

Jahresbericht 2004

# Vakuum-Dämmsysteme im Baubereich

## Leitung IEA ECBCS Annex 39

|                                |   |
|--------------------------------|---|
| Autor                          | Markus Erb  |
| beauftragte Institution        | Dr. Eicher+Pauli AG, Liestal  |
| Adresse                        | Kasernenstrasse 21, 4410 Liestal  |
| E-Mail, Internetadresse        | <a href="mailto:markus.erb@eicher-pauli.ch">markus.erb@eicher-pauli.ch</a> , <a href="http://www.eicher-pauli.ch">www.eicher-pauli.ch</a> . |
| BFE Vertrags-Nummer            | 84'689  |
| Dauer des Projekts (von – bis) | Januar 2002 bis April 2005  |

### ZUSAMMENFASSUNG

Vakuum-Isolations-Paneele (VIP) wurden bereits vor einiger Zeit für den Einsatz in Geräten, z.B. in Kühlschränken und Tiefkühltruhen, entwickelt. Ihre Dämmleistung in Plattenmitte liegt um einen Faktor acht bis zehn über derjenigen von konventionellen Dämmstoffen. Die Anwendungsmöglichkeiten im Baubereich bergen ein enormes Energiesparpotential. Die Einführung eines derart neuartigen Materials in der Bauwirtschaft ist aber auch mit vielen offenen Fragen und Risiken verbunden. Im Auftrag des Bundesamtes für Energie wird deshalb in einem umfassenden Projekt die Entwicklung praxistauglicher Vakuum-Dämmsysteme für den Baubereich gefördert. Die Schwerpunkte der Aktivitäten liegen zur Zeit im Bereich Forschung, wo die VIP auf ihre Tauglichkeit in Bauanwendungen untersucht resp. fit gemacht werden. Andererseits in der Zusammenarbeit mit interessierten Firmen, mit dem Ziel, VIP in Bauteile zu integrieren. Um die internationale Zusammenarbeit sicherzustellen, wurde im Rahmen der Internationalen Energieagentur (IEA) ein Projekt mit dem Titel „High Performance Thermal Insulation“, kurz HiPTI gestartet. Die Koordination der nationalen wie der internationalen Aktivitäten liegt bei der Dr.Eicher+Pauli AG.

Im vergangenen Jahr (2004) wurden in der Schweiz aber auch international (IEA) mit viel Elan am Abschluss der Projekte gearbeitet. Im Zentrum standen einerseits abschliessende Laborarbeiten und andererseits die Berichterstattung. In den Annex-Meetings im April und Oktober wurden die neuesten Resultate aller beteiligten Institute vorgestellt und diskutiert. Darauf basierend konnte die Struktur der Schlussberichte abschliessend festgelegt werden, resp. die Kompilation koordiniert werden. Das letzte offizielle Annex-Meeting findet im März 2005 statt, an diesem werden die beiden Schlussberichte (a) Paneele und (b) VIP-Bauanwendungen verabschiedet. Die offizielle Publikation wird voraussichtlich im Sommer 2005 stattfinden, nachdem die IEA die Berichte genehmigt hat.



# 1. Projektziele

## IEA ECBCS ANNEX 39

Auf Initiative des Bundesamtes für Energie wurde der IEA/BCS Annex 39 „High Performance Thermal Insulation (HiPTI)“ gestartet. Beteiligt sind Forscherteams aus Frankreich, Deutschland, Holland, Schweden, Kanada und der Schweiz.

Der Annex 39 ist in zwei Subtasks gegliedert, die auch der Gliederung des schweizerischen Projektes entsprechen. Ursprünglich waren Demonstrationsprojekte in einem eigenen Subtask angesiedelt, es wurde jedoch entschieden, diese Aktivitäten in B zu integrieren.

