

Forschungsprogramm "Rationelle Energienutzung in Gebäuden"

Hochleistungs-Wärmedämmung HLWD

Schlussbericht

Dr. Eicher+Pauli AG, Liestal
Fachhochschule beider Basel, Institut für Energie, Muttenz

im Auftrag des
Bundesamtes für Energie

Dezember 2000

Forschungsprogramm "Rationelle Energienutzung in Gebäuden"

Hochleistungs-Wärmedämmung HLWD

Schlussbericht

Dr. Eicher+Pauli AG
Hanspeter Eicher, Markus Erb
4410 Liestal
hanspeter.eicher@eicher-pauli.ch

Fachhochschule beider Basel
Institut für Energie
Armin Binz, André Moosmann
4132 Muttenz
a.binz@fhbb.ch

im Auftrag des
Bundesamtes für Energie

Dezember 2000

Zusammenfassung

Vakuum-Dämmelemente

Bei Projektbeginn stand mit dem Produkt Dow Instill als eine Vakuum-Dämmplatte für den Einsatz im Baubereich zur Verfügung. Dies hat sich während den Projektarbeiten geändert, indem Wacker ihre evakuierten WDS Dämmplatten unseren Projektpartnern für die Produkte-Entwicklung und für Demo-Applikationen im Baubereich zur Verfügung stellte. Diese haben sich für den Baubereich, vor allem wegen der zu erwartenden höheren Einsatzdauer, als deutlich vorteilhaft gegenüber dem Dow Instill Produkt gezeigt. Aus diesem Grund wurden im vorliegenden Projekt, im Gegensatz zu den bei Projektbeginn geplanten Arbeiten, praktisch ausschliesslich WDS Platten eingesetzt. Im Vergleich zu konventionellen Wärmestoffen weisen diese Platten nach der Herstellung eine ca. zehnmal geringere Wärmeleitfähigkeit auf (0.004 W/m K)

Systementwicklungen

Von den geplanten Systementwicklungen:

- Innendämmungen für den Sanierungsbereich
- Einbauwassererwärmer
- Aussentüren
- Dämmung von Bodenheizungen für den Sanierungsbereich
- Fensterrahmenverbreiterung

konnte nur mit der Realisierung der ersten drei begonnen werden. Dafür wurden zusätzliche Systementwicklungen in Angriff genommen:

- Rollladenkästen
- Einschäumen von WDS Platten in expandiertes Polystyrol.

Wirtschaftliche Untersuchungen

Erste Wirtschaftlichkeitsanalysen haben gezeigt, dass in vielen Fällen die Zuzatzkosten von Vakuum-Dämmelementen durch einen wesentlich geringeren Platzbedarf kompensiert werden können, da bei gleicher Bruttogeschoßfläche eine grössere vermietbare Fläche zur Verfügung steht. Bei Neubauprojekten ist zudem weniger Grundstückfläche notwendig, falls die Nutzungsziffer auf die Aussenabmessungen des Gebäudes bezogen wird, wie dies in einigen CH-Kantonen der Fall ist.

In einigen speziellen Fällen des Sanierungsbereichs sind zudem Vakuum-dämmplatten praktisch die einzige Möglichkeit, bessere Dämmwerte zu erreichen (z.B. Attikaterrassen).

Demonstrationsprojekte

Auf der Basis der durchgeföhrten Systementwicklung wurden folgende Demonstrationsobjekte ausgeführt:

- Einbau von Aussentüren in einer Passivhaussiedlung
- Dämmung einer Attikaterrasse in einem Passivhaus in Wolfurt (Österreich)
- Verschiedene Innendämmungen in bestehenden Objekten in der Schweiz
- Dämmung von Rollladenkästen
- Herstellung von Prototypen von Einbauwassererwärmern
- Einbau einer Kühlzelle in einem bestehenden Objekt mit beschränkter Geschosshöhe

Weiteres Vorgehen

Die in der Schweiz geleisteten Vorarbeiten wurden auch im Ausland positiv gewürdigt. Dies hat dazu geföhrt, dass die IEA ein neues Annex-Projekt "High Performance Thermal Insulation" gutgeheissen hat. Mehr als zehn Länder haben ihre Teilnahme bereits zugesichert. Ein provisorisches Arbeitsprogramm wurde von der Schweiz präsentiert und gutgeheissen. Im Rahmen eines internationalen Workshops an der EMPA im Januar 2001 wird das Arbeitsprogramm inhaltlich diskutiert und der Beitrag der einzelnen Länder konkretisiert. Im Frühjahr 2001 soll der offizielle Projektstart unter Federführung der Schweiz erfolgen.

Parallel dazu wird auch die weitere Umsetzung in der Schweiz fortgesetzt. Die Projektnehmer und ihre Partner haben anlässlich der Ausschreibung des BFE im Sommer 2000 einen entsprechenden Vorschlag erarbeitet. Dieser wird nun nach dem Workshop an der EMPA überarbeitet und anschliessend umgesetzt.

Diese Arbeit ist im Auftrag des Bundesamtes für Energie entstanden. Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen sind ausschliesslich die Autoren verantwortlich.

Inhaltsverzeichnis

ZUSAMMENFASSUNG	I
VAKUUM-DÄMMELEMENTE	I
SYSTEMENTWICKLUNGEN	I
WIRTSCHAFTLICHE UNTERSUCHUNGEN	I
DEMONSTRATIONSPROJEKTE	II
WEITERES VORGEHEN	II
INHALTSVERZEICHNIS	III
1. AUSGANGSLAGE	1
2. ZIELSETZUNG	2
ENTWICKLUNG VON DÄMMSYSTEMEN.....	2
PRAXISERPROBUNG	2
3. AUFBAU EINER VAKUUM-DÄMMUNG	3
3.1 KERNMATERIALIEN.....	3
<i>Porengröße</i>	3
<i>Offenzelligkeit</i>	4
<i>Druckfestigkeit</i>	4
<i>Infrarotdurchlässigkeit</i>	4
<i>Kennlinie</i>	5
<i>Am Markt erhältliche Produkte</i>	5
3.2 HÜLLFOLIEN.....	6
<i>Dichtheit</i>	6
<i>Wärmebrücken-Randeffekt</i>	6
<i>Verwendete Folientypen</i>	7
3.3 OPTIMIERUNG DER KERN-FOLIE KOMBINATION	8
3.4 GETTER.....	8
4. HERSTELLUNG	10
4.1 PRODUKTION	10
<i>Die Arbeitsschritte im Einzelnen</i>	10
4.2 QUALITÄTSSICHERUNG	12
5. SCHUTZUMHÜLLUNGEN	13
5.1 VACUPACT®	13
6. WIRTSCHAFTLICHE ASPEKTE	14
6.1 KOSTENAUFWAND UND VIELFÄLTIGER NUTZEN	14
6.2 ÖKONOMISCHER NUTZEN DER RAUMERSPARNIS	15
<i>Baulandersparnis</i>	15
<i>Nutzflächenmaximierung</i>	16
7. VIP IM PRAXISTEST	19
7.1 VOM VIP ZUM BAUTEIL.....	19
7.2 BAUTEILE	20

<i>Aussentüren</i>	20
<i>Rolladenkasten und Fensteranschlussbereiche</i>	20
<i>VIP im Leibungs- Sturz- und Brüstungsbereich</i>	21
7.4 FLACHDACHDÄMMUNGEN	22
<i>Terrassendämmung in Leimbach/TG</i>	22
<i>Passivhäuser in Wolfurt, Vorarlberg</i>	23
7.4 TIEFKÜHLRAUMBODEN BLUTSPENDEDIENST BERN AG	25
7.5 WAND-INNENDÄMMUNG	26
7.6 WASSERERWÄRMER	29
8. AUSBLICK	31
8.1 BASIS-KONZEPTE UND MATERIALENTWICKLUNG.....	31
8.2 APPLIKATIONSFRAGEN UND BAUTEILENTWICKLUNG	31
8.3 DEMONSTRATIONSVORHABEN.....	31

C:_Zim\Projekte\Hochisolationstechnik\Schlussbericht HLWD 2000_v2.doc

1. Ausgangslage

Aufgrund steigender Anforderungen an die Gebäudedämmung und der damit verbundenen Zunahme der benötigten Dämmstoffdicken wurde in den letzten Jahren seitens Planer und Bauherrschaft vermehrt der Wunsch nach effizienteren Dämmmaterialien laut. Insbesondere bei Niedrig- (z.B. Minergie) und Niedrigstenergiehäusern (z.B. Passivhausstandard) ist der durch Platzmangel bedingte Leidensdruck inzwischen so gross, dass solche Hochleistungswärmedämmstoffe auch bei einem vergleichsweise höheren Preis einen entsprechenden Markt finden. Außerdem gibt es immer wieder Situationen, in denen Platz entweder teuer (z.B. verkleinert eine Innendämmung die nutzbare Fläche), oder schlichtweg nicht vorhanden ist (Türblatt, Rollladenkasten, Dachterrasse), um eine den geltenden Dämmstandards entsprechende Wärmedämmung zu erzielen.

Mit sogenannten Vakuum-Isolations-Paneelen (VIP) erreicht man Wärmeleitfähigkeiten, die um einen Faktor 5 bis 10 geringer sind als bei konventionellen Dämmstoffen. Bisher angewendet wurde diese seit etwa 15 Jahren entwickelte Technologie vor allem im Kühl- und Gefriergerätebau. Mittels modernen Produktionsverfahren und neuester Folientechnologie ist man heute in der Lage, Vakuumdämmplatten herzustellen, die über Jahrzehnte ihre Funktionstüchtigkeit behalten. Damit wird diese Vakuumtechnik auch für den Baubereich interessant.

2. Zielsetzung

Die von den Herstellern von Vakuum-Isolations-Paneelen hergestellten Dämmmaterialien können als Rohprodukte nicht ohne weiteres in baulichen oder haustechnischen Anwendungen eingesetzt werden. Für die im Rahmen eines früheren Projektes ermittelten Marktnischen müssen vielmehr geeignete Dämmsysteme entwickelt, in der Praxis erprobt und in einer in der Baubranche üblichen Form am Markt angeboten werden.

In diesem Sinne wurden im Rahmen dieses Projektes Ziele in den beiden folgenden Teilbereichen gesetzt:

Entwicklung von Dämmsystemen

Im Vordergrund standen hier erste Versuche für die Entwicklung von Dämmsystemen für folgende Anwendungen:

- Dämmung von Bodenheizungen für den Sanierungsbereich
- Innendämmungen für den Sanierungsbereich
- Einbauwassererwärmer
- Fensterrahmenverbreiterung
- Aussentüren

Praxiserprobung

Die entwickelten Dämmsysteme waren in praktischen Anwendungen zu testen, um Erkenntnisse über Einsatzprobleme und Hinweise für die Weiterentwicklung der Systeme zu gewinnen.

3. Aufbau einer Vakuum-Dämmung

Ein VIP besteht im Wesentlichen aus einem sogenannten Kernmaterial, welches in einer Vakuumkammer in eine hoch gasdichte Hüllfolie eingeschweisst wird. Das Vakuum spielt dabei die Schlüsselrolle, denn die Wärmeleitfähigkeit eines Dämmstoffes wird massgeblich durch die Wärmeleitung des eingeschlossenen Gases (Luft, Treibmittel) bestimmt. Durch die Evakuierung wird diese Gasleitung unterbunden.

