



# Dämmen durch Vakuum

*Hocheffizienter Wärmeschutz  
für Gebäudehülle und Fenster*



## Zur Sache

Was bei der Thermoskanne funktioniert, kann auch ein Weg für den Wärmeschutz von Gebäuden sein: die Dämmung durch Vakuum. Dafür werden Platten aus zusammengesetztem Kieselsäurepulver, einem extrem feinporigen Material, in eine weitgehend gas- und wasserdampfdichte Hülle aus speziellen Hochbarrierefolien oder Edelstahl verpackt und evakuiert. Die Dämmwirkung dieser Vakuumisoliationspaneel (VIP) übersteigt die konventioneller Dämmsysteme um das Fünf- bis Zehnfache. Für die gleiche Wirkung benötigt man also entsprechend geringere Materialstärken – ein großer Vorteil bei beengten Platzverhältnissen oder bei hohen Ansprüchen an den Wärmeschutz.

VIP bieten neue, hocheffiziente Lösungen für das Bauwesen, erfordern aber zugleich neue Formen der Zusammenarbeit und Planung. Anders als bei herkömmlicher Dämmtechnik, bei der das Material vor Ort zurechtgeschnitten werden kann, ist bei diesen Dämmelementen bereits in der Planungsphase zu klären, inwieweit auf Standardgrößen zurückgegriffen werden kann und in welchen Abmessungen Maßanfertigungen notwendig sind. Zudem sind die Elemente mechanisch relativ empfindlich: Wird die Hülle verletzt, „entweicht“ das Vakuum und die damit gewonnene Dämmwirkung geht wieder verloren.

Vakuumdämmungen für die Baubranche wurden in den letzten Jahren in verschiedenen Forschungsprojekten erprobt, getestet und weiterentwickelt. Im Jahr 2008 erhielten die ersten Bauprodukte mit VIP bauaufsichtliche Zulassungen. In ViBau, einem Forschungsakzent der Forschungsinitiative „Energieoptimiertes Bauen“ (EnOB) des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie, arbeiten verschiedene Forschungsinstitute und Unternehmen an weiteren Verbesserungen der Technologie. Heute stehen Qualitätskontrolle und Qualitätssicherung im Fokus sowie die Überprüfung kommerzieller Anwendungen in der Baupraxis.

Parallel wird auch an Verglasungen mit Vakuum im Scheibenzwischenraum geforscht. Hier kommt es vor allem auf einen gasdichten Randverbund an. Um den Druck der umgebenden Atmosphäre aufzunehmen, müssen außerdem geeignete Abstandhalter für den Scheibenzwischenraum gefunden werden. Die Entwicklung eines hocheffizienten Fensterrahmens komplettiert das System.

Dieses Themeninfo erläutert die Grundlagen der neuen Dämmtechnik, ihr Anwendungspotenzial und auch ihre Besonderheiten. Praxisbeispiele zeigen Nutzungsmöglichkeiten bei Neubau und Sanierung.

Ihre BINE-Redaktion  
[redaktion@bine.info](mailto:redaktion@bine.info)

## Inhalt

- 3 Den Wärmeschutz verbessern
- 4 Vakuumdämmung: Material und Herstellung
- 7 En passant: Die Inszenierung des Vakuums
- 8 VIP für den Markt
- 9 Aus der Praxis: Prototypen Sanierung und Neubau
- 11 Aus der Praxis: Neubau Wohn- und Geschäftshaus
- 13 Aus der Praxis: Sanierung einer Kindertagesstätte
- 13 Im Portrait: Der Prüflingenieur und der Architekt
- 14 Mit Vakuumdämmung bauen
- 16 Vakuumisolierverglasung
- 18 Der passende Rahmen

## Impressum

### ISSN

1610 - 8302

### Herausgeber

FIZ Karlsruhe · Leibniz-Institut für Informationsinfrastruktur  
 Hermann-von-Helmholtz-Platz 1  
 76344 Eggenstein-Leopoldshafen

### Autoren

Dr. Ulrich Heinemann,  
 ZAE Bayern

Dr. Helmut Weinläder,  
 ZAE Bayern

Dorothee Gintars,  
 BINE Informationsdienst

### Redaktion

BINE Informationsdienst

### Titelbild

Gatermann + Schossig  
 Capricornhaus in Düsseldorf  
 mit vakuumgedämmter Fassade  
 Architektur: Gatermann + Schossig

### Version in Englisch

Das Dokument finden Sie unter  
[www.bine.info](http://www.bine.info).

### Urheberrecht

Eine Verwendung von Text und Abbildungen aus dieser Publikation ist nur mit Zustimmung der BINE-Redaktion gestattet. Sprechen Sie uns an.

BINE Informationsdienst wird vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) gefördert.



# BINE

Informationsdienst

FIZ Karlsruhe, Büro Bonn  
 Kaiserstraße 185-197, 53113 Bonn  
 Tel. 0228 92379-0  
 Fax 0228 92379-29  
[kontakt@bine.info](mailto:kontakt@bine.info)  
[www.bine.info](http://www.bine.info)





**Abb. 1** Dieses Mini-Gebäude mit einer in die Sandwich-Konstruktion integrierten Vakuumdämmung zeigt den möglichen Flächengewinn: Bei nur 75 m<sup>3</sup> umbautem Raum wären mit einer gewöhnlichen Wärmedämmung bei gleichem Wärmeschutz nur 17 m<sup>2</sup> nutzbar. Foto: Dipl.-Ing. Manuela Skorka, Neuried

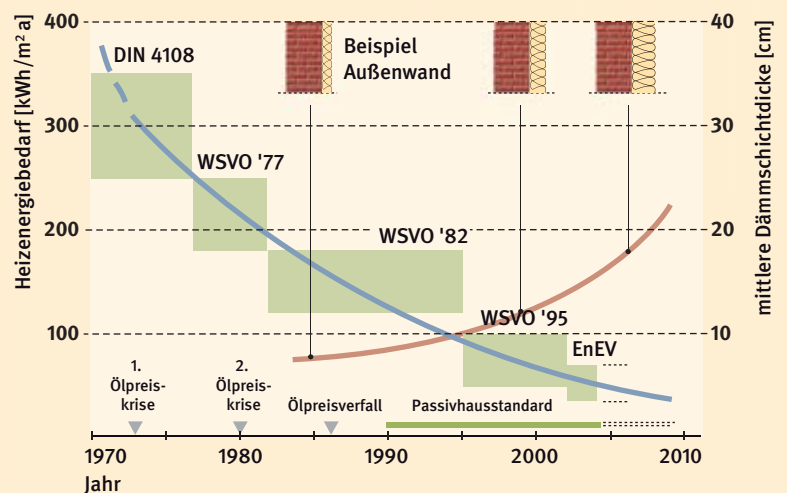
## Den Wärmeschutz verbessern

*Ein gut gedämmtes Gebäude bietet Wohnkomfort und geringe Energiekosten. Wenn jedoch steigende Ansprüche beim Wärmeschutz zu immer dickeren Wandaufbauten führen, mag nicht mehr jeder Bauherr mitziehen. Verständlicherweise, denn den Platz dafür hat er in der Regel teuer bezahlt. Die neuen, hochdämmenden Vakuumisulationspaneele bieten hier eine neue Perspektive.*

Seit 1977 infolge der Ölpreiskrise die erste Wärmeschutzverordnung eingeführt wurde, steigen die dämmtechnischen Anforderungen an die Gebäudehülle kontinuierlich. Waren bei der Novelle der WSVO 1995 für Architekten und Handwerker noch Dämmstärken von 8 cm an der Fassade ungewohnt, sind heute bei Neubauten doppelt so dicke Dämmpakete fast schon eine Selbstverständlichkeit. Und die Messlatte wird höher gelegt. Mit dem Ziel der Europäischen Union, bis 2020 Neubauten mit annähernd Nullenergiestandard einzuführen, wachsen auch die Anforderungen an den Wärmeschutz – und die Stärke der dafür notwendigen Dämmung. Für einen solchen Standard könnten bei konventionellen Dämmstoffen aus Mineralfasern, Polystyrol, Polyurethan, Schaumglas oder Zellulose Stärken von bis zu 40 cm nötig werden. Das erfordert Raum, welcher grundsätzlich teuer und im Sanierungsfall oftmals gar nicht vorhanden ist.

Die aus energetischen Gründen angestrebten Dämmwerte sind also in der Praxis nicht immer so einfach zu verwirklichen. Insbesondere bei der Altbaumodernisierung führt eine nachträgliche Dämmung oft zu geometrischen Problemen oder unschönen gestalterischen Auswirkungen. Beispielsweise kann der Dachüberstand für den vorgesehenen Aufbau nicht ausreichen oder die Dämmschicht bewirkt tiefe Fensteröffnungen mit ungünstigem Lichteinfall und eingegengtem Sichtfeld – dem sogenannten Schießcharteneffekt. Grenzt die Fassade direkt an einen Gehweg, kann eine nachträgliche Dämmung in der Regel nicht beliebig dick überstehen. Und im Falle einer Innendämmung soll möglichst wenig Wohnraum verloren gehen.

Hocheffiziente Dämmstoffe und Komponenten bieten hier platzsparende Lösungen, die außerdem neue technische und gestalterische Möglichkeiten eröffnen. Einen Ansatz bildet die Dämmung mit Vakuumisulationspaneelen. Diese flachen, evakuierten Platten wurden in den 70er Jahren für den Einsatz in Kühl- und Tiefkühlgeräten entwickelt und inzwischen an die Anforderungen der Baubranche angepasst. Bei richtiger Planung und umsichtiger Verarbeitung ermöglichen sie mit einem schlanken Aufbau einen sehr guten Dämmwert.



**Abb. 2** Zeitl. Entwicklung des Heizenergiebedarfs und der Dämmstoffdicke. Quelle: RUBIN / Ruhr-Universität Bochum

**Abb. 3** Aufbau eines Vakuumdämmpaneels: Der Kern aus pyrogener Kieselsäure wird in einem Schutzvlies verarbeitet und von einem Hochbarrierelaminat umhüllt. Foto: FIW München



## Vakuumdämmung: Material und Herstellung

*Vakuumisolationspaneele verbessern die Dämmwirkung nicht durch dickere Materialstärken, sondern durch eine weiter reduzierte Wärmeleitfähigkeit. Wird nämlich der Gasdruck innerhalb des Paneels entsprechend abgesenkt, ist der Wärmetransport und die damit verbundene Wärmeleitung über das Gas fast vollständig eliminiert. Damit reicht schon ein sehr dünner Aufbau für eine exzellente Leistung. Die Technik stellt allerdings hohe Anforderungen an Material und Verarbeitung.*

„Vakuum heißt der Zustand eines Gases, wenn in einem Behälter der Druck des Gases und damit die Teilchendichte niedriger ist als außerhalb oder wenn der Druck des Gases niedriger ist als 300 mbar, d. h. kleiner als der niedrigste auf der Erdoberfläche vorkommende Atmosphärendruck“, so die DIN 28400 Teil 1. Das Prinzip, dass ein „luftleeres“ Volumen gut dämmt, nutzt bereits die Ende des 18. Jahrhunderts erfundene Thermoskanne. Denn die Absenkung des Gasdrucks innerhalb eines Volumens (Evakuieren) unterdrückt die Gaswärmeleitung. Eine ausreichend dichte Hülle – bei der Thermoskanne sind hierfür Edelstahl, Aluminium oder Glas erforderlich – verhindert, dass der Gasdruck einen kritischen Bereich überschreitet.

Zylindrische Gehäuse, wie bei Thermoskannen, sind von sich aus druckstabil. Um aber die hocheffiziente Dämmtechnik auf flache Paneele zu übertragen, wie sie zur Dämmung im Bauwesen benötigt werden, sind besondere Füllmaterialien oder Strukturen für den Zwischenraum nötig. Diese müssen in der Lage sein, dem äußeren atmosphärischen Belastungsdruck von 1 bar standzuhalten, was einer Gewichtslast von 10 t/m<sup>2</sup> entspricht. Ein VIP besteht deshalb im Wesentlichen aus einem plattenförmigen, druckfesten Kernmaterial und einer ausreichend dichten Umhüllung.

