanstieges in Vakuumdämmplatten mit mikroporöser Füllung sind allerdings recht langwierig. Typischerweise dauert es ein halbes Jahr bis ein Gasdruckanstieg von einem halben mbar in einem üblichen Vakuumpaneel mit Kieselsäurefüllung sicher nachgewiesen werden kann. Zudem tragen in diesem Fall Gas- und Wasserdampfeintrag gleichermaßen zum Gasdruckanstieg bei und lassen sich nicht ohne weiteres trennen. Aus diesem Grund ist auch eine Beschleunigung des Gasdruckanstieges durch Lagerung des Testpaneels bei erhöhter Temperatur problematisch, da die Gas- und Wasserdampfeintrag gegenüber Raumtemperatur sich in ihren Beiträgen ändern.

Schnelle Tests von unterschiedlichen Folien zur Eingangskontrolle und für Weiterentwicklungen der Umhüllung sind daher mit den geschilderten Verfahren nur schwer möglich. Deshalb hat va-Q-tec mehrere Methoden entwickelt, um die Zeitdauer der Messungen zu verkürzen (Caps 2003). Zum einen kann mit dem so genannten va-Q-check System (Caps 2002) der Innengasdruck in einem Bereich von 0,02 bis 5 mbar relativ genau gemessen werden. Um den Einfluss des Wasserdampfeintrages von dem Gaseintrag zu trennen, werden in den Messproben als Füllstoff grobporige Materialien, die sich auf einen geringen Gasdruck evakuieren lassen, zusammen mit einem Trockenmittel eingesetzt. Dadurch können auch kleinere Änderungen des Gasdruckes festgestellt werden.

Abb. 2 zeigt als Beispiel eine Probe mit einer hochwertigen Hülle (Typ A). Die Lagerung erfolgte bei Raumtemperatur. Aus dem Anstieg des Gasdruckes lässt sich eine Gastransmission durch die Hülle von ca. 7 mbar liter /m² Paneel und Jahr berechnen. Schon innerhalb von 4 Wochen kann man bei der hochwertigen Folie Typ A eindeutige Aussagen zur Höhe des Gasdruckanstieges treffen.

Abb. 2: mit va-Q-check gemessener Gasdruckanstieg an einem Vakuumpaneel mit einer Umhüllung aus der Folie Typ A



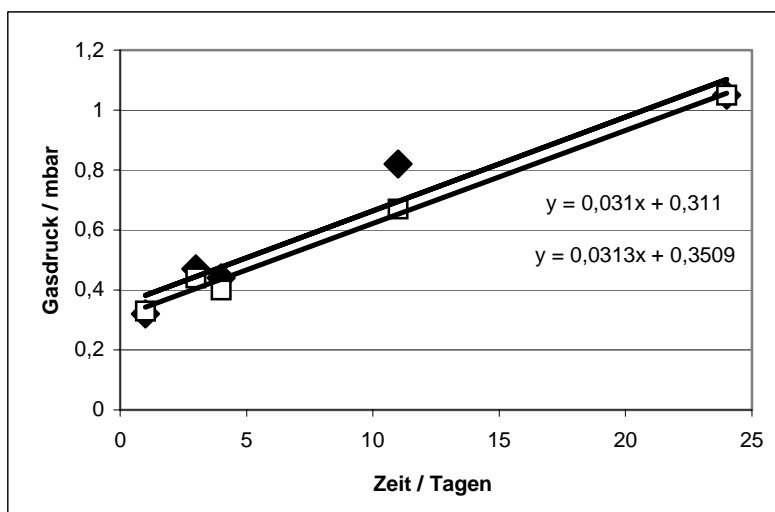


Abb. 3: mit va-Q-check gemessener Gasdruckanstieg an zwei Vakuumpanelen mit einer Umhüllung aus der Folie Typ B

In Abb. 3 sind die Messung an zwei Proben dargestellt, die mit einer anderen Folie (Typ B) umhüllt sind. Hier steigt der Gasdruck sehr viel schneller an als bei Proben mit dem Folientyp A. Schon nach einer Woche kann der Gasdruckanstieg an der Probe mit der Folie Typ B eindeutig ermittelt werden. Er ist etwa acht mal höher als bei der Folie Typ A.

Ein weitere Möglichkeit zur Bestimmung des Gasdruckanstiegs ist, den zeitliche Anstieg der Wärmeleitfähigkeit an einer Probe mit grobporösen Füllmaterial zu verfolgen. In diesem Fall wirkt sich der Gasdruckanstieg um mehr als den Faktor Hundert stärker auf die Wärmeleitfähigkeit aus als bei einem mikroporösen Füllstoff.

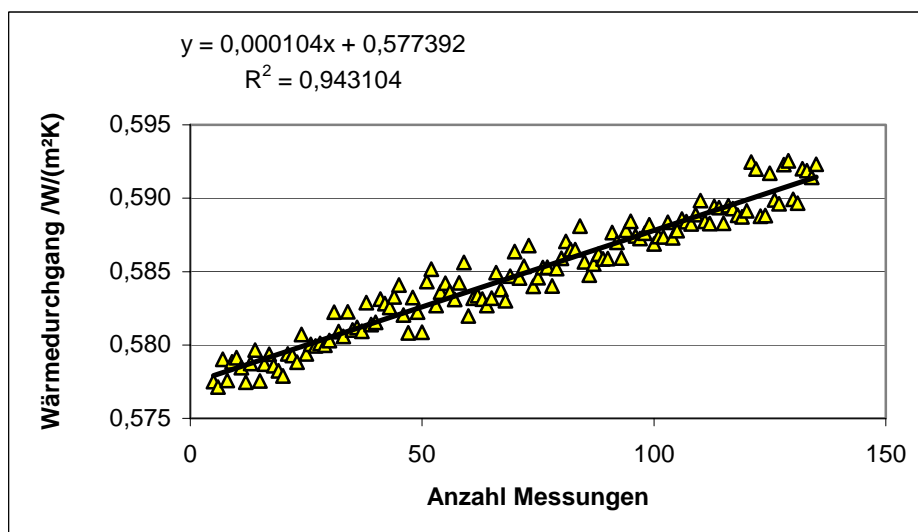


Abb 4: Anstieg des Wärmedurchgangs mit der Zeit an einer evakuierten, grobporösen Probe umhüllt mit dem Folientyp A

In Abb. 4 ist der Anstieg des Wärmedurchgangskoeffizienten an einer grobporösen Probe dargestellt, die mit der metallisierten Folie Typ A umhüllt ist. Die angelegten Temperaturen waren 20 °C und 37 °C. Aus dem zeitlichen Anstieg lässt sich ein Gaseintrag von ca. 10 mbar liter pro m² Paneel und Jahr errechnen. Berücksichtigt man die höhere Gasdiffusion an der heißen Seite der Messapparatur (37 °C), so ist dieser Wert vergleichbar mit dem Ergebnis, das mit der va-Q-check - Methode in Abb. 2 bei Raumtemperatur ermittelt wurde.

3 Wie kann man den Gas- und Wasserdampfdurchgang verringern?

3.1 Zweifolienbeutel

Eine Möglichkeit, den Gas- und Wasserdampfanstiege in die Vakuumdämmplatten zu verringern, besteht darin, die Vorderseite mit einer metallisierten Folie und die Rückseite mit einer Aluminiumverbundfolie auszuführen. Beide Folien werden über Siegelnähte am Rand verbunden (Abb. 5). Dadurch lässt sich im Prinzip der Gas- und Wasserdampfeintrag jeweils halbieren, wenn man davon ausgeht, dass über die Siegelnaht keine wesentlich Transmission stattfindet. Die Randlasche mit der gutleitenden Aluminiumverbundfolie wird bei Bedarf auf die Aluminiumfolienseite umgelegt, so dass die Hälfte des Randes aus der schlechtleitenden bedampften Barrierefolie besteht. Dadurch wird ein thermischer Kurzschluss zwischen den beiden Seiten des Vakuumpaneels in ausreichender Weise vermieden.

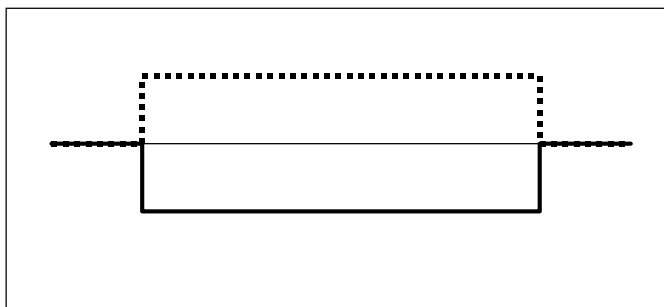


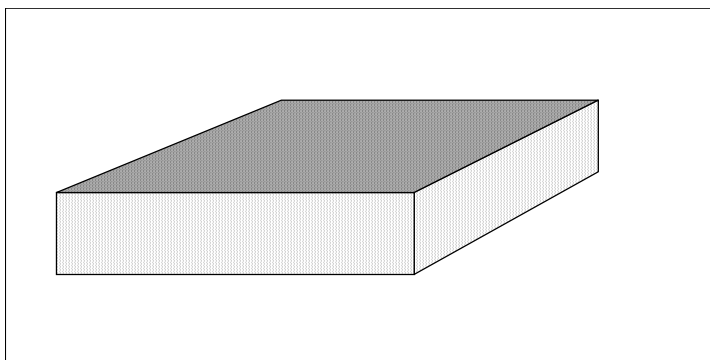
Abb.5: Querschnitt eines Zweifolienbeutels: obere Fläche metallisierte Folie, untere Fläche Aluminiumverbundfolie

3.2 Modifizierte Umhüllung

Eine bessere Möglichkeit als der Zweifolienbeutel wäre eine Kombination von Aluminiumfolie und bedampfter Folie in der Weise, dass die Aluminiumfolie die Ober- und Unterseite bedeckt und die Kanten frei bleiben (Abb. 6). Bei dieser Konstruktion würde gegenüber dem Zweifolienbeutel der Wärmewiderstand der aus der metallisierten Folie bestehenden Kanten voll zum Tragen kommen. Der Gas- und Wasserdampfdurchgang würde sich im Verhältnis der Flächen bedampfte Folie zur Summe aus der Aluminiumfolie und bedampfter Folie verringern - unter der Annahme dass Aluminiumfolie und Siegelnähte nichts zum Gas- und Wasserdampfdurchgang beitragen. Bei einem Vakuumpaneel der Größe 50 cm x 50 cm und der Stärke 2 cm könnte sich theoretisch der Gas- und Wasserdampfeintrag also bis um einen Faktor 13 gegenüber einem Paneel aus bedampfter Folie reduzieren. Ob dieser Verringerung erreichbar ist, müssen entsprechende Messungen des Gasdruck- und Wasserdampfanstiegs zeigen, die den Einfluss von unter anderem der Siegelnaht berücksichtigen.

Die Konstruktion der vorgeschlagenen Umhüllung ist allerdings nicht einfach. Erste Versuche in dieser Richtung wurden bei va-Q-tec durchgeführt mit dem Ziel die Gas- und Wasserdampftransmission gegenüber den bisherigen Werten um den Faktor 3 bis 5 zu senken. Damit kann bei Füllstoffen aus mikroporöser Kieselsäure der veranschlagte Anstieg der Wärmeleitfähigkeit so verringert werden wie in Abb. 1 als Entwicklungsziel gezeigt ist. Im folgenden werden erste Ergebnisse von Messungen an solchen Umhüllungskonstruktionen vorgestellt.

Abb. 5: Schema einer Paneelumlüftung mit einer Aluminiumverbundfolie an Oberseite (und Unterseite) und Seitenkanten aus metallisierter Folie



4 Gasdruckanstieg in Paneelen mit modifizierter Umhüllung

Um zu prüfen, ob eine Ausrüstung der Ober- und Unterseite eines Vakuumpaneels mit einer Aluminiumverbundfolie die Gas- und Wasserdampfdiffusion in das Innere des Paneels vermindert, wurden entsprechende Hüllkonstruktionen mit grobporigen Materialien gefüllt. Dadurch konnte ein geringer Startgasdruck und eine hohe Auswirkung eines Gasdruckanstiegs auf die Wärmeleitfähigkeit der Probe erreicht werden. Messungen des Gasdruckanstiegs erfolgten mit dem va-Q-check - System. Messungen des Wärmedurchgangs wurden mit einem Plattensystem mit Wärmeflussmesser durchgeführt. Aus dem Anstieg der Wärmeleitfähigkeit mit der Zeit kann bei bekannten Eigenschaften des Füllmaterials auf die Gastransmission der Hülle geschlossen werden. Alle Proben waren mit einem Trockner ausgestattet, so dass die Wasserdampfransmission durch die Hülle keinen Einfluss auf den Gasdruck haben sollte.

An mehreren Proben konnte eindeutig eine wesentliche Verringerung der Gastransmission festgestellt werden. Ein Beispiel ist in Abb. 6 dargestellt. Hier beträgt bei einer ähnlichen Probe wie in Abb. 4 - nur die Hüllkonstruktion wurde verändert - der Anstieg des Wärmedurchgangs nur noch ein Fünftel des Wertes der nicht-modifizierten Hülle.

Der mit dem va-Q-check Gerät gemessene Gasdruckanstieg an Proben mit modifizierter Hülle ist ebenfalls wesentlich geringer geworden, wie Abb. 7 zeigt. Die Proben wurden jeweils bei Raumtemperatur im Labor gelagert.

Abb. 6: Anstieg des Wärmedurchgangs mit der Zeit an einer evakuierten Probe, die an Unterseite und Oberseite mit einer Al-Folie ausgerüstet ist; die Seitenflächen sind aus Folien Typ A aufgebaut

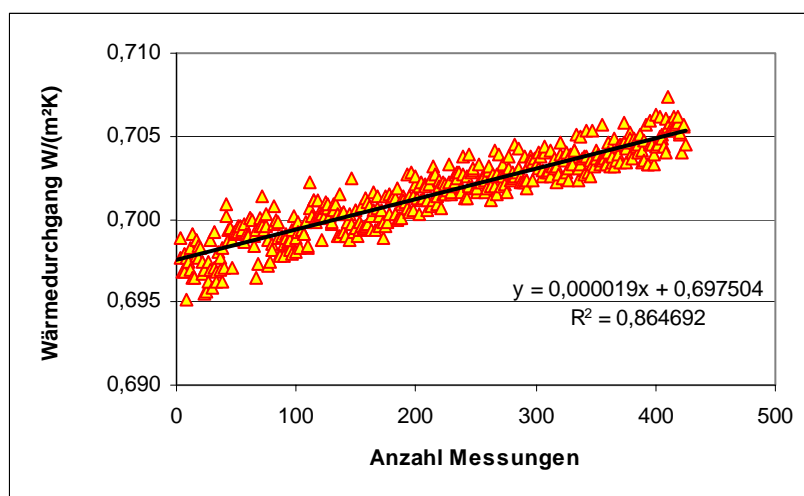
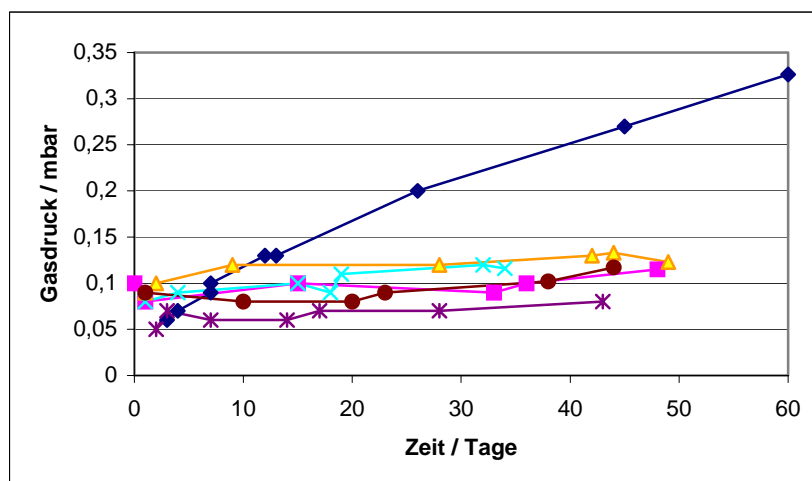


Abb. 7: Anstieg des Gasdruckes an einer Probe, die mit Folie Typ A umhüllt ist (oben), und an Proben, bei denen die Ober- und Unterseite mit einer Aluminiumverbundfolie ausgerüstet ist (unten); Messungen erfolgten mit va-Q-check



5 Fazit

Erste Ergebnisse zeigen, dass es möglich ist, Vakuumdämmplatten so mit einer Umhüllung auszustatten, dass sich der Gasdruckanstieg gegenüber den mit den bisher besten metallisierten Folien gemessenen Werten wesentlich verringern lässt. Dabei bilden die seitlichen Kanten keine Wärmebrücke. Die Gastransmission lässt sich etwa um den Faktor fünf gegenüber einem üblichen Paneel, das mit einer hochwertigen, metallisierten Barrierefolie ausgestattet ist, vermindern.

Aus geometrischen Gründen ist zu erwarten, dass die Wasserdampftransmission durch die Hülle ebenfalls um mindestens den gleichen Faktor kleiner wird. Überträgt man diese Ergebnisse auf Vakuumdämmplatten mit mikroporöser Kieselsäure als Füllstoff, so sollte sich der Anstieg der Wärmeleitfähigkeit während der Nutzungsdauer deutlich verringern lassen. Dies würde bedeuten, dass auch nach mehr als 30 Jahren die Wärmeleitfähigkeit der im Baubereich angewandten Vakuumdämmplatten auf Werte um 5 mW/mK gehalten werden könnte, sich also nur wenig von den Anfangswerten unterscheidet (siehe Abb. 1, Kurve "Ziel Entwicklung").

Eine Umsetzung der Ergebnisse aus dem Labor in ein Produktionsverfahren steht allerdings noch aus. Verschiedene Ansätze in dieser Hinsicht werden zur Zeit bei va-Q-tec verfolgt.

Festzuhalten bleibt, dass alle bisher vorhandenen Möglichkeiten - Verwendung von Folien mit minimal möglichem Gas- und Wasserdampfdurchgang, Kernmaterial mit möglichst geringer Ausgangswärmeleitfähigkeit, möglichst fugen- und wärmebrückenfreie Verlegung der Vakuumdämmplatten - genutzt werden sollten, um eine höchstmögliche Performance des Produkts Vakuumdämmplatte während einer möglichst lange Einsatzdauer sicher zu stellen. Dies setzt auch voraus, dass entsprechende Messverfahren zur Verfügung stehen, die schnell und sicher die Qualitätsanforderungen an die Vakuumdämmplatten kontrollieren können. Eine kontinuierliche Überwachung von Folienqualitäten an der Produktionsstätte und eine durchgehende Qualitätskontrolle der Vakuumdämmplatten mittels Gasdruckmessung vor Auslieferung der Produkte ist unerlässlich, um eine hohe Qualität sicher zu stellen. Mittels der bei va-Q-tec eingeführten Methoden können diese Anforderungen erfüllt werden.

Literatur

Caps, R. (2002): *Vorrichtung zur Messung des Gasdruckes in evakuierten Dämmplatten*, Patentschrift DE 102 15 213 C1, Anmeldetag 6.4.2002

Caps, R. (2003): *Maßnahmen zur Qualitätssicherung von Vakuumdämmplatten*. 1. Fachtagung Evakuierte Dämmungen im Bauwesen, Rostock Warnemünde

Danksagung

Wir danken der Europäischen Kommission für die Förderung der Untersuchungen im Rahmen des Projekts VACI, Contract COOP-CT-2003-508026

Dr. Roland Caps

va-Q-tec AG
Karl-Ferdinand-Braun-Str. 7
D-97080 Würzburg
Tel. 0931-35942-12
www.va-Q-tec.com
caps@va-Q-tec.com

Barrierefolien für Vakuum-Isolationspaneele im Bauwesen

Dr.-Ing. Dirk Kaczmarek, Wipak Walsrode GmbH & Co. KG

1 Einleitung

Vakuum Isolationspaneele (VIP) werden seit ca. 20 Jahren erfolgreich zur Kühlschranksolierung eingesetzt. Auf eine ebenso lange Zeit kann die Firma Wipak im Bereich der Hochbarrierefolien verweisen. Im Laufe der letzten Jahre haben sich aber immer neue Anwendungsfelder für VIPs hervorgetan. So finden heutzutage VIPs ihre Anwendung im Bereich der Schuhisolierung, Rohrisolation und natürlich auch im Baubereich. Auf der einen Seite hat jeder dieser Bereiche zwar eine identische primäre Aufgabe und zwar die Isolierung, d.h. die Folie muss eine hohe Permeationsbarriere darstellen. Auf der anderen Seite sind die Anforderungen die an das VIP und somit an die Hochbarrierefolie gestellt werden doch völlig unterschiedlicher Natur.

Im Folgenden wird auf die Randbedingungen an Hochbarrierefolie speziell für den Baubereich eingegangen und wie diese mit Hilfe der Barrierefolien von Wipak erfüllt werden.

2 Wipak Walsrode

Wipak Walsrode GmbH ist Teil der europäischen Wipak Group, die mit ca. 1800 Mitarbeiter an mehreren Standorten in Europa hochwertige Verbundfolien produziert. So stellt Wipak flexible und standfeste Folien für die Verpackung von Nahrungs- und Genussmitteln sowie für medizinische und technische Anwendungen her. Wipak und das nordamerikanische Schwesterunternehmen Winpak gehören zur Verpackungssparte des finnischen Konzerns Wihuri Oy. Auf dem Gebiet der mehrlagigen Folien, besonders bei Barrierefolien, ist Wipak Technologieführer. Die Folienspezialisten bauen mit frischen Ideen auf ihre jahrzehntelange Erfahrung in der Folienherstellung auf und führen die Tradition der Innovationen fort. Der Bereich der technischen Folien wird unter dem Namen Covexx geführt und innerhalb dieses Bereiches nehmen die Barrierefolien für VIPs ein wesentliches Arbeitsfeld ein.

3 Anforderungen

Die Anwendungsbereiche in der Bauindustrie haben zum Teil ganz eigene Anforderungen. Zum einen werden sie durch gesetzliche Bestimmungen geregelt und somit auch an die Folie „weitergegeben“ und zum anderen resultieren sie auch aus den doch sehr unterschiedlichen Rahmenbedingungen im Vergleich zum Kühlschrank.

4 Permeation

Die Anforderung an die Lebensdauer von VIPs im Bauwesen ist ungleich höher als die von VIPs in Kühlschränken. Geht man bei Kühlschränken von einer Lebensdauer von 15 Jahren aus, so ist sie im

Bauwesen bei 30 Jahren wenn nicht so gar bei 50 Jahren anzusetzen. Aus dieser bedeutend höheren Anforderung an die Lebensdauer wird sinngemäß auch eine niedrigere Permeation an die Barrierefolie gestellt.

Der Wert für die Sauerstoffpermeation steht hierbei stellvertretend für die Permeation von Gasen, insbesondere von unpolaren Stoffen. Diese Permeation wird in Volumeneinheit je Fläche Folie, je Tag und je bar Druckdifferenz ausgedrückt. Die Druckdifferenz ist dabei die Partialdruckdifferenz zwischen den beiden Seiten der Folie. Hierbei ist zu beachten, dass in der Literatur und in diversen Angaben zu Permeationsraten sehr viele unterschiedliche Zahlen bei unterschiedlichen Bedingungen zu entdecken sind. Wichtig ist an dieser Stelle, dass Angaben unterhalb von $0,01 \text{ cm}^3/\text{m}^2 \text{ d bar}$ unrealistisch sind. $0,01$ ist die derzeitige Messgrenze für Sauerstoffdurchlässigkeiten bei Standardmessgeräten, wie sie zum Beispiel in der Qualitätskontrolle eingesetzt werden. Nur Werte bis zu dieser Grenze können sicher garantiert und von Ihrem Folienhersteller überwacht werden. Alle Werte darunter können über aufwendige Meßmethoden abgeschätzt oder interpoliert werden, können aber nur als Abschätzung dienen, nie als abgesicherter Qualitätsgrenzwert. Darüber hinaus ist die Angabe der Messbedingungen (Temperatur, Luftfeuchtigkeit) wichtig. Da die Gasdurchlässigkeiten mit Erhöhung der Temperatur ansteigen, Bild 1. Ebenso wirken sich steigende Luftfechtigkeiten je nach Folientype ebenfalls negativ auf die Permeationsraten aus. So findet eine Permeationsteigerung von ca. 5-7% pro 1°C Temperaturerhöhung statt [Mo05].

Der zweite entscheidende Kennwert ist die Wasserdampfdurchlässigkeit. Dieser Wert wird in Gewicht je Folienfläche und Tag angegeben und sollte bei heutigen Barrierefolien $< 0,05 \text{ g}/\text{m}^2 \text{ d}$ betragen (38°C , 90% r.F.). Auch hier ist die Angabe von Temperatur und Luftfeuchtigkeit wichtig, da sich auch die Wasserdampfdurchlässigkeit mit Temperatur und Luftfeuchtigkeit verändert, Bild 1. Weiterhin stellt die Wasserdampfdurchlässigkeit den symbolischen Wert für die Permeation von polaren Stoffen durch die Konstruktion dar.

Die Ursache im starken Anstieg der Permeationswerte bei höheren Temperaturen ist damit zu begründen, dass beim Erreichen der Glasübergangstemperatur eine Veränderung beim Kunststoff auftritt. Bei dieser Temperatur findet der Übergang vom energieelastischen Bereich (=Glasbereich) zum entropieelastischen Bereich (=gummielastischer Bereich) stattfindet.

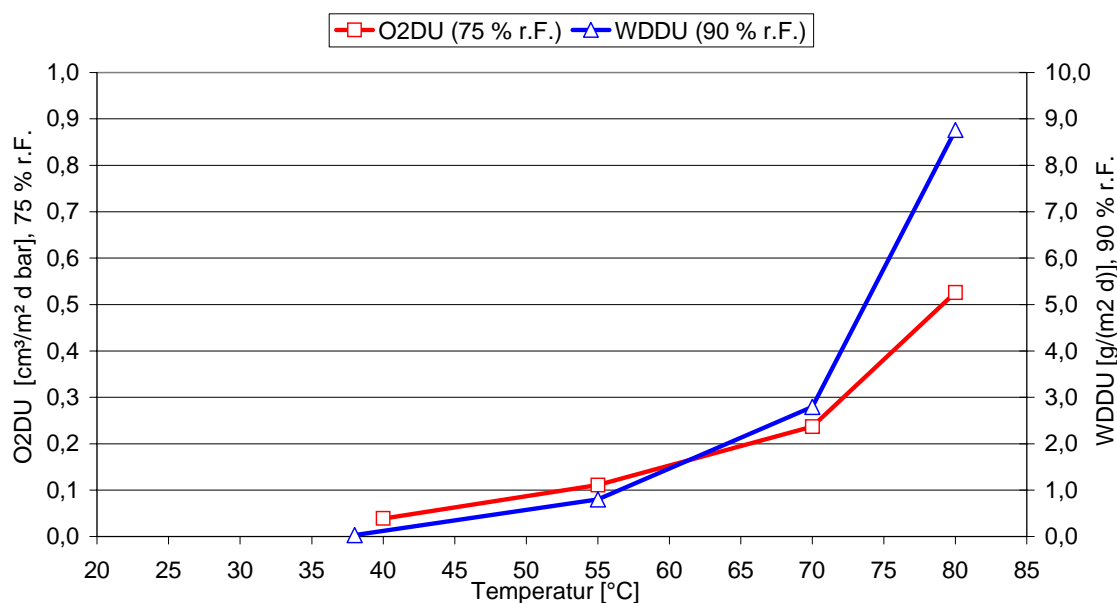


Bild 1: Permeationsanstieg infolge einer Temperaturerhöhung bei einer nicht angepassten VIP-Folie

Nur die Kombination aus guten Sperrwerten gegen Sauerstoff und Wasserdampf garantiert eine gute Gesamtbarriere. Aus dieser Auflistung der zwei entscheidenden Permeationswerten, kann auch der einfache Schluss gezogen werden, dass Barrierefolien für den Baubereich einen anderen Aufbau haben müssen wie Barrierefolien für den VIP Einsatz in Kühlschränken. Da z.B. im Bauwesen bedeutend höhere und schwankende Temperaturen herrschen als im Vergleich zum Kühlschrank, wo von einer konstanten Außentemperatur von ca. 23°C ausgegangen werden kann.

Allerdings kann der Permeationsanstieg durch eine richtige Auswahl der Einzelfolien auch bei höheren Temperaturen auf ein Minimum kompensiert werden, Bild 2.

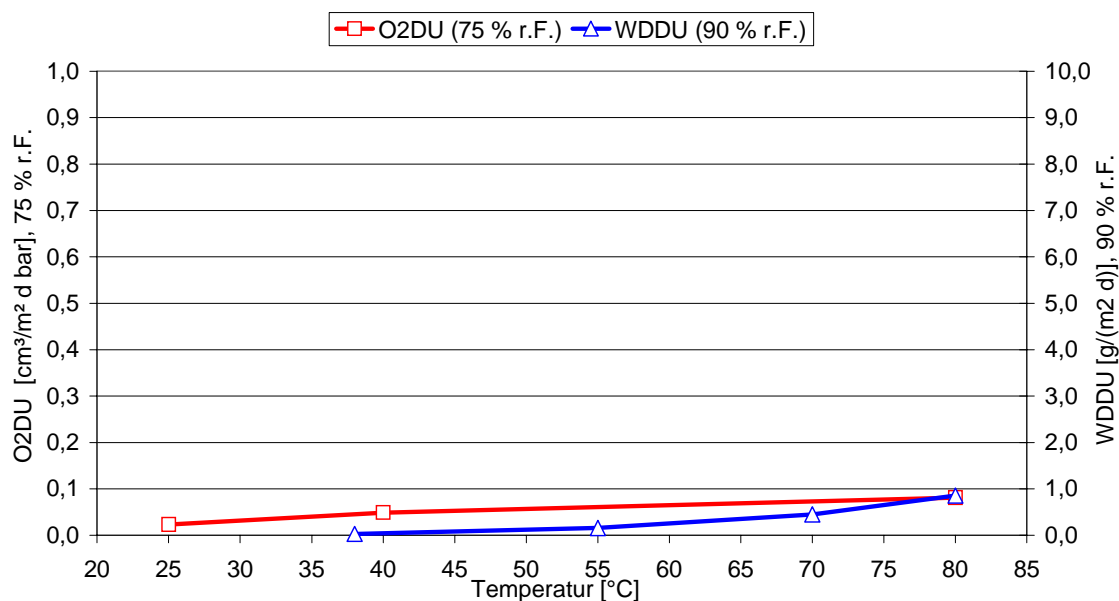


Bild 2: Optimierte Barrierefolien für den Baubereich: Covexx BE M DL 165 B2

Eine Hürde bei der Weiterentwicklung von Barrierefolien stellt ohne Frage die Messung der Durchlässigkeiten dar. Sowohl die Messung der Wasserdampfdurchlässigkeit als auch die der Sauerstoffdurchlässigkeit ist ein sehr zeitintensiver Prozess (mehrere Tage pro Temperaturpunkt) welche zudem ein hohes Maß an Erfahrung verlangt. So ist z.B. zu beachten, dass die Probe entsprechend der Anwendung eingespannt wird. Bei den VIP-Folien heißt dies, dass außen Umgebungsdruck (ca. 1 bar) und die entsprechende Feuchte angelegt wird. Dies klingt zwar banal, ist aber entscheidend bei der Messung und kann dass Ergebnisse entscheidend beeinflussen. Des Weiteren, sind die heutigen gängigen Geräte an Ihrer Messgrenze angelangt.

1.1 Mechanische Eigenschaften

Bei den mechanischen Eigenschaften ist, neben einer guten Verbundhaftung der einzelnen Lagen, eine saubere Siegelung notwendig. Hierbei spielt zum einen die Erfahrung des Verarbeiters eine entscheidende Rolle und zum anderen die Auswahl der Siegelschicht. Da bei den meisten VIPs der Kern aus gepresster pyrogener Kieselsäure besteht, die staubig ist, muss zu jedem Zeitpunkt gewährleistet sein, dass sich keine Körner in der Siegelnaht befinden. Andernfalls könnte an dieser Stelle eine erhöhte Permeation eintreten, die evtl. erst nach mehreren Tagen oder Wochen sichtbar ist. Allerdings sollte die Siegelschicht auch in einem breitem Temperatur/Druck und Zeit-Fenster siegelfähig sein.

Eine weitere notwendige Eigenschaft, ist die Erzielung einer ausreichenden Durchstoßfestigkeit. Hierbei ist aber zu beachten, dass die Messung von außen nach innen durchgeführt werden muss, da eine Schädigung der Folie primär von außen eintritt, wie z.B. durch Kratzer oder Stöße.

1.2 Baustoffklasse B2

Ein sehr entscheidender Unterschied im Anforderungskatalog für Hoch-Barrierefolien im Bauwesen im Gegensatz zum Einbau in einem Kühlschrank ist die Erfüllung der Baustoffklasse B2 nach DIN 4102 [NN98]. Hierbei ist zu beachten, dass nicht die Barrierefolie alleine geprüft wird, sondern das komplette VIP. Würde die Barrierefolie alleine geprüft werden, so stellt die Erfüllung der Baustoffklasse B2 keine allzu schwierige Aufgabe dar. Wird aber das komplette VIP geprüft, so liegen andere Randbedingungen vor. Durch die Tatsache, dass der Kern des VIPs ein schlechter Wärmeleitträger ist, wird die entstandene Hitze nicht abgeführt und bleibt lokal an der Stelle vorhanden. Hierdurch erfährt die Folie eine unweit höhere thermische Beanspruchung im Vergleich zu einer Prüfung ohne Stützkörper.

Die Prüfung eines VIPs gestaltet sich vereinfacht gesprochen so, dass eine definierte Flammengröße auf die sensibelste Stelle (Kantenbeflammung) bei einem VIP gerichtet wird. Diese Flamme wird 15 Sekunden auf das VIP gerichtet und in den darauf folgenden 20 Sekunden, darf die Flammenspitze eine definierte Höhe nicht überschreiten.

Im Zuge von zahlreichen Versuchsreihen, hat die Firma Wipak eine Folie entwickelt, die die Anforderungen der Baustoffklasse B2 nach DIN 4102 erfüllt (Covexx BE M DL 165 B2). Hierbei wurden keine Kompromisse zu den weiteren geforderten Eigenschaften wie Durchlässigkeiten und Lebensdauer gemacht. Es handelt sich vielmehr um eine Weiterentwicklung einer bis dato schon erfolgreichen Hochbarrierefolie mit dem ad on der Erfüllung der Baustoffklasse B2.

1.3 Alkalische / Säurehaltige Umgebung

Da im Baubereich auch stark alkalischen Umgebungen vorhanden sein können, muss dies bei der Betrachtung berücksichtigt werden. So weist Zement einen ph-Wert von 14 auf. In diesem Zusammenhang ist der kritische Punkt an der Naht/Schnittkante der Folie zu sehen. Hier kann durch ein Penetrieren des Zements in den Schnittbereich eine Auflösung der metallisierten Schicht erfolgen, dies würde eine Delamination der Folie nach sich ziehen und somit einen verfrühten Ausfall bedeuten. Dies kann durch ein einfaches Umkleben der Schnittkanten vermieden werden, wobei erste Einbauten den Erfolg dieser einfachen Möglichkeit aufgezeigt haben.

Wichtig ist zudem auch die Kompatibilität mit sonstigen Baumaterialien (Klebern, Putz, ...). Also auch die Fragestellung wie wird das VIP befestigt. Dies sind im Moment noch Fälle, die durch eine intensive Kommunikation zwischen Anwender, VIP-Produzent und Folien-Lieferant abgestimmt werden müssen.

1.4 Wärmeleitfähigkeit

Die Wärmeleitfähigkeit des VIPs wird neben dem Kern auch entscheidend durch die Folie bestimmt. Hierbei gibt es unterschiedliche Folienkonzepte:

- Barrierefolien die eine konkrete Aluminiumschicht enthalten
- Barrierefolien auf reiner polymerer Basis
- Barrierefolien auf metallisierte oder beschichtete mehrlagige Verbundsysteme

- In sehr wenigen Anwendungsfälle auch Hybridsysteme

Barrierefolien mit Aluminium enthalten wie der Name schon sagt immer eine Aluminiumfolie im Kern der Folie. Diese Aluminiumfolie ist zwischen 5µm und 25µm dick, typischerweise zwischen 7µm und 12µm. Somit liegt hier der Nachteil der hohen inhärenten thermischen Leitfähigkeit des Aluminiums vor, die einen Teil der durch die VIP erzielten Isolationseigenschaften wieder verbraucht. Bei einer metallisierten Barrierefolie liegen mehrere einzelne (bis zu drei) metallisierte Folien vor, hierbei beträgt die Gesamtstärke der metallisierten Schicht ca. 100-300 nm. Durch diese dünnen metallisierten Schichten wird eine ausreichende Barriere erzielt und somit stellen metallisierte Folien die am häufigsten eingesetzten Folien im VIP-Bereich dar.

Barrierefolien auf rein polymerer Basis, haben zwar den Vorteil, dass sie zum Teil tiefziehfähig sind und eine optische Transparenz aufweisen, allerdings liegen die Nachteile in den hohen Dicken der Folien um die notwendige Barriere zu erzielen und in dem starken Anstieg der Permeation bei erhöhter Temperatur und Luftfeuchtigkeit.

1.5 Aufbau der Folien

Der prinzipielle strukturelle Aufbau der Folien, hat sich in den letzten Jahren nicht verändert und kann in der entsprechenden Literatur entnommen werden [Ja03, Br02]. Egal ob die funktionale Barrierschicht nun eine Aluminiumfolie, metallisierte Folie(n) oder eine polymere Folie(n) ist, so kann der Aufbau vereinfacht wie folgt dargelegt werden. Nach außen liegt ein Substrat, welches für die Anbindung an die Umgebung verantwortlich ist. Dies kann u.a. sowohl Polyester, Polypropylen oder auch Polyethylen sein, wobei hierbei die Randbedingungen sehr entscheidend sind. Als Siegelschicht dient in der Regel ein Polyethylen mit den Anforderungen wie zuvor beschrieben.

1.6 Fertigung

Die Fertigung von Hochbarrierefolien verlangt ein hohes Maß an technischem Know-how. So dürfen die metallisierten Folien bei der Kaschierung auf der einen Seite einer nicht zu hohen Dehnung unterworfen werden, aber auf der anderen Seite muss die Bahnspannung so hoch gewählt werden, dass ein faltenfreies Aufwickeln realisiert wird. Allerdings kann nicht geleugnet werden, dass zwangsläufig bei jeder Kaschierstufe eine Schädigung der Folie eintritt. Wäre dies nicht der Fall, so würde sich die Gesamtpermeation der Verbundfolie durch eine einfache Addition der Einzelpermeationraten ergeben. Somit könnte in Anlehnung einer Reihenschaltung aus der Elektrotechnik die Gesamtpermeation berechnet werden.

Die heutigen Hochbarrierefolien für VIPs stellen die Premiumklasse bei den Verbundfolien dar, da die Anforderungen sehr komplex sind. All dies führt dazu, dass es nicht die eine VIP-Folie gibt. Es muss vielmehr genau auf die Anforderungen geschaut werden. Die Firma Wipak Walsrode bietet hierbei anwendungsspezifische Hochbarriere-Folien an, die teilweise schon jahrelang in entsprechenden Bereichen ihre Anwendung finden (Tabelle 1). Allerdings ist, wie bei fast jeder technischen Anwendung, im Bereich der Hochbarriere-Folien vor dem Einsatz ein genaues Anforderungsprofil zu definieren.

Tabelle 1: Auflistung der Hoch-Barriere-Folien von Wipak Walsrode

COVEXX	Eigenschaften	Siegelung	WVTR [g / m ² d] (38 °C, 90 % r.F.)	OTR [cm ³ / m ² bar d] (23 °C, 0 % r.F.)
BE M DL 105	Langlebige VIPs z.B. Kühlschrank	a/a	0,05	0,01
BE M DL 110	Kurzlebige VIPs z.B. Kühlboxen	a/b	0,07	0,05
1.6.1.1 <i>BE M DL 165</i>	Langlebige VIPs z.B. Haus-Isolierung	a/b	0,03	0,01
1.6.1.2 <i>BE M DL 165 B2</i>	Langlebige VIPs, Erfüllung der Baustoffklasse B2 z.B. Haus-Isolierung	a/b	0,04	0,01
1.6.1.3 <i>BE M DL 165 S</i>	Langlebige VIPs, hohe Temperaturstabilität	a/b	0,03	0,01
1.6.1.4 <i>BE M DL 135 I</i>	Langlebige VIPs, Hohe Anbindung zu EPS-Schaum	a/a	0,04	0,01
1.6.1.5 <i>AL P 85</i>	Folien mit einer Barrierschicht aus Aluminium z.B.: VIPs in denen der Randeffect eine untergeordnete Rolle spielt	a/a	n.m.	n.m.

n.m.: nicht messbar, a: VIP Innere-Seite, b: VIP Äußere-Seite

5 Zusammenfassung

Im Bereich der Hoch-Barrierefolien für VIPs konnten in den letzten Jahren entscheidende Schritte gemacht werden. So wurden durch eine kontinuierliche Weiterentwicklung die Durchlässigkeiten auch bei höheren Temperaturen entschieden gesenkt und es konnten neue Anwendungsfelder erschlossen werden. Durch das erfüllen wichtiger gesetzlicher Vorschriften (Baustoffklasse B2 nach DIN 4102) ist ein weiterer entscheidender Schritt getätigt worden um VIPs auch im Baubereich zu etablieren. Allerdings bedarf es nun auch einer Implementierung dieser neuen VIP-Folien in den entsprechenden Anwendungsgebieten.

Die Firma Wipak Walsrode hat auf dem Gebiet der Hochbarriere-Folien ein hohes Maß an Wissen, welches auf Grund der jahrelangen Erfahrung in diesem Gebiet aufgebaut wurde. Auch in Zukunft wird sich Wipak Walsrode mit der Herstellung und Weiterentwicklung von Barrierefolien für Hochisolationswerkstoffe beschäftigen. Denn die bis dato installierten VIPs machen Mut für die Zukunft und stellen mit Sicherheit ein innovatives und gleichzeitig interessantes Dämmmaterial da.

6 Literatur

- [Br02] Brandt, R.; Vakuum-Isolations-Paneele eine anspruchsvolle Anwendung für Sperrschichtfolien?, SKZ-Fachtagung, Würzburg, 24.-25. September 2002
- [Ja03] Jacobsen, S.; Hochbarrierefolien für Vakuum-Isolationspaneele - eine Übersicht - Vip-Bau 2003, 1. Fachtagung Rostock-Warnemünde, 10.-11. Juli 2003
- [Mo05] N.N.; 9th International Mocon Seminar – New Developments in Gas and Water Vapor Permeation Testing, 15.03.2005, Koblenz
- [NN98] N.N.; Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen, Teil 1: Baustoffe – Begriffe, Anforderungen und Prüfungen, DIN 4102-1, Beuth Verlag, Berlin

Dr.-Ing. Dirk Kaczmarek

Wipak Walsrode GmbH & Co. KG

Postfach 1661

29656 Walsrode

Tel.: 05161/44-2661

Fax: 05161/44-142661

E-Mail: dirk.kaczmarek@wipak.com

Internet: <http://www.wipak.com>

Vakuumisolationspaneele aus hygrothermischer und akustischer Sicht

Lenz, K.; Leistner, PhL.; Sedlbauer, K.; König, N. - Fraunhofer-Institut für Bauphysik

1 Einleitung

Der Einsatz und die Nachfrage von Vakuumisolationspaneelen im Bauwesen steigt immer mehr an. Aus thermischer Sicht betrachtet bringt dieser Dämmstoff einen großen Vorteil, da durch die geringe Wärmeleitfähigkeit die Dicke des Paneels im Vergleich zu herkömmlichen Dämmstoffen erheblich reduziert werden kann. Für die Bauphysik ist nicht nur der Wärmeschutz, sondern auch der Feuchte- und Schallschutz wesentlich. Deshalb soll für den Einsatz von VIP die hygrothermische und akustische Seite betrachtet werden, um zu klären, ob beim Einsatz von VIP Probleme auftauchen können. Abschließend wird kurz die Situation bzgl. der bauaufsichtlichen Zulassung von VIP angesprochen.

2 Hygrothermische Untersuchungen

Vakuumisolationspaneele weisen eine sehr geringe Wärmeleitfähigkeit und bedingt durch deren Aufbau einen sehr hohen Wasserdampf Widerstand auf. Dies bedeutet, dass ein Wasserdampftransport durch das Material nicht möglich ist. Somit kommt Diffusion durch den Dämmstoff nicht zustande. Aufgrund dieser Eigenschaft ist beim Einsatz dieses Dämmstoffes darauf zu achten, dass durch den Feuchte-austausch zwischen Innen- und Außenluft kein Tauwasser oder kritische Feuchtelasten in der Konstruktion entstehen. Da Untersuchungen von VIP bei unterschiedlichen Einsatzgebieten und Einbausituationen unter realen Bedingungen zeitaufwändig und kostenintensiv sind, wurden einige typische Anwendungsgebiete im Bauwesen rechnerisch untersucht.

Rechnerische Untersuchungen

Für die rechnerische Beurteilung der feuchtetechnischen Verhältnisse in Bauteilen, bei denen VIP zur Verwendung kommt, wurde das am Fraunhofer-Institut für Bauphysik entwickelten und mehrfach verifizierten Berechnungsverfahren WUFI®-1D (Wärme- und Feuchte instationär - eindimensional) [1] eingesetzt. Betrachtet wird dabei die zeitliche Entwicklung der Wassergehaltsverteilung im gesamten Bauteil und in den einzelnen Materialschichten nach einer Sanierung. Beobachtet wird ferner der Verlauf der Temperatur und der relativen Feuchte an möglichen kritischen Stellen innerhalb der Konstruktion, die im Folgenden als Monitorpositionen bezeichnet werden. Der untersuchte Zeitraum beträgt fünf Jahren.

Untersuchte Konstruktionen mit VIP

Bei Gebäudesanierungen findet die Verwendung von Vakuumisolationspaneelen immer größeren Einsatz. Bei dieser Anwendung wird die Dämmung oft als Innendämmung aufgebracht; einerseits damit die historische Fassade erhalten bleibt und andererseits, weil durch die geringe Wärmeleitfähigkeit ($\lambda = 0,004 \text{ W/(mK)}$ [2]) des Materials die Dicke für die Dämmung im Vergleich zu herkömmlichen Produkten bis auf ein Zehntel reduziert werden kann. Eine Alternative ist der Einsatz als Außendämmung. Nachfolgend sind für diese beiden Einsatzgebiete das feuchtetechnische Verhalten der Baustoffe untersucht. Es wird ein Vollziegelmauerwerk untersucht, wobei der Einfluss einer Innen- oder Außendämmung dargestellt wird. Die Konstruktion ist in Tabelle 1 beschrieben.

Tabelle 1: Beschreibung der untersuchten Wandkonstruktion.

Variante 1: mit Außendämmung	Variante 2: mit Innendämmung
außen: Zementputz 5 mm VIP – Dämmung 40 mm Vollziegelmauerwerk Gipsputz 15 mm	außen: Zementputz 5 mm Vollziegelmauerwerk VIP – Dämmung 40 mm Gipsputz 15 mm

Bei der Berechnung wird davon ausgegangen, dass in der Wandkonstruktion (Vollziegelmauerwerk), die nach Westen orientiert ist, eine Ausgleichsfeuchte von 80 % vorliegt. Als Außenklima werden Stundenwerte eines typischen Jahres von Holzkirchen und ein normales Innenraumklima [3] angesetzt. Der Berechnungszeitraum beginnt im Januar. Aus Vergleichszwecken wird das Vollziegelmauerwerk bei beiden Varianten als identisch angenommen.

Ergebnisse

Die für eine Außenwand mit Vollziegelmauerwerk ermittelten Ergebnisse sind in Bild 1 dargestellt. Es sind die Wassergehaltsverläufe, die sich im Laufe der Jahre im Vollziegelmauerwerk einstellen, abgebildet.

Die Berechnung zeigt einen deutlichen Unterschied im hygrothermischen Verhalten zwischen einer Innendämmung und einer Außendämmung. Bei einer Außendämmung kommt es zur einer leichten Austrocknung der Konstruktion. Der Wassergehalt der Konstruktion mit einer Innendämmung nimmt im Gegensatz dazu kontinuierlich und stark zu. Ein Grund dafür ist, dass durch die Verwendung einer Innendämmung das Austrocknungsverhalten der Konstruktion nach einem Schlagregenereignis gravierend beeinflusst wird [4]. Die Feuchte kann in diesem Fall nicht nach innen, also zur Raumseite, austrocknen. Hinzu kommt, dass durch die Innendämmung das Temperaturniveau der Ziegelwand abgesenkt wird. Damit wird auch die Trocknung nach außen verringert. Dadurch kommt es zu einer Feuchteakkumulation. Nach fünf Jahren wird im betrachteten Fall ein Wassergehalt von 60 kg/m^3 erreicht.

Aus feuchtetechnischer Sicht ist der Grenzbereich zwischen Dämmung und Mauerwerk eine kritische Stelle. Je nach Temperatur- und Feuchteverhältnissen kann Schimmelpilzbewuchs dort auftreten. Für diese Stelle sind in Bild 2 die jeweiligen Verläufe der Temperatur und relativen Luftfeuchte dargestellt. In beiden Fällen liegt die Monitorposition in der Oberflächenschicht des Mauerwerks, die an die Dämmschicht angrenzt.

Es zeigt sich deutlich, welchen Einfluss die Lage der Dämmschicht auf die Temperatur- und Feuchteverhältnisse direkt an der Materialgrenze zwischen Dämmung und Mauerwerk hat. Bei einer Außendämmung kann das innenliegende Mauerwerk nach innen hin etwas austrocknen und wird im Laufe der Jahre trockener. Zudem spiegelt sich an dieser Stelle die Temperaturschwankung des Innenraums wieder. Bei einer Innendämmung wird das Temperaturniveau des außen liegenden Mauerwerks dagegen durch das Außenklima stark beeinflusst. Die Temperaturen schwanken bei einer Innendämmung jahreszeitlich bedingt zwischen ca. 8 bis 25°C , im Vergleich dazu liegen die Temperaturen bei einer Außendämmung nur zwischen $15 - 25^\circ\text{C}$. Nicht nur die Temperaturschwankungen an der Materialgrenze zwischen Mauerwerk und Dämmung sind sehr unterschiedlich, sondern auch die Feuchteverhältnisse. Bei einer Innendämmung kommt es an der Materialgrenze nach ca. 2 Jahren zu einem starken Feuchteanstieg. Es besteht das Risiko bei einer Konstruktion mit Innendämmung, dass an der Materialgrenze zwischen Mauerwerk und Dämmung Schimmelpilz wachsen kann. Um das Schimmelpilzwachstum an dieser Stelle zu beurteilen, wurde mit dem biohygrothermischen Berechnungsmodell WUFI®-Bio [5] diese Schichtgrenze in Hinblick auf Schimmelpilzwachstum untersucht. In Bild 3 ist das berechnete Wachstum von Schimmelpilzen angegeben. Hier zeigt sich, dass es nach ca. zwei Jahren zu einem deutlichen Bewuchs kommen könnte.

Zusammenfassung der Berechnungsergebnisse

Bei der eindimensionalen Betrachtung der hygrothermischen Einflüsse auf die Konstruktion beim Einsatz von Vakuumisolationspaneelen zeigen sich bei Außendämmungen keine Probleme aus feuchte-technischer Sicht. Die Konstruktion kann gut nach innen austrocknen und die Feuchtebelastung von außen wird deutlich reduziert. Allerdings muss beachtet werden, dass bei vorhandener Baufeuchte z. B. bei einem Neubau kein Trocknungsvorgang durch die Wandkonstruktion nach außen möglich ist. Um in diesem Fall Feuchteschäden und Schimmelpilzbewuchs zu vermeiden muss in den ersten 1 bis 2 Jahren ein vermehrtes Lüften erfolgen. Ein zusätzlicher Vorteil dieser Variante im Vergleich zur Innendämmung ist, dass für den sommerlichen Wärmeschutz auf der Rauminnenseite durch diesen Konstruktionsaufbau eine sehr große Speichermasse der Wand zur Verfügung steht, durch die Hitzespitzen gepuffert werden können.

Bei dem Einsatz von Vakuumisolationspaneelen als Innendämmung kann es, wie die Ergebnisse zeigen zu Problemen mit hohen Materialfeuchten und Schimmelpilzwachstum in der Konstruktion kommen. Da der Einsatz von Innendämmungen aus VIP in einigen Fällen aber gewünscht ist, sollten einige wichtige Punkte bei der Verwendung beachtet werden. Damit der Feuchteintrag in die Konstruktion durch die Außenrandbedingungen möglichst gering gehalten werden kann, sollte die äußere Fassade-schicht einen guten Feuchteschutz aufweisen (Hydrophobierung, Wasser abweisender Putz, o.ä.). Durch diese Maßnahme wird die Feuchteaufnahme in die Konstruktion vermieden und somit das Risiko von Frostschäden im außenliegenden Mauerwerk wie auch von Schimmelpilzwachstum reduziert.

Die Ergebnisse dieser Untersuchung zeigen, dass der Einsatz von Vakuumisolationspaneelen je nach Verwendung zu Problemen führen kann. Dies bedeutet, dass für den Einsatz der VIP eine genaue Betrachtung der Feuchtesituation unbedingt erforderlich ist. Im Allgemeinen können dann durch konstruktive oder bauphysikalische Maßnahmen mit vertretbarem Aufwand Bauschäden vermieden werden.

Es ist aber zu beachten, dass vor allem bei den Materialübergängen an den Stoßstellen der Vakuumdämmpaneele durch Wärmebrücken feuchte-technische Probleme auftreten können. Diese können in Zukunft mithilfe aufwändigerer zweidimensionaler Berechnungen analysiert werden.

3 Vakuumisolationspaneele aus akustischer Sicht

Auch der akustische Reiz eines fehlenden (Schall-) Ausbreitungsmediums, noch dazu in lokal begrenztem Umfang, ist zweifellos sehr groß. Zuerst gehen dabei die Überlegungen in Richtung Schalldämmung, d.h. dem Schutz mit VIP in Gebäudefassaden oder Maschinenkapseln vor einfallendem oder austretendem Lärm. Da die mittlerweile bestehenden Berechnungswerkzeuge, z. B. [6] zur Bestimmung der Schalldämmung von ebenen Bauteilen an sich mit beliebigen Eingangsdaten gefüttert werden können, lässt sich ein unendlich großes (Ideal-) VIP theoretisch behandeln. Die Schalldämmungswirkung derartiger „Doppelschalen“ ist erwartungsgemäß enorm. Spätestens an dieser Stelle setzt jedoch die Realität des praktisch Möglichen ein, da zahlreiche Begrenzungen zu beachten und zu akzeptieren sind.

Schalldämmung von Vakuum-Isolationspaneelen

Eine wesentliche Abweichung vom unendlichen VIP ist, dass entlang der Paneelflächen sowie an den seitlichen Rändern die Einzelplatten auf Abstand gehalten werden müssen. Die Anregung, Übertragung und Abstrahlung von Körperschall an den entsprechenden Stellen ist dadurch unvermeidbar, kann bestenfalls reduziert werden. Auch von anderen Bauteilen bzw. Bauweisen ist die Bedeutung der Randbedingungen und damit auch des Formats gut bekannt. Ebenso wird im Fall des VIP die Gesamtkonstruktion voraussichtlich sehr steif, das gilt sowohl für die Einzelplatten als auch für die Doppelschale. Neben Eigenschwingungen der Platten folgen aus hoher Biegesteifigkeit mehr und mehr tieferfrequente Koin-

zideneffekte und entsprechende Einbrüche der Schalldämmung. Hinzu kommen die nicht nur akustisch relevanten Fragen der langlebigen Dichtigkeit etc., die allesamt zu Vakuum-Bauteilen führen, welche doch weit vom eingangs skizzierten Ideal entfernt liegen. Es stellt sich die Frage nach einem Vergleich ihrer Schallschutzwirkung mit derjenigen von konventionellen Plattenbauteilen. Bild 4 zeigt dazu eine zwar nicht sehr detaillierte, aber dafür den Stand der Technik umfassend repräsentierende Gegenüberstellung. Die Bauteileigenschaft, die sicher vorrangig mit der Schalldämmung in Verbindung gebracht wird, ist die flächenbezogene Masse. Als Anhaltspunkt in diesem Sinne lässt sich für einschalige Bauteile deshalb das so genannte Massegesetz verwenden, das zu einer Beziehung zwischen Schalldämmung und Flächenmasse gemäß der (durchgezogenen) Kurve in Bild 4 führt. Die große Punkte-schar (●) gibt die jeweiligen Wertepaare für Bauteile wieder, die sich durchaus als Standardbauteile bezeichnen lassen. Dazu zählen Metall-, Holzwerkstoff-, Kunststoff- und Gipskartonplatten, aber auch mehrschalige und mehrlagige (Sandwich-) Konstruktionen, bei denen bekanntermaßen noch andere akustische Einflussgrößen als nur die flächenbezogene Masse bestehen; also eine breite Auswahl, die in sich bereits große Unterschiede trägt. Dies bedeutet, dass zwischen Bauteilen mit gleicher flächenbezogener Masse sich die bewerteten Schalldämm-Maße um mehr als 20 dB unterscheiden können. Andersherum betrachtet kann mit Bauteilen, die um 40 kg/m² leichter sind, das gleiche Schalldämm-Maß erreicht werden.

In jedem Fall enttäuschend fällt der Vergleich mit zwei unterschiedlichen Repräsentanten der VIP (■) aus. Trotz ihrer Mehrschaligkeit liegen sie noch fast 10 dB unterhalb der entsprechend ihrer flächenbezogenen Masse zu erwartenden Schalldämmung. Einige Anhaltspunkte für die Folgen der bereits angedeuteten konstruktiven Ausführung liefern die frequenzabhängigen Schalldämmkurven in Bild 5. Auch hier dient ein Vergleich, in diesem Fall mit einem schalltechnisch keineswegs überdurchschnittlichen Standardbauteil (16 mm Spanplatte), der Einordnung. Ihrer flächenbezogenen Masse in etwa entsprechend, startet die Schalldämmung mit dem noch üblichen Anstieg bei tiefen Frequenzen bis etwa 400 Hz. Im Vergleich zum koinzidenz-bedingten Einbruch der Spanplatte bei ca. 2000 Hz, zeigen sich bei den VIP Minima, die sowohl bei tieferen Frequenzen auftreten als auch mit deutlich niedrigeren Schalldämmwerten verbunden sind. Ohne weitere Ursachenforschung liegen hier ganz klar Schwächen derartiger Bauteile.

In erster Konsequenz bedeuten diese schalltechnischen Eigenheiten von VIP entweder Zusatzaufwand bei einer akustisch anspruchsvollen Gesamtkonstruktion oder die Beschränkung auf Einsatzfälle ohne Schallschutzansprüche. Das theoretische Potenzial ist also in der Praxis noch nicht angekommen. In Zukunft wird jedoch eine Annäherung an diese Möglichkeiten stattfinden und akustische Eigenschaften von VIP werden nicht nur der Vollständigkeit halber bei Zulassungsfragen [7] zu Fassadenbauteilen oder Trittschalldämmelementen von Bedeutung sein.

Andere akustische Anwendungen für Vakuum-Bauteile

Die Schalldämmung von Trennbauteilen ist allerdings auch nur ein denkbarer Anwendungsfall für VIP. Aus akustischer Sicht geht es hierbei darum, einfallenden Schallwellen einen möglichst hohen Widerstand entgegenzusetzen, wobei natürlich auch Dämpfungseffekte erwünscht sind. Bei Schalldämpfern in Kanälen etwa ist die Situation anders, da der Schall überwiegend absorbiert werden sollte. Poröse und meist auch voluminöse Kulissen bilden dabei nur eine Variante. Schlanke Resonanzschalldämpfer, z. B. auf der Basis von Helmholtz-Resonatoren oder Plattenschwingern, sind im Vergleich dazu wirksamer und platzsparend. Doch auch Plattenschwinger oder die einfacheren Masse-Feder-Systeme (siehe Bild 6) benötigen hinter den schwingfähigen Platten ein abgeschlossenes Luftkissen. Könnte dessen Größe deutlich reduziert werden, wäre dies von Vorteil.

Die Resonanzfrequenz f_0 eines Masse-Feder-Systems (Bild 6a) ergibt sich bei einigen vereinfachenden Annahmen aus der flächenbezogenen Masse m' und der Nachgiebigkeit $n' = d/(pc^2)$ z. B. der Luftfeder wie folgt, Bild 6b:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \frac{1}{\sqrt{m' \frac{d}{\rho c^2}}} \quad (1)$$

f_0	Resonanzfrequenz
m'	flächenbezogene Masse
ρ	Dichte
c	Schallgeschwindigkeit
d	Dicke des geschlossenen Luftkissens (Feder) hinter der Masse, z. B. Platte.

Um den Resonator auf die besonders schwierig zu dämpfenden tiefen Frequenzen abzustimmen, sind Masse oder Nachgiebigkeit zu erhöhen. Eine ausreichend hohe Nachgiebigkeit lässt sich üblicherweise durch ein dickes Luftkissen erreichen. Wird im Luftkissen auch ein Unterdruck bis hin zum Vakuum mit in Betracht gezogen, können die akustisch relevanten Gaseigenschaften bei der Abstimmung ausgenutzt werden. Mit dem Druck p im (Luft-) Hohlraum gilt für die Dichte:

$$\rho = \frac{p}{RTZ} \quad (2)$$

R	Gaskonstante
T	Temperatur
Z	Realgasfaktor

Mit sinkendem Druck verringert sich gleichfalls die Dichte mit entsprechenden (theoretischen) Folgen für die Resonanzfrequenz. Im fast vollständig evakuierten Fall kann daher die Luftfeder vernachlässigt werden, so dass eine Federwirkung nur noch durch die mechanische Randeinspannung bewirkt wird (Bild 6). Gegebenenfalls kommen Eigenschwingungen der Platte hinzu, die von deren Format und den elasto-dynamischen Materialeigenschaften abhängen. Einen Vergleich der Schallabsorption von Masse-Feder-Systemen und an sich gleich aufgebautem Plattenschwingern mit allerdings anderen Randbedingungen (Einspannung) und ohne evakuiertem Hohlraum zeigt Bild 7 [8]. Die Resonanzkurven sind zwar schmalbandiger, erreichen dafür aber bei viel tieferen Frequenzen ihre höchste Wirkung als ein poröser Absorber mit etwa gleichem Volumen.

Mit Bezug auf die oben erläuterte hohe Biegesteifigkeit von ausgeführten Vakuum-Paneelen infolge Aussteifungen etc. scheint die akustische Nützlichkeit des Masse-Vakuum-Systems nur gering zu sein. Dies hängt jedoch erheblich von der tatsächlich gewählten Gestaltung ab, und ob bei dieser Gestaltung (vibro-) akustische Aspekte berücksichtigt werden. Ist dies der Fall, können die Systeme, wie z. B. in Bild 6c gezeigt, sehr wirksam zur Schallabsorption und Schalldämpfung eingesetzt werden [9]. Die klotzenartige Form der massebehafteten Platte bei gleichem Druck vor und hinter der Platte verändert sich bei evakuiertem Hohlraum gemäß Bild 6c und ist in dieser Gestalt schwingfähig. Das entsprechende Absorptionsverhalten bleibt typisch für Resonanzsysteme mit mehreren Einzelresonanzen (Eigenschwingungen). Die Vorteile liegen auch gar nicht so sehr im Absorptionsspektrum, sondern in der schlanken Bauweise, der robusten Konstruktion sowie in der (meist) metallischen und damit reinigbaren Oberfläche. Diese Kombination kann z. B. bei Schalldämpfern in Lüftungs- und Abgaskanälen eine vielfach hinterfragte Alternative bieten.

4 Ausblick: Zulassung von VIP

In von der Bauaufsicht (DIBt) anerkannten und vom DAP akkreditierten Prüfstellen sowie bei Neuentwicklungen im Rahmen von Zulassungsverfahren werden Wände, Dächer, Mehrscheiben-Isolierglas, Fensterrahmen, Rollladenkästen etc. untersucht und bewertet. Doch vor allem beim Wärme-, Feuchte- und Schallschutz sind Dämmstoffe für die Leistungsfähigkeit moderner Bauteile wie VIP sowie die Fugen und Anschlüsse zwischen diesen Bauteilen wichtig und werden selten zusammen mit den ganzen Bauteilen geprüft. Da die gesetzlichen Vorgaben in den Bauordnungen der Länder sowie den dazugehörigen Normen und Richtlinien, auf den Schutz des Gebäudes und Bewohners abzielen (z.B. bei Hygiene, Gesundheit, Mindestwärmeschutz, wirtschaftlicher Wärmeschutz, Schallschutz etc.) sind nicht allein die Baustoffe wie Dämmstoffe in den VIP zu bewerten, sondern das jeweilige Bausystem (Dach, Wand etc.)

Die klassischen, genormten Dämmstoffe wie Mineralwolle, EPS-Hartschaum, Holzfaserplatten etc. sind in den gültigen Produktnormen der Serie DIN EN 13162, 13163 bis 13171 beschrieben. Alle anderen Dämmstoffe, also auch VIP, sind nicht genormte Dämmstoffe und benötigen deshalb für die Verwendung nach den Landesbauordnungen (LBO) eine allgemeine baurechtliche Zulassung des Deutschen Instituts für Bautechnik, Berlin oder für konkrete Bauvorhaben eine Zustimmung im Einzelfall durch die benannten Stellen der Länder.

Die Kriterien für den Nachweis der Brauchbarkeit von VIP sind im Prüfprogramm des DIBt enthalten (Bild 8). Die Nachweise für die Funktionssicherheit der VIP-Dämmsysteme sind im Sachverständigenausschuss des DIBt noch nicht vorgelegt; deshalb konnte auch noch keine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung für ein VIP-Dämmsystem ausgesprochen werden.

Die aus wissenschaftlicher Sicht auch bei VIP noch nicht abgeschlossene Frage ist die unterschiedliche Bewertung der Bauteile mit Dämmstoffen unterschiedlicher Stoffart (mit Vakuum, Additiven und Schutzmitteln), Bauanschlüssen oder Fugenbereichen: wie verhalten sich die Stoffe nach 30 Jahren, wozu gehört die „Fuge“ d.h. Schwachstelle im gealterten Zustand? Vakuum-Dämmung „altert“, Fugenbereiche und Dichtstoffe verspröden, Folien können beschädigt werden. Die Berechnungen mit Stoffwerten aus den üblichen Kennwerte-Tabellen als Bemessungswerte (früher Rechenwerte) ergeben i.a. höhere (schlechtere) U-Werte, da die im Probekörper bei den Messungen im Labor eingebauten Dämmstoffe i.a. „fabrikfrisch“, trocken und somit „ohne Zuschlag für die Nutzung“ sind. Hierzu sind für die Übertragung der europäischen Regeln noch weitere Abstimmungen mit der Bauaufsicht nötig, da die bisherigen EN-Normen und europäischen Zulassungen (ETAs) zu der Forderung aus der BPR, die Erfüllung der sechs wesentlichen Anforderungen "über einen wirtschaftlich angemessenen Zeitraum bei normaler Instandhaltung" d.h. der Dauerstandsfestigkeit nichts oder wenig aussagen.

Literatur

- [1] Künzel, H. M. (1994): Verfahren zur ein- und zweidimensionalen Berechnung des gekoppelten Wärme- und Feuchtetransports in Bauteilen mit einfachen Kennwerten. Dissertation Universität Stuttgart.
- [2] www.va-Q-tec.de: *Der Innovationssprung in der Wärmedämmung*.
- [3] Künzel, H.M. (1997): *Raumluftfeuchteverhältnisse in Wohnräumen*. IBP-Mitteilung 314.
- [4] Krus, M.; Sedlbauer, K.; Künzel, H. (2005): *Innendämmung aus bauphysikalischer Sicht*. Beitrag bei Fachtagung „Innendämmung - eine bauphysikalische Herausforderung“ im HBZ Münster.
- [5] Sedlbauer, K.; Krus, M. (2003): *Schimmelpilze in Gebäuden – Biohygrothermische Berechnungen und Gegenmaßnahmen*. Bauphysik-Kalender 2003, Ernst und Sohn Verlag, Berlin, S. 435-531.
- [6] Maysenhölder, W. (1999): LAYERS – Ein Werkzeug zur Untersuchung der Schalldämmung von Platten aus homogenen anisotropen Schichten. IBP-Mitteilung 26 (1999), Nr. 347.
- [7] Gellert, R. (2003): Bauaufsichtliche Anforderungen an Dämmstoffe am Beispiele von Vakuumdämmplatten. Tagungsband 1. Fachtagung VIP-Bau, 2003.
- [8] Leistner, P.; Fuchs, H. (2001): *Schlitzförmige Schallabsorber*. Bauphysik 23 (2001), S. 333-337.
- [9] Bschorr, O.; Laudien, E. (1992): *The Silator – A small Volume Resonator*. Journal of Sound and Vibration. (1992) 152, S. 81-92.

Lenz, K.; Leistner, PhL.; Sedlbauer, K.; König, N.

