



WEITERENTWICKLUNG, QS UND LANG-ZEITVERHALTEN VON VAKUUM-ISOLATIONSPANEelen MIT MECH. SCHUTZ

Jahresbericht 2007

Autor und Koautoren	Dr. Hans Simmler
Beauftragte Institution	Empa Abteilung Bautechnologien
Adresse	Ueberlandstr. 129, CH-8600 Dübendorf
Telefon, E-mail, Internetadresse	+41 44 823 4276, hans.simmler@empa.ch , www.empa.ch
BFE Projekt-/Vertrag-Nummer	101478 / 151839
BFE-Projektleiter	Ch. Filleux
Dauer des Projekts (von – bis)	Juli 2005 bis Juni 2008
Datum	21. Dezember 2007

ZUSAMMENFASSUNG

Im Hochbau werden zunehmend Vakuumisolationspaneele (VIP) auf der Basis eines mikroporösen Kernmaterials mit niedrigem Innendruck und gasdichter Hülle eingesetzt. Die niedrige Wärmeleitfähigkeit ermöglicht kleine Dämmschichtdicken und eröffnet somit ein grosses Anwendungspotenzial für neue architektonische Lösungen im Niedrigenergie- und Sanierungsbereich. Nach der Erarbeitung von Grundlagen zu Materialeigenschaften, Alterungsverhalten und Anwendungstechnik in IEA Annex 39 werden im aktuellen Projekt zwei Bauanwendungen mit VIP-Isolation untersucht: Bodenisolation eines Kühl-/Tiefkühlraums und Flachdachisolation, die bisher häufigste VIP-Anwendung in der Gebäudehülle.

Im Jahr 2006 wurde die Bodendämmung des Kühl-/Tiefkühlraums im Neubau „Forum Chriesbach“ der EAWAG in Dübendorf eingebaut und instrumentiert. Neben Temperatur- und Feuchtemessstellen wurden erstmals in dieser Anwendung spezielle Sensoren installiert, welche die Messung des Gasdrucks in den eingebauten VIP unter dem Unterlagsboden ermöglichen. Erste Resultate der Innendruckmessungen wurden im Jahresbericht 2006 gezeigt. Im Berichtsjahr wurden diese Messungen fortgesetzt und erlauben nun eine zuverlässige Bestimmung der jährlichen Innendruckzunahme und eine Langzeitprognose der Wärmeleitfähigkeit.

In einer zweiten Langzeitstudie wurden seit 2004 laufende Messungen an einer Flachdachkonstruktion in Rengensdorf weiter geführt. Die aktualisierten Daten zeigen die intakte Funktion der VIP-Dämmung. Die beobachteten Alterungseffekte liegen im erwarteten Bereich und erlauben Modellberechnungen der Wärmeleitfähigkeit für die Referenzdauer von 25 Jahren. In Verbindung mit dem ETH-Bereichsprojekts CCEM-CH „Advanced Building Retrofit“ wurden zusammen mit Industriepartnern Konzepte für VIP-gefämmte Fassaden und zum Einsatz von VIP in vorgefertigten hochdämmenden Fassadenementen entwickelt.

Projektziele

Die prinzipielle Funktionstauglichkeit von VIP ist heute gesichert, doch bestehen nach wie vor Unsicherheiten in Bezug auf die Eignung im Baubereich. Einerseits stellt die Gefahr von Beschädigungen besonders vor und während des Einbaus ein Problem dar. Offene Fragen bestehen auch hinsichtlich der Qualitätssicherung und der Lebensdauer von VIP. Über das Langzeitverhalten von eingebauten VIP (Innendruck- und Feuchteanstieg, ev. weitere Alterungseffekte) und die Gültigkeit von Lebensdauerprognosen sind noch kaum verlässliche Daten vorhanden. Als erster Langzeitversuch wurde eine Versuchsfläche mit offen verlegten VIP auf einem Flachdach der Firma ZZ Wancor in Regensdorf instrumentiert und seit etwa zweieinhalb Jahr messtechnisch ausgewertet.

