

Vakuüm-Dämmsysteme – Einsatzmöglichkeiten und planerische Hinweise

Vacuum Insulation Systems – Possible Applications and Design Considerations

Jan Cremers

- 1 verschiedene verfügbare Vakuüm-Dämmsysteme
- 2 Vakuüm-Dämmsysteme, Kombinationen und Lichtdurchlässigkeit
- 3 prinzipieller Aufbau und Elemente eines Vakuüm-Isolations-Panels (VIP)



Vakuüm-Dämmsysteme gehören derzeit zu den großen Innovationsfeldern im Baubereich und erfahren überall zunehmende Aufmerksamkeit. Im Gegensatz zu den meisten eingesetzten Produkten handelt es sich um hoch komplexe Systeme, deren Einsatz manche Fehlerquelle bereithält und die von Planer und Anwender ein hohes Maß an Kompetenz erfordern. Der Wärmetransport innerhalb eines konventionellen Dämmstoffs setzt sich typischerweise aus Anteilen von 20–30 % Wärmestrahlung, 5–10 % Wärmeleitung über das Gerüstmaterial und ca. 65–75 % Wärmeleitung über das eingeschlossene Gasvolumen zusammen. Das gemeinsame Wirkungsprinzip von Vakuüm-Dämmsystemen besteht nun darin, den Hauptwärmeübertragungsweg, die Gaswärmeleitung, durch Evakuierung zu minimieren. Um den Unterdruck in einem Vakuüm-Dämmsystem auf Dauer zu erhalten, ist eine das evakuierte Volumen umgebende gasdichte Hülle erforderlich, beispielsweise aus Glas, Metallblech, Kunststoff- oder Kunststoffverbundfolien. 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 Vakuüms einen erheblichen Teil des Atmosphärendrucks (maximal äquivalent zu ca. 10,3 t/m²) aufnehmen können.

Abb. 2 gibt einen Überblick über die Kombination möglicher Einzelkomponenten und die Permeationseigenschaften (Licht) der jeweiligen Dämmsysteme.

Kernmaterial

Im Baubereich konzentriert man sich derzeit vor allem auf opake Systeme mit mikroporösem Dämmkern, meist aus glasfaserverstärkter, pyrogener Kieselsäure, die in ihrem Aufbau Abb. 3 folgen. 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.¹ Ihre Wärmeleitfähigkeit liegt daher schon

bei Atmosphärendruck mit ca. 0,018 W/mK deutlich unter der ruhender Luft mit ca. 0,026 W/mK. Außerdem führt dieser Zusammenhang dazu, dass die Wärmeleitfähigkeit bereits bei verhältnismäßig geringem Unterdruck stark absinkt und 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 potenziell längere Funktionsdauer, denn diese wird über einen maximal zulässigen Druckanstieg im System bestimmt.

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)² (Abb. 5). Transparente Hochbarrierfolien auf reiner Polymerbasis oder mit Metalloxid-Beschich-

tungen erreichen heute zwar noch nicht die erforderlichen Permeationsraten, befinden sich aber in der Weiterentwicklung.

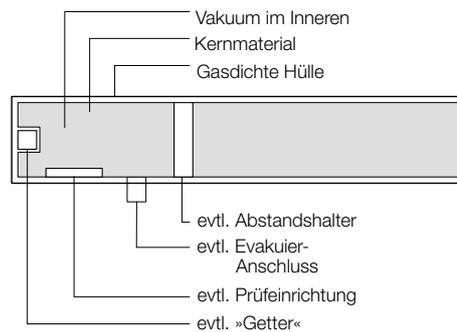
Qualitätskontrolle

Die Wärmeleitfähigkeit in Vakuüm-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 beispielsweise 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 Vakuüm-Dämmsystemen besteht darin, dass die Kontrollen – auch aus Gründen der konkreten Gewährleistung – die ganze Produktionskette von der Herstellung über Trans-

2

Permeabilität (Licht)