Fraunhofer-Institut für Bauphysik,
Postfach 1152, D-83607 Holzkirchen und Postfach 80 04 69, 70504 Stuttgart
www.bauphysik.de

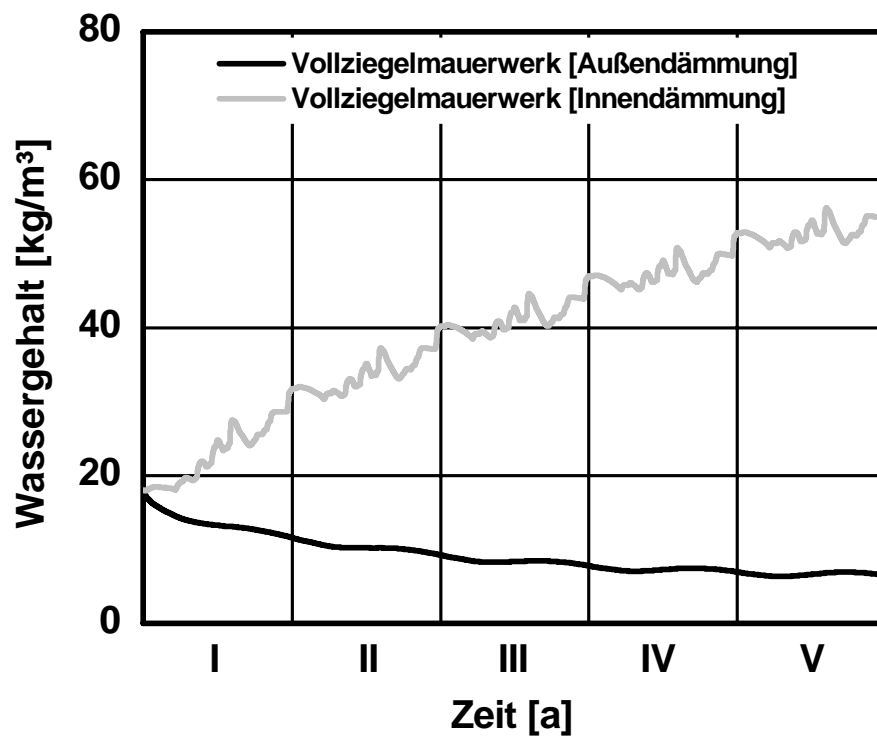


Bild 1 Verläufe des Wassergehaltes im Vollziegelmauerwerk für einen Zeitraum von 5 Jahren.

Variante 1 mit Außendämmung: schwarze Linie.

Variante 2 mit Innendämmung: graue Linie.

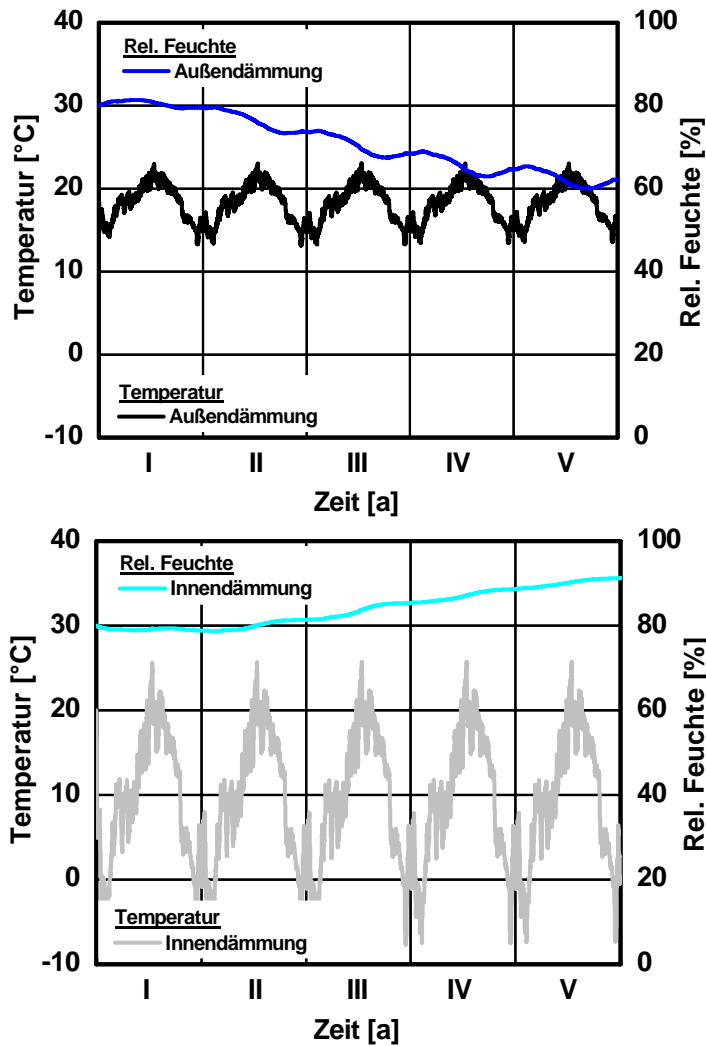


Bild 2 Zeitlicher Verlauf der Temperatur- und Feuchteverhältnisse in der Oberflächenschicht des Ziegelmauerwerks direkt an der Grenze zwischen Mauerwerk und Dämmung.
 Oben: Konstruktion mit Außendämmung
 Unten: Konstruktion mit Innendämmung.

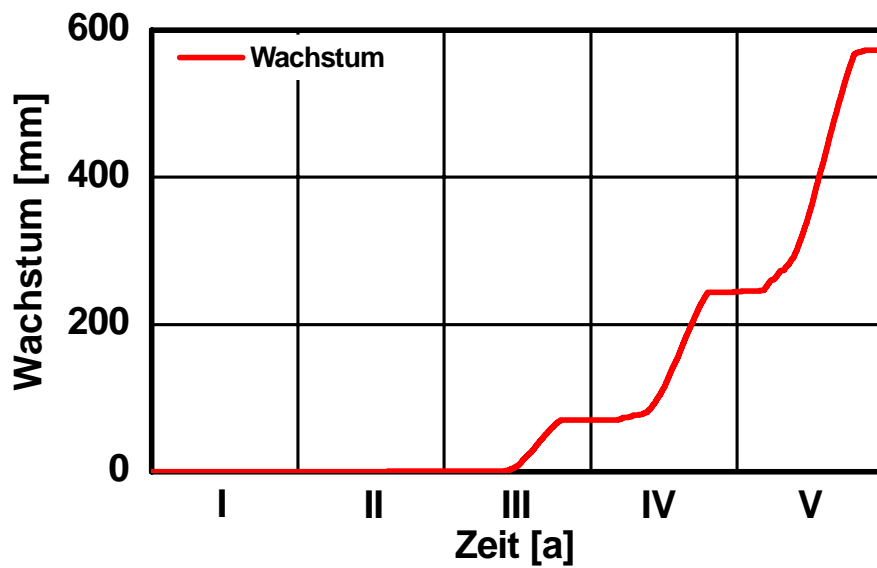


Bild 3 Zeitlicher Verlauf des Schimmelpilzwachstums an der Materialgrenze zwischen Mauerwerk und Dämmung, bei einer Konstruktion mit Innendämmung.

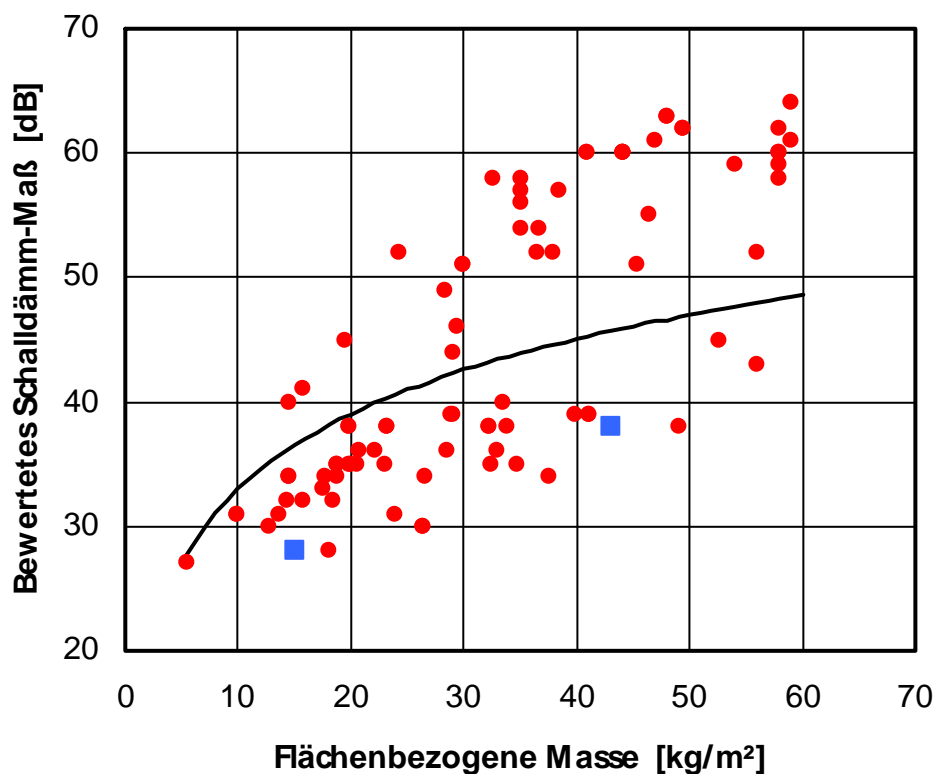


Bild 4 Beziehung zwischen bewertetem Schalldämm-Maß und flächenbezogener Masse von unterschiedlichen Bauteilen (●) und zwei Beispielen für Vakuum-Isolationspaneele (■). Die durchgezogene Kurve markiert das so genannte Massegesetz für die Schalldämmung einschaliger Bauteile.

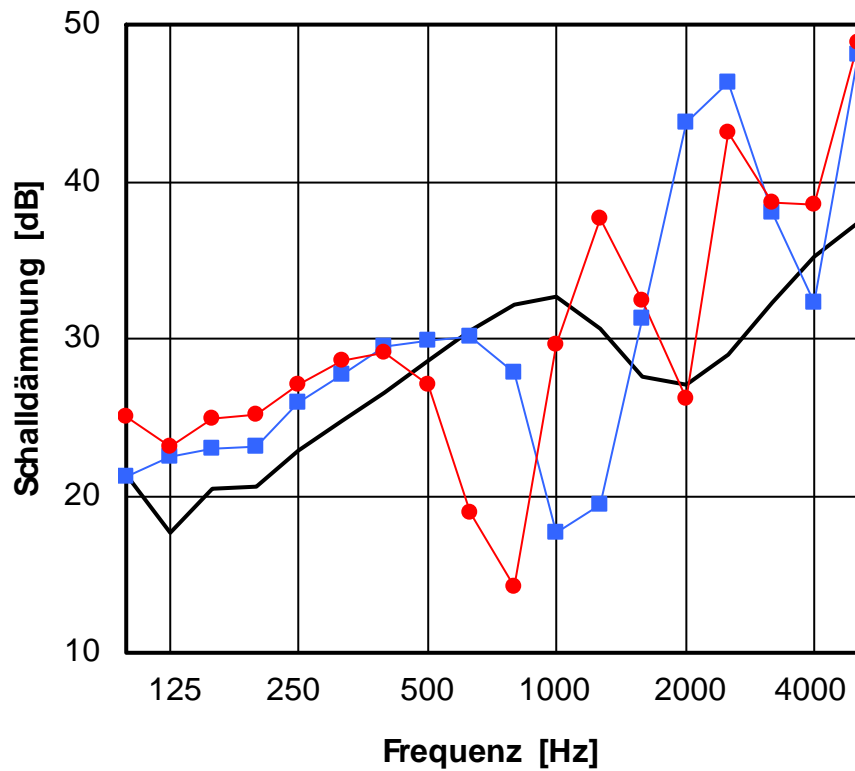


Bild 5 Gemessene Schalldämmung einer Holzspanplatte

— $t = 16 \text{ mm}$, $m' = 13 \text{ kg/m}^2$, $R_w = 30 \text{ dB}$

sowie von zwei doppelschaligen Metall-Vakuum-Isolationspaneelen:

--●-- $t = 40 \text{ mm}$, $m' \approx 15 \text{ kg/m}^2$, $R_w = 28 \text{ dB}$,

--■-- $t = 20 \text{ mm}$, $m' \approx 15 \text{ kg/m}^2$, $R_w = 28 \text{ dB}$.

Alle Bauteile hatten gleiches Format (1,5 m x 1,25 m) und wurden unter gleichen Bedingungen gemessen.

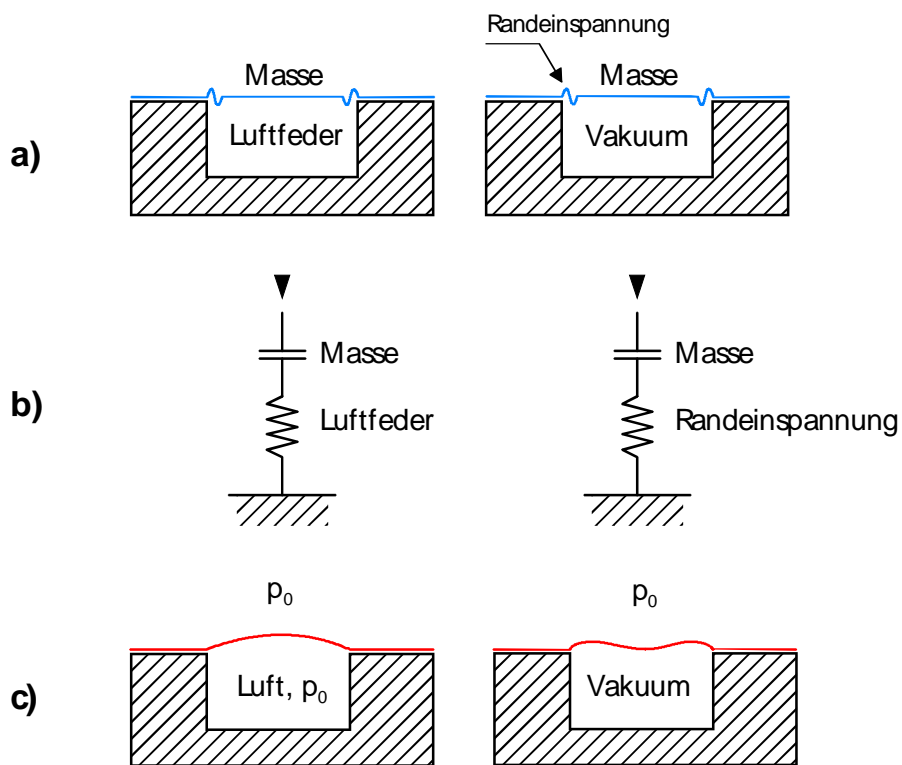


Bild 6 Masse-Feder-System (a) mit Luftfeder oder Vakuum, vereinfachtes Modell (b) und Ausführungsbeispiel (c) nach [9].

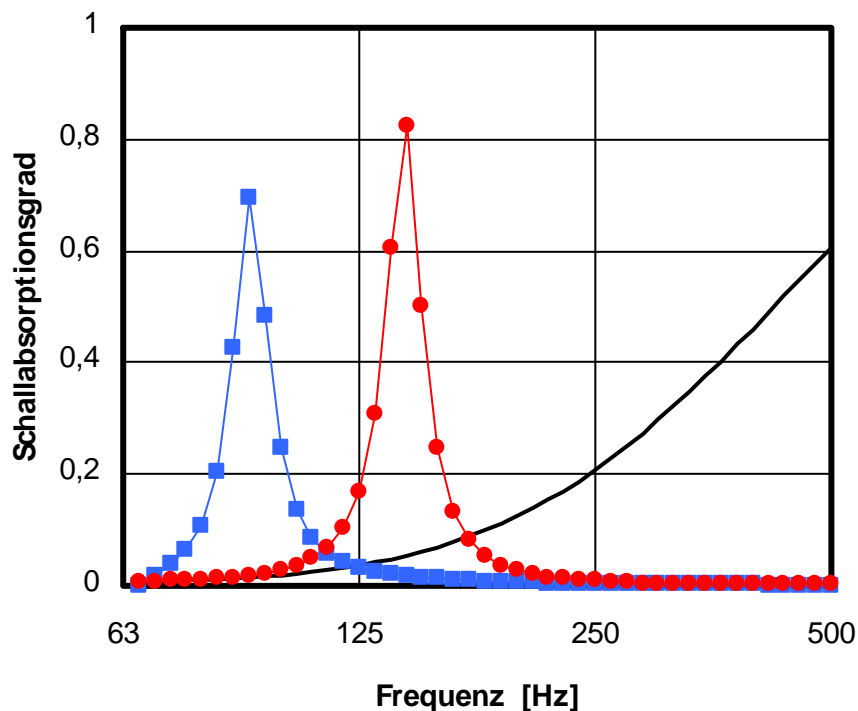


Bild 7 Im Impedanzrohr (200 mm x 200 mm) gemessene (a) und berechnete (b) Schallabsorptionsgrade bei senkrechtem Schalleinfall eines Masse-Feder-Systems (--●--) und eines Plattenschwingers (--■--) mit gleichem Aufbau, aber unterschiedlichen Randbedingungen im Vergleich zu einem porösen Absorber (—) gleicher Dicke, nach [8].

Prüfplan gemäß Beratung im SVA, 2002:

1. **Bauteilversuch in Testfassaden und Untersuchungen unter**
- einseitiger Temperaturbelastung
- Druck - Sogbelastung --> im Wechsel.
2. **Insitu-Belastung in Fensterwand über 3 Jahre**
3. **Prüfung des Wärmedurchlasswiderstandes im Plattengerät vor und nach Klimawechselbelastung (künstliche Alterung)**
4. **Ggf. Berechnung der Wärmebrücken (3-dimensional)**

Bild 8 Übersicht zum Prüfplan für VIP.



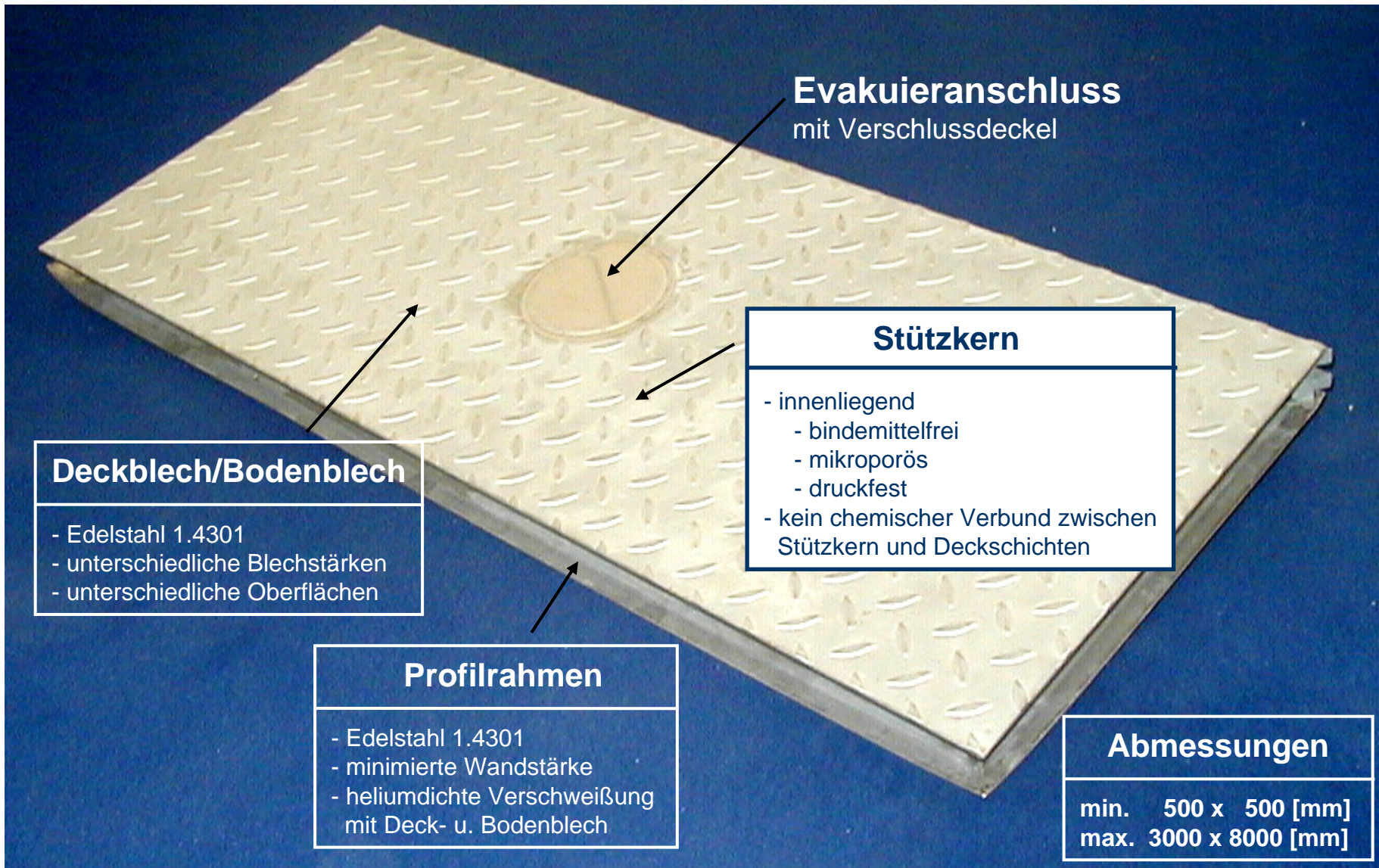
tempsafe[®] elements

Vakuum-Wärmedämmelemente mit Stahldeckschichten

Dipl.-Ing. Ekkehard Nowara

Wismar, 16.-17. Juni 2005

Evakuierte Dämmungen im Bauwesen



Evakuieranschluss
mit Verschlussdeckel

Stützkern

- innenliegend
- bindemittelfrei
- mikroporös
- druckfest
- kein chemischer Verbund zwischen Stützkern und Deckschichten

Deckblech/Bodenblech

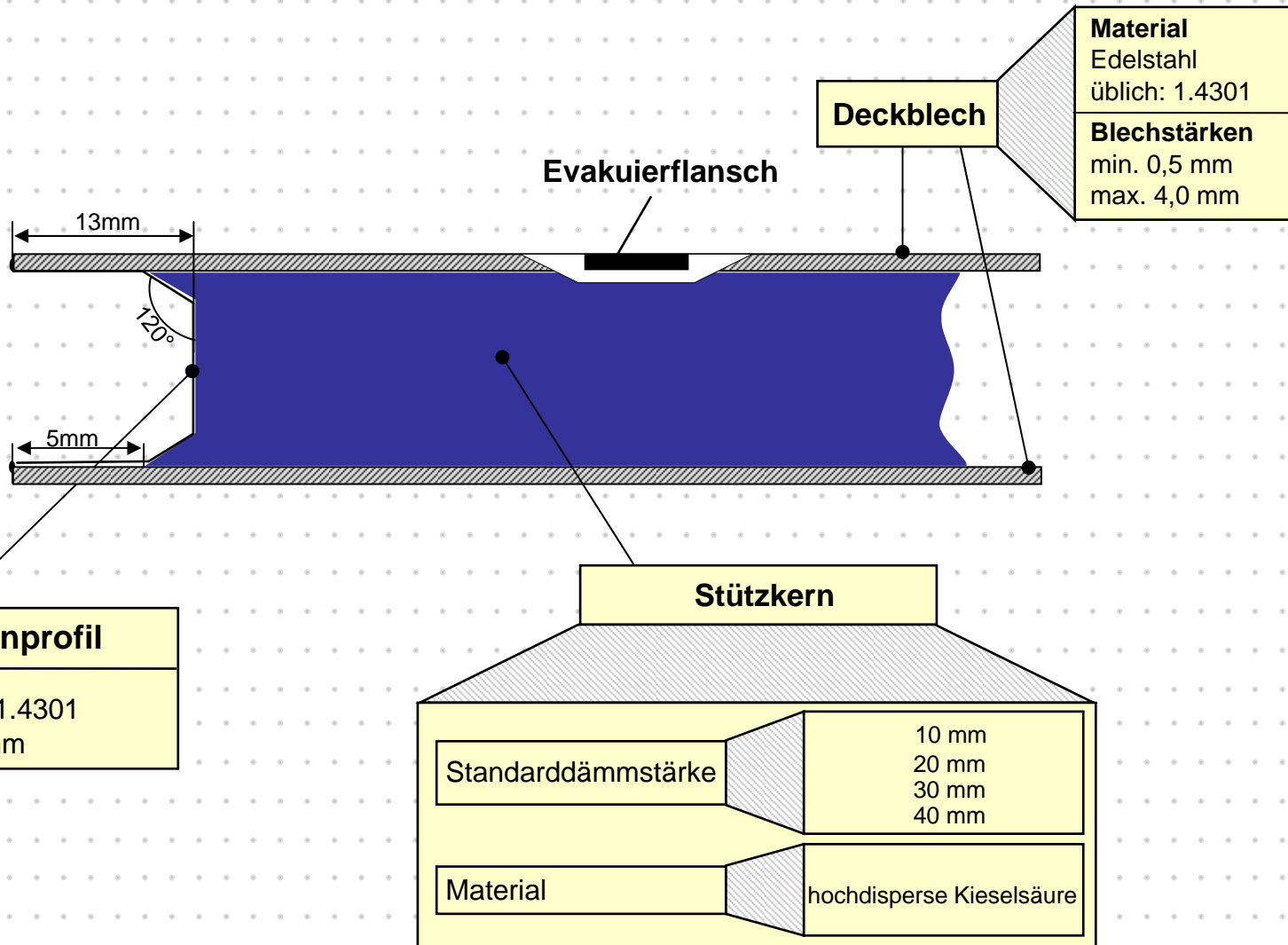
- Edelstahl 1.4301
- unterschiedliche Blechstärken
- unterschiedliche Oberflächen

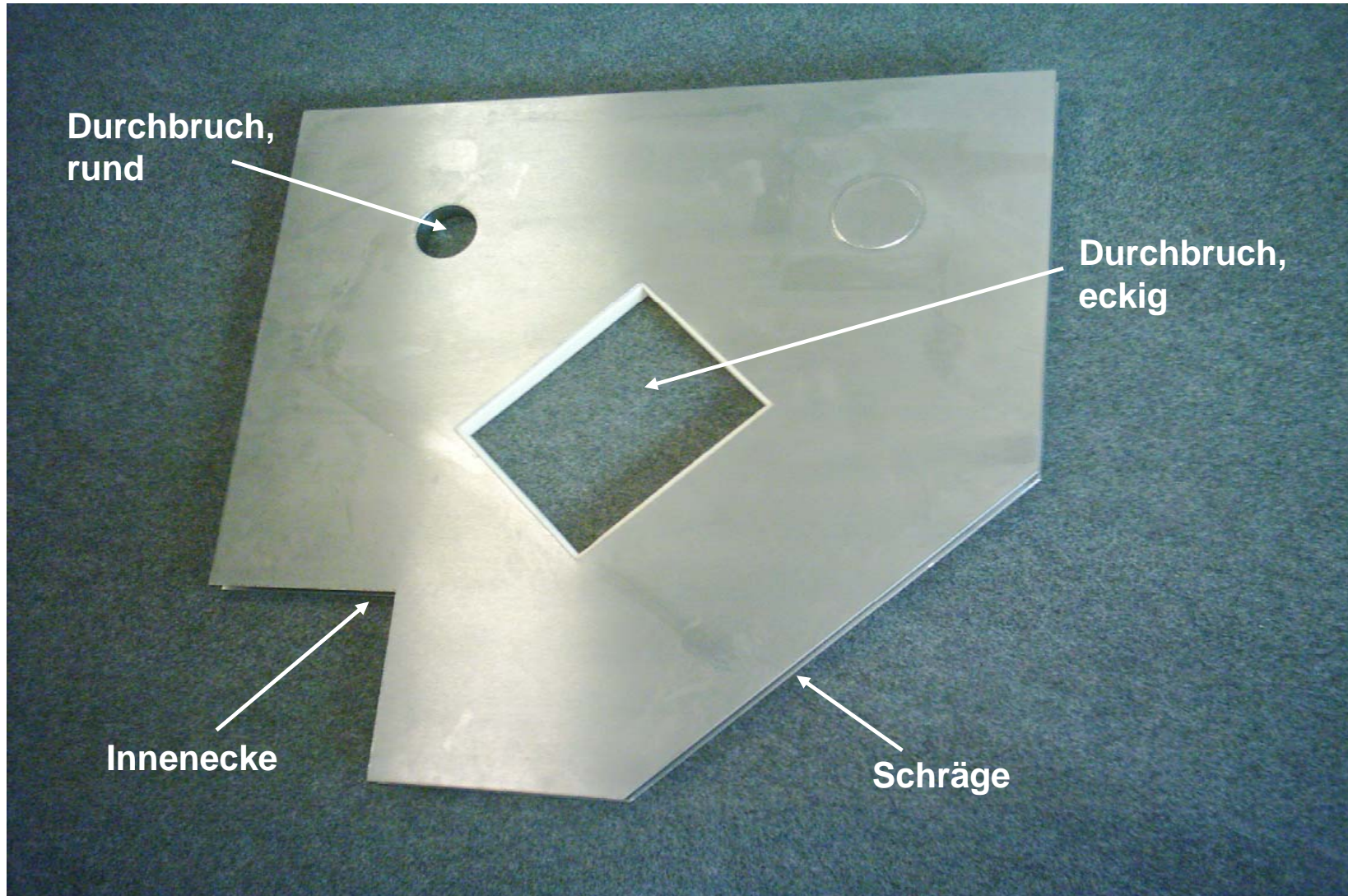
Profilrahmen

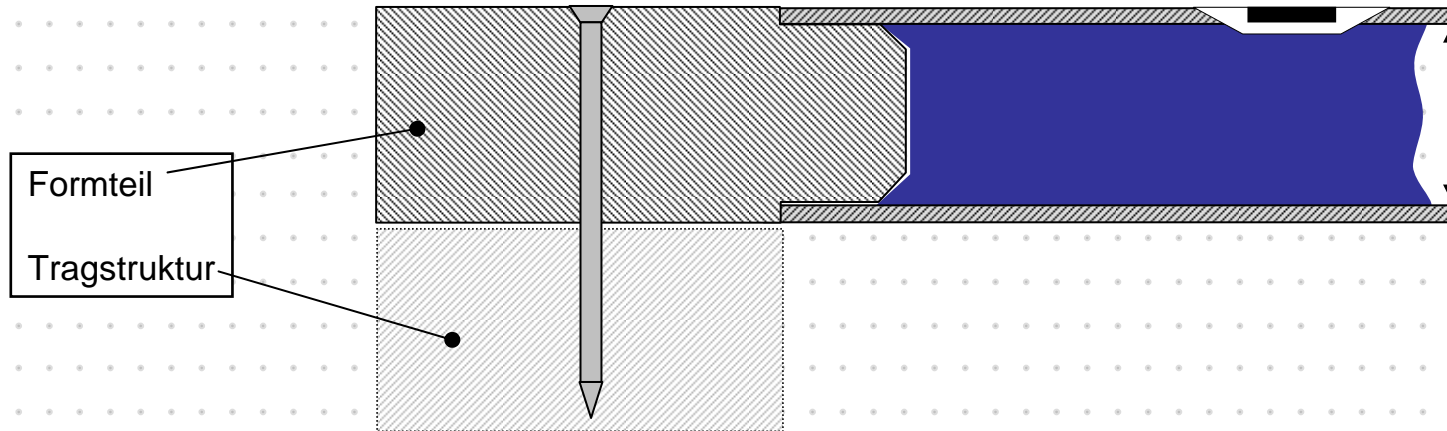
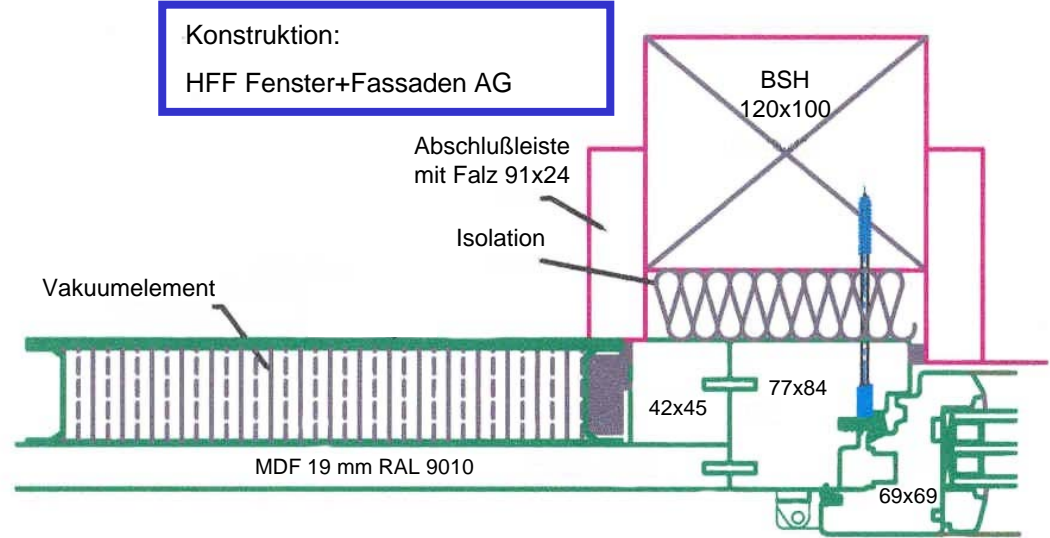
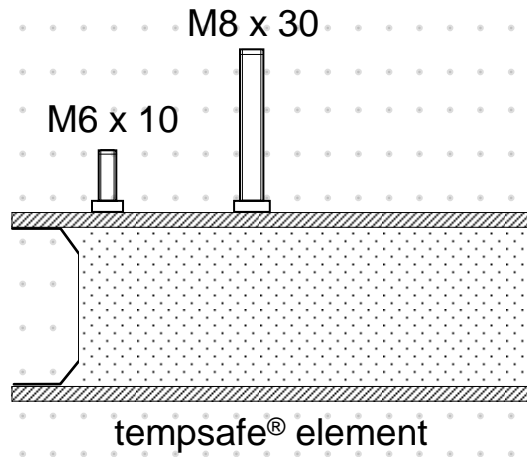
- Edelstahl 1.4301
- minimierte Wandstärke
- heliumdichte Verschweißung mit Deck- u. Bodenblech

Abmessungen

min. 500 x 500 [mm]
max. 3000 x 8000 [mm]







- Gesamtfläche 315 m²
- Dämmstärke 15 mm
- Tränenblechoberfläche, s= 4 mm
- Elementgröße 5100 x 1000 [mm]
- Regalaufstellung
 - max. Last je Fuß: 3t
 - Fußaufstandsfläche: 190 cm²
- Regalbeladung mittels Elektrohubstapler





DIBt-Prüfplan für Vakuum-Wärmedämmpaneele

1. *Bauteilversuch*
ift-Rosenheim

Simulation der Nutzung eines Vakuum-Wärmedämmpaneels durch eine Aneinanderreihung von klimatischen und mechanischen Belastungen

2. *Insitu-Belastung*
ift-Rosenheim

Einbau von 3 Vakuum-Wärmedämmelementen in eine süd-west-orientierte Fensterwand aus dunklen Aluminiumprofilen

3. *Prüfung der Vakuumdämmplatte*
FIW-München

Ziel der Untersuchung ist die Ermittlung der wärmetechnischen Eigenschaften der Vakuum-Wärmedämmpaneele vor und nach Alterung
Berechnungen zum Wärmebrückeneffekt.



DIBt-Prüfplan für Vakuum-Wärmedämmpaneele

Versuch 1 : Bauteilversuch, ift Rosenheim

- Einbau der Paneele in eine Pfosten-Riegel-Fassadenkonstruktion

1.1. : Einseitige Temperaturbelastung mit + 80 °C
auf der Außenseite, Innenseite Raumklima

1.2. : Druck-Sog-Belastungen in Anlehnung an DIN EN 12221
Windbemessung = 2000 Pa ± 1000 Pa Druckdifferenz
Lastwechsel: 100
Sicherheitsprüfung bei 3000 Pa

1.3. : Einseitige Temperatur-Belastung mit –15°C Lufttemperatur über
24 h auf der Außenseite, Innenseite Raumklima

1.4. : Druck-Sog Belastungen in Anlehnung an DIN EN 12221
Windbemessung = 2000 Pa ± 1000 Pa Druckdifferenz
Lastwechsel: 100
Sicherheitsprüfung bei 3000 Pa

Beurteilung : Prüfung des Wärmedurchlaßwiderstands des Vakuum-Wärme-
dämmpaneeels im Vergleich zum unbelasteten Paneel.
Wärmedurchlaßwiderstand mit dem Plattengerät nach DIN 52612



DIBt-Prüfplan für Vakuum-Wärmedämmpaneele

Versuch 2 : Insitu-Belastung, ift-Rosenheim

- Einbau der Vakuum-Wärmedämmpaneele in eine süd-west-orientierte Fensterwand
- Messung des Wärmedurchlaßwiderstands der Paneele vor dem Einbau
- im eingebauten Zustand herrscht auf der Außenseite das ortsübliche Klima, auf der Innenseite herrscht Laborklima
- Messung des Wärmedurchlaßwiderstands der Vakuum-Wärmedämmpaneele nach
 - einem Jahr
 - zwei Jahren
 - drei Jahren

Alternativ:

Begutachtung von bereits eingesetzten Paneelen an einem vom Antragssteller zu benennenden Objekt.



DIBt-Prüfplan für Vakuum-Wärmedämmpaneele

- Versuch 3 : Prüfung der Vakuum-Wärmedämmpaneele, FIW München
- Abmessungen der Probekörper: 800 x 800 [mm]
 - Prüfung des Wärmedurchlaßwiderstands an 6 Prüfkörpern (3 Messungen; 2 x kleinste, 1 x größte Nenndichte) nach DIN 52612 im Ausgangszustand
 - Klimawechselprüfung (+80/-15) °C mit 8 Zyklen a 24 Stunden nach DIN 52344 an den 6 Proben
 - 90 Tage Temperaturlagerung bei 80°C
 - Prüfung des Wärmedurchlaßwiderstands an den 6 Probekörpern nach DIN 52612 im gealterten Zustand
 - weitere 90 Tage Temperaturlagerung bei 80°C
 - Prüfung des Wärmedurchlaßwiderstands an den 6 Probekörpern nach DIN 52612 im gealterten Zustand

Berechnungen zu Fragen des Wärmebrückeneffekts.



Untersuchungsbericht tempsafe® elements Prüfungen an Vakuum-Wärmedämmelementen

Forschungsinstitut für Wärmeschutz e.V.
München 

Untersuchungsbericht

Antragsteller: ThyssenKrupp tempsafe
26725 Emden


Inhalt des Antrags: Prüfungen an Vakuum-Wärmedämmelementen
Bezeichnung „tempsafe-elements“
als Wärmedämmelemente im Zulassungsverfahren

Beschreibung: Vakuum-Wärmedämmelemente mit einem Stützgerüst aus hochdisperser Kieselsäure, Deckschichten aus mindestens 0,8 mm dickem Edelstahl und seitlichem, U-förmigem Membranprofil aus Edelstahl, mit Kleinflansch zur Evakuierung der Elemente
Nennstärke: 15 bis 40 mm
Maximalabmessungen: 3000 mm x 8000 mm

Anwendung: Die Elemente sollen als Wärmedämmelemente ohne last-abtragende Funktion oder als lastabtragende Elemente in der Gebäudehülle eingesetzt werden

Bericht Nr.: L1-029/2004
Ausstellungsdatum: 1. April 2004
Textseiten: 3

Prüfungsberichte beziehen sich nur auf Prüfgegenstände. Eine auszugsweise Veröffentlichung des Prüfberichtes in Druckschriften ist nur mit schriftlicher Genehmigung des FIW München zulässig.
Forschungsinstitut für Wärmeschutz e.V. München
Leibnizstr. 2, 85719 Gräfelfing
Telefon +49 (0)89 8 58 00 -0 • Telefax +49 (0)89 8 58 00 -40
info@fiw-muenchen.de • www.fiw-muenchen.de

Forschungsinstitut für Wärmeschutz e.V.
München 

Abmessungen:
Vom Antragsteller wurden in den Dicken 15 mm, 30 mm und 40 mm am 07.05.2003 je drei Elemente mit den Abmessungen 890 mm x 930 mm und seitlichem Kleinflansch ange-liefert.


Durchgeführte Prüfungen:
Nach Absprache mit dem Antragsteller sollte zuerst Teil 3 des Prüfplans für Vakuum-Wärmedämmpaneele aus dem Jahr 2002 „Prüfung der Vakuum-Wärmedämmplatte“ durchgeführt werden. Anschließend soll mit dem DIBt das weitere Vorgehen festgelegt werden.

Entsprechend dem Prüfplan wurden folgende Prüfungen durchgeführt:

- Prüfung der Wärmeleitfähigkeit/des Wärmedurchlasswiderstands mit dem 500 mm Messplattengerät nach DIN 52616 im Ausgangszustand
- Klimawechselprüfung (+80/-15) °C mit acht Zyklen à 24 Stunden nach DIN 52344
- 90 Tage Temperaturlagerung bei 80 °C
- Prüfung der Wärmeleitfähigkeit, des Wärmedurchlasswiderstands nach DIN 52616 im „gealterten“ Zustand
- weitere 90 Tage Temperaturlagerung bei 80 °C
- Prüfung der Wärmeleitfähigkeit, des Wärmedurchlasswiderstands nach DIN 52616 im „gealterten“ Zustand

Das Messplattenverfahren wurde gewählt, da der seitlich überstehende „Kleinflansch“ im Zweiplattengerät nicht untergebracht werden konnte, die ebene Messfläche aber gewährleistet werden musste.

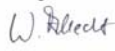
Prüfungsberichte beziehen sich nur auf Prüfgegenstände. Eine auszugsweise Veröffentlichung des Prüfberichtes in Druckschriften ist nur mit schriftlicher Genehmigung des FIW München zulässig.
Prüfbericht L1-029/2004
Forschungsinstitut für Wärmeschutz e.V. München
Leibnizstr. 2, 85719 Gräfelfing
Seite 2 von 3
Telefon +49 (0)89 8 58 00 -0 • Telefax +49 (0)89 8 58 00 -40
info@fiw-muenchen.de • www.fiw-muenchen.de


Forschungsinstitut für Wärmeschutz e.V.
München 

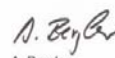
Ergebnisse:
Die Ergebnisse sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt.
Maße der Probekörper: Probendicke x 890 mm x 930 mm
Messfläche 500 mm x 500 mm in Probenmitte

Neundicke	mm	15	30	40
Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{10\text{°C}}$ nach 6 Wochen Lagerung bei Raumtemperatur	W/(m·K)	0,0051	0,0056	0,0054
Klimawechselprüfung (+80/-15) °C mit 8 Zyklen à 24 Std. nach DIN 52344 90 Tage Lagerung bei 80 °C				
Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{10\text{°C}}$ im „gealterten“ Zustand	W/(m·K)	0,0053	0,0064	0,0059
weitere 90 Tage Lagerung bei 80 °C				
Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{10\text{°C}}$ im „gealterten“ Zustand	W/(m·K)	0,0054	0,0069	0,0066

Beurteilung:
Die Messwerte der Wärmeleitfähigkeit gelten für den mittleren, ungestörten Bereich der untersuchten Elemente ohne den Wärmebrückeneinfluss der Membrane.
Gräfelfing, den 1. April 2004

Sachgebietsleiter 
Dipl.-Ing. (FH) W. Albrecht


2

Prüfer 
A. Bergler

Prüfungsberichte beziehen sich nur auf Prüfgegenstände. Eine auszugsweise Veröffentlichung des Prüfberichtes in Druckschriften ist nur mit schriftlicher Genehmigung des FIW München zulässig.
Prüfbericht L1-029/2004
Forschungsinstitut für Wärmeschutz e.V. München
Leibnizstr. 2, 85719 Gräfelfing
Seite 3 von 3
Telefon +49 (0)89 8 58 00 -0 • Telefax +49 (0)89 8 58 00 -40
info@fiw-muenchen.de • www.fiw-muenchen.de

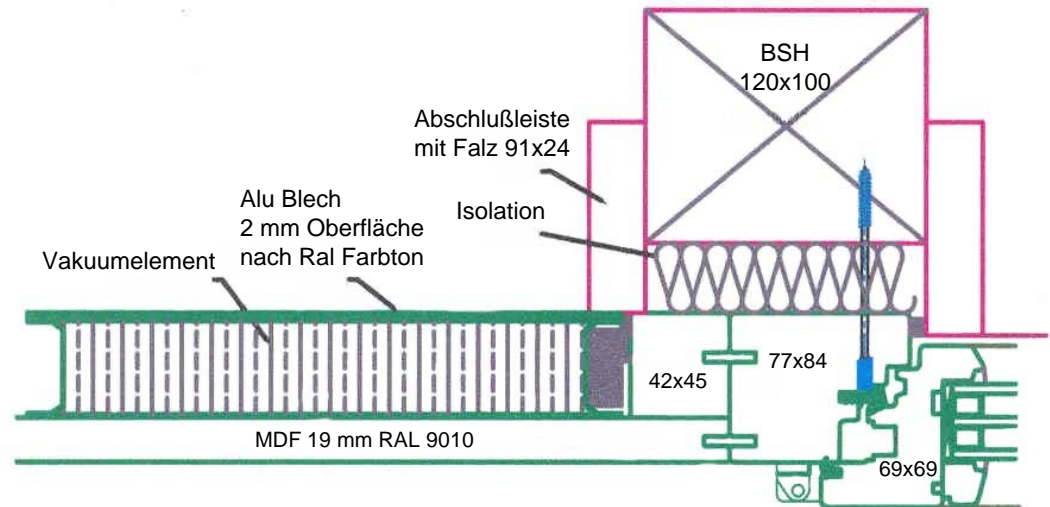
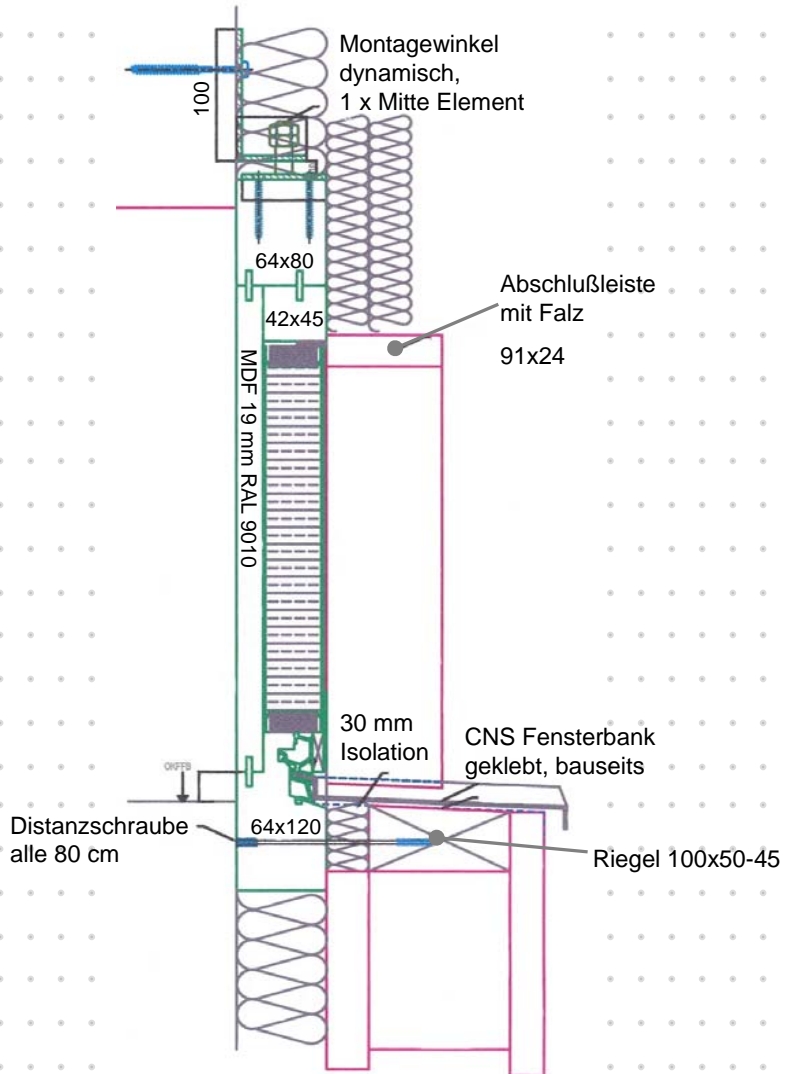


Elementgrößen : 2679 x 1013
5521 x 1013
5676 x 1013

Paneelaufbau : - Deckbleche 0,8 mm
• Edelstahl 1.4301
- Stützkerndicke 40 mm
- Verblendung mit Aluminiumblech

Bauvorhaben : Reihenhäuser
Architekt : Feiner u. Pestalozzi
Ausführung : HFF Fenster+Fassaden AG

Stützkernelmaterial : Hochdisperse Kieselsäure



Konstruktion:



HFF Fenster + Fassaden AG

CH-4435 Niederdorf



Anwendungsbeispiel Pfosten-Riegel-Fassadenkonstruktion



Baujahr : 2001

Standort : Bayern (Allgäu)

Objektart : Verwaltungsgebäude

Passivhausfassadensystem

(zertifiziert durch Passivhaus Institut, Darmstadt,
als „Passivhausgeeignete Komponente“)

Elementgröße : 1250 x 683 [mm]

Einbaustärke : 44 mm

- Deckbleche 2 mm

- Edelstahl 1.4301

- pulverbeschichtet

- Stützkerndicke: 40 mm

Stützkernelmaterial: Hochdisperse Kieselsäure

Einbausituation : identisch Glasscheibe



Wir bedanken uns für Ihre Aufmerksamkeit und
hoffen auf eine erfolgreiche Zusammenarbeit
beim Bauen und Gestalten mit

tempsafe[®] elements

lambdasave GmbH

Am Duckeldamm

D-26725 Emden

Telefon : ++49 (0)4921/9768-00

Telefax : ++49 (0)4921/9768-99

e-Mail : info@lambdasave.com

Internet : www.lambdasave.com

Erfahrungen aus der handwerklichen Verarbeitung von VIP in der Sanierung

Dieter Bindel, energie-tib gmbh, Bindel Isolierungen GmbH

1 Voraussetzungen

Für den Handwerksbetrieb bieten die Vakuumisulationspaneele eine Möglichkeit den Kunden in der energetischen Sanierung ganzheitliche und schlüssige Konstruktionen anzubieten. Insbesondere bei Platzproblemen und konstruktiven Wärmebrücken hat der Planer und Bauherr eine Dämmplatte für Detaillösungen.

Die Qualifikation der Mitarbeiter im Handwerksbetrieb, Auswahl der Hilfsstoffe, Baustellenablaufplan und vorausschauende Detailplanung durch den Planer, sind einige der Voraussetzungen für eine qualitativ hochwertige Sanierung mit Vakuumisulationspaneelen.

2 Planung / Arbeitsvorbereitung

Bei Projekten ohne Planer, wie Terrassensanierung, Kellerausbau, Fassadendämmungen beginnt für den Verarbeitungsbetrieb schon vor dem Angebot die eigentliche Arbeit. Gibt es bei konventionellen Produkten Herstellerdetails und Konstruktionsvorgaben, so ist der Verarbeiter bei VIP-Produkten auf die eigene Erfahrung aus den durchgeführten Projekten angewiesen.

Bei der Auswahl von geeigneten Konstruktionen sind auch die anderen am Bau beteiligten Gewerke deren Leistungen auf die VIP-Konstruktionen aufbauen oder angrenzen mit einzubeziehen.

2.1 Voraussetzung Planung

Die Voraussetzungen an Planung und Bauleitung zum Einsatz von innovativen Lösungen aus Sicht des Ausführenden sind eigentlich selbstverständlich.

- Abgeschlossene Entwurfsplanung / Sanierungsplanung
- Fertigestellte ausführbare Werkpläne.
- Einbindung des Ausführenden in die Detailplanung
- Ausführliches Leistungsverzeichnis
- Bauzeitenpläne mit „Reserven“ (Pufferzeit)

Leider sind bei Sanierungen diese Selbstverständlichkeiten nicht überall anzutreffen, somit muss der Ausführende Handwerker diese Leistungen für sein Gewerk mit übernehmen.

2.2 Arbeitsvorbereitung

Anders wie bei herkömmlichen Dämmstoffen welche in den üblichen Abmessungen und Qualitäten meist kurzfristig vom Großhändler bezogen werden können, ist bei dem Einsatz von Vakuumisulationspaneelen ein Baustellenaufmass und Verlegeplan erforderlich. Ein weiterer wichtiger Punkt ist die „Baustellenausstattung“ sowie weitere Vorkehrungen zum optimalen Bauablauf.

Insbesondere beim Einsatz von Vakuumisulationspaneelen an der Fassade gibt es Schnittstellen die besonders beachtet werden müssen. Nachstehend eine Auflistung einiger Punkte die während der Planung sowie Montage entstanden, und zum Teil auch auf Sonderwünsche der Bauherren zurückzuführen ist.

- Beschaffenheit der Gerüste
- Gerüstverankerungen an der Fassade
- Regenschutz für die Montage der VIP
- Anschluss Sockelbereich, Übergang VIP zu konventioneller Dämmung
- Briefkastenanlage, Einbindung in die Fassade
- Stoßschutz am Autoaufzug
- Gebäuderundungen auf Unterkonstruktion
- Anschlüsse Wintergarten / Vakuumisulationspaneel
- Nachträgliche Regenfallrohre an der Fassade
- Laibungsausgleich durch unebene Untergründe
- Attikaanschluss
- Notüberläufe für Terrassen
- Befestigungen für Geländer an Balkone und Terrassen
- Beschattungseinrichtungen
- Elektroinstallationen auf Balkonen und Terrassen
- Nachträgliche Kernbohrungen für Kachelofen

Die Liste kann beliebig weitergeführt werden. Ein wichtiger Punkt ist der Schutz der eigenen Leistung gegenüber den Anderen am Bau beteiligten. Durch Unwissenheit und Neugier ist eine Beschädigung der Paneel nicht ausgeschlossen.

3 Verarbeitung

Die von uns eingesetzten Vakuumisulationspaneel der Fa. va-Q-tec AG haben rechteckige Kanten und eine besonders gefalzte Siegelnähte. Diese Paneel können an der Einbaustelle dicht gestoßen werden, so dass keine oder nur geringste Zwischenräume entstehen. Vakuumisulationspaneel mit Deckschichten wie EPS- Hartschaum im Werk vorgefertigt, werden bei unseren Projekten immer weniger

verwendet.

3.1 VIP mit Deckschichten

Durch unterschiedliche Maßtoleranzen zwischen VIP und vorgeschrittenen Deckschichten entstehen bei der Verlegung zum Teil erhebliche Zwischenräume welche je nach Deckschicht bis zu 15 mm betragen können. Hier ist die Konstruktion als „Rasterbauteil“ bei der Berechnung des U –Wertes zu betrachten. Beim Umgang des Verarbeiters mit der VIP erweist sich die Deckschicht als Vorteil, jedoch ist eine Sichtkontrolle des Paneels nicht mehr möglich.

3.2 VIP ohne werkseitige Deckschichten

Durch die Vielzahl der Einsatzbereiche im Bauwesen und der durch uns durchgeführten und betreuten Projekte hat sich für uns die „nackte“ VIP als das flexibelste Produkt erwiesen um die unterschiedlichen Anforderungen zu erfüllen.

Die bei der Herstellung der VIP vorhandenen Toleranzen können durch das Verlegen von Platte an Platte ausgeglichen werden, die rechteckigen ausgeführten Kanten gewährleisten geringste Spaltmaße an den Stoßstellen.

Durch individuellen Konstruktionsaufbau, Auswahl geeigneter Materialien sowie Abstimmung der Kleber und mechanischen Befestigungen kann die Ausführung in kürzester Zeit realisiert werden. Für Wandflächen wurde schon Konstruktionsdicken von 40 mm realisiert inkl. Putzträger, Armierung und Putz.



Außenecke VIP-Fassade
Karlsruhe

4 Konstruktionen

Im Wesentlichen werden bewährte Konstruktionen für die einzelnen Projekte verwendet. Aufgrund der geringen Aufbauhöhen welche zur Verfügung steht müssen auch die weiteren Aufbauten optimiert werden um den Vorteil der VIP als Hochdämmendes Paneel ausnutzen zu können. Als ein Beispiel ist der Aufbau einer Terrassendämmung zu sehen. Hier sind oft die zu geringe Höhe der Aufkantung an der Terrassentüre sowie das nötige Gefälle der Wasserführenden Schicht der Auslöser für den Einsatz von VIP.

Verlegte VIP, Terrassendämmung



Fassadenkonstruktion „Seitzstrasse München“

Architekt und Bauherr waren sich schnell einig, dass bei den Grundstückspreisen in München eine konventionelle hochdämmende Putzfassade viel Grundfläche verbrauchen würde. Als Lösung wurden Vakuumdämmpaneele mit einer Wärmeleitfähigkeit von 0,0042 bis 0,008 W/mK ausgewählt. Gemeinsam

mit Hersteller, Handwerker und Planer wurde eine Konstruktion erarbeitet in der die einzelnen Schnittstellen weitgehend abgedeckt sind.

Zur Verhinderung von Bohrmehl, bei der Befestigung der Fassadenplatten wurden schon beim Betonieren der Wände im entsprechenden Abstand Purenit-Trapezleisten eingelegt. Diese Trapezleisten im Rastermaß von 500 mm können auch für spätere anzubringende Befestigungen herangezogen werden. Bei der Montage der eigentlichen Fassade wurde an den Trapezleisten Distanzleisten aufgeschraubt und verklebt. Die VIP-Platten wurden in den Zwischenraum eingelegt und entsprechend befestigt. Die Verlegung der VIP-Platten erfolgte nach einem zuvor aufgestellten detaillierten Plan mit Stückliste.



Als Putzträger und zusätzliche Wärmedämmung sind PUR-Dämmplatten mit einer WLF von 0,030 W/mK mit Nut und Feder eingesetzt. Die PUR-Dämmplatten wurden an den Stoßstellen umlaufend mit PUR-Kleber verklebt um eine erhöhte Steifigkeit an den fliegenden Stößen zu erhalten. Die geforderte Befestigung erfolgte mit Schraubbefestiger durch die Distanzleisten in die Trapezleiste. Um spätere Abzeichnungen der Dämmstoffteiler an der fertigen Putzoberfläche zu vermeiden wurden diese um 2 cm in der Dämmplatte versenkt. Der weitere Aufbau des Putzsystems erfolgte analog zu den bestehenden WDV-Systemen.

Die Suche nach Herstellern von Putzsystemen die diese Konstruktion unterstützten hat sich als schwierig herausgestellt. Große Putzhersteller zeigten kein Interesse, an der von Planern und Handwerkern ausgearbeiteten Konstruktion. Mit Hasit wurde ein Putzhersteller gefunden der gemeinsam mit der Bauherrschaft die Kosten für Gutachten und erforderliche Prüfungen übernommen hat.

5 Qualitätssicherung

Hohe Kosten, noch keine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung, Vorbehalte von Planern und Bauherren gegenüber dem noch relativ unbekanntem VIP.

Hier kann durch Verarbeiterschulung bzw. durch zertifizierte Verarbeiter einiges an Vorbehalten abgebaut werden. Ein weiterer Punkt ist eine mehrstufige Qualitätskontrolle des VIP von der Produktion bis zum Einbau, hier kommt bei den energie-tib Partnerbetrieben das va-Q-check Messverfahren mit Handgerät zum Einsatz. Bei den Vakuumdämmplatten wird nach der Verlegung und vor Abdeckung der VIP der bestehende Innendruck gemessen und mit den Werksvorgaben verglichen, weicht dieser Wert mehr als 1 mbar nach oben ab werden die VIP ausgetauscht.

6 Ausgeführte Projekte

Die energie-tib Partnerbetriebe haben inzwischen mehr als 30 Projekte mit Vakuuminisulationspaneelen durchgeführt oder betreut. Herausragendes Projekt ist sicherlich die Fassade „Seitzstrasse 23 Mün-

chen“ wie vor schon beschrieben. Aber auch die vielen kleineren Projekten wie Kellertüre, Geschossdecken, Trennwände, Hauseingänge sowie eine Vielzahl von Terrassen und Balkone haben wesentlich zur inzwischen vorhandenen Erfahrung beigetragen.

Die von uns ausgeführten bzw. betreuten Projekte sind alles kommerzielle Aufträge, das heißt dass für diese Projekte keine direkten Förderungen wegen der VIP geflossen sind.

7 Schlusswort

Nach mehreren Jahren in der wir diese VIP in den verschiedensten Bereichen einsetzen ist es uns möglich unseren Kunden umfassendes Wissen für die Planung und Durchführung von Bauvorhaben mit Vakuumisoliationspaneelen zu bieten.

Dieter Bindel

energie-tib gmbh, Hanweilerstrasse 22, 71404 Korb, Telefon 0700 31051968

Bindel isolierungen GmbH, Kleinhegnach 16, 71336 Waiblingen

Telefon 07151/ 984942, Fax 07151 / 24168

www.energie-tib.de

bindel@energie-tib.de

Gebäudesanierung mit VIP am Beispiel der Kita Plappersnut

Dipl.-Ing. H. Winkler, Professur für Baukonstruktionen und Bauphysik, Inst. f. BIW, AUF, Universität Rostock

1. Zweck und Ziel

In Wismar wurde die Kindertagesstätte „Plappersnut“ im Rahmen des Projektes „Energetische Verbesserung der Bausubstanz“ (EnSan) als Demonstrationsobjekt saniert. Ein Anliegen des EnSan-Projektes ist die Anwendung und Erprobung neuer Methoden und Komponenten.

Mit Unterstützung von Mitteln des Bundes (über Projektträger Jülich) wurden durch die Verantwortlichen insgesamt 4 Giebelfassaden mit einer Gesamtfläche von ca. 240 m² für eine Dämmung mit Vakuum-Isolationspaneelen ausgewählt. Ein besonderes Anliegen aller Beteiligten war es hierbei zwei verschiedene Systeme mit VIP in Anwendung zu bringen. So wurde die Westfassade (ca. 140 m²) für die Dämmung mit einem VIP-WDVS (Fa. STO, Fa. Porextherm) ausgewählt. An der Ostfassade sollte auf gleicher Fläche ein neu zu entwickelndes, vorgefertigtes VIP-Fassadenelement zum Einsatz kommen.

Zu diesem Zwecke fand sich ein Entwicklungsteam aus Vertretern der Universität Rostock, der Hochschule Wismar und der Fa. Adco aus Rostock zusammen.

Ziel der Arbeit dieses Teams war es in kurzer Zeit ein Fassadenelement zu entwickeln, welches folgende Vorteile in sich vereinen sollte:

- Hohe Wärmedämmung bei geringer Dicke
- Sichere bauliche Anwendung zunächst für Gebäude geringer Höhe
- Umfassender Schutz der VIPs insbesondere auf der Baustelle
- Hoher Vorfertigungsgrad, schnelle Baustellenmontage
- Funktionskontrolle der VIPs unmittelbar vor Integration in das Fassadenelement
- Gestaltungsmöglichkeiten der äußeren Oberfläche, hochwertige Optik

Die Untersuchungen zur Gebrauchstauglichkeit des so neu zu entwerfenden VIP-Fassadenelementes wird in 3 Schritten durchgeführt.

- 1) Prognoseberechnungen vor der Konfiguration der VIP-Elemente
- 2) Prototypenuntersuchungen in der Doppelklimakammer im Labor
- 3) Langzeituntersuchungen nach Montage (Temperatur, Fugen, Risse, Feuchte)

Schritt 1 dient zur Optimierung und Abschätzung der Gebrauchstauglichkeit vor allen weiteren Schritten. Schritt 2 soll im Labor mittels Untersuchungen an den Prototypen Aufschluss über die Richtigkeit der Annahmen aus Schritt 1 z. B. für den Wärmedurchgangskoeffizienten U und für das Ausdehnungsverhalten der VIP-Sandwichelemente geben. Mit den hier ermittelten Ergebnissen besteht noch einmal die Möglichkeit einer weiteren Optimierung mittels verbesserter Prognoserechnungen (Schritt 1).

Bei den Langzeituntersuchungen werden die VIP-Sandwichelemente mit einer Reihe von Thermoelementen und Feuchtefühlern im Fugen- und Plattenbereich ausgestattet. Durch eine kontinuierliche Datenerfassung über mind. 2 Winterperioden und eine regelmäßige visuelle Untersuchung sollen weitere Erfahrungen gesammelt werden.

2. Erläuterungen zur Baukonstruktion

2.1 Aufbau der Ostfassade im unsanierten Zustand

Bei der Kindertagesstätte „Plappersnut“ in Wismar handelt es sich um einen zweistöckigen Plattenbau aus den 70-Jahren. Die Außenwände bestehen aus einer Einschichtenplatte mit folgendem Aufbau:

- 2,5 cm Innenputz
- 20 cm Leichtbeton mit haufwerksporigem Gefüge und porigen Zuschlägen
- 5,5 cm Wetterschale aus Beton mit im Mörtelbett eingelegten Spaltklinker (nur Giebelwände)



*Bild 1: Ostfassade der Kita „Plappersnut“ vor der Sanierung
(Foto: IGEL Institut für Gebäude+Energie+Licht Planung)*

(Fo-

Die Höhenabweichungen der Platten in der Fassadenebene betragen im Mittel ca. 2 bis 3 cm. Die maximal festgestellte Abweichung lag bei ca. 5 cm.

2.2 Aufbau des neuen VIP-Fassadenelementes

Das VIP-Fassadenelement selbst besitzt die Abmessungen (Länge x Höhe) von ca. 2 m x 1 m und besteht aus 4 VIPs von ca. 500 x 1000 mm. Die Dicke der VIP beträgt 20 mm. Als Oberflächen zum Schutz der VIPs kommen keramische Platten oder Glasscheiben zum Einsatz. Zur Vermeidung der gegenseitigen Beschädigung während der Nutzungsdauer sind die VIP-Paneele innerhalb des Elementes untereinander durch ein elastisches Fugenmaterial mit geringer Wärmeleitfähigkeit (Dicke ca. 1,5 mm) voneinander getrennt. Die Seitenkanten des VIP-Sandwichelementes sind durch ein umlaufendes Dichtmaterial vor äußeren Einwirkungen geschützt. Gleichzeitig übernimmt dieses Dichtmaterial die Verklebung der äußeren und inneren Oberflächen und leitet die Eigenlast und Windlast an die Unterkonstruktion weiter.

2.3 Befestigung der VIP-Fassadenelemente

Die Unterkonstruktion selbst ist ein am Markt etabliertes System aus dem Bereich der vorgehängten hinterlüfteten Fassaden (VHF) auf welches das VIP-Fassadenelement aufgeklebt wird. Durch die Unterkonstruktion ist ein Ausgleich der weiter oben erwähnten Unebenheiten in der vorhandenen Fassadenoberfläche von ca. 60 mm möglich.

Die durch die Notwendigkeit des Höhenausgleichs entstandene Ebene hinter den Fassadenelementen wird mit konventionellem Dämmstoff ausgefüllt.

Bei Fassaden an denen ein geringerer Höhenausgleich notwendig ist, kann auf Befestigungsmöglichkeiten mit geringerer Tiefe zurückgegriffen werden.

3. Energetische Berechnungen

3.1 Grundlagen

3.1.1 Wärmedurchgangskoeffizient U von geschichteten Konstruktionen

Für die Berechnung der Wärmeverluste über die Gebäudehülle ist der Wärmedurchgangskoeffizient U der Außenbauteile zu bestimmen.

Der Wärmedurchgangswiderstand R_T eines Außenbauteils wird nach DIN EN ISO 6946 [1] aus der Summe der Widerstände der einzelnen Schichten zzgl. der Wärmeübergangswiderstände bestimmt.

Der Wärmedurchgangskoeffizient U ergibt sich nach gleicher Norm als Kehrwert aus dem Wärmedurchgangswiderstand R_T .

Die obige Annahme zur Bestimmung des Wärmedurchgangswiderstand ist gültig für Bauteile, die aus homogenen Schichten zusammengesetzt sind. Im vorliegenden Fall kann man eine homogene Schichtenaufteilung für den Innenputz bis zur vormaligen Wetterschale (ursprünglicher Aufbau) annehmen. Die Ausgleichsebene mit der Fassadenunterkonstruktion wie auch die Ebene der VIP-Sandwichenelemente müssen als inhomogene Schichten betrachtet werden.

DIN EN ISO 6946 [1] schreibt zur Bestimmung des maßgebenden Wärmedurchgangswiderstandes R_T von Bauteilen aus homogenen und inhomogenen Schichten die Bestimmung des Mittelwertes aus einem oberen Grenzwert R'_T und einem unteren Grenzwert R''_T für den Wärmedurchgangswiderstand vor. Diesem Ansatz wird bei den weiteren Betrachtungen jedoch nicht gefolgt, da

- bei der Fuge zwischen den VIP-Fassadenelementen nicht von einem eigenen Bauteil gesprochen werden kann (wie z. B. Sparren und Gefach bei Dächern)
- die Wärmeleitfähigkeit im Fugenbereich für das hier untersuchte Bauteil bis zu 80 mal größer ist als im Zentrum einer VIP und somit eine ausgeprägte Wärmebrückenwirkung zu erwarten ist

Stattdessen wird vorgeschlagen, den Einfluss der Fugen auf das Dämmverhalten der gesamten Wand durch eine Bestimmung des längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten ψ Rechnung zu tragen.