Im Rahmen des vorliegenden Projekts werden diese Messungen weiter geführt und eine weitere Testfläche mit mechanisch geschützten VIP im Flachdach ausgewertet. Im Neubau Forum Chriesbach (Neubau EAWAG auf dem EMPA-Areal) wurde eine weitere VIP-Dämmung für den Tiefkühlraumboden installiert und für In-Situ-Messungen mit Temperatur-, Feuchte- und Innendrucksensoren ausgerüstet. Die Messdaten werden en.

Ziele in der Berichtphase waren fortgesetzte Messungen und Auswertungen der Testflächen Regensdorf und Chriesbach sowie der Vergleich der Messergebnisse mit numerischen Berechnungen und Lebensdauermodellen. In Verbindung mit dem ETH-Bereichsprojekts CCEM-CH „Advanced Building Retrofit“ wurden zusammen mit Industriepartnern Konzepte für VIP-gedämmte Fassaden und zum Einsatz von VIP in vorgefertigten hochdämmenden Fassadenementen entwickelt.

Durchgeführte Arbeiten und erreichte Ergebnisse

MESSPROJEKT KÜHL-/TIEFKÜHLRAUM CHRIESBACH

Einzelheiten zum Einbau und der Instrumentierung einer Bodenkonstruktion mit Vakuumisolation für den Kühl-/Gefrierraum des Personalrestaurants im Neubau Chriesbach sind im Jahresbericht 2006 beschrieben. Eine Ansicht des Gebäudes und die Einbausituation der VIP-Dämmung sind in Fig. 1 dargestellt.



Fig. 1: Neubau EAWAG Forum Chriesbach auf dem Empa-Areal in Dübendorf (links), Einbau der VIP-Bodenkonstruktion in den Kühlräumen im Untergeschoss (rechts).

Der Innendruck ist der direkte Indikator für die Alterung (langsames Eindringen von Gasen) oder die Beschädigung der Gasbarriere eines VIP. Zur Innendruckmessung im eingebauten Zustand wurde das einzige bisher verfügbare Messprinzip der Firma va-Q-tec AG, D-Würzburg eingesetzt **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** Durch Aufheizen eines aussen angebrachten Sensorkopfs auf eine vorgegebene Temperatur wird ein Wärmeflussignal erzeugt, das vom Wärmeleitwert bzw. vom Gasdruck in einer Vliesschicht im VIP abhängig ist. Die Kalibrierung erfolgt durch Vergleich mit anderen Methoden zur Druckmessung. Der Empa stand ein Auslesegerät und Auswertesoftware zur Verfügung, in welcher die Kalibrierdaten für jeden Sensorkopf gespeichert sind.

Erste Ergebnisse von Innendruckmessungen über einen Zeitraum von 1 Jahr (Fig. 2) zeigen Anfangswerte des Innendrucks von rund 2 mbar für die Standardausführung der VIP. Vergleichspaneele eines zweiten VIP-Produkts weisen Innendrücke von rund 0.5 mbar auf. Einer dieser Sensoren wurde in der Folge instabil. Die vorher im Labor kalibrierten Messwerte werden gut reproduziert. Einzelne Ausreisser traten vor allem vor dem Vergießen des Kunsth Harzbodens auf, was vermutlich auf einen schwachen Kontakt zwischen Sensor und VIP-Oberfläche zurückzuführen ist. Bei der Inbetriebnahme der Kühl anlage im Juni 2006 ist temperaturbedingt eine leichte Abnahme des Innendrucks zu beobachten.

