

## **Bausysteme mit VIP – Hinterlüftete Fassade und Innendämmung**

Gregor Steinke, Armin Binz  
Institut Energie am Bau - Fachhochschule Nordwestschweiz  
4132 Muttenz, [www.fhnw.ch/iebau](http://www.fhnw.ch/iebau), [gregor.steinke@fhnw.ch](mailto:gregor.steinke@fhnw.ch)

### **Zusammenfassung**

Der Einsatz von Vakuumdämmung (VIP) im Baubereich bietet die Möglichkeit, schlanke und zugleich hochdämmende Konstruktionen zu realisieren. Der überwiegende Anteil der VIP wurde bisher allerdings ungeschützt direkt auf der Baustelle verarbeitet, wodurch ein erhöhtes Risiko mechanischer Beschädigung des empfindlichen Hüllmaterials der Paneele besteht. Daher wurden in diesem Forschungsprojekt Bausysteme für hinterlüftete Fassaden und Innendämmungen mit werkseitig geschützten VIP für den Einsatz in bestehenden Gebäuden und Neubauten entwickelt. Die hinterlüftete Fassade basiert auf einer wärmebrückenminimierten Unterkonstruktion mit Distanzschrauben. Schmale, horizontale Montagestreifen aus herkömmlicher Wärmedämmung ermöglichen eine flexible Positionierung der Befestigungspunkte und die Aufnahme von Toleranzen. Der praktische Einsatz wurde im Rahmen einer Pilotmontage an einer Frontfassade eines Reihenhauses erprobt. Beim Innendämmsystem wurde eine klare konstruktive Trennung der empfindlichen, wärmedämmenden VIP-Ebene und einer schützenden raumseitigen Wandverkleidung umgesetzt. Durch den schlankeren Aufbau ergibt sich bei den Systemen eine Platzersparnis von 40-50% im Vergleich zu herkömmlich wärmegeprägten Konstruktionen, woraus ein entsprechender Gewinn an nutzbarer Fläche resultiert.

### **Summary**

The use of vacuum insulation panels (VIP) in the building industry enables thin, highly insulating constructions to be realized for walls, roofs and floors. So far mostly unprotected VIP were used directly on the construction site, which led to an increased risk of damage of the sensitive panel envelope. Therefore, in this research project building systems of ventilated facades and interior insulation with protected VIP for the application in existing and new buildings were developed. For the ventilated facade mounting of distance screws with minimal thermal bridges are used. Narrow, horizontal stripes of conventional thermal insulation enable a flexible positioning of the mounting points and the inclusion of tolerances. The practical application was tested at a renovation of a row house. With the interior insulating system a clear constructive separation of the sensitive, thermal insulating VIP level and a protecting space-sided wall covering was realised. By the thinner construction space-savings of 40-50% will be achieved in comparison to conventionally thermal insulated constructions, resulting in a profit in usable space.

## 1. Ausgangslage

Weitaus mehr als ein Drittel des gesamten Energieverbrauchs der Schweiz wird heute durch die Beheizung von Gebäuden verursacht. Für eine Verbesserung der Energieeffizienz im Gebäudebereich werden deshalb die Anforderungen an den Wärmeschutz der Gebäudehülle, insbesondere im Gebäudebestand, weiterhin steigen müssen.

Für den Minergie-Standard sind etwa 15 bis 20 cm konventionelle Wärmedämmung erforderlich, beim Minergie-P- oder Passivhausstandard gar 30 cm und mehr. Diese Dämmstoffdicken sind gerade bei Sanierungen, aber auch bei Neubauten in konstruktiver und gestalterischer Hinsicht oftmals schwierig zu handhaben und beanspruchen zudem wertvolle Grundfläche, die der Nutzfläche verloren geht. Daher werden zunehmend hoch leistungsfähige Wärmedämmmaterialien und -systeme für die Anwendung in der Bauwirtschaft erschlossen.

Ursprünglich für den Einsatz in Geräten entwickelt, weisen Vakuumdämmpaneele im Vergleich zu herkömmlichen Wärmedämmmaterialien eine 3- bis 8-fach höhere Leistungsfähigkeit auf (Abbildung 1). In den letzten Jahren wurden bereits mehrere zehntausend Quadratmeter VIP (Vacuum Insulation Panels) in Gebäuden eingesetzt. In überwiegendem Mass handelt es sich dabei um den direkten Einbau ungeschützter VIP auf der Baustelle, mehrheitlich als Dachterrassendämmung. Bisher stehen allerdings kaum Bauprodukte und Systeme zur Verfügung, die den besonderen Eigenschaften der empfindlichen VIP gerecht werden und für die Anwendung unter den rauen Bedingungen auf der Baustelle gut geeignet sind.