Subtask A: Basic Concepts and Materials (Leitung: U. Heinemann, ZAE-Bayern, Deutschland)

Subtask B: Applications, System Development and Demonstration (Leitung: A. Binz, FHBB, Schweiz)

Die Leitung des Annex liegt bei M. Erb (Dr.Eicher+Pauli AG, Schweiz).

Der Schweizerische Beitrag zu Subtask A wird primär von der EMPA (vgl. separater Jahresbericht) erbracht. Ansprechpartner ist dort H. Simmler. Subtask B entspricht dem Basisprojekt „Applikation und Information“ (vgl. separater Jahresbericht). Die Projektleitung von Subtask B des Annex 39 liegt ebenfalls bei A. Binz.

Die Aufgabe der Leitung des Annex besteht darin, die von den interessierten Ländern, resp. Instituten und Firmen angebotenen Leistungen so zu koordinieren, dass für alle ein Mehrwert gegenüber isolierten Aktivitäten entsteht. Es finden dazu jährlich zwei grosse Annex-Meetings statt, die jeweils von einem beteiligten Land organisiert werden. Zusätzlich werden Kontakte zu Industrie und Gewerbe gepflegt, i.b. um Bedürfnisse und Entwicklungen frühzeitig zu erkennen. An zwei sogenannten ExCo-Meetings wird dem zuständigen IEA-Ausschuss (Ländervertretungen) der Projektfortschritt präsentiert und anstehende Probleme diskutiert.

### **Subtask A**

In diesem Bereich werden VIP wissenschaftlich auf ihre Eigenschaften untersucht. Dabei geht es in erster Linie darum, festzustellen, welche Einsatzgrenzen die heute verfügbaren Produkte aufweisen. Konkret werden also die Anforderungen an VIP beim Einsatz in verschiedenen Bauanwendungen untersucht und diese mit den Eigenschaften von heutigen VIP verglichen. Absolute Priorität hat in diesem Bereich die Lebensdauer. Diese wird durch den unvermeidbaren Anstieg des Paneel-Innendrucks limitiert. Es geht also um die Frage, welche Kombination von Umweltbedingungen führen in welcher Zeit zu einem Anstieg des Drucks über den kritischen Wert. Da zurzeit viele verschiedene Hüllmaterialien (i.b. metallbedampfte Kunststofffolien) eingesetzt werden und diese von verschiedenen Produzenten unterschiedlich verarbeitet werden, ist eine grosse Zahl von Paneelen, resp. Folien zu untersuchen. Hier soll deshalb die internationale Kooperation in Form einer Aufteilung der zu untersuchenden Produkte schneller zu einem Überblick führen. Anschliessend sollen auf Basis dieser Erkenntnisse mögliche Mängel in Zusammenarbeit mit den Industriepartnern behoben werden.

### **Subtask B**

Damit die neuen hocheffizienten Dämmmaterialien (siehe Fig. 1) sich im Baubereich durchsetzen, müssen nicht nur die wirtschaftlichen Rahmenbedingungen stimmen, sondern auch anwendungsreife Systemlösungen zur Verfügung stehen. Zusammen mit interessierten und qualifizierten KMU werden Dämm-Systeme mit Vakuum-Isolations-Paneelen entworfen und entwickelt, die bezüglich Garantiezeiten, Produktsortiment, Anwendungstauglichkeit, Lebensdauer usw. mit den bestehenden Dämmsystemen mithalten können. Diese Aktivitäten liefern auch Rückmeldungen bezüglich der Anforderungen an die Paneele, welche dann in Subtask A weiterbearbeitet werden. Die Erfahrungen beim VIP-Einsatz am werden in Form eines Anwenderhandbuches zusammengefasst.