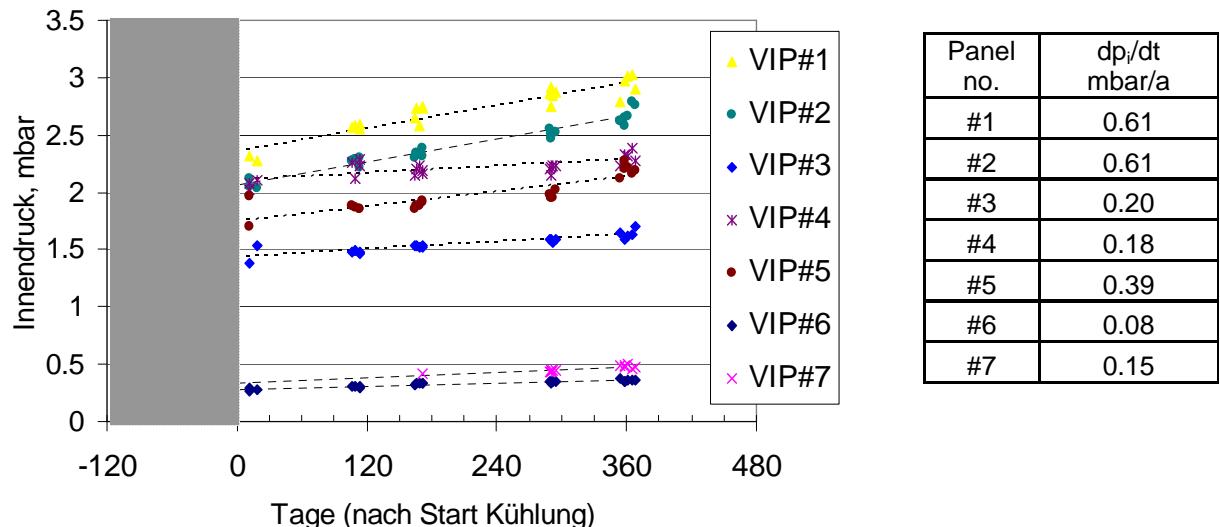


Fig. 2: Innendruck-Messwerte der Bodenisolation im Tiefkühlraum (links). Nach der Inbetriebnahme der Kälteanlage im Juni 2006 (dritte Messserie) ist ein leicht ansteigender Trend erkennbar. Rechts: Innendruckzunahme von sieben VIP seit Inbetriebnahme der Kälteanlage.

Seit diesem Zeitpunkt sind über die Messzeit eines Jahres weitgehend lineare Druckzunahmen zu erkennen. Die Raten liegen zwischen 0.1 und 0.6 mbar/a. Eine Extrapolation von Alterungsdaten aus Laborversuchen ergibt für die trockene und kühle Umgebung im Kühlraumboden eine Innendruckzunahme von rund 0.7 mbar/a. Die Zunahme der Wärmeleitfähigkeit innerhalb einer Betriebszeit von 15 Jahren ist damit kleiner als $0.3 \cdot 10^{-3} \text{ W}/(\text{m K})$.

MESSPROJEKT FLACHDACH REGENSDORF

Die weiteren Messungen am begehbar Flachdach in Regensdorf ZH (Fig. 3) zeigen nach einer längeren Einlaufphase relativ konstante Druck- und Feuchteanstiegsraten der VIP-Isolation. Für das Format 50 cm x 50 cm pendeln sich die Anstiegsraten bei rund 1.5 mbar/a für den Innendruck und ca. 0.1 Masse-%/a für den Feuchtegehalt ein. Für das Format 25 cm x 25 cm sind die Zunahmen etwa 50 % höher, bedingt durch den grösseren Beitrag der Permeation durch den Randbereich. Die Werte liegen damit in Bereichen, die aufgrund von Laborversuchen und Modellrechnungen erwartet werden können. Für das Standardformat 100 cm x 60 cm wird die extrapolierte Wärmeleitfähigkeit nach 25 Jahren $\lambda = 7.6 \cdot 10^{-3} \text{ W}/(\text{m K})$.



Materialschicht	d, mm
Kies	30
Bituminöse Abdichtung (3 Lagen)	10
Schutzschicht (PE-Schaum)	7
VIP	20
Schutzschicht (PE-Schaum)	5
Wassersperre (bestehend)	10
Porenbeton (bestehend)	200

Fig. 3: Einbau der VIP-Testfelder (links), Schichtaufbau (rechts).