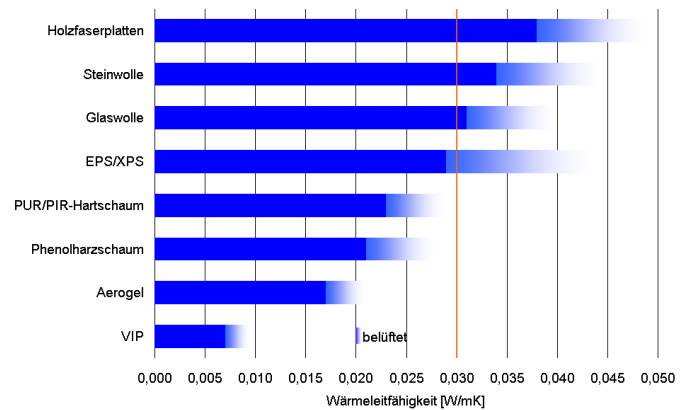


Abbildung 1: Links – Expandiertes Polystyrol (EPS) und VIP gleicher Wärmedämmwirkung. Rechts – Wärmeleitfähigkeit verschiedener Wärmedämmstoffe im Vergleich. Bilder: FHNW

Die Zielsetzung dieses Forschungsprojektes war daher die Entwicklung geeigneter Produkte und Systeme mit VIP für die Bauwirtschaft. Im Focus standen Anwendungen für Wandkonstruktionen, die in Neubauten und Sanierungen eingesetzt werden können. Es wurden Lösungen für hinterlüftete Fassaden und Systeme für Innendämmung mit VIP entwickelt.

## 2. Vorgehen

Bei der auf vorangegangene Projekte [1] aufbauenden Entwicklungsarbeit wurden gleichermassen Vakuum-Dämmpaneele selbst, ein geeigneter Schutz der Paneele für den Einsatz auf der Baustelle und die Konstruktion des entsprechenden Bausystems betrachtet. Die konstruktive Durcharbeitung nach der Evaluationsphase wurde durch die Anfertigung von Prototypen und numerischen Simulationsrechnungen ergänzt. Abschliessend fand der praktische Einsatz eines Systems im Rahmen einer Pilotanwendung statt.

Das Forschungsvorhaben wurde vom *Bundesamt für Energie* finanziell gefördert [2]. Die Produkte und Systeme mit VIP wurden in einem interdisziplinären Projektteam von den Firmen *Eternit*, *swisspor*, *va-Q-tec* und dem *Institut Energie am Bau* der FHNW entwickelt.

### 3. Resultate

#### Hinterlüftete Fassade mit VIP – System Distanzschrauben

Im Rahmen des Projekts wurde ein System für eine hinterlüftete Fassade mit einer wärmebrückenminimierten Unterkonstruktion mit Distanzschrauben entwickelt. Im Vergleich zu herkömmlich wärme gedämmten Konstruktionen mit Distanzschrauben muss deren Position vorher exakt auf die Einteilung und Anordnung der VIP abgestimmt werden, da die Durchdringung der VIP-Ebene nur im Bereich der Paneelstösse oder definierten Durchdringungspunkten erfolgen kann.

Die Konstruktion ist in Abbildung 2 dargestellt. Das Bausystem sieht in den horizontalen Stossfugen der werkseitig kaschierten VIP Wärmedämmstoffstreifen (Breite 2-3 cm) für die Montage der Distanzschrauben vor. Die verbreiterten Horizontalfugen bieten eine hohe Flexibilität bei der Montage und der Positionierung der Distanzschrauben. Zudem können Toleranzen gut aufgenommen werden.

