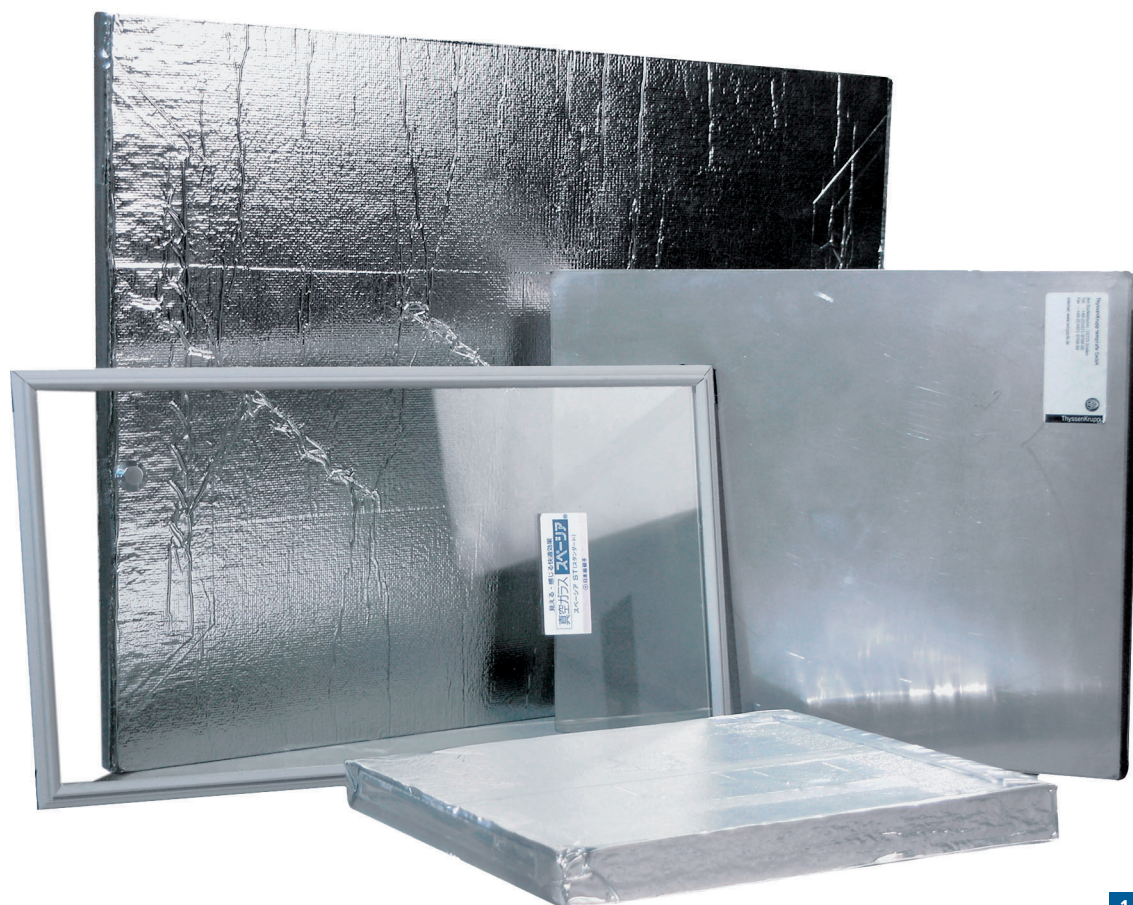


Vakuum-Dämmsysteme – der Stand der Technik und zukünftige Entwicklungen

WIRKUNGSPRINZIP VON VAKUUM-DÄMMSYSTEMEN

TEIL 1



Vakuum-Dämmsysteme gehören derzeit zu den grossen Innovationsfeldern im Baubereich und erfahren überall zunehmende Aufmerksamkeit. Sind sie geeignet, die hoch gesteckten Erwartungen zu erfüllen? Im Gegensatz zu den meisten im Baubereich eingesetzten Produkten handelt es sich um hoch komplexe Systeme, deren Einsatz so manche Fehlerquelle bereithält und die daher von Planer und Anwender ein hohes Mass an Kompetenz erfordern.