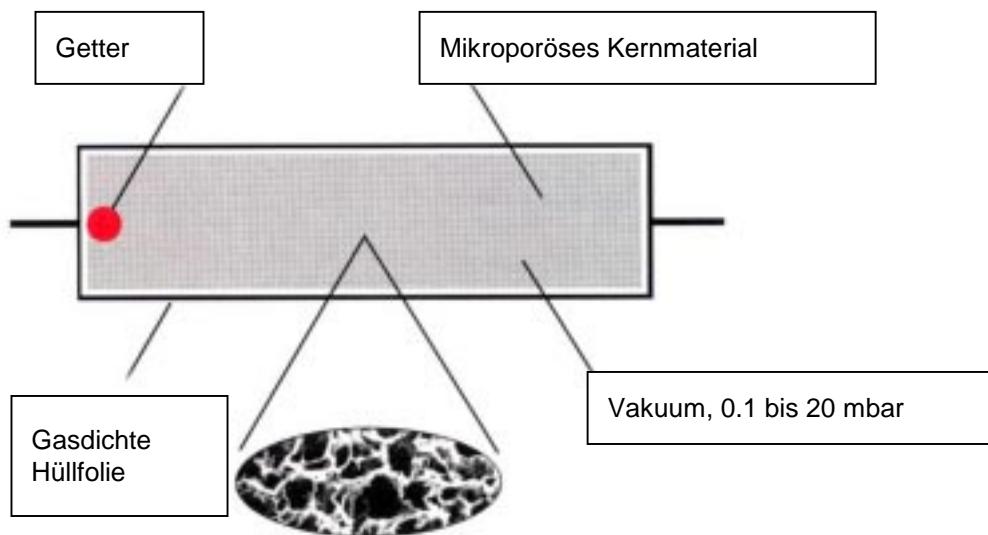


Abb. 1: Aufbau eines Vakuum-Dämmpaneels.

3.1 Kernmaterialien

Für den Einsatz in einem Vakuum-Dämmpaneel werden definierte Anforderungen an Porengröße, Offenzelligkeit, Druckfestigkeit und Infrarotdurchlässigkeit der Kernmaterialien gestellt.

Porengröße

Ist die Porengröße kleiner als die druckabhängige mittlere freie Weglänge der Gasmoleküle in den Zellen resp. Poren, so wird die Wärmeleitung über das Zellgas (Gasleitung) drastisch reduziert, da zwischen den Molekülen praktisch keine Stöße mehr stattfinden. Die Moleküle des Zellgases stoßen nur noch - praktisch ohne Energie zu übertragen - elastisch gegen die Zellwände. Die Wärmeleitung im Zellgas kann daher durch die beiden folgenden Möglichkeiten reduziert werden:

- Reduktion der Porengröße
- Reduktion des Druckes im Zellgas

Die Kombination beider Möglichkeiten verspricht bis zum heutigen Zeitpunkt die besten Ergebnisse, da es (noch) nicht möglich ist, Materialien mit so kleinen Poren herzustellen, dass die Gasleitung schon bei Normaldruck unterbunden wird.

Bei Porengrößen heute üblicher Dämmstoffe müssten so tiefe Drücke erreicht und dauerhaft gesichert werden, dass ein Einschweissen des Dämmmaterials in extrem dichtes Edelstahlblech notwendig wäre. Dies ist aus Kostengründen jedoch für Anwendungen im Gebäudebereich nicht realistisch.

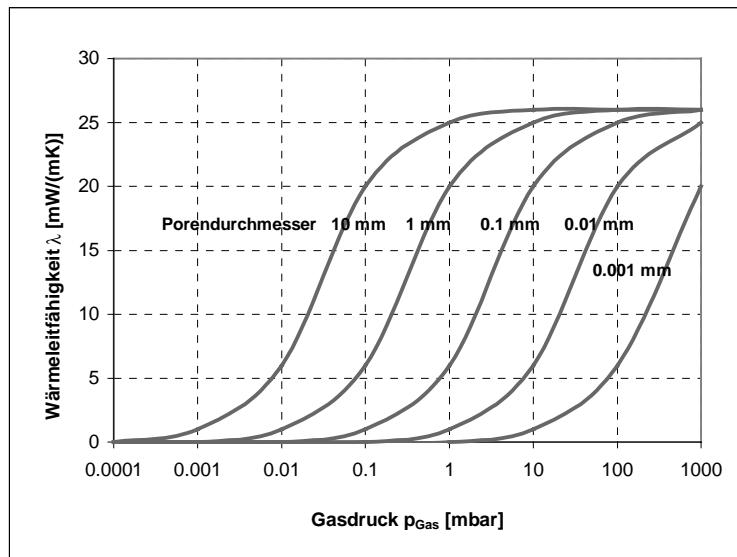


Abb.2: Effektive Wärmeleitfähigkeit von Luft in Funktion von Porengröße und Druck.

Offenzelligkeit

Um die Evakuierung sicherzustellen, ist ein 100 % offenzelliges Gefüge des Kernmaterials zwingend notwendig. Dies zu erreichen ist bei Schaummaterialien schwierig und stellt hier relativ hohe Anforderungen an die Fertigungstechnik. Adernfalls wären zu lange Evakuierungszeiten - oder schlimmer noch - ein langsamer Druckanstieg im Panel durch Freisetzung von in geschlossenen Zellen festgehaltenen Restgasen die Folge. Im Gegensatz dazu sind Faser- und Pulvermaterialien aufgrund ihrer strukturellen Eigenschaften a priori offenporig.

Druckfestigkeit

Nach der Evakuierung lastet der gesamte Atmosphärendruck von 1 bar (entspricht ca. 10 Tonnen pro m^2) auf den Vakuum-Dämmplatten. Das Gefüge des Kernmaterials muss genügend stabil sein, um dieser Dauerdruckbelastung standzuhalten. Eventuell auftretende Stauchungen und Pressungen beim Evakuierungsprozess müssen durch entsprechende Übermasse beim Zuschnitt der Kerne berücksichtigt werden.

Infrarotdurchlässigkeit

Neben der Wärmeleitung des eingeschlossenen Gases und der Wärmeleitung über das Zellgerüst (Gerüstleitung), spielt die Durchlässigkeit des Dämmstoffes für Wär-

mestrahlung eine wichtige Rolle. Diese kann massgeblich die resultierende Wärmeleitfähigkeit insbesondere von Hochleistungswärmedämmstoffen beeinflussen. Zur Minimierung dieser Infrarotdurchlässigkeit wird das Kernmaterial mit sogenannten Infrarotblockern (z.B. Siliziumkarbid) versetzt.

Kennlinie

Entsprechend der materialspezifischen Porenverteilung, der Gerüstleitung und der Infrarotdurchlässigkeit ist unmittelbar einleuchtend, dass es für jedes in Frage kommende Kernmaterial eine charakteristische Kennlinie gibt, welche die Wärmeleitfähigkeit in Abhängigkeit vom Zellgasdruck beschreibt. Ebenfalls klar ist, dass Materialien mit kleiner Porengröße aufgrund der geringeren Anforderungen an das Vakuum (flachere Kennlinie) favorisiert werden.

Heute stehen verschiedene organische und anorganische Dämmstoffe mit offenzelligen Strukturen und sehr kleinen Poren zur Verfügung. Abbildung 3 zeigt die typischen Kennlinien der Wärmeleitfähigkeit in Funktion des Zellgasdruckes für verschiedene Materialtypen. Dies zeigt, dass zum Beispiel mit der pyrogenen Kieselsäure (Wacker WDS-SIC) Werte von unter 4 mW/(mK) erreicht werden können, das heißt zehnmal weniger als mit konventionellen Dämmstoffen. Auch bei Drücken von 100 mbar liegt die Wärmeleitfähigkeit immer noch etwa bei 7 mW/(mK), was eine sehr gute Voraussetzung für eine Langzeitstabilität bildet.

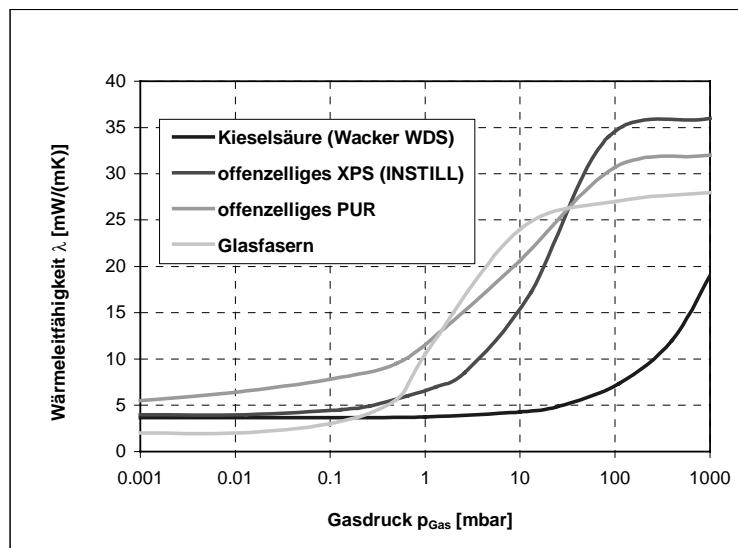


Abb. 3: Wärmeleitfähigkeit verschiedener Kernmaterialien in Funktion des Zellgasdruckes.

Am Markt erhältliche Produkte

In den letzten Jahren haben sich zwei Produkte für den Einsatz von Vakuum-Paneele im Baubereich in den Vordergrund des Interessens geschoben:

- **INSTILL®**, The Dow Chemical Company

Hierbei handelt es sich um ein offenzelliges extrudiertes Polystyrol. Die Hauptvorteile dieses Produktes liegen vor allem im vergleichsweise niedrigem Preis und im einfachen Handling. Der Schaumstoff ist hydrophob und muss daher vor dem Evakuieren nicht extra getrocknet werden. Da sich das Material problemlos transportieren lässt, müssen die Vakuum-Paneele nicht unbedingt dort hergestellt werden, wo das Kernmaterial produziert wird.

- **Wacker WDS® SiC-NT**, Wacker-Chemie GmbH

Hierbei handelt es sich um pyogene Kieselsäure, ein mineralisches, sehr mikroporöses Pulver, das bereits bei Normaldruck sehr gute Wärmeleitfähigkeitswerte von nur 0.019 W/(mK) aufweist. Da dies doppelt so gut wie Mineralwolle oder Polystyrol ist, wird selbst bei Verlust des Vakuums immer noch eine relativ gute Dämmwirkung erzielt. Ein für den Baubereich nicht zu unterschätzender Vorteil dieses Produktes liegt in der Nichtbrennbarkeit und in der Möglichkeit, Formstücke herzustellen. Weiter stellt die Mikroporosität des Materials relativ geringe Anforderungen an das Vakuum, so dass mit einer hohen Lebenserwartung gerechnet werden kann.

Nachteilig sind zum einen der relativ hohe Preis aber auch die Empfindlichkeit der aus Pulver gepressten Rohlinge. Vor allem die hohe Feuchtigkeitsaufnahme und die Gefahr einer mechanischen Beschädigung führt heute dazu, dass der Hersteller die Platten bereits unmittelbar nach der Produktion im Werk einpackt.