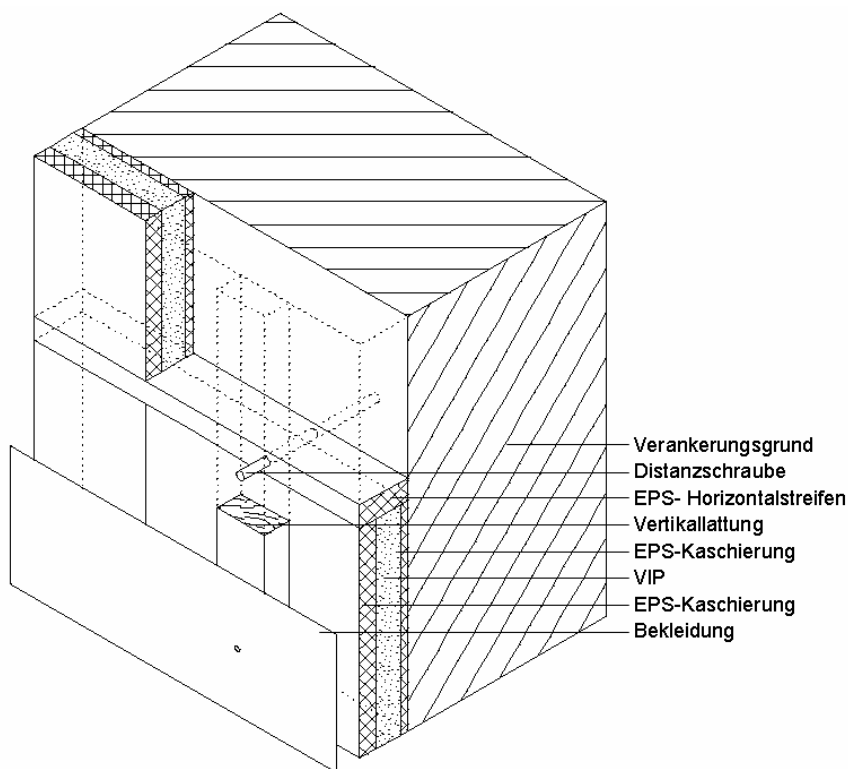


Abbildung 2: Hinterlüftete Fassade mit Distanzschrauben und VIP. Horizontale Streifen aus Wärmedämmstoff zwischen den VIP für die Anordnung der Distanzschrauben. Grafik: FHNW

#### Hinterlüftete Fassade mit VIP – Pilotmontage, U-Wert, Wirtschaftlichkeit

Das Bausystem wurde an einem Pilotprojekt in der Praxis erprobt (Abbildung 3). Der Wärmeschutz der Frontfassade, der Rückfassade und des Daches eines Reihenhauses sollte wesentlich verbessert werden. An der Frontfassade stand für die Wärmedämmung nur wenig Platz zur Verfügung, weshalb sich hier der Einsatz des VIP-Systems anbot.

Für die VIP-Fassade des Pilotobjektes wurde der U-Wert inklusive aller Inhomogenitäten und Wärmebrücken berechnet. Dazu wurde zunächst der Einfluss der punktuellen Wärmebrücken durch die Distanzschrauben berechnet (Software *Heat3 5.0*). Es wurden drei Varianten mit unterschiedlichen breiten Fugen zwischen den einzelnen VIP und unterschiedlichen Breiten der EPS-Fuge untersucht, sowie eine Variante mit belüfteten VIP betrachtet. Die Wärmebrückeneffekte an den Rändern der Paneele wurden wegen der vielen verschiedenen Sonderformate für die Fassade individuell erfasst.



Abbildung 3: Links – Fassade für die Pilotmontage  
Rechts – Bohren der Löcher in den horizontalen Montagestreifen. Bilder: FHNW

Die Ergebnisse der Berechnungen sind in Abbildung 4 dargestellt. Demnach beträgt der Zuschlag auf den ungestörten U-Wert von  $0.139 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$  durch die zusätzlichen Wärmeverluste je nach Breite der horizontalen EPS-Fugen und der VIP-Stösse  $0.033 - 0.055 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ , was  $24 - 40\%$  entspricht. Den grössten Anteil haben dabei die VIP-Ränder und Stösse. Die durchschnittliche Panelgrösse beträgt in diesem Projekt ca.  $0.40 \times 0.90 \text{ m}^2$ . Rechnet man diese Verluste der VIP-Ränder und Stösse in die Wärmeleitfähigkeit der VIP ein, entspricht die so ermittelte effektive Wärmeleitfähigkeit  $\lambda_{\text{eff}}$  mit  $0.007\text{-}0.008 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$  dem empfohlenen Rechenwert der EMPA und den aktuellen  $\lambda_{\text{D}}$ -Werten gemäss SIA Merkblatt 2001 [3]. Den geringsten Anteil am zusätzlichen Wärmeverlust haben die horizontalen EPS-Fugen. Der Flächenanteil der EPS-Fugen beträgt je nach Breite der Fugen  $3.1 - 4.6\%$ . Pro Quadratmeter Wandfläche werden  $2.7$  Distanzschrauben benötigt. Daraus ergibt sich ein Zuschlag zum U-Wert von  $0.012 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ . Aufgrund der Kleinteiligkeit der Fassade liegt die Anzahl der Schrauben leicht über dem Durchschnitt typischer Fassaden.