3.1.2 Linearer Wärmebrückendurchgangskoeffizient ψ bei Wärmebrücken

Der lineare Wärmedurchgangskoeffizient ψ wird nach DIN EN ISO 10211-2 [2] wie folgt bestimmt:

$$\psi = L^{2D} - U_{1D} \cdot L \quad (3-1)$$

Hierin bedeuten:

L^{2D} Thermischer Leitwert im Bereich einer Wärmebrücke in W/(mK)

U_{1D} Wärmedurchgangskoeffizient für das Bauteil ohne Einfluss einer Wärmebrücke in W/(m²K)

L Querschnittslänge für den die Berechnung angestellt wird in m

3.1.3 Einfluss des ψ -Wertes auf den Gesamtwärmedurchgangskoeffizient U

Mittels des oben erwähnten längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten ψ kann dann der Wärmedurchgangskoeffizient U der gesamten Außenwand im Bereich eines VIP-Fassadenpaneels in Anlehnung an E DIN EN 13947 [3] wie folgt bestimmt werden:

$$U_{AW} = \frac{A_P \cdot U_P + \sum_{i=1}^n \psi_i \cdot l_i}{A_P} \quad (3-2)$$

Hierin bedeuten:

U_{AW} Wärmedurchgangskoeffizient der gesamten Außenwand (inkl. VIP-Fassadenelement) in W/(m²K) mit auf die Fläche des Elementes bezogenen Einfluss der linearen Wärmebrücken

A_P Fläche der Außenwand im Bereich eines VIP-Fassadenelementes in m²

U_P Wärmedurchgangskoeffizient der Außenwand inkl. VIP-Fassadenelement ohne Einfluss der Fugen zwischen den VIP-Fassadenelementen in W/(m²K)

ψ Längenbezogene Wärmedurchgangskoeffizienten im Bereich von Wärmebrücken in W/(mK)

l Länge der Wärmebrücke in m

3.2 Wärmebrücken beim VIP-Fassadenelement

Die auf dem Bild 2 bezeichneten Wärmebrücken WB1 und WB2 sind die Wärmebrücken infolge des Fugenstoßes der VIP-Fassadenelemente. Die Bezeichnung WB3 bezieht sich auf einen Stoß der VIP-Paneelen untereinander innerhalb des VIP-Fassadenelementes.

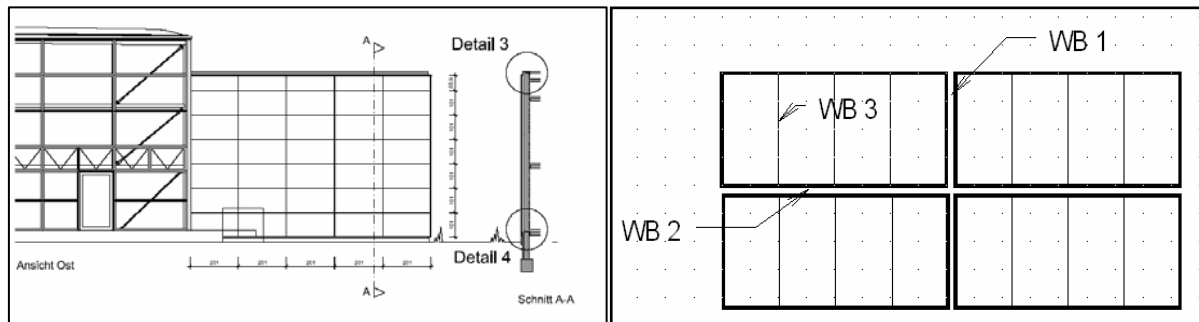


Bild 2: Fassadenplan Ost (Quelle: IGEL Institut für Gebäude+Energie+Licht Planung)

Bild 3: Auszug aus dem Fassadenplan mit Bezeichnung der Wärmebrücken

Bei allen Wärmebrückennachweisen wird der Einfluss der Hüllfolie (metallisierte Polymerfolie) auf den thermischen Leitwert L^{2D} (in Fuge als auch Querleitung aus der VIP-Ebene) berücksichtigt. Vereinfachend wird hierbei die mehrlagige Aluminiumbeschichtung zu einer Schicht mit der Dicke von 100 nm zusammengefasst. Eine überschlägige Berechnung des Wärmestromes durch den Kunststoffanteil (Dicke 100 μm = 1/10 mm) im Vergleich zu dem Wärmestrom durch den Aluminiumanteil der Folie ergab bei beiden ungefähr die selbe Größenordnung. Aus diesem Grunde wurde zur Berücksichtigung der Wärmeleitung durch die Aluminiumbeschichtung vereinfachend die Dicke der Kunststoffolie bei der Modellierung der Wärmebrücke verdoppelt, indem bei der Modellierung eine „Ersatzfolie“ mit der Dicke von 2/10 mm mit einer üblichen Wärmeleitfähigkeit für Kunststoffe von $\lambda = 0,25$ W/(mK) in Ansatz gebracht wurde.

3.2.1 Modellierung und typische Ergebnisse der Berechnung

In den folgenden Bildern sind für die linearen Wärmebrücken WB1 bis WB3 die Modelle und die Ergebnisse der Berechnungen grafisch dargestellt. Die Berechnungen selbst wurden mit dem Programmsystem HEAT2 Version

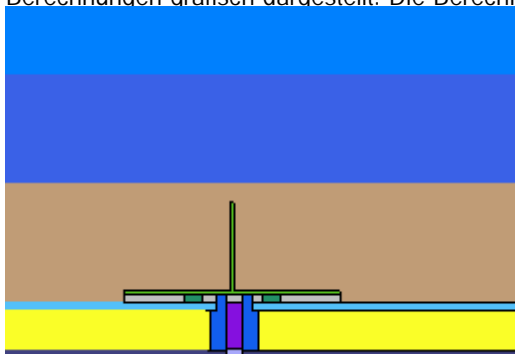


Bild 4: Modell der Wärmebrücke WB1

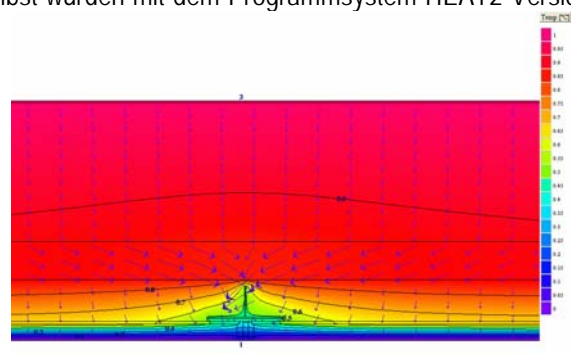


Bild 5: WB1 – Isothermenverlauf, Temperaturfeld und Vektorfeld des Wärmestromes

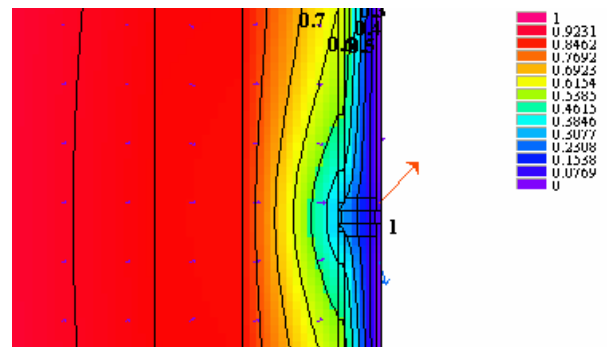
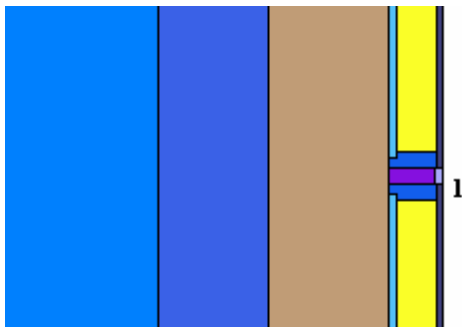


Bild 8: Modell der Wärmebrücke WB3

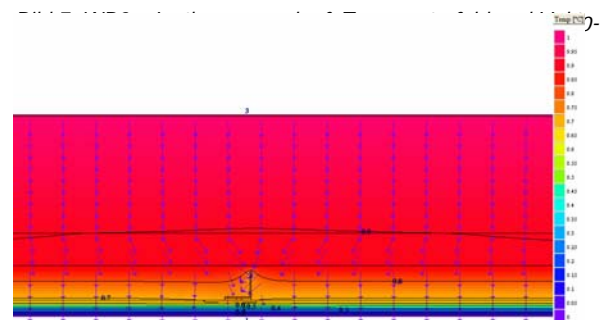
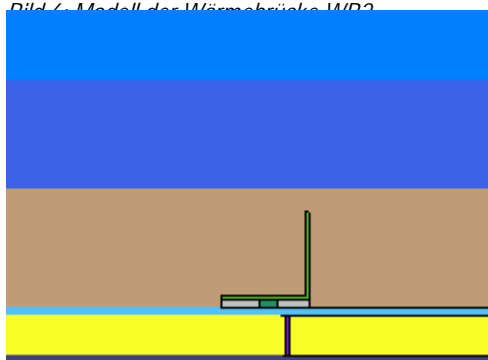


Bild 8: Modell der Wärmebrücke WB3

Bild 9: WB3 – Isothermenverlauf, Temperaturfeld und Vektorfeld des Wärmestromes

Aus allen drei Wärmebrückenberechnungen ist zu erkennen, dass die Wärmebrücke zwischen den Fassadenelementen auch in den dahinter liegenden Materialschichten eine deutliche Auslenkung des Isothermenverlaufes bewirken, welche durch die damit verbundene Ablenkung der Wärmestromrichtung einen deutlichen Querleitungseffekt hervorbringt. Hierdurch wird insgesamt der Wärmestrom über die Wärmebrücke verstärkt. Dieser Effekt ist umso ausgeprägter, je höher die Wärmeleitfähigkeit der an die Wärmebrücke angrenzenden Materialschicht ist.

3.2.2 Variation der Fugenbreite und der Unterkonstruktion

Der Einfluss der Wärmebrücken auf den Gesamtwärmedurchgangskoeffizienten U der gesamten Wand wurde zwecks Optimierung an zwei verschiedenen Varianten A und B untersucht. Hierbei sollte der Einfluss der sichtbaren Fugenbreite, die Materialart der Unterkonstruktion (Verstärkung des Querleitungseffektes bei Materialien mit hoher Wärmeleitfähigkeit) und die Dicke der Randverklebung auf den Wärmedurchgangskoeffizienten der gesamten Wand abgeschätzt werden. Die Varianten A und B unterscheiden sich nur in der Wahl des Materials für die Unterkonstruktion und in der sichtbaren Fugenbreite, da diese Optimierungen ohne aufwendige Änderungen im Detail am schnellsten umsetzbar wären.

Folgende Varianten wurden unterschieden:

Variante A: Sichtbare Fugenbreite 8 mm, Unterkonstruktion aus einer Aluminiumlegierung, Untersuchung der Abhängigkeit des Wärmedurchgangskoeffizienten U von der Dicke der umlaufenden Randverklebung

Variante B: Sichtbare Fugenbreite 5 mm, Unterkonstruktion aus Edelstahl, Untersuchung der Abhängigkeit des Wärmedurchgangskoeffizienten U von der Dicke der umlaufenden Randverklebung

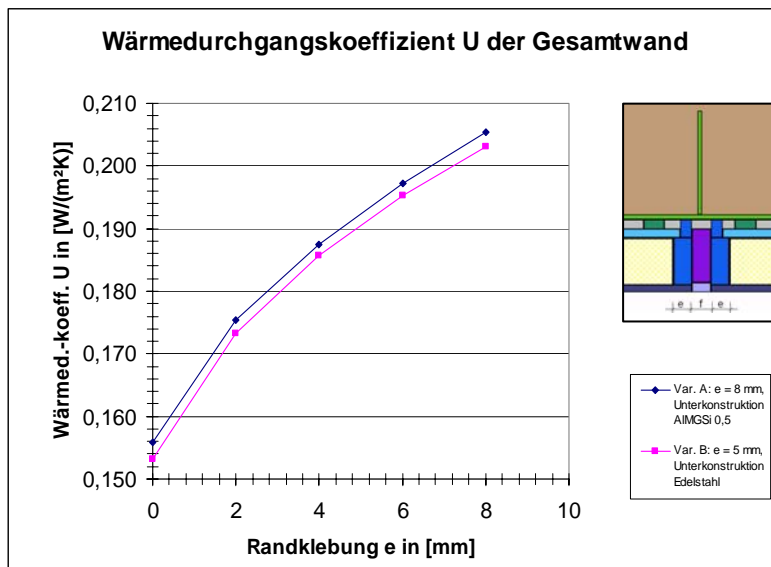


Bild 10: Abhängigkeit des Wärmedurchgangskoeffizienten U der Gesamtwand von der Art der Unterkonstruktion, der sichtbaren Fugenbreite und der Randverklebung

Aus dem Bild 10 ist erkennbar, dass die Ausführung der Unterkonstruktion in Edelstahl sowie die Verringerung der sichtbaren Fugenbreite von 8 auf 5 mm keine großen Einfluss auf das Gesamtdämmverhalten haben. Ursache für deren geringe Einflussnahme liegt in der thermischen Entkopplung der Unterkonstruktion von den Fassadenelementen durch die Klebeschicht sowie im Einsatzes von Materialien geringer Wärmeleitfähigkeit innerhalb der sichtbaren Fuge.

Wesentlich größeren Einfluss auf den Wärmedurchgangskoeffizienten U der Gesamtwand hat die Dicke der Randverklebung der Fassadenelemente. Bei einer theoretisch stark reduzierten Dicke der Verklebung kann die Gesamtwand im vorliegenden Fall den Bereich des U-Wertes einer Passivhausaußenwand erreichen.

3.3 Vergleichende Bewertung

In der Tabelle 1 sind die Rechenergebnisse zur Bestimmung des Wärmedurchgangskoeffizienten U für die Wand vor und nach der Sanierung dargestellt. Zum Vergleich ist ebenfalls der U-Wert der Wand mit max. 60 mm Dämmung in der Ausgleichsebene und 90 mm (gleiche Dicke wie Wand mit VIP-Sandwichelementen) sowie der theoretische erreichbare Wert für den Wärmedurchgangskoeffizienten dargestellt.

Tabelle 1: Vergleich der Wärmedurchgangskoeffizienten U

Bestand	Bestand (+ 60 mm Dämmung)	Bestand (+ 90 mm Dämmung)	tn. Sanierung (mit VIP-Sandwich)	Theoret. Wert
U [W/m ² K]	U [W/m ² K]	U [W/m ² K]	U [W/m ² K]	U [W/m ² K]
1,29	0,44	0,33	0,20	0,16

Aus der Tabelle 1 ist eine deutliche Verbesserung des Wärmedurchgangskoeffizienten U im Vergleich zur dem Wert vor der Sanierung erkennbar. Vergleicht man den Wert für den Bestand inkl. 60 mm Dämmung in der Ausgleichsebene wird der U-Wert durch den Einsatz der VIP noch halbiert. Stellt man den U-Wert für eine konventionelle Dämmung mit einer Dicke von 90 mm der mit den VIP-Sandwichenelementen gedämmten Wand gegenüber, so wird durch letztere der U-Wert noch um ca. ein Drittel verbessert.

3.4 Schlußfolgerungen

Vergleicht man den U-Wert des Bestandes mit dem Wert für U nach der Sanierung so erreicht man eine Verbesserung um ca. das 6-fache, was zunächst zufriedenstellend klingt. Für die Analyse der Wirtschaftlichkeit sollte aber auch der U-Wert nach einer VIP-Sanierung mit einer gleich dicken Dämmvariante aus konventioneller Dämmung verglichen werden. Hier schmilzt im vorliegenden Fall der Vorteil des VIP-Einsatzes innerhalb von Sandwichelementen auf nur ein Drittel.

Um den Vorteil der VIP voll zur Geltung zu bringen, sollen für den vorliegenden Fall folgende Ansätze weiter verfolgt werden:

- Reduzierung der Dicke der Ausgleichsebene auf ein unbedingt notwendiges Maß
- Durch weitere Optimierungen soll der U-Wert der Gesamtwand mit der VIP-Sandwichkonstruktion in den Bereich des theoretisch erzielbaren U-Wertes nach Tabelle 1 geschoben werden.

4. Thermisch hygrisches Verhalten des neuen Fassadenelementes

(aus Zeitgründen nicht vorgetragen)

5. Spannungs- und Verformungsuntersuchungen

(aus Zeitgründen nicht vorgetragen)

6. Literatur

- [1] DIN EN ISO 6946: 1996+A1:2003 (D), Wärmedurchlasswiderstand und Wärmedurchgangskoeffizient
- [2] DIN EN ISO 10211-2: 2001-06, Berechnung der Wärmeströme und Oberflächentemperaturen – Teil 2: Linienförmige Wärmebrücken
- [3] Entwurf DIN EN 13947: 2001-01, Wärmetechnisches Verhalten an Vorhangfassaden – Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten
- [4] K. Ghazi Wakili, R. Bundi, B. Binder. Effective thermal conductivity of vacuum insulation panels. Building Research & Information (July-August 2004) 32(4), S. 293-299
- [5] HEAT2, Version 6.0. Programmsystem zur Berechnung linearer Wärmebrücken. Blocon Schweden

Dipl.-Ing. H. Winkler

Universität Rostock

AUF

Institut für Bauingenieurwesen

Lehrstuhl für Baukonstruktionen und Bauphysik

E-mail: Heiko.Winkler@uni-rostock.de

Praxistaugliche Hochleistungswärmedämmsysteme in der Sanierung

Verfasser, Firma / Institut
BM Dipl. HTL Ing. Anton Ferle MSc
Gruppe Blitzblau Austria

1) Projektbeschreibung Sanierung Wohnhaus Andre in Salzburg



Zusammen mit namhaften Projektpartnern, die im Rahmen eines Sponsorings einen Teil der Projektkosten übernehmen, sowie mit der Unterstützung der Forschungsförderungsgesellschaft FFG wird seit Mai 2005 das Doppelwohnhaus der Familie Andre in Salzburg saniert.

Die Herausforderung besteht darin, die äußere Erscheinungsform der beiden Wohnungen unverändert zu lassen, jedoch die thermische Qualität einer Wohneinheit (am Bild der rechte Bauteil) nahezu auf den Standard eines Passivhauses zu bringen. Für die Realisierung dieses Projektes werden die unten angeführten, bereits beim Lichtlabor der Donauuniversität in Krems (siehe dazu auch www.blitzblau.at) in der Praxis erprobten Befestigungssysteme für Vakuumisulationspaneele (VIP) verwendet. Weiters werden im Bereich der Fensterstürze im EG und OG Glaselemente mit eingebauten Vakuumdämmplatten verwendet.

1.1 Integrale Sanierung mit Vakuumisulationspaneelen

Die Anwendungsformen von VIP sind mittlerweile so weit fortgeschritten, dass diese im Bauwesen als Hochleistungswärmedämmsysteme eingesetzt werden können. Aufgrund der extrem kleinen erforderlichen Schichtdicken eröffnet die Verwendung von VIP vollkommen neue Möglichkeiten für den Planer.

Eine einfache Verwendung von VIP setzt maßgeschneiderte Lösungen voraus, die hohe Anforderungen an den Vorfertigungsgrad, den Transport und die Montage mit bauphysikalisch ausgezeichneten Eigenschaften verbinden.

Als Ergebnis der auf dem Gebiet der Verwendung von VIP im Bauwesen durchgeführten Forschungsarbeiten wurden von der Gruppe Blitzblau Austria zwei neue, praxistaugliche Systeme zum Patent angemeldet, welche erstmalig die skizzierten hohen Anforderungen erfüllen. Die Realisierung von VIP Anwendungen erfolgt vom Tiroler Dachdecker und Spenglerbetrieb Firma Dagn GmbH, die sehr erfolgreich am österreichischen Markt dieses Segment abdeckt.

1.1.1 Mechanisches Befestigungssystem für VIP und PUR-Platten für den Einsatz bei vertikalen Bauelementen, sowie in der Dachschräge



Bild 01 Holzweichfasertafel mit luftdichter Ebene



Bild 02 Aufbau der VIP-PUR Ebenen

Das entwickelte Fassaden-Dämmsystem erreicht bei nur 6 cm Dicke U-Werte zwischen 0,09 und 0,15 W/m^2K . Wesentlich an diesem neuen System ist, dass mit maximal 3 Standard-Formaten der VIP für den Grossteil der Anwendungsfälle, sowohl im Neubau als auch in der Sanierung, das Auslangen gefunden wird. Zudem besteht bezüglich der Auswahl der Fassadenoberfläche keine Einschränkung.

Das zum Patent angemeldete mechanische Befestigungssystem ermöglicht erstmalig Vakuumisulationspaneelle (VIP) 2-lagig mechanisch an Bauteiloberflächen zu befestigen und mit einer beliebigen Fassade (Putz, Metall, Holz, etc.) zu versehen.

Durch die spezielle erfindungsgemäße Anordnung der einzelnen Hochleistungsdämmplatten wurde der bauphysikalische Nachweis erbracht, dass unter Einbeziehung und Schaffung von stehenden Luftschichten im Plattenzwischenraum (abgeklebte Luftzwischenräume) die mittleren Wärmedurchgangswerte nur unwesentlich schlechter sind, als bei einer geklebten Konstruktion. Nachteile einer geklebten Konstruktion in der Baupraxis sind unter anderem die geringe Scherfestigkeit des Folienverbundes,

nicht mehr recycelbar und austauschbar, etc.)

Um die Praxistauglichkeit der Vakuumdämmung noch weiter zu erhöhen wurde eine Mischbauweise aus VIP und marktüblichen Alu kaschierten PUR-Platten entwickelt. Sämtliche Passstücke werden aus diesem herkömmlichen Dämmstoff hergestellt und in der 2. Ebene mit Vakuumisulationspaneelen überdeckt. Die Wärmebrücken werden dadurch gezielt entschärft. Diese Maßnahme reduziert die Kosten und vereinfacht das Handling (Entfall von Sonderformaten und Passstücken bei den VIP) auf der Baustelle. Mit deutlich unter 10 verschieden großen VIP Platten können 90% aller Anwendungsfälle im Hochbau abgedeckt werden. Gesamtdämmstoffdicken von 5 cm ermöglichen U- Werte von 0,15 W/m²K bei nur 20 cm gesamter Bauteildicke (anstatt bisher üblichen 60 cm).

1.1.2 Dachsystem aus VIP und PUR-Platten (3D Dachsystem)



Bild 03 2-Komponenten Reaktivbitumen

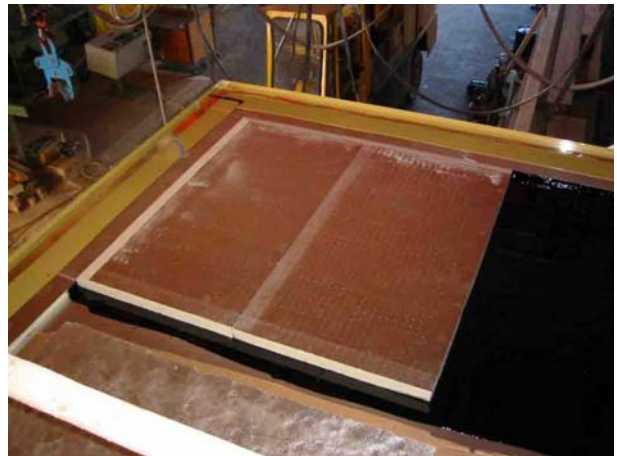


Bild 04 Aufbau der Dachdämmung

Das System besteht aus einer mehrlagigen Kombination aus VIP, Alu - kaschierten PUR-Platten und reaktivem Bitumen. Das neu entwickelte Dachsystem ist dicht, dünn und hoch wärmedämmend. Die Dichtheit ist durch ein für den Straßenbau neu entwickeltes 2-Komponenten Kaltbitumenmaterial (fugenfüllend, dauerhaft plastisch- elastisch, hohe Flankenhaftung) gewährleistet. Bei vergleichbaren U-Werten wird bei nur 6 cm Gesamtsystemdicke ein dichtes und hoch dämmendes Dach (entspricht in etwa 45cm herkömmlichem Aufbau) realisiert.

In wenigen Arbeitsschritten lässt sich eine dünne, homogene Schicht mit hohem Dämmwert aufbauen. Durch die Verwendung von Vakuumdämmplatten und kalt verarbeitbarer reaktiver bituminöser Masse lassen sich die Vorteile beider Werkstoffe vereinen:

Die kalt verarbeitbare bituminöse Masse benötigt keinerlei Wärmezuführung, womit hoher Energieaufwand gespart werden kann. Das Handling des Materials ist denkbar einfach und ungefährlich. Es bedarf keiner Beheizung, weder bei der Verarbeitung noch beim Antransport, es entfallen Verbrühungs- und Verbrennungsgefahr, sowie die gefährliche Ausgasung und Dampfentwicklung.

Die kalt verarbeitbare bituminöse Masse ist zugleich wasser- und dampfdicht, sowie durch die Klebeeigenschaften gleichzeitig zur dauerhaften Verbindung der VIP und eventueller zusätzlicher oder alternativer Materialschichten hervorragend geeignet. Die Gefahr einer Wasserunterläufigkeit, die bei beste-

henden Konstruktionen häufig besteht, kann bei diesem System ausgeschlossen werden. Die kalte Verarbeitbarkeit hat schließlich noch den Vorteil, dass die Bitumenmasse alle bestehenden Fugen vollständig bis zum Grund ausfüllt. Durch die Zähflüssigkeit der Masse ist zudem eine selbstnivellierende Eigenschaft gegeben, die Unebenheiten des Untergrundes ausgleichen kann.

Auf die Geschoßdecke mit entsprechender Dampfsperre wird eine selbstnivellierende 2-Komponenten Kaltbitumenvergussmasse mit steuerbarer Abbindezeit aufgebracht. Dieser Untergrund bietet Schutz für die 2 lagig, stoßversetzt verlegten je 25mm dicken Vakuumdämmplatten.

Die Vakuumdämmplatten werden dann Zug um Zug verlegt und in die Bitumenmasse eingeschlämmt. Dadurch ist absolute Dichtheit der Konstruktion, selbst bei Verletzung der obersten Ebene, gewährleistet.

Als oberste Schutzschicht können sämtliche handelsübliche Werkstoffe, wie z.B. beschieferte Dachbahnen, etc. aufgebracht werden.

Die gesamte Konstruktion hat mit dem erwähnten zweilagigen Aufbau eine gesamte Schichtdicke von nur ca. 6 cm und entspricht einer konventionellen Wärmedämmung von ca. 40 cm. U-Werte unter 0,10 W/m²K sind somit realisierbar .

Dieses in erster Linie für den Flachdach- und Sanierungsbereich entwickelte System lässt sich in leicht modifizierter Weise auch für den Fußbodenbereich einsetzen.

1.2 Ausblick:

Vergleichsrechnungen in der Dach- und Terrassensanierung haben ergeben, dass die Kombination aus VIP und Alu kaschierten PUR- Platten, unter Berücksichtigung des Umstandes, dass die Anschlüsse bei den Hochzügen und Türen gleich bleiben können, die mit Abstand wirtschaftlichste Lösung darstellt. Das mechanischen Befestigungssystem, wird zur Zeit hauptsächlich im Bereich von „Problemzonen“ verwendet, dennoch ist es nunmehr auch in der Sanierung möglich das gesamte Bauwerk mit Hochleistungswärmedämmstoffen zu dämmen.

Die rechnerische Lebensdauer von Vakuumisolationspaneelen liegt bei 50 Jahren. Mit der mechanischen Befestigung, einfacheren Verarbeitung und jederzeitigen Wartungsmöglichkeit der Dämmebene wird sich die Akzeptanz der Vakuumdämmung auch in der Sanierung entscheidend erhöhen.

Sämtliche oben angeführte Systemvorteile können auf beliebigen Bauteiloberflächen in gering modifizierter Form angewendet werden. Die größten Chancen im Bereich der Sanierung liegen beim 3D Dachsystem. Bei punktueller Sanierung von thermischen Schwachstellen an der Fassade wird das mechanische Befestigungssystem sofort Verwendung finden.

BM Dipl. HTL Ing. Anton Ferle MSc

Gruppe Blitzblau Austria

Au 17, 5311 Loibichl

office@blitzblau.at

www.blitzblau.at

Mob:+43 699/ 1133 9140 Fax: +43 6232/ 6722-18 Tel +43 6232/ 6722-0

Energetische Sanierung von Fassaden mit großformatigen, vorgefertigten Dämmelementen

Marc Großklos, Institut Wohnen und Umwelt (IWU)

1 Projektbeschreibung

Die Hofheimer Wohnungsbau GmbH modernisiert drei baugleiche Zweifamilienhäuser mit hohem Energieverbrauch ($290 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$) auf unterschiedliche energetische Standards. Ein Gebäude wird nach der Modernisierung die Anforderungen der Energieeinsparverordnung (EnEV) für Neubauten erreichen. Die beiden anderen Häuser erfüllen die sehr weitreichenden Anforderungen der KfW an Energiesparhäuser (ESH60 bzw. ESH40). Das Energiesparhaus 60 wird weniger als $60 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ Primärenergie für Beheizung und Warmwasserbereitung benötigen, das ESH40 weniger als $40 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$. Dadurch wird der Endenergiebedarf für Heizung und Warmwasser um mindestens 50 % (EnEV-Neubau) und bis zu 78 % (ESH40) reduziert werden.



Bild 1: Straßenansicht eines der Modernisierungsobjekte

Um diese ehrgeizigen Zielwerte zu erreichen, werden die Gebäude einer umfangreichen energetischen Sanierung unterzogen. Dazu werden Außenwände, Kellerdecke sowie Dachstuhl gedämmt und die isolierverglasten Fenster ausgetauscht. Die alte Heiztechnik der einzelnen Häuser wird durch einen einzigen Holzpellet-Kessel ersetzt, der über eine Nahwärmeleitung alle drei Gebäude mit Wärme für Heizung und Warmwasser versorgen wird. Zusätzlich wird im ESH60-Haus eine mechanische Abluftanlage und im ESH40-Haus wohnungsweise eine Lüftungsanlage mit mechanischer Zu- und Abluft und Wärmerückgewinnung installiert.

Straßenfassaden mit Vakuumdämmung

Bei den Planungen ergab sich die Anforderung, bei den Häusern im KfW-Standard trotz niedrigster Wand-U-Werte möglichst wenig von der Konstruktion in den angrenzenden öffentlichen Gehweg hinein-

ragen zu lassen. Die Gesamtdämmstoffdicke beträgt bei den von der Straße abgewandten Fassaden 24 cm (ESH40) bzw. 20 cm (ESH60). Diese Dämmstärke hätte am Gehweg zu Problemen bei der Baugenehmigung führen können.

Aus diesem Grund bietet sich an der Straßenseite der Einsatz von Vakuumdämmung an, um einen schlanken Wandaufbau zu erreichen. Eine Besonderheit des Bauvorhabens besteht darin, dass diese Vakuumdämmung erstmals in Verbindung mit der Großelement-Dämmtechnik (GEDT) realisiert werden soll. Die Verwendung vorgefertigter, großformatiger Fassadenelemente im Gebäudebestand wird auch unabhängig von der Vakuumdämmung diskutiert und untersucht. Hier kann insbesondere auf Untersuchungen der Universität Bochum [Reyer et al.] aufgebaut werden. Speziell im Zusammenhang mit der Vakuumdämmung ergibt sich der besondere Vorteil, dass die empfindlichen Vakuum-Isolationspaneele (VIP) durch die Einbettung in ein vorgefertigtes Fassadenelement sehr gut gegen Beschädigungen auf der Baustelle geschützt sind. Weiterhin sollen die Fenster bereits in die Vorfertigung integriert sein, damit eine schnelle Montage der Fassade bei minimaler Beeinträchtigung der Mieter möglich ist.

Aus diesen Anforderungen wurde das Konzept der vorgefertigten, vakuumgedämmten, großformatigen Fassade (Großelement-Dämmtechnik GEDT) entwickelt. Die Elemente sollen nicht nur für die Dämmung der Straßenfassaden an den drei Gebäuden des Modellprojektes geeignet sind, sondern durch ihre Konzeption auch auf andere Gebäuden übertragbar sein. Dies betrifft besonders die große Anzahl der Mehrfamilienhäuser der 50er und 60er Jahre mit einfacher Kubatur und wenigen Versprünge in der Fassade.

Projektteam

Für die Entwicklung dieser GEDTs wurde ein Projektteam gebildet, das im Folgenden dargestellt ist.

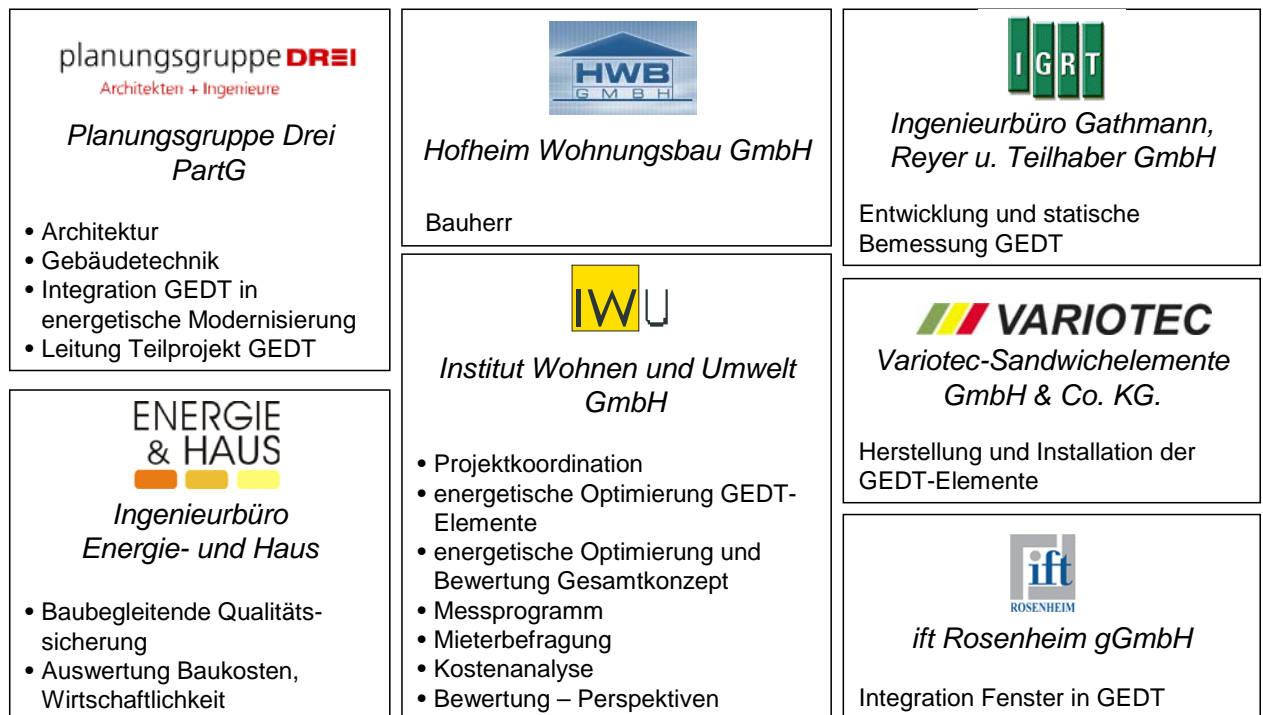


Bild 2: Übersicht der Projektbeteiligten

Das Projekt, das die gesamte energetische Sanierung mit umfangreicher wissenschaftlicher Begleitung und die Entwicklung der GEDT-Elemente umfasst, wird vom Bundeswirtschaftsministerium über den Projektträger Jülich (PTJ) (FKZ 0329750V) und vom Hessischen Ministerium für Wirtschaft, Verkehr und Landesentwicklung finanziell gefördert.

2 Aufbau und Montage des Dämmelements mit Vakuumdämmung

Aufbau

Das Dämmelement (Bild 3) besteht auf der Innenseite (Seite der alten Außenwand) aus einer 27 mm starken Baufurnierschichtholzplatte (Kerto), die alle Befestigungselemente und Lasten aufnimmt. Auf dieser Platte ist eine 0,8 mm dicke Aluminiumplatte aufgeklebt, die den mechanischen Schutz der Vakuumdämmung gegen die dahinter liegenden Bauteile übernimmt und gleichzeitig als Dampfsperre zur warmen Seite des Wandaufbaus dient. Darauf wird die 40 mm dicke Vakuumdämmplatte geklebt. Auf der Vakuumdämmung wird als weitere Schutzschicht eine 18 mm dicke Baufurniersperrholzplatte (BFU) befestigt. Diese dient gleichzeitig als Träger für die Unterkonstruktion der äußeren, hinterlüfteten Bekleidung. Die Bekleidung wird in einem vertikalen Raster von ca. 50 cm auf der äußeren Holzfaserplatte angebracht (eingehängt) und ermöglicht neben dem Schlagregenschutz der Elementfugen (horizontal und vertikal) auch eine variable Gestaltung des äußeren Erscheinungsbildes der Dämmelemente.

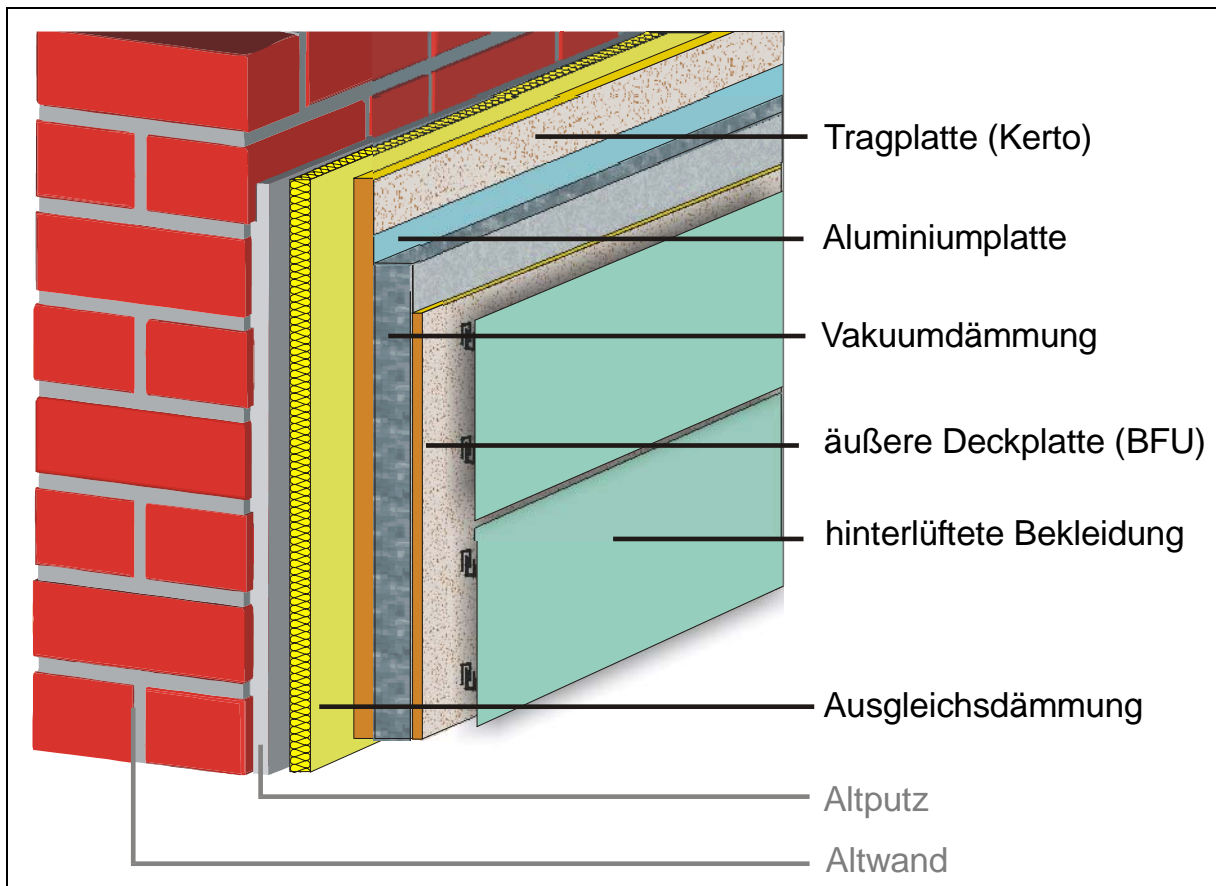


Bild 3: Aufbau des Dämmelements

Die Vakuumdämmplatten mit der Dicke von 4 cm werden während der Vorfertigung einlagig in GEDT-Elemente eingelegt. Die Ränder der VIP-Platten sind dabei mit Schaumstoff-Dichtbändern abgeklebt. Die maximal zur Verfügung stehende Größe der Vakuumdämmplatten beträgt 1,20 m x 2,00 m. Dies bedeutet bei einer Elementhöhe von mindestens 2,50 m, dass in der Vertikalen immer zwei VIP-Platten übereinander verlegt werden müssen.

Die Lasten von VIP und äußerer Bekleidung sowie Wind- und Erdbebenlasten werden durch Edelstahlanker in die hintere Kertoplatte eingeleitet. Deren Fläche beträgt jeweils nur wenige Quadratmillimeter. Die Anker sind an den Stößen der Vakuumdämmplatten sowie am Plattenrand angeordnet. Sie geben das horizontale Raster der VIP-Platten vor. Die Breite beträgt minimal 55 cm und reicht bis zu 1 m an den Fenstern. Durch ein symmetrisches Raster wird erreicht, dass möglichst viele Platten mit identi-

schen Abmaßen und Aussparungen an den gleichen Positionen für die Befestigungsanker hergestellt werden können.

Zwischen Altwand und Kerto-Platte befindet sich eine ca. 20 mm dicke Ausgleichsdämmung, die die Unebenheiten im Raum zwischen Wand und GEDT-Element ausfüllt. Diese Ausgleichsdämmung aus weichem Dämmstoff wird im Werk auf die Innenseite der Kerto-Platte aufgebracht.

An den Rändern der GEDT-Elemente werden die VIP-Platten mit Kompribändern und einem zusätzlichen Butylband beim Transport zur Baustelle und bei der Montage geschützt. Die Bänder haben weiterhin die Aufgabe, die unvermeidliche Fuge zwischen zwei GEDT-Elementen auszufüllen.

Integration Fenster

Ziel der Entwicklung im Forschungsprojekt ist es unter anderem, in die GEDT-Elemente bereits in der Vorfertigung die Fenster zu integrieren, damit die gesamte Fassade in einem Arbeitsschritt montiert werden kann und die Belästigungen der Mieter minimiert werden. Zusätzlich wird dadurch die Gefahr der nachträglichen Beschädigung der VIPs durch den Fenstereinbau nahezu ausgeschlossen.

Bei den Gebäude mit ESH40- und ESH60-Standard werden in der Nordfassade Passivhaus-geeignete Fenster mit 3-Scheiben-Wärmeschutzverglasung eingesetzt. Diese Fenster besitzen eine Ansichtsbreite von ca. 110 mm. Das gesamte GEDT-Element misst ohne Berücksichtigung der Ausgleichsdämmung und der äußeren Bekleidung aber nur 90 mm. Somit müssen Lösungen gefunden werden, das breitere Fenster zu integrieren. Dies hat Konsequenzen für das optische Erscheinungsbild der Fassaden, da die Fenster außenbündig in der Fassade liegen.

Die Analyse der Wärmebrückensituation hat gezeigt, dass die energetisch optimale Einbaulage der Fenster genau über der Ebene der Vakuumdämmplatten liegt. Die ausgewählten Holzfenster mit PU-Dämmkern der Firma Variotec erlauben eine nahezu wärmebrückenfreie Einbindung in das GEDT-Element, da die Hauptdämmebene des Fensters an die Vakuumdämmung anschließt. Die Fensterrahmen können in dem inneren Falz an der Kerto-Platte festgeschraubt werden, die dazu eine Randverstärkung aus einem Metallwinkel erhält.

Das Konzept zur Integration der Fenster wird jedoch so gestaltet, dass bei zukünftigen Projekten auch Fenster aus anderen Materialien und mit anderem Aufbau eingesetzt werden können.

Montage

Die GEDT-Elemente werden an ihrer Oberseite jeweils durch drei Befestigungspunkte gehalten. Die zugehörigen Konsolen werden vor der Montage auf der Altwand befestigt. Zusätzlich sind noch weitere Befestigungen gegen Windsog und Winddruck erforderlich. Diese massiven Halteelemente reichen nur bis zur inneren tragenden Holzplatte – durchstoßen somit an keiner Stelle die Dämmschicht. Für alle Halteelemente gilt, dass sie vor der Montage sehr genau ausgerichtet werden müssen. Ein detailliertes Aufmaß der Fassade ist somit unumgänglich.

Die Fassade der Gebäude ist symmetrisch in vier Elemente unterteilt (Bild 4). Alle weisen die gleiche Breite von 5,13 m auf. Das normale GEDT-Element besitzt eine Höhe von 2,50 m, es kann aber auch bis maximal ca. 3,2 m vergrößert werden. Bei noch höheren Elementen würde ein Straßentransport schwierig.

Zur Montage wird im Erdgeschoss links (GEDT 1 in Bild 4) begonnen. Danach folgt das darüber liegende Element GEDT 2, dann wird das zweite Element des Erdgeschosses montiert (GEDT 3) und zuletzt GEDT 4. Dieses Raster kann auch bei größeren Gebäuden entsprechend fortgesetzt werden. Nach der Montage der Hauptelemente wird der Traufanschluss durch kleinere Füllelemente geschlossen und im Perimeterbereich eine konventionelle Dämmung angefügt.

In den inneren Fensterleibungen müssen vor Ort nach dem Einhängen der GEDT-Elemente zusätzliche Haltewinkel befestigt werden, um die Windlasten sowie die dynamischen Kräfte beim Betätigen der

Fenster aufzunehmen. Danach werden die Anschlüsse mit vorbereiteten Folien abgedichtet und die Leisten verkleidet.

Die Fassadenbekleidung aus Resoplan-Platten wird im letzten Arbeitsschritt auf der Wand befestigt. Dadurch ist die innere Unterteilung in einzelne GEDT-Elemente von außen nicht zu erkennen. Die Platten ermöglichen zahlreiche optische Varianten bei der Gestaltung der Fassadenoberfläche.

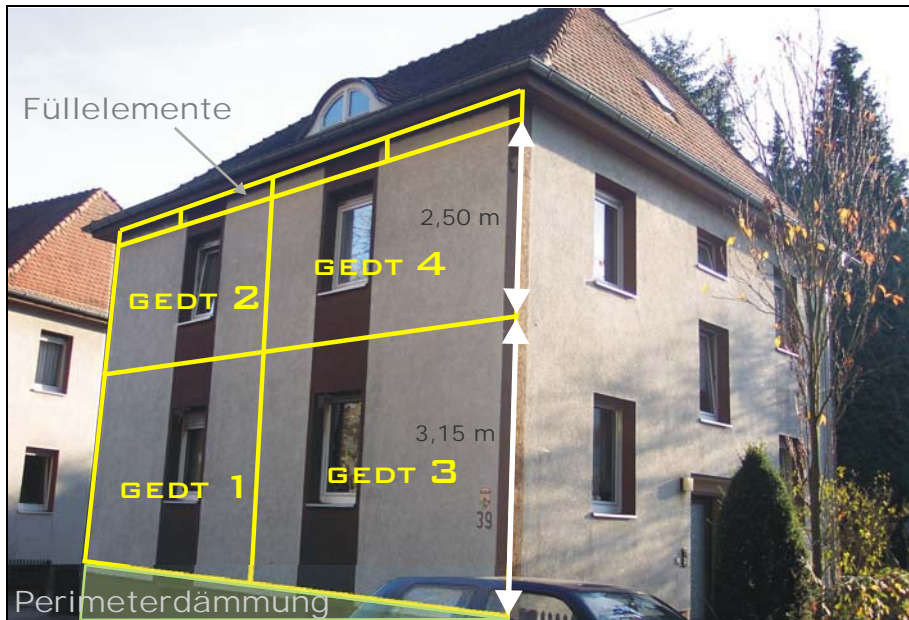


Bild 4: Aufteilung der Dämmelemente auf die Fassade

3 Effektiver U-Wert

Die eindimensionale Berechnung des U-Wertes des GEDT-Elements zusammen mit der 30 cm starken ungedämmten Außenwand ergibt einen U-Wert von $0,092 \text{ W/(m}^2\text{K)}$. Um die tatsächliche energetische Qualität der vorgefertigten Dämmfassade bewerten zu können, müssen die Wärmebrückeneinflüsse an den Befestigungselementen, den durchstoßenden Halterungen sowie an den Dämmelement- und VIP-Plattenstößen berücksichtigt werden. Folgende Wärmebrücken sind zu untersuchen:

- Stoß zwischen zwei VIP-Platten im GEDT-Element (linienförmige Wärmebrücke),
- Stoß zwischen zwei GEDT-Elementen (linienförmige Wärmebrücke),
- GEDT-Rand am Übergang zum Wärmedämmverbundsystem (linienförmige Wärmebrücke); das GEDT-Element überlappt das sich seitlich anschließende Wärmedämmverbundsystem. Bei der Anpassung beider Systeme und dem Verschluss der Fuge kann eine Wärmebrücke entstehen. Durch die Überlagerung mit der geometrischen Wärmebrücke an der Hauskante (bei Außenmaßbezug negativ) kann der Einfluss dieses Details meist minimiert werden.
- Halteanker, die die Dämmebene durchdringen (an den vertikalen und horizontalen Plattenrändern sowie in der Fläche (punktförmige Wärmebrücken)). Für diese Halterungen wird aus statischen und energetischen Gründen grundsätzlich Edelstahl eingesetzt.

Zusätzlich ist die Einbausituation der Fenster in das GEDT zu berücksichtigen. Diese Wärmebrücke wird üblicherweise nicht der Außenwand, sondern dem Fenster zugeordnet, so dass sie in diesem Zusammenhang nicht in die Berechnung des Gesamt-U-Wertes der Dämmelemente einbezogen wurde.

Welcher Gesamt-U-Wert für das GEDT-Element zu erreichen ist, hängt auch von der Ausführungsqualität der Vorfertigung und der Montage vor Ort ab. Zur Quantifizierung der Einflüsse wurden drei ver-

schiedene Modelle untersucht. Die Ausführung „wie geplant“ mit minimalen Fugen zwischen den VIPs (2 mm), die in der Vorfertigung erreicht werden müssen und maximal 15 mm Fugenbreite zwischen zwei GEDT-Elementen, die sowohl eine genau Vorfertigung als auch eine gute Montage vor Ort voraussetzen. Weiterhin die Variante „optimale Ausführung“ ohne Fugen zwischen den VIPs und mit nur 10 mm Zwischenraum zwischen den Großelementen sowie die Variante „ungünstige Ausführung“ mit 6 mm VIP-Fugen und 20 mm GEDT-Fugen.

Bild 5 zeigt den Vergleich der verschiedenen Varianten. Die Ausführung „wie geplant“ erreicht einem U-Wert von 0,155 W/(m²K). Bei optimaler Ausführung könnte der Gesamt-U-Wert um 5 % auf 0,148 W/(m²K) verbessert werden. Würden Vorfertigung und Montage ungünstig ausgeführt, so würde sich der Gesamt-U-Wert um 8 % gegenüber der geplanten Ausführung auf 0,167 W/(m²K) verschlechtern. Diese Schwankungen aufgrund der Ausführungsqualität liegen im gleichen Bereich, der auch bei Konstruktionen mit konventioneller Dämmung und Fugen dieser Breite im Dämmstoff auftritt. Die GEDT-Elemente verhalten sich diesbezüglich nicht anders als erprobte Dämmstoffe.

Die Berechnungen zeigen, dass eine hohe Ausführungsqualität bei der Herstellung und Montage der GEDT-Elemente erreicht werden muss. Berücksichtigt man die Unsicherheiten, die z. B. die exakte Wärmeleitfähigkeit der Vakuumdämmung betreffen (hier wurde mit $\lambda = 0,0042$ W/(mK) gerechnet) sowie die unvermeidlichen Alterungsprozesse der VIPs, so lässt sich die Empfehlung ableiten, die Dämmelemente energetisch nicht zu knapp zu bemessen, wenn ein bestimmter Energiekennwert für das Gebäude angestrebt wird und z. B. die Anlagenauslegung entscheidend durch diesen beeinflusst wird, wie dies bei Passivhäusern der Fall ist. Bei energetisch modernisierten Altbauten, in denen üblicherweise noch Heizkörper eingesetzt werden, sind hier jedoch weniger Probleme zu erwarten.

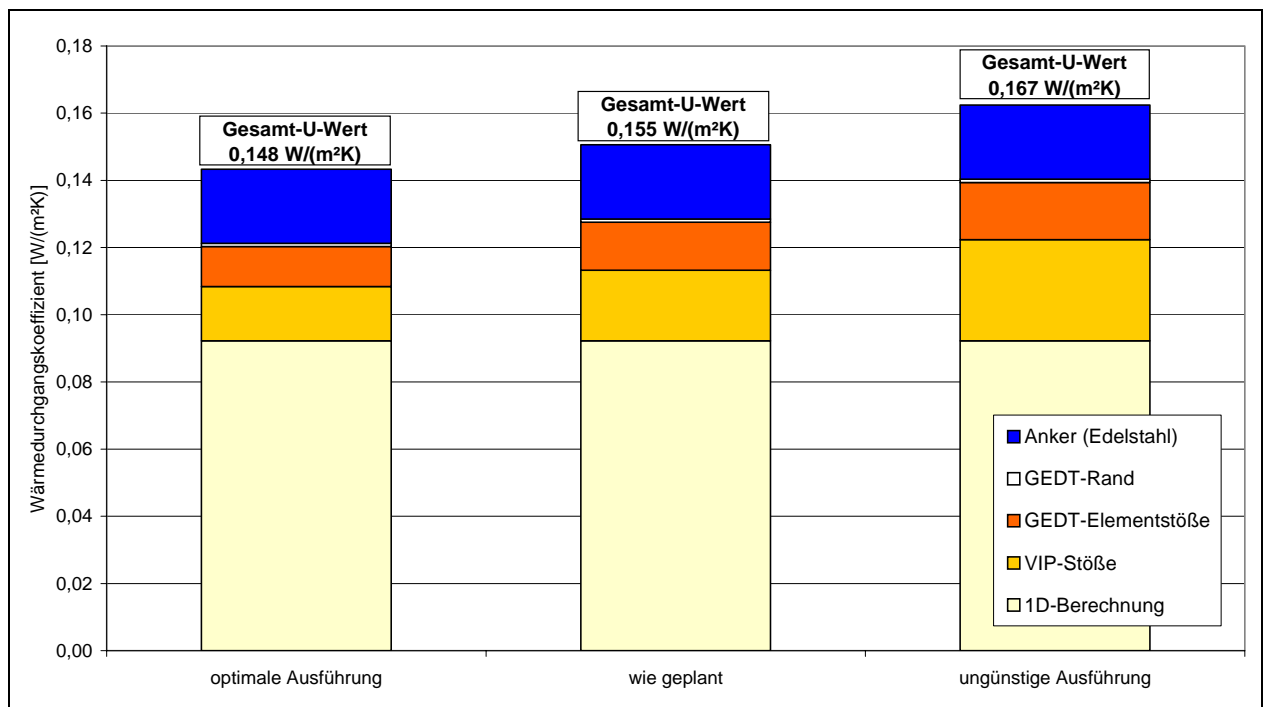


Bild 5: Abhängigkeit des Gesamt-U-Werts von der Ausführungsqualität (siehe Text)

Der Ziel-U-Wert der GEDT-Elemente für die Häuser in Hofheim von 0,16 W/(m²K) kann unter Berücksichtigung der Wärmebrücken und der Ausführung auf der Baustelle erreicht werden.

4 Zusammenfassung und Ausblick

Für die Straßenfassaden von drei Gebäuden in Hofheim werden vorgefertigte, vakuumgedämmte Fassadenelemente entwickelt und erprobt. Diese Technik zeichnet sich durch folgende Besonderheiten aus:

- Bei nur 90 mm Dicke der Elemente (zuzüglich max. 30 mm für die Befestigung und ca. 25 mm bei einer hinterlüfteten Bekleidung) wird ein U-Wert von 0,155 W/(m²K) und somit annähernd Passivhausstandard erreicht.
- Die Elemente können industriell vorgefertigt werden. Dadurch muss auf der Baustelle nicht mit den empfindlichen Vakuumdämmpaneelen hantiert werden. Da die Fenster ebenfalls integriert sind, wird auch eine nachträgliche Beschädigung durch den Fenstereinbau ausgeschlossen.
- Durch die industrielle Vorfertigung sind höhere Genauigkeit und Maßhaltigkeit möglich als bei einer Fertigung auf der Baustelle.
- Durch das Befestigungssystem ist eine schnelle Montage durch Einhängen möglich. Mieter der Wohnungen werden so nur wenig durch die Fassadendämmung beeinträchtigt.

Gegenwärtig befindet sich die Entwicklung der GEDT-Elemente in der letzten Detaillierungsphase. Die Montage ist für Ende Oktober geplant. Danach werden die Ergebnisse ausgewertet, Stärken und Schwächen des Konzepts untersucht und die Verallgemeinerbarkeit der Lösung vorangetrieben. Zusätzlich ist insbesondere die Analyse der Kosten, das Bestimmen von Einsparpotenzialen bei der GEDT-Technik sowie das Anwendungspotenzial im Gebäudebestand von Interesse. Die Erfahrungen werden auch in einem Planungshandbuch dokumentiert.

Literatur

Reyer et al.: Reyer, E. ; Scherer, M. ; Bamberger, C. ; Juretzko, M. ; Schild, K.; Sieder, M.; Völkner, S.: *Energiegerechte Außenwandsanierung mit industriellen Vorfertigungstechniken. Forschungs- und Entwicklungsvorhaben*. Ruhr-Universität Bochum, Institut für Konstruktiven Ingenieurbau. Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart 2003.

Dipl.-Ing. (FH) Marc Großklos

Institut Wohnen und Umwelt GmbH (IWU)
Annastraße 15, D-64285 Darmstadt
www.iwu.de
m.grossklos@iwu.de

Produkte und Systeme mit VIPs

Verbundelemente für vorgehängte Fassaden

Markus Luib, Dipl.-Ing. (FH), Bauelemente GmbH F. J. Linzmeier

1 Bauelemente GmbH F. J. Linzmeier

Im Jahr 1946 erfolgte die Gründung des Unternehmens als Zimmerei- und Holzbaubetrieb. Aus dem ehemaligen Handwerksbetrieb wurde mehr und mehr ein Produktionsunternehmen. Das Unternehmen zählt mit zwei Produktionsstandorten, Riedlingen (Baden-Württemberg) und Königshofen (Thüringen) heute zu einem der führenden Hersteller von Bauelementen und Dämmsystemen.

Kreativität, Innovation und Flexibilität begründen die kontinuierliche Erfolgsgeschichte.

LINIT FASSADENPANEELE

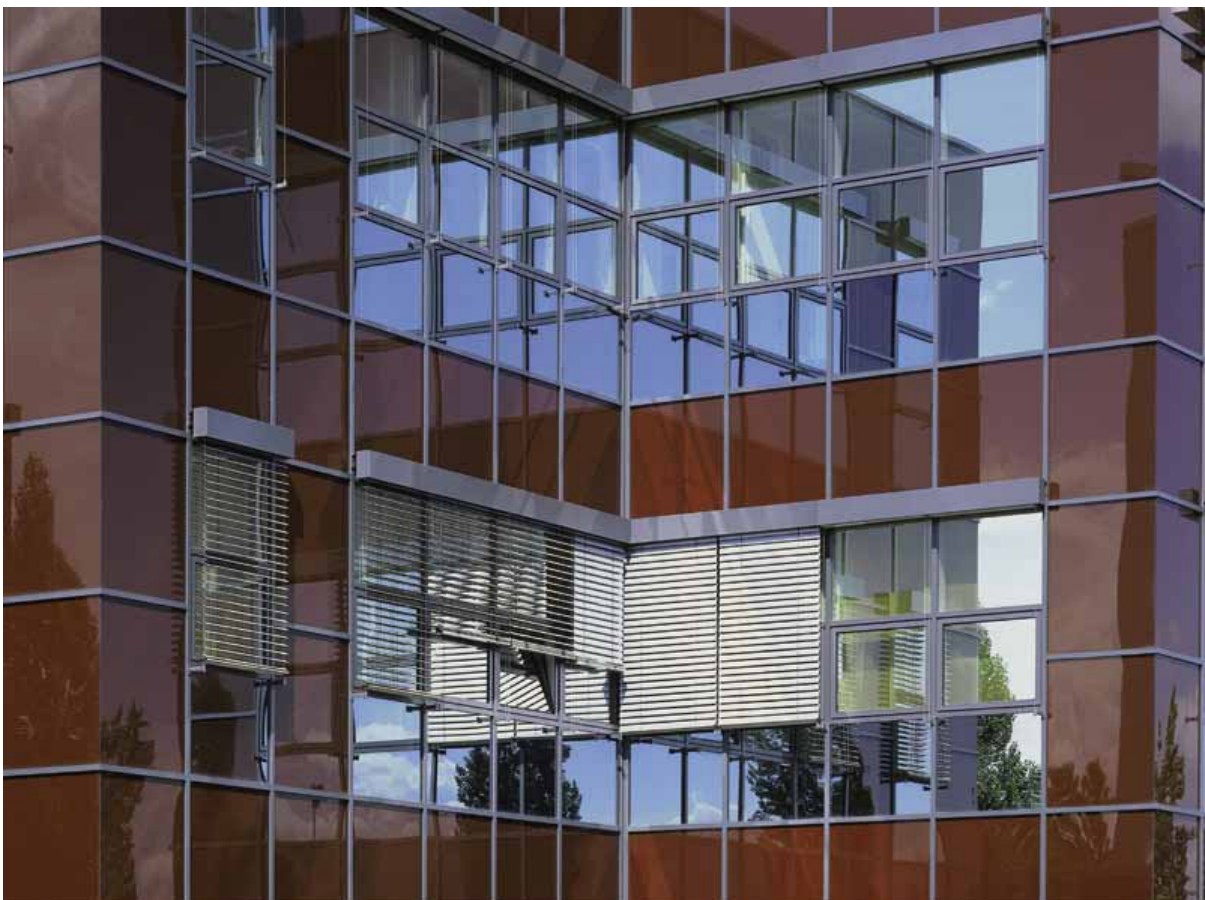


Bild 1: Fassade mit LINIT Paneelen

1.1 LINIT FASSADENPANEELLE

Die rege Bautätigkeit der Nachkriegszeit brachte viele neue architektonische Ideen hervor.

Verwaltungs-, Schul-, Wohnungs- und Industriebauten entstanden in Skelettbauweise. Richtungsweisende Systeme, möglichst dünne Verbundplatten mit guten Wärme- und Schalldämmleistungen, für den Bau der Fassaden waren gefragt.

Ab 1962 wurde die Produktion des Marken-Paneels LINIT für vorgehängte Fassaden aufgenommen. Schnell setzten sich die Vorteile der Paneele durch. Der Vorsprung dieser neuen Fassaden-Generation liegt auf der Hand: die Verarbeitung läuft wesentlich schneller und leichter gegenüber einer Massivbauweise. Schall-, Wärme- und Brandschutz sind inklusive. Mit LINIT bekommt der Planer ein stimmiges System für rationelles Bauen, der Gestalter einen faszinierenden Fundus für beeindruckende Fassaden.

Auch als Wand- oder Trennwandelemente, Tür- und Torfüllungen sowie im Klimabau finden die Paneele ihren Einsatz.

1.2 LINITHERM DÄMMSYSTEME

Die Forderungen nach mehr Wohnraum, Energiesparmaßnahmen und Umweltschutz waren 1980 Anstoß für die Entwicklung und Markteinführung eines neuen Produktes: LINITHERM als qualitativ hochwertige Aufsparrendämmung. Die großen und dennoch handlichen Platten mit raffinierten Systemkanten sind je nach Element Wärmedämmung, Dampfsperre und stabiles, wasserführendes und winddichtes Unterdach zugleich. Viele Vorteile für den Verarbeiter. Doch vor allem profitiert der Bauherr von den Vorteilen. In Verbindung mit LINITHERM Trockenestrich, Dämmpaneelen, Deckensystemen und Universal-Dämmplatten ist jedes Bauvorhaben so vom Keller bis zum Dach bestens gegen Kälte geschützt. Was zunächst nur als Idee im Raum stand, ist zu einer erfolgreichen Produktfamilie

gewachsen: Dämmen und Bauen mit System - eine Entwicklung Hand in Hand mit dem Markt. Das Herzstück vieler Dämm Lösungen ist PUR/PIR-Hartschaum aus eigener Produktion in güteüberwachter Qualität. Die hohe Nachfrage erforderte eine Erweiterung der Produktion. Um den Kunden möglichst nahe zu sein, wurde im Februar 1995 in Königshofen/Thüringen, das neu errichtete Zweigwerk in Betrieb genommen.



Bild 2: Verlegung von LINITHERM PAL N+F

1.3 LINIREC RECYCLING-BAUPLATTE

Im Jahre 1996 wurde eine Anlage zur Herstellung der LINIREC-Recyclingbauplatte, die aus PUR/PIR-Produktions- und Baustellenresten besteht, installiert und in Betrieb genommen.

Diese Konstruktionsbauplatten sind mechanisch hoch belastbar, sehr hart, feuchtigkeitsstabil und wärmedämmend. LINIREC-Recyclingbauplatten können mit den unterschiedlichsten Deckschichten kaschiert und beschichtet werden. Die Bearbeitung erfolgt mit üblichen Holzbearbeitungsmaschinen und –werkzeugen.



Bild 3: LITEC Fensterbohle

1.4 LITEC BAUSYSTEME

Seit dem Jahr 2002 bietet die Firma Linzmeier außerdem die LITEC-Bausysteme als Ergänzung der bereits vorhandenen Produkte an. Zu diesem Bereich gehören neben einem Gauben- und einem Wandbausystem die vielseitig verwendbaren LITEC-Bohlen.



Bild 4: LITEC GBS Gaubenbausystem

2 Pfosten-Riegel-Konstruktionen / Paneele

Pfosten-Riegel-Konstruktionen werden großteils im Objektbau eingesetzt, als sogenannte vorgehängte Fassaden (Vorhangfassade, curtain wall).

Wie ein Vorhang werden die mit Dichtungsprofilen versehenen Pfosten und Riegel vor die tragende Konstruktion (i.d.R. Geschossdecken) gehängt und miteinander verbunden. Nach Montage der Profile werden die Ausfachungen aus Glas, Metall, Holz oder Kunststoff von außen eingesetzt und mit abdichtenden Leisten angepresst. (Warmfassade)

Transparente Gefache bestehen in der Regel aus Isolierglas. In die starre Pfosten-/Riegelkonstruktion können auch Fensterelemente integriert sein.

Als opake Elemente werden sowohl im Brüstungsbereich, als auch teilweise über die gesamte Geschosshöhe Paneele eingesetzt welche aus verschiedenen Funktionsschichten zusammengesetzt sind.

Im einfachsten Fall bestehen sie aus folgenden Bauteilen:

- innere Deckschicht: z.B. Stahl-, Aluminiumblech, Kunststoff, Holzwerkstoffplatte
- Wärmedämmung (ggf. mit Dampfsperre): z.B. PUR/PIR-Hartschaum, Mineralfaser, VIP
- äußere Deckschicht: z.B. Glas, Aluminiumblech, Kunststoff, Holzwerkstoffplatte

Ist die Wärmedämmung nicht ausreichend druckfest, ist ringsum ein Einleimer mit einer möglichst geringen Wärmeleitfähigkeit integriert. Die Kanten können allseitig versiegelt sein.

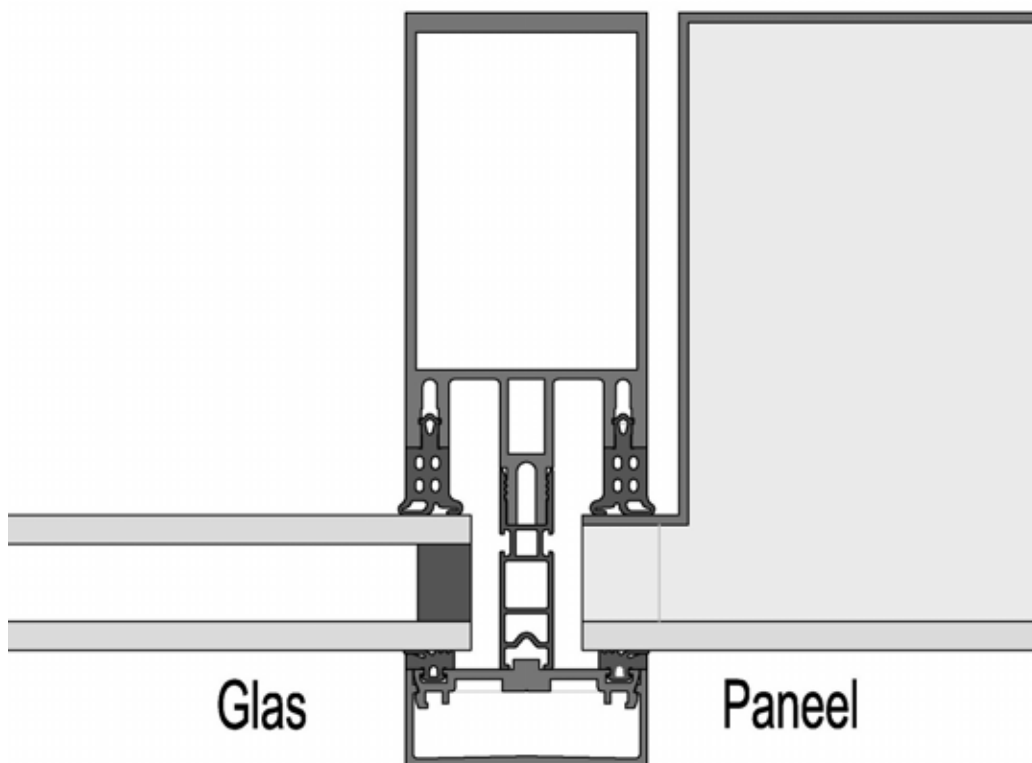


Bild 5: Horizontalschnitt durch Pfostenprofil, Isolierglas und Paneel

Um die Paneele mit Isolierglas kombinieren zu können, sollte die Einspannstärke von beiden möglichst gleich groß sein. Bei konventionellen Dämmstoffen werden als innere Deckschichten meistens gekantete Bleche eingesetzt, um die Wärmedämmung in entsprechender Dicke integrieren zu können.