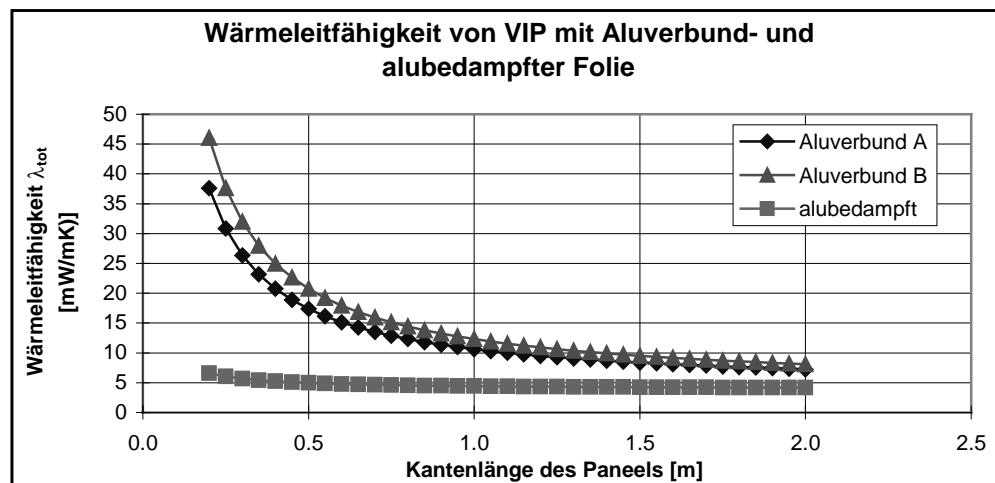
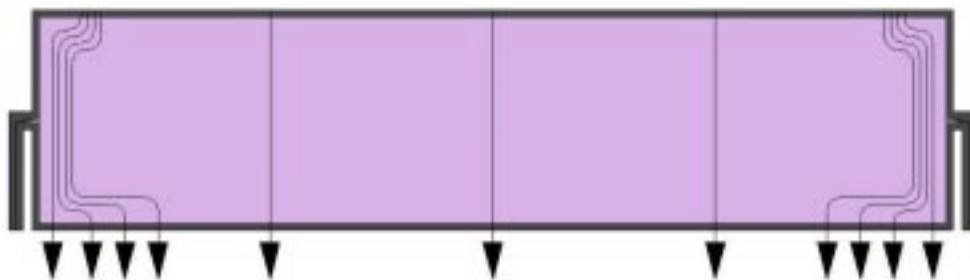
3.2 Hüllfolien

Dichtheit

Die Lebenserwartung einer Vakuum-Dämmung hängt entscheidend von der Dichtigkeit der verwendeten Folienhülle ab. Gasmoleküle dringen durch die Folie selbst (Pinholes) und deren Schweissnähte ein. Pinholes sind mikroskopische Fehlstellen in der gasdichten Schicht der Folie. Je nach Ausführungsqualität der Schweissnähte und dem Verhältnis von Paneelfläche zu Paneelumfang dominiert der eine oder der andere Weg.

Wärmebrücken-Randeffekt

Wegen ihrer Dichtigkeit werden häufig Aluminium-Verbundfolien verwendet. Die grosse Wärmeleitung der Aluminiumschicht verursacht aber einen zusätzlichen Wärmeverlust über die Plattenränder (Wärmebrücke), der zu einem mehr oder weniger grossen Anstieg der mittleren Wärmeleitfähigkeit des gesamten Vakuum-Paneeels führt. Dieser Randeffekt ist um so ausgeprägter, je dicker die Aluminiumschicht und je kleiner das Paneel ist.



G:\1999\030\Daten\[VIP-FUGE.XLS]Alles

Abb. 4: Einfluss des Wärmebrücken-Randeffektes der Folie auf die Wärmeleitfähigkeit bei Aluverbund- und alubedampften Folien (Basis: EMPA-Messungen).

Verwendete Folientypen

Allgemein handelt es sich bei den eingesetzten Folien um Mehrschichtsysteme, deren einzelne Schichten verschiedene Funktionen zu erfüllen haben. Die gas- und wasserdampfdichte Aluminiumbarriere ist in der Regel zwischen mehreren Kunststofffolien eingebettet, die zum einen Träger- und Schutzfunktion zu übernehmen haben (Nylon, PET usw.), zum anderen als Schweißschicht (PE oder PP) dienen.

- **Aluminium-Verbundfolien:** Speziell für den Einsatz in Vakuum-Paneelen entwickelte Aluminiumverbundfolien haben durchschnittliche Aluminiumdicken von ca. 6 - 7 μm bei gleichzeitig sehr hoher Dictheit. Trotz der geringen Dicke zeigen diese Folientypen aufgrund der relativ hohen Wärmeleitfähigkeit von Aluminium bei kleinen Paneelen immer noch einen ausgeprägten Randeffekt (Abb. 4). Auch sind Produkte mit dünnen und trotzdem sehr dichten Alufolien teuer.
- **Metallbedampfte Folien:** Bei diesen Folientypen beträgt die Dicke der aufgedampften Aluminiumschicht nur noch ca. 200 nm und ist damit ca. 30 - 40 mal dünner als die oben beschriebene Aluminiumfolie. Die damit verbundene Reduktion des Randeffektes wird allerdings mit einer etwas geringeren Gasdichtheit der Folie erkauft. Ihr Preis liegt im Bereich von guten Aluminium-Verbundfolien.

- **Folien mit SiOx-Beschichtung:** Diese neueste Folientechnologie ist nach heutigem Stand der Technik ähnlich dicht wie die metallbedampften Folien, aber deutlich günstiger im Preis. Die Wärmeleitfähigkeit von SiOx entspricht der von Glas und ist damit ca. 200 mal geringer als die von Aluminium, d.h. hier ergeben sich überhaupt keine Wärmebrückeneffekte.

3.3 Optimierung der Kern-Folie Kombination

Je nach Einsatzgebiet der Vakuum-Paneele, der geforderten Lebenserwartung, der Abmessungen sowie darüber hinausgehender Anforderungen wie z.B. Brennbarkeit etc. geht es also darum, objekt- bzw. anwendungsbezogen die optimalste Kombination von Kernmaterial und Hüllfolie zu finden. Dabei gilt für die beiden hier zur Anwendung kommenden Kernmaterialien:

- **INSTILL:** Dieses offenzellige Polystyrol stellt relative hohe Anforderungen an das Vakuum, d.h. bei der für Anwendungen im Baubereich geforderten hohen Lebenserwartung kommen zur Zeit nur Aluminium-Verbundfolien in Frage. Daher sind aufgrund des damit verbundenen relativ grossen Randeffektes nur Platten-dimensionen ab ca. 0.5 m^2 sinnvoll. Bei kleineren Formaten dominieren die Wärmebrücken.

Die Einsatztemperatur sollte zudem möglichst niedrig liegen, da bei erhöhter Temperatur einerseits das Eindringen von Gasen stark zunimmt (doppelte Gasmenge bei einer Temperaturzunahme um 10 K) und andererseits der Schaum selbst Gase freisetzt. Durch den Einsatz von gasabsorbierenden Gettern kann die Lebensdauer verlängert werden.

- **Wacker WDS:** Aufgrund der hohen Mikroporosität dieses Kernmaterials sind die Anforderungen an das Vakuum vergleichsweise gering, so dass auch bei hohen Lebenserwartungen der Einsatz von metallbedampften Folien möglich ist. Dies wiederum lässt kleine und schmale Plattenabmessungen ohne merklichen Randeffekt zu. Hohe Temperaturen sind kein Problem, der Anwendungsbereich wird primär von der Temperaturstabilität der Hüllfolie bestimmt.

3.4 Getter

Mit sogenannten Gettern kann die Lebensdauer von VIP erhöht werden, da diese einen Druckanstieg mittels Absorption von Gasen verzögern. Getter enthalten verschiedene Stoffe, welche für die zu erwartende Art und Menge der zu schluckenden Gase konfektioniert werden - Barium und Lithium für Gase wie Stickstoff, Sauerstoff und Kohlendioxid, Kalzium- oder Barium- und Kobalt-Oxide für Feuchte. Die notwendige Menge an Getterstoffen hängt vom verwendeten Kernmaterial, den Paneele-dimensionen, der geforderten Lebensdauer sowie vom Typ der eingesetzten Folien ab.

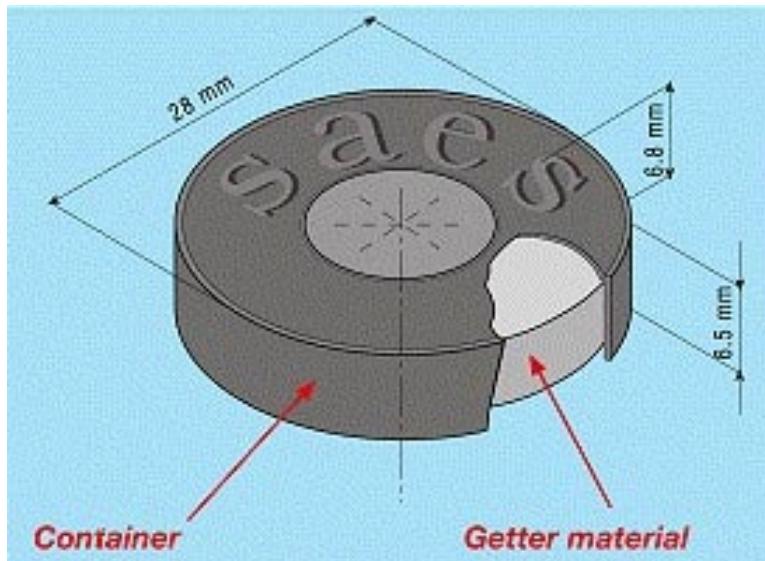


Abb. 5: Getter zur Absorption von Restgasen in Vakuum-Dämmplatten

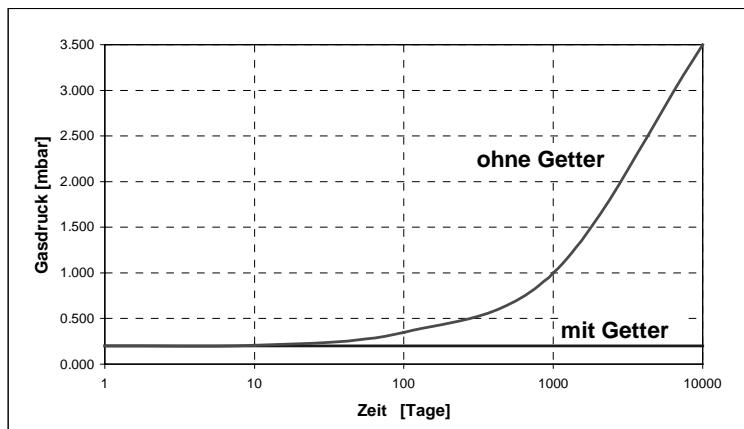


Abb. 6: Stabilisierung des Vakuums mittels gasabsorbierenden Materialien.

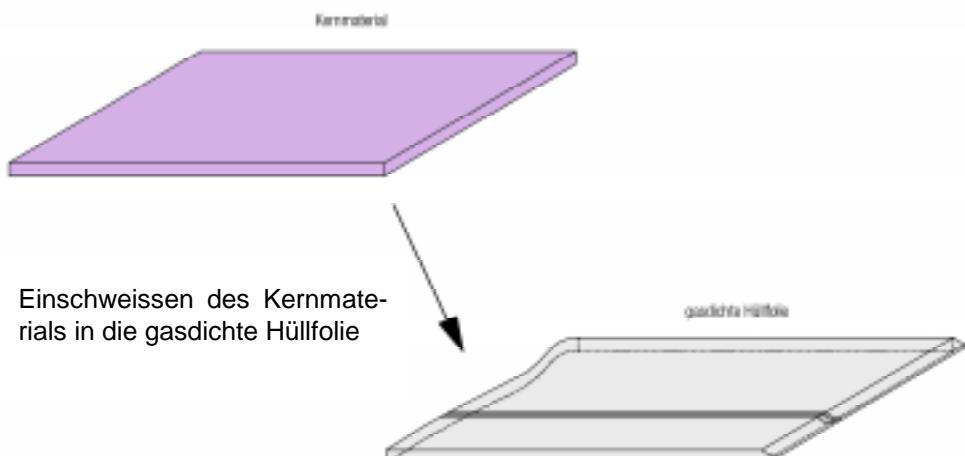
4. Herstellung

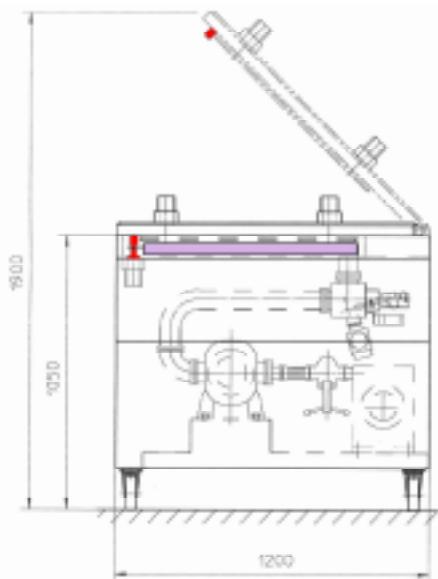
4.1 Produktion

Im Grundsatz ist die Herstellung von Vakuum-Dämmplatten einfach und entspricht im Wesentlichen der Vakuumsverpackungstechnik in der Lebensmittelindustrie. Unterschiedlich sind die höheren Anforderungen an das Vakuum und damit an die Leistungsfähigkeit der Vakuumpumpen sowie die Abmessungen des zu verpackenden Materials. Damit die Abpumpzeiten nicht zu lang werden, müssen einige Kernmaterialien (Kieselsäure, Polyurethan) vor dem Evakuieren getrocknet werden. Die maximal mögliche Grösse der Vakuum-Platten wird durch die Grösse der zur Verfügung stehenden Vakuumkammer bestimmt.