3

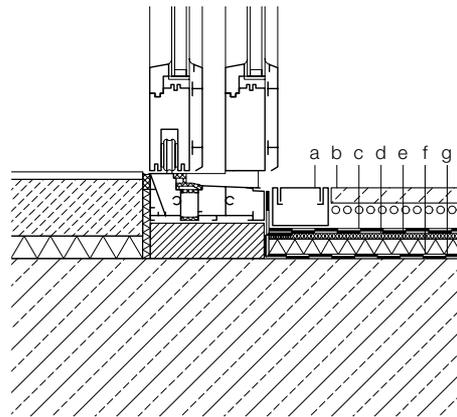
port, Lagerung und Einbau lückenlos erfassen müssen. Auf Grund dieser Notwendigkeit zu mehrfachen Kontrollen an verschiedenen Orten sind insbesondere Verfahren erforderlich, die schnell Ergebnisse liefern und unkompliziert sind. Zu bevorzugen sind Methoden, die die Durchdringung der Hülle nicht erfordern und zu deren Anwendung es ausreicht, wenn das Paneel punktuell zugänglich ist. Grundsätzlich lässt sich die Funktion von Vakuum-Dämmsystemen in eingebautem Zustand auch mit Thermographie-Aufnahmen nachweisen. Bei Systemen mit Edelstahlhülle besteht zudem die Möglichkeit einer Nachevakuiierung einzelner Paneele.

Wärmeleitgruppen-Klassifizierung

Bislang existieren keine für den Bau zugelassenen Produkte aus dem Bereich der Vakuum-Dämmsysteme. Durch die Hersteller werden im Allgemeinen nur Wärmeleitwerte angegeben, die für die ungestörte Paneelfläche in Paneelmitte gelten, die in der Praxis aber in keiner Einbausituation erreicht werden können. Erzielbare U-Werte und damit 'mittlere' Wärmeleitzahlen werden vor allem durch Geometrie, Materialwahl und die Art der Randausbildung und -anschlüsse bestimmt.

Ökologie

Nach dem derzeitigen Kenntnisstand lässt sich hierzu Folgendes sagen:³ 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 recycelbar. Die bisher verwendeten Verbundfolien sind nicht direkt wiederverwertbar, haben aber einen sehr geringen Gewichtsanteil und können teilweise recycelt werden.



schwellerloser Terrassenaufbau durch Einsatz von Hochleistungsdämmung

- a Entwässerungsrinne mit Stegrost 50 mm
- b Betonplatten in Splitt 52 mm
- c Vlies 2 mm Wassersperre bituminös 7 mm
- d Bautenschutzmatte 8 mm
- e Hochleistungsdämmung VIP 20 mm
- f Schutzmatte 5 mm
- g Dampfsperre bituminös 3 mm

sill-free terrace construction through the use of high-performance insulation

- a drainage channel with 50 mm grating
- b 52 mm concrete slab with chippings
- c 2 mm fleece underlayer, 7 mm bituminous water barrier
- d 8 mm building protection matting
- e 20 mm high-performance insulation VIP
- f 5 mm protective matting
- g 3 mm bituminous vapour barrier

Planungshinweise

Empfindlichkeit

Insbesondere Paneele mit Folienhüllmaterial sind mechanisch extrem empfindlich. Die Handhabung ungeschützter Paneele auf der Baustelle ist daher kritisch. Ein hoher Vorfertigungsgrad ermöglicht den Einbau unter geschützten und kontrollierbaren Bedingungen und ist daher zu bevorzugen. Von Vorteil ist außerdem, die Paneele durch angrenzende weiche Schichten zu schützen, z. B. durch Weichfaserplatten oder dünne Schaumstofflagen. Weiterhin gilt es zu bedenken, dass Vakuum-Dämmsysteme keinesfalls penetriert werden dürfen. Dies schränkt zusammen mit der weiteren Anforderung nach einem spannungsfreien Einbau die Möglichkeiten zur Befestigung drastisch ein. Auch ist eine Aufklärung des Nutzers notwendig, dass im betreffenden Bereich auch später nie etwas durch Bohren oder Nageln befestigt werden darf.

Wärmebrücken

Jede Wärmebrücke bedeutet eine Absenkung des durchschnittlichen Wärmedämm-Niveaus, zusätzlichen Energiebedarf und die Gefahr von Kondensaterscheinungen. Vakuum-Dämmsysteme erzeugen aufgrund ihrer Geometrie bereits selbst unvermeidbare Wärmebrücken, da deren Ränder prinzipiell eine höhere Wärmeleitfähigkeit aufweisen als die ungestörten Systemmitten. Die Größe des Effekts an diesen potenziellen Stoßstellen ist dabei abhängig von der genauen Randausbildung des Systems, der Geometrie, den Abmessungen und der jeweiligen Einbausituation. Der Einsatz von Hochleistungsdämmungen führt zu einer Verschärfung der Wärmebrückenproblematik: Die deutlich geringere Dämmstärke bei gleichzeitiger Minimierung der Wärmeleitung in der Fläche hat zur Folge, dass jede Wärmebrücke stärker ins Gewicht fällt als bei konventionellen Dämmstoffen. Auch wenn es innerhalb von Vakuum-Dämmsystemen selbst nicht zu Tauwasserbildung kommen kann, da sie

absolut dampfdicht sind, bilden die Fügungen systembedingt umso größere Schwachstellen. Hier ist das schadensfreie Diffusionsverhalten im Detail mit der gebotenen Sorgfalt nachzuweisen.