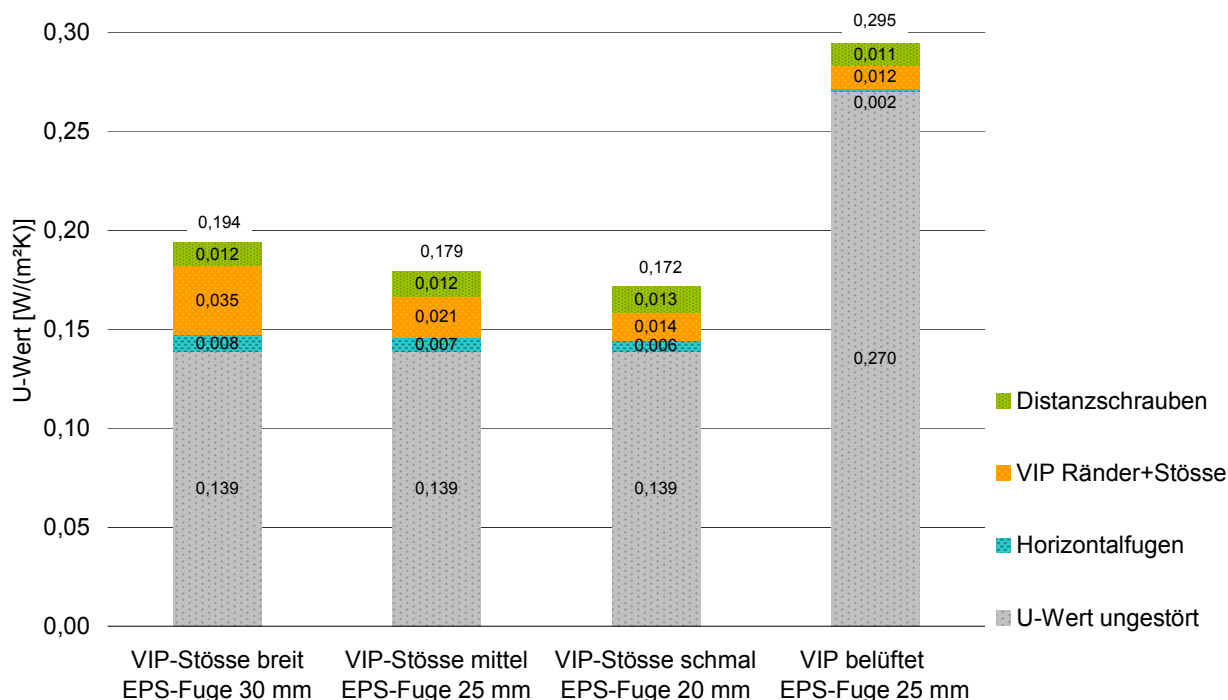


Abbildung 4: U-Werte der VIP-Fassade am Pilotobjekt inklusive sämtlicher Wärmeverluste in verschiedenen Varianten mit unterschiedlich breiten Fugen zwischen den einzelnen VIP, unterschiedlichen Breiten der EPS-Fuge und mit belüfteten VIP. Grafik: FHNW

Im Vergleich zu einer hinterlüfteten Fassade mit guter, herkömmlicher Wärmedämmung (EPS,  $\lambda = 0.031 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ ) wäre bei gleicher Dämmdicke (70 mm) der U-Wert mit  $0.33 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$  um den Faktor 1.7 bis 1.9 schlechter als bei der VIP-gedämmten Konstruktion mit  $0.17 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ . Die Transmissionswärmeverluste sind bei der VIP-Fassade ca. 45% geringer.

Soll mit guter, herkömmlicher Wärmedämmung (EPS, Wärmeleitfähigkeit  $0.031 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ ) der gleiche U-Wert erreicht werden, ist eine Dämmdicke von 150 mm notwendig, was einem Faktor 2.1 für die Dämmschichten und einem Faktor 1.8 für die gesamte Konstruktion entspricht. Die VIP-Fassade benötigt mit einer Ersparnis von 80 mm 45% weniger Platz. Bei weiterer Optimierung sind 100 mm Platzersparnis durchaus realistisch erreichbar.

Für Baugrundstücke mit einer festgelegten Ausnützungsziffer oder fix vorgegebenen Aussenabmessungen der Bebauung kann durch den schlankeren Aufbau der Fassade mehr nutzbare Fläche geschaffen werden. Aus dem Nutzflächengewinn von  $0.1 \text{ m}^2$  pro Laufmeter Fassade und den Mehrkosten lässt sich der Grenzwert für den Verkaufspreis pro Quadratmeter Nutzfläche errechnen, ab welchem der Einsatz der VIP-Konstruktion als wirtschaftlich zu betrachten ist. Der Grenzwert für den Verkaufspreis pro Quadratmeter Nutzfläche liegt bei  $5000\text{-}6500 \text{ CHF}/\text{m}^2$  Nutzfläche. Diese Preise können in teuren Lagen durchaus erzielt werden. Insofern kann der Einsatz des Systems aus wirtschaftlichen Gründen bereits heute sinnvoll sein.