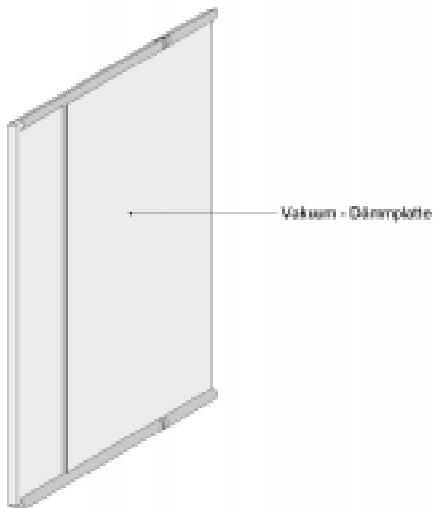
Die Arbeitsschritte im Einzelnen

1. Vorfertigung einer Tüte mit offener vierter Seite.
2. Einlegen des plattenförmigen Kernmaterials.
3. Einlegen in die Vakuumkammer und anschliessendes Abpumpen.
4. Bei Erreichung des erforderlichen Vakuums wird die noch offene Seite mit Hilfe des eingebauten Schweissbalkens in der Vakuumkammer verschlossen.
5. Belüften der Vakuumkammer und Entnahme des fertigen Paneels.





Querschnitt Vakuum- und
Schweissmaschine



Umkleben der Randsstreifen

Abb. 7: Herstellungsprozess der Vakuum-Dämmplatten

4.2 Qualitätssicherung

Von zentraler Bedeutung bei der Herstellung der Vakuum-Paneele erweist sich die Qualitätssicherung. Neben der Güte der eingesetzten Folien ist insbesondere die Qualität der Schweißnähte entscheidend für die Funktionstüchtigkeit des Paneele. Um fehlerhafte Paneele vor der Auslieferung auszusortieren, werden diese bisher etwa eine Woche nach der Produktion erneut in die Vakuumkammer eingelegt. Während des Abpumpens wird das eingelegte Paneel durch ein Sichtfenster beobachtet, bis sich die Folie vom Kern löst. Der jetzt am Manometer der Vakuumkammer abzulesende Druck entspricht in etwa dem Innendruck des Vakuum-Paneele. Auf diese Weise lässt sich der Druck und damit die Wärmeleitfähigkeit im Vakuumpaneel zerstörungsfrei überprüfen.

In den geplanten Demonstrationsprojekten soll daher ein Langzeit-Feldversuch gestartet werden, indem in einer genügenden Anzahl von Dämmplatten ein berührungslos ablesbarer Drucktransponder eingesetzt wird. Damit werden bis in ca. fünf Jahren wichtige Informationen über das Alterungsverhalten im praktischen Einsatz zur Verfügung stehen.

5. Schutzumhüllungen

Während für den Einsatz in vorgefertigten Bauteilen (Wandelemente, Türblätter, Rollladenkästen, Brüstungs- und Sturzelemente, etc.) die Vakuum-Platten unter Werkstattbedingungen in unter strengen Qualitätsanforderungen eingebaut werden können, bestehen beim Einsatz auf der Baustelle zahlreiche Probleme, die zum Beispiel durch Schutzumhüllen teilweise gelöst werden könnten.

5.1 vacupact®

Als eine Möglichkeit hat sich hierbei eine Ummantelung mit EPS erwiesen. Diese von ZZ-Wancor entwickelte vacupact-Dämmplatten (Abb. 7) haben Abmessungen von 600 x 1'000 mm und eine Dicke von z.B. 40 mm und können wie konventionelle EPS-Platten verlegt werden. Neben den Vollformaten stehen Halb- und Viertelformate zur Verfügung. Da die Platten selbstverständlich nicht zugeschnitten werden dürfen, werden die Rand- und Anschlusspartien mit EPS-Standardplatten angepasst.

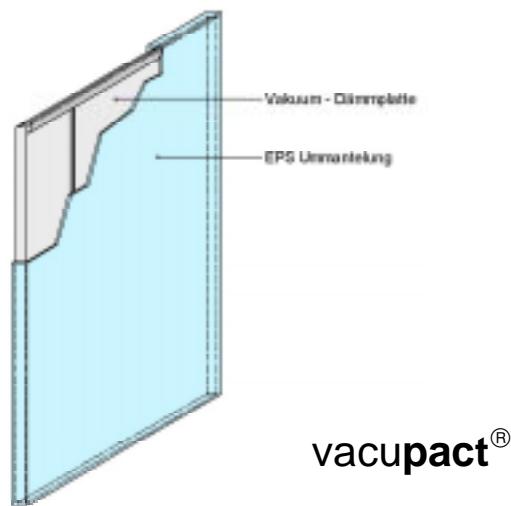


Abb. 8: Mechanischer Schutz mittels EPS-Ummantelung.

Die vacupact-Dämmplatten weisen verschiedene Vorteile auf:

- Bis auf die Tatsache, dass die Platten nicht durchstossen oder geschnitten werden dürfen, können sie in gewohnter Art und Weise verarbeitet werden.
- Die Massgenauigkeit ist wesentlich höher als bei den nicht eingeschäumten Platten.
- Die Problematik der Plattenfugen ist weitestgehend gelöst, die Platten können dicht gestossen und zum Anpassen sogar mehrere mm besäumt werden.
- Mit einer Überdeckung von ca. 10 mm sind die Platten für die meisten Anwendungen mit einem Mindestmaß an Vorsicht ausreichend während Transport und Verarbeitung gegen Verletzungen geschützt.

6. Wirtschaftliche Aspekte

6.1 Kostenaufwand und vielfältiger Nutzen

Um den heute geforderten Wärmeschutz von Gebäuden zu erreichen muss ein erheblicher konstruktiver Aufwand - verbunden mit entsprechenden Kostenfolgen - betrieben werden. Die Aufgabe des Wärmeschutzes wird besonderen Baustoffen übertragen, den Wärmedämmstoffen. Dämmstoffe sind bezüglich ihrer Hauptaufgabe ausserordentlich leistungsfähig. Sie dämmen die Wärme fünfundvierzigmal besser als Beton, zwölfmal besser als Backstein und viermal besser als Massivholz. Die Optimierung der Dämmfähigkeit stand lange Jahre nicht im Vordergrund. Wichtiger war es, die anderen Eigenschaften wie Brandverhalten, Verarbeitbarkeit etc. zu verbessern.

Bei der aus einer Fülle von angebotenen Produkten zu treffenden Dämmstoffwahl ist der entsprechende Zusatznutzen von dominanter Bedeutung. Neben der erforderlichen Druckfestigkeit, der Dampfoffenheit oder -dichtheit, der Lebensdauer, der Materialökologie wird der Platzbedarf und damit der materialspezifische Wärmedurchlasswiderstand nun zunehmend wichtiger. Dämmschichten von 16 bis 20 cm in normalen Neubauten und Schichtdicken von 20 bis 35 cm in Minergie- und Passivhäusern verursachen erhebliche konstruktive Probleme, bzw. präjudizieren in vielen Fällen sogar die Bauweise (Leichtbau anstelle von Massivbau).

Tabelle 1 zeigt die spezifischen Dämmkosten verschiedener Dämmstoffe im Vergleich. Die Kosten pro Wärmedurchlasswiderstandseinheit schwanken dabei erheblich, je nach Zusatzfähigkeiten wie Druckfestigkeit, Wasserbeständigkeit etc. Es versteht sich von selbst, dass der Kubikmeterpreis eines HLWD umgekehrt proportional zum Lambdawert höher sein darf, um dasselbe Kosten-Nutzen-Verhältnis aufzuweisen.

Tabelle 1: Spezifische Wärmedämmkosten verschiedener Dämmstoffe.

Material	WD-Kosten [Fr/m ³]	W-Leitfähigkeit [W/mK]	Kosten pro Wärmedurchlasswiderstand [Fr/(m ² K/W)]
Glasfasermatten ca. 16 kg	104	0,041	4,30
Glasfaserplatten 40 kg	203	0,033	6,70
Glasfaserplatten 70 kg	250	0,035	8,80
Glasfaserplatten 100 kg	238	0,036	8,60
Steinwolle 35 kg	115	0,040	4,60
Steinwolle 100 kg	250	0,040	10,00
EPS 20 kg	123	0,037	4,60
EPS 30 kg	198	0,035	7,00
XPS 33 kg	520	0,034	17,70
PU	322	0,028	9,00
Kork ca. 130 kg	460	0,042	19,30
Holz-Weichfaserplatten 150 kg	230	0,040	9,20
Zellulosefüllung ca. 50 kg	180	0,040	7,20
Schaumglas 130 kg	616	0,040	24,60
HLWD 1	2.000	0,015	30,00
HLWD 2	2.000	0,005	10,00

Die Kostenangaben verstehen sich exklusive Montage- und Unterkonstruktionskosten. Da HLWD noch nicht auf dem Baumaterialmarkt angeboten werden, haben die diesbezüglichen Preisangaben illustrativen Charakter (die λ -Werte entsprechen dem gegenwärtig möglichen Spielraum).

Die Tabelle zeigt, dass die relativ hohen Materialkosten der HLWD durch die guten λ -Werte zum Teil kompensiert werden können.

6.2 Ökonomischer Nutzen der Raumersparnis

Mit dem Einsetzen von HLWD wird gegenüber herkömmlichen Dämmmaterialien umbauter Raum eingespart. Ihr Wärmedurchlasswiderstand ist um den Faktor 5 bis 10 höher und damit die erforderliche Schichtdicke entsprechend kleiner.

Nicht überall ist diese Ersparnis quantifizierbar (geringere Geschoss Höhe beim Einsatz unter Fußbodenheizung, Minimierung der Bauschadensanfälligkeit durch wärmetechnisch optimale Detaillösung bei Fensterrahmen-Verbreiterungen), doch oft macht erst die Anwendung von HLWD gewisse (Sanierungs-) Baumassnahmen möglich (Ersparnis bei Sanierungen von Flachdach, Fassaden, Innendämmung). Die derzeitigen Produktentwicklungen zielen stark auf Anwendungen im Bau ab, welche genau diese ökonomisch schwer quantifizierbare Platzersparnis bieten.