* Jan Cremers, Dipl.-Ing. Architekt
Technische Universität München
Lehrstuhl für Gebäudetechnologie
Prof. Thomas Herzog
D-München

Haupteigenschaft eines jeden Wärmedämmstoffes ist die möglichst umfassende Unterbindung des Wärmetransports. Dieser erfolgt grundsätzlich über die drei Wege Wärmeleitung (Gas- und Festkörperleitung), Wärmestrahlung und Wärmeströmung (Konvektion). Für eine betrachtete Schicht ist die übertragene Energiemenge pro Zeit abhängig von der Temperaturdifferenz zwischen den angrenzenden Seiten, der Schichtdicke und der Wärmeleitfähigkeit der die Schicht bildenden Materialien.

Der Wärmetransport eines konventionellen Dämmstoffs setzt sich typischerweise aus Anteilen von 20–30% für Wärmestrahlung, 5–10% für Wärmeleitung über das Gerüstmaterial und ca. 65–75% für Wärmeleitung über das eingeschlossene Gasvolumen zusammen.¹ Konvektion spielt innerhalb von üblichen Dämmstoffen keine Rolle.

Konventionelle Dämmstoffe im Baubereich erreichen eine Wärmeleitfähigkeit von minimal ca. 0,030 W/(mK), die immer noch über der ruhender Luft mit ca. 0,026 W/(mK) liegt.

Für poröse Dämmstoffe ergeben sich zunächst folgende Optimierungsstrategien für die einzelnen Wärmetransportwege:

1. Die Gerüstwärmeleitung wird durch ein Material mit einer geringen spezifischen Wärmeleitfähigkeit minimiert, also durch eine möglichst trockene, nichtkristalline Struktur mit punktförmigen Materialübergängen und von möglichst geringer Dichte.

2. Die Gaswärmeleitung (nicht Konvektion) kann wirkungsvoll durch die Wahl eines Gases mit geringer Wärmeleitung reduziert werden sowie durch ein Gerüstmaterial maximaler Porosität mit

minimalen Porengrößen. Mikroporöse Materialien wie pyrogene Kieselsäurepulver oder Aerogele erreichen hierdurch Wärmeleitfähigkeiten, die mit ca. 0,018 W/(mK) bereits deutlich unter der ruhender Luft liegen.

3. Die Wärmestrahlung hingegen kann nur durch die gleichmässige Verteilung eines für Infrarotstrahlung schwer durchdringbaren Materials hoher Dichte (sog. Trübungsmittel) im Dämmstoffgerüst eingeschränkt werden.

Das gemeinsame Wirkungsprinzip von Vakuum-Dämmsystemen besteht nun darin, den Haupt-Wärmeübertragungsweg, die Gaswärmeleitung, durch eine möglichst umfassende Reduktion der Gasmenge (also durch Evakuierung) zu minimieren.

Die Wärmeübertragung lässt sich allerdings dadurch (auch theoretisch) nicht vollständig unterbinden, denn auch wenn die Gaswärmeleitung vollständig ausgeschaltet werden könnte, bleiben die Festkörperleitung und die Strahlungsübertragung, die nicht gleichzeitig minimiert werden können, sondern vielmehr gegensätzli-

che Materialeigenschaften verlangen, relevant. Insbesondere würde ein vollständig evakuiertes System ohne jedes Kernmaterial dem Strahlungsaustausch überhaupt kein Hindernis bieten.

Um den Unterdruck in einem Vakuum-Dämmsystem auf Dauer zu erhalten, ist eine das evakuierte Volumen umgebende gasdichte Hülle erforderlich, die beispielsweise aus Glas, Metallblech, Kunststoff- oder Kunststoffverbundfolien bestehen kann. Das eingeschlossene Volumen kann entweder leer oder mit einem Kernmaterial ausgefüllt sein, das vollständig offenzellig und damit evakuierbar ist. Das System muss je nach Höhe des Vakuums einen erheblichen Teil des Atmosphärendrucks (maximal äquivalent zu ca. 10,3 t/m²) aufnehmen können.