Die Außenwände tragen im allgemeinen nicht zur Statik des Gebäudes bei. Es werden nur die elementaren Einwirkungen als Kräfte von der Fassade auf das Gebäude übertragen, nicht umgekehrt. Auflager und Anschlüsse sind so beschaffen, dass Verformungen des Gebäudes keine Auswirkungen auf die Elemente haben.

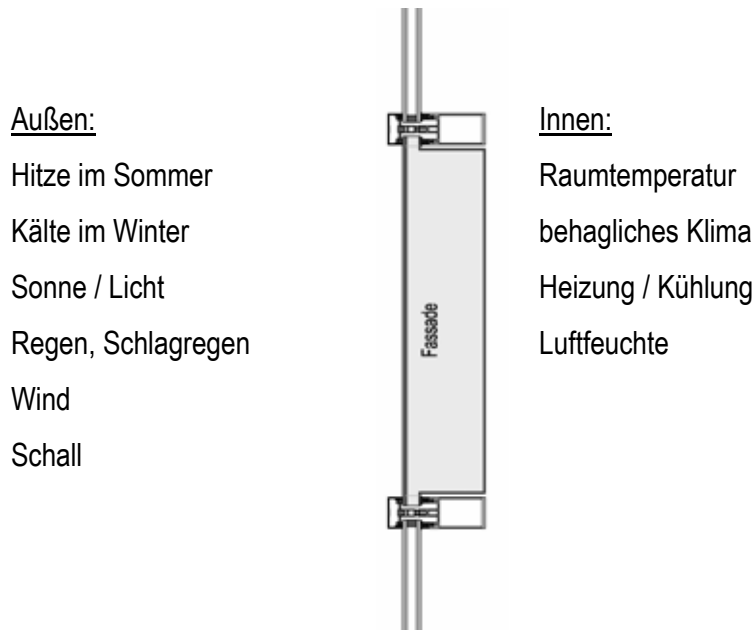


Bild 6: elementare Einwirkungen auf die Fassade

Neben den Ansprüchen an Wärme-, Schall- und Brandschutz können mit diesen Fassaden auch Anforderungen an die Einbruch-, Durchbruch-, Durchschusshemmung etc. gelöst werden.

3 VIP in Fassadenpaneelen

Wie bereits erwähnt ist es günstig, die Einspannstärke von Paneel und Glas gleich dick zu wählen. Es muss also bei konventionellen Dämmstoffen mit λ -Werten von 0,024 bis 0,035 W/(mK) auf der Paneelinnenseite zum Beispiel ein gekantetes Blech eingesetzt werden um entsprechende Dämmwerte zu erhalten. Nachteilig bei diesen Paneelen ist der Psi-Wert (Ψ = linearer / längenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient), der sich bei steigender Paneeldicke um so stärker auf die Gesamtwärmedämmung der Fassade auswirkt.

In folgender Formel ist die Auswirkung des Ψ -Wertes auf den Gesamtwärmedurchgangskoeffizienten (Kombination Paneel + Rahmen, ohne Verglasung) beschrieben:

$$U_w = \frac{A_p \cdot U_p + A_f \cdot U_f + l_p \cdot \Psi_p}{A_p + A_f}$$

Sind außer den Paneelen Isolierglaseinheiten integriert, wird der U-Wert wie folgt berechnet:

$$U_w = \frac{A_g \cdot U_g + A_p \cdot U_p + A_f \cdot U_f + l_g \cdot \Psi_g + l_p \cdot \Psi_p}{A_g + A_p + A_f}$$

Symbole:

U = Wärmedurchgangskoeffizient bzw. U-Wert [W/(m²K)]

A = Fläche [m²]

l = Länge (der Umrandung) [m]

Ψ = Längenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient [W/(mK)]

Indizes:

_g = Verglasung

_f = Rahmen (engl.: frame)

_p = Paneel

_w = Fenster bzw. Gesamtkonstruktion (engl.: window)

Als Alternative bietet sich hier die Vakuumdämmung mit λ -Werten von ca. 0,005 w/(mK) an. Der Psi-Wert kann reduziert werden, da die innere Deckschicht nicht gekantet werden muss. Somit kann mit wesentlich dünneren Elementen eine gleichwertige Wärmedämmwirkung erzielt werden. Die Temperaturverteilung (s. Bilder Isothermen) über die Dicke ist gleichmäßiger.

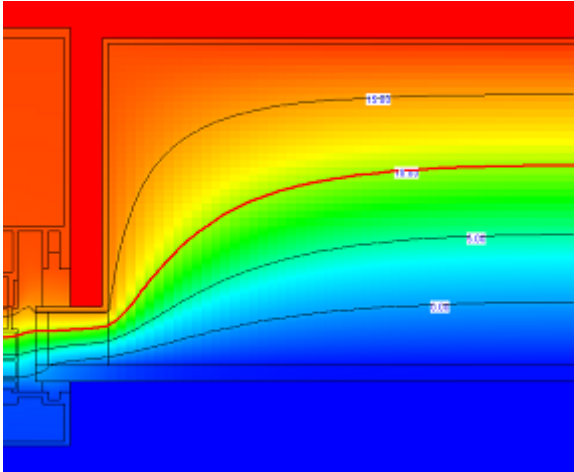


Bild 7: Isothermen: Paneel mit konventionellem Dämmstoff

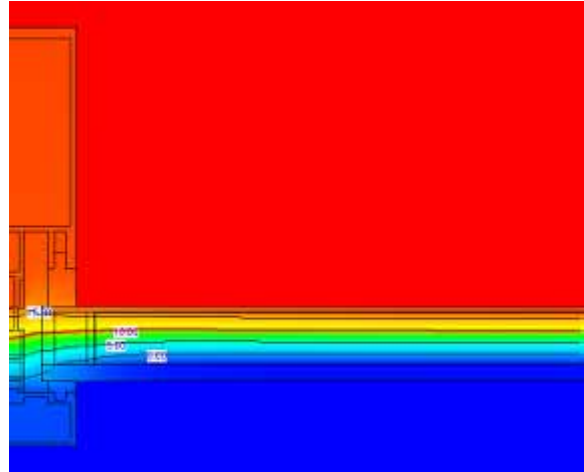


Bild 8: Isothermen: Paneel VIP

Es kann also auf einfache Weise die gleiche Einspannstärke wie bei Isoliergläsern hergestellt werden.

Durch den Zusammenbau der Paneele im Werk werden somit die höheren Dämmstoffkosten teilweise kompensiert.

Wie bei konventionellem Dämmstoff sind Deckschichten aus Glas, Stahl, Aluminium, etc. möglich.

Die Beschädigungs-Probleme der Vakuumdämmung, wie sie bei sonstigen Anwendungen am Bau zutreffen, entfallen. Die Folie des VIPs ist durch die Paneeldeckschichten und die umlaufenden Kanteneinleimer während der Bauzeit und während der Anwendung optimal und dauerhaft geschützt. Allerdings muss während der Bauphase und Nutzungsdauer immer darauf geachtet werden, dass die Elemente auch nachträglich nicht angebohrt werden, da sie ansonsten die Dämmwirkung verlieren.

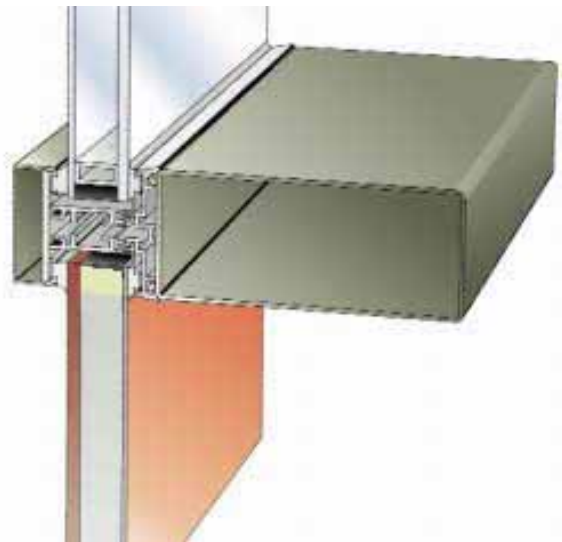


Bild 9: Paneel mit VIP im eingebauten Zustand

Durch die extrem schlanke Konstruktion ergeben sich weitere Vorteile beim Transport und Handling der Fassadenelemente.

4 VIP-Paneele – Technik

Die wärmetechnischen Pluspunkte der Vakuumdämmung sind wie oben erwähnt von großem Vorteil.

Die VIPs bedürfen aber bei der Paneelherstellung besonderer Beachtung.

So ist aufgrund unterschiedlicher Ausdehnungskoeffizienten der einzelnen Materialien eine vollflächige Verklebung nur bedingt zu empfehlen. Dies hat wiederum den Nachteil, dass große Paneele, wenn überhaupt, dann nur mit entsprechend dicken Deckschichten möglich sind. Die Verbundwirkung wie bei Paneelen mit beispielsweise PUR/PIR-Hartschaum-Dämmung ist somit nicht gegeben.

Konventionelle Dämmstoffe können bei großen Paneelen problemlos gestoßen werden. Da Vakuumdämmung nur bis zu bestimmten Formaten gefertigt werden kann, sollten am Stoßbereich des Dämmkerns besondere Maßnahmen getroffen werden.

Trotz relativ hoher Druckfestigkeit des Kernmaterials (Mikroporöse Kieselsäure) ist bei den Paneelen ringsum ein separater druckfester Einleimer zu empfehlen, um die VIP-Folie nicht unnötig zu strapazieren.

Die Toleranzen des VIPs müssen ebenso einbezogen werden. Sowohl in der Dicke, als auch in der Länge und Breite. Insbesondere im Eckbereich ist durch die Umfaltung der Mehrlagenfolie eine Maßerhöhung gegeben.

In folgender Tabelle sind einige Vor- und Nachteile verschiedener Dämmstoffe für den Einsatz in Fassadenpaneelen zusammengefasst:

Tabelle1: Vorteile – Nachteile verschiedener Dämmstoffe in Paneelen

Merkmal / Dämmstofftyp	VIP-Dämmung	Mineralfaser	PUR/PIR-Hartschaum
Erfahrung	0	++	++
Toleranzen	-	0	+
Schallschutz	0	++	0
Brandschutz	0	++	0
erforderliche Dämmstoffdicke	++	0	+
Psi-Werte	+	0	0
Temperaturbeständigkeit	0	++	+
Paneelgröße	-	+	++
Dauerhaftigkeit		+	++
Stoßausbildung	-	++	++
Verklebung		+	++

++ = sehr gut, + = gut, 0 = zufriedenstellend, - = bedingt geeignet

5 Zusammenfassung

Der Einsatz von Vakuumdämmung im Fassadenbereich ist eine innovative Lösung und Erweiterung zu üblichen Dämmstoffen. Auf einfache Art und Weise können die Paneele in übliche Pfosten-/Riegelkonstruktionen eingebaut werden. Auch für Türfüllungen, Fensterwände und Kühlzellen bieten sich die schlanken VIPs als sinnvolle Ergänzung an.

Literatur

DIN EN ISO 10077: *Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten*

Markus Luib



Bauelemente GmbH
F. J. Linzmeier
Industriestraße 21
www.Linzmeier.de
info@Linzmeier.de

Heizen und Dämmen – moderne Technik zieht sich an

Vakuumtechnik + Heizung = Klimapaneel

Moderne Fassaden zeichnen sich durch viel Glas aus. Leichte Ästhetik, schlanke Profile, grazile Konstruktionen, so wenig wie möglich sehen, das sind die Ansprüche der heutigen Architekten. Dazu ist in der Zeit des Umdenkens, der Planung und Einplanung knapper werdender Ressourcen die Energiebilanz eines Gebäudes ein sehr entscheidender Faktor von Investoren geworden. Imagegewinn gepaart mit wirtschaftlichen Aspekten sind heute die Interessen dieser Zielgruppe.

Fassaden von Gewerbebauten besitzen im Regelfall eine geschlossene Brüstung. Diese ist außen mit einer Deckschale aus Glas, Blech, Keramik o.ä. versehen. Im Zwischenraum kommt meistens herkömmliche Mineralwolldämmung zur Ausführung. Die innere Bekleidung besteht im Regelfall aus gekanteten Aluminium oder Stahl, je nach gewünschter Optik und Einsatzgebiet. Mit etwas Abstand folgt innen häufig ein Heizkörper in der gewünschten Optik und Leistungsklasse.

Um der EnEV gerecht zu werden, muss in diese Brüstung meistens eine Mineraldämmung von mind. 120mm eingebracht werden. Zuzüglich des erforderlichen konstruktiven Halteaufbaus und der Außenschale, des notwendigen Abstands und eines simplen, einfachen Heizkörpers, ergeben sich spielend Gesamtdicken von 280 – 450 mm. Fläche, die dem Raum und damit auch der vermietbaren Fläche fehlt.

Hier setzt das KLIMAPANEEL® an



Bild 1: Fassade mit herkömmlichen Heizkörper und alternativ mit dem integrierten Klimapaneel®

Das Klimapaneel® integriert die 3 wichtigen Bestandteile:

Undurchsichtige Füllung der Fläche - integrierte „Superdämmung“ – heizen / kühlen

Das Zusammenfügen dieser Komponenten wurde erst durch die Vakuumdämmung ermöglicht.

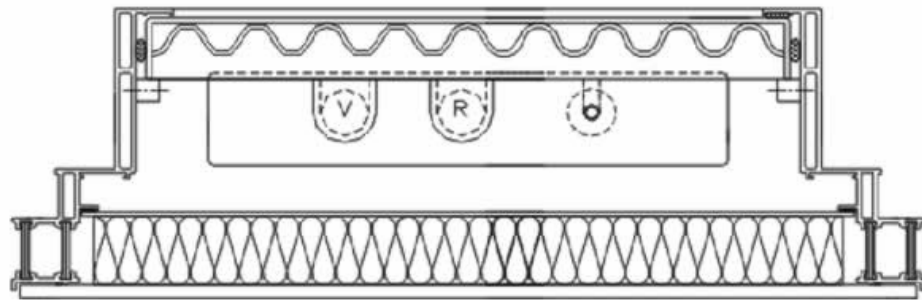
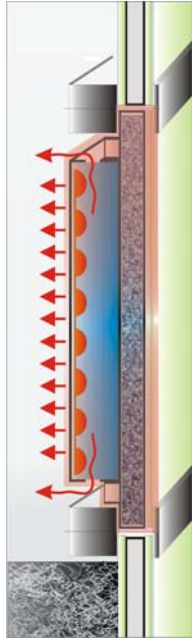


Bild 2: Horizontalschnitt eines Klimapaneel®

Bild 3: Wirkungsweise des Klimapaneel®

Das Vakuumpaneel wird in den gewünschten U-Werten im Klimapaneel® eingesetzt und gegenüber dem Heizmedium abgeschirmt. Nach Außen erfolgt ggfls. eine weitere Abschirmung, sofern keine 100% geeignete Außenbekleidung eingesetzt wird, wie z.B. Holz oder Laminat. Die Konstruktion ist so konzipiert, dass Außenschale direkt eingebunden ist. Teure, aufwendige Kantungen oder Blechverschweißungen gehören damit der Vergangenheit an.

Üblicherweise wird ein 20 mm Inlett eingesetzt, womit der Up-Wert von

0,23 W/qmK erreicht wird. Im Gegensatz zur herkömmlichen Dämmung somit bereits ein **Stärkengewinn** von 140 – 180 mm.

In dem thermisch getrennten Rahmen wird ein hocheffizienter Flachheizkörper mit absolut ebener Außenplatte im Gleitlager eingesetzt. Der Konvektionsspalt wurde auf das Minimalmaß von 30 mm reduziert .

Die Differenz zwischen dem herkömmlichen Aufbau und dem Klimapaneel® ergibt somit ein Raumgewinn von ca. 250 – 350 mm, je nach Aufbauvergleich immerhin ca. 1/3 qm zusätzliche Fläche je laufender Meter Fassade oder Fenster.

Von Anfang an wurde auf die geringe Einbautiefe erheblichen Wert gelegt. Mit einer Dicke von gerade einmal 90 mm für Dämmung und Heiz- oder Heiz-/Kühlelement werden die Tiefen der Fassadenkonstruktionen in der Regel nicht überschritten. Dieses war ein wichtiger konstruktiver Entwicklungs-Eckpunkt: Zum einen wird eine ansprechende Ästhetik nur durch eine flächenbündige Integration des Klimapaneel® in die Fassade erreicht, zum anderen hat für uns die Sicherheit absolute

Priorität. In öffentlichen Bereichen wie z.B. Schulen, Kindergärten u.ä. darf es keine überstehenden Ecken und Kanten geben, das Hinaufklettern ist nicht möglich.

Als weiterer wichtiger Punkt unseres Entwicklungs-Pflichtenhefts lag in der einfachen Montage. Das Klimapaneel® sollte einfachst zu montieren sein. Diesen Anspruch werden wir durch den problemlosen Einbau in den Glasfalz der Fassaden oder Rahmen gerecht, ganz gleich aus welchem Material diese bestehen. Es erfolgt die Montage wie eine Verglasung, wie eine herkömmliche Isolierverglasung. Die Schnittstelle, Übergabe an die Haustechnik wird vorab klar geregelt und erfolgt in den meisten Fällen unterhalb der Klimapaneele®, indem flexible Anschlüsse oder Übergabedosen zur Anwendung kommen, alles Standardartikel des Heizungsbauers.

Diverse weitere Möglichkeiten und Varianten wurden dazu entwickelt und können objektspezifisch ausgeführt werden.

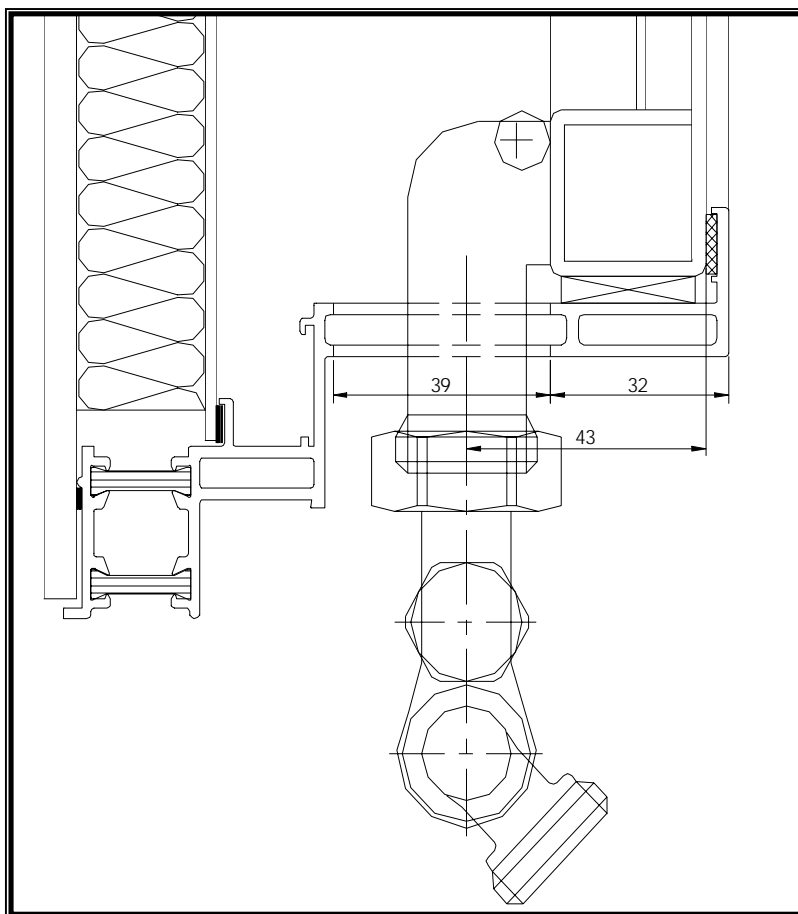


Bild 4: Detail aus Vertikalschnitt mit schwenkbaren Anschluss

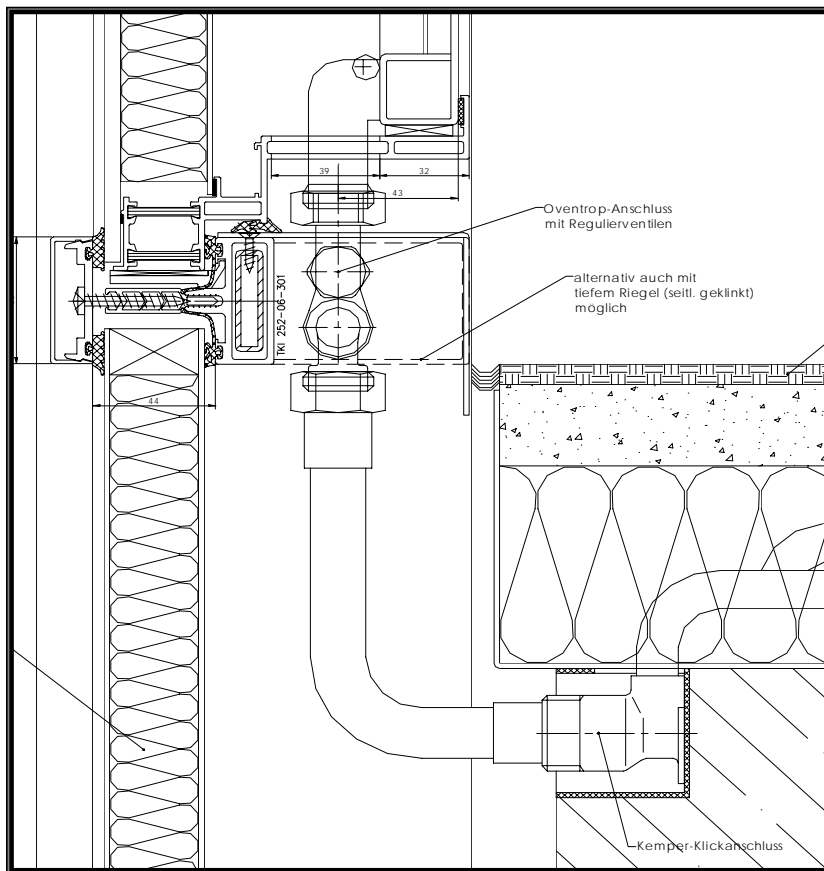


Bild 5: Detail aus Vertikalschnitt am Beispiel einer 50 mm Fassade, System TKI, Serie 252, Klick-Anschluss und Oventrop-Ventil

Ob Anschlüsse, flexibel oder starr, mit elektronischer Regelung oder per Handventil, Oberfläche oder Abmessungen, das System Klimapaneel® ist offen für die Wünsche und Anforderungen der Planer, Architekten und Investoren. Design ist für die „geschlossene Brüstung“ kein Fremdwort mehr. Der Konsens aus Funktion und Architektur, moderne Ästhetik gepaart mit Raumgewinn, dabei extrem geringe Up-Werte – dieses sind unsere Anforderungsparameter zur Entwicklung und Markteinführung des Klimapaneel® gewesen.

Neben Designuntersuchungen ließen wir fachtechnische Prüfungen u.a. beim ZAE in Würzburg sowie beim HLK in Stuttgart vornehmen.

Andree Ebert

Boetker GmbH & Co. KG

Meenheit 53

DE - 28816 Stuhr

Tel. 0421/57 6 57 – 50

Fax 0421/57 6 57 - 54

andree.ebert@boetker.de

www.boetker.de

Integration von VIP´s in Wärmedämm-Verbundsysteme

Dipl.-Phys. Markus Zwerger, Dr. Hans Klein, STO AG



Mit der energetischen Verbesserung der Bausubstanz und dem Mindeststandard der Energieeinsparverordnung im Neubau werden Heizkosten gesenkt und ein wichtiger Beitrag zum Umweltschutz geleistet. Passivhäuser demonstrieren das Potential moderner Dämmsysteme überzeugend.

Abb.: 1) Passivhaus Petrisberg in Trier / Architekt Lamberty

Neben vorgehängten Fassadenkonstruktionen mit einem Marktanteil von etwa 30% und Kerndämmungen (15% Marktanteil) bewähren sich mit mehr als 50% Marktanteil seit Jahrzehnten Konstruktionen mit Wärmedämm-Verbundsystemen (WDVS). Die restlichen ca. 5% des Marktes teilen sich solare Umweltwände auf Basis transparenter Wärmedämmung und Glasfassaden.

Speziell Wärmedämm-Verbundsysteme tragen zusätzlich zu den energiesparenden Eigenschaften einer hochwärmegeprägten Fassade auch zur Werterhaltung des Gebäudes bei.

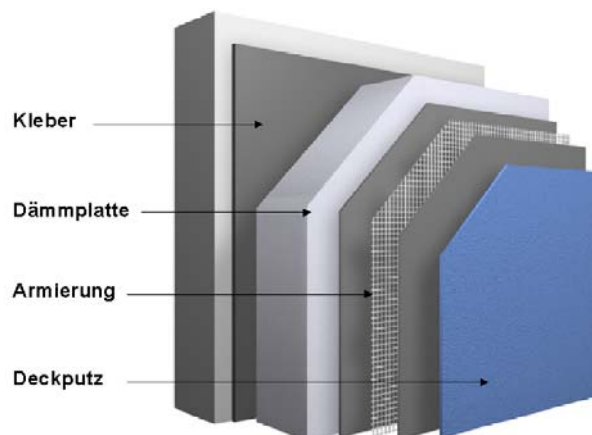
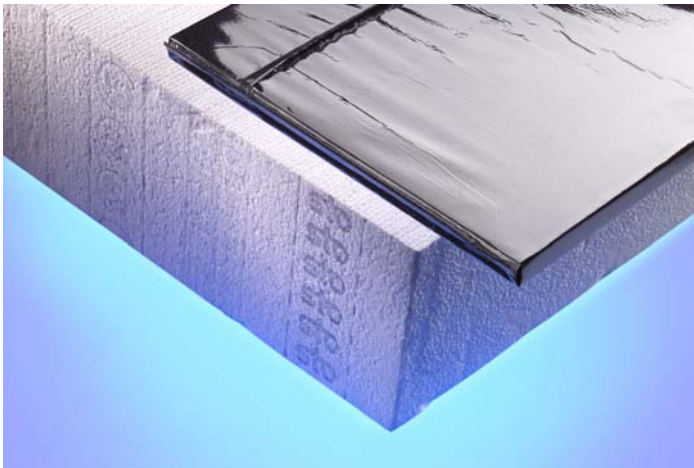


Abb.: 2) Systemaufbau eines WDVS

Bei Niedrigenergie, Ultra- und Passivhäusern werden Dämmschichten von 20 cm und mehr benötigt, um die hohen Anforderungen zu erfüllen.



Mit Vakuumdämmplatten (VIP) kann man die Dämmstärken - bei gleichbleibendem Dämmwert - gegenüber konventionellen Materialien um einen Faktor 5 bis 10 reduzieren.

Abb.: 3) VIP und konventioneller Dämmstoff im Vergleich

Diese neue Qualität der Wärmedämmung wird zur vermehrten energetischen Sanierung von Altbauten beitragen. Bestehende Vorbehalte ("kein Platz für Dämmung") können auf diese Weise ausgeräumt werden.

Das Konzept zur Vakuumdämmung von Gebäuden beruht auf der Verwendung von speziellen, gasdichten Umhüllungsfolien und einem evakuierten Kern aus mikroporöser Kieselsäure bzw. Aerogel, der relativ unempfindlich gegenüber Gasdruckanstieg ist (Wärmeleitfähigkeit von 0,005 W/mK bei 10 mbar und 0,008 W/mK bei 100 mbar Gasdruck). Kritischer Systembestandteil eines VIP ist die Barrierefolie, die vor Verletzungen geschützt werden muss. Die Integration von VIP in den WDVS Systemgedanken bietet diesbezüglich Synergien.

Bereits im Jahr 2000 wurden an einem Giebel eines denkmalgeschützten Hauses in Nürnberg VIP's in ein mechanisch befestigtes Wärmedämm-Verbundsystem integriert. Bei diesem Objekt wurden die 15 mm dünnen Vakuumdämmplatten direkt auf die Wand verklebt und zusätzlich von einem Schienensystem mit Putzträgerplatten aus 35 mm XPS Schaum gesichert. Eine Weiterentwicklung dieser Ausführung, bei der die VIP-Elemente gegenüber Beschädigungen im Bauablauf deutlich besser geschützt sind, zeigt Abbildung 4. Bei diesem System ist das VIP-Element bereits beidseitig mit EPS-kaschiert, wobei die EPS-Frontplatte eine Nut für das Schienensystem aufweist. Nachteilig bei der Integration in mechanisch befestigte Systeme ist die Wärmebrücke der Halteschiene, die durch die EPS-Kaschierung nicht ausreichend überdämmt werden kann.

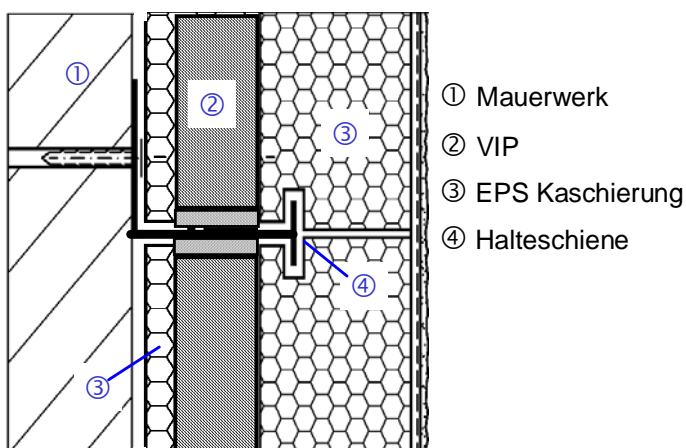


Abb.: 4) Integration von VIP in ein mechanisch befestigtes WDVS

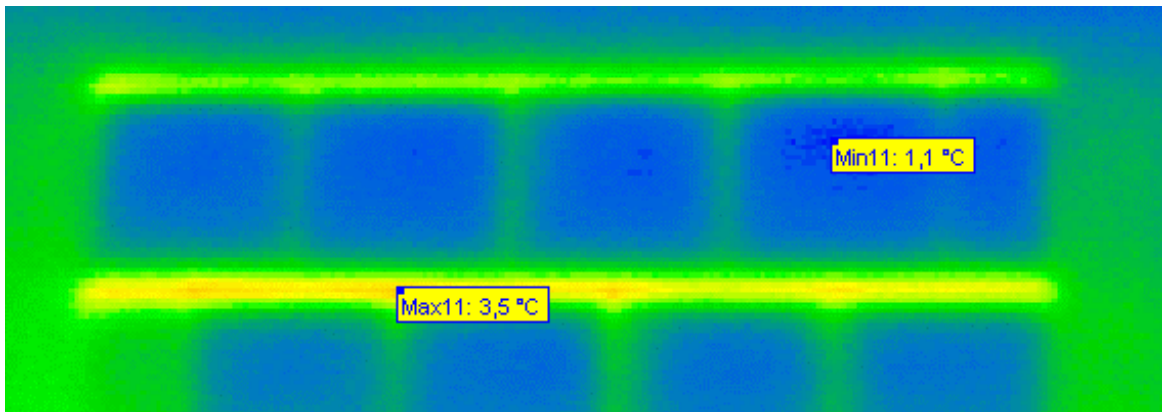


Abb.: 5) Infrarotthermografie einer Wand mit VIP's in einem mechanisch befestigtem Wärmedämmverbundsystem. Deutlich sind die Fugen im Bereich der Halte- und Verbindungsleisten zu erkennen

Relativ einfach zu realisieren ist das Einschäumen in Polystyrol. Ein umseitiger Polystyrolmantel schützt das empfindliche VIP.

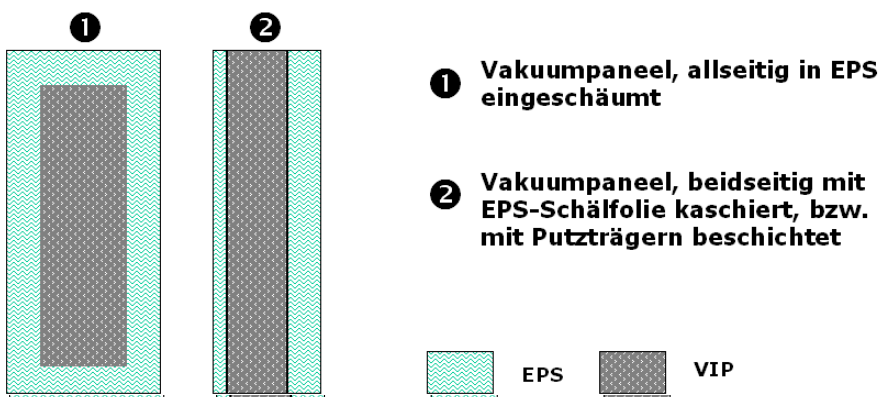
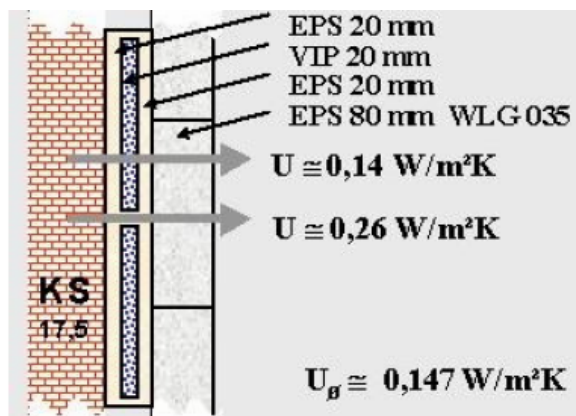


Abb.: 6) VIP/WDVS Integration durch Einschäumen bzw. Kaschieren mit EPS.

An einem Passivhaus in Bersenbrück wurde der Gedanke, VIP komplett in Polystyrol einzuschäumen, in der praktischen Anwendung getestet. Es handelt sich um 20 mm starke VIP's, die allseitig mit 20 mm Polystyrol WLG 035 ummantelt sind.



Um Fugenabzeichnungen und Wärmebrückeneffekte zu minimieren wurde eine zweite Dämmstofflage mit einer Dicke von 80 mm aufgebracht. Die Sollvorgabe von $0,15 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ konnte mit einem mittleren, rechnerisch ermittelten U-Wert von $0,147 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ somit erreicht werden.

Abb.: 7) 20 mm EPS-kaschierte VIP's mit zweiter Dämmschicht

Thermografische Aufnahmen des Gebäudes vor und nach der Verlegung der zweiten Dämmstofflage belegen, dass die ursprünglichen Wärmebrücken in den Fugenbereichen deutlich reduziert werden konnten.



Abb.: 8) Thermografie des Passivhauses Bersenbrück

Die Verwendung einer zweiten Dämmstofflage zur Reduzierung der Wärmebrücken erhöht nicht nur den Aufwand am Objekt maßgeblich. Auch der wesentliche Vorteil einer VIP-Fassade, die „schlanke Wand“, geht durch den Gesamtaufbau von 14 cm weitgehend verloren. Gegenüber einer konventionellen Dämmmaßnahme konnte die Dämmstoffdicke nur etwa halbiert werden, bei deutlich höherem Aufwand und Kosten.



Abb.: 9) Passivhaus Bersenbrück mit in 2 cm EPS eingeschäumten VIP-Elementen

Diese Nachteile können durch eine nur front- und rückseitige Kaschierung mit z.B. EPS behoben werden. Im Rahmen der Bauausstellung der Landesgartenschau Trier 2004 wurden zwölf Reihenhäuser mit innovativer Technik erstellt. Die Passivhäuser der Architekten Lamberty/Schmitz & Hoffmann Architectes wurden teilweise mit EPS-kaschierten VIPs ausgeführt. Es handelt sich um 20 mm starke VIPs, die front- und rückseitig mit Polystyrolschichten kaschiert sind. Dadurch können die VIP's fugenlos im Stoßverbund mit minimalen Wärmebrückeneffekten verlegt werden.

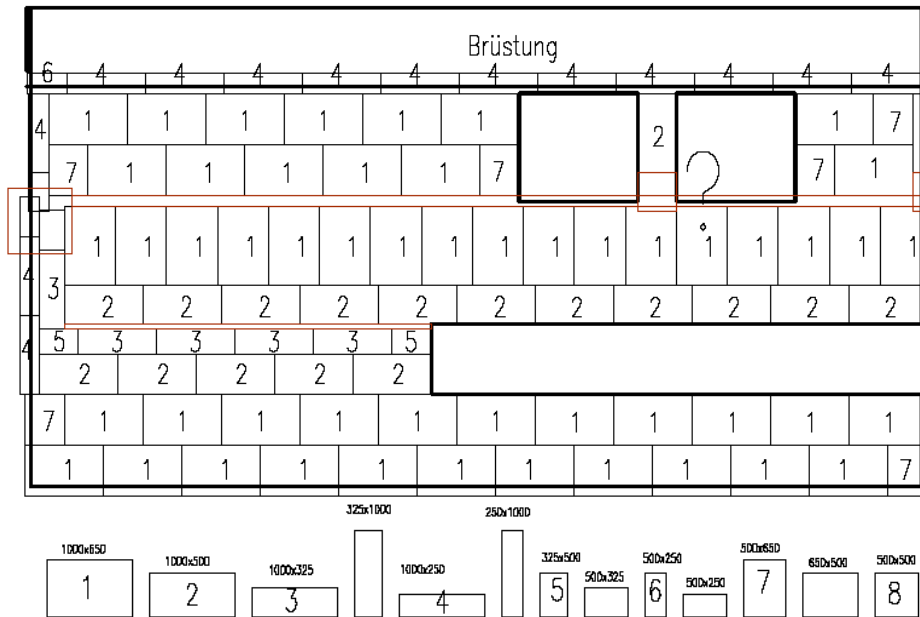


Abb.: 10) beidseitig EPS kaschierte VIP's



Abb.: 11) Passivhaus Petrisberg/Trier mit beidseitig EPS kaschierte VIP's

Bei der Anwendung eines VIP-integrierten Wärmedämm-Verbundsystems muss vorab ein Fassadenplan erstellt werden, da ein Nacharbeiten der VIP-WDVS-Dämmplatten vor Ort nicht mehr möglich ist.



Die Erstellung des Fassadenplans erfolgt durch Vermessung der realen Fassade (in der Regel mit Abweichungen vom Plan) und darauf basierendem „Schnittmuster“ für die einzelnen VIP-Elemente.

Abb.: 12) Fassadenplan des Passivhauses Petrisberg/Trier

Alternativ zu einer Kaschierung der VIP-Elemente mit Schaumstoffen können zäh-elastische Beschichtungen verwendet werden. Diese Beschichtungen, die sowohl Putzträger als auch Haftvermittler für die Verklebung der VIP-Elemente an der Fassade sind, müssen - vergleichbar den Kaschierungen – die VIP-Elemente vor mechanischen Beschädigungen schützen.

An einem Institutsgebäude des Fraunhofer ISE in Freiburg wurde im Jahr 2004 eine Fassade mit VIP-Elementen gedämmt, die vorher mit einer organisch gebundenen Spachtelmasse beschichtet wurden.



Abb.: 13) Sanierung eines FhG-ISE Institutsgebäudes mit beschichteten VIP's



Bei der Ausführung der Fassade zeigte sich erneut, dass bei VIP-Fassaden die Lösung der Detailfragen entscheidend ist. Nicht jeder Anschluss lässt sich optimal ausführen.

Abb.: 14) Anschluss mit VIP an ein Fenster.

Kurze Zeit nach dem Verkleben der VIP-Elemente mussten mehrere beschädigte VIP's ausgetauscht werden. Im Anschluss wurde die Fassade im Herbst 04 armiert (Putzschicht mit Gewebeeinlage).

Eine im Frühjahr 2005 durchgeführte Thermografie zeigt, dass weitere VIP-Elemente mittlerweile belüftet sind.

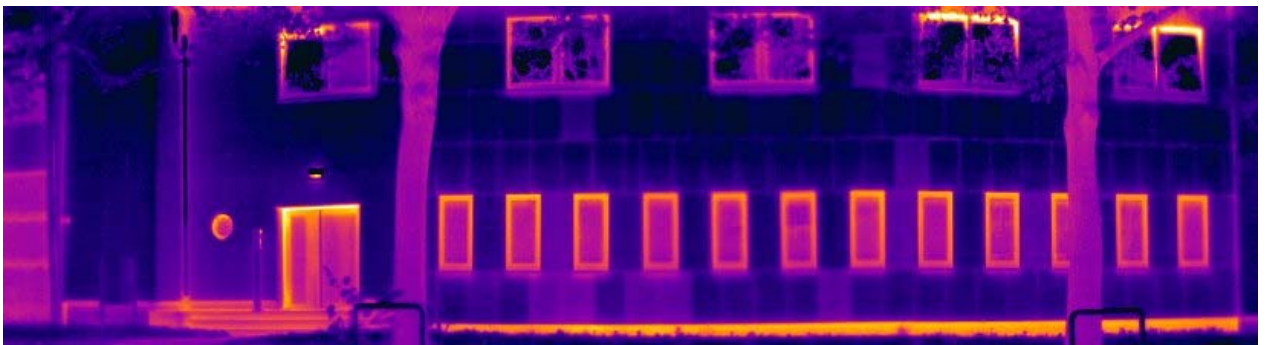


Abb.: 15) Thermografie einer VIP-Fassade mit belüfteten VIP-Elementen

Fazit

In einer Reihe von Forschungsprojekten wird an innovativen Fassadensystemen mit Vakuumdämmung gearbeitet. Vakuumdämmungen (VIP) ermöglichen schlanke, hochdämmende Systeme. Die Integration von VIP in Wärmedämm-Verbundsysteme (WDVS) ist von besonderem Interesse, da WDVS in großem Umfang im Neubau und bei der Altbausanierung eingesetzt werden. Die in diesem Beitrag dargestellten Varianten belegen, dass der Einsatz von VIP in WDVS grundsätzlich möglich ist, jedoch viele Detailprobleme noch zu lösen sind.

Da Wärmedämm-Verbundsysteme theoretisch eine Lebenserwartung aufweisen, die bei entsprechender Pflege der des Gebäudes entsprechen kann, werden an VIP's hohe Anforderungen gestellt. Die Gebrauchsdauertauglichkeit der VIP-Technologie muss jedoch erst noch nachgewiesen werden.

Dipl.-Phys. Markus Zwerger

Sto AG, Ehrenbachstrasse 1, D-79780 Stühlingen, m.zwerger@stoeu.com

High Performance Thermal Insulations: Aktivitäten und Ergebnisse des IEA Annex 39

Hans Simmler, Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt, CH-8600 Dübendorf

1 Einleitung

Gute Architektur und wirkungsvolle Wärmedämmung von Gebäuden sind oft schwierig in Einklang zu bringen, da aus energetischen Gründen heute Dämmschichtdicken von 20 und 40 cm erforderlich sind. Gerade im Sanierungsbereich ist gute Wärmedämmung mit vertretbarem Raumverlust oft kaum möglich. Hochleistungsdämmsysteme wie Vakuumisolationspaneele (VIP) eröffnen interessante neue Möglichkeiten für Raum sparende und dennoch hoch wärmedämmende Konstruktionen für die Gebäudehülle (Caps, R., 2002). Als Beispiel zeigt Bild 1 die Aussendämmung einer Terrasse ohne Niveauunterschied zwischen Wohnraum und Aussenbereich, der über einem beheiztem Raum liegt.



Bild 1: Dämmung einer Terrasse mit VIP. Als Schutzschichten werden beidseitig dünne konventionelle Dämmplatten oder Bautenschutzmatte eingesetzt.

Die Entwicklung der VIP-Technologie für den Baubereich spielte sich hauptsächlich in Deutschland ab, wo heute auch ein wesentlicher Teil VIP-Produktion angesiedelt ist. VIP-Bauprojekte entstanden rasch in der deutschsprachigen Schweiz, wo heute bereits VIP-Flächen von einigen 10'000 m² verbaut sind.

Die Einführung dieser neuartigen Bauteile in der Baupraxis ist aber auch mit offenen Fragen und Risiken verbunden. Zentral sind dabei Gebrauchstauglichkeitsaspekte wie Zuverlässigkeit, Alterung und Lebensdauer, aber auch bauphysikalische und anwendungstechnische Fragen. Aus diesem Grund kam aus der Schweiz die Initiative zur Untersuchung und Weiterentwicklung der VIP-Technologie im Rahmen eines Projekts der Internationalen Energieagentur (IEA). Im Rahmen des „implementing agreement“ ECBCS (Energy Conservation in Buildings and Community Systems) wurde das Projekt als An-

Annex 39 „High Performance Thermal Wärmedämmung Systems“ Anfang 2001 gestartet. Teilnehmende Institute waren:

<i>Deutschland</i>	Bayerisches Zentrum für Angewandte Energieforschung (ZAE Bayern), Fraunhofer Institut für Verfahrenstechnik und Verpackung (IVV)
<i>Frankreich</i>	Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB)
<i>Kanada</i>	National Research Council / Institute for Research in Construction (NRC/IRC)
<i>Niederlande</i>	Technische Universiteit Delft (TU Delft)
<i>Schweden</i>	Kungliga Tekniska Högskolan Stockholm (KTH Stockholm)
<i>Schweiz</i>	Dr. Eicher+Pauli AG (Operating Agent: Markus Erb), Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt (EMPA), Fachhochschule beider Basel (FHBB)

Der Arbeitsplan wurde in zwei Teilprojekten durchgeführt:

Subtask A / Grundlagen:

- Charakterisierung von Stützmaterialien, Barrierschichten und Panels
- Untersuchung von Alterungseffekten und Lebensdauerprognosen für VIP in Bauteilen
- Empfehlungen zu Qualitätssicherung, Spezifikation und Bemessungswerten von VIP

Subtask B / Anwendungen:

- Untersuchung von Anwendungsfragen wie Wärmebrücken und Kondensatbildung
- Dokumentation von Demonstrationsprojekten und Verdichtung des aktuellen Wissensstands in Form von Anwendungsempfehlungen
- Unterstützung von Anwendungen und Systementwicklung

Der Vollständigkeit halber sei hier nur kurz auf die aktuelle VIP-Herstellungstechnologie für Bauanwendungen hingewiesen, auf die sich die Arbeiten in IEA Annex 39 konzentrierten: VIP für den Baubereich bestehen heute allgemein aus einer mikroporösen, gepressten Kernplatte aus pyrogener Kieselsäure (SiO_2) mit Zuschlagstoffen wie Trübungsmitteln und Strukturfasern, die bei einem Unterdruck von weniger als 1 mbar in eine weitgehend gasdichte Hülle eingeschweisst wird (Bild 2).

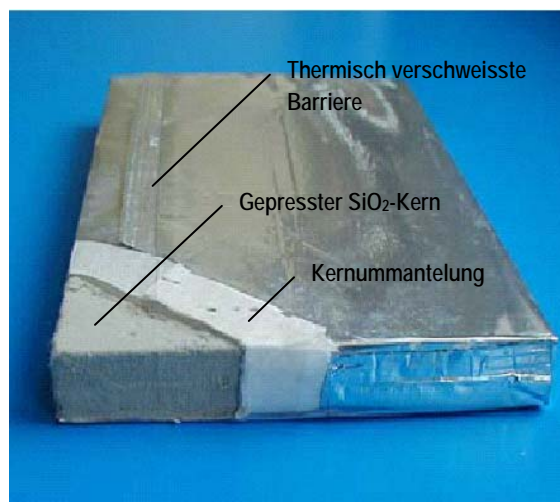


Bild 2: Bestandteile eines Vakuum-Isolationspanels (VIP). Foto va-Q-tec.

Durch den niedrigen Innendruck, die sehr feine Porenstruktur und den Trübungsmittelzusatz wird der Wärmetransport durch Gas und IR-Strahlung weitgehend ausgeschaltet. Die Wärmeleitfähigkeit des trockenen Kernmaterials erreicht im Druckbereich bis einige mbar einen Wert um $4 \cdot 10^{-3} \text{ W/(m K)}$. Eine sehr dichte Umhüllung wird durch laminierte Aluminiumfolie (Al-Schichtdicke einige μm) erreicht. Zur Vermeidung des Wärmebrückenproblems im Randbereich werden heute meist Mehrfachlamine aus metallisierten Kunststofffilmen mit 2 bis 3 Metallschichten (Al-Schichtdicken jeweils unter $0.1 \mu\text{m}$) verwendet, deren Ränder durch aufeinander liegende PE-Schichten thermisch verschweisst werden.

Die folgenden Abschnitte illustrieren einige Ergebnisse aus den beiden Subtasks A und B. Die Auswahl ist notwendigerweise selektiv und subjektiv. Vollständigere Informationen sind in den zwei offiziellen Berichten von IEA Annex 39 zu finden, die zurzeit als Entwürfe vorhanden sind (IEA Annex 39, 2005). Die Veröffentlichung ist noch im Jahr 2005 vorgesehen.

2 Eigenschaften von VIP (Subtask A)

2.1 Kernmaterial

Die wichtigsten Resultate von Messungen physikalischer Eigenschaften von SiO_2 -VIP sind summarisch in Tabelle 1 zusammengestellt. Die Angaben sind als Richtwerte zu verstehen, die selbstverständlich hersteller- und produktionsabhängigen Abweichungen unterworfen sind.

Tabelle 1 : Physikalische Eigenschaften des gepressten Kernmaterials von SiO_2 -VIP (Richtwerte).

Eigenschaft	Einheit	Wert
Dichte	kg/m^3	160 – 220
Porosität	%	90 – 95
Spezifische Fläche	m^2/g	200 – 220
Druckspannung bei 10% Stauchung (23°C, 50 % r.F.)	kPa	90 – 120
Wärmeleitfähigkeit (10°C, trocken, $p_i < 5 \text{ mbar}$)	10^{-3} W/(m K)	4 – 5
Wärmekapazität (0 bis 150°C)	J/(kg K)	800 – 900
Steigung Sorptionsisotherme $du_m/d\varphi$ ($u_m < 8 \text{ Masse-\%}$)	Masse-% / 100% r.F.	7 - 8

Die Messungen zeigen die grosse Porosität und innere Oberfläche des Kernmaterials sowie die niedrige Wärmeleitfähigkeit bei Innendrücken im Bereich von einigen mbar. Der Innendruck p_i und der Feuchtegehalt u_m sind signifikante und detailliert untersuchte Einflussgrößen in Bezug auf die Wärmeleitfähigkeit. Näherungsweise lässt sich der Zusammenhang für $p_i < 100 \text{ mbar}$, $u_m < 8 \text{ Masse-\%}$ wie folgt linear beschreiben:

$$\Delta\lambda \cong 0.035 \frac{10^{-3} \text{ W}}{\text{m K mbar}} p_i + 0.50 \frac{10^{-3} \text{ W}}{\text{m K Masse-\%}} u_m \quad (2-1)$$

Damit kann beispielsweise für eine Innendruckzunahme von 1.5 mbar pro Jahr und eine Feuchtegehaltszunahme von 0.15 Masse-% pro Jahr eine Änderung der Wärmeleitfähigkeit $\Delta\lambda \cong 1.3 \cdot 10^{-3} \text{ W/(m K)}$ nach 10 Jahren abgeschätzt werden. Die Temperaturabhängigkeit der Wärmeleitfähigkeit liegt in der Grössenordnung von $0.01 \cdot 10^{-3} \text{ W/(m K } ^\circ\text{C)}$ zwischen 10°C und 50°C und spielt damit praktisch keine Rolle.

2.2 Barrierschichten

Wie erwähnt werden heute aus wärmetechnischen Gründen für VIP im Baubereich meist komplexe Mehrfachlamine aus metallisierten Polymerfilmen (z.B. PET, Polypropylen) verwendet. Für die aktuellsten Barrierematerialien werden Sauerstofftransmissionsraten OTR hinunter bis zu $0.0005 \text{ cm}^3(\text{STP})\text{m}^{-2}\text{d}^{-1}\text{bar}^{-1}$ bei 23°C , 50% r.F. angegeben, die unter der Nachweisgrenze gebräuchlicher Standardmessverfahren liegen. Mit der oft benutzten Relation für die Stickstofftransmissionsrate $\text{NTR} \approx \text{OTR} / 4$ und Berücksichtigung der Partialdrücke ergibt sich eine geschätzte Luft-Transmissionsrate $\text{ATR} \approx 0.4 \times \text{OTR}$, und eine jährliche Innendruckänderung bei 1 bar für ein Paneel mit $V = 100 \times 50 \times 2 \text{ cm}^3$:

$$\dot{p} = p_0 \dot{V} / V \approx 1000 \cdot 0.0002 \cdot 365 / (100 \cdot 50 \cdot 2) < 0.01 \text{ mbar} / \text{Jahr} \quad (2-2)$$

In Bezug auf Stickstoff und Sauerstoff wäre die Dichtigkeit der Barriere somit völlig problemlos. Messungen an Proben aus evakuierten VIP-Hüllen haben jedoch gezeigt, dass die Permeationsraten der durch die Druckbelastung gestressten Flächen deutlich (Faktor 10 bis 100) größer sind, vor allem im Bereich von Ecken und Kanten. Ausserdem ist zu berücksichtigen, dass die Permeationsraten relativ stark temperaturabhängig sind.

Die Wasserdampftransmissionsrate WVTR aktueller Barrierematerialien liegt bei rund $0.005 \text{ g/(m}^2 \text{ d)}$ für die Standardmessbedingungen 38°C , 90 % r.F., was ungefähr dem 10^4 -fachen des OTR-Wertes entspricht. Eine schlüssige Erklärung für diesen grossen Unterschied ist noch nicht gefunden worden. Dass VIP mit polymerbasierter Barrierschicht trotzdem „funktionieren“ hat folgende Gründe:

- Durch das Sorptionsvermögen des Kernmaterials wird der Druckanstieg stark verzögert.
- Der Ausgleichsdruck für Wasserdampf liegt im Gebäudebereich bei 10 bis 20 mbar und ist damit noch nicht kritisch in Bezug auf den druckbedingten Anstieg der Wärmeleitfähigkeit (siehe Gleichung 2-1).

Die Permeationseigenschaften aktueller mehrfach metallisierter Polymer-Barrierematerialien sind vereinfacht gesagt so zu bewerten, dass sie für VIP unter normalen Bedingungen genügen sollten, bei kleinen Formaten, ungünstigen Randbedingungen oder erhöhter Defektdichte (Qualitätsprobleme, Beschädigung) jedoch auch zu große Leckraten aufweisen können.

2.3 Vakuumisolationspaneel

Obwohl heutige Mehrschichtbarrieren sehr gute Sperreigenschaften aufweisen, bleibt auch ohne eigentliche Schädigung eine Gasdurchlässigkeit bestehen, die für Langzeitanwendungen nicht vernachlässigt werden kann. Diese beruht einerseits auf der materialbedingten Permeabilität von beschichteten Kunststofffilmen, und andererseits auf Schwachstellen, die durch Falten, Knickstellen und Verschweißung hauptsächlich im Randbereich entstehen. Durch die eindringenden Gasmoleküle finden eine mehr oder weniger langsame Zunahme des Innendrucks und eine Befeuchtung des Kernmaterials statt. Beide Mechanismen sind von den Umgebungsbedingungen – d.h. zeitlicher Verlauf von Temperatur und Wasserdampfdruck – und dem Paneelformat abhängig und führen zu einem Anstieg der Wärmeleitfähigkeit über einen längeren Zeitraum. Die Quantifizierung dieser „Alterungs“-Effekte und die Prognose des

Langzeitverhaltens von Innendruck, Feuchtegehalt und Wärmeleitfähigkeit wurde in IEA Annex 39 ausführlich untersucht. Als Beispiel sind in Tabelle 2 Messergebnisse der EMPA an VIP mit zwei mehrfach metallisierten Kunststofflaminat-Barrieren (MF3 und MF4) und einer Hülle aus laminiertes Aluminiumfolie (AF1) zusammengestellt (Simmler, H., 2005).

Tabelle 2 : Anstiegsraten von Feuchtegehalt und Innendruck von VIP Proben in zwei Formaten und verschiedenen Barriermaterialien bei Standardbedingungen 23°C, 50 % r.F. (EMPA).

Typ	Format [cm]	Masse-% / Jahr Messdauer 103 Tage	mbar / Jahr Messdauer 103 Tage
AF1	25x25x2	0.02% ± 0.01%	0.7 ± 0.1
	50x50x2	0.03% ± 0.01%	0.6 ± 0.2
MF3	25x25x2	0.15% ± 0.02%	3.3 ± 0.9
	50x50x2	0.10% ± 0.01%	1.8 ± 0.2
MF4	25x25x2	0.16% ± 0.01%	1.4 ± 0.6
	50x50x2	0.12% ± 0.01%	1.0 ± 0.1

Die deutlich niedrigsten Anstiegsraten weisen wie erwartet Proben mit massiver Aluminiumfolie (7 µm) auf. Die beiden mehrfach metallisierten Kunststoffbarrieren sind in Bezug auf Wasserdampfpermeation miteinander vergleichbar, hingegen weist MF4 gegenüber MF3 signifikant tiefere Druckanstiegsraten auf. Mit Ausnahme des kleinen Formates von MF3 liegen alle Werte unter 2 mbar / Jahr, was als sinnvolle Bedingung für eine Langzeitanwendung im Baubereich betrachtet werden kann. Aus den Daten der unterschiedlichen Formate können flächen- und umfangbezogene Permeabilitäten bestimmt werden.

Eine entsprechende Auswertung für vier verschiedene metallisierte Kunststoffbarrieren bei Standardbedingungen ist in Tabelle 3 zusammengestellt. Es zeigt sich, dass die mehrfach metallisierten Lamine MF2 bis MF4 vergleichbare Eigenschaften aufweisen, während die einfach metallisierte Barriere MF1 deutlich schlechter abschneidet. Wie erwähnt sind – schon wegen der Randbeiträge – die durch Messungen an Paneelen bestimmten Permeationsdaten meist deutlich höher als die Werksdaten ungestresster Barriermaterialien. Leckraten von VIP-Barrieren lassen sich somit nur durch Messungen an Paneelen zuverlässig ermitteln.

Tabelle 3 : Flächen- (Index A) und umfangbezogene (Index L) Gas-Transmissionseigenschaften von VIP mit mehrfach metallisierten Polymerlaminatbarrieren für 23°C, 50 % r.F und 1 bar.

Barriere	WVTR _A g/(m ² d)	WVTR _L g/(m d)	ATR _A cm ³ /(m ² d)	ATR _L cm ³ /(m d)
MF1	0.0233	-	0.0160	0.0080
MF2	0.0057	-	-	0.0039
MF3	0.0030	0.0008	0.0034	0.0091
MF4	0.0048	0.0006	0.0088	0.0018

Versuche bei verschiedenen Temperatur- und Feuchtebedingungen haben ergeben, dass die Tempera-

turabhängigkeit der ATR-Werte gut durch eine Arrheniusfunktion beschrieben werden kann. Die Aktivierungsenergien liegen im Bereich von 25 bis 40 kJ/mol. Die WVTR-Werte sind näherungsweise proportional zur Wasserdampfdruckdifferenz und weisen nur eine geringe explizite Temperaturabhängigkeit auf.

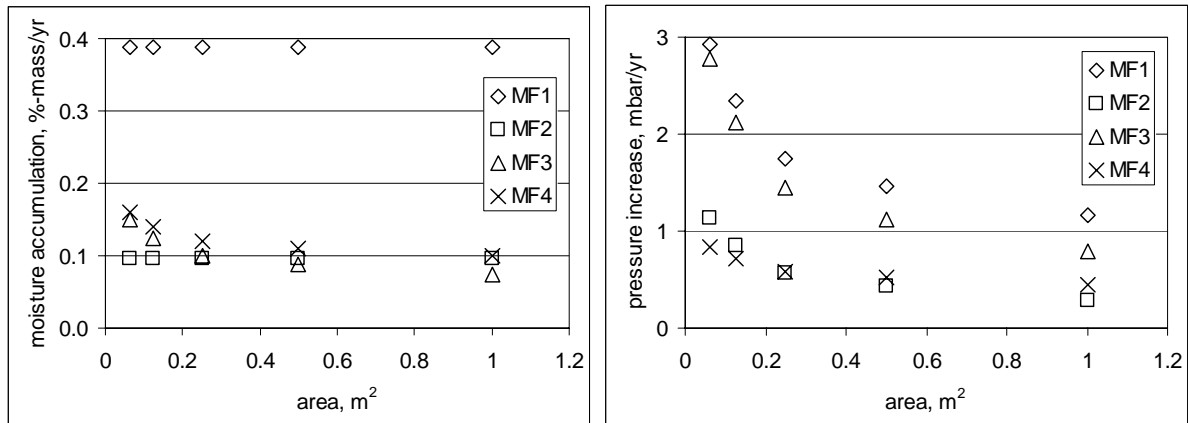


Bild 3: Feuchtegehaltszunahme- und Druckanstiegsraten bei 23°C , 50 % r.F. (1 bar) für verschiedene VIP-Formate, berechnet mit den Werten von Tabelle 3. Die Unsicherheit der Zahlen liegt schätzungsweise im Bereich von 10 bis 15%.

In Bild 3 sind auf Tabelle 3 basierende jährliche Anstiegsraten des Feuchtegehalts u_{ma} und des Innendrucks p_a von 20-mm-Paneelen mit den Formaten $0.25 \times 0.25 \text{ m}^2$, $0.25 \times 0.50 \text{ m}^2$, $0.5 \times 0.5 \text{ m}^2$, $0.5 \times 1.0 \text{ m}^2$ und $1.0 \times 1.0 \text{ m}^2$ grafisch dargestellt. Beim Druckanstieg ist eine deutliche Formatabhängigkeit erkennbar, was mit dem relativ grossen Beitrag durch den Randbereich zusammenhängt. Der Anstieg des Feuchtegehalts ist (bei gleich bleibender Paneeldicke) weniger stark formatabhängig, da der Transport hier durch die gesamte Fläche stattfindet.

Aus Daten gemäss Bild 3 kann nun unter Benutzung von Gleichung 2-1 das Langzeitverhalten der Wärmeleitfähigkeit näherungsweise bestimmt werden:

$$\Delta\lambda(t) \cong 0.035 \frac{10^{-3} \text{ W}}{\text{m K mbar}} p_i(t) + 0.50 \frac{10^{-3} \text{ W}}{\text{m K Masse} - \%} u_m(t) \quad (2-3)$$

Dabei wird für den Innendruck meist vereinfachend eine konstante Zunahme mit der Zeit angenommen, während für den Feuchtegehalt oft ein Sättigungsverhalten (Annäherung des Wasserdampfdrucks an die Umgebung) über einen Zeitraum von vielen Jahren zu berücksichtigen ist:

$$u_m(t) = u_{m,\text{Sättigung}} + (u_{m0} - u_{m,\text{Sättigung}}) \exp(-t/\tau) \quad (2-4)$$

mit	u_{m0}	Anfangsfeuchtegehalt, Masse-%
	$u_{m,\text{Sättigung}}$	Ausgleichsfeuchtegehalt, Masse-% (ca. 4 Masse-% für 50 % relative Luftfeuchte)
	τ	Zeitkonstante = $u_{m,\text{Sättigung}} / u_{ma}$, Jahre
	u_{ma}	Anfangswert des Feuchtegehaltsanstiegs, Masse-% / Jahr

Das resultierende Langzeitverhalten der Wärmeleitfähigkeit ist beispielhaft für VIP mit Barriere MF2 im Klima 23°C, 75 % r.F. in Bild 4 dargestellt. Umgekehrt können die dargestellten Beziehungen dazu benutzt werden, für einen geforderten Grenzwert der Wärmeleitfähigkeit bzw. des Wärmedurchlasswiderstandes die maximale Betriebs- oder Lebensdauer des Panels abzuschätzen.

Insgesamt kann festgehalten werden, dass das Alterungsverhalten von VIP mit aktuellen mehrfach metallisierten Polymerlaminat-Barrieren in komplexer Weise von Materialeigenschaften, Klimabedingungen und Formateffekten abhängt. Eine Vielzahl von Laborversuchen und Lebensdauerabschätzungen haben gezeigt, dass für Temperatur- und Feuchtebedingungen im Umgebungsbereich und nicht zu kleine Formate für VIP mit Hochqualitätsbarrieren eine Betriebsdauer im Bereich von mehreren Jahrzehnten erwartet werden kann. Eigentliche Langzeitergebnisse aus Anwendungen sind zwar noch nicht vorhanden, doch bestätigen laufende Messungen und Beobachtungen an Objekten bisher die Funktionstauglichkeit. Allerdings müssen beim jetzigen Stand der Barriertechnologie deutliche Alterungszuschläge für den Anstieg von Innendruck und Feuchtegehalt des Kerns in Kauf genommen werden. Für Dicken ab 20 mm können Wärmeleitfähigkeitswerte von 7 bis $8 \cdot 10^{-3}$ W/(m K) für die Formate 50×50 cm² bzw. 100×100 cm² als sichere Werte angesehen werden.

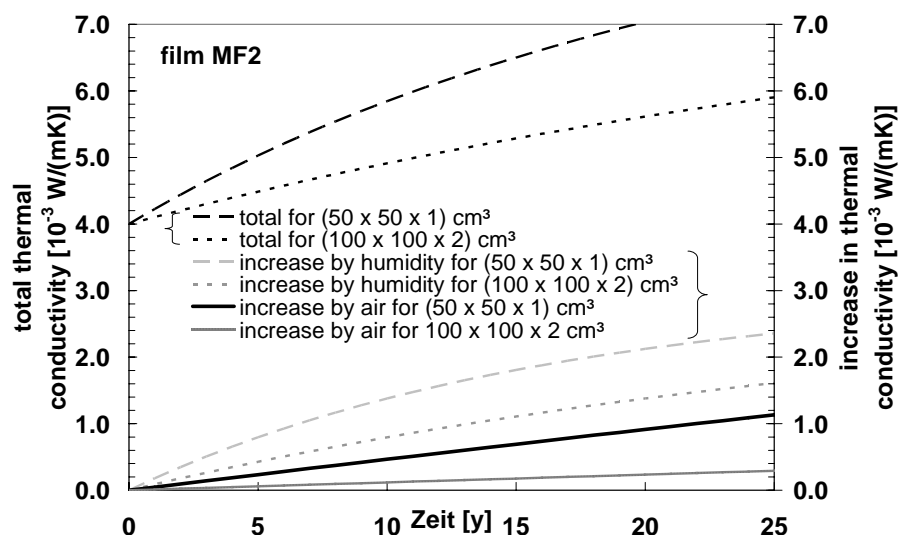


Bild 4: Gesamte Wärmeleitfähigkeit als Funktion der Zeit (oben, linke Ordinate) und Zunahmen bezüglich Innendruck und Feuchtegehalt (unten, rechte Ordinate) von VIP mit Barriere MF2 für zwei Formate bei den Klimabedingungen 23°C, 75 % r.F. (ZAE Bayern).

3 Anwendung von VIP in Gebäuden (Subtask B)

Auf der einen Seite gibt es bereits eine grössere Zahl von realisierten VIP-Anwendungen in der Praxis, auf der anderen Seite fehlen jedoch oft klare Aussagen zu wärmetechnischen Eigenschaften und Vor-/Nachteilen von Bauteilen mit VIP. Klar ist, dass die Komponente VIP sowohl bauphysikalisch wie auch konstruktiv wesentlich von einer konventionellen Wärmedämmung unterscheidet. Aus der umfangreichen Materialsammlung in Subtask B werden in den folgenden Abschnitten punktuell einige Aspekte herausgegriffen.

3.1 Wärmebrückeneffekte

Eine der wichtigsten Planungsaufgaben ist selbstverständlich die korrekte Bestimmung des Wärmedurchgangs durch VIP-Schichten und Bauteile mit eingebauten VIP. Da das VIP selbst schon ein System mit stark unterschiedlichen thermischen Eigenschaften von Barriere und Kernmaterial darstellt, müssen verschiedene Ebenen von Wärmebrückeneffekten unterschieden werden:

- Randeffekte in der VIP-Schicht durch umlaufende Hülle und Luftschichten in Stossbereich
- Konstruktive Wärmebrücken der Tragstruktur von VIP-Bauteilen

Randeffekte in der VIP-Schicht

Die Kombination des sehr gut isolierenden Kernmaterials und einer umlaufenden Hülle mit dünnen, aber hochleitfähigen Metallschichten erzeugt eine Wärmebrückensituation mit nicht vernachlässigbaren Effekten (Bild 5).