Formate

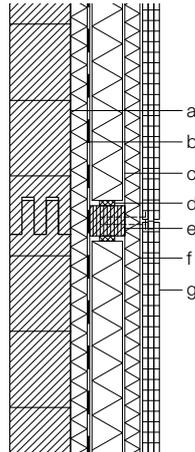
Das bevorzugte Format sind rechteckige Platten mit möglichst präziser rechtwinkliger Kantenausbildung. Dennoch werden auch diverse andere Formen ermöglicht, wobei diese in der Regel mit erheblichem Aufwand in der Herstellung und einer Reduzierung der zu erwartenden Funktionsdauer verbunden sind. Grundsätzliches Merkmal aller Vakuum-Dämmsysteme ist die Unveränderlichkeit einmal gefertigter Formate. Nachträgliche Anpassungen sind nicht möglich. Dies ist bei der Planung insbesondere hinsichtlich des Umgangs mit Toleranzen von Bedeutung. Die Anforderungen an die Maßhaltigkeit sind aufgrund der verschärften Wärmebrückenproblematik für die Anwendung von Vakuum-Dämmsystemen besonders hoch. Ein weiterer Aspekt ist die wirtschaftlich sinnvolle Beschränkung auf wenige verschiedene Formate. Standardformate bieten zudem den Vorteil, dass sie kurzfristig nachgeliefert werden können, da sie lagernd verfügbar sind und nicht speziell angefertigt werden müssen.

Austauschbarkeit / Zugänglichkeit

Da Vakuum-Dämmsysteme im Gegensatz zu konventionellen Dämmstoffen versagen können, sollten sie vorzugsweise mit vertretbarem Aufwand austauschbar sein. Dazu ist die Konstruktion so auszubilden, dass entweder die einzelnen Paneele oder das sie aufnehmende Subsystem zugänglich sind.

Beispielanwendung: Paneele für Pfosten-Riegefassaden

Vakuum-Dämmsysteme können mit verhältnismäßig geringem Aufwand in bestehende Pfosten-Riegel-Systeme eingebaut und auch ausgetauscht werden, da die resultierende Systemstärke (Einspanndicke)



Wandaufbau mit Vakuumdämmung

- a Massivholzwand Fichte 80 mm
- b Holzweichfaserplatte 22 mm
- c Vakuumdämmung 40 mm
- d Komprimband umlaufend
- e Schichtholzlattung 40/45 mm
- f Holzweichfaserplatte 20 mm
- g Dreischichtplatte 22 mm

Wall structure with vacuum insulation

- a 80 mm solid spruce wooden wall
- b 22 mm soft wooden fibre board
- c 40 mm vacuum insulation
- d surrounding compressible strip
- e 40/45 mm laminated wood bearers
- f 20 mm soft wooden fibre board
- g 22 mm three-layer board

derjenigen üblicher wärmedämmender Mehrscheibenverglasungen weitgehend entspricht. Hierbei ist von besonderer Bedeutung, dass mit diesen Systemen – im Gegensatz zu herkömmlichen Dämmpaneelen mit deutlich größerer Stärke – eine flächenbündige Fortsetzung der Verglasung in der Fassade auch von innen möglich ist. Mit Systemstärken von ca. 32 mm lassen sich bereits U-Werte von ca. 0,16 W/m²K in Paneelmitte erreichen. Im Vergleich mit der derzeit besten wärmedämmenden Mehrscheibenverglasung (U-Wert Glasmitte ca. 0,65 W/m²K) bedeutet dies eine Reduzierung um ca. 75 %. Die vom ZAE-Bayern für ein

Krankenhaus in Erlenbach entwickelten Paneele stellen ein Beispiel für solch eine Variante dar (Abb. 6).