### Modulares Wandsystem für eine Innendämmung mit VIP

Das System basiert auf einer klaren konstruktiven Trennung der Wärmedämmung und der raumseitig sichtbaren Wandoberflächen. Abbildung 5 zeigt eine Isometrische Darstellung des Systems. Die kaschierten oder eingeschäumten VIP sind raumseitig durch eine hochwertige Vorsatzschale (Faserzement, Holz, Glas etc.) geschützt. Die Konstruktion basiert auf modular aufgebauten, versetzbaren Bürotrennwänden und Systemen zur Wandverkleidung mit flächigen Elementen. Das System bietet konstruktive Lösungen für das Aufhängen von Bildern, Tablaren etc. Die vertikalen Profilträger für die Vorsatzschale werden an Decke und Boden befestigt, die VIP-Ebene wird nicht durch Tragelemente durchstossen.

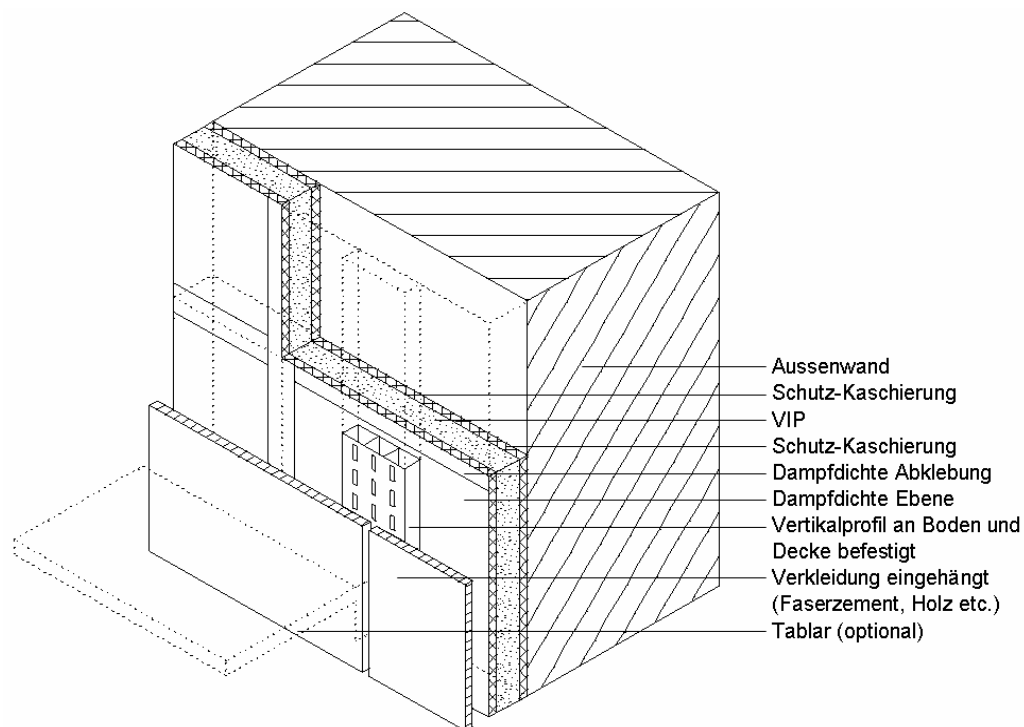


Abbildung 5: System einer Innendämmung mit VIP. Konstruktive Trennung der Wärmedämmebene und der Wandverkleidung. Grafik: FHNW

Die raumseitige Ebene der inneren Wandverkleidung kann bei Bedarf noch zusätzliche Funktionen aufnehmen:

- Installationszone für Hoch- und Niedervoltverkabelung
- Zu- / Abluft von Lüftungssystemen
- Flächenheizsysteme, Flächenkühlsysteme
- Beleuchtung, Bildschirmflächen
- Erhöhung der Speichermasse durch den Einsatz von Latentspeichermaterialien (PCM)

### Innendämmung mit VIP - Temperaturverlauf in der Konstruktion und U-Wert

Mit Hilfe thermischer Simulationen wurden verschiedene Varianten der Konstruktion hinsichtlich kritischer Oberflächentemperaturen überprüft (Software *Heat2 6.0*). Um Feuchteschäden zu vermeiden, sollten die minimalen Oberflächentemperaturen  $13^{\circ}\text{C}$  nicht unterschreiten (Feist 2005).