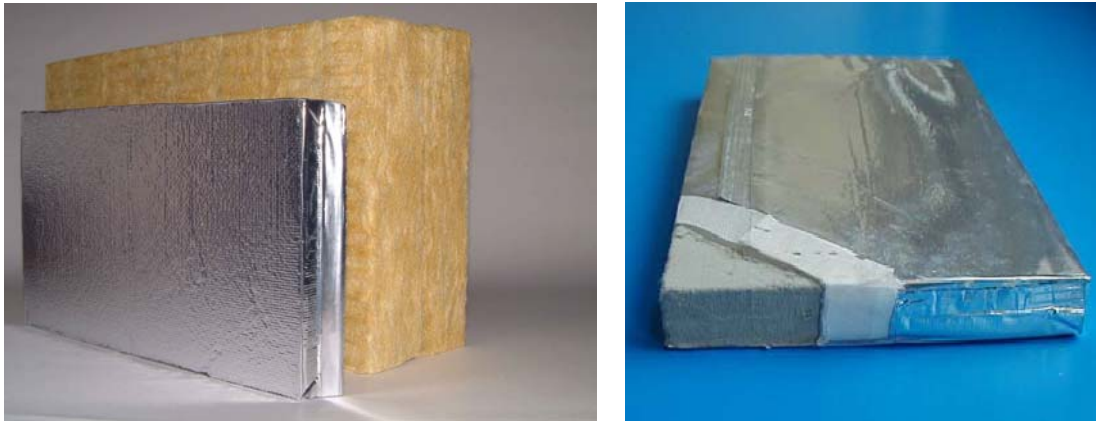


Fig. 1: Vakuum-Isolations-Paneele (VIP), 5 bis 8-mal leistungsfähiger als konventionelle Dämmstoffe.

## 2. Durchgeführte Arbeiten und erreichte Ergebnisse

### Arbeitstreffen

Im Jahr 2004 fand ein grosses Meeting aller Annex-Teilnehmer in Ottawa und ein kleineres, spezifisch zum Subtask A, in Dübendorf statt. In der Schweiz ist die Projektgruppe bestehend aus EMPA, FHBB und E+P zu vier Koordinationssitzungen zusammengekommen. Weiter fanden zwei Begleitgruppensitzungen mit den Schweizer VIP-Anwendern (ZZWancor, Schneider Dämmtechnik und Nikol Multipac) statt.

Im Folgenden sind die wichtigsten Ergebnisse und neuen Erkenntnisse von 2004 zusammengefasst.

### Subtask A

#### Alterung von VIP

Eine der wichtigsten Aufgaben des Annex ist es, Licht in die Frage nach der Lebensdauer von VIP in Bauanwendungen zu bringen. Es hat sich gezeigt, dass Feuchte und Temperatur in der Anwendung einen dominanten Einfluss auf das Eindringen von Wasserdampf und Luft in die Paneele haben. Diese Permeation führt zu einem Druckanstieg, welcher ab einem gewissen Niveau (50 bis 100 mbar) zum Verlust der sehr guten Dämmeigenschaften von VIP führt. Verschiedene Annex-Teilnehmer altern VIP deshalb in Klimakammern. Erste Resultate dieser Alterungsversuche haben gezeigt, dass hohe Feuchten, insbesondere in Kombination mit erhöhter Temperatur zu einer stark beschleunigten Permeation führen. Dies gilt insbesondere für metallbedampfte Folien, welche heute noch deutlich weniger dicht sind, als Folien auf Basis von Aluminiumfolien (Metallverbundfolien). Daraus muss geschlossen werden, dass bei Anwendungen mit entsprechenden „anspruchsvollen“ Bedingungen heutige metallbedampfte Folien nicht eingesetzt werden sollten. Den Nachteil, den man sich durch die Verwendung von Metallverbundfolien einhandelt, ist der deutliche Wärmebrückeneffekt im Randbereich der Paneele. Interessant ist weiter, dass nach heutigem Wissensstand unter normalen Feuchte-/Temperaturverhältnissen (25°C, 50% rh) beim Wasser, nach einer Zeitspanne von 10 bis 20 Jahren ein H<sub>2</sub>O-Partialdruckausgleich (ca. 20 mbar) stattfindet. Dies führt nicht über den relativ geringen Partialdruck, sondern über den Anstieg der Wärmeleitfähigkeit des „feuchten“ Stützkörpers (Kieselsäure) zu einem Anstieg der Wärmeleitfähigkeit um max. 2 mW/(m·K) resp. ≤ 50% bezogen auf den Startwert in Plattenmitte. Insgesamt kann aber davon ausgegangen werden, dass unter den erwähnten Bedingungen eine Lebensdauer von 50 Jahren erreicht werden kann.