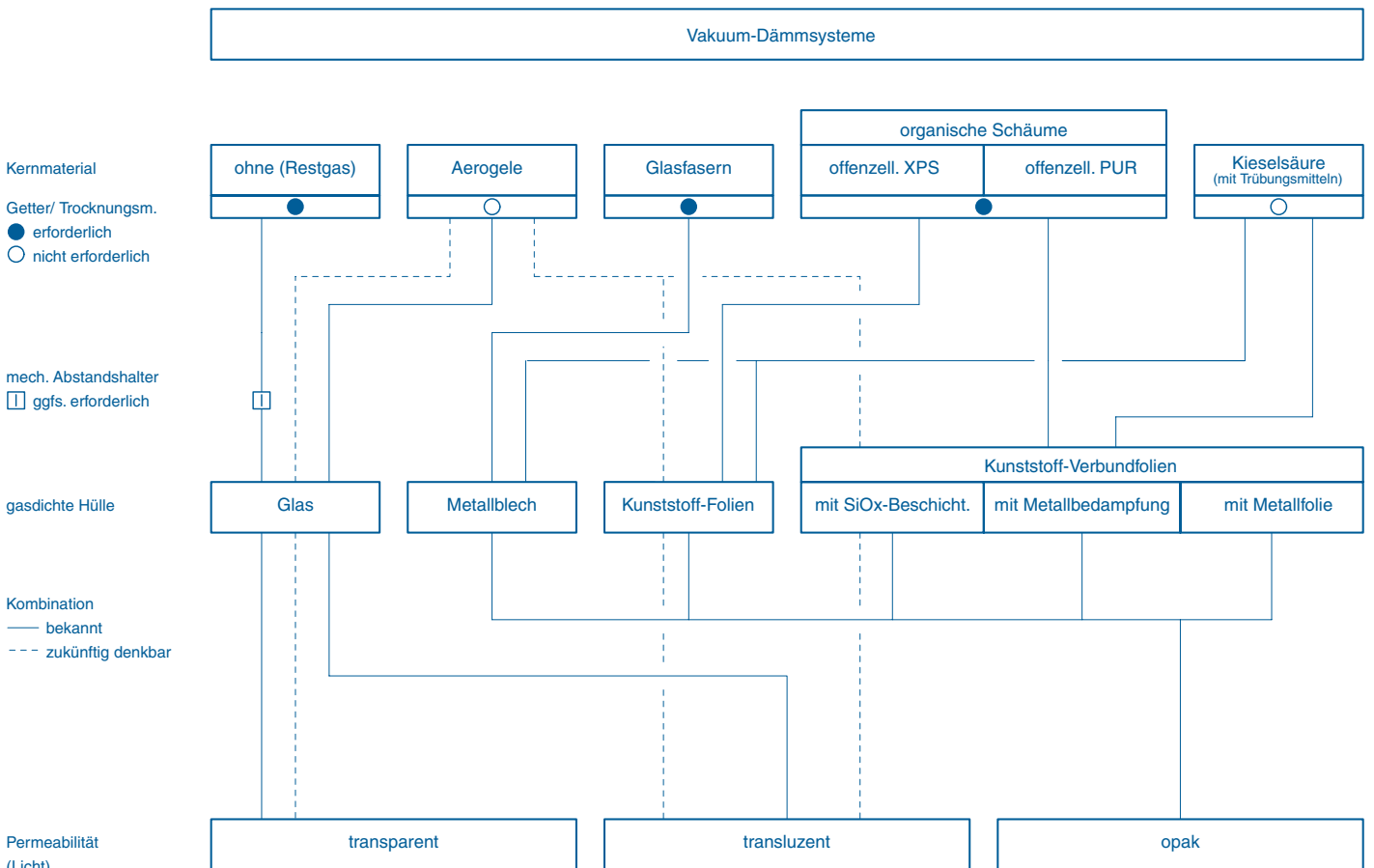
Die Abbildung 2 gibt einen Überblick über die Kombination möglicher Einzelkomponenten und die lichtbezogenen Permeationseigenschaften (transparent, transluzent, opak) der jeweiligen Dämmsysteme. (Die dargestellte Kombination Glas mit evakuiertem Hohlraum, allgemein unter dem Begriff «Vakuumverglasung» eingeführt, soll hier nicht weiter thematisiert werden.)

Kernmaterial

Im Baubereich konzentriert man sich derzeit vor allem auf opake Systeme mit mikroporösem Dämmkern, meist aus glasfaserverstärkter, pyrogener Kieselsäure, deren Aufbau in Abbildung 3 dargestellt ist.