Bei dieser Anwendungsform ist der U-Wert der Gesamtfassade stark von der Paneelgröße und damit vom anteiligen Verhältnis der Ränder (Randverbund Paneel und Pfosten-/Riegelkonstruktion) zu den Flächen abhängig. Entsprechend anderen Sandwich-Lösungen wird ein weitgehender mechanischer Schutz der Vakuum-Dämmsysteme erreicht, der die Handhabung während der ganzen Verarbeitungskette bis zum Einbau deutlich vereinfacht, da die Paneele im Werk gefertigt werden können und ab diesem Moment geschützt sind. Allerdings kön-

nen die VIP mit den bisherigen Methoden nach dem Einbau zwischen den Schutzschichten nicht mehr so schnell geprüft werden. Der aktuelle Stand ermöglicht nur eine Wärmebilderfassung in eingebautem Zustand. Durch die nahezu vollständig auszuschließende Beschädigung (Belüftung) der VIP während des Transports und der Montage kann ein wesentlicher prinzipieller Nachteil kompensiert werden. Ein weiterer Vorteil liegt in der Gewichts- und Platzreduzierung dieser Paneele gegenüber konventionellen Dämmpaneelen. Das gilt nicht nur für den eingebauten Zustand, sondern in geringerem Maß auch für Transport und Montage.

	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
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)
Gewicht [kg/m ²]	160–180	160–180 (+ Hüllmaterial)
Temperatur-Dauereinsatzbereich [°C]	–30 bis 80	–200 bis > 1000
Luftfeuchte-Dauereinsatzbereich [% rel. Luftf.]	0 bis 60 (bis 40°C)	je nach Legierung
verträgliche Spitzentemperatur (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.	3–50 Jahre, > 100 Jahre, wenn vor Ort evakuierbar
mechanische Empfindlichkeit reparabel	sehr hoch nein	gering ja, wenn zugänglich
Brandschutzklassifizierung	nach DIN 4102-6 max. B2 möglich	A1
allgemeine Bauaufsichtliche Zulassung	in Vorbereitung	in Vorbereitung
max. Abmessungen, l × b [mm]	2200 × 1000 (abh. von Vakuumkammer), Standard 1000 × 500/1000 × 600	8000 × 3000 (abh. von Blechgröße)
Fertigungstoleranz, l bzw. b/s [mm]	–5 bis +2 / ±1	± 2

Wirtschaftlichkeit

Eine flächendeckende Substitution konventioneller Dämmstoffe durch Vakuum-Dämmsysteme ist sicher nicht zu erwarten. Die neuen Hochleistungssysteme werden aber ihren Platz finden in Bereichen, in denen aus dem Hauptmerkmal, maximaler Dämmwirkung bei minimaler Dicke, funktional, konstruktiv, wirtschaftlich oder ästhetisch ein Gewinn zu ziehen ist, der den bislang deutlich höheren Investitionsaufwand rechtfertigt. Dies werden in vielen Fällen besondere einzelne Stellen eines Gebäudes sein und nur in Einzelfällen die gesamte Gebäudehülle, z. B. in Lagen mit extrem teurer Nutzfläche. Neben Neubauten werden Sanierungsmaßnahmen Bedeutung erlangen, in denen oft kein Platz für ausreichende Dämmungsmaßnahmen mit konventionellen Dämmstoffen besteht.

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.

The author is an architect and is involved in scientific work at the Technical University of Munich under Thomas Herzog PhD (Rome), Professor of Building Technology. He is presently involved, in the context of a promotion project, with the possible architectural applications of vacuum insulation systems to building shells.

- 4 Zweifamilienhaus in München
Architekt: Florian Lichtblau
- 5 Vergleich von Vakuum-Dämmsystemen (VIP und VIS)
- 6 Außenansicht VIP-Fassade eines Krankenhauses in Erlenbach (ZAE)

- 4 *two-family house in Munich. Architect: Florian Lichtblau*
- 5 *comparison of vacuum insulation systems (VIP and VIS)*
- 6 *external view of the VIP facade of a hospital in Erlenbach (ZAE)*



Vacuum insulation systems are one of the most important innovations in the construction sector. Within a conventional insulating material, thermal transport is mainly made up of thermal conduction through the enclosed gas (65–75%). Vacuum insulation systems therefore have to minimise the transmission of heat through the gas by evacuating the unit. To maintain the vacuum in this kind of insulation system over a long period, the evacuated space has to be surrounded by a gas-proof envelope. The enclosed space can either be empty or filled with a core material whose cells are entirely open and which can therefore be evacuated. Depending on the level of induced vacuum, the system must resist high atmospheric pressure (equivalent to up to about 10.3 tonnes/m²).
Fig. 2: Overview of individual components and their possible combinations, and of light transmission offered by insulation systems.

Core material

We are concentrating on opaque systems with micro-porous insulation cores. Most of them consist of glass-fibre reinforced, fumed silica, and have the structure of Fig. 3.