### *Struktur des Subtask A Berichtes und Zuständigkeit*

- Zusammenfassung: ZAE
- Einführung: E+P
- Stützkörper (Kieselsäure): CSTB / ZAE
- Folienhülle: IVV
- Ganze Paneele: EMPA
- Qualitätssicherung: ZAE
- Produktedeklaration und Rechenwerte: EMPA
- Ausblick: ZAE

**Abkürzungen:** ZAE: Zentrum für Angewandte Energieforschung Bayern (Deutschland), E+P: Dr.Eicher+Pauli AG (Schweiz), IVV: Fraunhofer-Institut für Verfahrenstechnik (Deutschland), EMPA: Forschungsinstitut für Materialwissenschaften und Technologie (Schweiz).

### *VIP-Produzenten und Preise*

Auf November 2004 hat die Porextherm GmbH, einer der beiden grossen Deutschen VIP-Produzenten, seinen grössten Konkurrenten, die Dämmstoff-Abteilung der Wacker Chemie, übernommen. Damit erreicht Porextherm eine sehr starke Stellung im Markt, die kaum für sinkende Preise sorgen wird, was die Entwicklung zwischen März 2003 und Oktober 2004 auch bestätigt hat: Die Schweizer Preise sind in dieser Periode gestiegen.

### *SIA-Rechenwert für VIP*

In der zuständigen SIA-Kommission steht man kurz vor Festlegung eines Rechenwerts für ein VIP-Normpaneel. Der Wert wird Alterung berücksichtigen, i.b. den wahrscheinlichen Partialdruckausgleich bezüglich H<sub>2</sub>O während der Einsatzdauer des Paneels.

## **Subtask B**

Struktur des Subtask B Berichts (Federführung FHBB)

### *„Anwenderhandbuch“*

- Materialeigenschaften: Auszug aus Subtask A für Baufachleute
- Praxisreport: Erfahrungen aus dem VIP-Einsatz auf der Baustelle
- Empfehlungen: Wie soll man VIP einsetzen und wie nicht
- Detailkatalog: Bauphysikalisch vernünftige Konstruktionen mit VIP
- Ökonomische Aspekte: Vergleich mit konventionellen Lösungen

### *Feldmessungen*

Im Laufe dieses Jahres hätten bei 6 realen VIP-Anwendungen Messinstallationen vorgenommen werden sollen. Ziel dieser Feldmessungen ist es, einerseits kontinuierlich die thermischen und hygrischen Verhältnisse zu bestimmen und andererseits den Paneel-Innendruck periodisch zu messen. Diese Messungen verfolgen einerseits das Ziel, Computersimulationen bezüglich der erwähnten Grössen (Temperatur, Feuchte) zu kalibrieren. Andererseits können die Innendruckdaten mit den Modellwerten, welche auf Labormessungen beruhen, verglichen werden. Dadurch kann geklärt werden, ob die Laborbedingungen alle relevanten Prozesse abbilden. Von den (hof-

fentlich) erwartungsgemäss nur geringen Innendruck-Gradienten erhofft man sich auch ein erhöhtes Vertrauen in die VIP-Bauanwendung.