Der Grund dafür ist, dass diese Materialgruppe über eine sehr hohe Porosität verbunden mit einer derart geringen Porengrösse verfügt, dass Gasleitungseffekte schon hierdurch stark unterdrückt werden.² Ausserdem führt dieser Zusammenhang dazu, dass die Wärmeleitfähigkeit schon bei verhältnismässig geringem Unterdruck stark absinkt und bereits bei ca. 10 mbar in die Nähe ihres Minimums bei ca. 0,004 W/(mK) gelangt.

Daraus ergeben sich geringere Anforderungen an den Herstellungsprozess, höhere tolerierbare Gas-Permeationsraten für das Hüllmaterial und die Fügungsstellen (Siegel- bzw. Schweissnähte) und damit vor allem eine potentiell längere Funktionsdauer, denn diese wird über einen maximal zulässigen Druckanstieg im System bestimmt.



Andere Kernmaterialien (z.B. offenzellige Schäume) spielen derzeit für den Baubereich keine nennenswerte Rolle, da sie höhere Anforderungen an das Vakuum richten und damit die gewünschte Funktionsdauer für Anwendungen im Baubereich bisher nicht ermöglichen.

In Zukunft könnten Aerogele vor allem für den Einsatz in transluzenten Vakuum-Dämmsystemen an Bedeutung gewinnen. Transparente Hochbarrierefolien (auf reiner Polymerbasis oder mit Metall-Oxyde-Beschichtungen) erreichen heute zwar noch nicht die erforderlichen Permeationsraten, befinden sich aber in der Weiterentwicklung.

Hüllmaterial

Hier kommen derzeit zwei Materialgruppen zum Einsatz, die zu zwei sehr unterschiedlichen Systemen führen: Metallisierte Kunststoff-Verbundfolien und Edelstahlbleche.

Die erste Gruppe wird in der Literatur im Allgemeinen als Vacuum-Insulation-Panel (VIP) bezeichnet, die zweite als Vacuum-Insulating-Sandwich (VIS).³ Die wesentlichen Eigenschaften beider Systeme sind in der Tabelle auf Seite 15 gegenübergestellt.

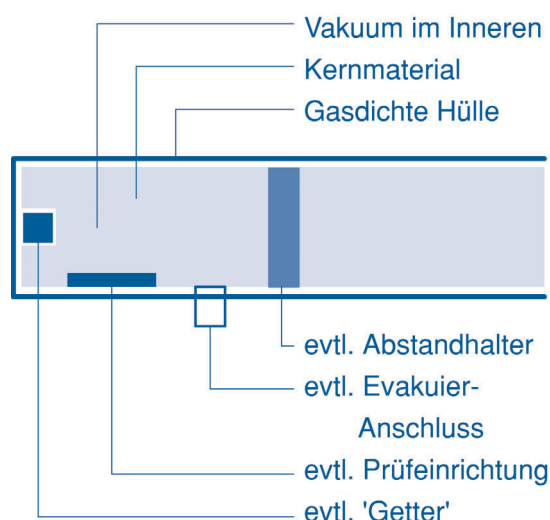
Qualitätskontrolle

Die Wärmeleitfähigkeit von Vakuum-Dämmsystemen hängt vor allem vom inneren Gasdruck und Feuchtegehalt des Kernmaterials ab. Daher kann die erste physikalische Größe prinzipiell zur Qualitätskontrolle herangezogen werden, wenn Initialgasdruck und -feuchtigkeit des Systems bekannt sind. Wenn man innere Effekte (wie z.B. Ausgasen) vernachlässigt, hängt ein eventueller Druckanstieg in erster Linie von der Qualität der Umhüllungsmaterialien und des Randverbundes ab.

Da man undichte Paneele mit rein optischen Mitteln kaum erkennen kann, insbesondere dann nicht, wenn sie schon eingebaut und verdeckt sind, bilden Innendruck-Messverfahren die einzige Möglichkeit der Qualitätskontrolle.