### Kriterien für Füllmaterialien

Damit ein Werkstoff als Kern für eine Vakuumdämmung in Frage kommt, muss dieser evakuierbar sein und eine möglichst geringe Gesamtwärmeleitfähigkeit aufweisen. Es ist eine komplett offene Struktur erforderlich. Da das

Füllmaterial die mechanischen Druckkräfte tragen muss, ist bei gleicher Materialart meist eine höhere Dichte erforderlich als bei herkömmlichen, nicht evakuierten Dämmstoffen. Neben einer niedrigen Festkörperwärmeleitfähigkeit wird außerdem angestrebt, die Infrarot-Wärmestrahlung möglichst weit abzuschwächen. Bei den geringen Gesamtwärmeleitfähigkeiten der evakuierten Systeme fällt diese Komponente relativ gesehen stärker ins Gewicht. Hier hilft der Zusatz von Infrarot-Trübungsmitteln wie Ruß, Eisenoxid oder Siliziumcarbid. Die Gaswärmeleitfähigkeit verliert durch das Evakuieren an Bedeutung.

Wie weit dafür der Gasdruck in den VIP-Elementen abgesenkt werden muss, hängt wesentlich von der Größe der Poren ab. Je feiner diese sind, um so geringer sind die Anforderungen an die Qualität des Vakuums. Je nach Kernmaterial liegt er zwischen 0,1 und etwa 20 mbar (Grobvakuum). Dieser Vakuumdruck muss nicht nur während der Herstellung der Elemente erreicht, sondern auch während der gesamten Nutzungsdauer aufrechterhalten werden. Damit ergeben sich je nach Füllmaterial unterschiedliche Anforderungen an die Dichtigkeit der Hülle.

### Materialwahl für die Füllung

Als Kernmaterialien kommen offenporige Polymerschäume (z. B. spezielle Polyurethan- oder Polystyrolschäume), Glasfasern, Pulver als Schüttungen oder Presslinge (z. B. aus Kieselsäuren) oder Aerogele in Frage. Schäume und Glasfasern benötigen ein qualitativ hochwertigeres Vakuum mit einem Gasdruck von weniger als 1 mbar. Bei den besonders feinteiligen pyrogenen Kieselsäuren oder





## Wärmeleitung in Dämmstoffen

Ziel von Dämmstoffen ist es, den durch einen Temperaturunterschied hervorgerufenen Wärmetransport zu verringern. Die Wärmeleitfähigkeit ist hier die entscheidende Materialgröße zur Beurteilung: Je geringer sie ist, desto besser die Dämmwirkung.

Konvektion, ein Wärmetransport, der an den Transport von Materie gebunden ist, ist ein sehr effektiver Mechanismus. Man nutzt ihn z. B. bei der Zirkulation von Wasser in einem Heizungssystem. Diesen zu unterdrücken, ist die allererste Aufgabe einer Wärmedämmung, die auch von den konventionellen Dämmstoffen durch die feinzellige Struktur bestens erfüllt wird.

Zweiter Wärmetransportmechanismus ist die Wärmeleitung, bei der einzelne Atome oder Moleküle Wärme zu den benachbarten Atomen oder Molekülen übertragen. Diesen Mechanismus findet man in Festkörpern, aber auch in ruhenden Flüssigkeiten und Gasen. Da die Wärmeleitfähigkeit von Gasen im Allgemeinen deutlich niedriger ist als die von Festkörpern, sind Dämmstoffe hochporös. Um den Beitrag der Wärmeleitung über das Festkörpergerippe möglichst gering zu halten, bieten sich insbesondere Kunststoffe an. Bei derart hochporösen Dämmstoffen dominiert dennoch die Wärmeleitung des Gases in den Hohlräumen den Gesamtwärmetransport (Anteil größer als 60%). Gasart und bei nanostrukturierten Materialien auch der Gasdruck in den Poren beeinflussen in entscheidendem Umfang nicht nur die Wärmeleitung des Gases, sondern damit auch den Gesamtwärmetransport.

Einen dritten, häufig unterschätzten Beitrag zum Wärmetransport leistet die Infrarot-Strahlung. Dieser Transportmechanismus ist nicht an Materie gebunden. Jeder Körper emittiert entsprechend der eigenen Temperatur Wärmestrahlung, andererseits absorbiert oder streut er aber auch auftreffende Strahlung. Der Infrarot-Strahlungstransport in einem porösen System wird von der Dichte (und Struktur) des Materials beeinflusst: je höher die Dichte, um so mehr wird er abgeschwächt – die Anforderungen sind also genau entgegengesetzt zu denen der Festkörperwärmeleitfähigkeit. Zusatzstoffe, sogenannte Infrarot-Trübungsmittel, helfen, bei gleicher Materialdichte den Infrarot-Strahlungstransport weiter zu unterdrücken.

Konventionelle Dämmstoffe erreichen Wärmeleitfähigkeiten von 0,030 W/(mK) bis 0,040 W/(mK). Um die Dämmeigenschaften zu verbessern, setzt man insbesondere an einer Verringerung der Gas-

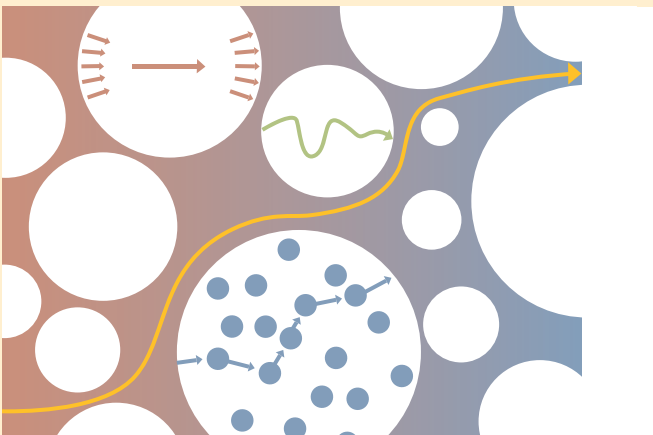
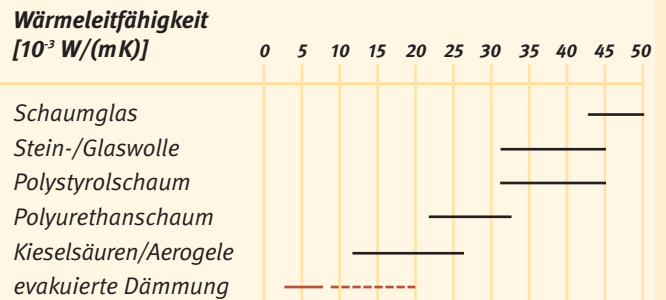


Abb. 4 Wärmeleitung in konventionellen Dämmstoffen: Festkörperleitung über die Porenwände (gelber Pfeil), Wärmeleitung über die Füllgase (blaue Pfeile) sowie die Wärmestrahlung zwischen den Porenwänden (rote Pfeile). Der Beitrag von Konvektion innerhalb der Poren (grüner Pfeil) ist zu vernachlässigen.

### Dämmmaterialien im Vergleich



wärmeleitung an. Eine Möglichkeit besteht darin, schwerere Gase mit einer geringeren Wärmeleitfähigkeit als der von Luft einzusetzen. Mit Schwergas gefüllte Polyurethanschäume erzielen Wärmeleitfähigkeiten von weniger als 0,022 W/(mK). Eindringende Luft lässt jedoch die Wärmeleitfähigkeit mit der Zeit ansteigen. Ein anderer Ansatz besteht darin, die Struktur so fein zu machen, dass die Gaspartikel bei Atmosphärendruck weniger aneinander als vielmehr an eine Vielzahl von Wänden stoßen. Hierzu müssen die Poren kleiner als wenige Zehntel Mikrometer sein. Nanostrukturierte pyrogene Kieselsäure oder Aerogele weisen Labormesswerte von bis zu 0,015 W/(mK) auf.

Die Vakuumdämmung geht einen anderen Weg: Durch Absenken des Gasdrucks wird die Wärmeleitung über das Gas weitestgehend ausgeschaltet. Die Wärmeleitfähigkeit evakuierter, Atmosphärendruck tragender Dämmmaterialien liegt deshalb im Bereich von etwa 0,002 W/(mK) bis 0,008 W/(mK).



Abb. 5 Etwa 10 Liter umbauter Raum – einmal konventionell gedämmt (weiß), einmal mit gleichwertigen VIP (silbern). Foto: ZAE Bayern



Abb. 6 Der Vergleich zu einer 10 µm dünnen Faser zeigt, wie fein die pyrogene Kieselsäure strukturiert ist. Foto: ZAE Bayern

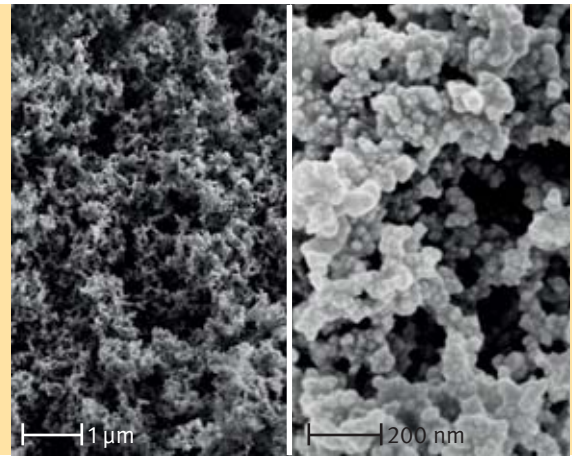


Abb. 7 Die größten Hohlräume in den Platten aus pyrogener Kieselsäure messen lediglich ca. 200 nm. Foto: ZAE Bayern

Aerogelen reicht bereits ein Gasdruck von etwa 10 bis 50 mbar, um die Gaswärmeleitung weitgehend zu unterdrücken. Die Gesamtwärmeleitung verdoppelt sich erst bei einem Restgasdruck von typischerweise 100 mbar (Abb. 8). Da kein Füllmaterial alle Vorteile in sich vereint, hängt die Wahl der VIP-Füllung vor allem von den physikalischen Eigenschaften der Umhüllung und dem Anwendungszweck ab.

Bei nanostrukturierten pyrogenen Kieselsäuren ist die Wärmeleitfähigkeit auch im belüfteten Zustand mit 0,018 W/(mK) nur etwa halb so groß wie bei konventionellen Dämmstoffen. Neben den vergleichsweise geringen Anforderungen an die Dichtigkeit der Hülle, prädestiniert auch der Aspekt, dass im Falle des Komplettersagens der Vakuumschicht noch ein Mindestwärmeschutz zur Vermeidung von Schimmelpilzbildung gegeben ist, dieses Material zur Herstellung dauerhafter Vakuumdämmelemente für das Bauwesen.

Als Kieselsäuren werden künstlich hergestellte Siliziumdioxide ( $\text{SiO}_2$ ) bezeichnet, die in natürlicher Form wesentlicher Bestandteil von Sand sind. Nanostrukturierte pyrogene Kieselsäuren entstehen meist als Randprodukt bei der Wafer-Silizium-Produktion. Sie sind toxikologisch unbedenklich, gut zu recyceln, nicht brennbar und verursachen keine schädlichen Emissionen. Ein weiterer Vorteil ihrer feinen Struktur ist, neben der geringen Empfindlichkeit auf ansteigenden Gasdruck, die hohe Sorptions-

fähigkeit für Wasserdampf, der durch die Hülle in geringen Mengen eindringen kann. Nanostrukturierte Pulver lassen sich, anders als größere Materialien, besonders gut zu Platten pressen und daher gut im VIP-Herstellungprozess verarbeiten.