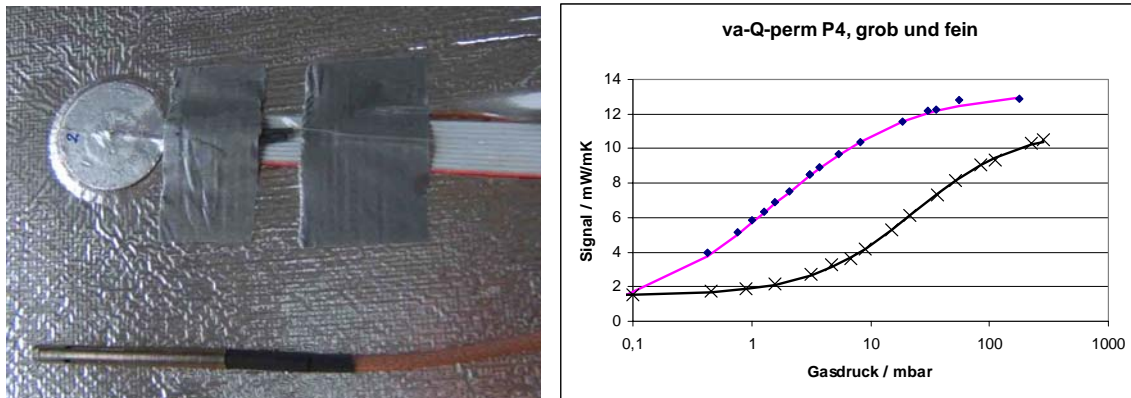


Fig. 2: Messfühler (oben Innendruck unten: Temperatur und Feuchte) und Eichkurve für die Feld-Innendruckmessungen von VIP. Die beiden Eichkurven stehen für zwei verschieden poröse Vliese, mit entsprechend unterschiedlichem Messbereich.

Die Messtechnik, die für Feldmessungen des Paneel-Innendrucks eingesetzt wird, besteht aus einem extern auf der Paneel-Hülle aufgebrachten Messkopf und einer ins Paneel eingeschweissten Metallscheibe. Letztere ist mit einem Glasfaservlies (2 Typen) belegt. Je nach Porosität des Vlieses (grob und fein), kann über den Wärmestrom vom Messkopf zur Metallscheibe auf den Gasdruck im Paneel geschlossen werden.

Leider werden bis Ende Jahr nur zwei der sechs Messungen installiert werden können. Der Grund ist, dass Porextherm entschieden hat, sich bei diesen Messungen nicht zu beteiligen. Porextherm produziert ca. 90% der in der Schweiz eingesetzten VIP und somit ist die Aufgabe, geeignete Objekte zu finden, deutlich erschwert.

Im Rahmen von einer Feldmessung der EMPA (Flachdachdämmung) wurden bis heute die gemäss Temperatur- und Feuchteverhältnissen erwarteten Druckanstiege festgestellt.

#### *Aktivitäten zur Qualitätssicherung und Produktezulassung in Deutschland*

Anders als in der Schweiz müssen Bauprodukte in Deutschland zugelassen werden. Die Verwendung von Produkten ohne Zulassung ist nur mit Einzelfallgenehmigungen möglich. Für die Zulassung fehlen heute aber noch die Methoden. Im Rahmen eines QS-Projektes des ZAE sollen bis 2006 unter anderem Methoden für diese Zulassung erarbeitet werden.

### **3. Nationale Zusammenarbeit**

Die Arbeiten der drei Schweizer Projektteams (FHBB, EMPA und Dr.Eicher+Pauli AG) erfolgt in enger Zusammenarbeit. Koordiniert werden die Aktivitäten durch die Dr.Eicher+Pauli AG. Die nationalen Kontakte werden von der FHBB, die internationalen von Dr.Eicher+Pauli AG gepflegt. Es finden alle drei Monate Arbeitstreffen und alle sechs Monate Begleitgruppensitzungen statt.