Die damit zusammenhängende besondere Schwierigkeit bei Vakuum-Dämmsystemen besteht darin, dass – auch aus Gründen der konkreten Gewährleistung – die Kontrollen die ganze Produktionskette von der Herstellung über Transport, Lagerung und Einbau lückenlos erfassen sollten, da auch ein einmal geprüftes und für gut befundenes Paneel im Verlauf der weiteren Schritte Schaden nehmen könnte, ohne dass dies ohne Hilfsmittel erkennbar wäre.

Auf Grund dieser Notwendigkeit zu mehrfachen Kontrollen an verschiedenen Orten sind insbe-



1 Verschiedene verfügbare Vakuum-Dämmsysteme.
Foto: Jan Cremers

2 Vakuum-Dämmsysteme, Kombinationen möglicher Einzelkomponenten

3 Prinzipieller Aufbau eines Vacuum-Insulation-Panels (VIP)

3

sondere Verfahren geeignet, die schnell Ergebnisse liefern und unkompliziert sind. Zu bevorzugen sind Methoden, die die Durchdringung der Hülle nicht erfordern und zu deren Anwendung es ausreicht, wenn das Paneel punktuell zugänglich ist.

Mit dem von der Würzburger Firma va-Q-tec AG entwickelten va-Q-check-Verfahren steht für VIP mit dem Hüllmaterial Kunststoffverbundfolie seit kurzem ein geeignetes Verfahren bereit, eine solche die ganze Prozesskette abdeckende Qualitätssicherung durchzuführen.⁴ In jedes Paneel wird während der Herstellung ein von einem Vlies bedecktes Metallplättchen direkt unter der Hüllfolie platziert. Mit einem Messgerät kann daraufhin von aussen zerstörungsfrei und schnell die Wärmeleitfähigkeit der Vlieseinlage zwischen Metallplättchen und Hüllfolie bestimmt werden, die direkt vom Paneel-Innendruck abhängig ist und damit indirekt Aussagen über den Zustand des Paneels erlaubt.

Das Verfahren ist ausreichend genau, um durch mehrfache, zeitversetzte Messungen und die ermittelten Differenzen Aussagen über die weitere Entwicklung einzelner Paneele abzuleiten.

Unter Umständen kann es auch interessant sein, einzelne oder alle Dämmelemente einer Baumaßnahme mit fest angeschlossenen Sensoren zu bestücken, mittels derer zentral über längere Zeit Daten erfasst werden können und so die Datenbasis für Aussagen zu langfristigen Entwicklungen geschaffen wird. Das va-Q-check-Verfahren kann für Systeme mit Edelstahlblechhülle und Evakuierflansch nicht angewendet werden. Für diese Gruppe kann die Dichtheit

mittels einer Heliumdichtigkeitsprüfung nach dem «Integralen Vakuumverfahren» (gem. DIN EN 1779) ermittelt werden. Da das Edelstahl selbst als gasdicht angenommen werden kann und der Evakuierflansch versuchstechnisch nicht erfassbar ist, bezieht sich die gemessene Leckrate ausschliesslich auf die Schweißverbindungen. Die Dichtheit des Evakuierflansches muss separat ermittelt werden. Das Verfahren ist nach Angaben des Herstellers lambdasave GmbH ausreichend schnell, um eine 100%-ige Kontrolle aller die Firma verlassenden Elemente zu gewährleisten, wodurch jeweils die individuelle Funktionsdauer angegeben werden kann (ohne Berücksichtigung einer ausserdem möglichen Nachevakuierung).

Grundsätzlich lässt sich die Funktion von Vakuum-Dämmsystemen in eingebautem Zustand auch mit Thermographie-Aufnahmen nachweisen. Genaue quantitative Aussagen lassen sich damit allerdings nicht erzielen.

Wärmeleitgruppen-Klassifizierung

Bislang existieren keine für den Baubereich zugelassenen Produkte aus dem Bereich der Vakuum-Dämmsysteme. Da deren Wärmeleitfähigkeit in hohem Masse von individuellen Randbedingungen abhängen, werden durch die Hersteller im Allgemeinen nur Wärmeleitwerte angegeben, die für die ungestörte Paneelfläche (also die Panelmitte) gelten, die deshalb auch in der Praxis in keiner Einbausituation erreicht werden können. Erzielbare U-Werte (und damit «mittlere» Wärmeleitzahlen) werden vor allem durch Geome-

trie, Materialwahl und die Art der Randausbildung und -anschlüsse bestimmt.