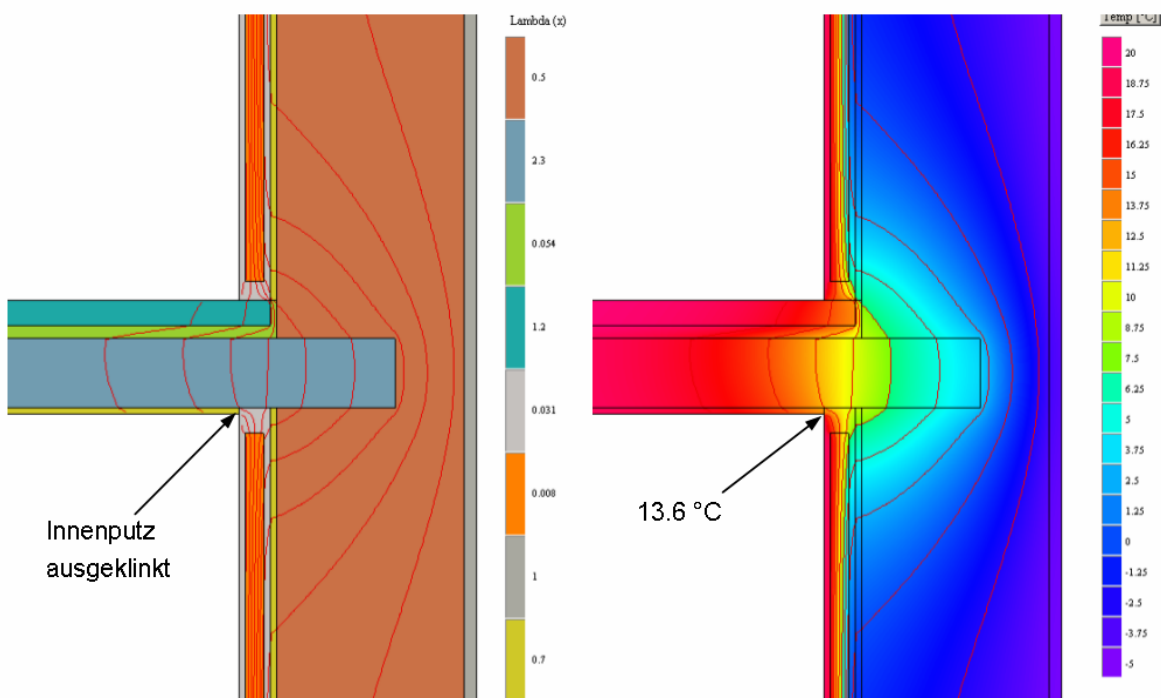


Abbildung 6: Temperaturverlauf im Vertikalschnitt der Innendämmung mit VIP im Bereich des Deckenanschlusses. VIP 30 mm, EPS 2 x 10 mm.  $\Psi = 0,48 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ . Bild: FHNW

Abbildung 6 zeigt den Temperaturverlauf und den Aufbau einer Konstruktionsvariante. Um die Temperatur an der kritischen Stelle am Anschluss zwischen Aussenwand und Decke zu erhöhen, wird der Innenputz im Bereich des Deckenanschlusses in der Breite der Wärmedämmschicht entfernt und die Wärmedämmung bis zur Betondecke hochgezogen. Die minimalen Oberflächentemperaturen liegen dadurch mit  $13,6^{\circ}\text{C}$  ausserhalb des kritischen Bereichs.

Die Ergebnisse der Berechnungen beziehen sich auf die hier untersuchte Situation und sind nicht auf abweichende Rahmenbedingungen übertragbar.

Für eine Aussenwand mit VIP-Innendämmung wurde der U-Wert inklusive aller Inhomogenitäten und Wärmebrücken berechnet. Mit 30 mm VIP ( $\lambda_{\text{eff}} = 0,008 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ ) und 2 x 10 mm EPS ( $\lambda = 0,031 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ ) verbessert sich der U-Wert im ungestörten Bereich der Konstruktion von  $1,25 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$  auf  $0,189 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ . Die Gesamtstärke der Konstruktion (inklusive Wandverkleidung) beträgt 80 mm. Der lineare Wärmebrückenverlustkoeffizient des Deckenanschlusses beträgt  $\Psi_{\text{Decke}} = 0,48 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ , eines typischen Innenwandanschlusses  $\Psi_{\text{Wand}} = 0,23 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ . Der effektive

U-Wert der Konstruktion liegt für eine typische Aussenwandgeometrie unter Berücksichtigung der linearen Wärmebrücken bei  $0.40 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ . Falls sämtliche VIP belüftet werden sollten ergibt sich ein U-Wert der ungestörten Konstruktion von  $0.34 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$  und inklusive der Wärmebrückenverluste von  $0.53 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ . Die Ergebnisse sind in Abbildung 7 dargestellt.