## 4. Bewertung 2004 und Ausblick

Die Anwendung von VIP im Baubereich hatte früher zwei prinzipielle Hemmnisse:

- Fehlendes Vertrauen in die Technik (Lebensdauer) und deren Anwendbarkeit im Baubereich
- Preis

Die laufenden Arbeiten werden dazu beitragen, dass das Vertrauen in die Technik wachsen wird. Der Grund ist, dass die Verhältnisse in der Betriebsphase von Bauanwendungen nachgewiesenermassen Lebensdauern von 50 Jahren und mehr zulassen. Die entsprechenden Labor- und Feldmessungen, resp. deren Interpretation werden im Laufe des nächsten Jahres publiziert und an mehreren Veranstaltungen der Öffentlichkeit vorgestellt werden. Zu erwähnen sind hier insbesondere zwei internationale Konferenzen:

- 16./17. Juni, Wismar (Deutschland): Konferenz zum Thema VIP in der Bauanwendung, Konferenzsprache Deutsch.
- 28./29. September, EMPA (Dübendorf): VIP-Konferenz mit Beiträgen zu den verschiedensten VIP-Anwendungen (Bau, Kühlen, Transport, andere Prozesse), Konferenzsprache Englisch.

Die Arbeiten im Annex haben aber auch gezeigt, dass bei der Auslegung von VIP-Dämmungen nicht mit dem Startwert der Wärmeleitfähigkeit in Paneelmitte von  $4 \text{ mW}/(\text{mK})$ , sondern eher mit dem doppelten, also  $8 \text{ mW}/(\text{mK})$  gerechnet werden muss. Damit steigen die ohnehin hohen Materialkosten in einen Bereich, der die Massenapplication stark behindert. Auch wenn der Raumgewinn und konstruktive Einsparungen beim VIP-Einsatz berücksichtigt werden, resultieren heute Kosten, die bei Standarddämmaufgaben kaum akzeptabel sind. VIP wird deshalb nur in Nischenanwendungen eingesetzt, in denen der VIP-Einsatz zusätzliche (Kosten-)Vorteile bringt, bei der Terrasse ist dies beispielsweise das Vermeiden der Stufe zwischen Wohnraum und Aussenbereich. Dazu kommt die steigende Konkurrenz mit verbesserten „konventionellen“ Dämmstoffen, wie Phenolharz.

Soll sich Vakuum-Dämmung im Baubereich breiter durchsetzen, so ist eine Reduktion der Preise unumgänglich: Grundsätzlich ist die Preisgestaltung natürlich Sache der Unternehmer. Um aber abzuschätzen, ob und in welchem Umfang mit Preisreduktionen zu rechnen ist, wäre es interessant, die heute bestimmenden Faktoren zu kennen, was nur ansatzweise der Fall ist. Im Folgenden einige Anhaltspunkte zum Thema. Beispielsweise ist bekannt, dass bereits die Materialkosten (Kieselsäure und Folie) einen nicht unwesentlichen Anteil am Endpreis haben. Bei der Folie bestimmt wohl primär die Absatzmenge den Preis. Beim Stützkörper hingegen ist es physikalisch vorstellbar, den Anteil der teuren Kieselsäure zu reduzieren, d.h. durch andere kostengünstigere Materialien zu ersetzen. Weiter ist die Produktion von VIP noch zu einem grossen Teil teure Handarbeit, insbesondere wenn nicht Standardformate nachgefragt werden. Die Automatisierung der VIP-Produktion - vergleichbar der Produktion von Fenstergläsern - hat in den vergangenen Jahren aber zugenommen. Diese Entwicklung wird wohl in absehbarer Zeit einen positiven Effekt auf die Produktionskosten haben. Inwieweit der Zwischenhandel den Endpreis beeinflusst, ist nicht im Detail bekannt. Klar ist, dass bei dem heute vorherrschenden direkten Einsatz der VIP auf der Baustelle, Beratung und geschultes Personal für eine erfolgreiche Anwendung notwendig sind. Diese Dienstleistungen zu erbringen, ist Aufgabe der Schweizer Vertriebspartner der Deutschen VIP-Produzenten und findet natürlich seinen Niederschlag im Preis.