Baulandersparnis

Das Dämmstoff-Volumen macht bei einem Niedrigenergie-Einfamilienhaus gegen 25 % des gesamten beheizten Gebäudevolumens aus. Bei vorgegebener Ausnützungs- oder Überbauungsziffer steigt die benötigte Baulandfläche dementsprechend. Mittels Einsatz von HLWD können, wie die nachstehende Tabelle zeigt, Baulandkosten eingespart und somit die Dämmstoff-Mehrkosten mindestens zu einem grossen Teil gedeckt werden.

Tabelle 2: Dämmstoffvolumen am Beispiel eines einfachen Einfamilienhauses.

Gebäudeabmessungen (beheiztes Volumen, Innenmasse)			
Breite	b	[m]	8,00
Länge	l	[m]	10,00
Höhe	h	[m]	5,10
Bebauungsziffer			ÜZ
Baulandpreis			P [Fr./m ²]
Wärmeleitfähigkeit WD			λ_{WD} [W/mK]
Wärmeleitfähigkeit HLWD			λ_{HLWD} [W/mK]
			D

		HLWD	WD
Dämmstoffdicke	d [m]	0,07	0,35
Beheiztes Gebäudevolumen	V_G [m ³]	432	540
(Aussenmasse)			
Volumen Wärmedämmung	V_W [m ³]	25	132
	[%]	6%	24%
Bebaute Fläche	F [m ²]	83	93
Mehrbedarf bebaute Fläche	ΔF [m ²]		10
Erforderliche Parzellenfläche	A [m ²]	330	372
Mehrbedarf Parzellenfläche	ΔA [m ²]		42
Mehrkosten Bauland	K [Fr.]		27.431
Zulässige Mehrkosten HLWD	$K_{zul.}$ [Fr./m ³]		1.119

Beim Einsetzen von HLWD kann eine erhebliche Landflächenersparnis erzielt werden. Die Materialmehrkosten werden dadurch zu einem grossen Teil gedeckt.

Nutzflächenmaximierung

Ist die Baulandfläche gegeben oder erfordert eine Sanierung eine Innendämmung (Stadtbild, Denkmalpflege, minimale lichte Fenstergrösse etc.), so interessiert vor allem die Nutzflächenmaximierung des Bau- resp. Sanierungsvorhabens. Stellt man nun die Nutzflächenkosten (oder Mietzinseinnahmen) den durch die Dämmmassnahmen entstehenden Kosten (Material, Nutzflächenverlust) gegenüber, so kann der Mehr- oder Minderwert der gewählten Dämmmassnahme beurteilt werden. Je höher die Nutzflächenkosten einer Liegenschaft sind, desto interessanter wird der Einsatz von platzsparenden HLWD.

Die Abb. 9 und 10 zeigen die zulässigen Quadratmeter- bzw. Kubikmeterkosten von HLWD, wenn durch ihr Einsatz Fläche eingespart werden kann. Je nach Ausgangslage handelt es sich dabei um teure Nutzfläche, die eingespart wird (Innendämmung), um Erstellungskosten (Neubau mit nicht ausgeschöpfter Baulandausnutzung) oder zumindest um die Kosten des Baulandes. Die Berechnungen zeigen, dass HLWD ein mehrfaches konventioneller Dämmstoffe kosten dürfen, um sich immer noch als wirtschaftlich interessante Alternative am Markt durchsetzen zu können.

Nutzflächenkosten [Fr./m²]

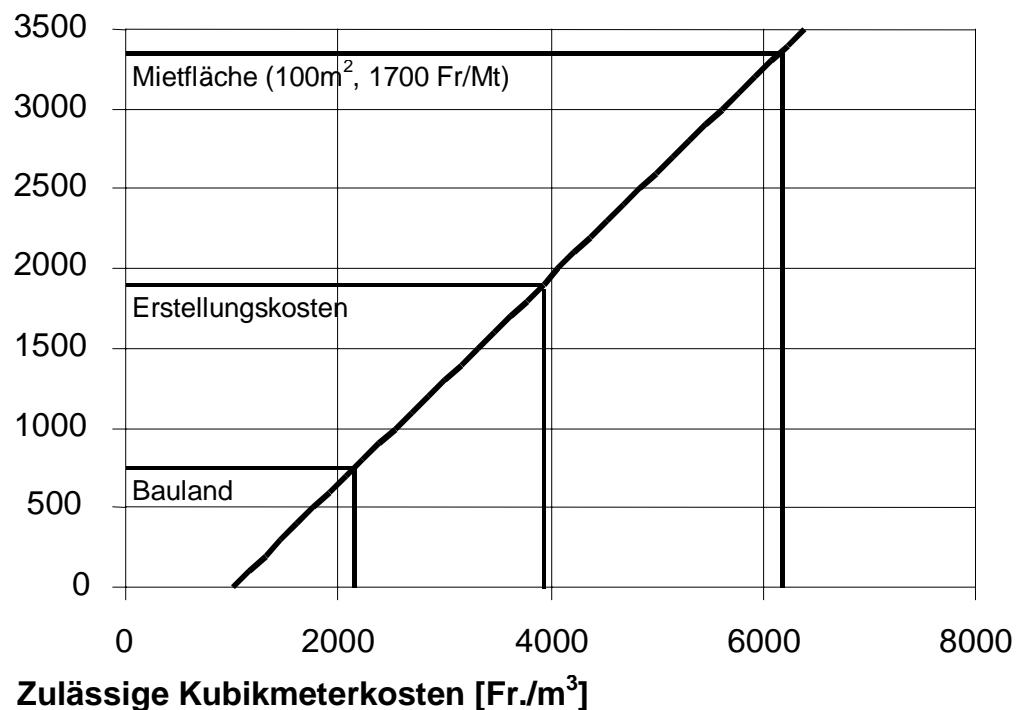
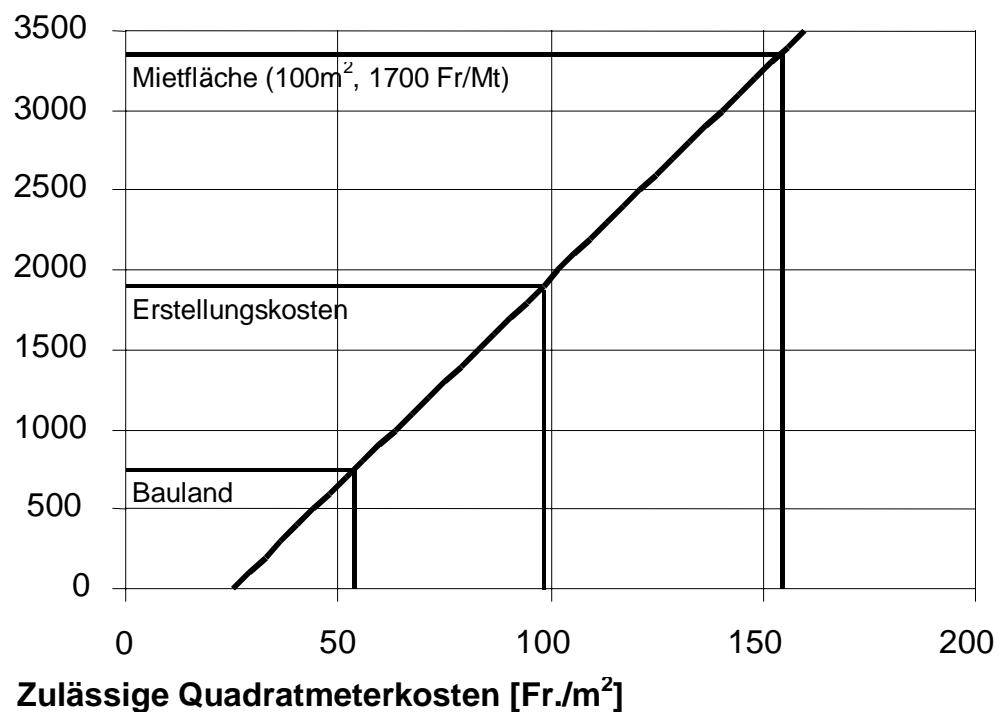


Abb. 9: Zulässige Kubikmeterkosten von Hochleistungswärmedämmstoffen in Abhängigkeit des Wertes der eingesparten Nutzfläche bei folgenden Annahmen: Dämmsschicht 2,5 statt 12 cm, Raumhöhe 2,6 m, 200 Fr/m³ konv. Dämmstoff.

Nutzflächenkosten [Fr./m²]



Zulässige Quadratmeterkosten [Fr./m²]

Abb. 10: Zulässige Quadratmeterkosten von Wanddämmungen mit HLWD in Abhängigkeit des Wertes der eingesparten Nutzfläche bei folgenden Annahmen: Dämmschicht 2,5 statt 12 cm, Raumhöhe 2,6 m, 200 Fr/m³ konv. Dämmstoff.

7. VIP im Praxistest

Ein Schwerpunkt dieses Projektes stellte die Erprobung von VIP in der Praxis dar. Die derzeit mit unterschiedlichen Materialien herstellbaren VIP wurden deshalb in verschiedene Bauprodukte und Baukonstruktionen eingebaut. Damit konnten erste Objekte mit evakuierten Dämmelementen in den Bereichen Gebäudehülle und Haustechnik realisiert werden. Schon anhand dieser einzelnen Versuchsanwendungen hat sich gezeigt, dass - vor allem für die Montage auf der Baustelle - die Vakuumpannele eine genügende Resistenz gegen mechanische Beschädigungen aufweisen müssen. Eine bereits realisierte Möglichkeit ist das schon erwähnte Einschäumen in einen dünnen EPS-Mantel, weitere Varianten werden zur Zeit geprüft. Ansonsten wurden bei diesen Testanwendungen bauphysikalische und bautechnische Besonderheiten noch nicht im Detail untersucht. Die enorme Dämmfähigkeit von Hochleistungswärmedämmssystemen wirft aber bei Bauelementen wie Baukonstruktionen bauphysikalische und bautechnische Fragen auf, die bei der weiteren Entwicklung sorgfältig angegangen werden müssen. Namentlich zu erwähnen sind etwa Wärmebrückeneffekte mit Kondensatrisiken.

7.1 Vom VIP zum Bauteil

Es hat sich gezeigt, dass es schwierig ist, im realen Einsatz die hervorragende Dämmfähigkeit von VIP ungeschmälert zu nutzen. Die einzelnen Platten können nicht fugenlos aneinander gereiht werden oder sie müssen zu ihrem eigenen Verletzungsschutz umhüllt oder mit gebührendem Randabstand in die Bauelemente eingefügt werden. Die mittlere Dämmfähigkeit der Konstruktionen ist in hohem Massen davon abhängig, wie die VIP konzeptionell-konstruktiv eingebettet werden und schliesslich auch, wie sorgfältig sie verarbeitet resp. montiert werden.

A) VIP einlagig mit Stoßfugen



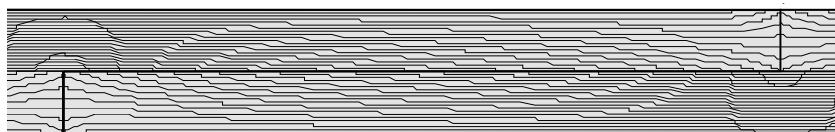
VIP 25 mm

$$\lambda_{\text{NORM}} = 0,007 \text{ W/m K}$$

$$\lambda_{\text{MITTEL}} = 0,010 \text{ W/mK}$$

$$\psi_{\text{FUGE}} = 0,090 \text{ W/mK}$$

B) VIP zweilagig mit versetzten Fugen



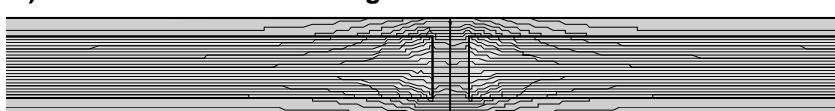
VIP 2x25 mm, versetzt verlegt

$$\lambda_{\text{NORM}} = 0,007 \text{ W/mK}$$

$$\lambda_{\text{MITTEL}} = 0,009 \text{ W/mK}$$

$$\psi_{\text{FUGE}} = 0,021 \text{ W/m K}$$

C) VIP mit EPS-Ummantelung



Vacupact 7,5/25/7,5 mm

$$\lambda_{\text{NORM}} = 0,010 \text{ W/mK (100\%)}$$

$$\lambda_{\text{MITTEL}} = 0,013 \text{ W/mK (130\%)}$$

$$\psi_{\text{FUGE}} = 0,049 \text{ W/mK}$$

Abb.11: Isothermenbild verschiedener Aufbau- und Verlegvarianten. Der Wärmebrückeneffekt und mit ihm der Wärmedurchgangswiderstand der gesamten Konstruktion ist im hohen Massen davon abhängig, wie die Plattenfuge ausgebildet wird. Die Werte gelten für eine Fuge (A und C) resp. zwei (B) Fugen auf einer VIP-Fläche von 1 m².