They have a very high porosity and a pore size small enough to strongly suppress the gas conduction effect.¹ Even at atmospheric pressure, its thermal conductivity is significantly below that of the surrounding air. Therefore, the thermal conductivity drops sharply even at moderate vacuums, which makes manufacturing easier while higher gas permeation rates can be tolerated. This leads to a longer potential product life.

Envelope material

Metallised plastic composite foil and stainless steel plate are being used. They are generally called Vacuum Insulation Panels (VIP), and Vacuum Insulating Sandwiches (VIS).² (Fig. 5) Transparent high-barrier membranes, based entirely on polymers and coated with metal-oxides, are under further development.

Quality control

The thermal conductivity of a vacuum insulation system depends primarily on the internal gas pressure and on the moisture content of the

core material. The first physical magnitude can therefore, in principle, be used for quality control (if initial gas pressure and moisture are known). Any pressure rise mainly depends on the quality of the envelope material and of the edge solution. Procedures for measuring the internal pressure offer the only possible way of quality control; methods that do not require penetration of the envelope, and can be used even if the panel is only partly accessible, are preferable. In principle, the function of vacuum insulation systems that have been fitted can also be demonstrated using thermographic imaging techniques.

Classification of imaging

No products from the vacuum insulation systems sector have yet been approved for use in construction. Thermal conductivity values that apply to the undisturbed panel surface in the centre of the panel will never be achieved when the panel is fitted. Achievable U-values are primarily determined by the geometry, the choice of material, and the way in which the edges are formed and joined.

Ecology

The total material expense is relatively small. Silica boards represent most of the weight and can be reused, while composite membranes are light and can be partially recycled.

Sensitivity

The handling of unprotected panels on the building site is critical due to their mechanical sensitivity. A high level of prefabrication permits them to be fitted under protected, controllable conditions. The panel faces should also be protected with adjacent soft layers. Furthermore, vacuum insulation systems must never be penetrated, and have to be fitted without being subjected to tension.

Thermal bridges

Vacuum insulation systems themselves create thermal bridges. High-performance insulation makes the problem of thermal bridges more acute due to the significantly lower insulation thickness in combination with the minimisation of thermal conductivity across the main area.

Hersteller:

va-Q-tec AG, Würzburg, www.va-Q-tec.de
 lambdasave GmbH, Emden, www.lambdasave.de
 Porextherm GmbH, Kempten, www.porextherm.com

weitere Informationen unter: www.vip-bau.de
www.vip-bau.ch

Literatur:

- ¹ Schwab, H., Heinemann, U., Fricke, J.: Vakuum-Isolationspaneele – ein hocheffizientes Dämmsystem der Zukunft, in: Detail 7/2001, S. 1301–1304
- ² Willems, W. M.: Vakuumdämmung (Kapitel B2), in: Cziesielski, E. (Hg.): Bauphysik Kalender, 4. Jahrgang, Ernst & Sohn, Berlin 2004, S. 83–124
- ³ Schonhardt, U., Binz, A., u.a.: Ökobilanz eines Vakuum-Isolations-Paneele (VIP), Studie im Auftrag des Bundesamtes für Energie, Schweiz, Schlussbericht, Ittingen (CH), 2003

Format

The preferred format is that of rectangular panels whose right-angle edges have the most accurate geometry possible. Since the format of manufactured panels cannot be changed, the designer has to pay great attention to tolerances. The demands for accurate dimensioning is particularly high for the application of vacuum insulation systems. A further aspect is the economically-driven pressure to have only a small number of planned formats. (Fig. 5)

Exchangeability / accessibility

The structure of vacuum insulation systems should be built in such a way that it is possible to access either the individual panels or the sub-system.

Example application: Panels for post-and-rail facades

Vacuum insulation systems can be exchanged and easily fitted into existing post-and-rail systems, the glazing can be flush mounted on the inside of a facade. Unit thicknesses of approx. 32mm are enough to achieve U-values of approx. 0.16 W/m²K in the centre of the panels. This is a reduction of approx. 75% in comparison with the best thermally-insulating multiple glazing. (Fig. 6). Here the U-value of the facade as a whole depends heavily on the size of the panels, and on the relative proportions of the edges to the flat areas. A large measure of mechanical protection is given to the vacuum insulation system. Existing test methods of checking the VIP quickly after it has been mounted between the protective layers are not available. Present technology only permits determination of the thermal image when assembled. Compensation for one disadvantage of the system is offered by the possibility of almost entirely ruling out damage (venting) to the VIP during transport and assembly. Another advantage is the space-weight reduction offered by these panels.

Economy

Vacuum insulation systems will find applications wherever their maximum insulating effect and minimum thickness justify the high investment.