(Dies zeigt Abb. 4.)

Durch die EMPA wurden «sichere» allgemeine Bemessungswerte für die Wärmeleitfähigkeit vorgeschlagen, die je nach VIP-Typ zwischen 6 und 8 mW/(mK) liegen.⁵

Ökologie

Folgendes lässt sich hierzu nach dem derzeitigen Kenntnisstand konstatieren:⁶

- Der Materialaufwand insgesamt ist auf Grund der hohen Effizienz relativ gering.
- Bei den bisher im Baubereich eingesetzten Systemen bilden die Kieselsäureplatten (ausser Edelstahl bei VIS) den gewichtsmässig massgeblichen Anteil, die ebenso wie das Hüllmaterial Edelstahl uneingeschränkt wiederverwertbar sind.
- Nach gezielter Belüftung der Systeme lassen sich diese ohne nennenswerten Aufwand in ihre Bestandteile zerlegen. Sie sind dann verbundfrei und rezyklierbar.
- Die bisher verwendeten Verbundfolien sind nicht direkt wiederverwertbar, haben aber einen sehr geringen Gewichtsanteil und können teilweise recycelt werden.

Ausblick

Folgende Aspekte müssen zukünftig behandelt werden, um zu einer Verbreiterung der Einsatz-

möglichkeiten von Vakuum-Dämmsystemen im Baubereich zu führen:

- Weitere Verbesserung der Hüllmaterialien: Reduzierung der Permeationsraten in der Fläche und im Bereich der Siegelnähte.
- Suche nach alternativen Kernmaterialien, die ähnlich positive Eigenschaften aufweisen, aber kostengünstiger sind, um das Gesamtsystem wirtschaftlich interessanter zu machen.
- Entwicklung von transluzenten oder gar transparenten Systemen um das Einsatzspektrum insgesamt zu erweitern. Als Beispiel hierfür wären Glas-Aerogel-Glas-Systeme zu nennen.
- Erwirkung von Allgemeinen Bauaufsichtlichen Zulassungen für einzelne Systeme, um die Produkte verlässlich einsetzen zu können.
- Entwicklung von geeigneten Standardkonstruktionen mit möglichst hohem Vorfertigungsgrad, um Fehlerquellen durch unerfahrene und inkompetente Anwender auszuschliessen und um die hohen Verletzungsrisiken der Hülle durch die Handhabung von Vakuum-Dämmsystemen auf der Baustelle zu reduzieren.

Anmerkungen

[1] vergl. Reisacher, Hannes: VIP – Stand der Technik, Fa. Porextherm-Dämmstoff GmbH, Kempten; Rostock (VIP-Bau-Konferenz), 2003, Tagungsband, S. B2

[2] vergl. Schwab, Hubert; Heinemann, Ulrich;

Fricke, Jochen: Vakuum-Isolationspaneele – ein hocheffizientes Dämmsystem der Zukunft. In Detail 7-2001, S. 1301 – 1304

[3] siehe hierzu Willems, Wolfgang M.: Vakuumdämmung (Kapitel B2) in Cziesielski, Erich (Hrsg.): Bauphysik Kalender, 4. Jahrgang. Berlin: Ernst & Sohn, 2004, S. 83 – 124

[4] Caps, Roland: Massnahmen zur Qualitätssicherung von Vakuumdämmplatten, Fa. va-Q-tec AG, Würzburg, Rostock (VIP-Bau-Konferenz), 2003, Tagungsband, S. R1 – R11