ENTWICKLUNG VON VIP-BAUTEILEN

Die Empa unterstützt den Industriepartner ZZ Wancor bei der Entwicklung einer hinterlüfteten vorgehängten Fassade mit VIP-Dämmung. Eine Demonstrationsfläche ist in Regensdorf in Vorbereitung (Fig. 4). Die Hauptaufgabe besteht darin, die Durchdringungen der VIP-Dämmsschicht zur mechanischen Befestigung der Vorhangsfassade möglichst wärmebrückenfrei realisieren. Erste Berechnungen (Tab. 1) zeigen, dass punktuelle Anker mit stockwerkshohem Vertikalabstand ohne grosse Verschlechterung in Streifen mit konventioneller Dämmung (z.B. Phenolharzhartschaum oder Polyurethanschaum) integriert werden können. Kritisch ist jedoch die Tragkonstruktion. Ohne thermische Trennung eingesetzte Stahlgewindegurte (punktuerlicher Wärmebrückenverlust $X \geq 0.05 \text{ W/K}$) ergeben einen grossen Zuschlag auf den Gesamt-U-Wert. Ein U-Wert unter $0.2 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ mit 40 mm VIP ist z.B. mit dem Einsatz von GFK-Stäben erreichbar.

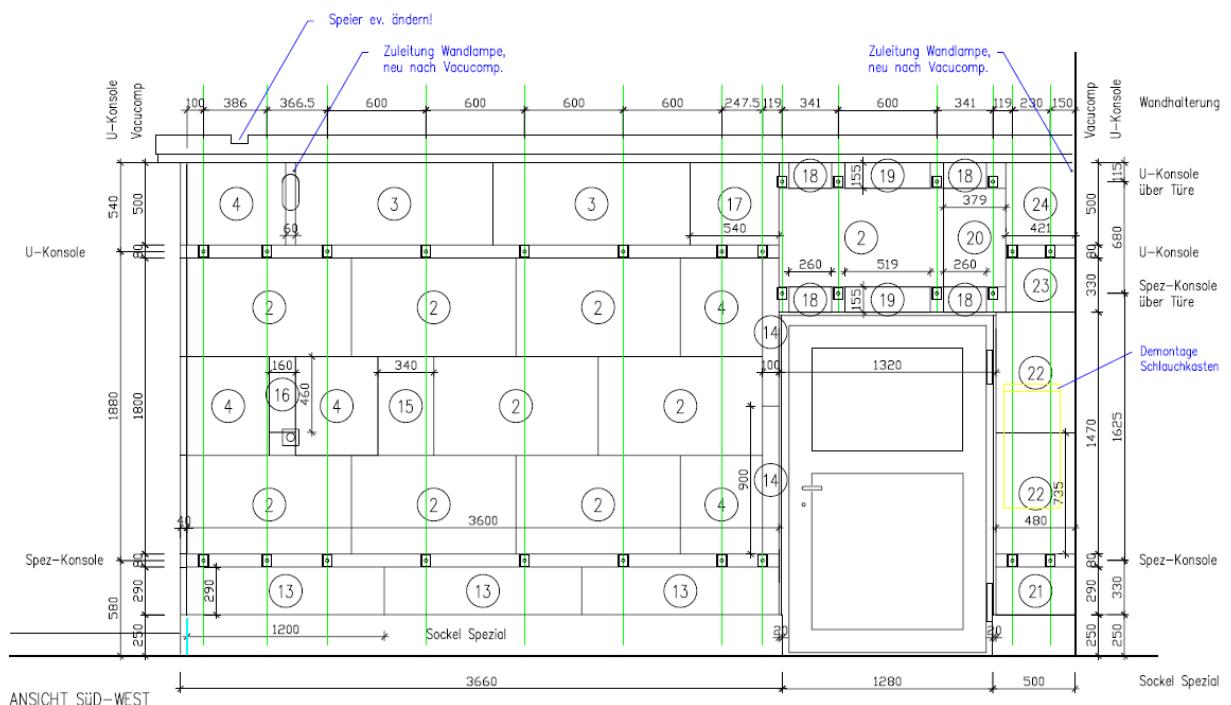


Fig. 4: Ansicht der Demonstrationsfläche mit vorgehängter hinterlüfteter Fassade mit VIP-Dämmung.

Tab. 1: Einfluss von Wärmebrücken auf den Gesamt-U-Wert einer Vorhangsfassade mit 40 mm VIP.