Wie erwähnt wird durch die hier geleistete Arbeit das Vertrauen in Vakuum-Paneele an sich gesteigert. Hingegen ist die Frage der Bautaughlichkeit weiterhin virulent. Dass sich heute primär der diesbezüglich eher kritisch zu beurteilende direkte Einsatz von wenig bis nicht geschützten Paneelen auf der Baustelle etabliert hat, hat seinen Grund wohl auch im hohen Preis. Produzenten von vorfabrizierten Halbprodukten und Systemen (Sandwichplatten, Türblätter, Metallfassaden, Haustechnikkomponenten usw.) investieren nicht, da der VIP-Einsatz ihre Produkte so stark verteuern würden, dass diese im Massenmarkt nicht bestehen könnten.

Neben der ökonomischen Seite sind Optimierungen aber insbesondere auch bei den Hüllfolien möglich. Die heutigen Produkte erfüllen zwar die Anforderungen von vielen Bauanwendungen. Bei erhöhten Feuchten/Temperaturen sind jedoch noch dichtere Hüllen notwendig, dabei geht es insbesondere um die Wasserdampfdurchlässigkeit - welche übrigens physikalisch noch nicht erklärt werden kann. Da die Anforderungen von VIP für die Bauanwendung sehr hoch sind und diese auch noch nicht lange detailliert bekannt sind, hatte die Folienbranche noch kaum Gelegenheit, entsprechende Produkte zu entwickeln. Auch die heute verfügbare Methodik zur Qualitätssicherung (Permeationsmessungen) in der Folienproduktion ist für die schon sehr dichten Folien an ihre Grenzen gestossen. Weiterer Handlungsbedarf besteht auch in der Qualitätssicherung, i.b. für die der VIP-Produktion nachgelagerten Prozesse. Hier geht es darum, sicherzustellen, dass die am Bau eingesetzten Produkte während des Handlings keinen Schaden genommen haben, welcher die Lebensdauer des VIP negativ beeinflusst. Mit systematischen Messungen könnten hier einerseits schadhafte VIP ersetzt, aber auch die kritischen Schritte in der Verarbeitung erkannt und eliminiert werden.

## 5. Referenzen

- [1] Eicher, Hp.; A. Binz; M. Erb. 1997. **Hochleistungs-Wärmedämmsysteme**. Bericht Vorphase. Bundesamt für Energie.
- [2] Eicher, Hp.; M. Erb; A. Binz; A. Moosmann. 2000. **Hochleistungs-Wärmedämmsysteme**. Schlussbericht Dezember 2000 Bundesamt für Energie
- [3] Erb, M. et al. 2002. **Vakuum-Dämmung im Baubereich**. 12. Schweiz. Status-Seminar 2002. Zentrum für Energie und Nachhaltigkeit im Bauwesen. Bundesamt für Energie, September 2002.
- [4] Zimmermann, M.; H. Bertschinger. 2001. **High performance thermal insulation Systems, Vacuum insulated Products (VIP)**. Proceedings of the international conference and workshop.
- [5] Weber, R. 2001. **Studie Hochisolationsleitungen**. EMPA-BFE, Juni 2001.
- [6] Bundi, R. 2003. **Vakuumisolierte Paneele**. Zeitschrift: Fassade - Façade. 3/2003
- [7] Brunner, S; H. Simmler. 2003. **Service life prediction for vacuum insulation panels (VIP)**. Proceedings of the CISBAT 2003 conference. EPFL, Lausanne.
- [8] Bundi, R; K. Ghazi Wakili; Th. Frank. 2003. **Vacuum insulated panels in building applications**. Proceedings of the CISBAT 2003 conference. EPFL, Lausanne.