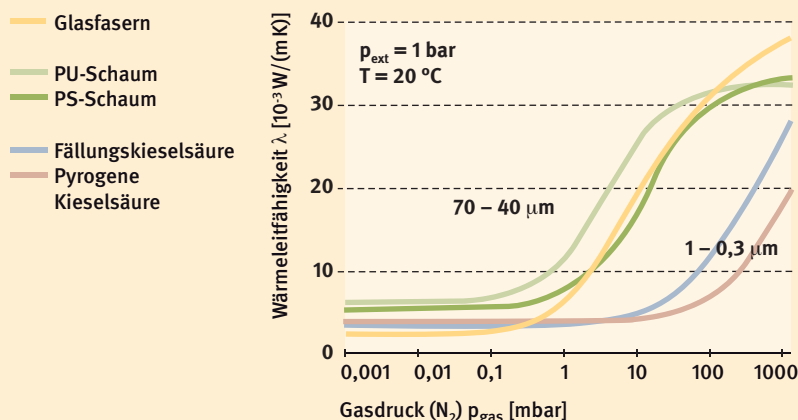
### Kriterien für Hüllmaterialien

Ob sich ein Material als Umhüllung eignet, hängt in erster Linie von dessen Gasdichtigkeit ab. Für die Lebenserwartung eines VIP ist außerdem die Dichtigkeit gegen Wasserdampf von Bedeutung. Zudem ist eine niedrige Wärmeleitfähigkeit entscheidend, um den Wärmebrückeneffekt im Randbereich der Paneele möglichst gering zu halten. Wegen der mechanischen Beanspruchungen im Bauwesen sollte das Hüllmaterial auch eine ausreichende Durchstoßfestigkeit aufweisen.

### Materialwahl für die Hülle

Grundsätzlich eignen sich die für Thermoskannen verwendeten Hüllmaterialien Edelstahl, Aluminium oder Glas auch für flache Vakuumschichtpaneelen. In Kombination mit Füllmaterialien wie Schäumen oder Fasern erreichen sogar nur diese Materialien die für langlebige Produkte erforderliche hohe Gasdichtigkeit. In der Praxis verwenden die Hersteller für die Umhüllung von VIP am häufigsten mehrfach aluminiumbedampfte Kunststoffhochbarriere-lamine, Aluminiumverbundfolien und Metallfolien oder -bleche aus Edelstahl.

Abb. 8 Wärmeleitfähigkeit verschiedener für den Einsatz in VIP optimierter Füllmaterialien in Abhängigkeit vom (Stickstoff-)Gasdruck. Zu beachten ist die logarithmische Skalierung der Achse mit dem Gasdruck.  
Quelle: ZAE Bayern



### • Metallisierte Hochbarrierelamine

Der sperrige Name beschreibt recht gut den vielschichtigen Aufbau dieser Folien. Sie bestehen aus mehreren Schichten von Polymeren, die sich durch ihre geringe Wärmeleitfähigkeit sowie hohe Belastbarkeit auszeichnen. Da die Barrierewirkung reiner Polymerfolien insbesondere gegen Wasserdampf für die Anwendung bei VIP jedoch bei Weitem nicht ausreicht, erhöhen zusätzliche metallische Schichten aus Aluminium, Aluminiumoxid oder Siliziumoxid die Dichtigkeit. Eine solche Sperrschicht kann im Bedampfungsprozess nicht perfekt und fehlerfrei hergestellt werden, deshalb sind mehrere davon erforderlich – im Bauwesen typischerweise drei.



## En passant



Abb. 9 Halbautomatische VIP-Produktion. Das Gerät in der Bildmitte ist die Vakuumkammer. Foto: the vac company

Bei den Hochbarrierelaminaten sind ausschließlich die innenliegenden Schichten metallisiert. Die äußerste Schicht muss vor Umwelt- und Umgebungseinflüssen schützen, die innerste dient als Siegelmaterial. Je nach Randbedingung und Anforderung an das VIP werden für die einzelnen Lagen Polyester, Polyamid, Polypropylen oder auch Polyethylen verwendet. Als Siegelmaterial kommt meist Polyethylen zum Einsatz, seltener Polypropylen.

Der größte Vorteil dieser mehrfach beschichteten, mehrlagigen Kunststofflaminat liegt in der geringen Wärmeleitfähigkeit. Da die Schichtdicke des Aluminiums im gesamten Aufbau lediglich nur etwa 100 nm ausmacht, hat das Metall keinen signifikanten Einfluss auf die effektive Wärmeleitfähigkeit des VIP. Die bedampften Folien sind, sofern Aluminium als Sperrschicht eingesetzt wird, unter gewissen Bedingungen korrosionsanfällig.

### • Aluminiumverbundfolien

Aluminiumverbundfolien für VIP bestehen aus einer Aluminiumfolie mit einer Schichtdicke zwischen 6 und 12  $\mu\text{m}$  in der Mitte und zwei Kunststofffolien auf den Außenseiten. Der Vorteil einer solchen metallischen Umhüllung ist ihre hohe Gasdichtigkeit. Der Nachteil ist der starke Wärmefluss über den Paneelrand, der die effektive Dämmwirkung des VIP mindert. Dieser Randeffect ist umso ausgeprägter, je dicker die Metallschicht und je kleiner das Paneel ist.

### Die Herstellung von VIP

Die Herstellung der Vakuumdämmplatten entspricht im Wesentlichen der Vakuumverpackungstechnik aus der Lebensmittelindustrie. Die Hauptunterschiede liegen in den Abmessungen der VIP und den gesteigerten Anforderungen an den zulässigen Restgasdruck (Vakuum). Je nach Produktionsverfahren wird zunächst der Kern aus vorgepressten Platten auf ein gewünschtes, beliebiges Format zurechtgeschnitten oder es wird für jede Plattengröße eine spezielle Pressform benötigt, was die Flexibilität im Fertigungsprozess einschränkt. Der Kern wird dann in eine Hülle entsprechender Größe gesteckt. Die Evakuierung des VIP erfolgt grundsätzlich in einer Vakuumkammer. Ihre Größe bestimmt die maximal möglichen Abmessungen der Paneele (z. B. 2 x 1 m).



Abb. 10 Im Deutschen Museum in München sind ein Paar der originalen „Magdeburger Halbkugeln“ ausgestellt. Im Hintergrund sieht man auch Guericques Vakuumpumpe dritter Bauart. Foto: Deutsches Museum

## Die Inszenierung des Vakuums

Auf den griechischen Philosophen Aristoteles (um 384–322 v. Chr.) geht die Hypothese zurück, dass die Natur vor leeren Räumen zurückschrecke, bezeichnet als „horror vacui“ (lat.: Abscheu vor der Leere). Leere Räume seien immer bestrebt, Gas oder Flüssigkeiten anzusaugen. Auch nach der christlichen Theologie war eine „Lücke“ in Gottes Schöpfung undenkbar. Mit einem eindrucksvollen Versuch widerlegte Otto von Guericke (1602–1686), Diplomat, Wissenschaftler und Bürgermeister der Stadt Magdeburg, diese These: 16 Pferde, acht in die eine und acht in die andere Richtung gespannt, schafften es nicht, eine Kugel aus zwei luftleer gepumpten, metallenen Halbkugeln auseinander zu reißen. Damit weist Guericke nach, dass Stoffe nicht vom luftleeren Raum angesaugt, sondern vom Umgebungsdruck hineingedrückt werden.

Für das Experiment verwendete er zwei Halbkugeln aus etwa 2 cm starkem Kupferblech mit einem Durchmesser von 60 cm. Die Dichtflächen wurden mit feinem Sand geschliffen und zu einer Kugel zusammengelegt. Mithilfe der von ihm entwickelten Vakuumpumpe konnte er die Luft aus dem Innern der Kugel weitgehend entfernen (evakuieren). Der Druck der umgebenden Atmosphäre presste nun die Hälften zusammen. Ab 1657 führte er diesen Versuch wiederholt durch mit unterschiedlich großen Kugeln und einer unterschiedlichen Anzahl an Pferden – das Pferd war damals die größte zur Verfügung stehende Zugkraft.

Heutzutage ist die Vakuumtechnik eine erprobte, seit langem eingeführte Technik und aus einer Vielzahl industrieller Verfahren und Untersuchungstechniken nicht mehr wegzudenken. Das Spektrum reicht in der industriellen Fertigung vom Glühen und Schmelzen von Metallen, dem Aufdampfen von Metallen bis hin zu Trocknungsverfahren für unterschiedliche Stoffe. Im Bereich physikalischer und chemischer Untersuchungen greift man vom Massenspektrometer über den Teilchenbeschleuniger bis zur Elektronenmikroskopie auf Vakuumtechnik zurück.

Abb. 11 Illustration aus dem Werk „Technik Curiosa“ aus dem Jahr 1664 von Professor Caspar Schott aus Würzburg.



Abb. 12 Bauelemente mit Vakuumdämmung – Auszug aus der Produktpalette eines Herstellers. Foto: Variotec



## VIP für den Markt

*Für die Markteinführung neuer Baustoffe müssen, außer der Funktionstüchtigkeit und Praktikabilität an sich, noch verschiedene weitere Randbedingungen geklärt werden. Wesentlich sind beispielsweise Fragen des Brandschutzes. Gerade bei der empfindlichen Vakuumdämmung spielen außerdem Dauerhaftigkeit und Qualitätssicherung eine wichtige Rolle für den langfristigen Erfolg.*

Für Vakuumisolationspaneele gibt es zur Zeit keine allgemein anerkannten Regeln der Technik (z. B. DIN Normen). Deshalb sind dafür im Anwendungsbereich der Landesbauordnungen allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen (abZ) erforderlich. Solange keine abZ für Produkte vorliegt, ist jeweils eine Zustimmung im Einzelfall gemäß der jeweiligen Landesbauordnung zu beantragen, ein kosten- und zeitintensives Verfahren. Inzwischen bieten vier Hersteller VIP-Produkte mit abZ an – Tendenz steigend:

- va-Q-tec AG, Würzburg;
- Porextherm Dämmstoffe GmbH, Kempten;
- Variotec Sandwichelemente GmbH & Co. KG, Neumarkt/Oberpfalz;
- Vaku-Isotherm GmbH, Rossau.

Welche VIP-Produkte eine abZ haben, erfährt man im „Verzeichnis der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen, Zulassungsbereich Baustoffe und Bauarten für den Wärmeschutz“ des Deutschen Instituts für Bautechnik (DIBt).



Abb. 13 Für den Baustellenbetrieb hat die Kaschierung der VIP-Elemente Vorteile. Foto: IGEL, Wismar

Festgeschrieben werden darin der Zulassungsgegenstand und die Anwendungsbereiche, die Eigenschaften und Zusammensetzung des Bauproduktes. Auch Herstellung, Verpackung, Transport und Lagerung und Kennzeichnung und die zur Qualitätssicherung erforderlichen Maßnahmen sind festgelegt. Für den Planer entscheidend sind die Bestimmungen für Entwurf und Bemessung, insbesondere der zu verwendende Bemessungswert für die Wärmeleitfähigkeit, der Mindestwärmeschutz sowie die Einstufung in eine Baustoff-Brandschutzklasse. Die abZ wird widerrufen und in der Regel für fünf Jahre erteilt.

### Brandschutz

Sämtliche VIP mit allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung sind als normal entflammbar klassifiziert (Baustoffklasse B2 nach DIN 4102). Entsprechend den brandschutztechnischen Anforderungen können ungeschützte VIP in der Gebäudehülle in Außenwänden nur bis zu einer Höhe von sieben Metern eingesetzt werden. Eine Kaschierung der Elemente mit entsprechenden Schutzschichten kann ihren Einsatz bis zur Hochhausgrenze ermöglichen (Baustoffklasse B1).

### Recycling und Ökobilanz

Bei VIP, die noch im Werk oder auf der Baustelle als beschädigt aussortiert werden, kann das Stützkernmaterial direkt durch Mahlen und erneutes Verpressen wieder verwendet werden. Die Hüllfolien aus metallisiertem Polymerverbund lassen sich nur thermisch verwerten.





Abb. 14 Mit Gummigranulat kaschierte VIP sind ohne Beschädigungsgefahr begehbar. Foto: Porextherm

Bei Polymer-Aluminium-Verbundfolien mit Aluminium-Schichtdicken ab 6  $\mu\text{m}$  lohnt es sich eventuell, das Aluminium zurückzugewinnen.