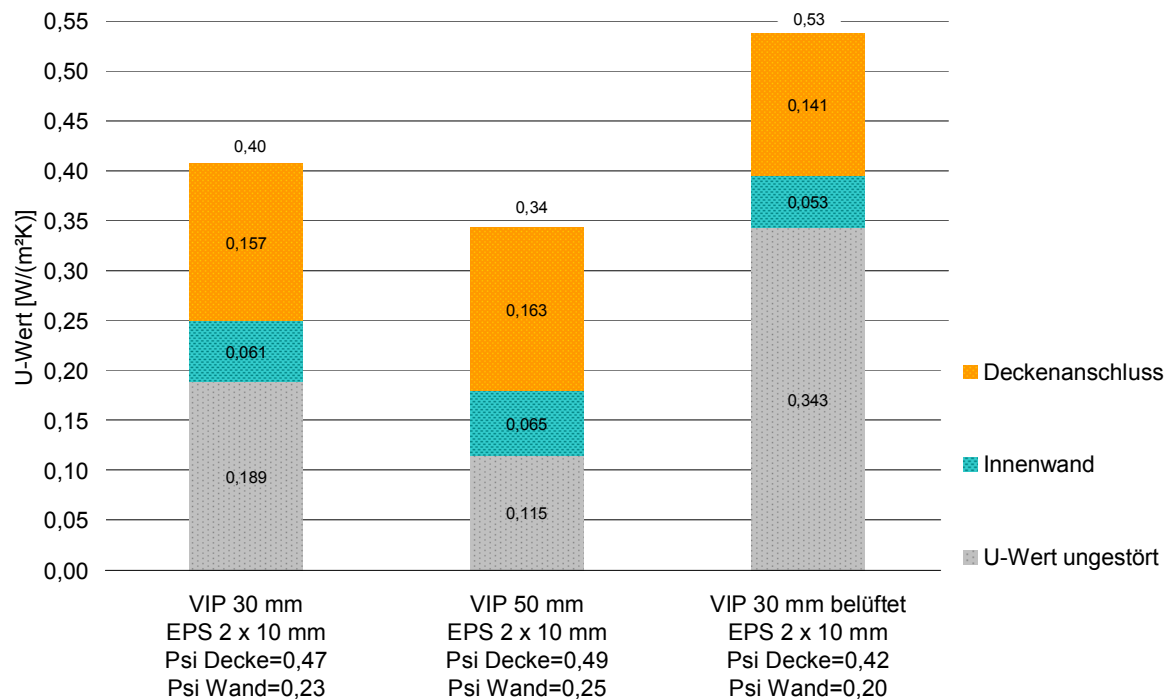


Abbildung 7: U-Werte der VIP-Innendämmung inklusive der Wärmebrückenverluste an Decken- und Innenwandanschluss für VIP 30 mm ( $\lambda_{\text{eff}} = 0.008 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ ) und VIP 50 mm ( $\lambda_{\text{eff}} = 0.007 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ ) und belüftete VIP ( $\lambda_{\text{eff}} = 0.020 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ ). Grafik: FHNW

Eine Erhöhung der VIP-Dicke von 30 mm auf 50 mm ( $\lambda_{\text{eff}} = 0.007 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ ), verbessert den U-Wert im ungestörten Bereich von  $0.189 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$  auf  $0.115 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ . Allerdings fallen die Wärmebrückenverluste anteilig immer stärker ins Gewicht. Der effektive U-Wert verbessert sich lediglich von  $0.40 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$  auf  $0.34 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ . Insofern ist der Nutzen weiterer erhöhter VIP-Dicken angesichts des grossen Einflusses der Wärmebrücken sehr begrenzt und steht derzeit in keinem Verhältnis zu den notwendigen Mehrinvestitionen.

Auch wenn sich durch die Wärmebrücken ein grosser Zuschlag auf den ungestörten U-Wert ergibt, führt die Innendämmung dennoch zu einer erheblichen Verbesserung des Wärmeschutzes der bestehenden Wandkonstruktion.

Im Vergleich zu einer Innendämmung mit guter, herkömmlicher Wärmedämmung (EPS,  $\lambda = 0.031 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ ) wäre bei gleicher Dämmdicke (50 mm) der U-Wert im ungestörten Bereich mit  $0.41 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$  um den Faktor 2 schlechter als bei der VIP-gedämmten Konstruktion mit  $0.19 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ . Die linearen Wärmebrückenverlustkoeffizienten sind bei herkömmlicher Wärmedämmung mit  $0.36 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$  am Deckenanschluss und  $0.15 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$  für den Innenwandanschluss wesentlich geringer.

Der effektive U-Wert der herkömmlich wärmedämmten Konstruktion ist mit  $0.57 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$  im Vergleich zur VIP-Konstruktion mit  $0.40 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$  um den Faktor 1.4 schlechter.