Die in Abb.11 dargestellten zweidimensionalen Berechnungen gehen von vereinfachenden Annahmen aus, zeigen aber trotzdem, dass der Randproblematik mit den

Folien bei der Weiterentwicklung von Produkten und Systemen Beachtung geschenkt werden muss. Erste Messungen haben gegenüber diesen Berechnungen sogar noch deutlich höhere Wärmebrückenverluste ergeben. Die zweilagige Verlegung der VIP mit versetzten Plattenstößen bringt eine erhebliche Verbesserung, d.h. Verminderung der Wärmebrückenwirkung der Plattenstösse. Dass der Wärmebrückeneffekt bei Vacupact-Panels ebenfalls deutlich gebrochen ist, hängt einerseits mit der Bezugsgrösse zusammen. Der Basiswert ist schon schlechter, so dass weniger vom Zuschlag ψ übernommen werden muss. Andererseits wird der Wärmeübergang von der gut leitenden Alu-Folie durch die umhüllende Polystyrolschicht vermindert.

7.2 Bauteile

Vorgefertigte Bauteile wie Türen, Fensterbrüstungen und -stürze, Fassaden- und Dachelemente sowie Rollladenkästen haben den Vorteil, dass die empfindlichen Vakuum-Dämmplatten unter Werkstattbedingungen eingebaut werden können. Ausserdem können mit einmal festgelegten Abmessungen grössere Serien gefertigt und so die Herstellungskosten für die Vakuum-Paneele gesenkt werden.

Aussentüren

Bereits realisiert wurde der Einbau von Vakuum-Dämmplatten in Aussentüren. Auf diese Weise lässt sich der U-Wert der Haustüre bei vorgegebener Türblattstärke mehr als halbieren und so eine der letzten thermischen Schwachstellen in der Gebäudehülle eliminieren. Bisher wurden von der Türenfabrik Brunegg ein Siedlung mit Passivhäuser ausgerüstet.

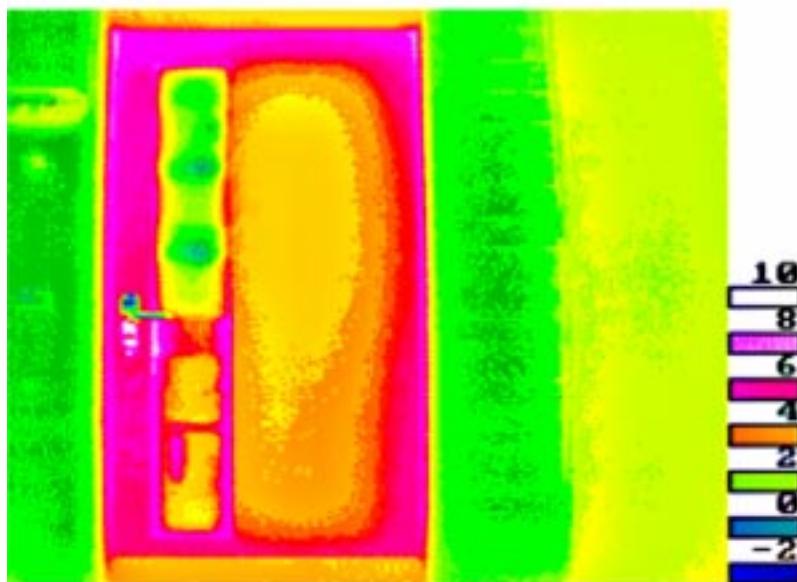


Abb. 12: Aussentür mit VIP Dämmung. Die Aufnahme wurde bei einer Aussentemperatur von gut 1°C gemacht. Der VIP-gefärmte Teil, rechts vom Fenster, erreicht rechnerisch einen k-Wert von weniger als 0.3 W/m²K.

Rolladenkasten und Fensteranschlussbereiche

Auch der Sturz im Bereich des Rollladenkastens erweist sich immer wieder als thermische Problemstelle, die aufgrund der gegebenen Platzverhältnisse oftmals nur unzureichend gelöst werden kann.

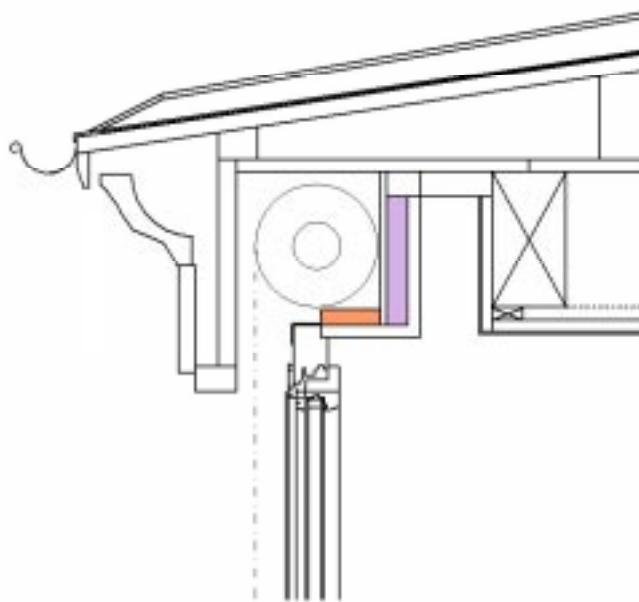


Abb. 13: Einbau von Vakuum-Dämmplatten in einen Rollladenkasten

Mit einer schlanken Vakuumdämmung lassen sich auch hier befriedigende Lösungen finden, wie das Beispiel eines Rollladenkastens in einem EFH in Meilen zeigt.

VIP im Leibungs- Sturz- und Brüstungsbereich

Bestehende Gebäude weisen oft für heutige Anforderungen minimalen Fenstergrossen auf. Eine im Sanierungsfall aussen angebrachte Wärmedämmung verschlechtert die Tageslichtbeleuchtung meist auf ein untragbares Niveau, wenn auch die Fensterleibungen genügend gedämmt werden. Die sehr aufwändige Vergrösserung der Maueröffnung ist jedoch meist aus finanziellen wie bautechnischen Gründen nicht möglich. Mit dem Einsetzen von VIP im Leibungs-, Sturz- und Brüstungsbereich wird die Tageslichtsituation der Innenräume trotz optimaler wärmetechnischer Anschlusslösung nur unmerklich vermindert.

Mit dem Einsatz der VIP, beschränkt auf die seitlichen, oberen und unteren Fensterranschlussbereiche, kann die bauphysikalische Situation massgeblich verbessert werden, ohne die Belichtung der Innenräume stark in Mitleidenschaft ziehen zu müssen.

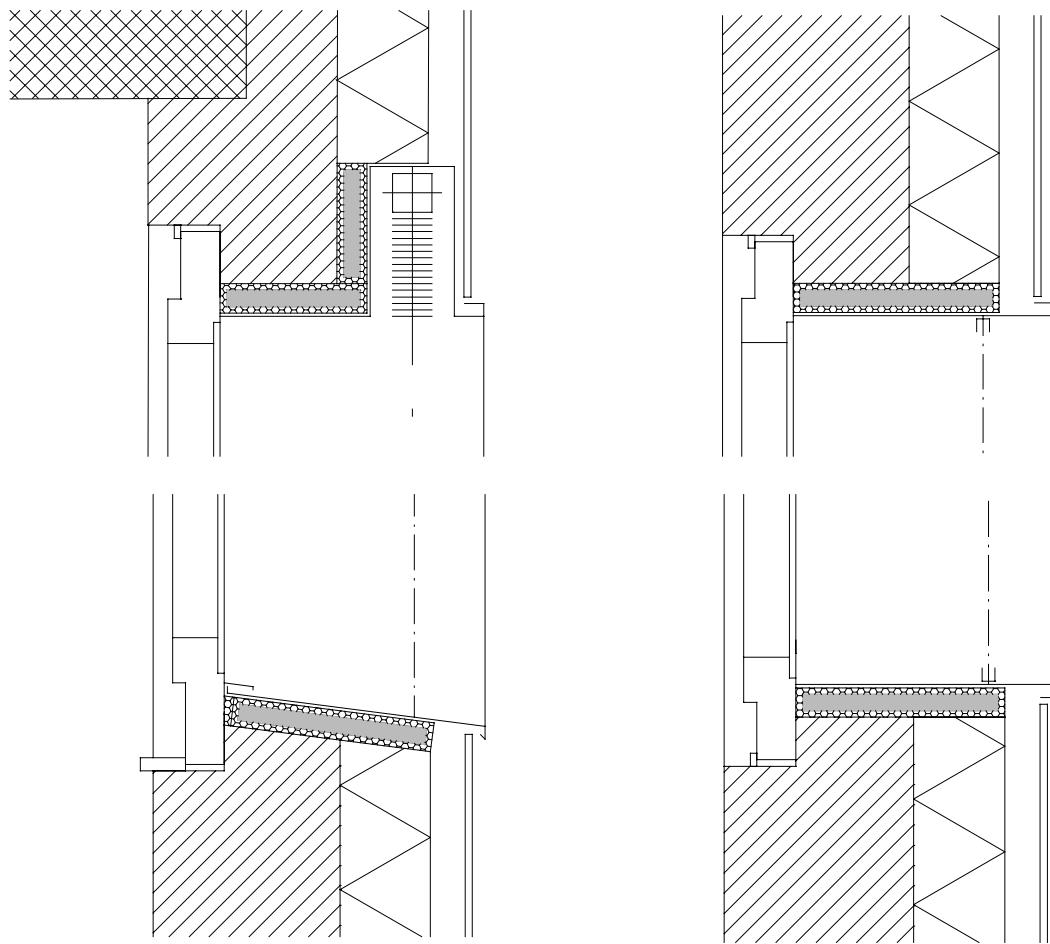


Abb. 14: Schnitt und Grundriss einer möglichen Fassadensanierung. Mit dem Einsetzen von VIP im Leibungs-, Sturz- und Brüstungsbereich wird die Tageslichtsituation der Innenräume trotz optimaler wärmetechnischer Anschlusslösung nur unmerklich vermindert.

7.4 Flachdachdämmungen

Gerade bei Flachdachsanierungen gibt es immer wieder Situationen, in denen nur begrenzte Dämmdicken zur Verfügung stehen oder andernfalls erhebliche Anpassungsarbeiten an An- und Abschlüssen vorzunehmen wären. Mit den Vakuum-Dämmplatten steht nun ein Produkt zur Verfügung, mit dem die thermische Verbesserung erzielt werden kann, ohne die ursprüngliche Dicke des Dachaufbaus zu verändern.