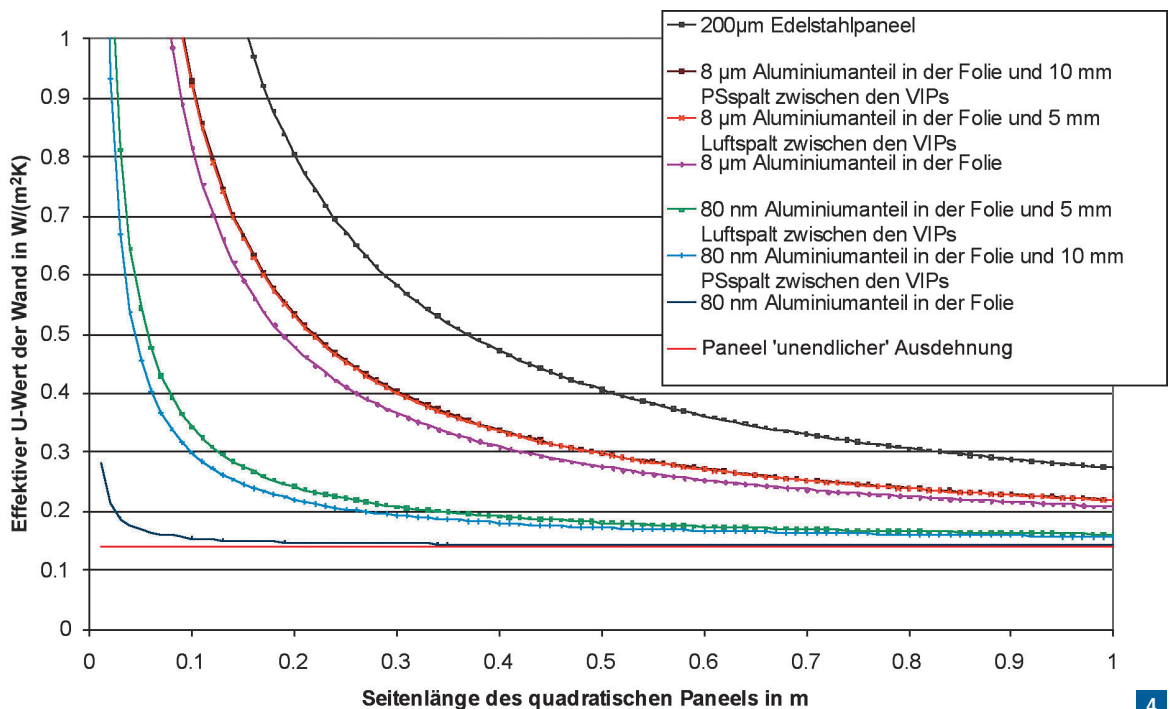
[5] Simmler, H.; Brunner, S.: Kann die Lebensdauer von Vakuumisolationssystemen vorausgesagt werden? Dübendorf: Eidgenössische Materialprüfungsanstalt EMPA, 2004

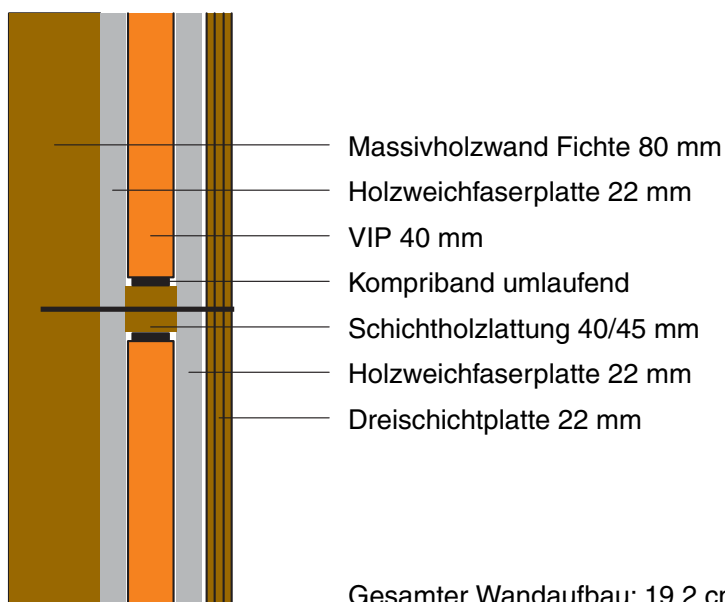
[6] siehe ausführliche Darstellung in Schonhardt, U.; Binz, A. u.a.: Ökobilanz eines Vakuum-Isolations-Paneele (VIP), Studie im Auftrag des Bundesamtes für Energie, Schweiz, Schlussbericht, Ittingen (CH), 2003