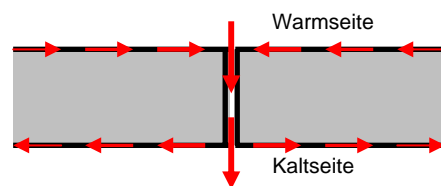


Bild 5: Schematische Darstellung der Wärmebrückensituation am Rand bzw. im Stossbereich von VIP.

Für ein einzelnes Paneel kann eine äquivalente Wärmeleitfähigkeit wie folgt definiert werden:

$$\lambda_{\text{eff}} = \lambda_{\text{cop}} + \Psi_{\text{VIP}} \cdot d \cdot \rho / A \quad (3-1)$$

mit	λ_{cop}	Wärmeleitfähigkeit senkrecht in Plattenmitte, W/(m K)
	Ψ_{VIP}	Linearer Randverlustfaktor, W/(m K)
	d	Dicke, m
	ρ	Umfang, m
	A	Fläche, m ²

Ψ_{VIP} hängt neben den Materialeigenschaften der Hülle auch von der Paneeldicke, der Wärmeleitfähigkeit des VIP-Kerns und der Wärmeleitfähigkeit der umgebenden Materialschichten ab. Experimentell an der EMPA bestimmte Ψ -Werte sind in Tabelle 4 aufgeführt (Ghazi Wakili, K., 2004). Deutlich erkennbar ist der grosse Unterschied zwischen den Ψ -Werten der metallisierten Polymerhüllen und der Aluminiumfolie.

Mit den Ψ -Werten aus Tabelle 4 können Effektivwerte der Wärmeleitfähigkeit nach Gleichung 3-1 berechnet werden, die in Tabelle 5 für die Formate 100 x 100 cm² und 50 x 50 cm² zusammengestellt sind. Für die Barriere aus Aluminiumfolie ergeben sich sehr hohe Zuschläge von 200 % bis 300 %. Für die mehrfach metallisierten Polymerlamine betragen die Zuschläge 14 – 18 % für das grössere und 28 – 37 % für das kleinere Format.

Tabelle 4 : Resultate der experimentellen Untersuchung von Wärmebrückeneffekten an VIP mit unterschiedlichen Barriere-materialien (EMPA). Angrenzende Deckschichten waren beidseitig ca. 5 mm Elastomerschaum.

VIP	Beschreibung	d , m	λ_{cop} , 10^{-3} W/(m K)	Ψ_{VIP} , 10^{-3} W/(m K)
Typ A	Polymerlaminat mit 3-facher Metallisierung, total 90 nm Aluminium, breite Nahtzone auf VIP-Fläche gefaltet	0.020	4.14 ± 0.08	7.0 ± 1.6
Typ B	Polymerlaminat mit 3-facher Metallisierung, total 300 nm Aluminium, schmale Naht an Stirnfläche gefaltet	0.020	3.91 ± 0.08	9.2 ± 1.6
Typ C	Aluminiumfolie 8 μ m PE-laminiert, breite Nahtzone auf VIP-Fläche gefaltet	0.018	3.95 ± 0.08	52 ± 3

Tabelle 5 : Effektivwerte der Wärmeleitfähigkeit für 20-mm-VIP in 2 Formaten, basierend auf den Ψ -Werten in Tabelle 4.

VIP	d [m]	λ_{cop} , 10^{-3} W/(m K)	λ_{eff} , 10^{-3} W/(m K)	
			100 x 100 cm ²	50 x 50 cm ²
Typ A	0.020	4.0	4.6	5.1
Typ B	0.020	4.0	4.7	5.5
Typ C	0.020	4.0	8.2	12.4

Detaillierte numerische Berechnungen mit Berücksichtigung aller einzelnen Schichten der Hülle reproduzieren die experimentellen Resultate gut, sind jedoch zu komplex für die Berechnung von ganzen Bauteilen (Ghazi Wakili, K., 2004). In einem vereinfachten Modell wird nur eine Metallschicht und eine Polymerschicht verwendet, der Stossbereich jedoch durch eine Zusatzmetallschicht den genaueren Resultaten angepasst.

Mit diesem Modell wurde an der EMPA der Einfluss der beidseitig angrenzenden Materialschichten auf die Ψ -Werte untersucht, wobei eine alterungsbedingte Kern-Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{cop} = 8 \cdot 10^{-3}$ W/(m K), eine Polymer-Laminatbarriere mit 3 Metallisierungen und ein Luftspalt von 5 mm Breite im Stossbereich angenommen wurde (Tabelle 6). Für Stahlblech und Glas ergeben sich – besonders bei den kleineren Formaten – beträchtliche Zuschläge bis zu $3 \cdot 10^{-3}$ W/(m K). Am kleinsten sind die Randzuschläge für Isolationsschichten und grosse Formate.

Tabelle 6 : Berechnete Ψ -Werte und Effektivwerte der Wärmeleitfähigkeit für 20-mm-VIP mit beidseitigen Deckschichten.

Schichtaufbau	$\Psi_{VIP}, 10^{-3} \text{ W/(m K)}$	$\lambda_{eff}, 10^{-3} \text{ W/(m K)}$		
		100 x 100 cm ²	100 x 50 cm ²	50 x 50 cm ²
2 mm Stahl 20 mm VIP 2 mm Stahl	19	9.5	10.3	11.0
5 mm Glas 20mm VIP 5 mm Glas	16	9.3	9.9	10.6
20 mm Holz 20 mm VIP 20 mm Holz	10	8.8	9.2	9.6
5 mm Wärmedämmung 20 mm VIP 5 mm Wärmedämmung	7	8.6	8.8	9.1

Konstruktive Wärmebrücken

Verschiedene Arbeiten in IEA Annex 39 befassten sich mit der Berechnung von Ψ -Werten konstruktiver Elemente in VIP-Bauteilen. Diese sind sehr genau zu untersuchen, da sie durch die starke Sperrwirkung der „thermischen Barriere“ VIP und die geringe Bauteiltiefe zwischen Warm- und Kaltseite wesentlich stärker ins Gewicht fallen als bei einer VIP-losen Konstruktion. Die EMPA wird einen Wärmebrücken-katalog für verschiedene typische VIP-Konstruktionen (Wand, Decken, Terrasse, Anschlussdetails etc.) publizieren. Die TU Delft untersuchte den Einfluss von Konstruktion und Materialwahl auf die Ψ -Werte des Randverbundes von Fassadenelementen (Bild 6) mit verschiedenen Deckschichten (jeweils einseitig Floatglas).

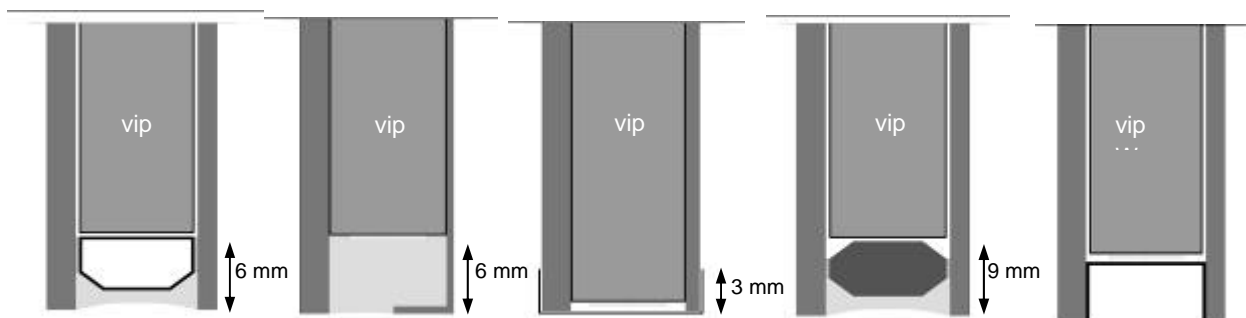


Bild 6: Verschiedene Randverbundsysteme eines VIP-Fassadenelements (von links nach rechts): a.) Aluminium-Abstandhalter; b.) Butyldichtmasse; c.) Verstärktes nicht-metallisches Klebeband (0.15 mm); d.) optimierter thermoplastischer Abstandhalter (Henkel Tereson Thermoplastic Spacer); e.) Kunststoff-U-Profil (TU Delft).

Die Berechnungen ergaben, dass der Standard-Aluminiumspacer a) den U-Wert eines Fassadenelements mit dem Format 100 x 100 cm² von ca. 0.2 Wm⁻²K⁻¹ (Sandwich ohne Randverbund) auf Werte zwischen 0.45 und 0.55 Wm⁻²K⁻¹ erhöht, wobei die wärmetechnischen Eigenschaften der umlaufenden VIP-Barriere nur eine untergeordnete Rolle spielen. Auch für die besser geeigneten Last übertragenden

Randverbunde d) und e) sind Erhöhungen der U-Werte im Bereich von 50 % und mehr zu erwarten.

3.2 Anwendungsbeispiele

Ein wesentlicher Bestandteil des Berichts über Subtask B sind insgesamt 20 ausführlich dokumentierte und kommentierte Anwendungsbeispiele aus der Praxis. Am Beispiel einer Terrassendämmung wird die Dokumentationsstruktur hier kurz erläutert.

Projektübersicht

Dieser Abschnitt enthält eine allgemeine Beschreibung und Illustration des Projekts (Bild 7) sowie Eckdaten wie Lage, Architekt, Ausführungszeitraum sowie weitere Informationen aus dem direkten Kontakt mit involvierten Personen.



Material und Konstruktion

Hier werden Konstruktionsdetails und verwendete Materialien anhand von Schnitten dargestellt (Bild 8).

Bauphysik und Engineering

Der Abschnitt enthält Überlegungen und Kommentare zur Wärmebrückensituation, zu Fragen der Wasserdampfdiffusion und –Kondensation, zum Feuchteschutz und zum mechanischen Schutz der Paneele, sowie zu den vermuteten Folgen eines Versagens von Paneelen.

Planung und Ausführung

Der Planungs- und Ausführungsprozess wird beschrieben und illustriert (Bild 9). Positive und negative Erfahrungen der Beteiligten bei der Planung und Ausführung werden dargestellt und kommentiert.

Kosten, Vorteile, Risiken

Die Kostenseite wird angesprochen, ebenso Vorteile und Risiken der Konstruktion (z.B. Aufwand für den Ersatz defekter Paneele, fehlende Garantie des Lieferanten).

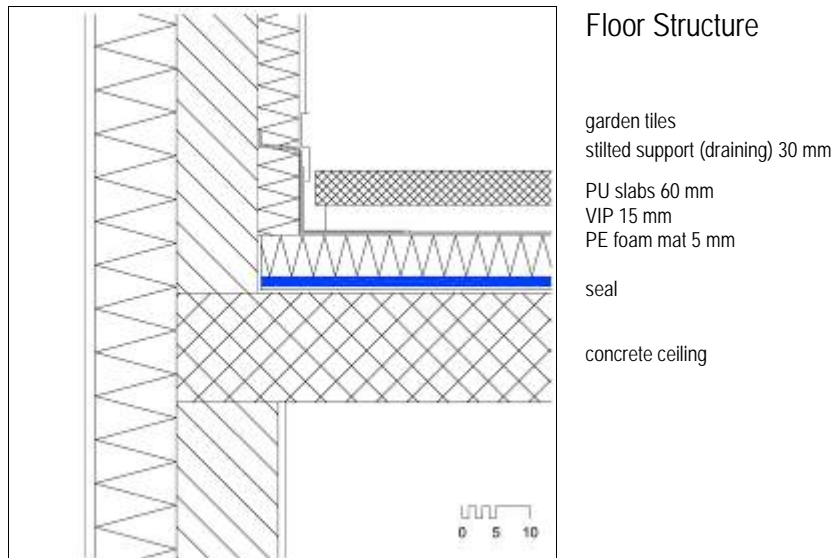


Bild 8: Vertikalschnitt durch das Anschlussdetail an der Brüstung.



Bild 9: Ausführung – Fertige Terrasse: Die Paneele sind während des Einbaus gut geschützt.

3.3 Anwendungsempfehlungen

Die vorhandenen Erfahrungen aus Messungen sowie der Planung und Realisierung von VIP-Bauprojekten sind schon recht umfangreich. Der Projektbericht von Subtask B enthält ein eigenes Kapitel mit einer Vielzahl von Anwendungsempfehlungen, die in die Abschnitte „Allgemeine Empfehlungen“, „VIP auf der Baustelle“ und „VIP in vorfabrizierten Bauteilen“ gegliedert sind. Im Rahmen dieses Übersichtsbeitrags ist es nicht möglich, auf die Einzelheiten einzugehen. Es sei hier nur in Stichworten auf einige Punkte im allgemeinen Abschnitt hingewiesen:

<i>Information / Beratung</i>	Realisierung durch ausgebildete Fachpersonen, Informationen und Hinweise auf Verpackungen, Warnhinweis „VIP inside“.
<i>Flankenverlust</i>	Minimierung von Flankenverlusten, Paneel-Format mindestens 0.5 x 0.5 m ² , versetzte Doppellage bei VIP mit massiver Aluminiumfolie.
<i>Wasserdampfdiffusion</i>	Berücksichtigung der Dampfsperrfunktion von VIP, spezielle Beachtung von Stossfugen zwischen VIP (Abdichtung).

<i>Detailausführung</i>	Schutz vor – auch nachträglicher – mechanischer Beschädigung. Vermeidung von Beschädigungen bei Anschlüssen (Anker, Führungsschienen, Rahmen etc.).
<i>Ersetzbarkeit von VIP</i>	Wünschbar: Strategie, welche die Ersetzung einzelner Paneele erlaubt. Z.B. mechanisch befestigte Abdeckung. Konstruktion soll nach Möglichkeit eine Kontrolle erlauben, z.B. durch Thermografie. Konstruktion soll Versagen eines einzelnen Panels tolerieren.
<i>Handling von VIP</i>	Handwerker mit spezieller VIP-Ausbildung. Geeignete Werkzeuge und Arbeitshilfen, z.B. Schuhüberzug, Lastverteilungsplatte (Vermeiden von Eindrücken durch Knien bei der Verlegung).

4 Zusammenfassung, Ausblick

Die Ergebnisse von IEA Annex 39 sowie die laufende Weiterentwicklung von Barrierematerialien, Herstellungsverfahren und Qualitätsüberwachung während der letzten Jahre zeigen, dass die VIP-Technologie im Baubereich heute einen anwendungstauglichen Stand erreicht hat. Es darf aber nicht vergessen werden, dass dieser Zweig der Bau-Technologie noch jung ist und laufende Weiterentwicklungen erforderlich und im Gang sind. Darunter sind zu nennen:

- Verbesserung der Barriereigenschaften insbesondere in Bezug auf Wasserdampf, Reduktion der Anfälligkeit gegenüber mechanischer Beschädigung, konsequente Qualitätsoptimierung und –sicherung im Herstellungsprozess und in der Anwendung (bis zum abgeschlossenen Einbau).
- Standardisierung von Testmethoden, Produktspezifikation und Verfahren zur Festlegung von Bemessungswerten.
- Weiterentwicklung in Richtung integrierte VIP-Bauteile (VIP mit Schutzschichten, VIP-Leichtbauteile wie Türen, Rahmen- und Brüstungselemente, Holzmodulbau)

Die rasche Verbreitung und die starke Nachfrage in der Schweiz lassen vermuten, dass Hochleistungs-dämmsysteme in Zukunft eine bedeutende Rolle im Bausektor spielen könnten.

Literatur

Caps, R. et al. (2002): Evacuated Wärmedämmung panels filled with pyrogenic silica powders: properties and applications, High Temperatures-High pressures 33 (2002) 151-156.

IEA Annex 39 (2005): Subtask A und Subtask B Berichte (in Englisch), Druck und Publikation als pdf-Dateien auf www.vip-bau.ch, www.vip-bau.de u.a. in Vorbereitung.

Simmler, H., Brunner, S. (2005): Vacuum insulation panels for building application: Basic properties, aging mechanisms and service life, Energy & Buildings (im Druck).

Ghazi Wakili, K. et al. (2004): Effective Thermal Conductivity of Vacuum Insulation panels, Building Research and Information 32(4) 293-299.

Hans Simmler, Dipl. Phys., Dr. phil. II

EMPA Laboratory for Applied Physics in Building, Ueberlandstrasse 129, CH-8600 Dübendorf

www.empa.ch, hans.simmler@empa.ch

Systematisierung architektonischer Anwendungsmöglichkeiten von Vakuum-Dämmsystemen im Bereich der Gebäudehülle

Jan Cremers, Dipl.-Ing. Architekt

Technische Universität München, Fakultät für Architektur, Lehrstuhl für Gebäudetechnologie,
Prof. Dr. (Univ. Rom) Thomas Herzog, Arcisstrasse 21, D-80333 München, www.gt.ar.tum.de
Tel: +49 (0)89 289 28698 Fax: +49 (0)89 289 28675 Email: cremers@lrz.tum.de

Vakuum-Dämmsysteme gehören derzeit zu den großen Innovationsfeldern im Baubereich und erfahren überall zunehmende Aufmerksamkeit, die in ihrer im Vergleich zu konventionellen Dämmstoffen enorm hohen Effizienz begründet ist.

Die Anforderungen an den Wärmeschutz als eine der maßgeblichen Schutzfunktionen der Gebäudehülle sind seit den 70er Jahren des vergangenen Jahrhunderts parallel zu einem zunehmenden Bewußtsein um die Notwendigkeit eines sorgfältigen Umgangs mit (Energie-)Ressourcen kontinuierlich und signifikant gestiegen. Vakuum-Dämmsysteme scheinen in diesem Zusammenhang einen Ausweg aus dem resultierenden und im Hinblick auf die architektonischen Gestaltungsmöglichkeiten wenig erfreulichen Zwang zu immer höheren Dämmstoffstärken aufzuzeigen.

Die Verbesserung der Effizienz, also die Reduzierung der notwendigen Dämmschichtstärke bzw. die gleichzeitig mögliche weitere Verbesserung der Dämmwirkung ist daher die Hauptmotivation für die bisherigen Anwendungen von Vakuum-Dämmsystemen im Baubereichⁱ. Durch sich daraus ergebende weitere Aspekte beispielsweise konstruktiver, gestalterischer oder ökonomischer Art kann diese zusätzlich gestärkt werden.

Die bisher umgesetzten und untersuchten Anwendungen basieren in der Regel auf dem Ansatz, konventionelle Dämmstoffe durch Vakuum-Dämmsysteme zu ersetzen und bekannte und bewährte konstruktive Wand-, Dach- und Bodenaufbauten gemäß den speziellen Erfordernissen von Vakuum-Dämmsystemen anzupassen.

Eine Systematisierung der Anwendungsmöglichkeiten von Vakuum-Dämmsystemen in der Gebäudehülle mit der Intention, Zusammenhänge und weiteres Potential aufzuzeigen, ist Gegenstand eines laufenden Promotionsvorhabens am Lehrstuhl für Gebäudetechnologie, Prof. Thomas Herzog, an der TU München und soll hier in Auszügen vorgestellt werden.

1 Bekannte und zukünftig denkbare Vakuum-Dämmsysteme

Abb. 1 zeigt die Kombinationsmöglichkeiten verschiedener Hüll- und Kernmaterialien zu Vakuum-Dämmsystemen, die zurückliegend untersucht wurden, teilweise derzeit Verwendung finden oder zukünftig denkbar sind. Die einzelnen Varianten sind hinsichtlich ihrer Durchlässigkeit für sichtbares Licht (transparent, transluzent, opak) als Teil des einwirkenden solaren Strahlungsspektrums zugeordnet. Es sei darauf hingewiesen, dass die aufgeführten nicht-opaken Systeme mit Ausnahme der sog. 'Vakuum-Verglasung', die in diesem Aufsatz nicht weiter thematisiert werden soll, bislang nicht verfügbar, aber Gegenstand laufender Forschungstätigkeiten sind.

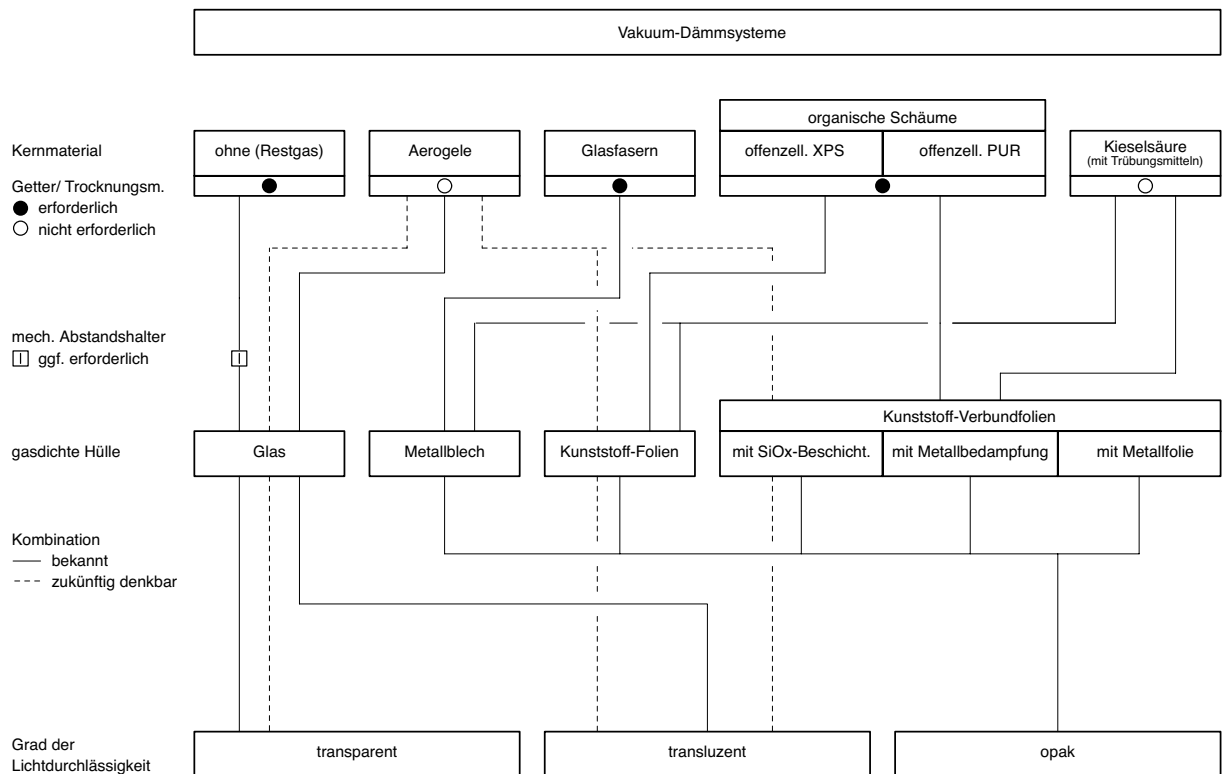


Abb. 1 Vakuum-Dämmsysteme, Kombination möglicher Einzelkomponenten und Grad der Lichtdurchlässigkeit

2 Typologie zur Anwendung von Vakuum-Dämmsystemen

Bevor darauf eingegangen wird, wie Vakuum-Dämmsysteme im Bereich der Gebäudehülle eingesetzt werden können, stellt sich die Frage, wo und mit welcher Zielsetzung dies sinnvoll geschehen könnte.

Erst die Beantwortung dieser Fragen legt die wesentlichen Grundlagen für spätere Untersuchung konstruktiver Zusammenhänge.

Abb. 2 und 3 zeigen zwei analog aufgebaute Typologien zu Anwendungen von lichtundurchlässigen und lichtdurchlässigen Vakuum-Dämmsystemen in der Gebäudehülle. Aus dem elektromagnetischen Strahlungsspektrum spielen für die Gebäudehülle neben dem Ausschnitt des sichtbaren Lichts (Wellenlänge ca. 400 - 800 nm) insbesondere die angrenzenden Bereiche größerer und kleinerer Wellenlänge, die Infrarot- und Ultraviolettstrahlung, eine Rolle.

Betrachtungsebene 1: Anwendungsbereiche

Gebäudehülle im Sinne dieser Arbeit meint die vollständige ein Gebäude begrenzende Fläche gegenüber der Außenluft, also das, was man - vereinfacht - als Dach und Fassade bezeichnen kann. Der erdberührende Bereich der Gebäudehülle wird im vorliegenden Aufsatz nicht behandelt, da für die vorliegende Untersuchung die Anwendung von Vakuum-Dämmsystemen aus den folgenden Gründen nicht von vorrangigem Interesse ist:

- Erdberührende Bereiche sind nicht oder nur unter erheblichem Aufwand zu Wartungs- oder Kontrollzwecken zugänglich.
- Die Anforderungen an Druckfestigkeit sind meist sehr hoch.
- Im erdberührenden Bereich eingesetzte Materialien müssen den äußeren Einflüssen standhalten, das heißt sie dürfen nicht verrotten, müssen absolut wasserbeständig und resistent gegen Wurzelwerk sein. Diese Anforderungen müssten durch ergänzende Maßnahmen erfüllt werden.
- Unter der Erde herrscht in der Regel kein Platzmangel, der den Hauptvorteil von Vakuum-Dämmsystemen zum Tragen brächte.
- Die mit der Tiefe zunehmend konstanten und moderaten Temperaturen stellen verhältnismäßig geringe Anforderungen an das Wärmedämmvermögen.

In den oben genannten Typologien werden daher nur die Bereiche Fassade und Dach untersucht und unterschieden.ⁱⁱⁱ

Betrachtungsebene 2: Ausschnitt

Im weiteren wird differenziert in Gebäudehüllenausschnitte mit und ohne ‚Öffnungen‘, wobei darunter permeable, das heißt strahlungs- und / oder luftdurchlässige Bereiche verstanden werden. Dabei kann es sich beispielsweise um Fenster- oder Türöffnungen handeln, ebenso aber auch um solche für opake Lüftungsflügel oder größere verglaste Bereiche.

Betrachtungsebene 3: Einbausituation

Die nächste Betrachtungsebene bezieht sich auf die Einbausituation: Ist das Dämmsystem in seiner Lage unveränderlich eingebaut oder in ein bewegbares Bauteil wie zum Beispiel einen Fensterflügel oder einen Klappladen integriert. Ist letzteres der Fall, handelt es sich bei den beschriebenen bewegbaren Elementen um sogenannte ‚Manipulatoren‘^{iv}.

Betrachtungsebene 4: Verhältnis zur primären thermischen Trennebene

Im folgenden Schritt wird die Beziehung zur primären thermischen Trennebene des betrachteten Gebäudehüllenausschnittes herangezogen, um folgendermaßen zu differenzieren:

Fällt das betrachtete Dämmsystem mit der primären thermischen Trennebene zusammen, wie dies zum Beispiel für einen gedämmten Lüftungsflügel gilt, so wird das Verhältnis zu dieser Trennebene als ‚identisch‘ bezeichnet.

Dies ist von der Situation zu unterscheiden, in der das Dämmsystem ‚additiv‘ zu einer bestehenden (und daher ‚primären‘) thermischen Trennebene, wie sie zum Beispiel von einem Fenster gebildet wird, eingesetzt wird. Es ist an dieser Stelle unerheblich, von welcher Qualität die bestehende thermische Trennung ist.

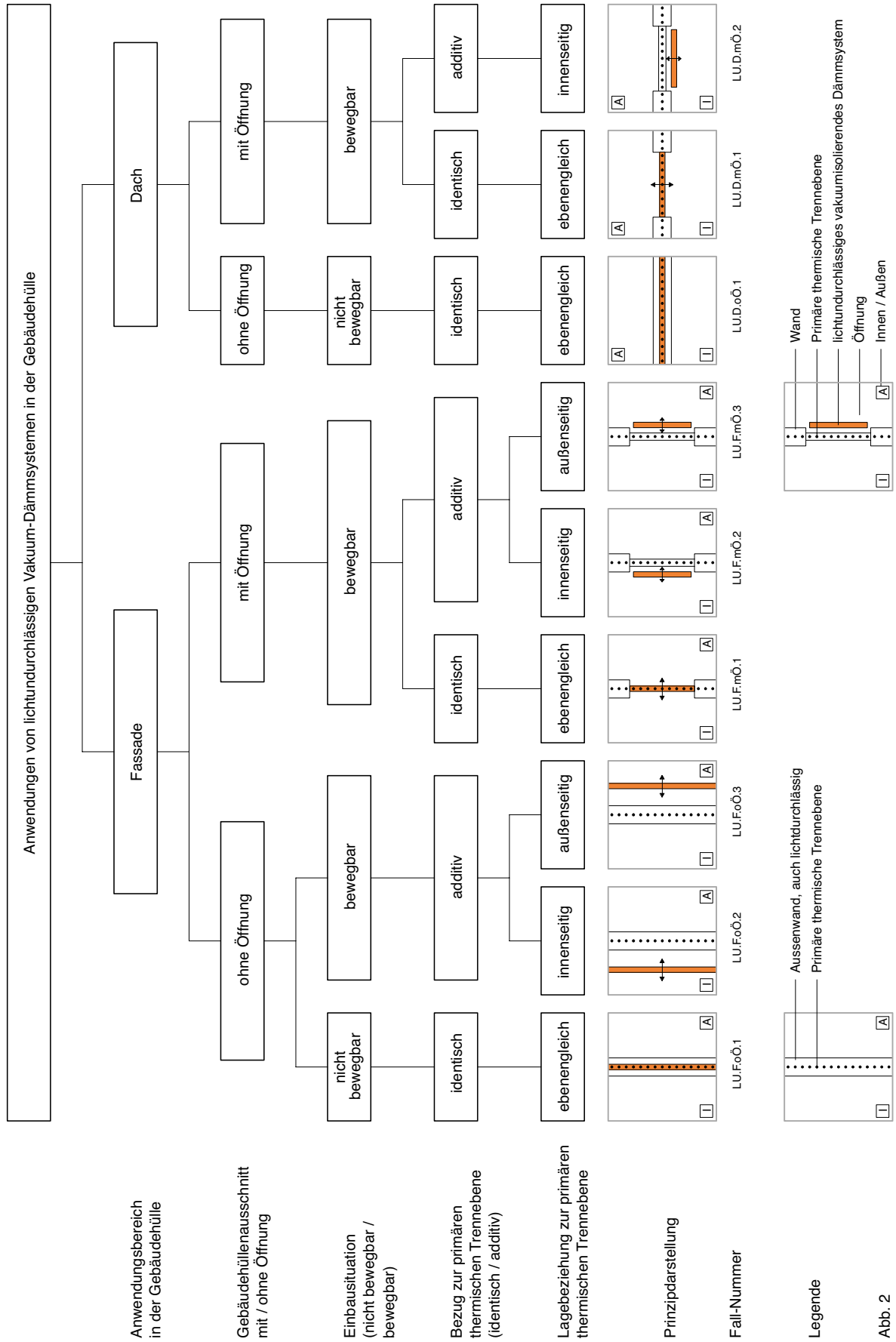


Abb. 2

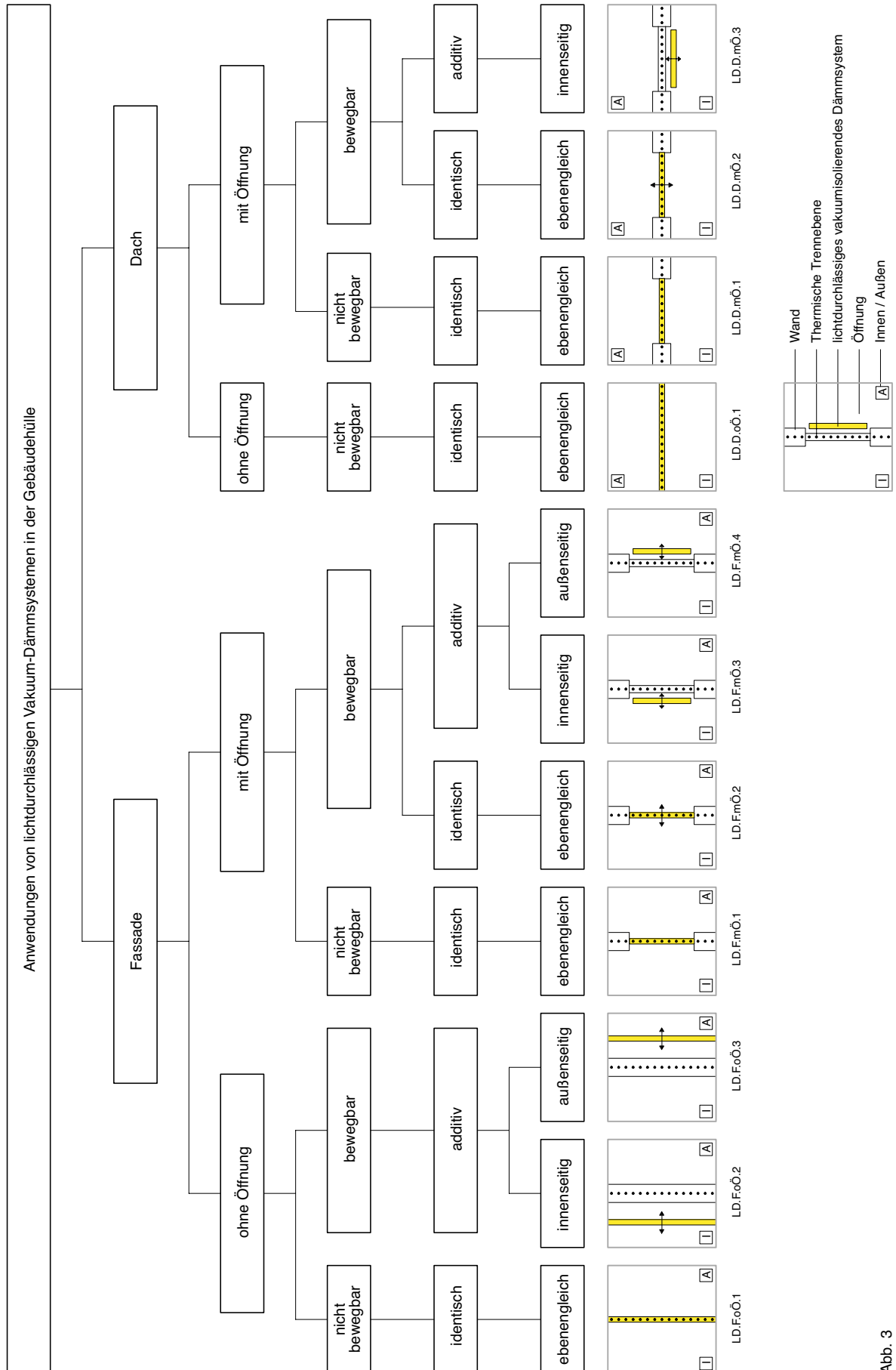


Abb. 3

Offensichtlich kann der Fall ‚additiv‘ für statische Einbausituationen nicht vorkommen, sondern nur für ‚bewegbare‘ Anwendungen.

Die beiden letztgenannten Ebenen ergänzen die bisherigen Betrachtungen für den Fall ‚bewegbar-additiv‘ um den Aspekt des temporären Wärmeschutzes, wobei hierunter sowohl Tag / Nacht-Zyklus-bezogene (wie zum Beispiel Klapppläden) als auch saisonale Maßnahmen (zum Beispiel Vorfenster^v) zu rechnen sind.

Betrachtungsebene 5: Lagebeziehung zur primären thermischen Trennebene

Das Dämmsystem kann, wenn es im oben genannten Sinne ‚additiv‘ ist, auf die primäre thermische Trennebene bezogen entweder innen- oder außenseitig eingesetzt werden. Bildet es selbst die primäre thermische Trennebene (Fall ‚identisch‘), so wird die Lagebeziehung folglich als ‚ebenengleich‘ bezeichnet.

Prinzipdarstellung und Fallnummer

Alle dargestellten Betrachtungsebenen werden in einer zugeordneten piktogrammartigen Prinzipdarstellung zusammengefasst und es wird eine die Betrachtungsebenen widerspiegelnde Fallnummer zugeordnet, die im weiteren als Referenz dienen kann.

Prinzipiell sind die bisher erfolgten Darstellungen für alle Arten lichtdurchlässiger und lichtundurchlässiger Dämmsysteme gültig. Der potenziell deutlich geringere Dämmstärkebedarf im Vergleich zu konventioneller Dämmung lässt allerdings Anwendungen mit dem Ziel des temporären Wärmeschutzes interessant erscheinen. Es sind nicht alle theoretisch vorstellbaren, sondern nur die dem Verfasser sinnvoll erscheinenden Möglichkeiten erfasst. Beispielsweise fehlt der Fall ‚Lichtundurchlässig / Dach / mit Öffnung / bewegbar / additiv / außenseitig‘ (der die Nummer LU.D.mÖ.3 hätte), da der konstruktive Aufwand für eine solche Anwendung (zum Beispiel wegen Schnee, Regen usw.) unverhältnismäßig erscheint. Dennoch könnten auch solche Fälle anhand der vorliegenden Typologie begrifflich und logisch eindeutig bezeichnet und beschrieben werden.

Eine Anwendung von Vakuum-Dämmsystemen als sogenannte Transluzente Wärmedämmung (TWD) fällt im Sinne dieser Typologie unter den Fall LD.F.oÖ.1.

3 Weitere Merkmale zur Klassifizierung der Anwendungsmöglichkeiten

Abb. 4 zeigt weitere Merkmale zur Klassifizierung der Anwendungsmöglichkeiten von Vakuum-Dämmsystemen, die sowohl für lichtdurchlässige als auch für lichtundurchlässige Varianten Gültigkeit haben. Hierbei werden Aspekte in die Betrachtung einbezogen, die für weitere Klassifizierungsschritte Bedeutung haben.

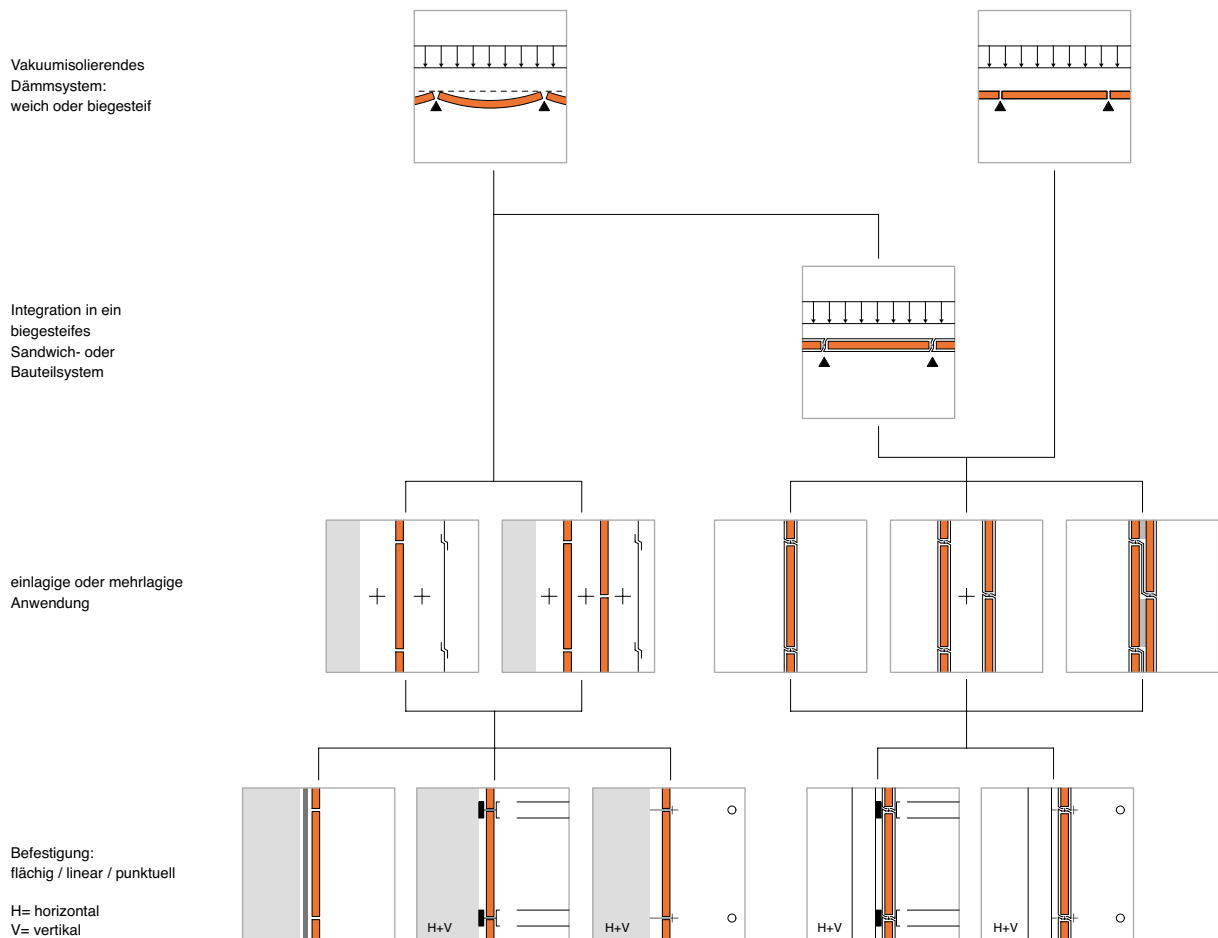


Abb. 4 Zusammenhang zwischen Biegesteifigkeit, Ein- und mehrlagiger Anwendung und Art der Befestigung (vereinfacht)

Eigenstabilität der Vakuum-Dämmsysteme

Ob das betrachtete Dämmsystem in seiner statischen Wirkung als biegesteif oder weich einzustufen ist, spielt für die weiteren Anwendungsmöglichkeiten eine gewisse Rolle. Die meisten bisher verfügbaren Vakuum-Dämmsysteme sind in diesem Sinne als ‚weich‘ zu klassifizieren, da sie keine nennenswerten Biegemomente aufnehmen können. Das gilt zum Beispiel für alle VIP mit Folienhüllmaterialien.

Sogenannte Vacuum Insulating Sandwiches (VIS) mit Metallblech als Hüllmaterial dagegen verfügen nicht zuletzt durch das Vakuum zwischen den Paneelschalen über eine beträchtliche Biegesteifigkeit, die andere Anwendungen und vor allem konstruktive Möglichkeiten erschließt.

Integration in ein biegesteifes Sandwich-oder Bauteilsystem

Ist die Gesamtsystemeigenschaft der Biegesteifigkeit erforderlich, kann dies für weiche Vakuum-Dämmsysteme dadurch erreicht werden, dass diese in ein übergeordnetes biegesteifes System integriert werden, wie zum Beispiel in ein sandwichartiges Bauteil, wobei das Vakuum-Dämmsystem dann ein Subsystem bildet. Dies bedingt eine entsprechende Randausbildung. Das übergeordnete System selbst kann unter Umständen auch evakuiert sein, wie dies teilweise bei in Pfosten-Riegel-Paneele eingesetzten Vakuum-Dämmsystemen der Fall ist.

Werden weiche Dämmsysteme nicht im Rahmen von Vorfertigung in ein anderes System integriert, müssen sie einzeln vor Ort eingebaut werden. Dies hat sich aufgrund der Empfindlichkeit der eingesetzten Hüllmaterialien als sehr problematisch erwiesen.

Ein- oder mehrlagiger Einsatz

Grundsätzlich können die betrachteten Dämmsysteme ein- oder mehrlagig eingesetzt werden. Letzteres kann sinnvoll sein, um durch Versatz der Stöße im Randbereich in der zweiten Lage die Wärmebrücken deutlich zu entschärfen. Im Falle der Integration in ein übergeordnetes System kann solch eine versetzte Anordnung auch in den einzelnen Elementen erfolgen. Dabei ist dann ein entsprechender, gestufter Elementstoß auszubilden. Das Maß des Versatzes zwischen den Lagen ist je nach Anwendungsfall zu wählen. Dargestellt ist in Abb. 4 ein maximaler Versatz von 50%, da so das Prinzip der Maximierung der Weglänge des Wärmedurchgangs am deutlichsten wird. Aus praktischen Gründen (vor allem im Hinblick auf Zwänge aus dem Maßsystem und der Befestigung) wird man dieses Verhältnis in konkreten Anwendungen kaum vorfinden.

Im Zusammenhang mit der Montage stellt sich außerdem die Frage nach Austausch- und Demontagemöglichkeiten, die eng in Zusammenhang mit der Art der Befestigung und der Randausbildung stehen.

Obwohl der mehrlagige Einsatz prinzipielle Vorteile im Hinblick auf die Reduzierung von Wärmebrücken bietet, muss darauf hingewiesen werden, dass damit in der Regel ein erheblicher Mehraufwand (Material, komplexere Unterkonstruktion, erhöhter Montageaufwand) verbunden ist, der zu entsprechend höheren Kosten führt.

Befestigung

Grundsätzlich können folgende Befestigungsvarianten von flächigen Elementen unterschieden werden:

- flächig,
- linear,
- punktuell,

sowie alle hieraus denkbaren Kombinationen.

Weiche Vakuum-Dämmsysteme können nur sehr eingeschränkt Biege-, Zug- oder Scherbeanspruchungen ausgesetzt werden. Prinzipiell sollten diese daher so weit wie möglich reduziert werden.

Einer von der flächigen Befestigung abweichenden Art der Fixierung ist immer der Vorzug zu geben, da diese in der Praxis nur durch Klebung herzustellen ist und damit prinzipiell nicht zerstörungsfrei lösbar ist, einen hohen Aufwand bedeutet und die Paneele in ungeeigneter Weise belastet. Obwohl theoretisch auch denkbar, ist eine flächige Befestigung von biegesteifen Systemen nicht dargestellt, da für eine derartige Befestigung normalerweise keine Notwendigkeit besteht.

4 Beispielhafte, prinzipiell mögliche Wandaufbauten

Abb. 5 zeigt eine Auswahl an möglichen prinzipiellen Wandaufbauten für die Anwendung von lichtdurchlässigen und lichtundurchlässigen Vakuum-Dämmsystemen für statische Einbausituationen in Wandbereichen ohne Öffnungen (gemäß Abb. 2 und 3).

Unterscheidende Merkmale sind beispielsweise die Anzahl der eingesetzten Dämmsystemlagen, die Art der Lastabtragung oder die Frage, ob eine Hinterlüftung vorgesehen ist oder nicht.

Typ	Kerndämmung	Kerndämmung	Innendämmung	WDV-System	Hinterlüftete Fassade	Sandwich-Paneel	PR-Paneel
Lastabtragung	tragend oder nicht tr.	tragend oder nicht tr.	tragend oder nicht tr.	tragend oder nicht tr.	tragend oder nicht tr.	tragend oder nicht tr.	nicht tragend
Schichtigkeit	mehrschichtig	mehrschichtig	mehrschichtig	mehrschichtig	mehrschichtig	mehrschichtig	mehrschichtig
Schaligkeit	einschalig	einschalig	einschalig	einschalig	mehrschalig	einschalig	einschalig
Hinterlüftung	nicht hinterlüftet	nicht hinterlüftet	nicht hinterlüftet	nicht hinterlüftet	hinterlüftet	nicht hinterlüftet	nicht hinterlüftet
Elementierung	Schale nicht element.	Schale elementiert				elementiert	elementiert

einlagige Anwendung eines lichtundurchlässigen Vakuum-Dämmsystemes							
mehrlagige Anwendung eines lichtundurchlässigen Vakuum-Dämmsystemes							
einlagige Anwendung eines lichtdurchlässigen Vakuum-Dämmsystemes							
mehrlagige Anwendung eines lichtdurchlässigen Vakuum-Dämmsystemes							

Legende	Vakuum-Dämmsystem, lichtdurchlässig	Vakuum-Dämmsystem, lichtundurchlässig	Opakes Material	außen - oder innenliegende Schutzschicht	Dampfbremse/-sperre	Hinterlüftung	Lichtlenk- oder Verschattungssystem
---------	-------------------------------------	---------------------------------------	-----------------	--	---------------------	---------------	-------------------------------------

Abb. 5 Ausgewählte Wandaufbauten für die Anwendung von Vakuum-Dämmsystemen (links innen / rechts außen)

5 Ausblick

Die vorgestellten Ansätze dienen der systematischen Klassifizierung von Anwendungen neuartiger Vakuum-Dämmsysteme. Aktuelle und zukünftige Beispiele können entsprechend ihren Merkmalen differenziert und zugeordnet werden. Die Strukturierung liefert zudem Hinweise auf bisher weniger beachtete Aspekte und Zusammenhänge. Dies gilt beispielsweise für die Anwendungsmöglichkeiten zukünftig potentiell verfügbarer transluzenter oder transparenter Systeme, aber ebenso für den bislang nahezu unberücksichtigten Themenkomplex des temporären Wärmeschutzes.

Desweiteren fällt bei der Beschäftigung mit den bekannten Anwendungen auf, dass bislang offenbar keine Versuche unternommen wurden, den einleitend formulierten Ansatz der Substitution konventioneller Dämmstoffe umzukehren und eine Gebäudehüllenkonstruktion zu entwickeln, die in ihrem Aufbau möglichst konsequent den Eigenschaften und der Logik von Vakuum-Dämmsystemen folgt.

Als Beispiel für solch einen 'inversen Ansatz' möge der Außenwandaufbau gemäß der Abbildungen 6 bis 8 dienen, wobei das dargestellte Primärtragwerk (hier eine Seilnetzkonstruktion mit peripher eingeleiteten Vorspannkraften) auch durch eine einfachere Lösung ersetzt werden könnte, zum Beispiel durch vertikale Stützen.

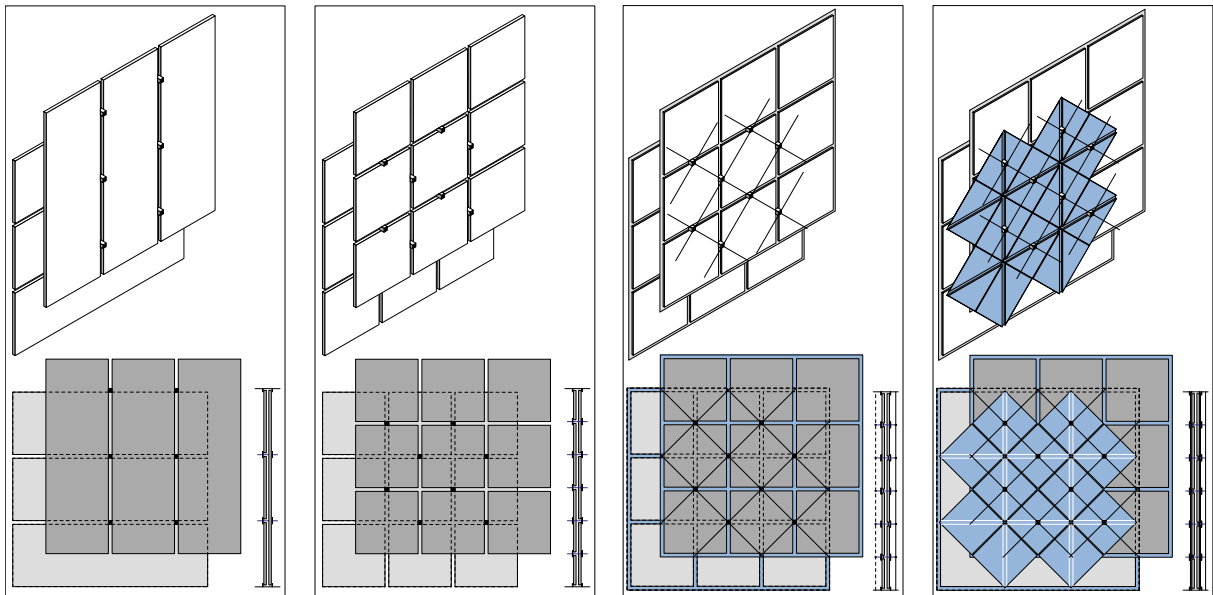


Abb. 6 Entwicklungsschritte des in Abb. 7 und 8 gezeigten Wandaufbaus

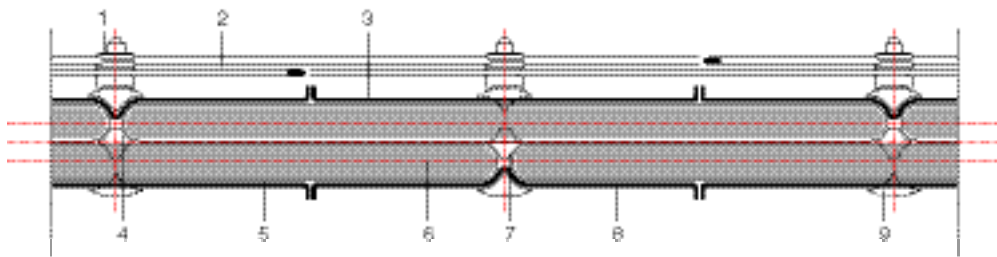


Abb. 7 und 8

Vorgeschlagener Wandaufbau, Schnitt M 1:5

1 Knoten

2 Verspannungsebene

3 Wandhaut außen, z.B. Blech

4 Formteile aus Dämm-Material

5 VIP-Hülle

6 VIP-Kernmaterial

7 Luftkammer im Bereich eines Elements

8 Wandhaut innen, z.B. Blech

9 Befestigung an Verspannknoten von innen,

Innenhaut abnehmbar, dadurch VIP-

Elemente einzeln tauschbar



Der Autor ist Architekt und wissenschaftlicher Mitarbeiter an der TU München, Lehrstuhl für Gebäudetechnologie, Prof. Dr. (Univ. Rom) Thomas Herzog und beschäftigt sich derzeit im Rahmen eines Promotionsvorhabens mit dem Thema der architektonischen Einsatzmöglichkeiten von Vakuum-Dämmsystemen im Bereich der Gebäudehülle.

Anmerkungen

ⁱ vergl. Beitrag des Verfassers im Kapitel 'Außen- und Innenbedingungen' in Herzog, Thomas; Krippner, Roland; Lang, Werner: Fassadenatlas. München: Institut für internationale Architektur-Dokumentation, 2004, S. 17-25

ⁱⁱ Kommentierte Beispielsammlungen finden sich auf www.vip-bau.de, www.vip-bau.ch und insbesondere in Schwab, Hubert et al.: Entwicklung und Anwendung von evakuierten höchsteffizienten Dämmungen für Gebäude. Abschlussbericht ZAE 2-1203-21, Würzburg: Bayerisches Zentrum für Angewandte Energieforschung (ZAE), 2003

ⁱⁱⁱ Eine wichtige Ausnahme stellt der Sanierungsbereich dar, wo der Einsatz von Vakuum-Dämmsystemen aus Platzgründen sehr wohl sinnvoll sein kann. Hier sind vor allem nachträgliche Dämmungen oberhalb der Bodenplatte zu nennen, ein Anwendungsfall, für den es bereits eine Reihe von Ausführungsbeispielen gibt. Durch das ZAE-Bayern wurden hierzu einige Anwendungen betreut, zum Beispiel die Sanierung eines Turnhallenfußbodens in Gemünden (Ing.-Büro Rosel), eines Kellerbodens im eza!-Haus in Kempten (Bayosan Wachter GmbH) und eines weiteren Turnhallenfußbodens in Nürnberg (va-Q-tec AG). Siehe hierzu ausführliche Darstellungen in Schwab, Hubert et al.: Abschlussbericht ZAE 2 - 1203 - 21 (2003), S. 28-29, 35-40.

^{iv} Für die im Bereich der Gebäudehüllen verwendeten beweglichen Elemente findet sich bei Waldemar Jaensch der Begriff ‚Manipulator‘. Die Definition entstand auf Basis seiner von Prof. Thomas Herzog betreuten Dissertation. In dem Begriff ist ‚manus‘ (lat. Hand) und ‚Manipulation‘ (‚Eingriff, um etwas zum eigenen Vorteil zu verwenden. Im 18. Jh. entlehnt aus gleichbedeutend frz. ‚manipulation‘, einer Ableitung von frz. ‚manipuler‘ zum eigenen Vorteil beeinflussen.)‘ enthalten. Im Bereich der Technik bezeichnet Manipulator „ein Gerät zum Handhaben von Gegenständen. Der Manipulator ersetzt den unmittelbaren Zugriff der menschlichen Hand; Kräfte und Bewegungen des Menschen können dabei in gleichem oder geänderten Verhältnis übertragen werden.“ (dtv-Lexikon).

^v Bei einem Vorfenster (auch ‚Winterfenster‘) handelt sich um ein saisonal, nämlich im Winter, nutzbares zusätzliches - aber abnehmbares - Fensterelement, das - im Winter eingesetzt - den Wärmeverlust durch das Fenster (historisch in der Regel jeweils mit Einfachverglasung) reduziert. Vergleiche hierzu Ausführungen und systematische Einordnung in Lang, Werner: Wärme- und Sonnenschutzsysteme aus Holz für Doppelfassaden, Dissertation, München: Lehrstuhl für Gebäudetechnologie, Prof. Dr. (Univ. Rom) Thomas Herzog, TU München, 2000, S. 3-6

VIP in der Architektur: Zwei ganzheitliche Prototypen Bestand/ Neubau aus Sicht der Planer

Florian Lichtblau / Nicole Jendges, Lichtblau Architekten BDA

1. Prototyp Neubau 2-Liter-Haus in Holz mit VIP



Bild 1: Ansicht Süd

1.1 Gebäudedaten

Projekt:	Zweifamilienhaus Dr. F.
Ort:	München-Solln, Melchiorstraße
Nutzfläche:	291,6 m ² HNF (beheizt) + 144,8 m ² NNF (unbeheizt, incl. Gar., Terr./Balk. 50%)
Baukosten:	ca. 700.000.- EUR (KGR 300+400 br.)
Architekten:	Lichtblau Architekten BDA, MA: N. Jendges
Ingenieure:	IB EST (HLS), IB Dittrich (Statik),
Heizwärmebedarf:	22 kWh/m ² a (Simul. Trnsys)
Primärenergiebedarf:	59 kWh/m ² a (ohne Haushaltsstrom)
Ausführung:	Fa. HUP u.a. (Bau), Fa. Wirnshofer u.a. (Technik)
Bauzeit:	April bis Dezember 2001, Bezug Januar 2002

1.2 Gebäudebeschreibung

Das neu bebaute Eckgrundstück liegt in München-Solln am südlichen Stadtrand. Ein bestehendes Einfamilienhaus aus den 50er Jahren wurde seines nicht erhaltenswerten Zustandes wegen abgebrochen.

Der Anfang 2002 fertig gestellte Neubau eines Zweifamilienhauses ist nach Nord (Haupterschließung) und Ost (Nebenstraße) durch die vorgegebene Baulinie begrenzt und öffnet sich nach Süden auf den Garten. Im Westen grenzt die Doppelgarage an die benachbarte Tiefgaragenabfahrt. In optimalen Stützweiten modular organisiert orientieren sich Wohn- und Schlafbereich nach Süd, Erschließungs- und Sanitärbereich nach Nord. Die Nutzflächen lassen sich horizontal und vertikal variabel in bis zu vier getrennte Einheiten teilen.

Über der wärmedämmten Unterkellerung in Leichtbeton erhebt sich ein zweigeschossig vorgefertigter Massiv-Holzbau unter begrünem Pultdach ($U = 0,1 \text{ W/m}^2\text{K}$). Die Fassade bilden lasierte Fichtenholztäfelungen über einer neuartigen Unterkonstruktion mit hochdämmenden Vakuum-Isolations-Paneelen (VIP, $U = 0,14 \text{ W/m}^2\text{K}$), südseitig werden Solarkollektoren unter Prismenglas integriert. Transparente Verglasungen bestehen aus 3-Scheiben-Wärmeschutzglas ($U = 0,7 \text{ W/m}^2\text{K}$), außerdem kommen transluzent wärmedämmte Lichtelemente zum Einsatz. Innen bleibt die Brettschichtholz-Konstruktion (Skelett Lärche, Wände/Decken Fichte) vollständig sichtbar, Trennwände werden in Trockenbau eingesetzt und bleiben somit jederzeit veränderbar. Die Fußböden bestehen im Wohnbereich Süd aus Holz, im Nordbereich aus Keramik. Die Außenanlagen mit Holzdecks/Pergola und Teich, natürlichen Baustoffen und heimischen Pflanzen runden das nachhaltige Konzept ab.

Insgesamt erlangen Organisation (passive Solarnutzung) und Konstruktion (Minimierung Wärmeverluste) bauliche Niedrigstenergie-Qualität. Wärmebedarf entsteht hierdurch primär für Luftaustausch und Warmwasser. Die technische Konzeption beinhaltet kontrollierte Lüftung über Erdwärmetauscher und WRG (90%), Heizwärmeverteilung über Luftwärmetauscher und Wandflächen mit Einzelraum-Regelung für effiziente und flexible Nutzung sowie Pufferspeicher zur Verwaltung von Solaranlage für Heizung und Warmwasser. Eine Regenwassernutzung (10 m^3) bedient Toiletten, Waschen, Putzen, Garten.

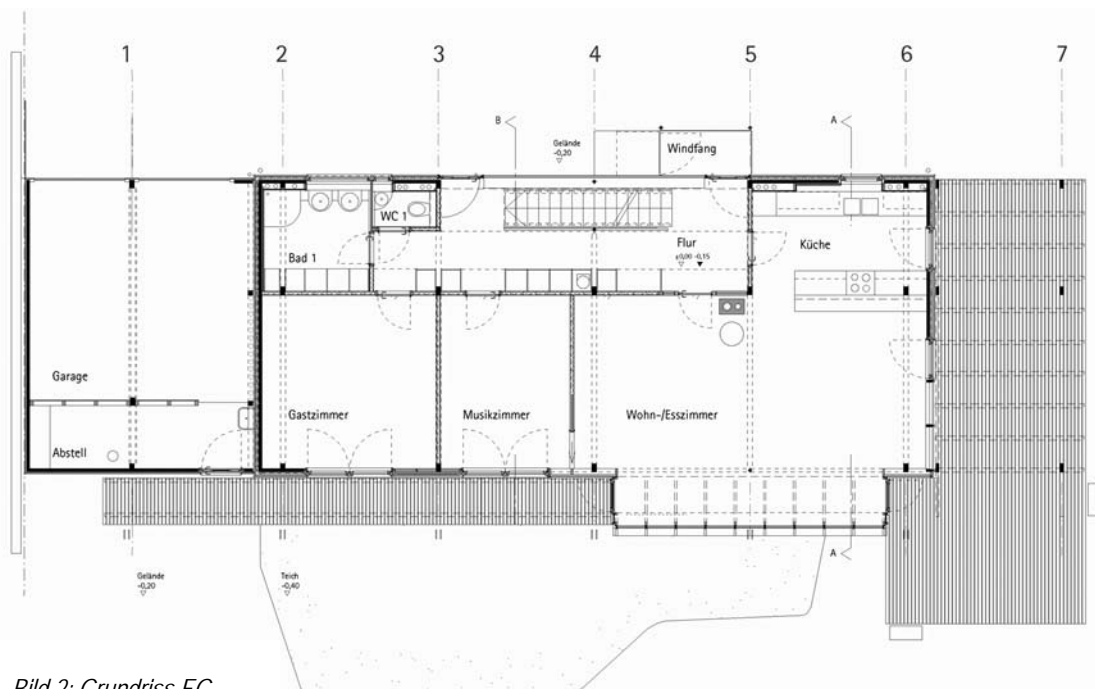


Bild 2: Grundriss EG

1.3 Erfahrungsbericht VIP

Die Planungsaufgabe für dieses Zweifamilienhaus interessierte uns als Prototyp unseres "Holz-Glas-Systems" in Verbindung mit der VIP-Dämmtechnik. Hierbei waren zu Beginn der Planung Zielkriterien aufgestellt worden, die sich möglichst konsequent in der Lösung widerspiegeln und ein technisch wie architektonisch vernetztes Ganzes ergeben sollten:

- Niedrigstenergiestandard mit Heizbedarf unter 25 kWh/m²a
- Minimierung von Wärmebrücken und Luftdichtigkeitswert unter 0,6
- temperaturtrüge Massivholzkonstruktion Außenwand und Decken
- großflächige VIP-Dämmelemente, einlagig, einheitliche Formate
- minimierte Unterkonstruktion in Holz, "saubere", trennbare Materialien
- einfache, handwerkliche Montage bzw. Austauschbarkeit der VIP-Elemente
- südseitig Integration hocheffizienter Absorber als Fassadenkollektor
- insgesamt ökologische, funktionale und wirtschaftliche Konstruktion
- "passivhausgeeignete" Komponenten in schlankestmöglicher Erscheinung (dadurch auch hohen Nutzflächengewinn, gesamt 15 m²!)

Im Zuge der Ausführungsplanung wurden die VIP-Elemente in folgende Bauteile integriert:

- Außenwand opak, einlagig 40 mm zwischen Holzleisten
- Außenwand mit Kollektorintegration, zweilagig 30 mm zwischen Metallschienen
- Decke über OG, 30 mm einlagig zwischen Holzleisten
- Außentüren, 20 mm einlagig zwischen Holzplatten

Durch die schlanke Wandkonstruktion konnten 15 m² Wohnfläche gewonnen werden.

Die entwickelten Detaillösungen zeigen die breiten Variationsmöglichkeiten des Systems auf, ein Austausch belüfteter VIP-Elemente bleibt jederzeit möglich. Einfachlösungen zwischen Holzlatten, Dachuntersicht und Fassaden ermöglichen standardisierte Paneelgrößen. Lieferkonditionen und Qualitätssicherung bis zur Baustelle wiesen erhebliche, aber durchaus lösbare Defizite auf. Das Einsetzen der ungeschützten VIPs in die jeweilige Unterkonstruktion über umlaufendes Komprimband verlief dagegen völlig problemlos.