Terrassendämmung in Leimbach/TG

Einen typischen Anwendungsfall stellt die Dachterrasse eines Einfamilienhauses in Leimbach/TG dar. Die Dachhaut ist im Laufe der Zeit undicht geworden und musste nun zusammen mit der durchnässten Korkdämmung ersetzt werden. Eine Erhöhung der ursprünglichen Dämmstärke von 4 cm kam aus konstruktiven Gründen nicht in Frage, ansonsten hätten über die gesamte Terrassenbreite neue Fenster und Türen eingebaut werden müssen.

Hier kamen nun idealerweise Polystyrol ummantelte **vacupact**-Dämmplatten in gleicher Dicke zum Einsatz. Dabei standen dem Dachdecker voll-, halb- und viertelformige Platten zur Verfügung, die wie konventionelle EPS-Platten verlegt werden.

Rand- und Anschlusspartien wurden mit konventionellen Polystyrolplatten angepasst. Bei einem Randflächenanteil von 10 % ergibt sich so mit einer 40 mm dicken Platte ein mittlerer U-Wert von $0.29 \text{ W/m}^2\text{K}$, entsprechend einer 90 mm dicken Polyurethan-Platte!

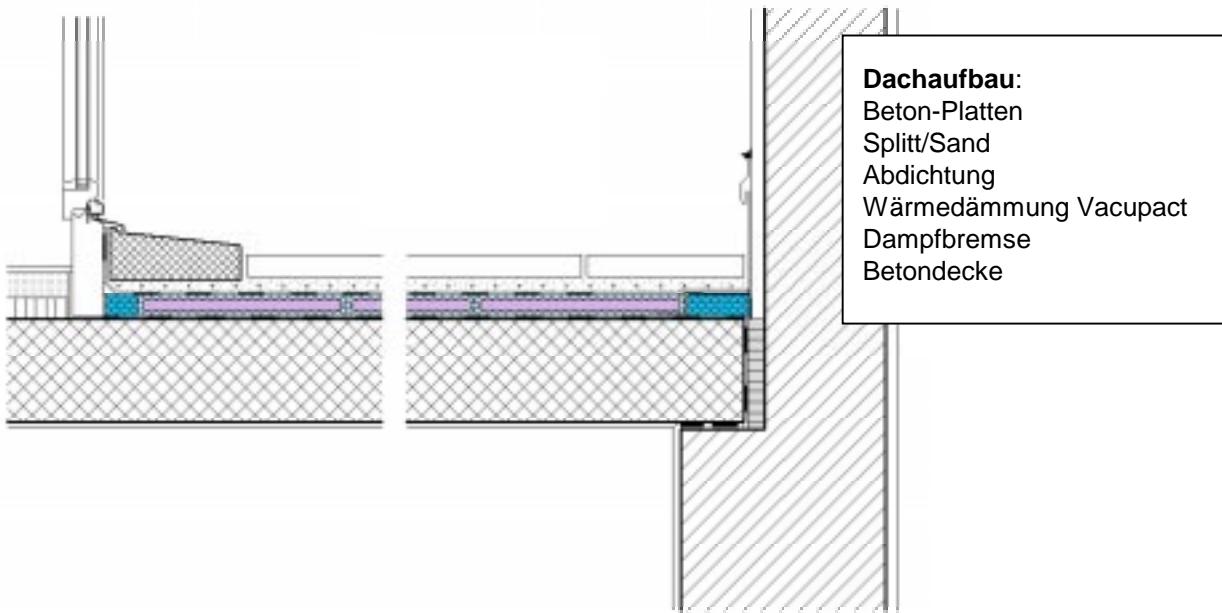


Abb. 15: Prinzipieller Aufbau der ausgeführten Terrassendämmung. Die Randbereiche wurden mit konventionellem Polystyrol-Dämmstoff ausgeführt.

Passivhäuser in Wolfurt, Vorarlberg

Etwas anders gelagert waren die Probleme bei diesem Objekt. Der Passivhaus-Standard verlangt U-Werte zwischen 0.10 und $0.15 \text{ W/m}^2\text{K}$, wodurch sich Dämmdicken von bis zu 40 cm (!) ergeben. Sinnvolle konstruktive Lösungen für die Dämmung von Dachterrassen sind mit diesen Vorgaben praktisch nicht machbar.

Bei der Konstruktion der beiden hier vorgestellten Mehrfamilienhäuser handelt es sich um eine Mischbauweise mit Stahlbetondecken auf Stahlstützenkonstruktion und aussteifenden Stahlbetonwandscheiben. Die nichttragenden 30 - 45 cm dicken Außenwände bestehen aus vollgedämmten Holz-Fertigelementen mit innerer Gipskarton-Vorsatzschale. Während die Wärmedämmung des Flachdaches mit 40 cm Polystyrol-Hartschaumplatten erfolgte, wurden - bei gleicher Dämmleistung (!) - die jeweils ca. 30 m^2 grossen Dachterrassen mit 5 cm dicken Vakuum-Dämmplatten **INSTILL**[®] + Aluminiumverbundfolie) ausgeführt. Die Platten wurden auf Mass angefertigt und haben mit $242 \times 80 \text{ cm}$ eine Fläche von knapp 2 m^2 , so dass ein Randfehler praktisch vernachlässigt werden kann.

Bei dieser Anwendung wurde deutlich, wie problematisch der Einbau von ungeschützten Vakuum-Dämmplatten auf der Baustelle ist. Durch Unachtsamkeit beim Baustellentransport und bei der Montage wurden einige Platten verletzt und mussten

ausgetauscht werden. Der Einsatz ungeschützter Platten verlangt daher auf jeden Fall eine intensive Baustellenbetreuung und gut geschulte Verarbeiter, die sensibilisiert sind und die notwendige Sorgfalt walten lassen.



Abb. 16: Passivhaus in Wolfurt, Vorarlberg (Architekt Gerhard Zweier, Wolfurt).



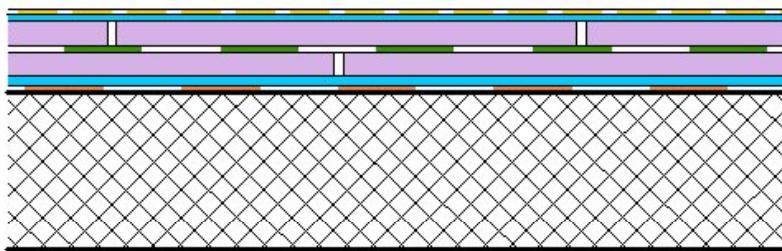
Abb. 17: Ausführung der Dachterrasse mit 5 cm Vakuum-Dämmplatten.

7.4 Tiefkühlraumboden Blutspendedienst Bern AG

Bei diesem Objekt bestand die Aufgabe darin, im Rahmen von umfassenden Umbauarbeiten in ein bereits bestehendes Gebäude einen ca. 50 m² grossen Tiefkühlraum für die Lagerung von Blutkonserven zu installieren. Für den gedämmten Bodenaufbau stand im Prinzip nur die Dicke des an dieser Stelle entfernten Unterlagsbodens von ca. 10 cm zur Verfügung. Gemäss Berner Energiegesetz ist aber eine Dämmdicke von umgerechnet mindestens 25 cm Polyurethan erforderlich. Auch hier stellte sich wieder das Problem der Aufbauhöhe, welches mit dem Einsatz der hochdämmenden Vakuum-Paneele elegant gelöst werden konnte.

Aus Gründen der höheren Sicherheit wählte man einen zweilagigen Aufbau mit 2 x 25 mm Vakuum-Dämmplatten (Wacker-WDS mit Alu bedampfter Hüllfolie). Die massgefertigten Platten wurden fugenversetzt verlegt, um auch allfällige Wärmebrücken über die Stossfugen so weit wie möglich zu vermeiden. Das zwischenliegende Vlies dient im Wesentlichen dem mechanischen Schutz der unteren Dämmplattenlage während der Verlegung der zweiten Lage. Die beiden ober- und unterhalb der Dämmplatten angeordneten Bautenschutzmatten haben ebenfalls hauptsächlich eine Schutzfunktion.

Unterhalb der Dämmplatten wurden Temperatursensoren eingebaut und somit eine ständige Kontrolle der Funktionstüchtigkeit der eingebauten Vakuumdämmplatten ermöglicht. Die Dämmdicke von 5 cm ist so bemessen, dass selbst bei einem völligen Verlust des Vakuums Frostfreiheit in der Deckenkonstruktion gewährleistet ist, dies aufgrund der niedrigen Wärmeleitfähigkeit des Kernmaterials von nur 0.19 W/(mK) bereits bei Normaldruck.



Bodenaufbau

- Betonunterkonstruktion
- Dampfsperre Alu
- Bautenschutzmatte 6 mm
- 1. Lage Vakuum-Dämmplatten 25 mm im Verbund verlegt
- Wancor Flies Typ 2, 300g/m²
- 2. Lage Vakuum-Dämmplatten 25 mm, versetzt zur 1. Lage im Verbund verlegt
- Bautenschutzmatte 6 mm
- PE-Folie
- Fliessmörtel

Abb. 18: Schnitt durch den Tiefkühlraumboden. Die 2 x 25 mm Vakuum-Dämmung entspricht von der Dämmeleistung her einer ca. 25 cm dicken Polyurethandämmung.

7.5 Wand-Innendämmung

Innendämmungen werden im Rahmen von wärmetechnischen Sanierungen immer dann in Betracht gezogen, wenn aufgrund besonderer Randbedingungen (z.B. Denkmalschutz) eine Aussendämmung nicht in Frage kommt oder mit höheren Kosten verbunden wäre (wenn beispielsweise die Fassade noch intakt ist). Betrachtet man den immensen bestehenden Gebäudepark, so ist das diesbezügliche Energiesparpotential erheblich.

Vielfach wird aber die Dicke der Innendämmung aufgrund von Platzmangel und Anschlussproblemen limitiert. Dass dank HLWD mit geringem Platzverlust sehr gute Wand-U-Werte bei bestehenden Bauten möglich werden, könnte einen Marktdurchbruch für diese Massnahme bewirken. Nebennutzen wie Komfortsteigerung dank höherer Wandoberflächentemperaturen, Absenkung der Vorlauftemperaturen der Heizung für den Einsatz von Wärmepumpenheizsysteme oder längere Reservehaltung bestehender Tankanlagen erhöhen die Attraktivität zusätzlich. In einem Einfamilien-Reihenhaus aus den 30er Jahren in Zürich werden zur Zeit zwei Varianten erprobt:

Variante 1: Ausführung mit vacupact Dämmplatten

Bei dieser Variante werden **vacupact**-Dämmplatten analog konventioneller EPS-Platten mit Klebemörtel auf das 30 cm dicke Backstein-Verbandsmauerwerk geklebt und anschliessend verputzt. Randbereiche und Anpassungen an Steckdosen werden mit konventionellen EPS-Platten ausgeführt.



Abb. 19: Innendämmung mit 4 cm starken vacupact-Dämmplatten. Links eine Schnittzeichnung der Konstruktion und rechts ein entsprechend ausgeführtes Beispiel (im Vordergrund ein Stapel der verwendeten Platten).

Bei einer Gesamtaufbaustärke von nur 45 mm lässt sich so ein mittlerer U-Wert über die ganze Wand von immerhin $0.26 \text{ W/m}^2\text{K}$ erzielen.

Eine so gedämmte Wand muss dem Bauherrn allerdings mit entsprechenden Nutzungshinweisen übergeben werden, damit nicht bedenkenlos Nägel o.ä. eingeschlagen werden.

Variante 2: Ausführung mit direkt aufgeklebten Platten und einer freistehenden Vormauerung aus 4 cm Alba-Platten

Bei dieser Variante werden die Vakuum-Platten mit einem Dispersionskleber direkt auf die Wand geklebt, anschliessend werden die Plattenfugen mit einem Aluminiumkaschierten Klebeband überklebt. Die Verarbeitung der ungeschützten Dämmplatten setzt selbstverständlich eine angemessene Sorgfalt beim Handling auf der Baustelle voraus.