Haben VIP durch „Verlust des Vakuums“ das Ende ihrer Lebensdauer erreicht, könnten sie prinzipiell sortenrein entsorgt werden. Man geht davon aus, dass sich die über einen längeren Zeitraum genutzte Kieselsäure aus dem Stützkern, eventuell getrennt von Faserstoffen und Trübungsmitteln, nach einem Trocknungsprozess erneut als Bestandteil von VIP-Stützkernen einsetzen lässt. Aufwendiger wird der Rückbau aus Verklebungen, z. B. mit Kaschierungsmaterialien, und aus Verbundkonstruktionen.

Für die Herstellung von VIP mit Stützkernen aus Kieselsäure und Siliziumcarbid ergaben in der Schweiz durchgeführte vergleichende Ökobilanzen für die Dämmstoffe Glaswolle, expandiertes Polystyrol und VIP eine vergleichbare Umweltbelastung wie bei der Herstellung von expandiertem Polystyrol. Der hohe Anteil elektrischer Prozessenergie für die Herstellung der pyrogenen Kieselsäure wirkt sich dabei negativ auf die Ökobilanz aus, wird aber durch die deutlich bessere Dämmwirkung in der Anwendung kompensiert.

### Lebensdauer

VIP-Elemente altern: Eindringende Gase erhöhen langsam aber stetig die Wärmeleitfähigkeit. Da die Barrierewirkung der Sperrfolie und der Siegelnähte gegenüber Wasserdampf und Gasen feuchte- und temperaturabhängig ist, beeinflussen die jeweiligen Umgebungsbedingungen die Lebensdauer. Insbesondere höhere Temperaturen begünstigen das Eindringen von Gasen. Über mehrere Jahre laufende Tests im Labor und in praktischen Anwendungen, Simulationen und Schnellprüfverfahren lassen erwarten, dass die Wärmeleitfähigkeit von VIP im Baubereich auch über mehrere Jahrzehnte nur geringfügig ansteigt. Im Rahmen der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen festgelegte, sogenannte Bemessungswerte für die Wärmeleitfähigkeit berücksichtigen unter anderem insbesondere auch die zu erwartende Alterung für die ersten 25 Jahre. Während der je nach Produkt zwischen 0,007 bis 0,010  $\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$  zu rechnen hat, ist für die ersten 25 Jahre in der Anwendung daher ein geringerer Wärmedurchgang zu erwarten. Erst danach mag er über den Rechenwert hinaus ansteigen.

## Aus der Praxis

### Prototypen Sanierung und Neubau

Lichtblau Architekten BDA, München



Abb. 15 Reihenhhaus, Baujahr 1956, vor der Sanierung.

Abb. 16 Auf der Südfassade sind vollflächig Solarkollektoren integriert.

Abb. 17 Detail Dämmhülle Süd mit Fensteranschluß.

Bei der energetischen Sanierung dieses Reihemittelhauses (nahe Passivhausstandard) bot eine Vakuumdämmung viele Vorteile. Speziell bei Reihenhäusern ist eine nachträgliche, dicke Außendämmung mit einem geometrisch, konstruktiv und optisch problematischen Versatz zu unsanierten Nachbargebäuden verbunden. Hier ermöglichte die dünne Ergänzungs-dämmung mit VIP in den Dachschrägen, die Dachhöhe und den knappen, durchlaufenden Dachüberstand beizubehalten. Die Außenwände erhielten eine 9 cm schlanke Vorsatzschale mit VIP zwischen einer Holz-lattung und neue, nach außen öffnende Fenster. Der Einsatz von VIP erlaubte auch eine effiziente Dämmung der niedrigen Kellerdecke. Die Wärmebrücken der Kommunnwände zu den Nachbarn ließen sich durch in 25 cm tiefe vertikale Schlitze eingeschobene VIP-Elemente einwandfrei lösen.

Für den prototypischen Neubau des Zweifamilienhauses ermöglichen Bauweise und die Dämmung mit VIP Passivhausniveau in einer extrem schlanken Erscheinung. Der zweigeschossige, vorgefertigte Massiv-Holz-bau besitzt eine Fassade aus schwedenroten Fichtenholztäfeln über einer Unterkonstruktion mit VIP, südseitig sind Solarkollektoren unter Prismenglas integriert. Vakuumdämmung befindet sich außer in der Außenwand auch im Pultdach über dem Obergeschoss, sowie in den Außentüren. Vor allem die konsequente Konstruktion in Holz, sowie hochwertige, trennbare Materialien führen zu einem ökologisch, funktional und wirtschaftlich optimierten Gesamtergebnis. Die schlanken Wandaufbauten erzielen eine um 15  $\text{m}^2$  größere Wohnfläche.

In beiden Projekten bleibt ein Austausch belüfteter VIP-Elemente jederzeit möglich. Die Montage zwischen Holzlaten bzw. Metallschienen ermöglichte standardisierte Elementgrößen und eine einfache Montage. Das Einsetzen der ungeschützten VIP in die jeweilige Unterkonstruktion über umlaufendes Kompriband verlief entsprechend problemlos. Allein die Lieferkonditionen und die Qualitätssicherung bis zur Baustelle wiesen bei diesen Prototypen im Jahr 2000 noch erhebliche, aber lösbare Defizite auf.

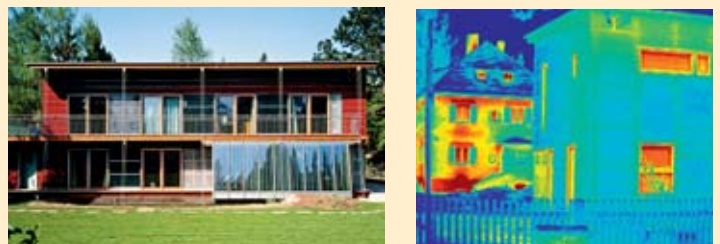


Abb. 18 Ansicht von Süden. Fotos 15 – 18: Lichtblau Architekten

Abb. 19 Die Thermografie zeigt den guten Wärmeschutz im Vergleich zum Nachbargebäude. Die thermisch hochaufgelöste Darstellung läßt vertikal die Holzlattung zwischen den Elementen sowie horizontal Metallschienen in der Fassade erkennen. Foto: ZAE Bayern



## VIP-Projekte im Monitoring – das Forschungsprojekt VIP-PROVE

*Dem Reiz hocheffizienter, schlanker Dämmungen auf Basis von VIP stand und steht ein tiefes Misstrauen entgegen: Bleibt die Vakuumschicht bei der Verarbeitung in der baulichen Praxis tatsächlich unversehrt? Ist die Qualität des Vakuums in den Paneelen von Dauer? Ziel des Projekts VIP-PROVE war deshalb, das Vertrauen in die VIP-Technologie zu stärken. Das Projekt umfasste nicht nur das Monitoring bestehender, überwiegend kommerziell mit VIP realisierter Objekte, sondern auch die Erarbeitung von Unterlagen für die Aus- und Weiterbildung von Fachplanern, Architekten und Handwerkern sowie eine verstärkte Informationsaufbereitung und Informationsverbreitung, speziell über [www.vip-bau.de](http://www.vip-bau.de).*

*Das Monitoring von 26 Objekten zeigte, dass durchschnittlich etwa 12% der Fläche mit großer Wahrscheinlichkeit belüftet sind – ein zunächst ernüchterndes Ergebnis. Nimmt man jedoch drei Objekte, bei denen etwas grundsätzlich misslungen sein muss, aus dieser statistischen Auswertung heraus, so liegt der Anteil auffälliger Paneele unter 5%. In Anbetracht der Tatsache, dass bei der Mehrzahl der Objekte Planer und Ausführende erstmals Kontakt mit dieser ungewöhnlichen Dämmtechnik hatten, eine Quote, die in Zukunft bei entsprechender Sorgfalt deutlich unterschritten werden dürfte. Besonders positiv zu werten ist die Tatsache, dass auch bei den wiederholt durchgeführten Untersuchungen keine außergewöhnlichen Ausfallerscheinungen mit der Zeit, durch welche Einflussgrößen auch immer, festgestellt wurden. Selbst in Anwendungen, bei denen die VIP inzwischen mehr als 10 Jahre im Einsatz sind, blieb es bei den von Anfang an als „wahrscheinlich belüftet“ eingestuften Paneelen.*

*Kritisch scheint daher insbesondere die Verarbeitung auf der Baustelle zu sein. Sind die VIP erst einmal installiert, so bleibt die hohe Dämmwirkung zuverlässig über viele Jahre erhalten. Das lassen vorangegangene umfangreiche wissenschaftliche Untersuchungen und die Erfahrungen aus den ersten Test- und Demonstrationsvorhaben erwarten.*



Abb. 20 Drei Beispiele aus dem Monitoring-Programm von VIP-PROVE. Quelle: ZAE Bayern.

### Qualitätssicherung und Prüfverfahren

Da eine optimale Wärmedämmung durch VIP nur gewährleistet ist, solange das Vakuum intakt ist, erfordert diese Technik – stärker als konventionelle Dämmstoffe – ein System der Qualitätssicherung und -überprüfung während des gesamten Herstellungs- und Verarbeitungsprozesses.

Schon die bauaufsichtlichen Zulassungen des DIBt schreiben eine strenge werkseigene Produktionskontrolle und eine regelmäßige Fremdüberwachung vor. Dabei wird unter anderem zum Teil täglich geprüft, ob Ausgangsstoffe, Beschaffenheit, Maße, Wärmeleitfähigkeit, Druckfestigkeit und Innendruck mit den Angaben in der Zulassung übereinstimmen.

Hersteller, die Mitglied in der Güteschutzgemeinschaft Hartschaum e.V., Produktgruppe Vakuum-Isolations-Paneele, sind, unterwerfen ihre Produkte über die allgemeine bauaufsichtliche Zulassung hinaus zusätzlichen

Kontrollen. Produkte, die das Verfahren bestehen, dürfen mit dem Gütezeichen gemäß RAL-GZ 960 gekennzeichnet werden.

Ein Hersteller geht einen eigenen Weg. Ein spezieller patentrechtlich geschützter Sensor ermöglicht es ihm, mit vergleichsweise geringem Aufwand an jedem einzelnen Paneel eine relativ präzise Ausgangskontrolle durchzuführen.

Während die Produktion unter kontrollierten Bedingungen von geschultem Personal erfolgt und eine hohe Qualität der Produkte gewährleistet, sind der Transport, die Lagerung auf der Baustelle und insbesondere die Verarbeitung vor Ort für die VIP besonders riskant. Das DIBt hat daher in den allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen für VIP-Produkte vorgeschrieben, dass der Einbau von VIP-Elementen nur durch geschultes Fachpersonal erfolgen darf: Personal, das ausreichende Erfahrung für den sorgfältigen Umgang bei der Handhabung der VIP-Elemente mitbringt.





## Problemlöser Vakuumdämmung

VIP sind derzeit wesentlich teurer als konventionelle Dämmstoffe mit gleichem U-Wert. Für 2 cm starke VIP sind Kosten in der Größenordnung zwischen 50 und 100 €/m<sup>2</sup> zu veranschlagen. Dazu erfordern Planung, Einbau und Qualitätssicherung einen erhöhten Aufwand. Der Einsatz lohnt sich also insbesondere:

- wenn für eine konventionelle Dämmung kein ausreichender Raum zur Verfügung steht, z. B. bei Bestandsbauten an öffentlichen Gehwegen, an Kellerdecken;
- wenn der Einsatz der schlanken VIP aufwendige Zusatzmaßnahmen einspart, wie z. B. das Versetzen von Tür- und Fensterstürzen, bei Dämmung von Dachterrassen oder Bodenplatten;
- um bei festgelegtem U-Wert aus einer vorgegebenen Grundfläche möglichst viel Nutzfläche zu erzielen, z. B. in Ballungsgebieten mit hohen Grundstückspreisen, auf kleinen oder ungünstig geschnittenen Baugrundstücken;
- aus gestalterischen Gesichtspunkten, z. B. um geometrische Proportionen bei der Sanierung zu erhalten, bei Dachgauben, bei geschlossenen Elementen in Pfosten-Riegel-Konstruktionen sowie im Denkmalschutz.