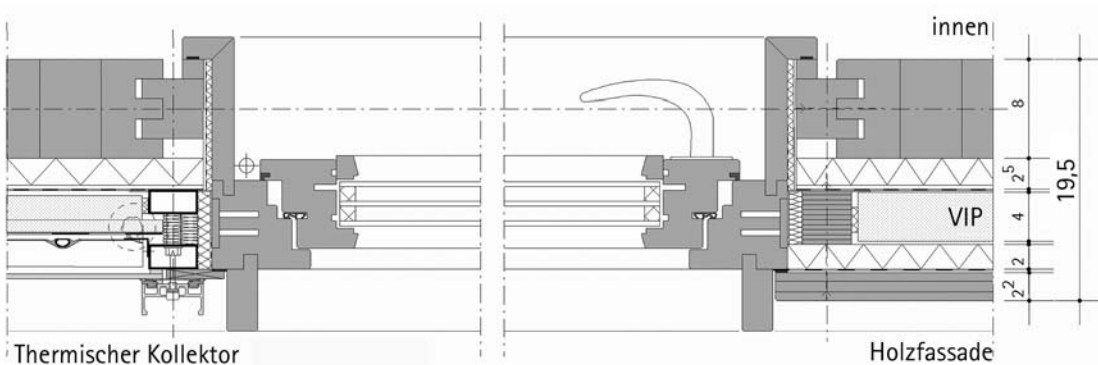


Bild 3: Detail Fensteranschluss

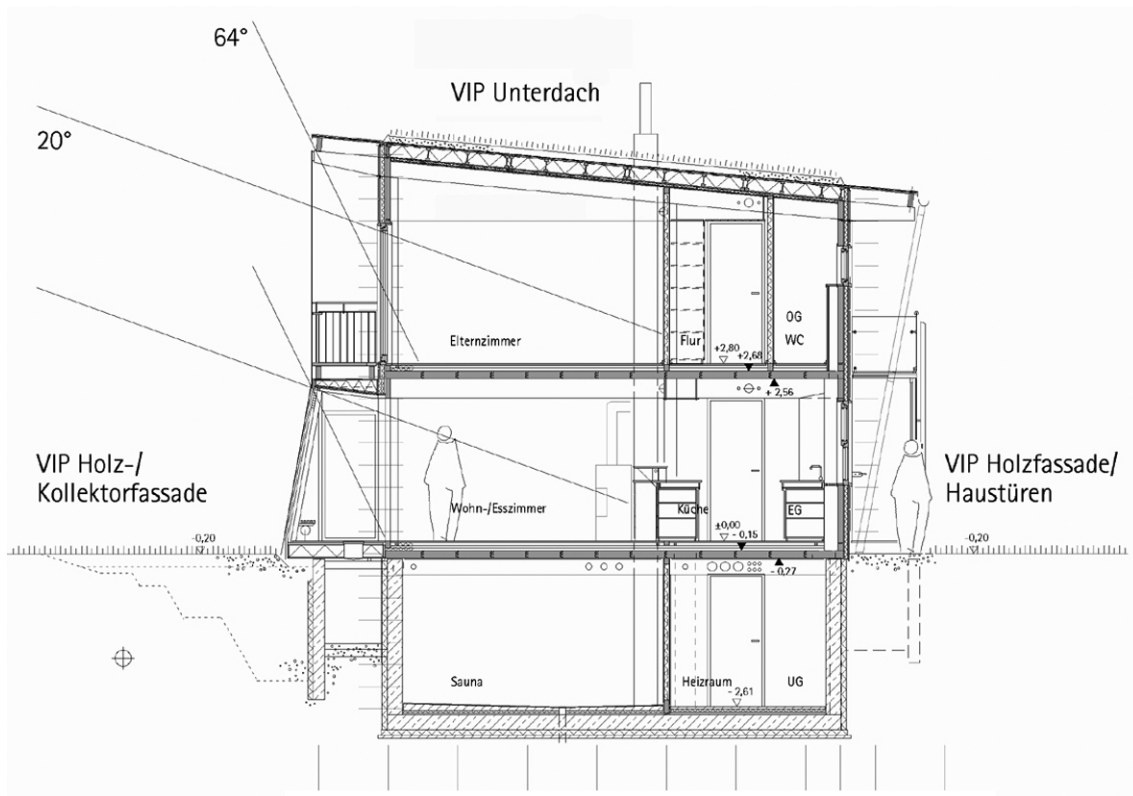


Bild 4: Querschnitt



Bild 5: Baustelle von Ost, VIP



Bild 6: VIP zwischen Riegelwerk

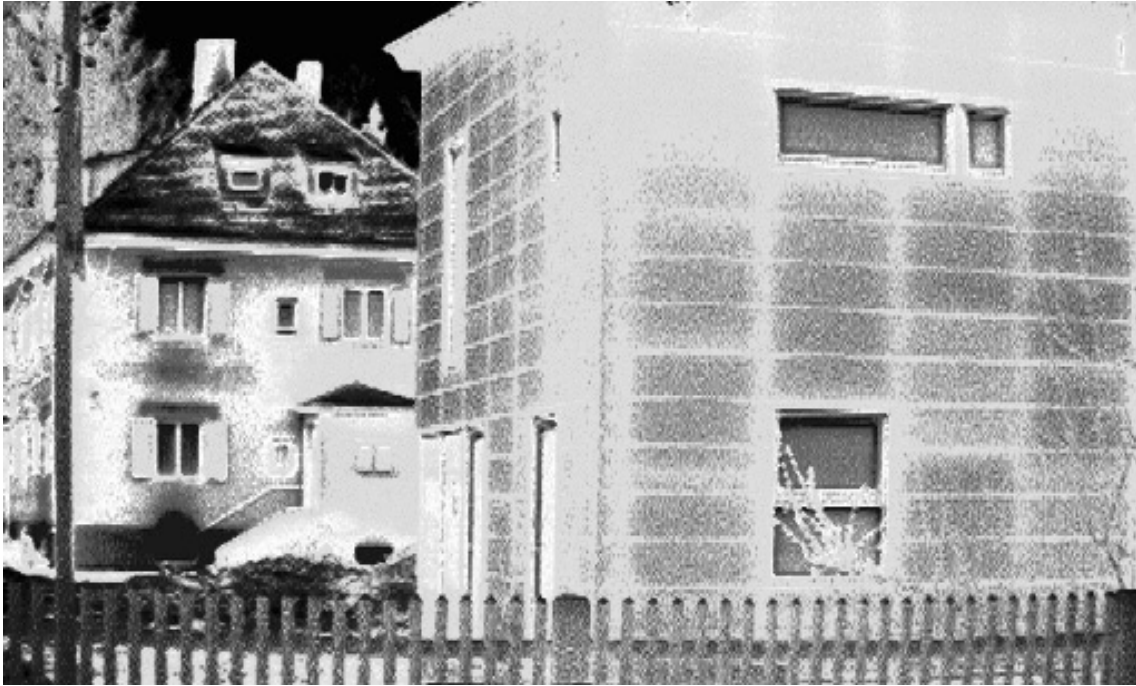


Bild 7: Thermografie mit Nachbarhaus, März 2002, $t_i = 23^\circ \text{C}$, $t_a = -4^\circ \text{C}$



Bild 8: Ansicht Nordost

2. Prototyp Erneuerung Reihenhaus (Bj. 1956) mit VIP



Bild 9: Ansicht Nord

2.1 Gebäudedaten

Projekt:	Reihenhaus Dr. S.
Ort:	München-Harlaching, Ehlersstraße
Nutzfläche:	ca. 130 m ² HNF (beheizt, alt 120 m ²) + 49 m ² NNF (unbeheizt)
Baukosten:	ca. 189.000.- EUR (KGR 300+400 br.)
Architekten:	Lichtblau Architekten BDA, München, MA: M. Neumann
Ingenieure:	IB EST (HLS), IB Dittrich (Statik),
Heizwärmebedarf:	21 kWh/m ² a (alt ca. 200 kWh/m ² a, Simul. Trnsys)
Primärenergiebedarf:	53 kWh/m ² a (ohne Haushaltsstrom)
Ausführung:	Fa. HUP u.a. (Bau), Fa. Ostler u.a. (Technik)
Bauzeit:	9 Monate, Bezug Jan. 2002

2.2 Gebäudebeschreibung „Faktor 10“

Das Reihenmittelhaus wurde 1956 in Ziegel mit Betondecken erbaut, es ist unterkellert, der Dachausbau erfolgte 1960. Das Haus befand sich 2000 weitgehend im Originalzustand, lediglich der Heizkessel war 1990 erneuert worden. Der errechnete Heizwärmebedarf lag mit über 200 kWh/m²a im Mittel des deutschen Altbaus, insgesamt bestand höchster „Sowieso“-Sanierungsbedarf.

Folgende Maßnahmen wurden 2001 realisiert:

Umbau, Sanierung und Modernisierung, auch aller Innenräume, Erneuerung der Sanitäreinrichtungen und Elektroinstallation, Vorsatzschale an allen Außenwänden mit Vakuum-Isolations-Paneelen (VIP) und neuen Fenstern (nach außen öffnend). Außerdem Dämmung der Kellerdecke (VIP) und komplette Erneuerung des Dachaufbaues (VIP) mit raumhoher Südgaube.

Fassade Süd: integrierte Solarkollektoren und Sonnenfenster/Terrasse EG.

Die neuartigen, hocheffizienten Vakuum-Dämmsysteme, ökologisch qualifizierte Materialien, weitgehender Erhalt der Gebäudesubstanz, sowie das integrierte Solar-Kombisystem und kontrollierte Lüftung mit Wärmerückgewinn bilden die zukunftsfähigen Komponenten dieser prototypischen Erneuerung.

Der Wärmebedarf für Heizung und Warmwasser wurden auf ca. 10% (!) des Altzustandes gesenkt, der erzielte Raumkomfort kann als ideal gelten. Progressive Amortisation bilden der Niedrigstverbrauch, vergrößerte Wohnfläche und hoher Marktwert. Ein gestalterischer Kontakt zu den Nachbargebäuden blieb, auch dank der schlanken Dämmhülle, wie selbstverständlich erhalten. Bauherr und Mieter sind rundherum glücklich mit dem neuen Gebäude.

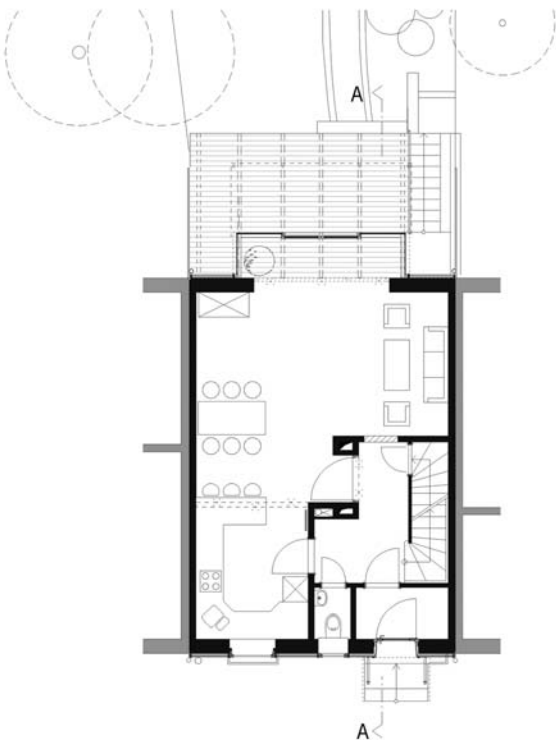


Bild 10: Grundriss EG

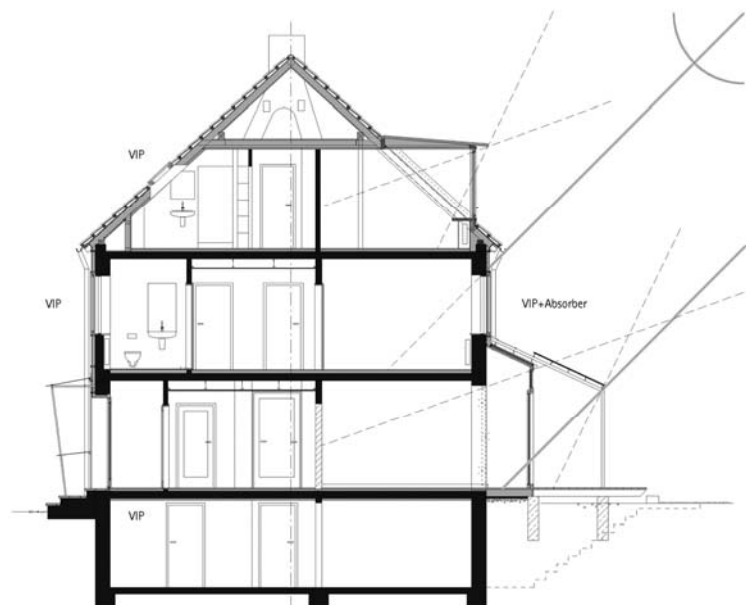


Bild 11: Querschnitt

2.3 Erfahrungsbericht VIP

Der prototypische Charakter unserer Sanierungsaufgabe Reihenhaus mit VIP warf gleichermaßen Chancen und Schwierigkeiten für uns als Planer auf.

Die Chancen:

- Bestwerter Wärmeschutz bei extrem schlankem Systemaufbau
- minimaler Fassadensprung zu den unsanierten Nachbarhäusern
- Beibehaltung von Dachhöhe und knappem, durchlaufendem Dachüberstand
- geringes Konstruktionsgewicht, ökologisch trennbare Materialien
- Wärmebrücke Kommunwand durch Einschlitzten perfekt lösbar
- schlanke Ergänzungsdämmungen in Dachschrägen / unter Kellerdecke

Die Schwierigkeiten:

- sorgfältiger Toleranzausgleich, sichere Verankerung Unterkonstruktion
- nicht fluchtende Lage der Öffnungen, Horizontalteilung nötig
- Minimierung der Wärmebrücken Unterkonstruktion und Anschlüsse
- größtmögliche VIP-Formate bei sicherer Befestigung Fassadenhaut
- reversibler Aufbau System und gestalterische Bewältigung
- maßliche Vereinheitlichung, einfache Herstellung, Systemkosten

Die entwickelten Lösungen in Aufbau Nord opak und Süd mit integriertem Kollektor zeigen die komplexen Anwendungsmöglichkeiten des Systems auf.

Ein Austausch belüfteter VIP-Elemente bleibt jederzeit möglich. Einfachlösungen zwischen Holzlatten für Dachschrägen und Kellerdecke ermöglichen standardisierte Elementgrößen. Lieferkonditionen und Qualitätssicherung bis zur Baustelle wiesen erhebliche, aber lösbare Defizite auf. Das Einsetzen der ungeschützten VIPs in die jeweilige Unterkonstruktion über umlaufendes Kompriband verlief dagegen völlig problemlos.

Der VIP-Technik zur Sanierung im Gebäudebestand stehen hohe Potentiale offen, sofern die Hersteller ihre Hausaufgaben erledigen.



Bild 12: Thermografie mit Nachbarhaus, März 2002, t_i links= 23°C , t_i rechts 17°C , $t_a = -4^\circ\text{C}$

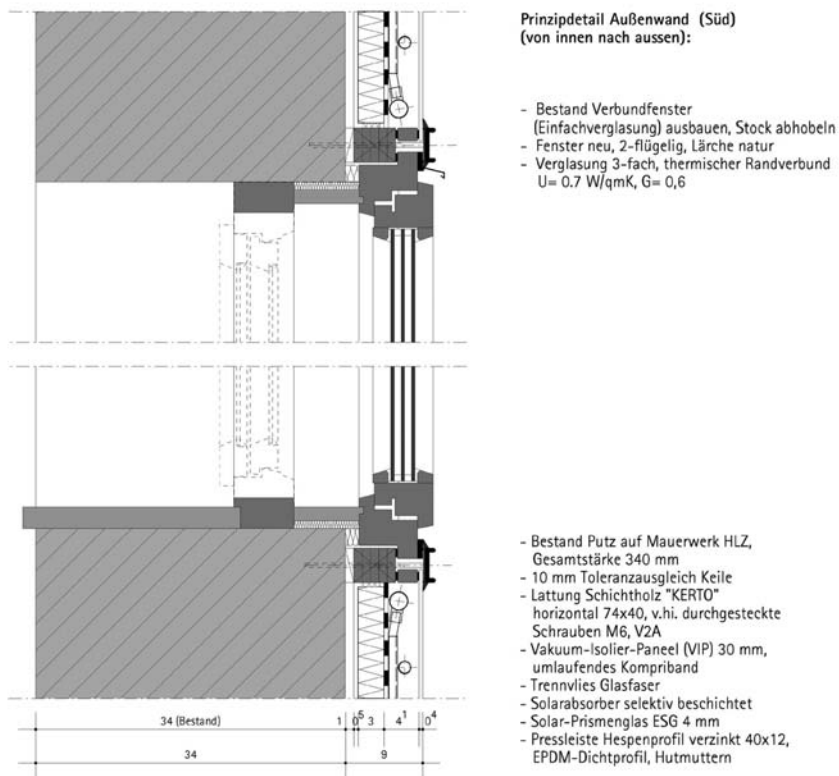


Bild 13: Detail Fensteranschluss



Bild 14: Fassade Nord im Bau



Bild 15: Ansicht Süd Bestand



Bild 16: Ansicht Süd neu mit Fassadenkollektor

Florian Lichtblau / Nicole Jendges,
Lichtblau Architekten BDA
Soelllstr. 14, D - 81545 München, Fon 089-642787.40, Fax .99

VIP Architektur Gestaltungsmöglichkeiten und Wirtschaftlichkeit

Martin Pool, Pool Architekten, München



*Wohn- und Geschäftshaus, Seitzstr.
München. Architekt Martin Pool*

1. Einleitung

Das Wohn- und Geschäftshaus in der Seitzstraße, München Lehel, ist das erste größere Gebäude, das vollständig mit Vakuumisolationspaneelen (VIP) isoliert wurde. Hauptgrund für den Einsatz dieser innovativen Technologie war der wirtschaftliche Vorteil eines Flächengewinns durch schlanke Fassaden. Nach einer allgemeinen Erläuterung des Projekts, des Energiekonzepts und des verwendeten Fassadensystems, werden die wirtschaftlichen Faktoren einer VIP Fassade, bezogen auf der Seitzstrasse und im Allgemeinen diskutiert. Anschließend wird der Zusammenhang zwischen Gebäudekompaktheit, Energie und Wirtschaftlichkeit aufgezeigt. Schließlich soll gezeigt werden, dass VIP in Zukunft den Weg zu weniger kompakten Gebäuden mit erhöhter Wohnqualität bei verbessertem Energiestandard eröffnen kann.

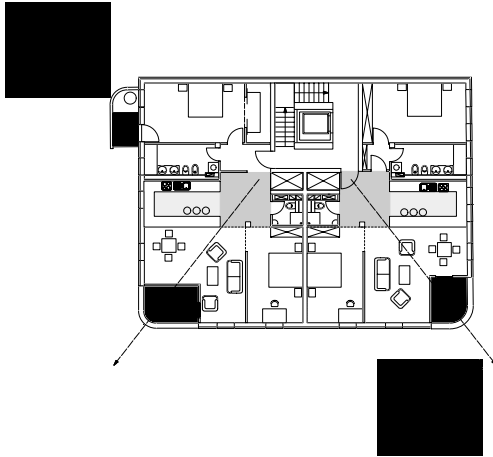
2. Die Seitzstrasse: Projekt und Energiekonzept



Auf dem Trümmergrundstück Seitzstraße 23 entstand im Sommer 2004 das erste Wohn- und Geschäftshaus mit Ultra-Niedrigenergie-Standard in München-Mitte und das erste größere Gebäude, das mit einer Vakuumisoliationspaneel-Fassade gedämmt wurde. Das Haus wurde für eine Baugemeinschaft zweier Ehepaare gebaut, die von der Münchner Peripherie in die Innenstadt ziehen wollten. Es erweitert mit seiner Nutzungsmischung und urbanen Bauweise den lebendigen Innenstadtkern des Lehel nach Norden in Richtung zum Haus der Kunst. Durch einen „Pavillionabstand“ nach Süden entstand an den Gebäudeecken die Möglichkeit, trotz der nah stehenden südlichen Bebauung weite Blicke in die Straße und Höfe sowie gute Besonnung zu erzielen. Auch im Erdgeschoss und im Winter sind die Gebäudeecken für einige Stunden besont. Deshalb wurden die Gebäudeecken mit großen Öffnungen betont.

Gebäudedaten:-

- Nutzfläche: 1.250m² auf 7 Geschossen
- Heizwärmebedarf: 20 kWh/m²a
- 2-Geschossige Tiefgarage mit PKW-Aufzug
- Büroflächen im EG - 2.OG
- Wohnflächen im 3.OG - 6.OG
- Dämmung der Fassade und Terrassen vollständig mit Vakuumisolierung



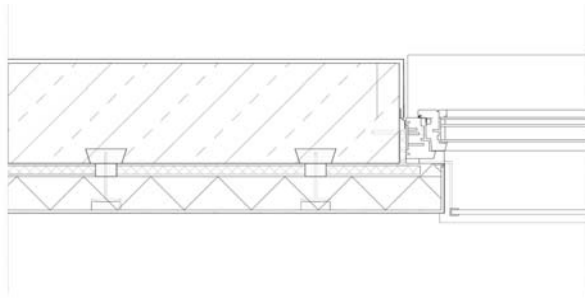
Energieeffizienz:-

Trotz der Verschattung durch die benachbarten Gebäude erreicht der Neubau einen Verbrauchswert von nur ca. 20 kWh pro m² Wohn-/Nutzfläche pro Jahr. Damit wird es den Standard eines Niedrigenergiehaus (mit 30 bis 70 kWh/m²/a) deutlich und denjenigen durchschnittlicher Wohn- und Geschäftshäuser in München (mit 200 kWh/m²/a) bei weitem übertreffen. Mit nur noch 1/10 des sonst anfallenden Wärmebedarfs für Heizung und Warmwasser werden die Betriebskosten des Gebäudes nachhaltig gesenkt. Wäre das Gebäude nicht teilweise verschattet, würde es ohne weiteres die Qualifikation eines Passivhauses (0 bis 15 kWh/m²/a) erreichen. Das Gleiche gilt für den Fall, dass an der nördlichen Brandwand angebaut wird. Dies wird im wesentlichen durch folgende Merkmale und Maßnahmen erzielt:

- Kompakte Gebäudeform
- Hochdämmende Außenwand mit VIP-Fassade und -Terrassen sowie 3-Fachverglasung
- Gezielte Platzierung von Fensterflächen, um den Solareintrag zu maximieren und den Wärmeverlust zu minimieren.
- Kontrollierte Lüftung mit Wärmerückgewinnung
- Wärmeversorgung mit Blockheizkraftwerk
- Natürliche Kühlung mit angesaugtem Grundwasser
- Die innerstädtische Bauweise trägt zur Minimierung von Verkehrswegen



3. Das Fassadensystem



Die Vakuumpaneele wurden in einem bestehenden Wärmedämmverbundsystem mit allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung integriert. Das System ist mit 11 cm weniger als halb so dick wie eine herkömmliche Dämmung mit gleichem Dämmwert.

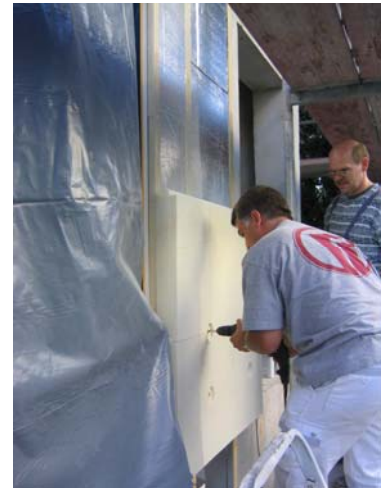
Der Aufbau, von Innen nach Außen, besteht aus Folgendem:

- 1) Purenitkeilen (recycliertes PU) werden im Rohbau in Abständen von 50 cm einbetoniert
- 2) Purenitleisten werden an die Purenitkeilen befestigt
- 3) dazwischen wird VIP mit einer Dicke von 2cm eingelegt
- 4) Wärmedämmverbundsystem (WDVS) mit PU-Dämmung 8cm + mineralischem Verputz wird an die Purenitleisten verdübelt und deckt die VIP ab.

Das WDVS (4) übernimmt folgende Funktionen:

- Mechanischer Schutz der VIP-Platten
- Witterungsschutz der VIP-Platten
- Überdämmung von Wärmebrücken an Befestigungspunkten
- Überdämmung von Anschlüssen (Fenster, Attika, Sockel...)
- Reserve bei Belüftung einer Platte

Die Purenitkeilen im Beton (1) mindern die Wärmebrücken an den Befestigungsleisten und vereinfachen die Verschraubung.



Zustimmung im Einzelfall:

Das neu entwickelte System basiert auf einem bereits vorhandenen System mit allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung von der Fa. Hasit für eine WDVS mit PU-Dämmung auf Ständerkonstruktion. Dieses konnte mit relativ geringem Aufwand durch einen Antrag auf Zustimmung im Einzelfall für die VIPs ergänzt werden. Andere Systeme wurden untersucht, diese scheiterten vor allem an dem Kosten- und Zeitaufwand eines Prüfverfahrens, das für eine Zustimmung im Einzelfall notwendig gewesen wäre.

Das System weichte vom Ursprungssystem im Folgenden ab:

- Die Hinterlegung der PU-Dämmung mit VIPs
- Purenitleisten statt Holzleisten (gleiche Auszugswerte, bessere Dämmwerte, keine Wasseraufnahme)
- Untergrund ist Beton anstelle einer Holzständerkonstruktion

Die notwendige Zustimmung im Einzelfall wurde von der benachbarten Obersten Baubehörde erteilt.

Bei dem Antrag waren nachzuweisen:

- Die Standfestigkeit des Systems (durch Prüfverfahren)
- Brandschutz auf B1 (durch Gutachten - die VIPs sind an sich „leicht entflammbar“)
- Wärmeleitfähigkeit der VIPs (durch Gutachten)

Zusätzliche Einsatzbereiche an dem Gebäude Seitzstraße:

- Terrassen:- Alle Terrassen wurden mit VIPs gedämmt. Hier könnte die Stufe zwischen Innen- und Außenbereich minimiert werden.
- Fensterelemente:- An einigen Stellen wurden hochdämmende Blindfenster mit VIP Kern eingesetzt. Die Fassade ist an diesen Stellen nur 3 cm stark.

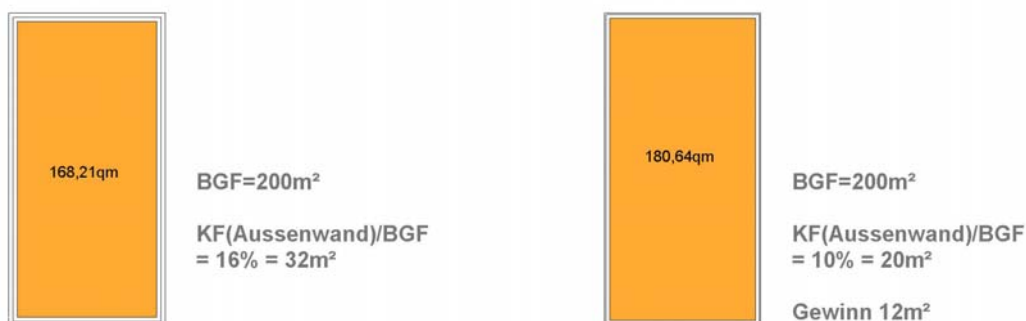
4. Flächensparnis durch Vakuumpaneelsystemen

Der Hauptgrund für den Einsatz von Vakuumisulationspaneelen ist, wie bei der Seitzstrasse auch, Nutzfläche durch schlankere Fassaden zu gewinnen. Das Flächensparpotential zeigt das Beispiel Seitzstraße.

Ohne die Verwendung von VIPs, wäre bei dem Gebäude eine Dämmschichtdicke von 25 cm erforderlich um eine ähnliche Dämmwert zu erreichen. Damit fällt auf 4 m Fassadenlänge schon eine Grundfläche von 1 m². Mit ca. 500 m Fassade bedeutet das eine Gesamtgrundfläche von:-

- 125 m² Grundfläche
- die Nutzfläche eines halben Geschosses
- 10% der Gesamtnutzfläche.

Folgendes Beispiel zeigt den Flächengewinn durch VIP bei zwei Gebäuden mit Abmessungen 10 x 20 m, links mit Dämmung 25 cm, rechts mit VIP/WDVS Dämmung 9 cm (z.B. 3 cm VIP + 5 cm PS + 1 cm Verputz).



Die Fassade d = 9 cm spart 12 m² oder 6% BGF. Eine Fassade mit VIP-Paneelsystem gekoppelt mit Skelettbauweise spart natürlich erheblich mehr.

Bei weniger kompakten Gebäuden ist der Dämm-Anteil der Grundfläche sogar noch deutlich höher; siehe dazu Punkt 7. unten.

5. Wirtschaftlichkeit von VIPs

VIPs und VIP Fassaden sind teuer. Ob sich der Einsatz von VIPs im Einzelfall lohnt, hängt von folgenden Faktoren ab:-

- Grundstückspreise und der Verkaufspreis / Mietspiegel pro Quadratmeter Nutzfläche.
- Ziel-Energiestandard: Je dicker die Dämmschichten, desto größer das Flächeneinsparpotential. Bei normalen Dämmstärken werden die möglichen Flächeneinsparungen in näherer Zukunft kaum den notwendigen Aufwand und das Risiko für eine Vakuumfassade rechtfertigen können. Maßgebend ist der Schichtdickenunterschied zwischen herkömmlicher Dämmung und VIP Dämmung bei festgelegtem U-Wert.
- Das Baufenster: Platzgewinn durch VIPs funktioniert nur dort, wo die äußeren Abmessungen eines Gebäudes begrenzt sind, z.B. durch eine Geschossflächenzahl, durch Kubaturobergrenzen und Baulinien, durch festgelegte Gauben- oder Erkerbreiten und bei Sanierungen, wo z.B. der Straßenflucht nicht überschritten werden darf.
- Mehrkosten für die Ausführung der VIP Fassade, je nach gewähltem System und unter Berücksichtigung der Geschosshöhe (große Geschosshöhen bedeuten mehr Fassadenkosten pro gewonnene Quadratmeter Nutzfläche) .

Die Kosten für einen gewonnenen Quadratmeter Nutzfläche können so errechnet werden:

Mehrkosten für 1m² Nutzfläche

= Mehrpreis/m²Fassade x Geschosshöhe / Schichtdickenunterschied bei festgelegtem U-Wert

Sind die Mehrkosten für den Quadratmeter Nutzfläche geringer als der Verkaufspreis, dann können sich VIPs lohnen. Bei der Seitzstraße müsste einen qm-Verkaufspreis von 3.500 € erzielt werden.

Zukünftig werden sich die Vorteile von VIPs gegenüber herkömmlicher Dämmung verstärken:-

- Dämmdicken: Schlankere Systeme.
- Dämmwerten: VIP Systeme mit weniger Wärmebrücken.
- Kosten: VIP Systeme mit einfacheren Befestigungssystemen, geringere Kosten für VIP durch größeren Stückzahlen und rationalisierte Herstellungstechniken

Geht man von Mehrkosten 100,-/m² NF und einem Dickenersparnis 20cm aus, wird der gewonnene Quadratmeter mit 1.500,- gekauft. So werden sich VIPs in Zukunft nicht nur für teure innerstädtischen Grundstücken lohnen.

6. Andere Faktoren

In der Entscheidung für oder gegen das VIP System mussten bei der Seitzstraße andere Vor- und Nachteile berücksichtigt werden.

Positive Faktoren:

- Laibungen Reduzieren: dünnere Laibungen bedeuten mehr solare Gewinne und mehr Ausblick. Insbesondere bei städtischen Grundstücken wird der Ausblick schräg in die Straße hinein verbessert.

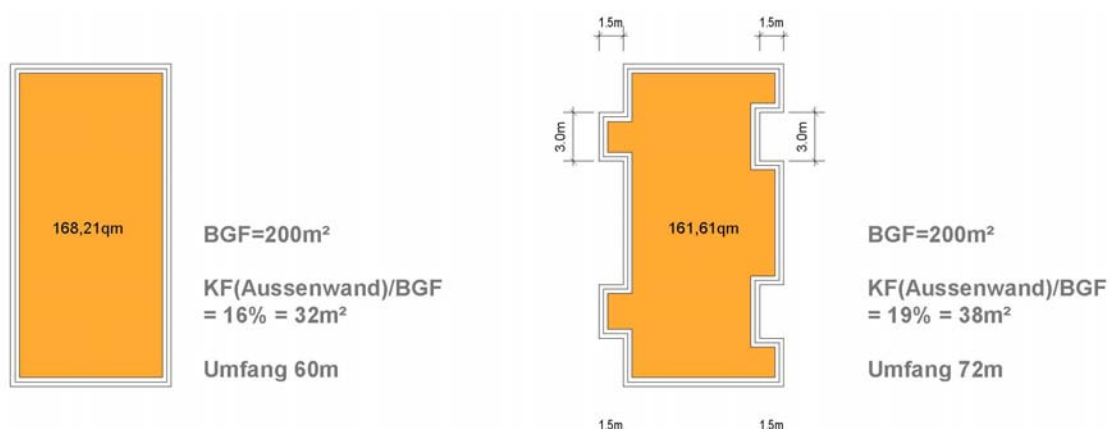
- Psychologische Gründe: Dicke Dämmungen und Wände, insbesondere Laibungen, waren unerwünscht. Der Bauherr wollte nicht in einer „Thermoskanne“ wohnen. Vakuumtechnologie war die Lösung.
- Städtebau und Verkehrsenergie: Eine 5% bessere Ausnutzung von Grundfläche gleicht einer Ortsverdichtung von 5%, ohne, dass Wohn- und Lichtverhältnisse verschlechtert werden. Da gerade bei Niedrigenergiebau der Anteil der Verkehrsenergie an der Gesamtgebäudeenergie bedeutend wird, dürfen die Ersparnisse hier nicht unterschätzt werden.

Negative Faktoren:

- Risiko: Der Risikofaktor für eine unerprobte Technologie mit noch ungewisser Lebensdauer musste berücksichtigt werden.
- Planungsaufwand, Zeitaufwand: Abstimmen der Ausführungsplanung auf Plattenmasse, Einholen einer Zustimmung im Einzelfall, reduzierte Toleranzen in der Ausführung.

7. Flächengewinn und Kompaktheit

Bei Gebäuden, die im Vergleich zur Seitzstraße weniger kompakt sind, ist der Flächenverlust durch die Dämmung deutlich höher. Mit einer Verschlechterung des A/V Verhältnisses erhöht sich die Fassadenlänge und somit die Grundfläche der Dämmung. Bei großen Dämmdicken werden diese Unterschiede sehr wichtig - das zeigt dieses Beispiel:



Linkes und rechtes Beispiel haben die gleiche Grundfläche und eine Wand 24cm Massiv + 25cm WDVS. Das Einziehen von einem Erker und einer einfachen Loggia pro Wohnung hat folgende Auswirkungen:

- Der Umfang erhöht sich von 60m auf 72m – eine Erhöhung von 20%
- Die Nutzfläche verringert sich um 6 m², das entspricht 3% der BGF
- Der thermische Verlust erhöht sich um 25 % bezogen auf die Nutzfläche (weniger Nutzfläche mehr Außenfläche - Berechnungsweise EneV, PHPP)

Deshalb bleiben energiesparende Gebäude in der Regel kompakt und vermeiden jede Verschränkung von Innen und Außen. Fassaden laufen gerade durch und Balkone werden mit getrennter Konstruktion davor gehängt.

8. Gestaltus Flächenverluste und thermische Verluste bei Gebäudeartikulation vernachlässigbar werden. Somit köngsmöglichkeiten mit VIPs

Mit VIP kann die Betonung vom energiesparenden Bauen auf Kompaktheit zurückgehen. Der extrem hohe Dämmwert bei geringer Grundfläche bedeutet, dassnnen Passivhäuser wieder stärker nach dem Wohnwert und nicht nur nach dem Energiewert gestaltet werden.

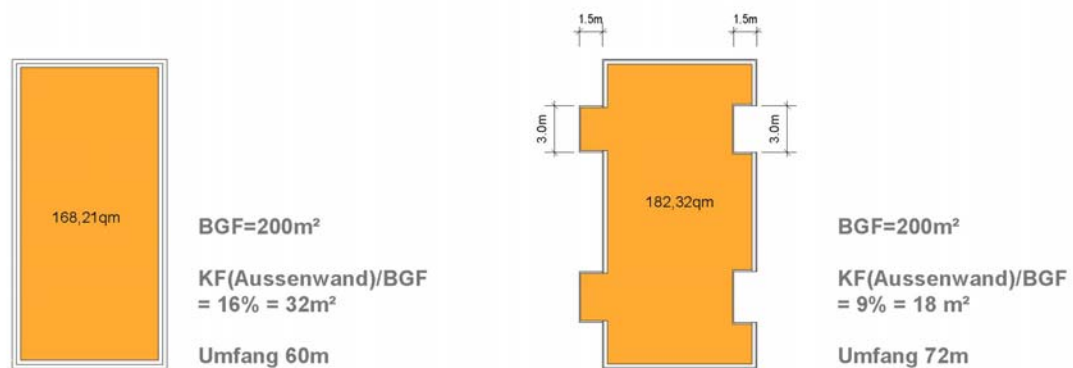


Wie Verschränkungen von Innen und Außen den Wohnwert erhöhen können, zeigen folgende Beispiele

- Der Erker: Ein Raumbereich, der besonders hell ist und länger Sonnenschein erhält als hinter einer glatten Fassade. Erker ermöglichen schräge Blicke in den Straßenraum und bieten einen geschützten Ort mit panoramischem Blick.
- Privater Außenraum durch Terrassen und Loggien: Außenraum kann mit Innenraum verschränkt werden, um private Orte und Nischen zu schaffen, die vor Einblicken, vor Regen und vor Sonne geschützt sind. Außenbereiche müssen nicht vorgehängte Körbe sein sondern eine gartenartige Erweiterung vom Wohnraum mit einem stufenweisen Übergang von Innen nach Außen.
- Belichtung: Artikulierte Baukörper bieten viele Ecken an, viele Zimmer können somit Fenster und Terrassen auf mehreren Seiten erhalten. Das sorgt für bessere Belichtung und Besonnung. Fenster auf mehreren Seiten können in der Gesamtfläche kleiner als Fenster für eine einseitige Belichtung.

Diese Beispiele sind insbesondere bei Mehrfamilienhäuser von Bedeutung. Wegen der Knappheit von privatem Außenraum ist dessen Qualität besonders wichtig. Das Passivhaus darf nicht nur für Einfamilienhäuser bestimmt werden sondern muss vor Allem ein Standard für Stadtwohnungen werden.

Im folgenden Beispiel werden die Loggien und Erker aus Punkt 7.) aus 10 cm dicken nichttragenden



Sandwichpaneelen, wie diese z.B. auch an der Seitzstraße Anwendung fanden, gebildet.

- Die Nutzfläche eines Ultraniedrigenergiehauses mit Beispiel-VIP-System und erhöhtem Wohnwert ist jetzt im Vergleich zu der kompakten Variante mit herkömmlichen Dämmung um 14 m² gewachsen.
- Der Umfang hat sich um 20% erhöht. Eine Erhöhung der VIP-Stärke um 1cm gleicht die geometrischen Verluste mehr als aus. Diese Verstärkung beeinträchtigt kaum die Flächenausnutzung.
- Voraussetzung sind erschwingliche Fassadensysteme. (mehr Fassadenoberfläche = mehr Baukosten)

9. Zusammenfassung

In Zukunft kann das VIP energiesparende Architektur von ihrer Betonung auf kompakte blockhafte Bauformen befreien. Extrem hohe Dämmwerte und geringer Platzbedarf für die Dämmung ermöglichen eine differenziertere Artikulierung von Gebäuden. Loggien, Erker und private Terrassen können in Passivhäusern verwirklicht werden. Das bedeutet interessantere Räumlichkeiten, bessere Belichtung und Ausblick, sowie eine bessere Einbindung des Außenraumes. Ziel muss sein, verdichtetes mehrgeschossiges Wohnen durch VIP, Qualitäten anzubieten die dem Einfamilienhaus Konkurrenz machen können und somit Menschen in die Stadt zu ziehen. Dann wird die ersparte Verkehrsenergie den Unterschied in Heizwärmeenergie zwischen Ultra-Niedrigenergie Haus und Passivhaus vernachlässigbar machen.

Martin Pool, pool architekten, München
www.pool-architekten.de, e-mail: mp@pool-architekten.de

Einsatz von VIPs zur kostengünstigen Problemlösung

Dipl.- Ing. Architekt Carsten Grobe, ecoba Energiesparhandel GmbH – www.ecoba.de

1 Innovativer Dämmstoff wirtschaftlich eingesetzt

Dem Architekten, insbesondere dem, der sich darauf spezialisiert hat ökologisch und ökonomisch verantwortungsvoll zu bauen, stehen grundsätzlich drei verschiedene Arten der Wärmeübertragung und damit des Energieverlusts vom Gebäudeinneren nach außen zur Verfügung. Es ist demnach nur logisch, einen Dämmstoff zu entwickeln und zu fördern, der hoch spezialisiert möglichst viele dieser Arten möglichst effizient verhindert. Die Umsetzung hochwärmegeämmter, wärmebrückenfreier Gebäude stellt sich im Bauwesen aber noch immer als sehr schwierig und problembehaftet heraus.

Worin liegen die Ursachen für eine so schleppende Umsetzung eines so innovativen Baumaterials?

Im Folgenden soll erläutert werden, dass es nicht unbedingt die erhöhten Kosten sondern eher eine Unwissenheit vieler Planer ist, sich dieser Hochleistungsdämmung zu bedienen, um wärmebrückenfreie Konstruktionen und größere architektonische Freiheiten bei energetisch anspruchsvollen Gebäuden zu erlangen.

Um hier den planenden und ausführenden Baufachleuten mehr Informationen zu vermitteln, gerade wenn es um neue Anforderungen durch erhöhte und wärmebrückenfreie Dämmung geht, ist in Hildesheim der Energiesparhandel ecoba gegründet worden, der sich ausschließlich mit der Markteinführung neuer und innovativer Dämmstoffe beschäftigt, die zu beratungsintensiv sind, um im herkömmlichen Baustoffhandel eine Marktdurchdringung als Spezialdämmstoff zu erhalten. Hierzu zählen neben der Vakuumdämmung auch die Naturdämmstoffe, neue innovative Innendämmungen oder PCM als Wärme- und Kältespeicher. Die Trägheit der Bauwirtschaft gegenüber der Automobil und IT- Technik nach dem Grundsatz „ das haben wir doch schon immer so gemacht“ muss durch neue Verbreitungsformen in Zukunft stärker in den Mittelpunkt gestellt werden.

1.1 Energetische Grundlagen der Vakuumdämmung

Mit der Vakuumdämmung kann man Wärmeleitfähigkeiten erreichen, die nur noch etwa 1/8 bis 1/10 herkömmlicher Dämmstoffe, wie Mineralwolle oder Polystyrol, erreichen.

Tabelle 1: Vergleich zwischen Vakuumpaneel und herkömmlichen Dämmstoffen

Vakuum Isolationspaneel	0,005 W/(mK)
geschlossenenzelliger PU Schaum	0,020 W/(mK)
Polystyrolschaum EPS	0,035 W/(mK)
Mineralwolle	0,035 W/(mK)

Gestalterische Anwendungsbereiche

Oftmals führen gestalterische Aspekte des Entwurfs und daraus resultierende konstruktive Probleme und Zwänge zu sinnvollen Anwendungsbereichen für Vakuumdämmung. Insbesondere dann, wenn wie beim Passivhaus der geforderte energetische Anspruch extrem hoch liegt. Dieser Anspruch resultiert nicht aus dem überzogenen Denken einiger weniger Individualisten, sondern aus dem verantwortungsvollen Umgang mit benötigter und zur Verfügung stehender Energie. Letztlich fordert auch der Gesetzgeber immer strengere Standards, so dass eine weitere Steigerung der Anforderungen abzusehen ist. Die stetig steigenden Energiepreise sorgen dafür, dass solche Gebäude auch wirtschaftlich interessant werden, einschließlich all ihrer verwendeten, neuen Dämmstoffe. Wenn architektonisch schlanke Bauteile hochwärmegedämmt ausgeführt werden sollen, so stehen hier die meist nicht im Mittelpunkt, da es oft nicht um große Flächen geht.

1.2 Wirtschaftlich sinnvolle Anwendungsbereiche

Die steigenden Anforderungen der Wärmedämmtechnik im Baubereich führen in den letzten Jahren zu neuen Entwicklungen und zum Einsatz von Vakuumdämmung auch im Baubereich. Bei modernen Gebäuden, insbesondere bei Niedrigenergiehäusern und als Steigerung beim Passivhaus sind die Dämmstoffstärken in Form von Materialien wie Polystyrol oder Mineralwolle bereits bis zu 40 cm und mehr im Einsatz. Das bedeutet einen hohen Anteil des Wand- und Dachaufbaus zur gesamten Grundfläche bzw. umbauten Volumens. Durch die Möglichkeit, einen Dämmstoff einzusetzen, der nur 1/8 bis 1/10 dieser Dämmstärke bei gleicher Dämmwirkung einnimmt, ergeben sich neue Abhängigkeiten von umbautem Raum in Bezug auf die Dämmstoffkosten, die früher bei geringen Dämmstoffstärken nicht so ins Gewicht fielen. Außerdem werden überdimensionale Wanddicken vermieden, beispielsweise tiefe Leibungstiefen bei Fenstern. Den wirtschaftlichen Aspekt kann man von verschiedenen Seiten betrachten. Einerseits bedeuten kleine Wandaufbauten bei gleicher Grundfläche eine größere Wohnfläche bzw. eine größere zu vermietende Fläche, andererseits benötigt man bei gleicher Wohnfläche eine geringere Bebauungsfläche und kann somit kleinere, günstigere Grundstücke bevorzugen. Der letztere Aspekt ist sinnvoll in Wohngebieten mit hohen Baulandpreisen, in innerstädtischen Ballungsräumen und in bereits zum großen Teil bebauten Gebieten, wo die Nachfrage das Flächenangebot übersteigt.

1.3 Vermeidung von Wärmebrücken

Besondere Anwendung findet das Vakuumpaneel bei einzelnen Bauteilen wie Türen, Fensterbrüstungen, Rollladenkästen, etc. Diese Bauteile stellen in herkömmlicher Ausführung Wärmebrücken dar. Deutlich wird dies am Rollladenkasten, der allein durch seinen Platzbedarf keine weitere herkömmliche und effiziente Wärmedämmung möglich macht. Analog verhält es sich mit konstruktiven Lösungen für Sonnenschutzjalousien. Die erhöhten Kosten der Vip in nur gering angewandter Fläche substituiert sich mit der enormen finanziellen Aufwendung für einen 30cm langen Abstandshalter eines außenliegenden Sonnenschutzes. Nicht nur die daraus entstehenden Wärmebrücken, auch der ästhetische Anblick eines vorgehängten Sonnenschutzes würde bei einer kostengleichen Ausführung für den Einsatz einer Vakuumdämmung sprechen.

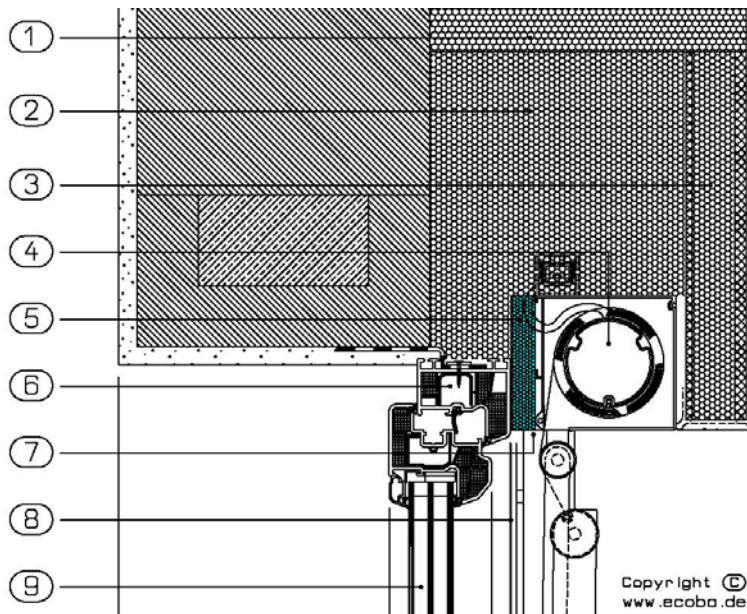
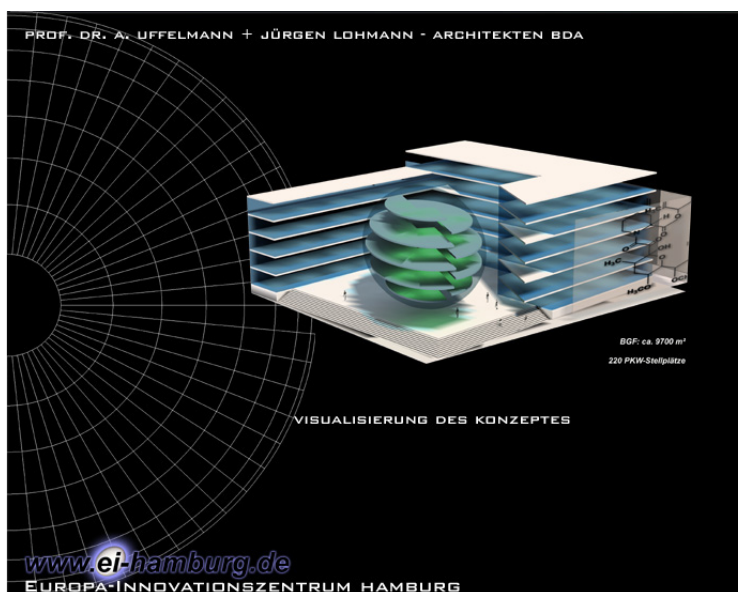


Bild 1: Sonnenschutz mit 2cm
Vakuumdämmung

- 1 Wärmedämmverbundsystem
- 2 Wärmedämmverbundsystem
- 3 Putzträgerplatte
- 4 Sonnenschutz elektrisch
- 5 Vakuumdämmung 2,5cm
- 6 gedämmte Fenster
- 7 Blechverkleidung der VIP
- 8 Anputzleiste
- 9 3-fach-Verglasung

1.4 Wirtschaftlichkeit über den reduzierten umbauten Raum

Mitten in der Hansestadt Hamburg soll ein neues modernes sechsstöckiges Bürogebäude mit Ladenzeile und einer Bruttogeschossfläche von über 10.800 m² im Passivhausstandard geplant werden. Durch die äußerst kompakte Gebäudeform mit dem A/V-Verhältnis von nur 0,28/m, der 26cm dicken Außenwand-Dämmstärke und den hohen inneren Wärmelasten ist es trotz nordfrequenterer Fensterflächen möglich, den Passivhausstandard und einen bezogenen Heizwärmebedarf von unter 15 kWh/m²a zu erreichen. Eine detaillierte Wirtschaftlichkeitsberechnung (s. www.Energiekostenberater.de) ergab eine Amortisation der Mehrkosten durch den Passivhausstandard schon in den ersten drei Jahren.



Grundlage der Berechnung für die Wirtschaftlichkeit der VIPs ist der Vergleich zwischen 3 cm Vakuum Dämmpaneel und 30 cm herkömmlicher Wärmedämmung. Dabei werden die Kosten für die Fassade nicht weiter berücksichtigt, es werden lediglich die Mehrkosten für die VIPs mit den Mehrkosten verglichen, die entstehen würden, wenn man die durch Dämmung verlorene Nutzfläche an diesem Standort zusätzlich bauen würde.

Bürogebäude als Passivhaus
(siehe auch www.Passivhaus.de)

Tabelle 2: Gegenüberstellung von Nutzflächengewinn und Materialkosten für VIP

Ausführung ohne VIP	Ausführung mit VIP
Fassade im Passivhausstandard mit 26cm Wärmedämmung ca.: 3.500 m ²	Fassade mit VIP Paneels, WLG 005 ca.: 3.500 m ² eingeschäumt Gewinn an Nutzfläche ca.: 370 m ²
Verlust an Nutzfläche 1.500 Euro x 370 = 555.000 Euro	Mehrkosten durch Vakuumdämmung 3500 x 100 Euro = 350.000 Euro

Anders ausgedrückt dürften die Mehrkosten für 1 m² Vakuumpaneel der Außenwände mit einer Stärke von 3 cm sogar 160,- Euro betragen, bedenkt man den Nutzflächengewinn von über 250 m² über alle Geschosse! Obwohl die Vakuumdämmung noch kein Massenprodukt ist, läge gerade in Ballungszentren mit hohen Nutzflächenpreisen ein wirtschaftlicher Einsatz, denn die Kosten für VIPs lägen schon heute deutlich unter den oben errechneten Mehrkosten der Vakuumdämmung.

1.5 Türen

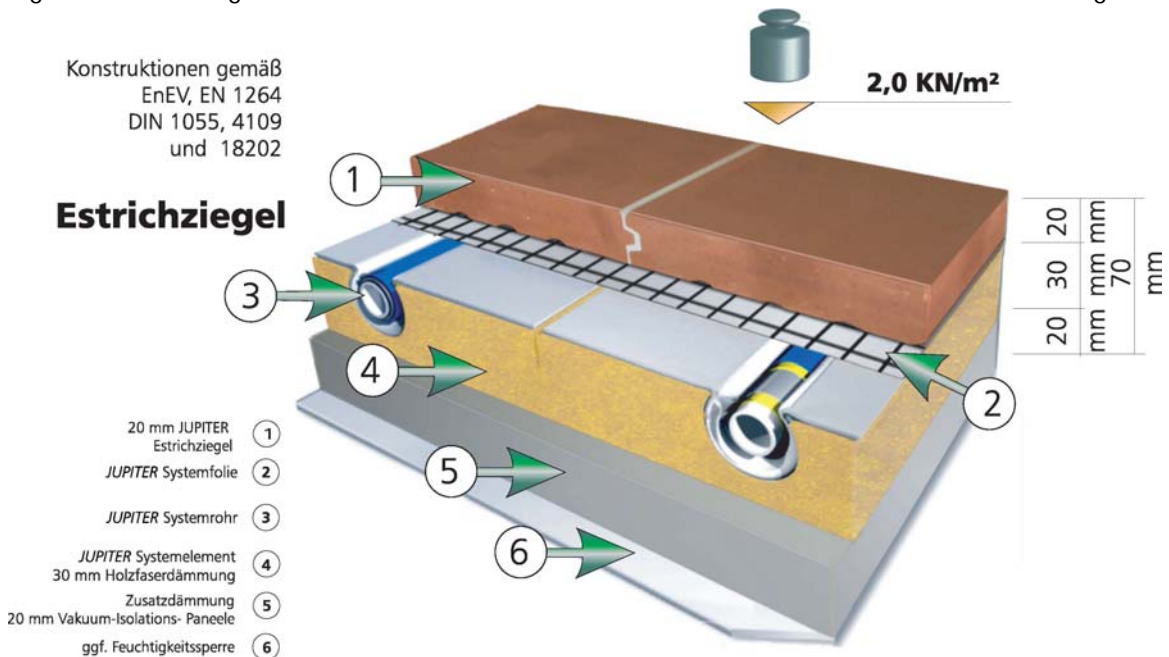
Türen hingegen sind relativ dünnwandige Elemente und lassen deshalb große Dämmstärken einfach nicht zu. Mit Vip kann man hochwertige, gut dämmende Türelemente herstellen. Auf diese Weise lässt sich der U-Wert einer Haustür bei vorgegebener Türblattstärke mehr als halbieren und die thermische Schwachstelle der Gebäudehülle eliminieren. Dies ist insbesondere für Passivhäuser eine notwendige Maßnahme, da die Energieverluste sonst nur über die Eingangstüren im Verhältnis viel zu hoch wären. Durch die Vorgabe eines Passivhausstandards wäre die Ausführung einer Fensterbrüstung mit Vakuumdämmung im bodentiefen Fenster wiederum über den Nutzflächengewinn zu kompensieren.

1.6 Innenwanddämmung

Nicht nur bei Neubauten hat die Vakuumdämmung Vorteile, sondern auch im Bereich der Gebäudesanierung. Bei denkmalgeschützten Gebäuden bleibt in der Regel überhaupt nicht die Möglichkeit einer neuen Außenhaut. In einem Gebäude aus den 30er Jahren wurden deshalb zwei Varianten mit Vakuum Innendämmung getestet. Es kann EPS- umschäumte Vakuum Isolations-Dämmplatten mit Klebemörtel auf das Mauerwerk geklebt und anschließend verputzt werden. Die Randbereiche werden mit herkömmlichen EPS Platten ausgeführt. Mit 4,5 cm Aufbau wird somit ein U-Wert von 0,26 W/m²K erzielt! Hier besteht lediglich das Problem, dass Nägel und Schrauben aus diesen Wänden fernzuhalten sind. Bei der zweiten Variante wurden einfache Vakuumdämmplatten direkt auf die Innenwand geklebt. Mit einer 4 cm starken Vormauerung mit Alba-Platten konnten die Vakuumpaneele geschützt werden. Mit dieser Konstruktionsstärke von 6,5 cm wurde ein U-Wert von nur 0,24 W/m²K erzielt. Darüber hinaus ist die so sanierte Wand recht unempfindlich gegen Nägel und Schrauben, die im Innenbereich einer Wohnung ja eigentlich kaum zu vermeiden sind. In jedem Fall ist das Gebäude aus bauphysikalischer Sicht zu überprüfen, da Innendämmungen hinsichtlich Oberflächenkondensat nie unproblematisch sind.

1.7 Fußbodendämmung

Ein weiteres Anwendungsgebiet im Altbaubereich ist die Fußbodendämmung im Erdgeschoss. Nicht allzu selten besteht in Altbauten das Problem, dass die erforderlichen Dämmstoffstärken (z.B. Fußbodendämmung) durch die Höhenlimitierung ausgeschlossen sind. Bei einer Sanierung kann die Vakuumdämmung mit Einbaudicken von 1-2 cm unter dem neu erstellten Estrich die gesetzliche Anforderung nach EnEV problemlos erreichen, ohne die bestehende Gesamtaufbaudicke des alten Fußbodenaufbaus zu erhöhen. Müssten im Gegensatz alle Treppen bei einer erhöhten Dämmung angepasst werden, lägen die Sanierungskosten noch weit über den Kosten des Einsatzes einer Vakuumdämmung.



Grafik: Fussbodenaufbau mit Trockenestrich und Fußbodenheizung

Die Aufbauhöhe normaler Fußbodenheizungen mit Fließ- oder Zementestrichen im Zwischengeschoss beträgt 10 cm. Diese Aufbauhöhe ist deutlich höher als der normale, unbeheizte Fußbodenaufbau. Hieraus entsteht ein konstruktiver Nachteil, was zu einer gewissen Erhöhung der Baukosten führt. Zudem gelten die mit viel Wasser eingebrachten Estriche aufgrund der langen Austrocknungszeit als Bauverzögerer.

Nunmehr ist ein Trockenestrich auf dem Markt, der auf Basis des natürlichen Werkstoffs eines Tonziegels eine 20 mm dünne, trockene Lastverteilschicht bildet, die auch als fertiger Oberboden fungieren kann. Dieser Estrichziegel mit den Abmessungen von beispielsweise 400 mm x 200 mm ist ein stabiler, druckbelastbarer Stein, der von Bodenlegern aber auch von Handwerksbetrieben der Haustechnik einfach zu verlegen ist und als komplettes, beheiztes Bodensystem angeboten und eingebaut werden kann. Dass der Ziegel-Trockenestrich auch als terracottaähnlicher Endbelag genutzt werden kann, ist ein hoher Zusatznutzen.

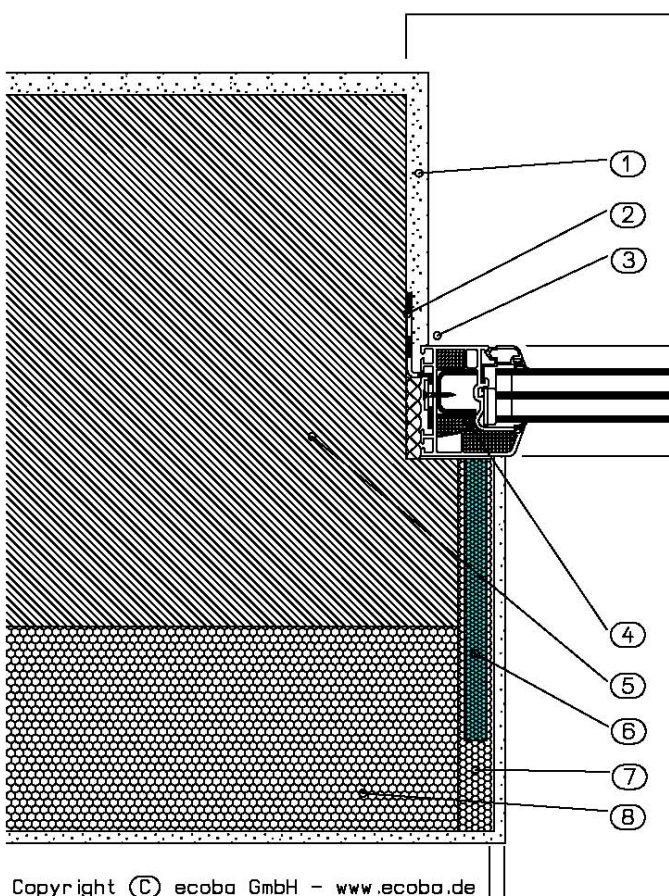
Bei einer Sanierung kann durch den Trockenestrich und mit Hilfe der Vakuumdämmung mit bis zu 10-fach besserer Wärmedämmeigenschaft gegenüber herkömmlichen Estrichdämmungen mit Einbaudi-

cken von 1-2 cm unter dem neu erstellten Estrich die gesetzliche Anforderung nach EnEV problemlos erreichen, ohne die bestehende Gesamtaufbaudicke des Estrichs zu erhöhen. Müssten im Gegensatz alle Treppen bei einer erhöhten Dämmung angepasst werden, lägen die Sanierungskosten noch weit über den Kosten des Einsatzes der Vakuumdämmung. Die erhöhten Anforderungen an die Dämmstoffdicke für zusätzliche Förderungen der KfW wären gerade in der Sanierung nicht zu erreichen. Gerade die hohe Förderung der KfW fordert eine komplette Dämmung der Gebäudehüllfläche. Sollte wegen der fehlender Aufbauhöhe die lückenlose Dämmung der Gebäudehüllfläche nicht möglich sein, so kann unter Umständen die komplette Förderung nicht in Anspruch genommen werden.

Mehr Infos über diesen Aufbau unter (www.vakuumisolationspaneele.de)

1.8 Fensterleibungen

Bestehende Gebäude weisen mitunter kleine Fenstergrößen auf. Eine massive Änderung der Fensteröffnungen zur Erzielung einer guten Wärmedämmung ist meistens sehr aufwendig und wird daher aus-



geschlossen, d.h. sowohl finanziell als auch bautechnisch. Wurden beispielsweise alte Fenster in einer ungedämmten Fassade erneuert, so kann die Fassadenaußenfläche mit 20 cm Wärmedämmverbundsystem gedämmt werden. In der Schwachstelle, der Fensterleibung lässt die Rahmenüberdämmung aber meist nur eine Gesamtdämmstärke von um die 2-4 cm zu. Die Vakuumdämmung kann in diesem Fall ohne größere Eingriffe in den Gebäudebestand integriert werden, ohne dass bestehende Fenster ausgetauscht werden müssen.

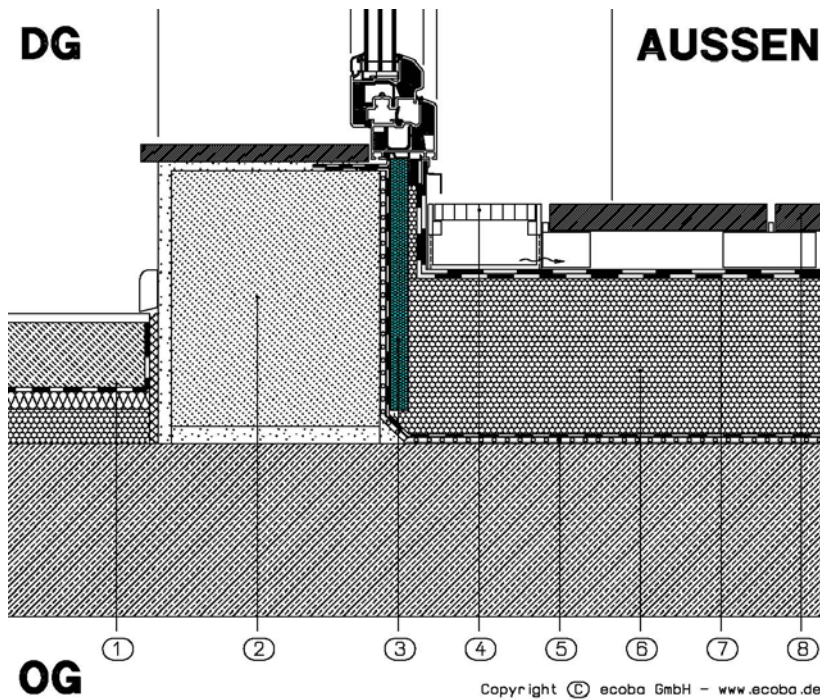
Detail: Sanierte Fensterleibung mit überstehender eingeschäumter Vakuumdämmung

1. Innenputz
2. Luftdichter Fensteranschluss
3. Putzanschluss mit Kellenschnitt
4. Fenster
5. Tragendes Mauerwerk
6. Vakuumdämmung eingeschäumt
7. EPS Einschäumung der Vip
8. Wärmedämmverbundsystem

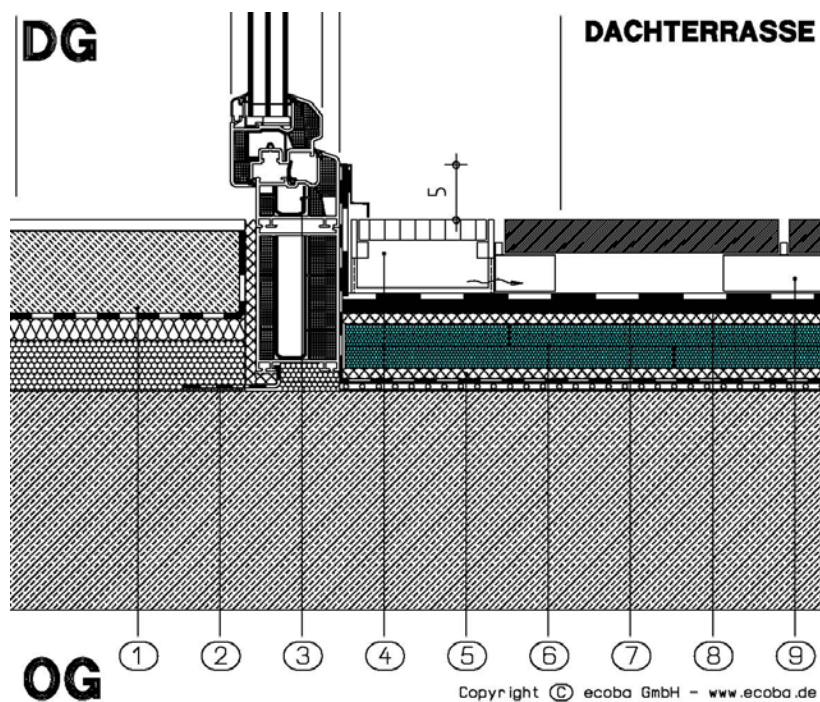
Ohne hier die genauen Kosten gegenüber zu stellen kann zweifelsfrei gesagt werden, dass hier der Einsatz der Vakuumdämmung in der reduzierten Fläche wesentlich kostengünstiger ist als der Austausch der Fenster oder die Inkaufnahme späterer Bauschäden durch Schimmel in den Leibungen.

1.9 Terrassendämmung

Weitere Probleme bereiten Dachterrassen, Loggien und Balkone, die nach oben oder unten hin gedämmt werden sollen. Bei Einsatz herkömmlicher Dämmung führt das zu einer großen Stufe, die im Verbund mit dem Terrassentürelement auch bautechnisch nicht zufriedenstellend gelöst werden kann. Dieses betrifft Neubauten im gleichen Maße wie die Sanierungen. In die Kostenrechnung müsste auch die gerade bei der Sanierung oft noch auftretende Erhöhung des Geländers mit eingerechnet werden, um die erforderliche Absturzsicherheit zu gewährleisten.



Detail: Dachterrasse mit Schwellenausbildung



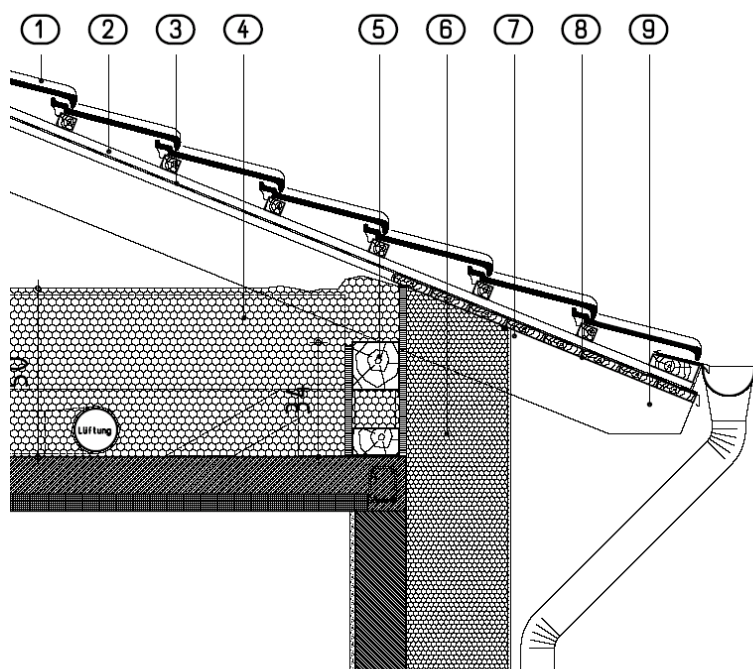
Detail: Terrassendämmung mit VIP ohne Stufenausbildung

Die Kosten der wegfallenden Stufe, sowie eine Aufdoppelung der Brüstung durch beispielsweise einer zusätzlichen Edelstahlabsturzicherung kompensieren die erhöhten Kosten der Vakuumdämmung. Sollte eine behindertengerechte Ausführung erwünscht oder gefordert sein, erübrigt sich die Frage nach den erhöhten Kosten einer Vakuumdämmung gegenüber einer herkömmlichen Dämmung.

Bei diesem ausgeführten Gebäude war es aufgrund der Nutzung durch alte und in ihrer körperlichen Bewegungsfreiheit eingeschränkte Menschen nötig, ein Detail auszubilden, das möglichst ohne große Schwellen auskommt.

1.10 Traufenabsenkung durch eine Vakuumdämmung

Oftmals ist es so, dass sich durch den Einsatz von Vakuum-Dämmpaneelen Bauteile an anderen Stellen einsparen lassen. Dieses Detail wurde unter Einsatz von Vakuum-Dämmpaneelen bei einem EFH aus zwei Gründen heraus realisiert. Einerseits konnte die ganze Dachkonstruktion um 20 cm abgesenkt werden; dieses war nötig, weil der Grenzabstand zum Nachbarn bezüglich der Traufhöhe nicht ausreichte. Andererseits haben wir festgestellt, dass nunmehr die Kosten aus dieser Variante sogar reduziert wurden (siehe Kostenberechnung unten).

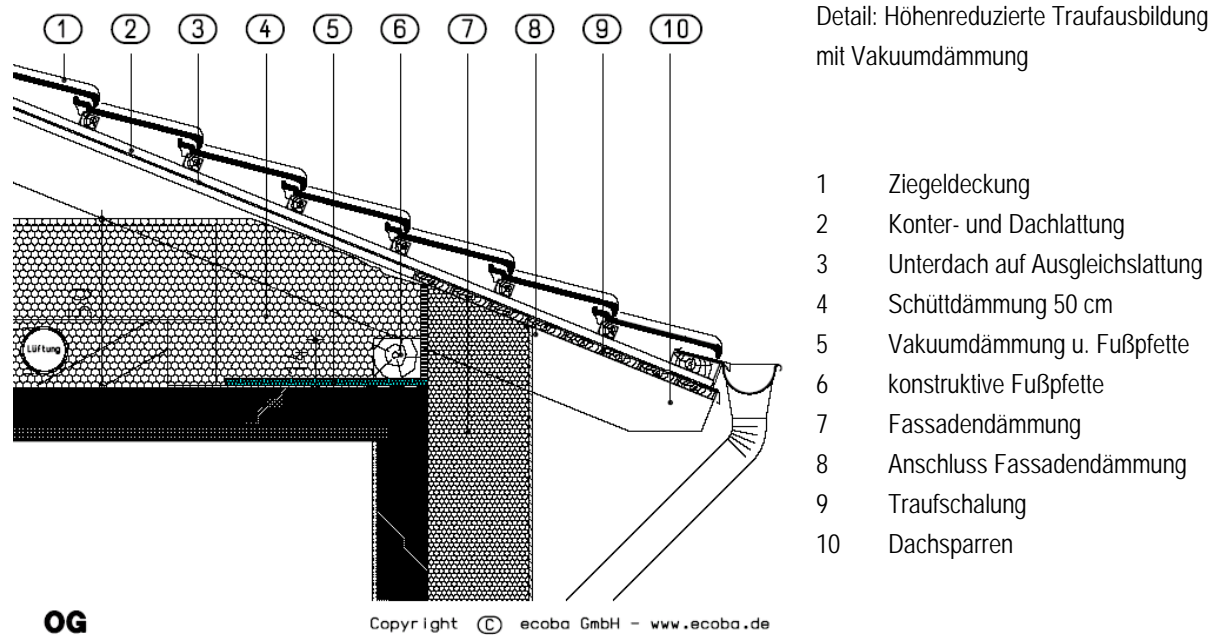


Detail: Traufe mit Drempel ohne VIP

- | | |
|---|------------------------------|
| 1 | Ziegeldeckung |
| 2 | Konter- und Dachlattung |
| 3 | diffusionsoffenes, Unterdach |
| 4 | Schüttdämmung 50 cm |
| 5 | Drempelkonstruktion |
| 6 | Fassadendämmung |
| 7 | Fassadendämmung |
| 8 | Traufschalung |
| 9 | Dachsparren |

OG

Copyright © ecoba GmbH - www.ecoba.de



Bei der Berechnung zur Wirtschaftlichkeit werden nun ausschließlich die entstehenden Mehrkosten der jeweiligen Konstruktion miteinander verglichen. Der Einsatz der Vakuum-Dämmpaneele ist so gewählt, dass die beiden Alternativen, energetisch betrachtet, vergleichbar sind. In dem berechneten Beispiel ist eine Traufkante mit der Länge von 40 m zugrunde gelegt worden.