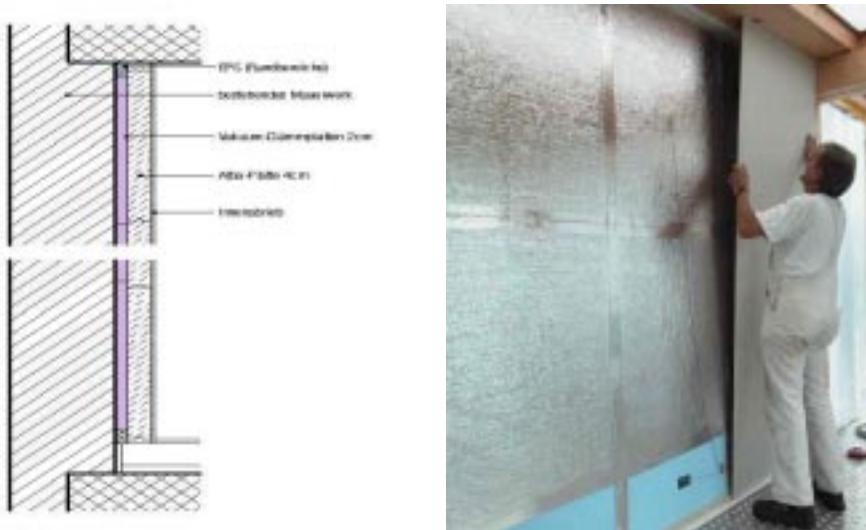


Abb. 20: Links ein Schnitt durch eine Innendämmung mit 2 cm Vakuum-Dämmplatten und 4 cm Vormauerung aus Alba-Platten. Rechts ein Beispiel mit Gipskartonverkleidung.

Zusammen mit der 4 cm dicken Vormauerung aus Alba-Vollgipsplatten ergibt sich eine Gesamtkonstruktionsstärke von ca. 6.5 cm mit einem U-Wert von 0.24 W/m²K. Ausser eines besseren U-Wertes der wärmebrückenfreien Konstruktion besteht gegenüber der Variante 1 der entscheidende Vorteil, dass die Wand im Wesentlichen uneingeschränkt genutzt werden kann.

Wand-Innendämmungen sind aus bauphysikalischer Sicht allerdings nicht unproblematisch. Wenn sie in grösserem Umfang realisiert werden, müssen unbedingt Regeln der Baukunst entwickelt werden, welche Bauschäden infolge Oberflächenkondensat an den Wärmebrücken neben innengedämmten Wandpartien vermeiden. Abb. 21 zeigt die zu erwartenden Temperaturen an den kritischen Stellen der Wand-Innendämmung der Variante 1.

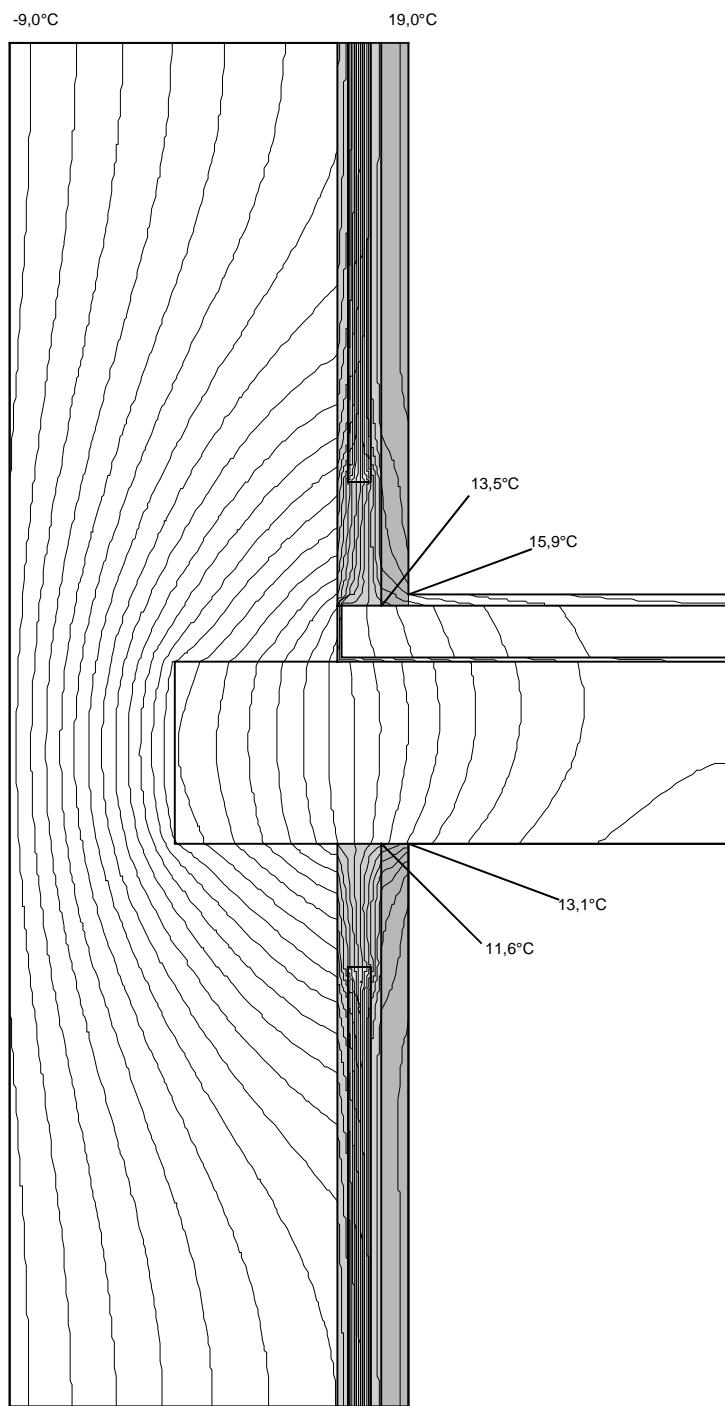


Abb.21: Isothermenbild der Variante 1. Innendämmung mit 4 cm starken **vacupact**-Dämmplatten. Die Wärmebrücken (Decken- und Innenwandanschlüsse) können zu kondensatkritischen Oberflächentemperaturen führen.

7.6 Wassererwärmer

Die Firma Domotec beabsichtigt, VIP in ihren Einbauwassererwärmern einzusetzen. In den ersten Versuchen wurde mit den VIP basierend auf Instill gearbeitet. Diese Paneele sind hart und somit nicht biegbar.



Abb. 22: Einbauwassererwärmer mit Instill-VIP, Ansicht von oben vor dem Einbringen des PU-Schaums. An den seitlichen Wänden sind die VIP sichtbar.

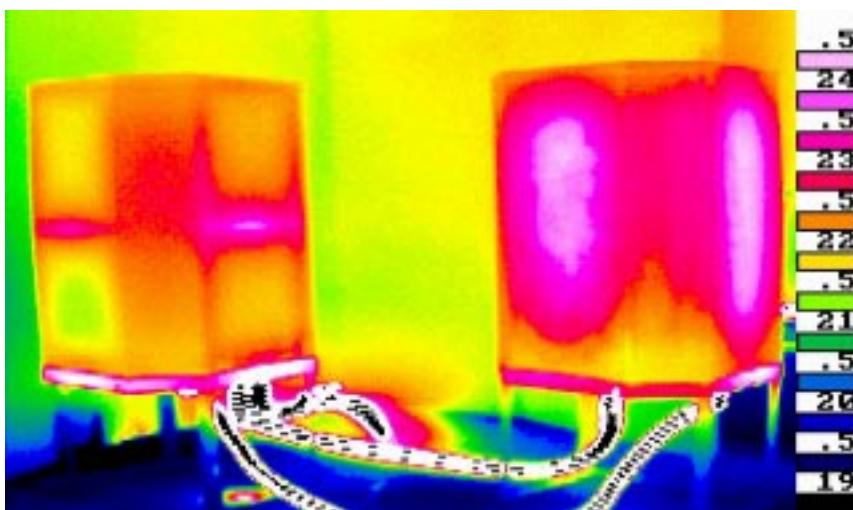


Abb. 23: Thermografie von Boiler mit (links) und ohne VIP Dämmung. Der bessere U-Wert wird durch die tieferen Oberflächentemperaturen deutlich sichtbar. Es zeigen sich auch die Stösse der VIP in der Mitte des Boilers, die höhere Wärmeleitung wird hier primär durch die Alufolie in der VIP-Hülle verursacht. Mit der definitiven Lösung können diese Wärmebrücken eliminiert werden.

Wegen den kritischen Temperaturverhältnissen wurde nach ersten Versuchen auf WDS (Kieselsäure) umgestellt. WDS-Platten haben den weiteren Vorteil der Biegsbarkeit. Es wurde deshalb versucht, die Platten um die Stahlzylinder herumzubiegen und damit eine noch bessere Dämmung und weniger Montageaufwand zu erzielen. Dies führte jedoch wegen einer zu grossen Belastung der Folie zu Leckagen in die Paneele.

Vorläufig soll deshalb mit planen Platten gearbeitet werden, wobei in der definitiven Version Aussparungen für Stutzen (Schutzanoden und Thermometer) eingearbeitet werden. Die angestrebte Lösung wird die Stillstandsverluste um mindestens 70 % reduzieren.

8. Ausblick

Erste Erfahrungen mit VIP konnten bei verschiedenen Einsatzbereichen im Hochbau gesammelt werden. Dies hat die Überzeugung wachsen lassen, dass solche Hochleistungswärmedämmungen sich längerfristig im ganzen Baubereich durchsetzen werden. Für eine erfolgreiche Markteinführung sind jedoch noch vielfältige Arbeiten notwendig. Die wichtigsten sind im Folgenden skizziert.

8.1 Basis-Konzepte und Materialentwicklung

Im Baubereich müssen VIP, je nach Anwendungsbereich, eine Gebrauchsdauer von 20 bis 80 Jahren aufweisen. Die Bauherrschaften sind vor allem unsicher, ob die Umhüllungsfolien über derart lange Zeiträume genügend dicht sind. Daher sind grundsätzliche Untersuchungen über das Alterungsverhalten über lange Zeiträume notwendig. Dies soll zu zuverlässig niedrigen Wärmeleitfähigkeiten über eine Gebrauchsdauer von mehr als 50 Jahren führen. Gleichzeitig sollen bestehende VIP auch betreffend Kosten und Wärmeleitfähigkeit optimiert werden. Einiges Potential liegt dabei noch bei den Umhüllungsfolien.

8.2 Applikationsfragen und Bauteilentwicklung

Damit die neuen hocheffizienten Dämmmaterialien sich im Baubereich durchsetzen, müssen nicht nur die wirtschaftlichen Rahmenbedingungen stimmen, sondern auch anwendungsreife Systemlösungen zur Verfügung stehen. Zusammen mit entsprechenden KMU sind daher Systeme zu entwickeln, die in den Bereichen Garantiezeiten, Produktesortiment, Anwendungshinweise, Lebensdauer usw. mit den üblichen Dämmssystemen mithalten können.

8.3 Demonstrationsvorhaben

Die Weiterentwicklung von Produkten kann in einer Marktwirtschaft nur erfolgen, wenn eine entsprechende Nachfrage vorhanden ist. Im Energiebereich ist diese zu Beginn eines Produktezyklus meist nur marginal vorhanden, da die neuen Produkte infolge kleiner Stückzahlen meist teurer als konventionelle Angebote sind. Hier können Demonstrationsvorhaben eine wichtige Rolle spielen, indem Bund und Kantone über eine beschränkte Zeit Anschubbeiträge zur Verfügung stellen.