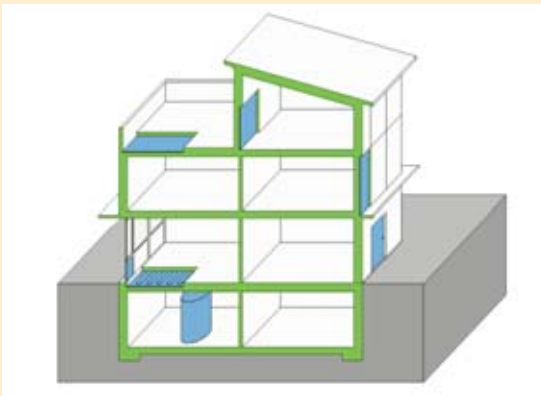


Abb. 21 Einsatzgebiete (blau) sind beispielsweise Fassade (innen und außen), Brüstungen, Fußböden, Decken, Dachterrassen oder Loggien. Quelle: FHNW



Abb. 22 VIP ermöglichen die nachträgliche Dämmung von Fußböden bei geringen Bauhöhen. Foto: Fraunhofer IBP

## Aus der Praxis

### Neubau Wohn- und Geschäftshaus

Pool Architekten, Martin Pool, München

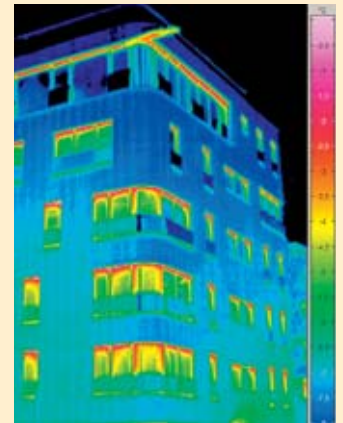


Abb. 23 Das sechsstöckige Wohn- und Geschäftshaus in München-Lehel mit sieben Wohnungen sowie sechs Büroeinheiten auf insgesamt 1.350 m<sup>2</sup> erreicht einen Heizwärmebedarf von nur 22 kWh/m<sup>2</sup>a. Foto: Sascha Kletzsch, München

Abb. 24 Die Thermografie zeigt keinerlei Auffälligkeiten. Foto: ZAE Bayern

Abb. 25 Große Glasflächen an den gerundeten Gebäudeecken – in den Bereichen der geringsten Verschattung – sollen solare Wärmeerträge ermöglichen. Foto: Michael Heinrich, München

Das Wohn- und Geschäftshaus in München ist das erste größere Gebäude, das vollständig mit VIP gedämmt wurde. Hauptmotivation für den Einsatz von VIP war der wirtschaftliche Vorteil durch den Flächengewinn aufgrund der schlanken Fassaden. Aber auch die erhöhten solaren Gewinne und der verbesserte Ausblick aufgrund der dünneren Leibungen waren Argumente.

Die VIP-Dämmstärke beträgt nur 2 cm, zuzüglich einer verstärkten, 8 cm dicken Putzträgerplatte. Dieses Wärmedämmverbundsystem übernimmt den mechanischen und auch den Witterungsschutz der VIP sowie die Überdämmung von Wärmebrücken an Befestigungspunkten und Anschlüssen. Mit konventionellen Dämmstoffen wäre für einen vergleichbaren Dämmwert eine Schichtdicke von 25 cm erforderlich gewesen.

Die in diesem Projekt neu entwickelte Konstruktion basiert auf einem bereits vorhandenen System mit allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung für ein WDVS mit PU-Dämmung auf Ständerkonstruktion. Dieses konnte mit relativ geringem Aufwand durch einen Antrag auf Zustimmung im Einzelfall für die VIP ergänzt werden. Andere Systeme scheiterten vor allem an dem Kosten- und Zeitaufwand eines Prüfverfahrens, das für eine Zustimmung im Einzelfall notwendig gewesen wäre.

Das Gebäude wurde mit dem Deutschen Bauphysikpreis 2005, einer Anerkennung zum Bayerischen Energiepreis 2006 und dem dena-Preis „Energieeffizienz und gute Architektur“ 2009 prämiert.

Im Rahmen des Projektes VIP-PROVE wurde auch dieses Objekt im Detail untersucht. Von 750 m<sup>2</sup> verbauten VIP waren ca. 450 m<sup>2</sup> für Thermografieaufnahmen zugänglich. Kein einziges dieser Paneele wurde als belüftet eingestuft.



**Abb. 26** Weil VIP sehr empfindlich sind, gibt es für ihren Einbau genaue Vorschriften. Foto: Lichtblau Architekten



**Abb. 27** Dieses VIP ist auf der Außenseite mit einem Schutzgewebe aus Glasfasern kaschiert. Foto: va-Q-tec

### Einbauvarianten von Vakuumdämmung

Vakuumisolationspaneele sind in verschiedenen Standardformaten auf dem Markt. Größen nach einem Baukasten-System sollen helfen, den Planungsaufwand zu reduzieren und Sonderanfertigungen zu vermeiden. Sonderformate oder Passstücke, beispielsweise mit Aussparungen für Halteelemente, Anker oder Ähnliches, sind teuer und benötigen Vorlauf bei der Produktion.

Für das Bauwesen werden VIP unkaschiert, kaschiert oder in Fertigteile integriert angeboten. Es ist zu erwarten, dass vermehrt Bauprodukte und -systeme mit integrierten VIP auf den Markt kommen.

#### • Ungeschützte VIP

Reine Vakuumisolationspaneele verschiedener Hersteller haben sich schon seit einem Jahrzehnt im Baubetrieb bewährt. Für ihren Einsatz spricht neben der schlanken Form, dass sie sich mindestens bis zum Einbau gut kontrollieren lassen. Bei entsprechender Planung können einzelne Paneele im Falle ihres Versagens ausgetauscht werden. Defekte VIP lassen sich einfach recyceln oder sortenrein entsorgen. Der große Nachteil: die Paneele sind für den rauen Baualltag ungewohnt empfindlich und bedürfen eines professionellen Bauteams.



**Abb. 28** Die Vorfertigung von Bauteilen im Werk bietet einen guten Schutz für die VIP. Auf der Baustelle sind solche Elemente kaum anders zu verarbeiten als konventionell gedämmte. Foto: Variotec

#### • Kaschierte VIP

Um die Paneele robuster zu gestalten und/oder um sie bestimmten Anwendungsbereichen anzupassen, bekleben einige Hersteller die VIP von vornherein beidseitig. Das Material für die Kaschierung reicht von konventionellen Dämmstoffen ähnlich einem WDVS für die Aussendämmung, über Holz- oder Hartkunststoffplatten für den Innenausbau bis zu zusätzlichen Gummilagen für eine zusätzliche Trittschalldämmung bei der Fußbodenanwendung.

Kaschierte VIP gewährleisten einen vergleichsweise guten mechanischen Schutz und lassen sich, sofern sie auch im Randbereich kaschiert sind, in gewissen Grenzen vor Ort in der Größe anpassen. Die zusätzliche Schicht macht das Element natürlich auch wieder dicker. Sie erschwert außerdem eine Kontrolle der Elemente.

#### • In Bauteile integrierte VIP

Vorgefertigte Bauteile mit Vakuumdämmung für Fassade und Dach werden als Holzsandwich-Konstruktionen, Betonfertigteile oder Elemente nach dem Isolierglasprinzip angeboten. Auf dem Markt sind außerdem Einzelbauteile, wie Türen, Fensterstürze oder Rolladenkästen. In solchen Fertigteilen werden die empfindlichen VIP mit hoher Maßgenauigkeit und unter kontrollierten Bedingungen im Werk eingebaut. Hierdurch ist die Gefahr einer Beschädigung erheblich reduziert. Bei entsprechender Planung entfallen teurere Passstücke und Toleranzzonen, die vor Ort mit konventionellem Dämmstoff ausgefüllt werden müssten. Der Reiz der Fertigteile besteht außerdem in ihrer Schlankheit und Leichtigkeit. In Pfosten-Riegel-Konstruktionen lassen sich so transparente und opake, hochwärmedämmende Elemente mit gleicher Bauteildicke in einem einheitlichen Montage- und Befestigungssystem kombinieren.

Bei Fertigteilen kann das Vakuum der eingebauten VIP mit den gegenwärtig verfügbaren Verfahren nicht mehr überprüft werden, weil hierfür ein freier Zugang zur Oberfläche der VIP-Folie erforderlich ist.



## Aus der Praxis

### Sanierung einer Kindertagesstätte

Institut für Gebäude + Energie + Licht Planung (IGEL), Wismar

Bei der Sanierung einer Kindertagesstätte in Plattenbauweise, einem vom BMWi geförderten Forschungsprojekt, boten sich die fensterlosen Giebelseiten für den Einsatz einer VIP-Dämmung an – eine der ersten großflächigen Anwendungen in der Sanierung. Dabei wurden zwei verschiedene Systeme erprobt und verglichen.

Auf der Westfassade wurden von einem kommerziellen Anbieter VIP in ein marktübliches Wärmedämmverbundsystem integriert (2 cm Vakuumdämmung mit insgesamt 3 cm PS-Kaschierung). Mit diesem Ansatz konnte der U-Wert von ursprünglich  $1,25 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  auf  $0,18 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  verbessert werden. Für die Ostfassade wurden vorgefertigte VIP-Fassadenelemente neu entwickelt, die einen Austausch eventuell ausgefallener oder beschädigter VIP ermöglichen sollten. Vier VIP wurden dabei jeweils durch eine hochfeste keramische Platte auf der Außenseite geschützt. Aufgrund von Wärmebrücken in dieser Konstruktion wurde der U-Wert der Wand so (rechnerisch) lediglich auf  $0,34 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  gesenkt.

Im Rahmen des Projektes VIP-PROVE wurden die beiden Ausführungsformen hinsichtlich der Praxistauglichkeit und der Dauerhaftigkeit geprüft. Die neu entwickelten Elemente auf der Ostseite des Gebäudes erwiesen sich als noch nicht ausgereift. Neben einigen belüfteten VIP (ca. 5%) zeichneten sich in den Thermografieaufnahmen insbesondere die thermischen Schwachstellen an den Stoßstellen der Fassadenelemente ab.

Deutlich weniger stark ausgeprägt sind die Wärmebrücken bei dem System auf der Westfassade. Zwei Paneele und drei kleinere Passstücke an einer Hauskante wurden in den Aufnahmen von 2006 als belüftet identifiziert. Die drei Jahre später wiederholten Untersuchungen weisen keine weiteren als auffällig aus.



Abb. 29 Energieverbrauch, baulicher Zustand und eine ungünstige Erschließung machten eine Sanierung erforderlich. Foto: IGEL, Wismar



Abb. 30 Hinter den blauen keramischen Platten befindet sich eine Vakuumdämmung. Foto: IGEL, Wismar

## Im Portrait

### Der Prüfenieur und der Architekt – zwei Expertenmeinungen



#### Christoph Sprengard

Abteilung Bauphysik und Bauteile beim FIW München, Messungen und Berechnungen an VIP sowie Prüfungen für die allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen im Auftrag der Hersteller, beteiligt an Forschungsprojekten zur Optimierung von VIP.

„Das FIW München begleitet seit vielen Jahren die Hersteller von VIP bei der Entwicklung neuer Produkte. Wir messen und berechnen die wärmetechnischen und mechanischen Eigenschaften der Produkte im Rahmen der Prüfungen für die allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen. Alleine die Tatsache, dass es allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen gibt, zeigt, dass die VIP mittlerweile dem Versuchsstadium entwachsen sind.