Tabelle 2: Gegenüberstellung der Mehrkosten der jeweiligen Alternative

Ausführung ohne VIP	Kosten	Ausführung mit VIP	Kosten
Dämmung Drempe ca.: 0,8 m ³	64 Euro	-	
Dämmung Dach ca.: 2,0 m ³	80 Euro	-	
OSB Platte ca.: 13,6 m ²	204 Euro	-	
WDVS ca.: 8,0 m ²	640 Euro	-	
Kantholz 14/8 ca.: 0,5 m ³	400 Euro	-	
-		VIP, 1,0 cm ca. 20,0 m ²	1.100 Euro
Summe	1.388 Euro		1.100 Euro

Darüber hinaus bietet die Lösung mit Vakuum-Dämmpaneelen neue gestalterische Freiheiten: So kann, da der gesamte Dachaufbau abgesenkt wird, die hohe Dämmstoffstärke und die massive Deckenplatte selbst im Dachaufbau versteckt werden. Unschöne, unverhältnismäßig hohe Fassadenansichten über den Fenstern entfallen.

Dipl.- Ing. Architekt Carsten Grobe

„Einflussfaktoren auf die bauphysikalischen Eigenschaften von VIPs: vom Labormesswert zum anwendungsbezogenen Bemessungswert“

Dr. Roland Gellert, Dipl.-Ing. (FH) Wolfgang Albrecht und Dipl.-Ing. Christoph Sprengard,
Forschungsinstitut für Wärmeschutz e.V. München

1. Grundlagen

Die DIN EN ISO 10456-2000 [1] legt Verfahren zu Bestimmung der wärmeschutztechnischen Nenn- und Bemessungswerte von wärmetechnisch homogenen Baustoffen und –produkten fest. Diese Verfahren gelten bei der Planung für Umgebungstemperaturen zwischen -30 °C und +60 °C.

Folgende Definitionen liegen den Festlegungen zu Grunde:

1.1 Wärmeschutztechnischer Nennwert

= erwarteter Wert einer wärmeschutztechnischen Eigenschaft eines Bauproduktes (z.B. eines Dämmstoffes)

- bewertet durch Messdaten für **Referenzbedingungen** für Temperatur und Feuchte
- angegeben für festgelegte **Fraktile** und **Vertrauensbereich**
- entsprechend einer unter normalen Bedingungen erwarteten **Nutzungsdauer**

1.2 Wärmeschutztechnischer Bemessungswert

= Wert einer wärmeschutztechnischen Eigenschaft eines Bauproduktes (z.B. eines Dämmstoffes) unter bestimmten äußeren und inneren Bedingungen, die in Gebäuden als **typisches Verhalten des Stoffes oder Produktes als Bestandteil eines Bauteils** angesehen werden können.

Tabellarisch werden für Baustoffe und –produkte in der Norm

- Temperaturumrechnungskoeffizienten und
- Umrechnungskoeffizienten für die Feuchte

zur entsprechenden „Korrektur“ der Messwerte der Wärmeleitfähigkeit aufgeführt.



Umrechnungskoeffizienten für **Alterungseffekte** oder Effekte wie Konvektion oder Setzverhalten – werden nicht aufgeführt. Allerdings werden folgende Hinweise zur Berücksichtigung von Alterungseffekten (Annahme über die Nutzungsdauer: 50 Jahre) gegeben:

- die Abhängigkeit von Stoffart, Gefüge, Treibmittel, Temperatur und Stoffdicke ist zu berücksichtigen;
- der Alterungseffekt kann aus **theoretischen Modellen**, die auf Versuchswerten beruhen, erhalten werden **oder**
- kann **ohne Umrechnung** erhalten werden, wenn die **gemessene** Wärmeleitfähigkeit schon **Alterungseffekte** berücksichtigt.

Zusätzlich können von der Bauaufsicht **Korrekturen zur Bauausführung** wie Luftspalte und allgemeine Abweichungen von idealen Laborbedingungen, die z.B. zu Luftkonvektionen führen können, verlangt werden.

1.3 Europäische und nationale Regelungen für genormte oder zugelassene Wärmedämmstoffe

Die jetzt gültigen europäischen Stoffnormen [2] legen (nur) die Bestimmung des Nennwertes der Wärmeleitfähigkeit (bzw. des Wärmedurchlasswiderstandes) fest: aus dem **Prüfergebnis** λ_i wird über eine „statistische Absicherung“ $\lambda_{90/90}$ (90 %-Anteil mit einer Annahmewahrscheinlichkeit von 90 %) der **Nennwert** λ_D ermittelt:

$$\lambda_i \rightarrow \lambda_{90/90} \rightarrow \lambda_D$$

Die Messwerte λ_i werden gemäß EN 12667 [3] bestimmt und für 10 °C Mitteltemperatur ausgewiesen; nach Berechnung von $\lambda_{90/90}$ wird aus dem Messwertepool λ_D in Stufen mit Schritten von 0,001 W/(m·K) angegeben.

Den Anwendungsbezug stellen die deutschen Normen der DIN V 4108-Reihe her [4]; für den Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit gilt der Teil 4, in welchem (tabellarisch) durch einen Sicherheitszuschlag von 20 % der Bemessungswert festgelegt wird

$$\lambda_{\text{Bemessung}} = \lambda_D \cdot 1,2$$

Der Hersteller hat in Deutschland noch die Option, sich über eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung (abZ) einen vorteilhafteren Wert „zuteilen“ zu lassen. Dazu ist – in Abstimmung mit dem Fremdüberwacher – aus seinen produktionstechnisch (statistisch) abgesicherten Prüfwerten ein **Grenzwert** festzulegen, der nicht überschritten werden darf und dann nur noch mit 5 % beaufschlagt wird:

$$\lambda_{\text{Bemessung}} = \lambda_{\text{grenz}} \cdot 1,05$$

2. Nenn- und Bemessungswerte von VIPs:

Entsprechend den unter 1. genannten Schritten wurden VIPs im FIW München dem Prozedere vom Messwert zum Bemessungswert unterworfen, welches auch die „spezi-fischen Belange“ der in Folie gehüllten Wärmedämmplatten berücksichtigen musste:

2.1 Messwerte und Prüfergebnis:

Ermittlung von λ_i im Zweiplattengerät gemäß EN 12667 – **ohne** Berücksichtigung der seitlichen Wärmebrücken;

2.2 Alterungsverhalten

Alterungskurven unterschiedlich dicker Platten wurden nach Klimawechsel und sechs-monatiger Lagerung bei 80 °C aufgenommen; damit wurde das Eindiffundieren von N₂, O₂ und Wasserdampf in trockene VIPs erfasst (Abbildung 1);

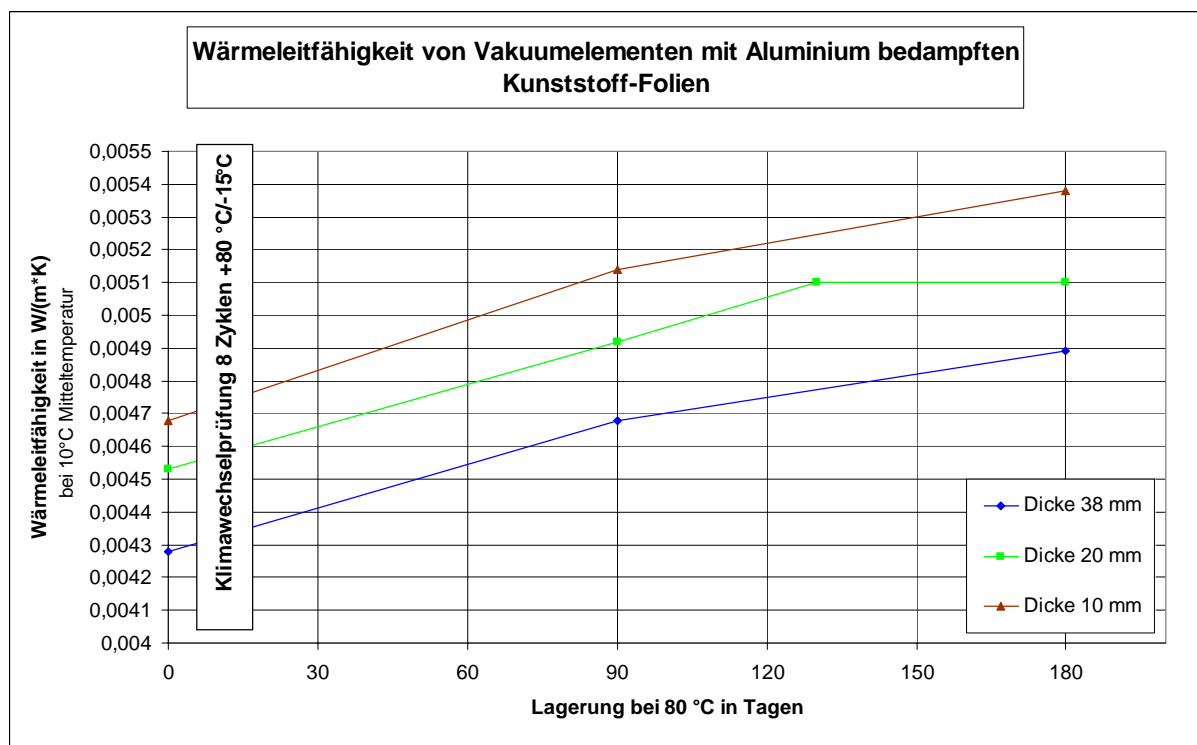


Abbildung 1: Modellierung des Alterungsverhaltens von VIPs durch Klimawechsel und Temperaturverlagerung

2.3 Berücksichtigung von Wärmebrückeneffekten:

Diese Effekte sind abhängig von der Folie – insbesondere deren Dicke, und vom Format der Platten, d.h. dem Verhältnis der „ungestörten“ Plattenfläche zur Umfangslänge und der Art der Überlappung der Randbereiche (Tabelle 1).

Tabelle 1: Wärmebrückeneffekte *) und VIP-Plattengrößen (mehrlagige Kunststoffolie mit Aluminiumeinlage)

Größe m x m	Fläche m ²	Umfang m	U-Wert mit Randeinfluss W/(m ² ·K)	Lambda effektiv W/(m·K)	Erhöhung %	Erhöhung mW
0,30 x 0,20	0,0600	1,0	0,2692	0,0056	25,4%	1,14
0,50 x 0,50	0,2500	2,0	0,2419	0,0050	12,1%	0,55
1,0 x 0,50	0,5000	3,0	0,2356	0,0049	9,1%	0,41
0,75 x 0,75	0,5625	3,0	0,2335	0,0049	8,1%	0,36
1,0 x 1,0	1,0000	4,0	0,2293	0,0048	6,1%	0,27
1,5 x 1,0	1,5000	5,0	0,2272	0,0047	5,0%	0,23
2,0 x 1,0	2,0000	6,0	0,2262	0,0047	4,5%	0,20
2,0 x 1,5	3,0000	7,0	0,2241	0,0047	3,5%	0,16
2,0 x 2,0	4,0000	8,0	0,2230	0,0046	3,0%	0,14
3,0 x 2,0	6,0000	10,0	0,2220	0,0046	2,5%	0,11

- *) (Psi)-Wert = 0,0063 W/(m·K) für mäanderförmig überlappenden Fugenstoß
 U-Wert im ungestörten Bereich: 0,217 W/(m²·K)
 λ-Wert im ungestörten Bereich: 0,0045 W/(m·K)

Je großflächiger die Platten werden, desto geringer wird der Einfluss auf die Wärmeleitfähigkeit (Abbildung 2). Aus baupraktischen Gründen sollte ein Optimum der verschiedenen Liefergrößen gefunden werden, so dass der Einfluss unter 10 % bleibt, da ein „Zuschneiden“ vor Ort nicht möglich ist.

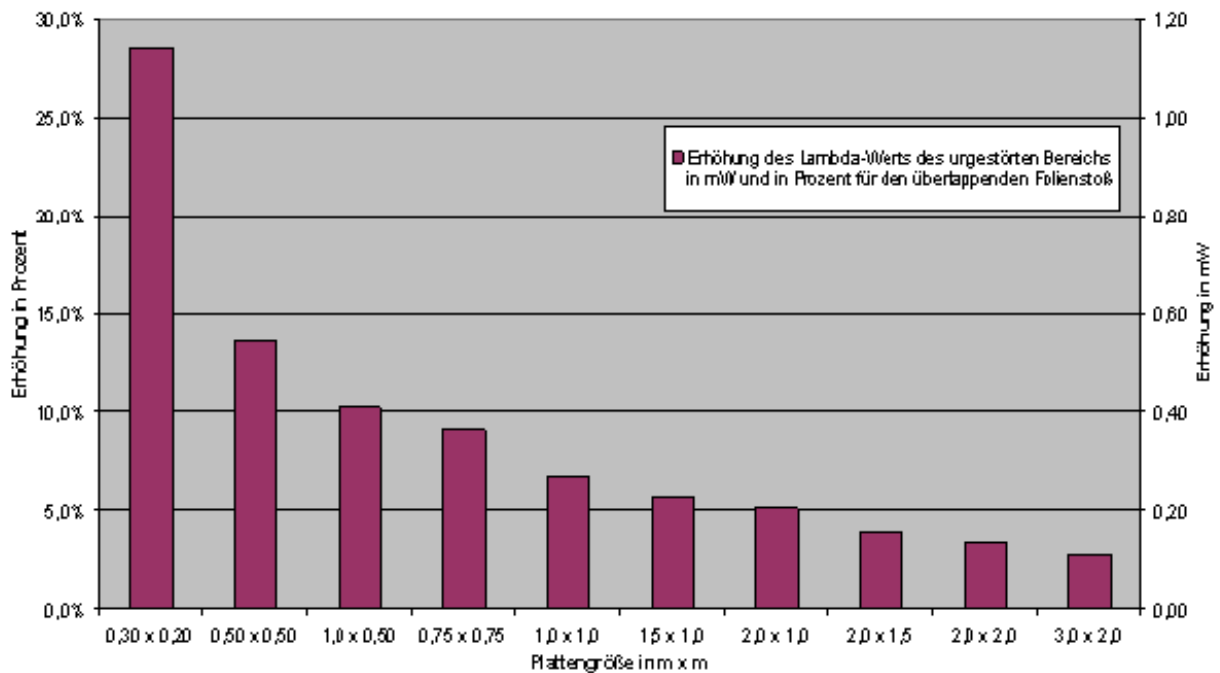


Abbildung 2: Erhöhung der Wärmeleitfähigkeit in Abhängigkeit von der Verringerung der VIP-Plattengröße

Der im Bereich der Stoßstelle der VIP-Platten zusätzlich auftretende Wärmeverlust ist auf die Wärmebrücke der durchgehenden bzw. gefalteten Folie zurückzuführen. Diese wirkt als „Kurzschluss“ für den Wärmetransport zwischen Innen und Außen. Die Folie im Randbereich wirkt noch zusätzlich als Kollektor für die Wärmebrücke. Sie leitet aus dem angrenzenden Bereich Wärme zu der Stoßstelle, wo sie durch die Dämmung transportiert wird und auf der Kaltseite in der Folie wieder abgeleitet wird. Dieser Effekt ist in der Darstellung der Wärmestromdichten in Abbildung 3 gut zu erkennen.

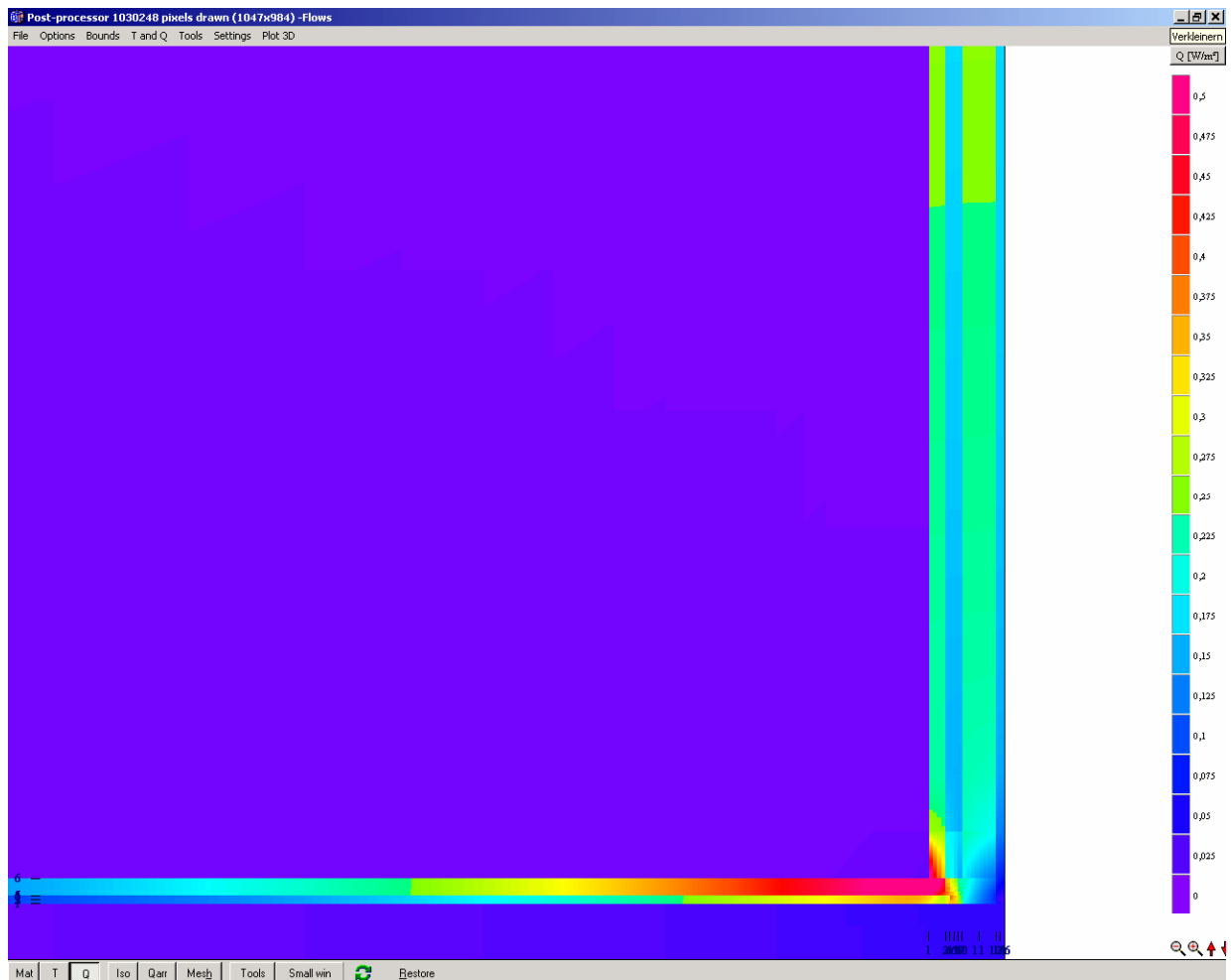


Abbildung 3: Wärmestromdichten im Randbereich einer VIP-Platte (Ausschnitt Rand)*)

Die dargestellten Werte sind mit einer sehr guten Folie ermittelt worden. Für Folien mit anderen Aufbauten können die berechneten Werte sehr stark abweichen. Bei ungünstigen Folien und kleinen Platten kann sich eine Verdopplung der Wärmeleitfähigkeit des ungestörten Bereichs einstellen.

*) Die in der Legende dargestellte Skala wurde so gewählt, dass der Einfluss der Folie gut sichtbar wird. Temperaturen und Wärmestromdichten die über den größten in der Skala dargestellten Werten liegen (z.B. im rechten unteren Eck, wo die Werte über den Skalendwerten liegen), erhalten so die selbe Farbe wie der größte Skalenteil, sind also farblich nicht mehr unterscheidbar.

2.4 Sicherheitszuschlag:

Je nach erwarteter Nutzungsdauer (z.B. 25 oder 50 Jahre) wird vergleichbar den anderen Dämmstoffen der Nennwert nach oben korrigiert. Der Sicherheitszuschlag kann z.B. auf 20 % - aber auch deutlich höher – festgelegt werden.

2.5 Bilanzierungsbeispiel

VIP mit Kunststoffolie mit Aluminiumeinlage (fünflagig, Aluminium 2 x 30 nm)

Tabelle 2: Ableitung des Bemessungswertes der Wärmeleitfähigkeit (Beispiel)

Einflussgrößen	Wärmeleitfähigkeit W/(m·K)
- Labormesswert	0,0045
- Alterungseffekt (Druckanstieg 30 – 50 mbar für 20 – 30 Jahre Einsatzdauer)	+0,001
- Wärmebrückeneffekte der Fuge (verschiedene Elementgrößen für Fenster, Ecken und Spalten)	+ 0,001
- Sicherheitszuschlag (hier 20 %)	+0,0013
(Rundung)	0,0078
$\lambda_{\text{Bemessung}}$	0,008

3. Zusammenfassung

Werden neben den wärmeschutztechnischen Bemessungswerten noch weitere wichtige bauphysikalische Eigenschaften, insbesondere

- die Anforderungen an das Brandverhalten (mindestens DIN 4102-B2)
- und die Anforderungen an die mechanische Standsicherheit (Widerstand gegen Windsog)

des VIP-haltigen Dämmsystems erfüllt, kann ein bauaufsichtlicher Verwendbarkeitsnachweis entweder durch:

- eine **allgemeine bauaufsichtliche Zulassung** (abZ) durch das DIBt
- oder durch eine **Zustimmung im Einzelfall** (ZiB) der Obersten Baubehörde des jeweiligen Bundeslandes

den Schritt vom Labor zum Bauteil (der Fassade) ermöglichen. Praxisbeispiele hierfür gibt es schon einige. Für diese Objekte wird es dann Auflagen geben, die die Bewäh-

rung der VIP im angelieferten und im eingebauten Zustand sicherstellen sollen, insbesondere durch:

- Nachmessung einzelner auf die Baustelle gelieferter VIPs
- eine Baustellenentnahme
- eine Objektüberprüfung durch Thermographie über mehrere Heizperioden hinweg.

Mit zunehmender Baupraxis wird sich dann (hoffentlich) die Differenz zwischen Nenn- und Bemessungswert verkleinern, da große Sicherheitszuschläge entfallen werden.

Zitierte Normen:

- [1] DIN EN ISO 10456-2000:
Baustoffe und –produkte – Verfahren zur Bestimmung der wärmeschutztechnischen Nenn- und Bemessungswerte
- [2] DIN EN 13162-2001:
Wärmedämmstoffe für Gebäude – Werkmäßig hergestellte Produkte aus Mineralwolle (MW) – Spezifikation
- und die folgenden Normen der Reihe bis DIN EN 13171 -2001
- [3] DIN EN 12667-2000:
Wärmetechnisches Verhalten von Baustoffen und Bauprodukten – Bestimmung des Wärmedurchlasswiderstandes nach dem Verfahren mit dem Plattengerät und dem Wärmestrommessplatten-Gerät – Produkte mit hohem und mittlerem Wärmedurchlasswiderstand
- [4] DIN V 4108-4-2002:
Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 4: Wärme- und feuchteschutztechnische Bemessungswerte

Dr. Roland Gellert, Dipl.-Ing. (FH) Wolfgang Albrecht, Dipl.-Ing. Christoph Sprengard
Forschungsinstitut für Wärmeschutz e.V. München
- FIW München –
Lochhamer Schlag 4
82166 Gräfelfing
www.fiw-muenchen.de
info@fiw-muenchen.de

Auswirkungen von Wärmebrücken beim Einsatz hocheffizienter Vakuumisolationspaneelen am Bau

Andreas Beck und Oswald Frank
Hochschule für Technik, Schellingstraße 24, 70174 Stuttgart
E-Mail: Andreas.Beck@hft-stuttgart.de

1 Zusammenfassung

Die vorgestellten Ergebnisse zeigen deutlich, dass die Umsetzung des Potenzials hinsichtlich eines deutlich erhöhten Wärmeschutzes durch Vakuumisolationspaneelen, aufgrund ihrer sehr geringen Wärmeleitfähigkeit stark situationsabhängig ist. Dabei muss nicht nur der Aufbau der Paneelen selbst bezüglich des Folienumhüllungen, Abmessungen und Spaltabständen beachtet und optimiert werden, sondern auch die Auswahl der umgebenden Materialien. Nur wenn es gelingt, hohe Wärmequerleitungseffekte zu unterbinden, ist ein sinnvoller Einsatz von VIP am Bau gewährleistet. Die Untersuchungen bezüglich des Einsatzes als Paneelelemente in Pfosten-Riegel-Konstruktionen lassen die Fehlerquellen und Optimierungsmöglichkeiten der das VIP umgebenden Bauteile erkennen. Allgemein kann gesagt werden, dass es sich bei Vakuumisolationspaneelen um einen Extremdämmstoff handelt, dessen Einsatz eine detaillierte Betrachtung unbedingt erforderlich macht, um das gewünschte Ziel einfach zu erreichen und Bauschäden zu vermeiden.

2 Einführung

Um den heutigen Wärmeschutzstandard für Niedrigenergie- (3l-) oder Passivhäuser mit herkömmlichen Dämmstoffen zu realisieren, sind sehr hohe Dämmstoffdicken notwendig. Dies erfordert in der Umsetzung einen hohen Platzbedarf, welcher meistens sehr teuer und im Sanierungsfall oftmals nicht vorhanden ist. Die von Seiten der Architekten gewünschte schlanke Bauweise wird dabei ebenfalls erschwert. Hier bietet sich der Einsatz von hocheffizienten Vakuumisolationspaneelen (VIP) an, welche bei gleicher Dicke einen um den Faktor 5 bis 8 höheren Wärmedurchlasswiderstand ($\lambda_{VIP} = 0,005 \text{ W/(mK)}$) gegenüber herkömmlichen Dämmstoffen aufweisen [1].

Mit dem zunehmenden Wärmeschutz der Gebäude erhalten gleichzeitig Wärmebrücken eine wesentlich größere Bedeutung. Diese sind einerseits geometrisch und konstruktiv bedingt oder durch Schwachstellen in der Dämmhülle gegeben. Das wesentliche Kennzeichen von Wärmebrücken ist eine gegenüber der Umgebung erhöhte Wärmestromdichte sowie geringere Oberflächentemperaturen. Dies führt neben erhöhten Wärmeverlusten im schlechtesten Fall zu Schimmelpilzbildung aufgrund erhöhter Bauteilfeuchte. Der zusätzliche Wärmeverlust muss gemäß der Energieeinsparverordnung 2002 (EnEV) mit einem *Wärmebrückenzuschlag* ΔU_{WB} auf den Wärmedurchgangskoeffizienten der wärmeübertragenden Gebäudefläche berücksichtigt werden. Selbst bei Bauausführung nach DIN 4108 Beiblatt 2 [2] ($\Delta U_{WB} = 0,05 \text{ W/(m}^2\text{K)}$) liegen die jährlichen zusätzlichen Wärmeverluste durch Wärmebrücken, bei einem Gebäude mit einer Hüllfläche von 400 m^2 (Einfamilienhaus), mit 1600 kWh in der gleichen Größenordnung wie der Wärmebedarf für die Warmwasserbereitung eines 3 Personenhaushaltes.

Daher hat heutzutage die Optimierung von Wärmebrücken einen höheren Stellenwert und erfordert besonders beim Einsatz von schlanken, hocheffizienten Vakuumisolationspaneelen eine kritische Analyse der Wärmebrückenproblematik. In diesem Beitrag werden die Auswirkungen von Wärmebrücken mit Optimierungshinweisen beim Einbau von Vakuumisolationspaneelen (VIP) an verschiedenen Beispielen aufgezeigt, um einen optimalen Einsatz von VIP am Bau zu ermöglichen.

3 Wärmebrücken in Konstruktionen mit VIP

3.1 Wärmebrücke Umhüllung

Aufgrund seines Aufbaues aus einem evakuierten Kern in gasdichter Folie stellt ein VIP bereits ein Bauteil dar. Vergleichbar dem Isolierglas mit seinem Randverbund muss dabei die Wärmequerleitung durch die Folie bei der Ermittlung wärmetechnischer Kenngrößen berücksichtigt werden. Die Folie wirkt sich wie ein flächiger Wärmeverteiler aus. Die eigentliche Wärmebrücke an der Paneelkante, an der die Folie die Dämmebene durchdringt, wird durch den Querleitungseffekt deutlich verstärkt.

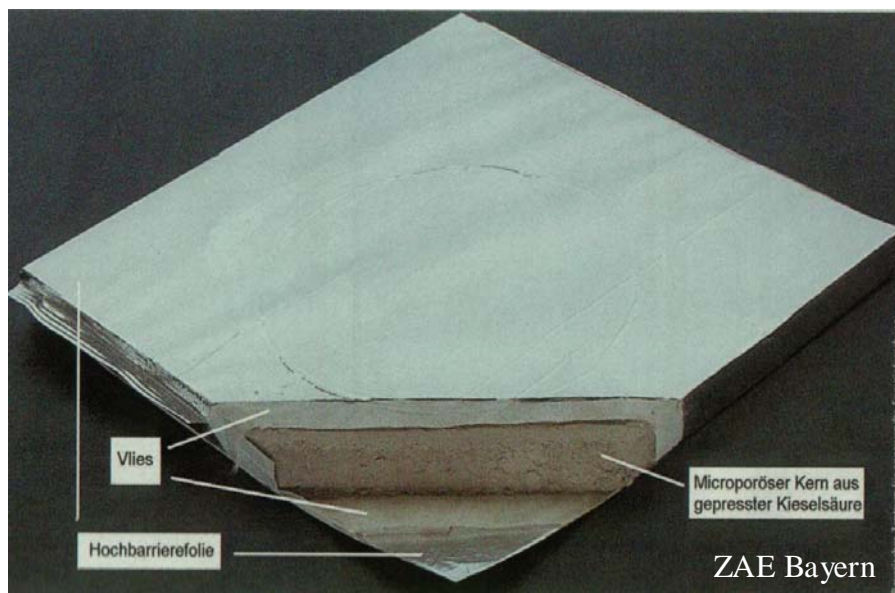


Bild 1: Typischer Aufbau eines Vakuumpaneels aus Pulver-Dämmkern und Folienummantelung.

Einen wesentlichen Einfluss auf die Wärmebrückenwirkung der Folie hat, aufgrund der hohen Wärmeleitfähigkeit, die Dicke der gasdichten Metallschicht zwischen der Träger- und Schutzfolie aus PE und PET. Während bei den Aluminiumverbundfolien die Aluminiumschicht 7 bis 12 μm dick ist, beträgt sie bei den metallisch bedampften Hochbarrierefolien nur ca. 40 nm (z.B. bei va-Q-tec). Um die zusätzlichen Wärmeverluste über unterschiedliche Folien darzustellen, wurden dreidimensionale Finite-Elemente-Berechnungen durchgeführt und der *längenbezogene Wärmebrückenverlustkoeffizient* ψ ermittelt. Dieser ergibt sich aus der Differenz der *Wärmedurchgangskoeffizienten der Paneele* mit (U_{tot}) und ohne (U_0) Berücksichtigung der Folie bezogen auf den *Paneelumfang* l_u und die *Paneelfläche* A gemäß:

$$\Psi = \frac{U_{tot} - U_o}{l_u} * A \quad (3-1)$$

Dabei wird der *Wärmedurchgangskoeffizient* U_{tot} sowie der *Wärmebrückenzuschlag* ΔU_{WB} der Paneele wie folgt bestimmt:

$$U_{tot} = U_o + \Delta U_{WB} \quad (3-2)$$

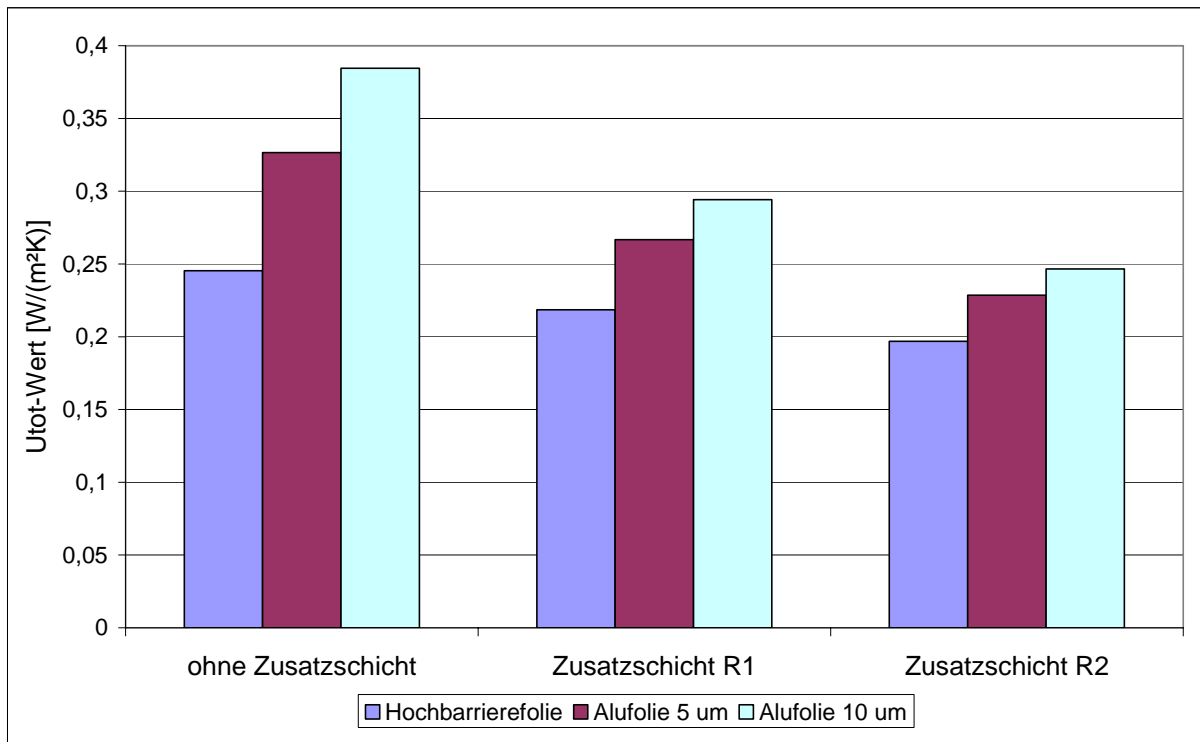
$$\Delta U_{WB} = \frac{\Psi * l_u}{A} \quad (3-3)$$

In Tabelle 1 sind die berechneten Ψ -Werte, U_{tot} -Werte sowie der Wärmebrückenzuschlag ΔU_{WB} für ein 1 m² großes, quadratisches VIP mit 2 cm Dicke bei unterschiedlicher Folienausführung aufgeführt. Außerdem wurden im Fall 2 und 3 die Auswirkungen von beidseitigen Zusatzdämmschichten ($R = 0,25$ bzw. $0,5 \text{ W/(m}^2\text{K)}$) auf die o. g. Kenngrößen untersucht. Für eine bessere Übersicht sind die Wärmedurchgangskoeffizienten U_{tot} der Paneelen einschließlich Folien in **Abb. 1** nochmals grafisch dargestellt.

Tabelle 1: Ergebnisse der Finite-Elemente-Berechnungen an einem 1 m² großen, quadratischen Paneel bzgl. Folienumhüllung- und der Variation zusätzlicher Dämmschichten.

Folienart	Fall	Ψ [W/(mK)]	U_{tot} [W/(m ² K)]	ΔU_{WB} [W/(m ² K)]
Hochbarrierefolie	1	0,0014	0,2453	0,0055
	2	0,0011	0,2186	0,0045
	3	0,0009	0,1969	0,0034
Aluminiumverbundfolie 5 μm	1	0,0217	0,3265	0,0867
	2	0,0131	0,2667	0,0526
	3	0,0088	0,2286	0,0352
Aluminiumverbundfolie 10 μm	1	0,0362	0,3844	0,1446
	2	0,0200	0,2943	0,0802
	3	0,0133	0,2466	0,0532

Abb. 1: Ergebnisse der Finite-Elemente-Berechnungen bzgl. der Wärmedurchgangskoeffizienten U_{tot} bei Folien- und zusätzlichen Dämmschichtenvariationen



Die niedrigsten Wärmedurchgangskoeffizienten U_{tot} erreicht man unter Verwendung der Hochbarrierefolien, da hier der Wärmebrückenzuschlag ΔU_{WB} praktisch vernachlässigbar ist. Bei den Aluminiumverbundfolien treten je nach Schichtdicke dagegen sehr hohe Wärmebrückeneffekte auf. Eine Abdeckung mit zusätzlichen Dämmschichten, die aus Schutzgründen für das Handling in den meisten Fällen ohnehin sinnvoll ist, reduziert den Wärmebrückeneinfluss der Aluminiumverbundfolien jedoch wieder wesentlich. Daher ist es unerlässlich die Folienwahl immer in Abstimmung mit der konkreten Anwendung zu treffen. Einen wesentlichen Einfluss auf die Auswirkungen der Wärmebrückeneffekte haben auch die Abmessungen des VIP mit ihrem jeweiligen spezifischen Umfang-/ Flächenverhältnis. Allgemein gilt, je geringer das Umfang-/ Flächenverhältnis ist, umso weniger schlagen die Wärmebrückeneffekte zu Buche.

Um die Wärmebrückeneffekte durch die Folien zu reduzieren, gibt es folgende Möglichkeiten:

- Verringerung der Wärmeleitfähigkeit der gasdichten Ummantelung,
- Reduzierung der Schichtdicke der hochleitfähigen Metallschicht,
- Doppelte, die Fugen überlappende Verlegung,
- Anbringen zusätzlicher Dämmschichten zur Verringerung des Temperaturgradienten an der Wärmebrücke sowie
- Verringerung des Umfang-/ Flächenverhältnisses der VIP durch optimale Wahl der Abmessungen.

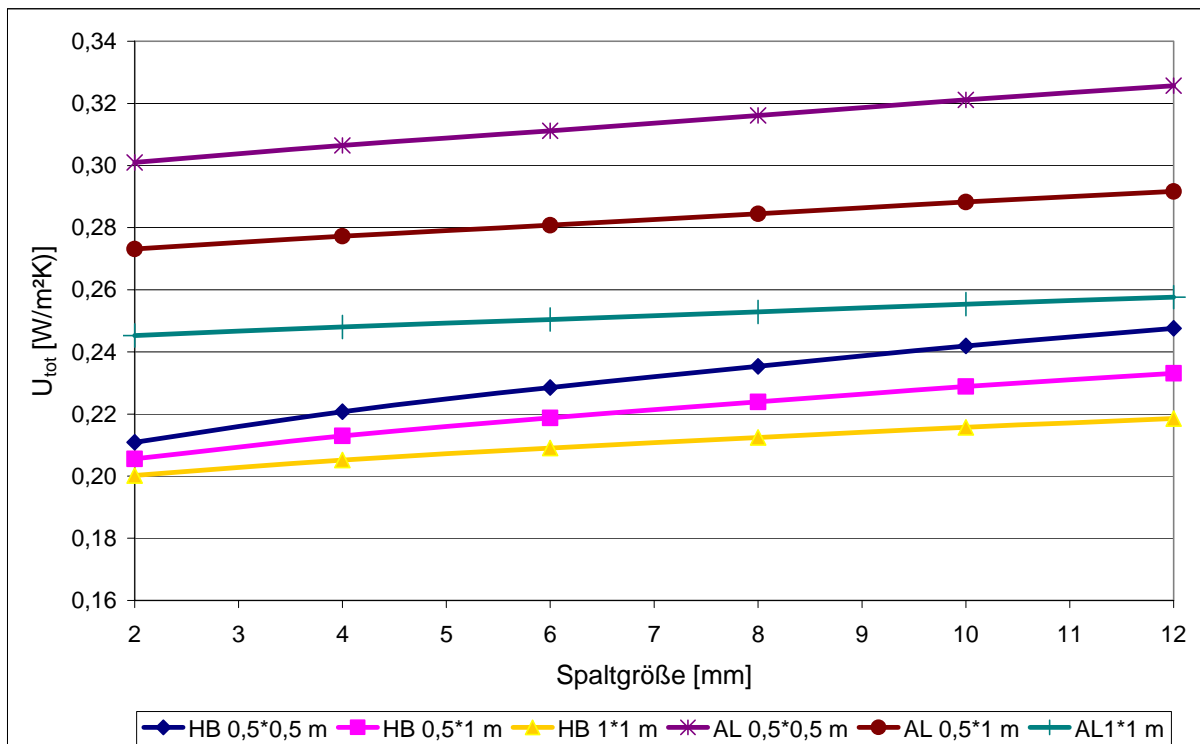
3.2 Wärmebrücke Spalt

Neben der Wärmebrücke durch die Folie besteht auch immer eine Wärmebrücke durch einen Spalt zwischen den einzelnen VIP. Dieser ergibt sich aus Maßungenauigkeiten bei der Herstellung, dem Folienüberstand am Rand sowie je nach Anwendung aus der Notwendigkeit von Durchdringungen für die Befestigung. Um die Auswirkungen der Breite des Luftspaltes auf den *längenbezogenen Wärmebrückenverlustkoeffizient* ψ zu ermitteln, wurden beispielhaft anhand eines Fußbodenaufbaus zweidimensionale Finite-Elemente-Berechnungen durchgeführt. Im Fußbodenaufbau war ein 2 cm dickes VIP mit ober- und unterseitiger 2 cm dicker PS-Dämmung integriert. Als Parameter wurde bei den einzelnen Berechnungen die Spaltbreite (2 – 12 mm) sowie die Folie (Hochbarrierefolie, Aluminiumverbundfolie mit Aluminiumschicht 10 μm) variiert. Die Ergebnisse sind in Tabelle 2 aufgeführt.

Tabelle 2: Ergebnisse der Finite-Elemente-Berechnungen für den längenbezogenen Wärmebrückenverlustkoeffizient ψ bei unterschiedlicher Folie und Breite des Luftspaltes am Stoß zweier VIP

Spaltbreite [mm]	längenbezogener Wärmebrückenverlustkoeffizient ψ [W/(mK)]	
	Hochbarrierefolie (HB)	Aluminiumverbundfolie (AL)
2	0,0027	0,0139
4	0,0039	0,0146
6	0,0049	0,0152
8	0,0057	0,0158
10	0,0065	0,0164
12	0,0072	0,0170

Um die Auswirkungen der unterschiedlichen längenbezogenen Wärmebrückenverlustkoeffizienten zu verdeutlichen, wurden die Wärmedurchgangskoeffizienten U_{tot} des Fußbodenaufbaus für ein VIP mit den Abmessungen 0,5*0,5 m, 0,5*1 m und 1*1 m ermittelt und grafisch in Abhängigkeit der Spaltbreite dargestellt.

Abb. 2: Übersicht der berechneten Wärmedurchgangskoeffizienten U_{tot} für unterschiedliche VIP-Abmessungen

Der Verlauf der Kennlinien zeigt deutlich den gegenseitigen Einfluss von Folienart, Spaltbreite und Paneelabmessungen. Danach gilt es bei den Aluminiumverbundfolien aufgrund der hohen Wärmequerleitungseffekte vorwiegend die Paneelabmessungen zu optimieren. Dem gegenüber spielt bei den VIPs mit Hochbarrierefolie eher die Spaltbreite die größere Rolle. Es zeigt sich, dass der optimale Einsatz von VIP im Bau je nach Anwendungsfall eine konkrete Analyse der beeinflussenden Parameter erfordert und in Abstimmung mit dem Kostennutzenverhältnis mehrere praktische Umsetzungsmöglichkeiten bietet.

3.3 Brüstungselemente mit VIP

Ein weiterer interessanter Einsatzbereich ist die Integration von VIP in Brüstungselementen von Pfosten-Riegel-Konstruktionen. Aus ästhetischen sowie auf Platzgründen sind hier schlanke Konstruktionen mit hoch dämmenden Materialien erforderlich. Zusätzlich bietet der hohe Vorfertigungsgrad die besten Voraussetzungen für einen geschützten Einbau von VIP. Allerdings können hier durch ungeeignete Materialwahl der umgebenden Bauteile extreme Wärmequerleitungseffekte entstehen. Die Grundkonstruktion für die folgende Untersuchung bildet eine Holz-Pfosten-Riegel-Konstruktion mit Paneelelementen bestehend aus 2 cm integrierten VIP, beidseitigen Abdeckplatten sowie einem Kunststoffumleimer (ein Beispiel hierfür ist die Pfosten-Riegelfassade am Institutsanbau des ZAE-Bayern in Würzburg [3]). Für die Berechnungen ist das VIP zum Schutz mit einer 3 mm dicken Schaumfolie umgeben. Es ist eine Rastermaß von 1,5 * 1,5 m vorgesehen. Neben dem Wärmedurchgangskoeffizient U_{tot} für das Rastermaß sollen auch die minimalen Oberflächentemperaturen θ_{min} und der Temperaturfaktor f_{RSI} bestimmt werden. Die zu variierenden Parameter sind die Wärmeleitfähigkeit und Anordnung unterschiedlicher Abdeckplatten.

Zur Überprüfung der Auswirkungen unterschiedlicher Abdeckungen, wurde die o. g. Grundkonstruktion mit einem Kunststoffumleimer ($\lambda = 0,50 \text{ W/(mK)}$, Breite = 1cm) versehen und zweidimensionale Finite-

Elemente-Berechnungen durchgeführt. Dabei wurden als Abdeckung Aluminium- ($\lambda = 160 \text{ W/(mK)}$), Glas- ($\lambda = 1 \text{ W/(mK)}$) und Kunststoffplatten ($\lambda = 0,50 \text{ W/(mK)}$) verwendet. Die Anordnung der Platten wurde nach Tabelle 3 variiert.

Tabelle 3: Anordnung der verschiedenen Deckschichten

Fall	Außenseite	Innenseite
1	Aluminium	Aluminium
2	Glas	Glas
3	Kunststoff	Kunststoff
4	Glas	Aluminium
5	Kunststoff	Aluminium
6	Aluminium	Glas
7	Aluminium	Kunststoff

Die Ergebnisse der Berechnungen sind nachfolgend für Fall 1 und 3 in **Abb. 3** dargestellt und zusammenfassend in Tabelle 4 aufgeführt.

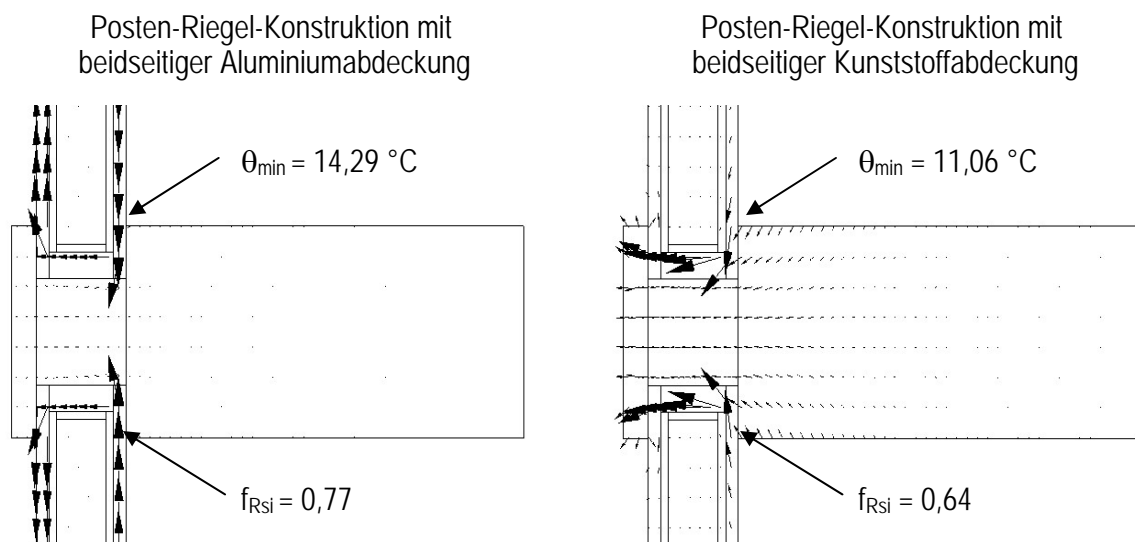


Abb. 3: Detailausschnitt der Wärmebrückensimulationen mit Vektordarstellung der auftretenden Wärmeströme (die Pfeillängen sind nicht normiert)

Tabelle 4: Ergebnisse der Finite-Elemente-Berechnungen mit unterschiedlichen Abdeckungen

Fall	Außen- / Innenseite	U_{tot} [W/(m ² K)]	θ_{min} [°C]	f_{Rsi}
1	Aluminium / Aluminium	0,77	14,29	0,77
2	Glas / Glas	0,52	10,80	0,63
3	Kunststoff / Kunststoff	0,48	11,06	0,64
4	Glas / Aluminium	0,69	14,90	0,80
5	Kunststoff / Aluminium	0,66	15,05	0,80
6	Aluminium / Glas	0,55	10,04	0,60
7	Aluminium / Kunststoff	0,51	10,20	0,61

Man erkennt in **Abb. 3** deutlich die Funktion der Aluminiumplatten als flächige Wärmeverteiler. Ähnlich wie bei der Aluminiumfolie beim VIP selbst (siehe Abschnitt 3.1), kommt es auch hier zu sehr starken Wärmequerleitungseffekten. Eine beidseitige Verwendung von Abdeckplatten mit einer Wärmeleitfähigkeit $\lambda \leq 1 \text{ W/(mK)}$ reduziert die Wärmeverluste erheblich. Aufgrund des geringen Wärmedurchlasswiderstandes des Umleimers wird aber der erforderliche Mindestwert von 0,7 des Temperaturfaktors f_{RSI} unterschritten und es besteht die Gefahr von Oberflächenkondensat. Bei einseitiger Anwendung von hoch leitenden Abdeckungen ist zwischen innen- und außenseitiger Anwendung zu differenzieren. Im Falle außenseitiger Anwendung (Fall 6 und 7) kommt es nur zu einer geringen Erhöhung von U_{tot} (gegenüber Fall 2 und 3), allerdings auch zu einer weiteren Verschlechterung des Temperaturfaktors f_{RSI} . Bei innenseitiger Anwendung wird der Wärmebrücke verstärkt Wärme zugeführt, was zu einer Erhöhung des Temperaturfaktors f_{RSI} jedoch auch zu höheren Wärmeverlusten führt.

Optimierungsmaßnahmen

Welche Auswirkungen kleine Optimierungsmaßnahmen haben können, wird anhand der Verwendung eines Dämmkeils (Breite 2 cm, Länge 4 cm) aus PS-Schaum in der Innenecke der Pfosten-Riegel-Konstruktion gezeigt. Untersucht wurde der Fall 7 mit Aluminiumabdeckung außen und Kunststoffabdeckung innen. Die Ergebnisse sind nachfolgend gegenübergestellt.

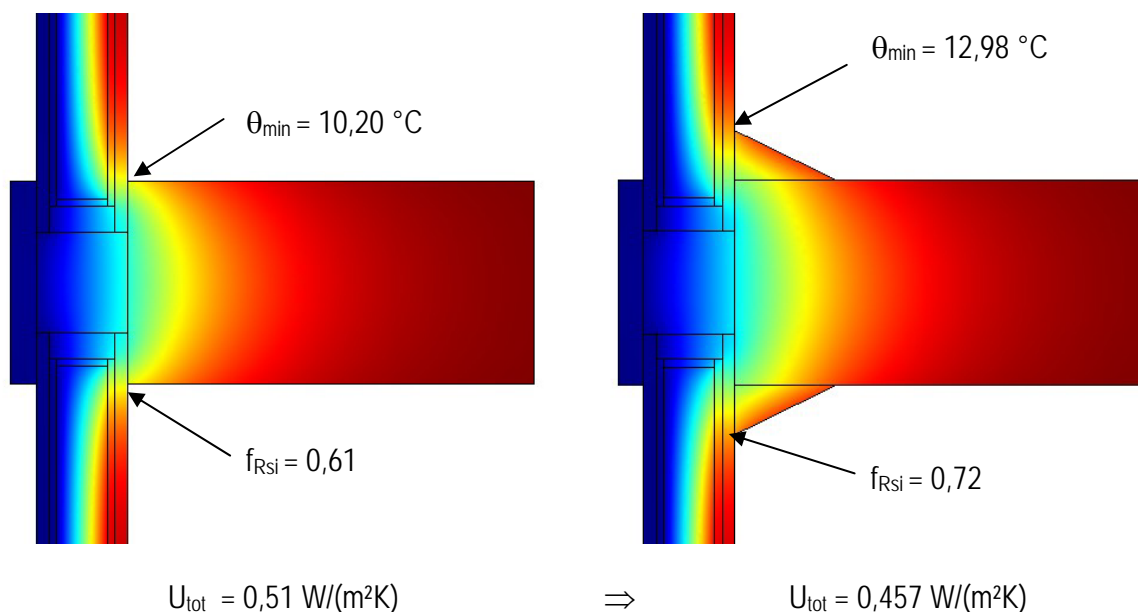


Abb. 4: Wärmebrückensimulation mit und ohne Wärmedämmkeil mit Aluminiumabdeckung außen und Kunststoffabdeckung innen

Neben einer erheblichen Reduzierung der Wärmeverluste bringt diese einfache Maßnahme zusätzlich Sicherheit vor Oberflächenkondensat. Weitere Optimierungsmaßnahmen sind z.B. die Variation des Umleimers bzgl. Wärmeleitfähigkeit, Breite und Dicke. Die angeführten Beispiele verdeutlichen noch einmal die Notwendigkeit der Gesamtbetrachtung beim Einsatz von VIP. Nur so werden schwere Baufehler vermieden und einfache Lösungen erkannt. Das Beispiel zeigt auch, dass die Anwendung von hochleitfähigen Platten in Verbindung mit einer Wärmebrücke nicht zwangsläufig untersagt werden muss. Es kommt vielmehr auf die konkrete Ausführung an.

3.4 Temporärer Wärmeschutz mit VIP

Aufgrund ihrer geringen Dicken, eignen sich VIP insbesondere für den Einsatz in beweglichen Elementen. Da das Fenster gegenüber einer vergleichbaren Wand einen 4 bis 5fach höheren U-Wert aufweist, stellt es derzeit am Baukörper die größte thermische Schwachstelle dar. Die Aufgaben herkömmlicher, temporärer Fensterschutzvorrichtungen (Rollladen, Klappladen) bestehen vorwiegend im Sonnen- und Sichtschutz. Durch Winddichtigkeitsprobleme und zu geringe, mögliche Dämmschichtdicken wurde die Optimierung des temporären Wärmeschutzes in der Vergangenheit vernachlässigt. Stattdessen hat man den Wärmeschutz in der Fenstertechnik stark weiterentwickelt, welcher allerdings derzeit aufgrund technischer Möglichkeiten bei einem U_w -Wert von ca. $0,8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ stagniert. Dieser Wert lässt sich aber nur durch einen hohen Kostenaufwand (Dreifachverglasung) erreichen. Zusätzlich sind Einbusen bei den solaren Gewinnen sowie der Tageslichtausnutzung hinzunehmen. Die Wärmebrückenproblematik (Rollladenkasten, Führungsschienen, etc.), die der Einbau herkömmlicher temporärer Vorrichtungen mit sich bringt, ist bei dem heutigen Wärmeschutzstandard von Wand und Fenster ebenfalls nicht mehr zeitgemäß. Eine Optimierung des temporären Wärmeschutzes mit VIP wurde in [4] erarbeitet. Wesentliche Erkenntnisse werden nachfolgend vorgestellt.

Aufgrund der Wärmebrückenproblematik an den Rändern des VIP muss ein großformatiger Einsatz gewährleistet sein. Außerdem sollten nur geringe, zusätzliche Wärmebrücken durch den Einbau des temporären Wärmeschutzes verursacht, sowie eine optimale Fensterrahmen- und Leibungsüberdeckung ermöglicht werden. Aus diesen Gründen wurde ein Schiebeladenelement entwickelt, welches aus einer Rahmen-/ Plattenkonstruktion mit einem integrierten 2 cm dicken VIP besteht. Eine spezielle Schienentechnik führt den Schiebeladen direkt auf den Fensterrahmen, womit ein winddichter Abschluss ermöglicht wird. Außerdem werden so mögliche Anschlussprobleme mit massiven Wärmebrücken wie der Außensims und die Putzleibung vermieden. Anhand der nachfolgenden Wärmebrückensimulationen eines 1 m^2 großen Holzfensters ohne und mit Schiebeladen und des daraus berechneten U-Wertes wird die Reduzierung des Wärmedurchgangs durch den Schiebeladen deutlich.

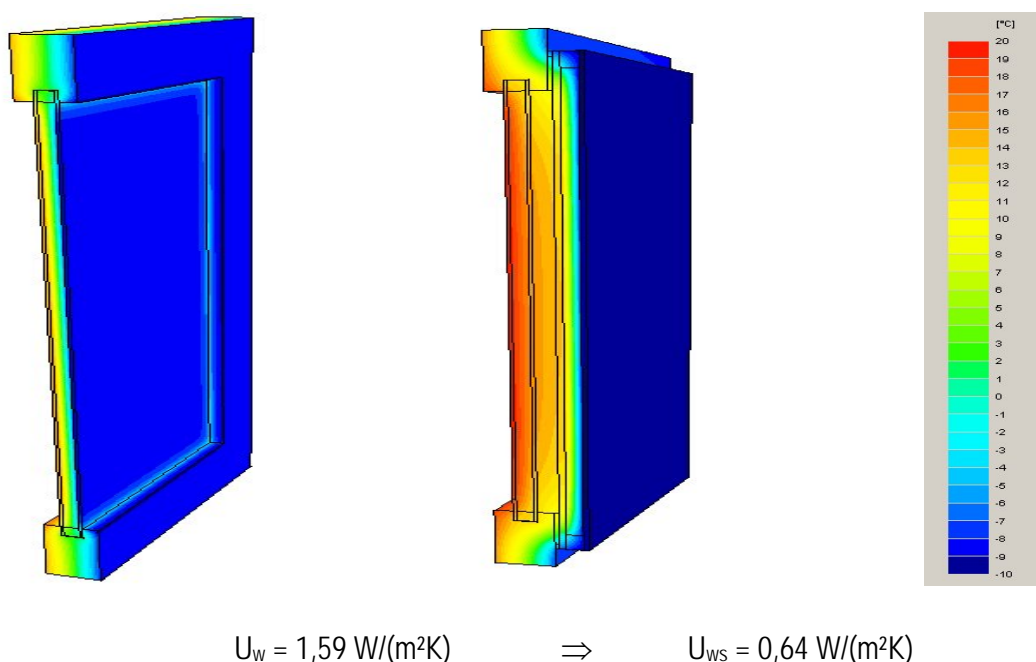


Abb. 5 Temperaturverteilung und U-Werte eines 1 m^2 großen Holzfensters ohne und mit VIP-Schiebeladen

Die Wärmebrückensimulationen zeigen deutlich die Änderung der Temperaturverteilung über den Konstruktionsquerschnitt. Während die Verminderung des U-Wertes durch den Schiebeladen auf den ersten Blick sehr hoch erscheint, erkennt man beim Vergleich mit der eindimensionalen Berechnung die hohen Wärmeverluste durch die Wärmebrücke im Randbereich des VIP.

Tabelle 5: Vergleich der U-Werte des Fensters mit Abschluss

Berechnungsmethode	U_{ws} , U_0 bzw. ΔU_{WB} [W/(m ² K)]
Wärmebrückensimulationsprogramm U_{ws}	0,64
Eindimensionale Berechnung U_0	0,40
Wärmebrückenzuschlag ΔU_{WB}	0,24

Dieser hohe Wärmebrückenzuschlag ΔU_{WB} ist auf die Temperaturerhöhung im Hohlraum zwischen Fenster und Schiebeladen und den geringen thermischen Widerstand der Wärmebrücke am Fensterrahmen zurückzuführen. Obwohl die Reduktion des Wärmedurchgangskoeffizienten des Fensters durchaus beachtlich ist, zeigt sich auch hier, dass das Potenzial von VIP je nach Anwendung nur bedingt umsetzbar ist.

Literatur

- [1] R. Caps, U. Heinemann, M. Ehrmantraut, J. Fricke, *Evacuated insulation panels filled with pyrogenic silica powders: properties and applications*. High Temperatures – High Pressures 32, 2000
- [2] DIN 4108 Beiblatt 2, Ausgabe:2004-01, Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden - Wärmebrücken - Planungs- und Ausführungsbeispiele
- [3] Institutsdarstellung des Bayerischen Zentrums für Angewandte Energieforschung e.V., www.zae-Tbayern.de
- [4] Frank; O. (2005): Optimierung des temporären Wärmeschutzes von Fenstern mit VIP. Diplomarbeit WS 2004/05, HfT Stuttgart, Studiengang Bauphysik

Prof. Dr. Andreas Beck

Fachbereich Bauphysik
 Fachhochschule Stuttgart – Hochschule für Technik
 Schellingstr. 24, 70174 Stuttgart
www.fht-stuttgart.de
 E-Mail: Andreas.Beck@hft-stuttgart.de

Systematisiertes Bauen mit vakuumgedämmten Betonfertigteilen

Dipl.-Ing.(TU) Matthias Hangleiter
Geschäftsführer
A. Hangleiter GmbH & Co. KG
Bleicherstraße 26
88212 Ravensburg
www.hangleiter.de

1 Einleitung

Zur Einsparung von Heizenergie und damit zur Verringerung von CO₂-Emissionen ging in Deutschland der Trend in den letzten Jahren zu immer besser wärmedämmten Gebäuden. Gesetzliche Normen wie die Wärmeschutzverordnungen, die immer wieder verschärft wurden, und aktuell die Energieeinsparverordnung legten Mindestwerte für die wärmetechnischen Kennzahlen von Gebäuden fest. Im Hinblick auf die endlichen Ressourcen Erdöl, Erdgas und Kohle sowie die zunehmende Klimaveränderung ist in Zukunft mit noch höheren Anforderungen an den Wärmeschutz zu rechnen.

Bereits heute werden so genannte Passivhäuser mit einem Jahresheizwärmebedarf von unter 15 kWh/(m²a) gebaut. Um diesen Wert zu erreichen, waren bisher Dämmstoffdicken von 25 - 35 cm und damit Wandstärken bis zu 60 cm erforderlich, was einerseits zum architektonisch sehr unattraktiven "Schießcharteneffekt" bei Fenstern und andererseits zu Wohnraumverlust bei fest vorgegebenen Außenabmessungen führte.

Dieses Problem läßt sich durch den Einsatz so genannter Vakuumisolationspaneele (kurz VIP) lösen, die eine fünf- bis zehnmals geringere Wärmeleitfähigkeit haben als "konventionelle" Dämmstoffe, wie Schäume oder Fasern.

Die Verarbeitung der Vakuumdämmung ist allerdings nicht unkritisch, da die Hüllfolie sehr leicht verletzt, und das Paneel damit belüftet werden kann. Systematisiertes Bauen gewinnt deshalb im Hinblick auf die steigenden technischen und bauphysikalischen Anforderungen zunehmend an Bedeutung. Vor allem bei der Verwendung von VIPs ist zur Sicherung der Verarbeitungs- und Qualitätsansprüche ein industrieller Fertigungsprozeß von großem Vorteil. Hierbei bietet der Baustoff Beton, als Tragschale für die VIPs, ideale Voraussetzungen, da er hervorragende Eigenschaften im Hinblick auf Vorfertigung, Verarbeitung, Formgebung, Integration von Bauteilen, Schalldämmung und Wärmespeicherung hat.

2 Systementwicklung und Wandaufbau

2.1 Forschungsprojekt „Solaroptimiertes Bauen, Teilkonzept 1: Entwicklung von vakuumgedämmten Betonfertigteilen“

In einem vom Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit geförderten Projekt (Förderkennzeichen 0327321 C) entwickelte die Firma A. Hangleiter GmbH & Co. KG vakuumgedämmte Betonfertigteile, die bereits bei einer Dicke von ca. 27 cm den für Passivhäuser erforderlichen Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Wert) von nur 0,15 W/m²K erreichen. Für eine industrialisierte Bauweise mit VIPs wurden neben der sicheren Integration der Dämmelemente auch zahlreiche Anschluss- und Übergangsdetails entwickelt, simuliert und optimiert. Beteiligte Projektpartner waren:

- das Bayerische Zentrum für Angewandte Energieforschung e. V. (ZAE Bayern) – wissenschaftliche Begleitung,
- die Firma Wacker Chemie GmbH – Vakuumisolutionspaneele,
- die ArchitektenWerkgemeinschaft Weinbrenner.Single. – Detailentwicklung und Planung eines Demogebäudes.

Die im Forschungsprojekt entwickelten, vakuumgedämmten Betonfertigteile haben folgende Eigenschaften:

- Gesamtwanddicke (inkl. hinterlüfteter Fassade, 40 mm Lüftungsebene): 27 cm
- Mittlerer U-Wert (inklusive aller Wärmebrücken) von 0,15 W/mK und damit passivhaustauglich
- nachträgliche Austauschbarkeit eventuell defekter VIPs ist jederzeit möglich
- Schutz der VIPs vor Beschädigung und vor Feuchte (Witterung und Feuchte aus dem frisch gegossenen Beton)
- Sichtbetonqualität auf der Rauminnenseite
- hoher witterungsunabhängiger Vorfertigungsgrad durch ein einfaches, schnelles, flexibles und relativ kostengünstiges Herstellungsverfahren

2.2 Konstruktiver Wandaufbau

Die Dämmschicht, bestehend aus einer 3 cm starken, vlieskaschierten PU-Hartschaumplatte, einem 3 cm starken VIP und einer Alufolie als Dampfsperre, wird auf den frischen Beton (Außenseite) aufgelegt. In die Stoßfugen werden spezielle, extrem wärmebrückenarme Gewebeankeiler eingedrückt, die die Dämmschicht nur auf kleinster Fläche durchdringen. An diesem Gewebeankeiler wird dann ein am Gebäude vertikal verlaufendes Tragprofil befestigt. Dieses Profil hält die Dämmschicht auf Zug am Beton und bildet gleichzeitig eine statisch wirksame Unterkonstruktion für die Fassade. Auf diese Unterkonstruktion können für den Witterungsschutz dann fertige Fassadenplatten, Putzträgerplatten oder eine Holzschalung montiert werden.

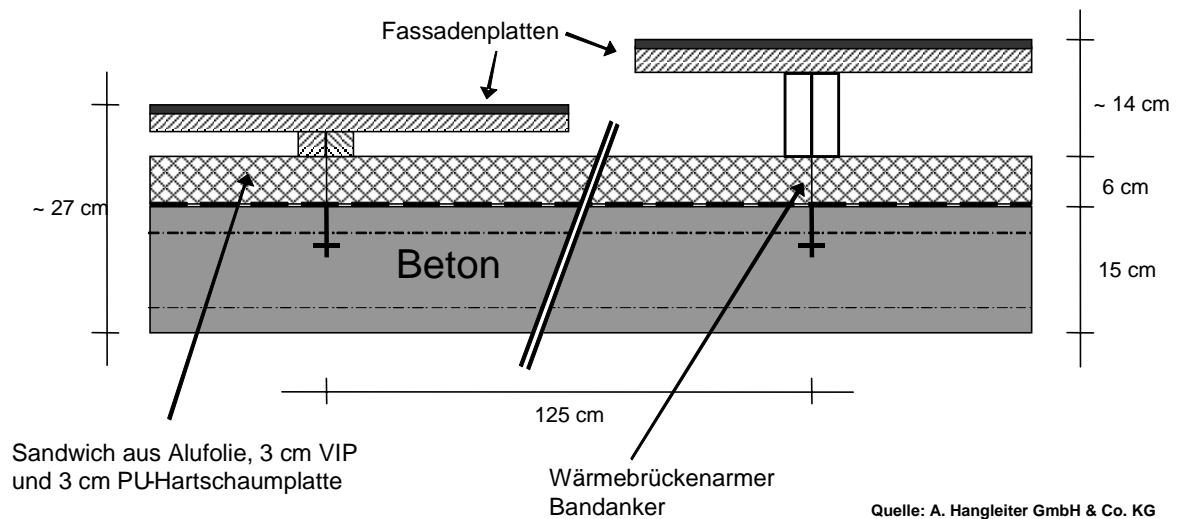


Bild 1: Horizontalschnitt durch ein vakuumgedämmtes Betonfertigteil. Links: mit 40 mm Hinterlüftungsebene, rechts: mit 110 mm Hinterlüftungsebene zur Aufnahme von Jalousiekästen.