Weitere Informationen unter <http://www.vip-bau.ch> und <http://www.vip-bau.de>

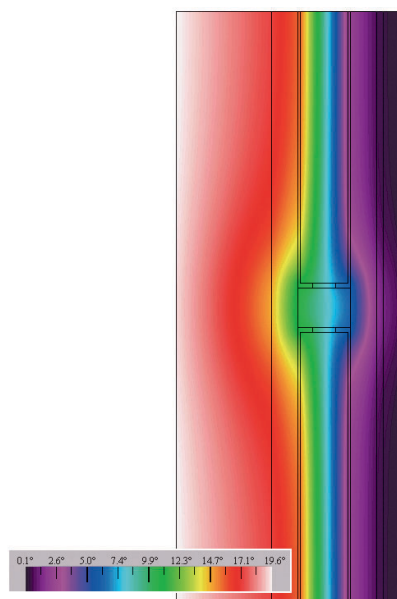
Der Autor ist Architekt und wissenschaftlicher Mitarbeiter an der TU München, Lehrstuhl für Gebäudetechnologie, Prof. Dr. (Univ. Rom) Thomas Herzog, und beschäftigt sich derzeit im Rahmen eines Promotionsvorhabens mit dem Thema der architektonischen Einsatzmöglichkeiten von Vakuum-Dämmsystemen im Bereich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

4 Effektive U-Werte für einen speziellen Wandaufbau (17,5 cm Kalksandstein, 3 cm VIP, 3 cm Polystyrol) in Abhängigkeit von der Seitenlänge eines quadratischen Paneels für verschiedene Folien (Edelstahlblech zum Vergleich) und Stossvarianten. Quelle: ZAE-Bayern





Gesamter Wandaufbau: 19,2 cm
 U-Wert ca. 0,14 W (m²K)



5 Wandaufbau mit VIP, Isothermendarstellung, Wohnhaus in München, Architekt Florian Lichtblau, München. Dem Thema Wärmebrücken in Wandaufbauten mit VIP widmet sich der Folgeartikel im nächsten Heft.

5

Vergleich der Eigenschaften von VIP und VIS

	VIP	VIS
Hüllmaterial	metallisierte Hochbarrierefolie (Al-Schicht 1 µm)	Edelstahlblech mit 0,6 – 4 mm
Kernmaterial	pyrogene Kieselsäure	pyrogene Kieselsäure
Randverbund	Folienversiegelung	geschweisste Edelstahlfolie 0,20 – 0,27 mm
Evakuierverfahren	Herstellung in Vakuumkammer	über Evakuierflansch
Dicke (mm)	10 – 50 (typisch 20)	10 – 40
max. Abmessungen, lxb (mm)	2200 x 1000 (abh. von Vakuumkammer), Standard 1000 x 500/1000 x 600	8000 x 3000 (abh. von Blechgrösse)
Gewicht (kg/m ³)	160 – 180	160 – 180 (+ Hüllmaterial)
Wärmeleitfähigkeit (Paneelmitte) (mW/(mK))	4,2	5,3
... bei einem Innendruck (mbar)	< 5	1
Wärmebrückenwirkung des Randverbunds	gering	hoch
Wärmeleitfähigkeit in belüftetem Zustand (mW/(mK))	20	20
spez. Wärmekapazität (kJ/(kgK))	0,8 (Kernplatte)	0,8 (Kernplatte)
Temperatur-Dauereinsatzbereich (°C)	–30 bis 80	–200 bis > 1000
Luftfeuchte-Dauereinsatzbereich (% rel. Luftf.)	0 bis 60 (bis 40°C)	je nach Legierung
verträgliche Spitztemperatur (kurzzeitig, < 15 min) (°C)	80–120 (abh. von Folie)	> 1000
Druckbelastbarkeit	150 – 160 kPa (bei 10% Stauchung)	> 7,5 t/m ²
Biegesteifigkeit	nicht vorhanden	hoch, abhängig von Blechdicke
angegebene Funktionsdauer (Jahre)	k.A.	35 – 50 Jahre, > 100 Jahre, wenn vor Ort evakuierbar
mechanische Empfindlichkeit	sehr hoch	gering
reparabel	nein	ja, wenn zugänglich
Brandschutzklassifizierung (nach DIN 4102-6)	(max. B2 möglich)	A1
Fertigungstoleranz, l bzw. b / s (mm)	–5 bis +2 / ±1	± 2