Neuere Entwicklungen zeigen zuverlässig niedrige Wärmeleitfähigkeiten nach der Herstellung. Diese ändern sich auch mit dem derzeit angewendeten Schnellalterungsverfahren nur wenig, was auf eine gute Dauerhaltbarkeit der Paneele im eingebauten Zustand schließen lässt. Der Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit konnte so in den letzten Jahren kontinuierlich gesenkt werden, und liegt jetzt bei den meisten Herstellern bei  $0,007 \text{ W}/(\text{mK})$ . Selbst wenn ein Paneel ausfällt und belüftet wird, kann noch mit  $0,020 \text{ W}/(\text{mK})$  gerechnet werden, was für den Mindestwärmeschutz ausreicht. Tauwasserausfall und Schimmelbildung, an Wänden und Decken hinter belüfteten Paneelen sind somit nicht zu erwarten. Wärmeleitfähigkeit und mechanische Eigenschaften der zugelassenen Paneele werden durch regelmäßige Fremdüberwachung geprüft, was zur Sicherstellung des Qualitätsniveaus der Paneele beiträgt.“



#### Architekt Florian Lichtblau

führt mit Bruder Wendelin das Büro Lichtblau Architekten BDA, das sich seit über 20 Jahren mit Praxis, Forschung und Lehre für zukunftsfähiges Bauen auseinandersetzt.

„Zum gemeinsamen Bürostart 1987 hatten wir uns ein gewagtes Lichtdach mit transluzenter Wärmedämmung (TWD) übergestülpt, das Experiment unbeschadet überstanden und in Folge viele weitere neue ‚Bausteine‘ aufgespürt und angestoßen, so auch die Vakuumdämmung. Bereits 1998 hatten wir eine Anfrage des ZAE Bayern auf dem Tisch, ob wir das Forschungsvorhaben nicht mit 2 Prototypen begleiten. Wir wollten. Seither haben wir kaum ein Projekt ohne neue VIP-Details realisiert.

Als verantwortliche Planer treffen wir stets konstruktive Vorkehrungen für einen reversiblen Einbau der Elemente. Je handwerklicher und einfacher das Bauteil, desto schneller und kostengünstiger lassen sich schadhafte VIP bei Bedarf ersetzen.

Für die Zukunft rechnen wir mit einem enormen Entwicklungspotenzial, insbesondere bei aktuellen Forschungsbeteiligungen im Bereich industriell vorgefertigter Modulfassaden für hocheffiziente Gebäudesanierung. In Verbindung mit Holzkonstruktion, Vakuumverglasung und der Integration von Solartechnik etc. erahnen wir die Entwicklung von spannenden Konzepten als Teil einer zukunftsfähigen Neugestaltung im Gebäudebestand. Wir nennen das ‚die zweite Chance für Architektur‘.“

Abb. 31 Nur geschultes Personal darf die Vakuumpaneele einbauen.  
Foto: HASIT



## Mit Vakuumdämmung bauen

*Eine Vakuumdämmung muss schon in der Planungsphase exakt durchdacht und detailliert werden. Es gilt, nicht nur bauphysikalische Aspekte zu beachten, sondern auch die erforderlichen Plattenmaße abzustimmen und einen Verlegeplan zu erstellen. Auf der Baustelle muss der Einsatz der empfindlichen VIP vom Transport über die Lagerung bis hin zum Einbau genau geplant und mit den anderen am Bau beteiligten Gewerken abgestimmt werden.*

Um zu entscheiden, ob und in welchen Bereichen sich Vakuumisolationspaneele für ein Bauvorhaben eignen, müssen sich Bauherr und alle Planungsbeteiligten über die Eigenschaften und Besonderheiten von VIP bewußt sein. VIP-Hersteller bzw. -Lieferanten sollten so früh wie möglich in den Planungsprozess eingebunden werden. Liegt für die geplante Anwendung noch keine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung vor, so ist für die Verwendung der VIP eine Zustimmung im Einzelfall zu beantragen. Dies benötigt ausreichend Vorlauf.

### Bemessungswert, Wärmebrücken und Dampfdiffusion

Der in der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung festgelegte, von dem Planer zu verwendende Bemessungswert für die Wärmeleitfähigkeit berücksichtigt neben der Alterung auch bereits den Wärmebrückeneffekt stumpf gestoßener VIP. Eine geringe „Ausfallquote“ belüfteter VIP ist ebenfalls eingerechnet. Die Wärmebrückeneffekte von Ankern oder Befestigungselementen, die nur im Stoßbereich zwischen zwei Paneelen angebracht werden können, sind speziell und gesondert zu betrachten. Eine zweilagige, versetzte Verlegung der VIP-Dämmplatten oder die Überdämmung mit einer wenige Zentimeter dünnen Schicht konventionellen Dämmmaterials helfen, einen erhöhten Wärmeabfluss im Bereich eventueller Lücken im Stoßbereich der Paneele zu reduzieren.

Die Vakuumdämmung ist im Vergleich zu üblichen Baustoffen außerordentlich dampfdiffusionsdicht und daher unter hygrischen Gesichtspunkten im Allgemeinen weniger kritisch als konventionelle Wärmedämm Lösungen. Im

Zweifelsfall sollten Fachleute den geplanten konstruktiven Aufbau mit Hilfe bauphysikalischer Simulationsprogramme (z. B. WUFI, DELPHIN) analysieren und bewerten.

### Kontrolle und Austauschbarkeit belüfteter VIP

Belüftete Paneele lassen sich nicht reparieren, weisen aber immer noch eine doppelt so gute Dämmwirkung auf wie konventionelles Dämmmaterial gleicher Stärke. Entsprechend den Vorgaben der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung sind Konstruktionen so auszulegen, dass selbst wenn alle Paneele belüftet sein sollten, immer noch der



### Wärmebrücken gewinnen an Bedeutung

*Bei Hochleistungsdämmungen fallen Wärmebrücken grundsätzlich stärker ins Gewicht: Das Problem verschärft sich etwa in dem gleichen Maße, wie mit dem Einsatz von VIP die Dicke der Dämmschicht verringert werden kann (Faktor 5 bis 10). Selbst ruhende Luft oder konventionelles Dämmmaterial stellen im Vergleich zu einem Vakuumdämmpaneel eine Wärmebrücke dar. Im Bereich von Befestigungen und Anschlüssen lässt sich ein erhöhter Wärmedurchgang nicht vermeiden. Der effektive, über die Fläche gemittelte Wärmedurchgangswert (U-Wert) von Wärmedämmungen mit VIP ist deshalb meist höher anzusetzen, als für die VIP alleine.*





**Abb. 32** Die Qualitätssicherung und -kontrolle auf der Baustelle spielt eine wichtige Rolle bei der Verwendung von VIP. Foto: HASIT



**Abb. 33** Die Anordnung der VIP zwischen Holzlatten ermöglicht eine relativ einfache Montage und eine optische und haptische Kontrolle bis zur Verkleidung. Fotos: Lichtblau Architekten



Mindestwärmeschutz gegeben ist, um Schimmelpilzbildung vorzubeugen. Um eine hohe Qualität der Vakuumdämmung sicher zu stellen, sind die Paneele vor Einbau sowie nach Montage visuell und haptisch auf Belüftung zu überprüfen. Wenn bei geschickter Planung Paneele nur in wenigen unterschiedlichen Größen, eventuell sogar Standardabmessungen, zum Einsatz kommen, ist es leicht, eventuell auffällige VIP durch Paneele entsprechender Größe zu ersetzen. Andernfalls verzögert die Nachfertigung und -lieferung den Bauablauf. Da der Austausch defekter Paneele nach Fertigstellung des Dämmaufbaus meist schwierig sein dürfte, ist bei der Verarbeitung besondere Sorgfalt erforderlich.

### Stücklisten und Verlegepläne

Da VIP nicht vor Ort in der Größe anzupassen sind, muss die Ausführungsplanung auf feste Plattenmaße abgestimmt werden. Wenige unterschiedliche Paneelgrößen erleichtern die Abwicklung. Stücklisten und Verlegepläne müssen frühzeitig und in enger Zusammenarbeit zwischen Planer und VIP-Lieferant erarbeitet werden. Die Verlegepläne müssen nach einem exakten Aufmaß vor Ort unter Berücksichtigung der Fertigungstoleranzen der Paneele von etwa 2 bis 3 mm erstellt werden. Alle Durchdringungen und Befestigungspunkte sind bereits in dieser Phase in Abstimmung mit den beteiligten Gewerken exakt festzulegen. Eventuell erfordern sie VIP-Sonderanfertigungen.

### VIP auf der Baustelle

Beim Transport, der Lagerung und der Montage ist das Risiko hoch, die VIP-Hülle zu beschädigen – vor allem an Ecken und Kanten. Herumliegende Nägel, überstehende Grate an der Unterkonstruktion, Steine oder Sandkörner, aber auch schon ein Stoß gegen eine Ecke können die Vakuumschicht verletzen und damit zu einer Belüftung des VIP führen. Auf der Baustelle sind deshalb beispielsweise entsprechend gekennzeichnete, ausreichend sichere Lagerflächen bereit zu stellen. In der Konstruktion können Unter- und Deckschichten aus einem weichen flexiblen Material, z. B. nur wenige Milli- oder Zentimeter dünnem Polystyrolschaum, das Beschädigungsrisiko erheblich reduzieren.

Der Umgang mit VIP erfordert also ein hohes Maß an Sorgfalt – und geschultes Personal. Die Schulung muss gemäß der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung durch den VIP-Hersteller erfolgen. VIP-Hersteller und spezialisierte Meisterbetriebe haben sich dafür zu Netzwerken zusammengeschlossen.

### Randbedingungen für den Einbau

Grundsätzlich muss für den Einsatz von VIP die Verträglichkeit mit den übrigen verwendeten Baumaterialien sichergestellt werden. Verschiedene Kleber oder ein alkalischer Untergrund, wie z. B. bei frischem Beton, haben sich in der Vergangenheit als kritisch erwiesen.

### Nutzerinformation

Werden VIP nicht beschädigungssicher eingebaut, sollten Mieter, Eigentümer und Handwerker informiert und, z. B. mit einem Warnaufkleber, auf den empfindlichen Inhalt der Baukonstruktion aufmerksam gemacht werden.



### Qualitätscheck

- Bei jeder Lieferung sind die VIP-Elemente durch eine Sichtkontrolle zu überprüfen. Die Hochbarrierefolie muss den Stützkern eng umschließen.
- Die VIP-Elemente dürfen nicht mechanisch durch Sägen, Schneiden oder Bohren beschädigt werden.
- Der Untergrund für die Verlegung der VIP-Elemente muss eben sein und darf keine Kanten und Grate aufweisen.
- Es muss ein ausreichender Schutz der VIP-Elemente vor Beschädigung auch während der Nutzungsphase gewährleistet sein, z. B. durch das Anbringen einer Vorsatzschale.

**Abb. 34** VIG-Exponate auf der glasstec. Die Stützen im Scheibenzwischenraum sind nur aus geringem Abstand wahrnehmbar und beeinträchtigen die Durchsicht nicht. Foto: Glaser



## Vakuumisolierglas

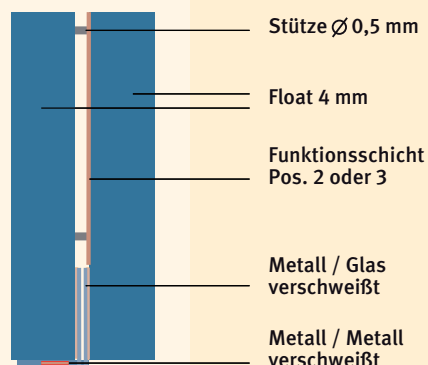
*Verglasungen bilden noch immer die wärmetechnische Schwachstelle von Gebäuden.*

*Die Wärmedurchgangskoeffizienten hochdämmender Dreischeiben-Verglasungen von 0,5 bis 0,7 W/(m<sup>2</sup>K) liegen um das Fünffache über denen opaker Fassaden im Passivhausstandard.*

*Isolierglas mit Vakuum im Scheibenzwischenraum würde nicht nur besser dämmen, sondern wäre auch schlanker und leichter. Forscher haben bereits Mustergläser entwickelt und auf Herz und Nieren geprüft. Jetzt wird an der Serienreife von Produkt und Fertigungstechnik gearbeitet.*

Vakuum im Scheibenzwischenraum anstelle von Edelgasen – diese Idee könnte den Verglasungen zu einem enormen Entwicklungssprung verhelfen. Während beim Übergang von der Zwei- auf Dreischeibenverglasung die verbesserte Dämmwirkung durch höhere Systemstärken – mehr hilft mehr – erreicht wird, kommt beim Vakuumisolierglas (VIG) eine qualitative Verbesserung zum Tragen: die Ausschaltung der Gaswärmeleitung im Scheibenzwischenraum. So können auch im Zweischeibenaufbau  $U_g$ -Werte von 0,5 W/(m<sup>2</sup>K) bei Systemstärken unter 10 mm erreicht werden. Vakuumverglasung wäre damit nicht nur deutlich schlanker und leichter, sondern auch in der Dämmwirkung um ein Zwei- bis Dreifaches besser als konventionelle Isolierverglasung. Zur Realisierung muss der Gasdruck im Scheibenzwischenraum auf Werte unter  $10^{-3}$  mbar, d. h. ein Millionstel des Atmosphärendruckes, evakuiert werden.