Dieses vorgefertigte, hochdämmende, hinterlüftete Außenbauteil weist dann einen mittleren U-Wert (also unter Einbeziehung aller Wärmebrücken) von nur $0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$ auf. Die Gesamtdicke dieses Elements entspricht etwa der Dicke der Dämmschicht, die bei konventioneller Technik notwendig gewesen wäre, um diesen U-Wert zu erreichen.

Bei der Herstellung der vakuumgedämmten Betonfertigteile werden mit einer speziell entwickelten Laibungskonstruktion gleich die Fenster- und Türelemente mit eingebaut. Die Anschluss- und Übergangsdetails wurden im Forschungsprojekt optimiert und somit die dadurch entstehenden Wärmebrücken minimiert. Aufwändige Montage- und Abdichtungsarbeiten auf der Baustelle entfallen. Außerdem können im Fertigteil bereits sämtliche Elektro- und Sanitär-Einlegearbeiten integriert werden.

Die Innenoberfläche der Fertigteile wird in Sichtbetonqualität hergestellt. Diese kann je nach Wunsch naturbelassen, lasiert, gestrichen, gespachtelt, tapeziert oder verputzt werden.

3 Demoobjekt – Wohnhaus mit Büro in Ravensburg

Um sämtliche Anschluß- und Übergangsdetails entwickeln zu können, wurde ein komplettes Demogebäude aus vakuumgedämmten Betonfertigteilen durchgeplant. Dabei wurde von Anfang an eine konsequente horizontale und vertikale Rasterung berücksichtigt. Sämtliche Öffnungen und Wand- bzw. Deckendurchbrüche wurden an diesem Raster ausgerichtet.



Bild 2: Westansicht Demogebäude mit horizontaler und vertikaler Rasterung

Die Rasterung ermöglicht eine durchgängige Systematisierung bzw. Standardisierung sämtlicher Bauteile. Die Gebäudeabmessungen, die Dämmelemente, die Türen und Fenster, die Fassaden- und die Dachkonstruktion können modular aufgebaut und beliebig im Raster formatiert werden. Die Rasterung ist außerdem die Voraussetzung, dass überwiegend Standardformate der VIPs eingesetzt werden können. Beim Demogebäude wurden für die Hauptflächen lediglich drei VIP-Standardformate benötigt.

Zur Aussteifung der vorgefertigten Wandelemente wird bevorzugt eine massive Ortbetondecke mit Halbfertigteilen eingesetzt. Die oberste Decke bildet gleichzeitig den statischen Unterbau für die vakuumgedämmte Dachkonstruktion.

Beim Demogebäude wurde die oberste Decke (Flachdach) vollflächig mit Vakuumdämmung ausgelegt. Darauf wurden auf einer Schutzfolie großformatige, vorgefertigte, 10 cm schlanke Betonfertigteileplatten mit Dachüberstand aufgelegt. Somit wird eine umlaufend geschlossene Dämmhülle aus VIPs und ein extrem schlanker Dachaufbau mit einer Konstruktionshöhe von lediglich 14 cm ermöglicht. Auf die Betonabdeckplatten wurde eine konventionelle Flachdachabdichtung und anschließend eine zurückversetzte Dachbegrünung aufgebracht.

Die im Forschungsprojekt neu entwickelte Fassadenkonstruktion wurde am Demogebäude erfolgreich umgesetzt. Hierfür wurden in den Betonabdeckplatten am Dachüberstand bereits Halteschienen eingebaut, von denen die Fassadentragprofile abgehängt wurden. Das Eigengewicht der Fassade wird also nach oben gehängt und über das Massivdach abgetragen. Die Fassade steht bzw. hängt somit als eigenes statisches System vor der Dämmebene und wird lediglich über die Bandanker gegen Windsog horizontal gehalten. Die Fassadenprofile hängen unmittelbar vor der Dämmebene, so dass auch Druckkräfte (Winddruck) direkt abgeleitet werden können. Außerdem werden so die Dämmplatten dauerhaft mechanisch gehalten und gegen ein Ablösen gesichert. Ein weiterer Vorteil dieser Konstruktion liegt in der Demontierbarkeit, so dass die Dämmebene jederzeit zugänglich gemacht werden kann.

Im Erdgeschoß war ein runder Anbau vorgesehen. Auch dieser wurde konsequent mit VIPs gedämmt. Dafür wurden die vorbereiteten VIPs nachträglich in kleinen Segmenten auf die rund betonierte Wand aufgeklebt. Nachdem an diesem Bauteil kein Dachüberstand vorgesehen war, wurde für die Fassadenkonstruktion ein umlaufender, schmaler Betonsockel hergestellt, auf dem die Fassadentragprofile aufstehen. Durch die Rundung steift sich dieses System selbst aus, so dass keine zusätzlichen Bandanker notwendig waren.

Nachdem der Heizenergiebedarf wegen der hochgedämmten Außenhülle extrem niedrig war, wurde im Demoprojekt ein innovatives, energiesparendes Deckenheiz- und Kühlsystem integriert. Bei der Herstellung der Massivdecken wurden vorgefertigte Heiz- bzw. Kühlregister in die Schalung eingelegt und anschließend einbetoniert. Diese Register liegen nur wenige Millimeter von der Betonoberfläche entfernt und geben damit die erforderliche Wärme (Winter) bzw. Kälte (Sommer) über Strahlung sehr reaktions-schnell ab. Die erforderliche Heiz- bzw. Kühlenergie wird über drei Erdsonden (je 110 m) und eine Wärmepumpe erzeugt. Gleichzeitig wird über Solarkollektoren auf dem Flachdach der Brauchwasserspeicher zusätzlich erwärmt.

Wegen diesem Niedertemperatursystem (Vorlauftemperatur Winter: + 26°C, Sommer: + 18°C) wird ein hoher Wirkungsgrad der Wärmepumpe erreicht. Zusätzlich kann das Gebäude im Sommer über einen Wärmetauscher, ohne zusätzliche Kühlenergie, angenehm temperiert werden. Sämtliche Technikkomponenten werden über EIB vernetzt und zentral gesteuert. Somit kann das System über mehrere Heiz- bzw. Kühlperioden hinweg optimiert und über eine Datenleitung (Internet) extern verwaltet und gewartet werden.

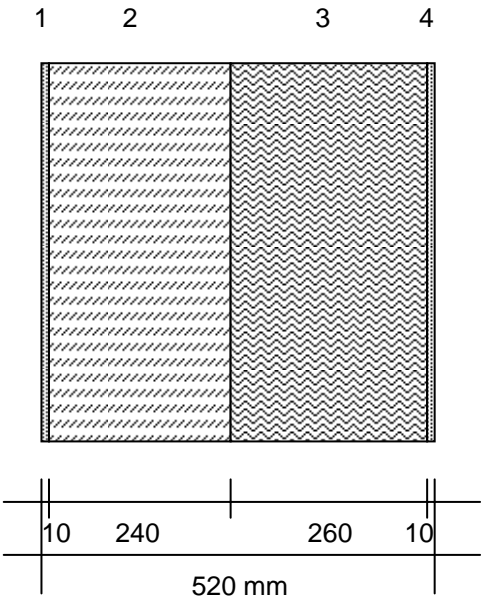
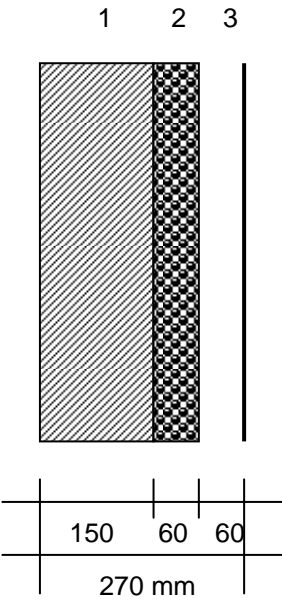


Abbildung 4: Schematische Darstellung eines Deckenheiz- und Kühlsystems (Hybridsystem) in einer Massivdecke. (Bild: RCS, System Climacool RBO-90)

Eine weitere Innovation stellt das sensorgesteuerte Lüftungssystem im Demogebäude dar. Dieses System wurde gewählt, da wegen des relativ hohen Luftvolumens eine konventionelle Be- und Entlüftungsanlage unverhältnismäßig teuer gewesen wäre. In diesem Fall werden über einen VOK-Luftsensor elektrisch betriebene Kippflügel sowie ein Abluftgebläse gesteuert. Somit wird lediglich bei Bedarf automatisch für einen kurzen Luftaustausch, ähnlich wie beim Stoßlüften, gesorgt. Über eine Visualisierung kann jederzeit die Luftqualität sowie der Feuchtegehalt überwacht werden.

Mit der Fertigstellung des Demogebäudes Anfang 2005 wurde das systematisierte Bauen mit vakuumgedämmten Betonfertigteilen zur Markt- und Serienreife gebracht.

4 Kalkulatorischer Kostenvergleich

Mauerwerk mit WDVS	Betonfertigteile mit VIP
 <p>1 2 3 4</p> <p>10 240 260 10</p> <p>520 mm</p>	 <p>1 2 3</p> <p>150 60 60</p> <p>270 mm</p>
<p>1 - Innenputz, geglättet: 12,00 €/m²</p> <p>2 - HLZ, 1200 kg/m³: 58,00 €/m²</p> <p>3 - PS 15, WLG 0,40: 43,00 €/m²</p> <p>4 - Außenputz, gestrichen: 40,00 €/m²</p> <hr/> <p>Gesamtkosten: 153,00 €/m²</p>	<p>1 - Betonfertigteile, Sichtbeton: 105,00 €/m²</p> <p>2 - VIP mit Schutzplatte: 85,00 €/m²</p> <p>3 - Hinterlüftete Fassade: 90,00 €/m²</p> <hr/> <p>Gesamtkosten: 280,00 €/m²</p>

Kostenvergleich für ein Einfamilienhaus mit ca. 150 m² Wohnfl.	
Außenwandfläche 200 m ² : 30.600,00 €	Außenwandfläche 200 m ² : 56.000,00 €
	./. Nutzflächengewinn
	18 m ² x 2200 €/m ² = -39.600,00 €
Effektive Kosten: 30.600,00 €	Effektive Kosten: 16.400,00 €
Zzgl. laufende Kosten für Fassadensanierung	Wartungsfrei, keine laufenden Kosten
	Kostenersparnis : 14.200 € bzw. 71 €/m²

Entwicklung von vakuumgedämmten Verbundfertigteilen im Passivhausstandard und deren Anwendung in einem Prototypen

Förderkennzeichen 0327321D

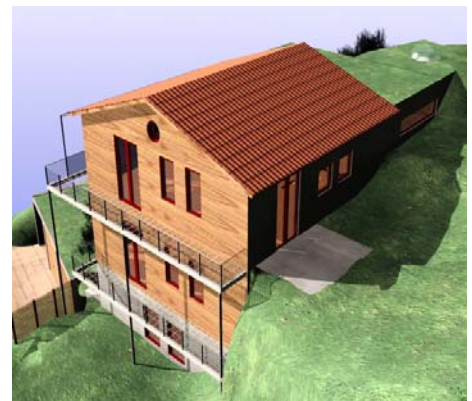
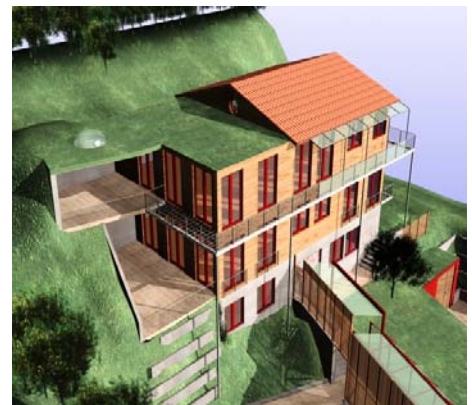


1. Anforderungsprofil und Planungs- Grundlagen

Planungs- und Umsetzungsziel: „**Null-Energiehaus**“ mit Hilfe von vakuumgedämmten Verbundfertigteilen im Passivhausstandard zu erstellen. Hierfür wurde ein Standort, der große Anforderungen an die Planung und Ausführung stellt ausgewählt.

Planungsschritte:

- 1.1. Optimierung der Energiebilanz durch PHPP-Anwendung (Passivhaus Projektierungspaket) hinsichtlich „**Null-Energiehaus**“
- 1.2. Gebäude-Zonierung mittels Sonnenstandssimulation
- 1.3. Realisierung einer umlaufend, ungestörte VIP-Dämmebene, inkl. Kombinationen: Ortbeton zu Fertigteillösungen
- 1.4. Detaillierte Wärmebrückenuntersuchung und Schwachstellenanalyse
- 1.5. Planung der Luftdichtheitsebene $n_{50} < 0,6$
- 1.6. Planung der Winddichtheitsebene
- 1.7. Realisierung der Wärmebereitstellung und Wärmerückgewinnung
- 1.8. Planung und Realisierung der Gebäudekühlung:
Variotec Flächen Heiz/Kühlsystem (VFHKS)
- 1.9. Realisierung einer Allergiker-freundlichen Raumluftsituation unter Einhaltung der Behaglichkeitskriterien für Luftwechselrate, Lufttemperatur und Luftfeuchtigkeit.



2. Grundelement: VACUPUR = VIP integriertes Vakuum Isolationspaneel

Der Variotec Prozess unterliegt 3
Sicherheitsstufen:

1. Das Vakuum wird bereits gegen Ende des Fertigungsprozesses überprüft. Hierbei können produktionsbedingte Fehlerquellen ermittelt werden.
2. Die VIP-Platte wird vor Einbau in das VACUPUR Element noch einmal auf Ihren Unterdruck geprüft. Somit werden nur einwandfrei VIPs weiterverarbeitet.
3. Der VACUPUR-Prozess mit seiner doppelten diffusionsdichten Einhausung gewährleistet einen optimalen Schutz, aufgrund der Aluminium-Stabilisierungsschichten und des umlaufenden diffusionsdichten Kantenbandes. Somit erfüllt das VACUPUR-Element jahrzehntelang seine Funktion

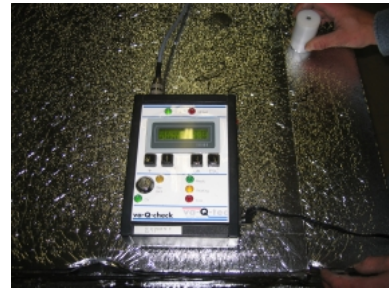
3. Bodenplatte

Für die Dämmung der Bodenplatte wurde ein druckbelastbares VIP-Paneel in Beton-Sandwichbauweise eingebracht. Es wurden großflächige, feuchtigkeitsresistente Platten konzipiert.

U-Wert: 0,06 W/m²K

3.1. Probleme und Risiken:

- Die Druckbelastung auf normale VIP's unterhalb der Bodenplatte war zu hoch. Die Erhöhung der zulässigen Druckbelastung der VIP's auf ca. 300 kg/m² war notwendig
- VIP ohne „VACUPUR“ - Umhüllung hätte durch die Stahlarmierung zu Beschädigungen geführt.
- Durchführung einer fugendichten Verlegung der VIP-Elemente im Bauraster erforderte Passteile (innerhalb 24 Std.)
- Durchdringung von Versorgungsleitungen
- Anbindung der Fundamente an die Bodenplatte
- Anbindung Bodendämmung an die Wanddämmung (Durchgehende Dämmebene)
- Auslegung auf einem ebenen, sauberen Untergrund



- Randabdichtungen der Bodenplatte zu den aufgehenden Wänden

3.2. Lösungen:

- Schlag- und druckfeste Ausführung der VIP's bzw. VACUPUR (300 kg/m² VIP-Kern) Gesamtlast
- Keine weiteren Fugenmaterialien. Im Randbereich der VIP-Elemente sind bereits Dichtbänder integriert, daher entsteht eine wasser- und stoßdichte Fuge.
- Einsatz eines Fundamentsporn, der Hangschubkräfte aufnimmt
- Druckwasserfeste Ausführung
- Fugendichter Anschluss an die angrenzende Wand
- Zusätzliche Einbindung einer Frostschräge im Randbereich der Bodenplatte
- Baukörperanschlussdetails für Fenster, Türen, Durchdringungen und Versorgungsleitungen

4. Wandtypen

4.1. Allgemeines

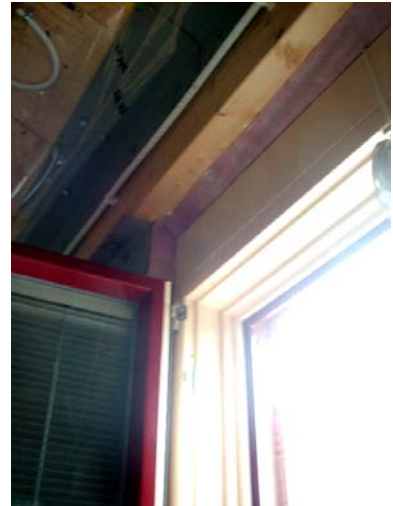
Anschlusslösungen für angrenzende Bauteile wie Wand, Dach, Decke und Bodenplatte wurde ausgearbeitet und eingesetzt. Bei den Ankerdurchdringungen wurden durch statische Vorgaben und mit geeigneter Materialauswahl Sonderlösungen, die einen Wärmedurchgang und ein Eindringen von Feuchtigkeit verhindern, entwickelt. Detailanschlüsse für Fenster und Türen wurden integriert. Die Stoßfugen zwischen den einzelnen Sandwichelementen wurden als druckwasserfeste und dämmtechnische optimierte Fugen ausgeführt. Die Wandelement-Konzeption übernimmt alle **statischen, dämmtechnischen** und **logistischen Anforderungen**

4.1.1. Probleme und Risiken:

- Regelmäßige Ankerdurchdringungen erhöhen das Risiko für Wärmebrücken und Feuchtigkeitsdurchgang
- Druckwasser- (im Hangbereich) und Diffusionsdichtigkeit muss durch geeignete Anschlussfugen dauerhaft ausgeführt werden
- Ausführung mit schlanken Querschnitt und hohen Dämmeigenschaften



- Durchdringungen von Zuluftleitungen
- Geeignete Holz-Fassadenanbindung über 2 Geschosse
- Detaillösungen für Anschlüsse an Massivbauteile (Wand 150/1, 150/2)
- VIP Elemente müssen für die Weiterverarbeitung im Betonwerk bzw. für die Montage besonders konzipiert und geschützt werden
- Logistik für Transport und Versetzen auf der Baustelle



4.1.2. Lösungen:

- Thermisch optimierte Ankerdurchdringung bzw. Verklebungen der VIP-Elemente
- Diffusions- und Druckwasserdichtigkeit durch äußere Schwarzabdichtung bzw. außenseitigen Fugenbänder und innere Fugendichtbänder
- Fugendichte Anschlüsse zu begrenzenden Bauteilen (Dach, Decke, Boden)
- Fugendichte Baukörperanschlussdetails für Fenster, Türen, Durchdringungen und Versorgungsleitungen
- Flexible Klebeverbindungen die das Schwind / Quellverhalten des Holzes überbrücken können
- Geeignete Fassadenbefestigungen
- Geeignete Transportlösungen wie z.B. Transportanker
- Geeignete Schutzvorrichtungen bei Herstellung, Transport und Montage
- Ausführung als statisch, selbst tragendes Element



4.2. Wandtyp 330

Wandtyp 330 ist ein 330mm starkes kerngedämmtes VIP Betonfertigteile. Das VIP wurde durch neu entwickelte Glasfaseranker zwischen den einzelnen Sandwichteilen fixiert. Bei den Ankerdurchdringungen wurden durch statische Vorgaben (Bauteilprüfung der LGA) und mit geeigneter Materialauswahl Sonderlösungen, die einen Wärmedurchgang und ein Eindringen von Feuchtigkeit verhindern, entwickelt. Für den Wandtyp 330 wurden Anschlusslösungen für angrenzende Bauteile wie Wand, Dach, Decke und Bodenplatte ausgearbeitet und eingesetzt.



U-Wert: 0,11 W/m²K

4.3. Wandtyp 270

Wandtyp 270 ist ein 270mm starkes kerngedämmtes VIP Betonfertigteile. Das VIP wurde durch neu entwickelte Glasfaseranker zwischen den einzelnen Sandwichteilen fixiert.

U-Wert: 0,11 W/m²K

4.4. Wandtyp 150/1

Wandtyp 150/1 ist ein 150mm starkes kerngedämmtes VIP Holzfertigteile. Das VIP wurde durch neu entwickelte Glasfaseranker zwischen den einzelnen Sandwichteilen fixiert. Für den Wandtyp 150/1 wurden Anschlusslösungen für angrenzende Bauteile wie Wand, Flach- und Satteldächer und Decke ausgearbeitet. Durch die schlanke Ausführung ist ein hoher Raumgewinn realisiert worden. Zusätzlich wurde ein Grundelement für Dach und Wandlösungen realisiert.

U-Wert: 0,12 W/m²K

4.5. Wandtyp 150/2

Wandtyp 150/2 ist ein 150mm starkes Betonfertigteile mit VIP-Vorsatzdämmung. Das VIP wird mit speziellen Klebstoffen an den Wandtyp 150/2 fixiert. Für den Wandtyp 150/2 sind Lösungen für angrenzende Bauteile wie Flach- und Satteldächer und Decke vorhanden. Durch die schlanke Ausführung ist ein hoher Raumgewinn realisiert worden.

U-Wert: 0,12 W/m²K

4.6. Wandtyp G

Wandtyp G ist ein wärmebrückenfreies, statisch selbst tragendes Holzfertigteile mit VIP-Vorsatzdämmung. Das VIP wird mit speziellen Klebstoffen an den Wandtyp G fixiert. Für den Wandtyp G wurden Anschluss-Lösungen für angrenzende Bauteile wie Wand-, Flach- und Satteldächer und Decke ausgearbeitet.

U-Wert: 0,12 W/m²K



5. Flach- und Satteldach

- Die Dachfläche ist ein wärmebrückenfreies, statisch Last abtragendes Holzfertigteil. Das VIP wird mit speziellen Klebstoffen zwischen den Sandwichlagen fixiert. Das Dachelement ist für Flach- und geneigte Dächer geeignet. In die Dachfläche wurde raumseitig das passive Flächen-Heiz- und Kühlsystem integriert.



U-Wert: 0,12 W/m²K

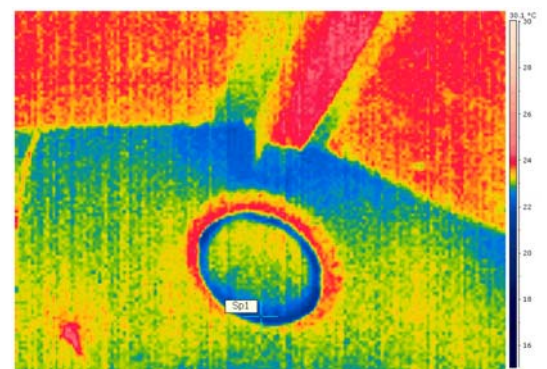
6. Messtechnik; Qualitätssicherung Monitoring

- Messung der VIPs durch va-q-perm-Sensortechnik
- Messung der Feuchtigkeit und Temperaturmessung im VIP-Sandwichelement im Einbauzustand
- VIP Innendruckmessung im Einbauzustand
- Monitoring der Messdaten über das hauseigene Bussystem
- Regelmäßige Übertragung ans Institut für Solare Energiesysteme ISE
- Dauerbelastungsversuche hinsichtlich des Druck und Scherverhalten
- Langzeitdruckbelastungsversuche der VIPs



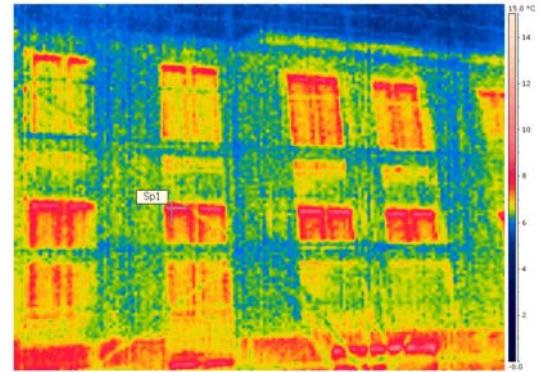
7. Aktuelle und zukünftige Entwicklungsschritte

- Weitere Entwicklung eines Qualitätssicherung – Konzeptes für „elementiertes Bauen mit VIP“ und Sanieren mit VIP integrierten VACUPUR-Sandwichelementen
- Entwicklung eines integrierten Planungs- und Berechnungskonzeptes für elementiertes Bauen und Sanieren
- Lösung der thermisch, kritischen Speichermassen der Holzwand 150/1. Innenraum-Temperatur ist an 30-40 Tagen p.a. > 27°C
- Weiterentwicklung des passiven Flächen- Heiz- und Kühl-Systemes im



Zusammenwirken mit PCM-Platten bzw.
Putzsystemen

- Steuer und Regeltechnik
-autoadaptives Buskonzept für Flächen-
Heiz- und Kühlsystem: PCM:
Wärmerückgewinnung usw.
- Lebenszyklusbilanz;
Gegenüberstellung konventionelles
Passivhaus – VIP gedämmtes Passivhaus
Erforschung der Rückkühleffekte durch
Aktivierung der passiven Kühlflächen
(auch für einen Einsatz in wärmeren
Klimaregionen)
- Analyse und Optimierung der
Wirkzusammenhänge: Kühlsystem,
Zisterne, Solaranlage,
- Sonderformen VIP; VIP Einsatz in
Fensterelementen/Türen/ Fassaden
- VIP gedämmte Vorsatzfassade
- VIP-Innendämmung für Fundamentsporn –
Entschärfung der Wärmebrücken im EG
des Musterhauses



**Vakuumisolationen im Flachdach
hohe Wärmedämmung und geringe Aufbauhöhe –
kein Widerspruch
Problemlösung am Beispiel von Terrassenaufbauten**

C. Hasse & Sohn

Inh. E. Räddecke GmbH & Co.

Michael Schwarz / Markus Wippich

Dachbaustoff-Werk

Sternstraße 10

29525 Uelzen

Tel: 0581 6041 Fax: 0581 1 62 18

www.hasseundsohn.de

info@hasseundsohn.de

Praxisbericht einer Dachterrassenabdichtung mit VIP-Elementen

Der Einsatz von Vakuumdämmplatten in Kombination mit
modernen Abdichtungsmaterialien

1. Problemstellung – Fehlende Aufbauhöhen

Bei der Neuanlage einer Dachterrasse in Zossen gab es Probleme mit der Wärmedämmung wegen zu geringer Anschlusshöhen. Lesen Sie von der Lösung dieses Problems durch ein neuartiges Wärmedämmsystem unter Beachtung der Energieeinsparverordnung.

Im Juni 2004 wurde ein Fachberater der Fa. C. Hasse und Sohn, Uelzen, zu einer technischen Beratung über den Aufbau einer Dachterrasse nach Zossen gerufen. Im Rahmen seiner Service-Leistungen sollte ein Aufmaß für ein Gefälledach erstellt werden, welches der Fachunternehmer, die Firma HEBA, Wohn- und Geschäftsbau GmbH, 14943 Luckenwalde, einbauen sollte

Bei der Besichtigung stellte sich heraus, dass bei der Planung der Terrasse gravierende Fehler gemacht wurden und der notwendige Dämmwert auf konventionelle Art und Weise nicht zu erreichen war. Der Fachberater von C. Hasse & Sohn stellte daraufhin dem Bauherrn und dem Verarbeiter das Kubidritt SLIM-Dach-System vor.

2. Geringe Höhe bis zur Terrassentür

Die in diesem System enthaltenen Dämmstoffplatten zeichnen sich bei einer Dämmstoffdicke von nur 10 mm durch einen U-Wert von 0,35 [W/(m²K)] aus. Der Wärmedämmwert ist damit zehn Mal höher als zum Beispiel der des herkömmlichen Polystyrols.



Nach einem Angebot der Firma HEBA überzeugte den Bauherrn das technisch schlüssige Konzept, der Auftrag für das Kubidritt SLiM-Dach-System wurde erteilt. Der Bauherr entschied sich für eine hochwertige und langlebige Variante, in dem er auf die 2-lagig verlegten HassoVAC Dämmstoffplatten noch ein Polystyrol Gefälledach zur Ableitung des Niederschlagswassers sowie die Selbstklebebahn Hassopren und als Oberlagsbahn die plasto-elastische Premiumbahn Kubidritt PLUS aufbringen ließ.

Bei den im Kubidritt SLiM-Dach-System enthaltenen HassoVAC Dämmstoffplatten ist ein genaues Aufmaß der zu belegenden Fläche unumgänglich, weil HassoVAC nachträglich nicht gebohrt, geschnitten oder bearbeitet werden kann. Dieses Aufmaß erfolgte Anfang Juli durch den Fachbereichsleiter SLiM-Dach, Michael Schwarz, der die Bauausführung auch begleitete.

Die Verlegung des SLiM-Dach-Systems

Zu Beginn der Arbeiten wurde der Beton-Untergrund von der Firma HEBA mit einem speziell für Selbstklebebahnen entwickelten Voranstrich eingestrichen. Da bei dieser Fläche zwei feste Anschläge (Wandanschlüsse) gegen zwei mit Bohlen abzugrenzende Abschlüsse (Attika und Dachrand) laufen, wurden die Bohlen erst nach Verlegung der Dämmplatten gesetzt.

Nach Trocknen des Voranstrichs erfolgte die Verlegung der Dampfsperre in Form der Kaltselfklebebahn Hassolan Duo.

3. Verlegung der SK-Dampfsperrbahn Hassolan Duo

Die unterseitig vollflächig und oberseitig streifenweise selbstklebende Bahn gewährleistet eine zügige und einfache Verlegung sowohl der Bahn selbst als auch der nachfolgenden Wärmedämmung. Auf der Oberseite der Bahn befindet sich ein 50 cm breiter mit einer Abziehfolie kaschierter Selbstklebestreifen, mit dem die erste Lage der dann folgenden HassoVAC Dämmstoffplatten verklebt wurde. Die Dampfsperre wurde bis an die Außenkante der Terrassenfläche verlegt und mit den später eingebauten Bohlen aus spezial verfestigtem PU-Schaum abgedeckt. Die Anschlussbereiche von Wand und Tür wurden mit Zuschnitten der Hassolan Duo abgeklebt.



4. Einfassen von Tür und Wandanschlüssen mit Hassolan Duo

Der nächste Schritt war die Dämmung der Anschlussbereiche Wand und vor allem die Bereiche der Tür. Hier war als Anschlag und Absatz ein einfacher 3 DF Hochlochziegel gemauert. Dieser Ziegel wurde nach der Einfassung mit Hassolan Duo ebenso wie die Wandanschlüsse mit 30 mm dicken PU-Dämmplatten waagrecht und senkrecht gedämmt.



5. Dämmung der Anschlussbereiche mit 30 mm PU-Platten

Auch hier vereinfachte die Selbstklebetechnik der Hassolan Duo die notwendigen Arbeitsschritte.



Die Verlegung der HassoVAC Dämmstoffplatten erfolgt nach zur Verfügung gestelltem Verlegeplan.

Nun begann die Verlegung der ersten Lage HassoVAC Dämmstoffplatten. Die Fläche wurde hierzu sauber abgefegt und sorgfältig auf eventuelle Unebenheiten geprüft. Einzelne Überhöhungen wurden nachgearbeitet und egalisiert. Die erste Platte HassoVAC wurde am Wandanschlussbereich fixiert.

Anschließend wurden die restlichen Platten dicht gestoßen Zug um Zug verlegt. Durch das Abziehen des oberseitigen Schutzstreifens der Dampfsperrbahn erfolgte sofort eine kraftschlüssige Verklebung zum Untergrund.

6. Verlegung der ersten Lage HassoVAC kalt-selbstklebend auf Hassolan Duo

Anfangs war für die Mitarbeiter der Firma HEBA die Verlegung der HassoVAC Dämmstoffplatten noch etwas ungewohnt, aber nach wenigen Minuten ging die Verlegung nach dem von C. Hasse & Sohn mitgelieferten Verlegeplan schnell und einfach voran.

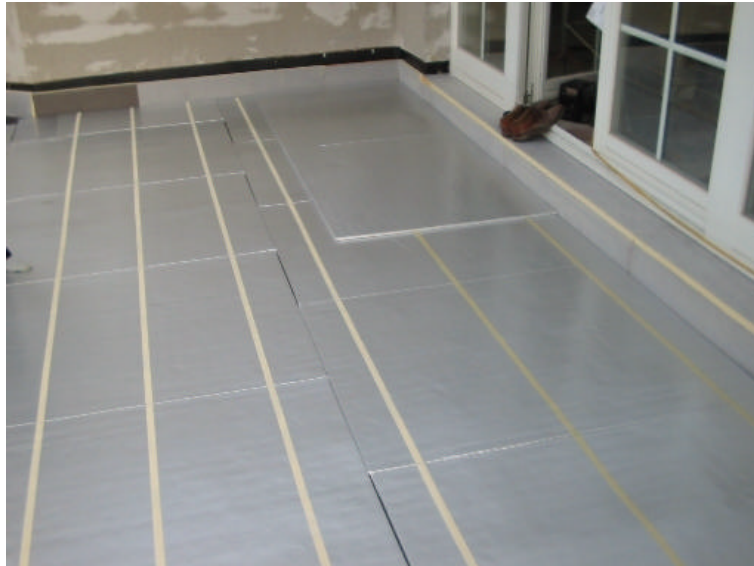


Nach der ersten Lage HassoVAC wurden die Bohlen im Attika- und Traufbereich gesetzt. Als Bohlen wurden Purenitbohlen verwendet, da hiermit auch in den Anschlussbereichen eine vernünftige Wärmedämmung erreicht wird. Außerdem lassen sich Purenitbohlen leicht bearbeiten. Geringe von der HassoVAC Dämmung nicht abgedeckte Stellen wurden mit hochverdichteten PU-Platten ausgefüllt und gedämmt.

Vor dem Aufbringen der zweiten Lage HassoVAC wurde zuerst im jeweiligen Abstand von 30 cm ein 2 cm breites Selbstklebeband (Hasse TACTO) auf die bereits verlegten Dämmstoffplatten geklebt. Danach wurde die zweite Lage HassoVAC gemäß Verlegeplan im Lagenversatz mit dem Selbstklebeband auf der ersten Dämmstofflage befestigt, um Wärmebrücken an den Kanten zu vermeiden.

7. Die zweite Lage HassoVAC wird verlegt

Der nun folgende Arbeitsgang war das Aufbringen des Polystyrol Gefälledaches auf den HassoVAC Dämmstoffplatten. Auch hier half der von C. Hasse & Sohn zur Verfügung gestellte Verlegeplan. Die Verklebung des Gefälledaches erfolgte ebenfalls mit Hasse TACTO Klebebändern.



8. Verlegung des Gefälledaches und Verklebung mit Klebebändern

Die Verwendung der Klebebänder ist einfach, schnell und sicher. Die Bänder werden mit einer Rollenzlänge vom 50 m und einer Breite von 2 cm geliefert. Da das Selbstklebeband weniger als 1 mm dick ist trägt es nicht auf, ein „Kippeln“ der Dämmstoffplatten ist nicht möglich. Es wird weder PU-Kleber noch Adhäsiv-Klebmasse benötigt, was wiederum die Mülldeponien entlastet und Abfallgebühren verringert.



Nach der Verlegung des Gefälledaches konnte sofort mit dem Aufbringen der ersten Lage der Dachabdichtung begonnen werden. Hierfür wurde die vollflächig selbstklebende Dachbahn Hassopren in einer Breite von 1,08 m eingesetzt. Den Abschluss bildete die elasto-plastische Premiumbahn Kubidritt PLUS. Diese Oberlagsbahn gehört mit einer amtlich bestätigten Plastizitätsspanne von 180 K zu dem Besten, was derzeit auf dem deutschen Markt erhältlich ist.

Die Randbereiche (Attika-, Wand- und Türanschluss) wurden mit Zuschnitten eingefasst. Um das Anbringen einer Wandanschlussschiene zu vermeiden wurde der Tür- und Wandbereich zusätzlich mit dem Flüssigkunststoff Hassolit FK versehen.

8. Der Flüssigkunststoff Hassolit FK wird aufgebracht

Die Fußpunkte der Geländerstützen wurden nach Abschluss der Abdichtungsarbeiten ebenfalls mit Hassolit FK abgedichtet. Im Anschluss an diese Arbeiten wurden zwei Lagen PE-Folie als Trennschicht, ein Estrich und Terrassenplatten verlegt.



Fazit: Genaue Planung ist wichtig

Nach Abschluss der Arbeiten konnte dem Bauherrn eine Dachterrasse übergeben werden, die sowohl im Hinblick auf die Wärmedämmung als auch auf die Qualität der Abdichtungsarbeiten und -materialien Maßstäbe setzt.

Durch die geringe Gesamtdicke der Vakuumdachdämmplatten von 23 mm konnten in diesem Fall 230 mm Styropor ersetzt werden. Trotzdem wurden die Forderungen der Energieeinsparverordnung erfüllt. Die hier eingesetzten Premium-Abdichtungsbahnen halten die Dämmung für lange Jahre trocken.

Die Ausführung eines Vakuumdämmdaches ist keine Lösung „von der Stange“, sie erfordert vielmehr ein fachkompetentes Bedachungsunternehmen wie im oben geschilderten Fall, eine perfekte Detailplanung, ein absolut genaues Aufmaß sowie eine kompetente Beratung im Vorfeld und während des Baufortschritts.



Die HassoVAC Dämmstoffplatten werden in verschiedenen Abmessungen und Stärken bis zu 30 mm geliefert, so dass nahezu jeder Grundriss belegt werden kann.

Wie das obige Bauvorhaben zeigt, lassen sich Probleme wegen zu geringer Anschlusshöhen mit Vakuumdämmplatten in Verbindung mit geeigneten Abdichtungsmaterialien fachgerecht lösen, ohne dass auf eine notwendige Wärmedämmung verzichtet werden muss.

Durch ständig steigende Anforderungen der Energieeinsparverordnung wird der Stellenwert von Abdichtungen mit VIP-Elemente speziell im Sanierungsbereich weiter zunehmen.

C. Hasse & Sohn

Inh. E. Räddecke GmbH & Co.

Michael Schwarz / Markus Wippich

Dachbaustoff-Werk

Sternstraße 10

29525 Uelzen

Messverfahren zur Qualitätskontrolle bei Vakuumisolationspaneelen

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

Dietrich Büttner, Cornelia Stark, Daniel Kraus, Marco H. Keller

Die herausragende Eigenschaft von Vakuumisolationen ist deren hervorragende thermische Dämmwirkung. Ziel der Qualitätskontrolle von Vakuumisolation ist daher sicherzustellen, dass die exzellente Dämmwirkung für den gewünschten Verwendungszeitraum von mehreren Jahrzehnten (für den Baubereich) erhalten bleibt. Für die Qualitätskontrolle an Vakuumpaneelen sowohl in Prüfeinrichtungen als auch in der Fertigung, auf der Baustelle und für spätere Kontrollen im eingebauten Zustand stehen unterschiedliche Messmethoden zur Verfügung, deren Genauigkeit stark variiert. Die Messwerte der verschiedenen Methoden können daher nur unter Angabe der Messunsicherheiten miteinander verglichen werden. Der Messvorgang und die Auswertung erfordern zum Teil große Erfahrung, da je nach Hüllmaterial oder Einbausituation Abweichungen vom Idealfall auftreten können.

1 Einleitung

Die herausragende Eigenschaft von Vakuumisolationen ist deren hervorragende thermische Dämmwirkung. Ziel der Qualitätskontrolle von Vakuumisolation ist daher sicherzustellen, dass diese für den gewünschten Verwendungszeitraum von mehreren Jahrzehnten für den Baubereich erhalten bleibt [Schwab; e]. Vakuumisolationspaneele bestehen aus Kernmaterial und Hülle. Kritisch sind die Eigenschaften hinsichtlich der Gasdurchlässigkeit des Hüllmaterials und bezüglich des Feuchtegehalts sowie der Gasdruckabhängigkeit der Wärmeleitfähigkeit des Kernes. Der Erhalt des Dämmwertes hängt hauptsächlich von der Güte und Aufrechterhaltung des Vakuums im Vakuumisolationspaneel (VIP) ab. Alternative Methoden zur Qualitätskontrolle messen deshalb meist den Gasdruck im VIP oder eine mit dem Gasdruck korrelierte Größe. Aufgrund der hohen Wärmeleitfähigkeit des Hüllmaterials im Vergleich zum Kernmaterial treten Randeffekte auf, die bei den Messungen und die in der Anwendung beachtet werden müssen [Schwab; d].

2 Druckmessverfahren

Die hervorragenden Dämmeigenschaften von Vakuumdämmung werden nur erreicht, solange das Vakuum für das verwendete Füllmaterial ausreichend niedrig ist. Die Druckmessung ist daher eine nahe liegende Methode der Qualitätskontrolle. Eine Messung des Druckanstiegs im VIP kann als Grundlage für eine Funktionsdauervorhersage verwendet werden.

Der Druckanstieg kann unterschiedliche Ursachen haben [Schwab; c]. So ist der Druck in einem VIP, dessen Füllmaterial Feuchtigkeit aufgenommen hat, erheblich mit der Temperatur des VIP korreliert [Schwab; b]. Des Weiteren unterscheidet sich das Eindringverhalten von Wasserdampf von dem der „trockenen“ Luftgase erheblich [Schwab; a]. Die treibende Kraft für das Eindringen von Wasserdampf ist die Dampfdruckdifferenz zwischen außen und innen. Der Dampfdruck im Außenraum ist zwar erheblich geringer als der Luftdruck außerhalb des VIP, aber die Durchlässigkeit der Folienhüllen gegenüber Wasserdampf ist in der Regel erheblich größer als für N_2 oder O_2 . Hat das Paneel bereits bei der Ferti-

gung einen hohen Feuchtigkeitsgehalt, kann es in trockener Umgebung sogar eine Druckminderung durch entweichenden Wasserdampf erfahren. Das stark unterschiedliche Verhalten von Feuchtigkeit und „trockener“ Luft machen es in vielen Fällen wünschenswert bei der Druckmessung an VIP deren Anteile separieren zu können. Für eine weitergehende Interpretation von Druckmesswerten ist es notwendig, bei allen Messungen auch die Paneeltemperatur anzugeben.

2.1 Folienabhebeverfahren

Beim Folienabhebeverfahren handelt es sich um ein eigens für VIPs mit flexibler Hülle entwickeltes Verfahren zur Druckbestimmung, das ohne integrierte Sensoren oder Eingriffe in das Paneel auskommt. Hierbei wird das VIP (oder beim Saugglocken-Verfahren ein Teil seiner Oberfläche) in eine Kammer platziert. Zur Messung wird der Druck in dieser Kammer durch Evakuieren soweit abgesenkt, bis der im VIP vorhandene Gasdruck ausreicht, um die Folienhülle gegen den Druck der Kammer aufzublähen. Das ist dann der Fall, wenn der Gasdruck im VIP geringfügig größer ist als der Umgebungsdruck. Der Kammerdruck wird gemessen und das Abheben der Folie kann durch einen Laserabstandssensor oder eine Lichtschranke erfasst werden.

Signifikante systematische Abweichungen ergeben sich sowohl aus gerätespezifischen als auch aus probenspezifischen Effekten. Es kann dabei typischerweise eine Druckauflösung von $(0,1 \pm 0,5)$ hPa erreicht werden.

2.2 Integrierte Gasdrucksensoren

Eine Möglichkeit zur Bestimmung des Gasdrucks in VIP ist die Integration eines Gasdrucksensors in das VIP. Dieser Lösungsansatz bietet die Möglichkeit einer schnellen und zuverlässigen Gasdruckmessung, bereitet jedoch die Schwierigkeit, dass der Sensor mit Energie versorgt und das Messsignal nach außen übertragen werden muss. Kabeldurchführungen durch die Hülle bedeuten eine potentielle Leckstelle meist auch einen höheren Fertigungsaufwand. Als Alternative zu einer Kabelverbindung ist auch eine akustische, elektrische, thermische oder mechanische Anbindung des Sensors denkbar. Die Auflösung entspricht, je nach Ausführung der Sensoren, denen üblicher Druckmessgeräte.

3 Methoden zur Untersuchung des Wärmewiderstandes

Für die Messung der Wärmeleitfähigkeit im Labor stehen im Wesentlichen zwei Verfahren zur Verfügung: Wärmeleitfähigkeitsmessungen mit dem Plattengerät [DIN 52612] und Wärmedurchgangsmessungen mit dem geregelten Heizkasten, auch Hotbox genannt [DIN EN ISO 8990]. Außer der stationären Messung der Wärmeleitfähigkeit, die normalerweise mehrere Stunden für jede Messung in Anspruch nimmt, wurden zahlreiche nicht-stationäre Methoden speziell für VIP entwickelt. Diese sollen vor allem die einfache, schnelle und kostengünstige Messung sowohl in der Produktion als auch beim verbauten Panel ermöglichen.

3.1 Thermographie

Bei der Thermographie werden Infrarotaufnahmen des untersuchten Gegenstandes angefertigt. Die im

infraroten Spektralbereich emittierte Wärmestrahlung hängt dabei stark von der Oberflächentemperatur und dem Emissionsgrad ab. Die Thermographie wird häufig angewendet, um thermische Schwachstellen an Gebäuden oder Anlagen zu erfassen. Bei genügend hoher Auflösung kann sie eingesetzt werden, um die Funktionsfähigkeit von in Fassaden integrierten VIP zu überprüfen. Eine Aussage über den Zustand eines in der Fassade integrierten VIP ist in der Regel nur im Vergleich zu anderen VIP möglich, die in der gleichen Fassade unter gleichen Bedingungen verbaut wurden. Einzelne Totalausfälle in einer VIP-gedämmten Fassade können somit detektiert werden. Eine erhöhte Wärmeleitfähigkeit der gesamten Fassade, z.B. durch allgemeine Alterung des Dämmmaterials kann nicht aufgelöst werden.

Wichtig für einen sinnvollen Einsatz der Thermographie ist eine ausreichende thermische Ankopplung der Wärmedämmung an die thermographisch erfasste Oberfläche. Schichten mit hoher thermischer Querleitung wie sie durch metallische Abdeckungen oder vorgehängte Fassaden auftreten, erschweren die Auswertung der thermographischen Aufnahmen.

3.2 Hot Box

Beim Heizkasten-Verfahren (Hot Box-Verfahren) wird der Wärmedurchgangskoeffizient U eines Probekörpers bestimmt. Der Probekörper wird zwischen zwei Räumen mit unterschiedlichen Temperaturen eingebaut. Im stationären Fall fließt ein konstanter Wärmestrom von der warmen Seite durch den Probekörper auf die kalte Seite. Die Größe des Wärmestroms ist ein Maß für den Wärmedurchgangskoeffizienten bei vorgegebenen Kammertemperaturen.

3.3 Ein- und Zweiplattengeräte

Mit Ein- und Zweiplattenmessgeräten wird die Wärmeleitfähigkeit aus dem experimentell bestimmten eindimensionalen Wärmestrom, der Probendicke und der in der Probe vorliegenden Temperaturdifferenz berechnet [Heinemann]. Eine zentrale Metallplatte wird kontrolliert beheizt. Sie ist beim Zweiplattengerät zu beiden Seiten von zwei identischen Probekörpern bekannter Dicke umgeben. Die äußeren Seiten der Proben sind an thermisch kontrollierte Wärmesenken angekoppelt. Die Heizleistung wird derart nachgeregelt, dass sich konstante Temperaturen einstellen. Die in der Heizplatte eingebrachte elektrische Energie fließt als Wärme symmetrisch durch die beiden Proben ab. Um einen eindimensionalen Wärmefluss zu gewährleisten, ist die zentrale Heizplatte von konzentrischen Schutzringen umgeben, die auf derselben Temperatur gehalten werden wie die zentrale Platte. Beim Einplattengerät ist statt dem zweiten Probekörper eine Kombination aus Dämmstoff und einer Schutzplatte angebracht. Die Schutzplatte wird so geregelt, dass keine Temperaturdifferenz zwischen der Heizplatte und der Schutzplatte besteht.

Die Messungen mit den Plattengeräten sind absolute Messungen, die keiner Kalibrierung bedürfen.

3.4 Einbringung von Fremdkörpern

Gasdruck und Wärmeleitfähigkeit in VIPs sind miteinander korreliert. Die Gaswärmeleitfähigkeit von porösen Materialien, wie sie auch bei Füllungen von VIP verwendet werden, ist im Wesentlichen durch die Porengröße, Gasart und den Gasdruck bestimmt [Kaganer]. Es gilt:

$$\lambda_{Gas} = \frac{\lambda_{Gas,0}}{1 + \frac{2 \cdot \beta \cdot l_{gas}}{l_{Pore}}} = \frac{\lambda_{Gas,0}}{1 + \frac{p_{1/2}}{p}}, \quad (3-1)$$

mit:

- λ_{Gas} Gasanteil an der Gesamtwärmeleitfähigkeit,
- $\lambda_{Gas,0}$ Wärmeleitfähigkeit des freien Gases,
- β Wand und gasartabhängiger Parameter,
- l_{gas} Mittlere freie Weglänge des Gases,
- l_{Pore} Porendurchmesser,
- $p_{1/2}$ von der Porengröße abhängiger, charakteristischer Halbwertsdruck und
- p Gasdruck im VIP.

Im voll funktionsfähigen VIP gilt $l_{gas} \gg l_{Pore}$, der Anteil der Gaswärmeleitfähigkeit an der Gesamtwärmeleitfähigkeit des VIP ist vernachlässigbar. Die Bestimmung des Gasdruckanstiegs aus dem Anstieg der Wärmeleitfähigkeit des Füllmaterials ist daher mit hohem messtechnischem Aufwand und langen Wartezeiten zwischen den Messungen verbunden. Damit der Gasdruck im VIP aus einer einfachen Wärmeleitfähigkeitsmessung bestimmt werden kann, muss die Wärmeleitfähigkeit an einem Material gemessen werden, das im relevanten Druckbereich eine möglichst große Änderung der Wärmeleitfähigkeit bei Änderung des Gasdrucks zeigt. Nach Gl. (3-1) ist das der Fall, wenn gilt: $l_{Pore} = 2 \cdot \beta \cdot l_{gas}$ oder $p_{1/2} = p$.

Das Prinzip bei beiden im folgenden vorgestellten Messverfahren ist, einen im Vergleich zum Füllmaterial grobporigeren Fremdkörper in das Paneel einzubauen, der eine deutlich stärkere Änderung der Wärmeleitfähigkeit bei Druckänderungen im gewünschten Messbereich zeigt als das eigentliche Füllmaterial. Die Wärmeleitfähigkeit des Fremdkörpers und damit der Paneelinnendruck werden durch Aufsetzen eines beheizten Sensors auf das VIP bestimmt.

1. Wärmefluss in ein VIP mit eingebautem Fremdkörper

In das Paneel wird ein dickes Stück des Fremdkörpers, z.B. ein offenporiger XPS-Schaum, direkt unterhalb der Umhüllungsfolie eingebaut. Ein beheizter Sensor wird zur Messung an dieser Stelle von außen auf die Folie aufgesetzt. Der am Sensor gemessene Wärmefluss in das VIP ist im Wesentlichen von der Effusivität bestimmt, die ein Maß für das Eindringen von Wärme in den Fremdkörper ist; d. h. das Messsignal ist proportional $\sqrt{\lambda_{Fremdkörper}}$.

2. Wärmefluss auf eine im VIP integrierte Metallplatte

Bei diesem Verfahren wird bei der Fertigung eine kleine Metallplatte in das VIP eingelegt, die von der Außenhülle durch einen dünnen Stoff (z.B. ein Vlies) getrennt ist [Caps]. Das Vlies ist der im Vergleich zum Füllmaterial grobporigere Fremdkörper, dessen Wärmeleitfähigkeit bei Druckvariation eine größere Änderung aufweist als das Füllmaterial. Im Gegensatz zur zuvor beschriebenen Messung der Effusivität an einem Fremdkörper ist das Messsignal bei diesem Verfahren direkt proportional zur Wärmeleitfähigkeit des Fremdkörpers (und nicht nur zur Quadratwurzel der Wärmeleitfähigkeit). Durch das Einbringen der Metallplatte wird für eine gewisse Zeit ein stationärer Messvorgang erreicht.

Die Bestimmung des Gasdrucks erfolgt über eine zuvor ermittelte, vliesspezifische Kalibrierung. Das

Messsignal ist proportional zur Temperaturdifferenz zwischen Sensor und Metallscheibe zu Beginn der Messung. Deshalb muss die Temperatur der Metallscheibe vor der Messung, z.B. durch Messung der Umgebungstemperatur, bestimmt werden. Alternativ kann aus der Steigung bei logarithmischer Auftragung des Messsignals die Wärmeleitfähigkeit des Vlieses bestimmt werden.

Die Auflösung des Verfahrens ist vor allem durch die Abhängigkeit der Wärmeleitfähigkeit des Vlieses vom Gasdruck bestimmt. Die größte Änderung der Wärmeleitfähigkeit im gewünschten Druckbereich und damit die beste Auflösung für die Messung ergibt sich für $p_{1/2} \approx p$. Durch geeignete Wahl des Vlieses kann somit der Messbereich gewählt werden, in dem das Verfahren besonders sensibel ist.

Da der Wärmefluss vom Sensor nicht ausschließlich auf die im VIP befindliche Metallplatte, sondern auch lateral über die das VIP umhüllende Folie erfolgt, muss bei der Verwendung unterschiedlicher Hüllfolien für jede Folie eine separate Kalibrierung erfolgen.

Neben der bereits erwähnten Abhängigkeit der Wärmeleitfähigkeit des VIP vom Feuchtigkeitsgehalt des Füllmaterials wirkt sich der Feuchtigkeitsgehalt auch auf die Wärmeleitfähigkeit des Vlieses aus. Außer den „trockenen Gasen“ Stickstoff und Sauerstoff ist es vor allem Wasserdampf, der in das VIP eindringt. Wenn Feuchtigkeit im VIP vorhanden ist, kann dies sowohl eine höhere als auch eine niedrigere Wärmeleitfähigkeit des Vlieses nach sich ziehen. Wasserdampf hat bei Normaldruck eine um ca. 30 % geringere Wärmeleitfähigkeit als Luft was zu einem geringeren Wärmefluss führen müsste. An den Fasern und in der Hüllfolie angelagertes Wasser, das durch die Erwärmung mit dem Sensor verdampft, verursacht hingegen einen höheren Wärmefluss und führt damit zu einer Überschätzung des Gasdrucks. Lagert sich das Wasser hingegen an den Berührungspunkten der Fasern oder Pulverteile an, so führt dies zu einer Erhöhung des Wärmetransports über das Festkörpergerüst.

Das Verfahren wird bei der Fertigungskontrolle von VIP angewandt [Caps] und ermöglicht eine schnelle und einfache Gasdruckmessung an trockenen Paneelen. Die Mehrkosten bei der Fertigung für die Integration der Sensorscheibe sind gering. Die Auflösung des Verfahrens hängt vom verwendeten Aufbau und vom gewünschten Messbereich ab.

3.5 Effusivitäts-Messung

1. Bei konstanter Wärmezufuhr (Hot Disk-Verfahren)

Setzt man die Oberfläche eines idealerweise unendlich dicken Körpers einer konstanten Wärmezufuhr aus, gilt für die Temperatur an der Oberfläche [Fricke]:

$$T(t) = 2 \cdot \Phi \cdot \sqrt{\frac{t}{\lambda \cdot \rho \cdot c_p \cdot \pi}} = \frac{2 \cdot \Phi}{E} \sqrt{\frac{t}{\pi}} \quad (3-2)$$

mit:

- $T(t)$ Temperatur an der Oberfläche für $t > 0$,
- Φ Wärmestrom,
- t Zeit und
- E Effusivität.

Bei diesem Verfahren wird der Sensor, eine flache, beheizbare Scheibe, zur Messung zwischen zwei Proben gelegt. Der Temperaturanstieg wird bei konstanter Heizleistung ausgewertet. Idealerweise steigt

die Temperatur wie in Gl. (3-2) proportional mit \sqrt{t} an, und ist proportional zu $1/E$. In Bezug auf VIP wurde das Verfahren als Testverfahren in der Qualitätskontrolle in Erwägung gezogen [Defer].

Aus technischer Sicht ist die Realisierung dieses Verfahrens vergleichsweise einfach, da keine Temperaturregelung benötigt wird, sondern lediglich ein Temperatursensor und eine Konstantleistungsquelle. Dem stehen bei genauer Betrachtung des Verfahrens jedoch auch einige Nachteile gegenüber.

Wird ein VIP lokal erwärmt, treten abhängig vom Hüllmaterial laterale Wärmeströme auf, die den Wärmestrom in das Kernmaterial um ein vielfaches übersteigen können und somit die Auswertung erheblich erschweren. Ebenfalls ist aus Gl. (3-2) nicht ersichtlich, dass dieses Verfahren sehr sensibel auf die Ankopplung des Messkopfes an die Oberfläche reagiert. Da die Sensortemperatur während der Messung kontinuierlich steigt, besteht immer eine Differenz zwischen der Sensortemperatur und der Oberflächentemperatur. Dieser Effekt des Kopplungswiderstandes wird umso störender, je größer der in die Oberfläche eindringende Wärmefluss ist.

Gl. (3-2) bezieht sich auf die Erwärmung eines homogenen Körpers. VIP sind aber selbst im eindimensionalen Fall ein Schichtsystem aus Hülle und Füllkern. Während man mit der Messung die Änderung der Wärmeleitfähigkeit des Füllkerns detektieren möchte, ist die Temperaturänderung an der Oberfläche bei konstanter Wärmezufuhr jedoch vor allem von den Eigenschaften der oberflächennahen Schichten bestimmt. Insbesondere bei Hüllflächen mit hoher Wärmekapazität oder großer Querleitung führen geringe Variationen zu größeren Änderungen im Temperaturanstieg als eine Änderung der Wärmeleitfähigkeit des VIP-Kerns.

Eine Variation der Effusivität eines VIP und damit der Wärmeleitfähigkeit kann mittels des Verfahrens konstanter Wärmezufuhr zwar anhand des Temperaturanstiegs prinzipiell detektiert werden, doch kann die Eignung des Messverfahrens nur anhand des jeweiligen VIP Systems beurteilt werden. Um mit diesem Verfahren reproduzierbare Messungen durchführen zu können, muss der Sensor außerdem nach jeder Messung eine gewisse Zeit abkühlen. Dies kann zu einer erheblichen Wartezeit zwischen zwei aufeinander folgenden Messungen führen, es sei denn, die Wärmekapazität des Sensors ist so gering, dass die Messung nicht erheblich beeinflusst wird.

2. Bei konstanter Temperaturdifferenz

Die Effusivität E , auch als Wärmeeindringkoeffizient bezeichnet, ist definiert als

$$E = \sqrt{\lambda \cdot \rho \cdot c_p}, \quad (3-3)$$

mit:

- λ Wärmeleitfähigkeit,
- ρ Dichte,
- c_p spezifische Wärmekapazität.

Die Definition wird abgeleitet aus der Lösung der zeitabhängigen eindimensionalen Differentialgleichung für Wärmetransport im Festkörper. E beschreibt hierbei den Wärmestrom in einen halbbunendlichen Körper, dessen Oberflächentemperatur sich zum Zeitpunkt $t=0$ sprunghaft von T_0 auf T_1 ändert. Für die Wärmestromdichte q an der Oberfläche gilt dann:

$$q = (T_1 - T_0) \cdot \sqrt{\frac{\lambda \cdot \rho \cdot c_p}{\pi \cdot t}} = (T_1 - T_0) \cdot E \cdot \sqrt{\frac{1}{\pi \cdot t}} \quad (3-4)$$

Die Wärmeleitfähigkeit ergibt sich damit aus Gl. (3-4) zu:

$$\lambda = \frac{\pi \cdot t}{\rho \cdot c_p} \left(\frac{\Phi(t)}{A \cdot \Delta T} \right)^2, \quad (3-5)$$

mit:

- $\Phi(t)$ Wärmestrom vom Sensor in das VIP,
- A Messfläche des Sensors und
- ΔT Temperatursprung, $\Delta T = T_1 - T_0$.

Damit eine Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit aus einer Messung der Effusivität möglich ist, müssen Dichte und Wärmekapazität sowie die Starttemperatur der Probe und die Temperatur des Sensors hinreichend genau bekannt sein.

Am ZAE Bayern wird ein mobiler thermischer Sensor entwickelt, der in der Lage ist, die Wärmeleitfähigkeit von VIP mit dicker Edelstahlhülle und durch eine einseitige thermische Messung zu bestimmen. Die Messapparatur soll es vor allem ermöglichen, eine Veränderung der Wärmeleitfähigkeit von einer zur nächsten Messung nachzuweisen, und ist im aktuellen Entwicklungsstadium nicht darauf ausgerichtet, Absolutwerte der Wärmeleitfähigkeit zu messen.

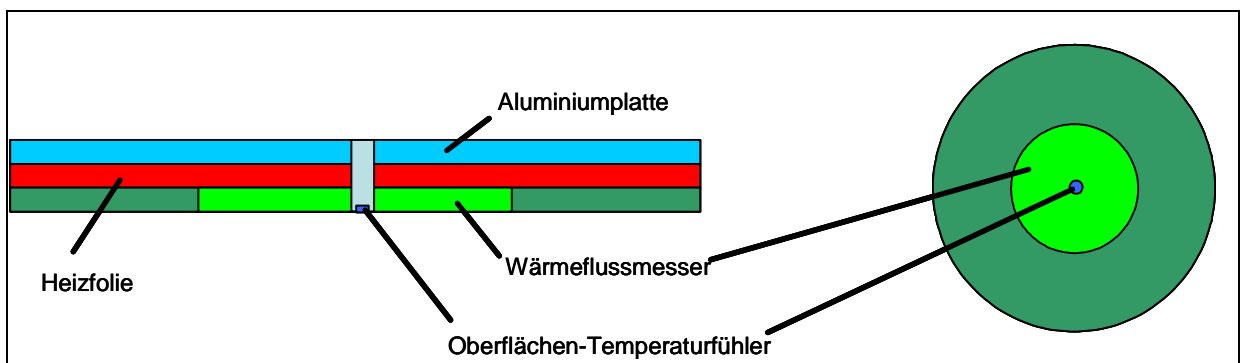


Bild 3.1: Schnitte eines beheizten Messkopfes zur Messung der Effusivität

Die VIP, an denen die Messung durchgeführt werden sollen, haben eine Edelstahlhülle, die je nach Anwendung bis zu 4 mm dick ist. Diese beeinflusst in hohem Maße das Eindringen von Wärme in die Oberfläche. Dies geschieht zum einen durch seitliche Wärmeflüsse, zum anderen durch die Wärmekapazität der Stahlhülle. Vor dem Aufbau der Apparatur wurden mit der FDM Software HEAT 2 zahlreiche Simulationsrechnungen durchgeführt, um die prinzipielle Machbarkeit zu überprüfen und unterschiedliche Betriebsmodi zu testen.

Nimmt man zunächst vereinfachend an, dass alle Parameter außer der VIP-Wärmeleitfähigkeit genau bekannt sind, lässt sich prinzipiell jede Änderung der Wärmeleitfähigkeit durch eine Effusivitätsmessung nachweisen. Bei den Simulationen muss deshalb berücksichtigt werden, dass die für die Effusivitätsmessung relevanten Parameter Temperatur, Dichte und Wärmekapazität - insbesondere der

Hülle - mit Unsicherheiten behaftet sind. Nach Gl. (3-5) wirken sich Unsicherheiten in der Temperaturdifferenz zwischen Sensor und VIP besonders kritisch aus, da die Temperaturdifferenz quadratisch bei der Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit eingeht. Zur Messung wird auf das Paneel ein beheizter Sensorkopf gelegt, der mit einem Wärmeflussmesser versehen ist. Der Sensorkopf ist deutlich größer als der Wärmeflussmesser. Der überstehende Rand wirkt wie ein Schutzring, der die Ausbildung lateraler Wärmeströme weitgehend verhindert.

Mit Simulationsrechnungen konnte gezeigt werden, dass Unsicherheiten beim Kopplungswiderstand zwischen dem Sensor und der VIP Oberfläche, der Temperatur oder in der Dicke des Edelstahlbleches den Wärmefluss in die Oberfläche sehr stark beeinflussen. Wegen der hohen Wärmekapazität der Hülle führen außerdem bereits geringe Variationen der Starttemperaturdifferenz zu erheblichen Variationen beim zeitlichen Verlauf des Wärmeflusses in die Hülle des VIP. Wird hingegen die Temperatur der VIP-Hülle konstant gehalten, so wird nur noch die Wärmemenge in die Oberfläche fließen, die von der Hülle in das Kernmaterial geleitet wird. Die gemessene Heizleistung wird entsprechend Gl. (3-5) lediglich von der Wärmeleitfähigkeit des Kernmaterials abhängen.

Die Ansteuerung erfolgt so, dass die Edelstahl-Hülle zunächst mit dem Sensor möglichst schnell aufgeheizt wird. Gleichzeitig wird mit Hilfe eines Kontaktfühlers in der Mitte des Sensors die Oberflächentemperatur der Hülle erfasst. Überschreitet die Oberflächentemperatur einen bestimmten Grenzwert, wird die Heizung des Sensors abgeschaltet und der Sensor kühlt sich solange ab, bis er die gleiche Temperatur wie die Oberfläche der VIP-Hülle annimmt. Ab diesem Zeitpunkt wird der Sensor auf dieser Temperatur konstant geregelt. Da die Temperatur der Hülle sich nicht mehr ändert, entspricht der gemessene Wärmefluss in die Oberfläche dem Wärmefluss, der in den Kern des VIP eindringt. Hierbei ist die Stahlhülle wegen ihrer hohen Leitfähigkeit und Wärmekapazität als annähernd stationär anzusehen.

Durch diese Art der Steuerung wird die Hülle quasi Teil des Sensors, der auf dem Kernmaterial aufliegt. Voraussetzung für eine erfolgreiche Messung ist, dass sich die Hülle im Bereich des Sensors homogen aufheizen lässt. Das wird durch den großen Unterschied der Wärmeleitfähigkeiten von Hülle und Kern von ca. vier Größenordnungen entscheidend begünstigt.

4 Fazit

Für die Qualitätskontrolle an Vakuumpaneelen sowohl in Prüfeinrichtungen als auch in der Fertigung, auf der Baustelle und für spätere Kontrollen im eingebauten Zustand stehen unterschiedliche Messmethoden zur Verfügung, deren Genauigkeit stark variiert. Die Messwerte der verschiedenen Methoden können daher nur mit der Angabe von Messunsicherheiten miteinander verglichen werden. Der Messvorgang und die Auswertung erfordern zum Teil große Erfahrung, da je nach Hüllmaterial oder Einbausituation Abweichungen vom Idealfall auftreten können.

Diese Projekt wird gefördert durch Mittel des Bundesministeriums für Wirtschaft und Arbeit (FKZ: 0327321E).

Literatur

- [Defer] Defer, Antczak, Duthoit, *Measurement of low-thermal effusivity of building materials using thermal impedance method*, Measurement and Science Technology 12 (2001) 549–556, IOP Publishing Ltd, UK 2001
- [Heinemann] U. Heinemann, *Evacuatable Guarded Hot Plate for Thermal Conductivity Measurements between -200°C and 800°C*, Advances in Thermal Insulation – Proceedings of the Eurotherm Seminar No 44, Portugal, October 1995
- [Fricke] J. Fricke, W.L. Borst, *Energie*, R. Oldenbourg Verlag, München, Wien, 1984
- [Caps] R. Caps, *Vorrichtung und Verfahren zur Messung des Gasdruckes in evakuierten Dämmplatten*, Deutsches Patent DE 10215213 C1, September 2003
- [Kaganer] M. G. Kaganer *Thermal Insulation in Cryogenic Engineering, Program for Scientific Translation*, Jerusalem, 1969
- [Schwab; a] Schwab H. et al, *Permeation of Different Gases Through Foils used as Envelopes for Vacuum Insulation Panels*, Journal of Thermal Envelope and Building Science 2005 28: 293-317
- [Schwab; b] Schwab H. et al, *Dependence of Thermal Conductivity on Water Content in Vacuum Insulation Panels with Fumed silica Kernels*, Journal of Thermal Envelope and Building Science 2005 28: 319-326
- [Schwab; c] Schwab H. et al, *Predictions for the Increase in Pressure and Water Content of Vacuum Insulation Panels (VIPs) Integrated into Building Constructions using Model Calculations*, Journal of Thermal Envelope and Building Science 2005 28: 327-344
- [Schwab; d] Schwab H. et al, *Thermal Bridges in Vacuum-insulated Building Facades*, Journal of Thermal Envelope and Building Science 2005 28: 345-355
- [Schwab; e] Schwab H. et al, *Prediction of Service Life for Vacuum Insulation Panels with Fumed Silica Kernel and Foil Cover*, Journal of Thermal Envelope and Building Science 2005 28: 357-374

Dr. Dietrich Büttner, Dr. Cornelia Stark, Daniel Kraus, Marco H. Keller

ZAE Bayern e.V., Am Hubland, 97074 Würzburg

Tel: 0931-70564-0, Fax: 0931-70564-60

www.zae-bayern.de

buettner.dietrich@zae.uni-wuerzburg.de