X Anker	W/K	0.00 ideal	0.05 Stahl	0.01 GFK
U Anteil Flächen konventionell	W/(m ² K)	0.03	0.03	0.03
U Anteil Flächen mit VIP	W/(m ² K)	0.14	0.14	0.14
U Anteil Anker	W/(m ² K)	0.00	0.14	0.03
U total	W/(m ² K)	0.16	0.31	0.19

Nationale Zusammenarbeit

Die Empa arbeitet auf nationaler Ebene in der „Arbeitsgruppe Vakuumdämmung“ des energie-clusters mit. Die Arbeitsgruppe präsentierte das Thema „Hochleistungsdämmung“ in einer Sonderschau mit Beteiligung der Empa an der Hausbau- und Energiemesse 2007 (November 2007, Bern). Zusammen mit Eicher & Pauli AG ist ein BFE-unterstütztes Projekt zu Qualitätsfragen und Deklaration bzw. Bemessung von VIP-Konstruktionen gestartet worden. Die Empa ist im Rahmen des CCEM (Kompetenzzentrum für Energie und Mobilität des ETH-Bereichs) am Projekt Bauerneuerung / Retrofit beteiligt. Darin werden im Bereich der Gebäudehülle energieeffiziente Lösungen mit Hochleistungsisolationsystemen entwickelt.

Internationale Zusammenarbeit

Das nationale Projekt CCEM-Retrofit ist gekoppelt mit dem Projekt IEA ECBCS Annex 50 Prefabricated Systems for Low Energy / High Comfort Building Renewal. Die Empa ist nicht direkt im internationalen Projekt beteiligt, doch fließen Ergebnisse des IEA-Projekts in das nationale Projekt ein und umgekehrt. Die Empa steht im Kontakt mit deutschen VIP-Herstellern und Prüfstellen und ist in die Gespräche über Qualitätsüberwachung und Produktzulassung in Deutschland eingebunden. Ergebnisse der Arbeiten im Bereich Vakuumisolation wurden am „8th International Vacuum Insulation Symposium“ in D-Würzburg präsentiert [1] und in der englischsprachigen Zeitschrift „Vacuum“ publiziert [2].

Bewertung 2007 und Ausblick 2008

Das Messprojekt Kühl-/Tiefkühlraum im EAWAG-Neubau Chriesbach konnte erfolgreich installiert werden. Die Messungen laufen planmäßig und zeigen die gute Eignung von VIP für diese Anwendung. Über eine Gebrauchsduer von 15 Jahren sind Alterungseffekte wärmetechnisch praktisch vernachlässigbar.

Die Messungen im Flachdach Regensdorf wurden ebenfalls fortgeführt. Sie zeigen grössere Alterungseffekte, welche durch höhere Temperatur- und Feuchteeinwirkungen zu erwarten sind. Die bisherigen Ergebnisse bestätigen auch für diese Anwendung die Gebrauchstauglichkeit der VIP-Technologie, wobei die Alterung in Bemessungswerten zu berücksichtigen ist.

Im nächsten Jahr wird das Monitoring der Testflächen weitergeführt und das BFE-Projekt abgeschlossen. Nach Möglichkeit werden Messungen und Auswertungen in grösseren Zeitabständen mit Industrieunterstützung fortgesetzt. Entwicklungsarbeiten mit Industriepartnern für VIP-Fassaden (hinterlüftete Vorhangsfassade und verputzte Kompaktfassade) sowie für hochdämmende Komponenten in vorgefertigten grossformatigen Fassadenelementen laufen weiter. Erste Demonstrationsobjekte werden geplant und teilweise realisiert werden.

Referenzen

- [1] H. Simmler, *In situ Performance Assessment and Service Life of Vacuum Insulation Panels (VIP) in Buildings*, Proc. 8th International Vacuum Insulation Symposium (IVIS), D-Würzburg, September 2007.
- [2] S. Brunner, H. Simmler, *In situ performance assessment of vacuum insulation panels in a flat roof construction*, Vacuum, accepted 31 October, 2007.