**Abb. 35** Schematischer Aufbau von Vakuumisolierglas: Der Standardaufbau besteht aus zwei 3 bis 4 mm starken Floatglas-Scheiben, von denen eine mit wärme-reflektierender Schicht (Low-ε-Schicht) versehen ist. Der Scheibenzwischenraum beträgt weniger als 1 mm. Quelle: ZAE Bayern



### Technische Herausforderungen

Für eine in Europa konkurrenzfähige Vakuumverglasung mussten die Forscher einen ausreichend dichten, thermisch stabilen Randverbund entwickeln sowie optisch, thermisch und mechanisch geeignete Stützen, die den atmosphärischen Druck auf den Scheibenzwischenraum aufnehmen.

#### • Randverbund

Der Randverbund muss nicht nur über die Lebensdauer des Fensters dicht sein, sondern auch die Längenänderungen aufnehmen, die die gute Dämmwirkung durch die erheblichen Temperaturschwankungen zwischen äußerer und innerer Scheibe entstehen lässt. Glas wäre zwar an sich gut geeignet, ist jedoch zu starr. Das führt bereits bei geringen Temperaturunterschieden zu hohen mechanischen Spannungen. Mit dünner Metallfolie konnten die Entwickler das Problem lösen. Ihre Elastizität gleicht temperaturbedingte Spannungen aus. Sie wird auf die Glasscheibe aufgelötet und anschließend in einer Vakuumkammer umseitig gasdicht verschweißt. Mit diesem Aufbau lassen sich  $U_g$ -Werte von 0,5 W/(m<sup>2</sup>K) erreichen.

#### • Stützen

Damit der Druck der umgebenden Atmosphäre die Scheiben nicht zusammenpresst, müssen diese durch winzige Stützen in einem regelmäßigen Raster auf Abstand gehalten werden. Die Größe der Abstandhalter, der Abstand der einzelnen Stützen zueinander sowie die Wärmeleitfähigkeit des verwendeten Materials beeinflussen den Gesamtwärmeverlust des Vakuumglases. Während für Optik und Thermik des Vakuumglases kleine Stützen mit geringer



### Einordnung von Vakuumverglasung in den aktuellen Fenstermarkt (auf Basis verschiedener Herstellerangaben)

Verglasungsart	Aufbau von außen nach innen (Glasdicke, Scheibenzwischenraum), [mm]	$U_g$ -Wert [W/(m <sup>2</sup> K)]	g-Wert [Gesamtenergiedurchlassgrad]	$\tau_v$ [Transmissionsgrad]
2 WSV, Argon	4/12 – 16/#4	1,3 – 1,0	0,63 – 0,50	0,80 – 0,70
3 WSV, Argon	4/#/10 – 16/4/10 – 16/#4	0,8 – 0,6	0,61 – 0,47	0,73 – 0,68
2 Vakuum	4/0,7/#4	0,5	0,54	0,73

WSV = Wärmeschutzverglasung, # = Lage der Low-ε-Schicht(en)

Auflagefläche günstig sind, trifft auf die Anforderungen an die Mechanik genau das Gegenteil zu.

Als bester Kompromiss wurden Edelstahlzylinder in einem Raster von rund 30 x 30 mm ermittelt. Mit einem Durchmesser von 0,5 mm werden die Stützen nur vor kontrastarmem Hintergrund und bei einem Abstand von weniger als einem Meter wahrgenommen. Durch eine spezielle Behandlung reflektieren die Zylinderoberflächen die einfallende Solarstrahlung diffus und es tritt keine Blendung auf.

### Vakuumverglasung für alle Fälle

Fenster, Fassaden oder Überdachungen für Neu- und Altbauten – das werden die Hauptanwendungsfelder für VIG sein. Aber auch in Solarkollektoren, Fahrzeugen und Kühlgeräten ist es denkbar. Neben der Standardausführung aus Floatglas lassen sich Sicherheitsgläser als ESG oder VSG sowie Wärmeschutz- oder Sonnenschutzverglasungen realisieren. VIG lässt sich hinsichtlich Energiedurchlass und Lichttransmission mit herkömmlichen Zweischieben-Wärmeschutzverglasungen vergleichen, durch seine gleichzeitige exzellente Dämmwirkung ermöglicht es aber höhere solare Gewinne.

### Noch in der Forschung

Im Labormaßstab wurden bereits gasdichte Musterscheiben hergestellt und ihre mechanische Stabilität bestätigt. Die Arbeiten konzentrieren sich jetzt auf die Entwicklung von Füge- und Produktionsverfahren zur Serienfertigung von VIG. Durch die Fertigung in einer Vakuumkammer entfällt der Auspumpstutzen, der bei den asiatischen Verglasungen noch den Sichtbereich stört. Eine Demonstrationsanlage zum Test der einzelnen Prozessschritte ist in Betrieb. Um den VIG-Testscheiben eine vergleichbare Maximalbelastbarkeit und Dauerhaltbarkeit wie konventionellen Verglasungen zu bestätigen, wurden neue Prüfverfahren entwickelt.

Mit der großtechnischen Produktionstechnologie soll der Quadratmeter VIG langfristig rund 100 € kosten, also nicht über dem Preis herkömmlicher Dreifachgläser liegen.



### Vakuumglas auf dem Markt

Die Unternehmen Nippon Sheet Glass Co. (Japan) und Qingdao Hengda Industry Co. (China) bieten bereits VIG im Zweischiebenaufbau mit einem Wärmedurchgangskoeffizienten von etwa 1,1 W/(m<sup>2</sup>K) für den asiatischen Markt an. Die relativ hohen Wärmedurchgangskoeffizienten sind durch den starren Randverbund aus Glaslot bedingt. Wäre die Dämmwirkung besser, würden die thermischen Spannungen zu einem Versagen des Randverbundes führen.

Durch den Zweischiebenaufbau besitzen die asiatischen Systeme ein geringes Gewicht und sind mit 10 mm sehr schlank. Die Stützen sind kaum sichtbar. Allerdings macht das von den Herstellern gewählte Fertigungssystem einen Evakuierstutzen im Sichtbereich notwendig. Mit 50 bis 80 €/m<sup>2</sup> (ab Werk) liegen die Preise etwas über denen konventioneller Wärmeschutzverglasungen mit vergleichbaren  $U_g$ -Werten.

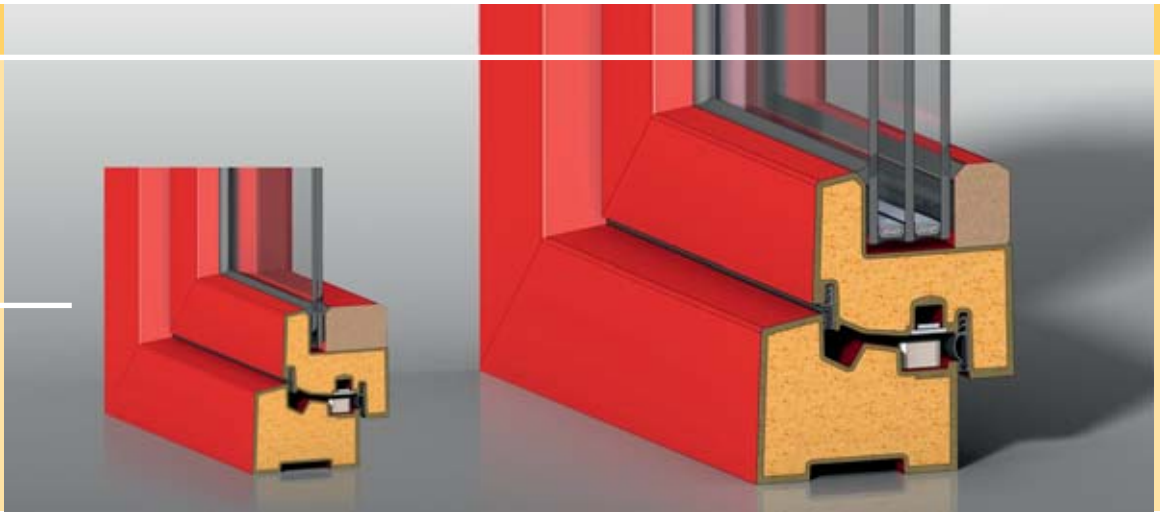
Die  $U_g$ -Werte der asiatischen VIG sind in Europa auch mit kommerziellen Wärmeschutzverglasungen erreichbar, allerdings bei deutlich dickerem, aber üblichem Scheibenaufbau. Für den asiatischen Markt ist die geringere Systemdicke ein Verkaufsargument: Das Vakuumisoliertglas kann dort in vorhandenen Rahmen die verbreitete Einschiebenverglasung ersetzen.

Auch der deutsche Hersteller Velux bietet seit geraumer Zeit eine 24 mm dicke Vakuum-Energiespar-Scheibe mit einem  $U_g$ -Wert von 0,7 W/(m<sup>2</sup>K) an, bei der ein VIG in einem Zweischiebenaufbau realisiert ist.



Abb. 36 Muster eines asiatischen Vakuumisoliertglases. Foto: ZAE Bayern

Abb. 37 Der neu entwickelte Rahmen eignet sich sowohl für Vakuumverglasung als auch für konventionelle Dreifachverglasung.  
Quelle: SKZ



## Der passende Rahmen

*Parallel zur Vakuumverglasung werden passende Rahmenkonstruktionen entwickelt: Ein optimaler Rahmen für Vakuumverglasungen sollte die Wärmebrücke durch den Randverbund überdecken, schlank und gut dämmend sein. Mit einem Profil komplett aus Polyurethan setzen die Forscher auf eine völlig neue Technik. Das innovative System eignet sich auch für herkömmliche Dreifachverglasungen.*

Die Dämmwerte konventioneller Fensterrahmen sind deutlich schlechter als die der besten Verglasungen. Sogar Passivhausrahmen erreichen kaum  $U_F$ -Werte unter  $0,7 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ . Der Preis hierfür sind schwerfällige Systeme mit verstärkten Profilen und Beschlägen sowie großen Bautiefen.

Die Forscher gingen bei der Entwicklung des Rahmens neue Wege bei Material und Herstellung. Statt wie bisher üblich die Profile aus Aluminium zu pressen oder aus PVC zu extrudieren – Methoden mit begrenzten Optimierungsmöglichkeiten –, wird der Kern des neuen Rahmens in einer Form umschäumt und mit einer Kunststoffschicht ummantelt.

### Im Detail

Der gesamte neue Rahmen besteht aus einem einzigen Material: Polyurethan (PU). Dabei umhüllt eine dünne Schicht aus formstabilem und wetterfestem PU-Vollmaterial einen Dämmkern aus aufgeschäumtem PU. Während der Kern hervorragende wärmetechnische Eigenschaften sicherstellt, gewährleistet die Hülle eine gute mechanische und statische Stabilität. Außerdem lässt sie gestalterischen Spielraum: Die Oberflächen können nahezu beliebig beklebt und lackiert werden. Da der Rahmen nur aus einem einzigen Material hergestellt ist, ergeben sich bei der späteren Entsorgung keine Probleme. Zudem ist PU recyclingfähig.