Soll mit guter, herkömmlicher Wärmedämmung (EPS, Wärmeleitfähigkeit  $0.031 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ ) der gleiche ungestörte U-Wert von  $0.19 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$  erreicht werden, ist eine Dämmdicke von 135 mm notwendig, was einem Faktor 2.7 für die Dämmschichten und einem Faktor 2.1 für die gesamte Konstruktion entspricht. Werden die linearen Wärmebrückenverlustkoeffizienten berücksichtigt und der effektive U-Wert der VIP-Konstruktion von  $0.40 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$  angesetzt, sind 100 mm herkömmliche

Wärmedämmung notwendig, was einem Faktor 2 für die Dämmschichten und einem Faktor 1.6 für die gesamte Konstruktion entspricht.

Bei gleicher Dämmdicke reduzieren sich bei der untersuchten VIP-Innendämmung gegenüber einer Konstruktion mit guter herkömmlicher Wärmedämmung (Wärmeleitfähigkeit  $0.031 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ ) die Transmissionswärmeverluste der Aussenwand um 30%.

Bei gleicher Dämmwirkung benötigt die VIP-Fassade 40-45% weniger Platz. Pro Laufmeter Fassade wird ein Streifen von 50-60 mm Breite eingespart. Die Mehrinvestition für die VIP-Innendämmung kann bei Bürogebäuden in teuren Innenstadtlagen bereits heute wirtschaftlich sein.

#### **4. Erkenntnisse und Ausblick**

Folgende Erkenntnisse sind für die hinterlüftete Fassade und die Innendämmung gleichermaßen gültig.

- Die Platzersparnis für die untersuchten Konstruktionen beträgt im Vergleich zu guter konventioneller Wärmedämmung für die konkreten Beispiele inklusive aller Inhomogenitäten 40-50%.
- Die Mehrkosten können bei derzeitigen VIP-Preisen in teuren Lagen durch den erzielten Nutzflächengewinn kompensiert werden. Die Systeme können aber auch in Situationen, welche sehr schlanke Aufbauten erfordern, als Problemlöser zur Anwendung kommen.
- Der Einsatz von VIP erfordert hinsichtlich Konzeption und Detailplanung, Arbeitsvorbereitung und Ausführung ein hohes Know-how und muss möglichst früh berücksichtigt werden.
- Wärmebrücken gewinnen bei hoch wärmegeprägten Konstruktionen an Bedeutung. Dieser Effekt verstärkt sich bei den schlanken VIP noch zusätzlich. Insbesondere bei Innendämmungen mit VIP sind die Oberflächentemperaturen zu untersuchen, um Feuchteschäden zu vermeiden.
- Ein detailliertes Aufmass der Situation vor Ort bildet die Grundlage für die Erstellung des Verlegeplans und der Bestelllisten. Bei Bestandsgebäuden mit kleinteiligen Fassaden mit Vor- und Rücksprüngen muss der Einsatz der Systeme sorgfältig abgewogen werden.
- Ein sicherer Schutz vor mechanischer Beschädigung der Paneele beim Transport, Verarbeitung und während der Nutzung ist unabdingbar. Die ungeschützte VIP-Verarbeitung auf der Baustelle sollte auf jeden Fall vermieden werden.
- Bei einer Markteinführung der Systeme stehen Fragen der Zuverlässigkeit und Sicherheit im Focus. Um ein hohes Vertrauen in die Zuverlässigkeit und Sicherheit der Systeme zu schaffen, muss in Ergänzung zu den bestehenden Qualitätskontrollen, ein lückenloses Verfahren der Qualitätssicherung – von der Produktion bis zur Montage – geschaffen werden.

Die Weiterentwicklung der vergleichsweise jungen VIP-Technologie für Bauanwendungen weist eine grosse Dynamik auf, die sich in den kommenden Jahren weiter fortsetzen wird. Für eine sichere und erfolgreiche Anwendung am Bau sind weitere Entwicklungen bautauglicher Produkte, Bauelemente und schlanker hochgedämmter Systeme notwendig. Das Institut für Energie am Bau dankt den Industriepartnern für die gute Zusammenarbeit und dem Bundesamt für Energie für die finanzielle Unterstützung des Forschungsprojektes.

#### **5. Literatur/Referenzen**

- [1] Binz, A., Simmler, H. u.a. (2005): "Vacuum Insulation in the Building Sector - Systems and Applications", IEA/ECBCS Annex 39 SubtaskB report, IEA (Hrsg.)
- [2] Binz, A., Steinke, G. (2008): "Bauelemente und Systeme mit VIP für Aussenwand und Dach", Schlussbericht, Bundesamt für Energie, Bern
- [3] SIA Merkblatt 2001 (2007): "Wärmedämmstoffe. Deklarierte Werte der Wärmeleitfähigkeit und weitere Angaben für bauphysikalische Berechnungen", SIA Zürich