Dieser Rahmen erreicht die nötige Stabilität ohne Stahl- oder Aluminiumarmierung. Auch daraus resultieren sein geringes Gewicht und niedrige Dämmwerte. Mit Dreifachisoliertglas der Standardgröße  $1,23 \text{ m} \times 1,48 \text{ m}$  erreicht ein solches Fenster einen  $U_w$ -Wert von  $0,8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ , mit VIG sogar  $0,7 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ . Damit liegt das neue Profil auf dem Niveau von Passivhausfensterrahmen, allerdings wiegt es weniger und ist mit einer Rahmentiefe von nur  $90 \text{ mm}$  deutlich schmaler. Auch für die wärmetechnische Schwachstelle beim Vakuumisoliertglas, den Randverbund aus Metall, bietet der neu entwickelte Rahmen durch einen hohen Glaseinstand eine Lösung. Das Profil kann Gläser mit Stärken von  $9$  bis  $50 \text{ mm}$  aufnehmen und ist sowohl für den Neubau als auch für die Sanierung geeignet. Beim Einbau der Fenster gibt es keine Unterschiede zu herkömmlichen Rahmensystemen. So entsprechen etwa die Abstände der Verschraubungen denen konventioneller Fenster.

Für Fassadensysteme mit Abmessungen von bis zu mehreren Geschosshöhen lässt sich ein solches reines Kunststoffprofil allerdings nicht verwenden, da es keine tragende Funktion übernehmen kann. Deshalb wurde auch eine thermisch optimierte Pfosten-Riegel-Konstruktion auf Basis von Aluminiumträgern entwickelt.

### Neue Ansätze bei der Herstellung

Das neue System hat Konsequenzen für die Produktion und Weiterverarbeitung. Zur Aufschäumung, Formung und Ummantelung sind spezielle Maschinen erforderlich. Die Fensterhersteller kaufen das Material in sechs Meter langen Stangen und schneiden diese entsprechend ihren Anforderungen zurecht. Im Gegensatz zu konventionellen Rahmen, kann das rein aus Polyurethan bestehende Profil nicht geschweißt werden. Stattdessen lassen sich die Ecken sowie Rahmen und Verglasung mit einem neu entwickelten Klebstoff verbinden. Die Herstellung des neuen Profils lässt sich als Ergänzung in eine vorhandene Produktion integrieren.

Aktuell läuft die Pilotfertigung und es finden erste Gespräche mit Systemherstellern statt. Die Produktionstechnik zur Herstellung von PU-Profilen wird noch 2011 zur Verfügung stehen.



## Übersicht thermischer Kennwerte von Rahmen und Fenstern

	$U_f$ -Wert [W/(m <sup>2</sup> K)]	$U_w$ -Wert [W/(m <sup>2</sup> K)] für Standardfenstergröße 1,23 m x 1,48 m			$U_{w,eq}$ [W/(m <sup>2</sup> K)] mit Berücksichtigung solarer Wärmegewinne	
		mit Zweifach- verglasung $U_g = 1,1$ W/(m <sup>2</sup> K)	mit Dreifach- verglasung $U_g = 0,7$ W/(m <sup>2</sup> K)	mit VIG $U_g = 0,5$ W/(m <sup>2</sup> K)	Südseite	Nordseite
Standard Aluminium- fensterrahmen	1,8	1,5	–	–	0,49	1,10
Standard PVC-Fensterrahmen	1,4	1,4	–	–	0,39	1,00
Optimierter PVC-Fensterrahmen	1,1	–	1,0	–	0,17	0,67
Passivhaus- fensterrahmen	0,7 bis 0,8	–	circa 0,8	–	0,00	0,49
Neuer Fensterrahmen (TopTherm 90)	0,68	–	0,79	0,67	– 0,15	0,36



## Sehr gut dämmende Rahmen

Momentan verfügbare hochdämmende Rahmen weisen Wärmedurchgangskoeffizienten zwischen 1,1 und 0,7 W/(m<sup>2</sup>K) auf. Im Einzelfall werden noch etwas geringere Werte erreicht. Mit verbesserten Abstandhaltern sind  $U_w$ -Werte von 0,7 bis 0,8 W/(m<sup>2</sup>K) möglich. Gekoppelt ist dies allerdings an hohe Bautiefen. Bei Passivhausfensterrahmen liegen diese oft bei 120 bis 130 mm.

Folgende Rahmenvarianten lassen sich unterscheiden:

- Extruder-Rahmenprofile aus PVC mit innenliegender Stahlarmierung und mehreren Luftkammern. Zusätzliche PU-Ausschäumungen können die Wärmedämmwirkung des Rahmens weiter verbessern.
- Holzrahmen mit Kerndämmung bzw. als Sandwichaufbau mit dämmender Mittel- oder Außenschicht. Das Dämmmaterial ist entweder PU-Integralschaum, PU-Recyclat (Purenit), Styrodur oder Weichfaserdämmstoff. Die Anordnung der Dämmschichten ist dabei je nach Hersteller unterschiedlich. Außerdem gibt es Holz-Aluminium-Fenster mit PU-Dämmkern.
- Aluminiumrahmen, bei denen die Rahmenschalen mit einem PU-Dämmkern ausgefüllt sind.
- Weitere Entwicklungen: Ausgeschäumte Kunststoffprofile, in denen die Stahlarmierung durch glasfaserverstärkte Profile ersetzt wird sowie Holzrahmen, die mit außenliegenden holzfaser-verstärkten Profilen kombiniert werden.



## Forschungsakzent Vakuumisolation im Bauwesen (ViBau)



EnOB

Forschung für  
Energieoptimiertes Bauen

ViBau

Die Entwicklung hocheffizienter Wärmedämmelemente für die Gebäudehülle wurde im Rahmen des Forschungsschwerpunktes Energieoptimiertes Bauen (EnOB) unter dem Forschungsakzent ViBau über mehrere Jahre mit Mitteln des Bundeswirtschaftsministeriums gefördert. Standen zunächst Entwicklungen und grundlegende Tests der evakuierten Elemente im Vordergrund, so wurde im Weiteren die Praxistauglichkeit getestet und demonstriert. Parallel hierzu wurden einzelne Komponenten optimiert, Systeme für eine praxisgerechte Systemintegration entwickelt und erprobt. Zudem wurden spezielle Methoden für die Qualitätsprüfung und -sicherung erarbeitet.

Nachdem verschiedene erste VIP-Produkte eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung erhalten haben und kommerziell verfügbar sind, wird im Rahmen einer wissenschaftlichen Begleitforschung die Funktionstüchtigkeit in der allgemeinen Baupraxis überprüft. Die Potenziale, aber auch die Besonderheiten dieser innovativen Wärmedämmtechnik werden aktuell einer breiteren Öffentlichkeit näher gebracht und das Wissen in der Aus- und Weiterbildung von Fachplanern und Ausführenden verankert. Bei den Vakuumisoliertgläsern, die von den Planern kein großes Umdenken verlangen, geht man aktuell den Schritt von einer Prototypen- hin zu einer Serienfertigung. Besonderheiten in Planung und Anwendung sind nicht zu erwarten.

Weitere Informationen hierzu unter [www.enob.info/vibau/](http://www.enob.info/vibau/)



## Ausblick

Die Vakuumdämmtechnik für den Baubereich wurde in den letzten Jahren stetig weiterentwickelt. Zunehmend erhielten Produkte für unterschiedliche Einsatzbereiche allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen. Bisherige Bau- und Sanierungsvorhaben zeigen, dass eine Vakuumdämmung vor allem für hocheffiziente Neubauten, als Problemlöser speziell bei Altbauten oder aber unter dem Gesichtspunkt architektonischer Gestaltungsmöglichkeiten interessant ist. Doch der Einsatz der empfindlichen, maßgefertigten Elemente verlangt besondere Sorgfalt bei der Planung wie auch der Verarbeitung auf der Baustelle. Im Kontext dieser hocheffizienten Dämmtechnik kommt der Vermeidung von Wärmebrücken eine noch stärkere Bedeutung zu, als dies bei der konventionellen Dämmtechnik ohnehin schon der Fall ist. Standardisierte Lösungen, wie die Integration von VIP in vorgefertigte Sandwich-Elemente oder in Ummantelungen aus konventionellem Dämmschaum, sind Möglichkeiten, den VIP zusätzlichen Schutz zu bieten, aber auch der Wärmebrückenproblematik zu begegnen.

Vakuuminisationspaneele sind noch relativ teuer. Die Kosten des Füllmaterials, der besonders fein strukturierten pyrogenen Kieselsäure, bestimmen dabei den Preis im Wesentlichen. Für den Einsatz kostengünstigerer Alternativen sind jedoch noch dichtere Vakuumschichten erforderlich. Ein denkbarer Ansatz ist die Weiterentwicklung der aktuell verwendeten, speziellen Kunststoffhochbarrierelamine. Ein anderer Ansatz besteht darin, Materialien, die von Natur aus deutlich gasdichter sind und die ohnehin im Bauteil verwendet werden, als Teil der Vakuumschicht zu nutzen (Glas- oder Metalldeckflächen). Neue Hüllkonzepte bieten nicht nur die Möglichkeit, Kosten zu reduzieren, sondern lassen auch mechanisch weniger empfindliche Produkte erwarten.

Auch die Perspektiven für die Vakuumverglasung sind gut, sobald die in der Forschung entwickelten Produkte marktreif und nachgewiesen dauerhaft sind: Bei Kosten vergleichbar zur Dreifachverglasung, werden diese vermutlich allein aufgrund des Gewichtsvorteils und der Möglichkeit, weniger aufwendige energieeffiziente Fensterrahmen einsetzen zu können, die Dreifachverglasung ersetzen.

## Mehr vom BINE Informationsdienst

- » Neuer Fensterrahmen: hoher Dämmwert, niedriges Gewicht. BINE-Projektinfo 09/09
- » Hochdämmende Großelemente in der Gebäudesanierung. BINE-Projektinfo 04/08
- » Vakuumverglasung: Wenn Vakuum Edelgas ersetzt. BINE-Projektinfo 01/08
- » Vakuumgedämmte Fertigteile in der Baupraxis. BINE-Projektinfo 09/07
- » Gebäude sanieren – Kindertagesstätte. BINE-Projektinfo 10/06
- » Gebäude sanieren – Gemeindezentrum. BINE-Projektinfo 08/06

## Links und Literatur

- » [www.vip-bau.de](http://www.vip-bau.de)
- » [www.vig-info.de](http://www.vig-info.de)
- » [www.hwff.info](http://www.hwff.info)
- » [www.enob.info](http://www.enob.info)
- » Lehrmittel für die Aus- und Weiterbildung von Fachplanern, Architekten und Handwerkern. (Skript und Powerpointpräsentationen erarbeitet im Rahmen des Projektes VIP-PROVE).  
Download: [http://www.vip-bau.de/d\\_pages/lehrmittel/lehrmittel.htm](http://www.vip-bau.de/d_pages/lehrmittel/lehrmittel.htm)
- » Auf der Seite [www.vip-bau.de](http://www.vip-bau.de) finden Sie außerdem im Bereich Literatur Zeitschriftenartikel, Tagungsbeiträge, Projektberichte und weitere Publikationen zum Thema.
- » Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) (Hrsg.): Vakuumisoliationspaneele (VIP) in der Baupraxis. Analysen Bau. Stadt. Raum. Bd. 3. [2011]. 138 S. ISBN 978-3-87994-694-5, 15 Euro (zzgl. Versand). Vertrieb: [selbstverlag@bbr.bund.de](mailto:selbstverlag@bbr.bund.de)

## Projektorganisation

Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi)  
11019 Berlin

Projekträger Jülich  
Forschungszentrum Jülich GmbH  
Markus Kratz  
52425 Jülich

### Förderkennzeichen

0324321A  
0326972  
0327237A/5  
0327321A-N  
0327366A-G  
0327419A-G  
0327654A-H  
0329750M  
0329750R  
0329750V

## Kontakt · Info

Fragen zu diesem Themeninfo?  
Wir helfen Ihnen weiter:

**0228 92379-44**

Weitere Informationen zum Thema sind beim BINE Informationsdienst oder unter [www.bine.info](http://www.bine.info) abrufbar.



Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Technologie

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages