

Entwicklung innovativer Wärmedämmsysteme mit Vakuumisolationspaneelen für Anwendungen am Bau – Planung und Fortschritt im Rahmen eines deutschen Verbundprojektes

Alexandra Raicu⁽¹⁾, Klaus Noller⁽²⁾, Gertraud Goldhan⁽²⁾, Werner Platzer⁽³⁾, Horst Christian Langowski⁽²⁾, Volker Wittwer⁽³⁾

1. Motivation und Zielsetzung

Der Gebäudebestand verursacht etwa ein Viertel des Energieverbrauchs in Deutschland. Die bessere Dämmung der Gebäudehüllen kann folglich zu einer beträchtlichen Einsparung an fossilen Energieträgern führen und in erheblichem Umfang zur Senkung des Kohlendioxidausstoßes beitragen.

Vakuumdämmung ermöglicht bei demselben Raumbedarf eine wesentlich höhere Dämmwirkung im Vergleich zu konventionellen Dämmstoffen. Zurzeit befinden sich Dämmplatten aus mikroporöser Kieselsäure auf dem Markt. Mit einer Wärmeleitfähigkeit der Pulverplatten im evakuierten Zustand von etwa 0,004 W/mK ist ihre Dämmwirkung 10 Mal besser als die konventioneller Dämmsysteme. Noch effizientere und langfristig billigere Kernmaterialien (Nanogelee) sind ein Ziel aktueller Forschung.

Durch die Platzeinsparung, die die Vakuumdämmung ermöglicht, ist sie für die Altbausanierung besonders interessant. Von Bedeutung ist die Platzeinsparung auch im Neubau, speziell für Passivhäuser, bei denen sehr hohe Dämmdicken so vermieden werden können. Allgemein betreffen denkbare Anwendungen die Fassade, aber auch die Innendämmung, Fußboden- und Deckendämmung. Auch gibt es Ansätze, VIP's (Vakuumisolationspaneelle) als Kerndämmung einzusetzen z.B. in Ziegelsteinen, die im Inneren mit Vakuumdämmplatten ausgerüstet sind, zwischen zwei Kalksandsteinschalen oder eingebracht in Betonfertigelemente. Auch wurde der Einsatz von VIP's als Untersparrendämmung oder Zusatzdämmung von Wänden in Holzständerbauweise vorgeschlagen. Die dünnen VIP's ermöglichen im Bereich der Metall und Glasfassaden einfachere und schlankere Konstruktionen. Transluzente VIP's sind für den Fassadenbereich von Interesse.

Das wesentliche Problem der aktuellen Technologien – vom Standpunkt der Bauindustrie gesehen – liegt in der Schwierigkeit die Langzeitstabilität der Elemente zu garantieren. Es gibt zurzeit kein Qualitätssicherungsverfahren für Produkte mit Vakuumpneelen. Hersteller haben keine Möglichkeit eine Gewährleistung für die

⁽¹⁾ PSE GmbH Forschung Entwicklung Marketing, Christaweg 40, 79114 Freiburg, email: raicu@pse.de

⁽²⁾ Fraunhofer Institut für Verfahrens- und Verpackungstechnik, Giggenhauser Str. 35, 85354 Freising, email.: noller, goldhan, langowski@ivv.fhg.de

⁽³⁾ Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme, Heidenhofstr 2, 79100 Freiburg, platzer, wittwer@ise.fhg.de

Funktionalität ihrer Produkte über eine bestimmte Zeitspanne zu geben. Diese Tatsache verunsichert Systemhersteller und Kunden.

Werden die Probleme der garantierten Langzeitstabilität und der Qualitätssicherung von Produkten gelöst, so eröffnen Dämmsysteme auf der Basis von Vakuumisolationspaneelen eine interessante wirtschaftliche und ökologische Entwicklungsmöglichkeit für die Bauindustrie.

Die Zielsetzungen unseres Projektvorhabens betreffen sowohl die Entwicklung verbesserter Komponenten als auch optimierter Systeme mit VIP.

Im Rahmen der Komponentenentwicklung sollen Foliensysteme mit optimierten Barriereigenschaften realisiert werden, die eine garantierte Langzeitstabilität der Paneele über mehr als 30 Jahre erlauben und Materialeinsparungen ermöglichen. Die Entwicklung neuer transluzenter Paneele mit neuen Kernmaterialien (Nanogelen) und dafür geeigneten Folien- oder Kapselungssystemen mit gesicherter Langzeitstabilität ist ein weiteres Ziel. Parallel dazu wird über neue Verpackungsansätze für andere Formen nachgedacht.

In enger Verbindung mit der Komponentenentwicklung bedarf auch die anwendungsspezifische Produktgestaltung noch der Detailentwicklung. Im Rahmen des Projektes soll die praxisbezogene Forschungsarbeit der Anwenderfirmen in Zusammenarbeit mit den Instituten zu anwendungsspezifischen Prototypsystemen führen.

Ein weiteres wichtiges Ziel des Vorhabens ist die Entwicklung eines standardisierten Prüfverfahrens zum Testen der Alterungsbeständigkeit von Produkten mit VIP. Kann eine für den Baubereich übliche Lebensdauer für die neuen Produkte nachgewiesen und auch für einzelne VIP's aufgrund eines standardisierten Prüfverfahrens ausgewiesen werden, so ist eine steigende Nachfrage zu erwarten, die auch zum Sinken der Kosten der neuen Systeme führen wird.

2. Komponentenentwicklung

2.1 Festlegung der Anforderungen aus anwendungstechnischer Sicht

In Zusammenarbeit mit dem im Projekt beteiligten Hersteller von VIP-Paneelen und deren Anwendern werden die wesentlichen Anforderungen an die Lebensdauer der Paneele, die mechanische Belastbarkeit, und ihre Verarbeitungseigenschaften in Abhängigkeit von den angestrebten Anwendungen und den entsprechenden Randbedingungen konkretisiert und in eine für die Weiterentwicklung geeignete Wertematrix überführt.

2.2 VIP mit optimierter Barrierewirkung der Einkapselungsfolien und Siegelnähte

Wichtigste Zielsetzung ist es Foliensysteme mit optimierten Barriereigenschaften, reduziertem Materialeinsatz und dichten Siegel- und Klebeverbindungen zu erzielen, die eine garantierte Lebensdauer der Paneele von über 30 Jahren ermöglichen.

Wärmebrücken durch Randeffekte sollen weitgehend vermieden werden. Eine Verbesserung der mechanischen Stabilität der Folienumhüllung der VIP wird angestrebt.

Die Barrierewirkung wird durch Beschichten der Folien mit anorganischen Aufdampfschichten inkl. Vorbehandlung erreicht. Dazu werden die Folien im Hochvakuum mit Aluminium oder im Falle der transluzenten Paneele mit SiO_x bedampft.

Dieses industrieübliche Verfahren bietet Optimierungsmöglichkeiten, die im Rahmen des Projektes untersucht werden. Berücksichtigt wird die Vor- und Nachbehandlung der Folien, um eine bessere Haftfestigkeit der Beschichtung zu erreichen, wie auch die Optimierung der Beschichtungsparameter zur Erzielung der gewünschten Schichteigenschaften bezüglich der angestrebten Barrierewirkung, der mechanischen und optischen Eigenschaften.

Durch Lackieren und Kaschieren soll erreicht werden, dass die vakuumtechnisch applizierten anorganischen Barrierschichten durch organisch-anorganische Hybridpolymere geschützt werden. Die Barrierewirkung kann durch die Lackierung um einen Faktor 5 verbessert werden. Eine weitere Verbesserung der Barriere wird bei der Kaschierung erreicht. Über die Einzeleffekte hinaus wird damit gerechnet, dass sich die Wasserdampf- und die Sauerstoffdurchlässigkeit gegenüber den vakuumtechnisch beschichteten Einzelfolien um den Faktor 20 reduzieren lässt.

Wirtschaftliche Gesichtspunkte – d.h. die Auswirkung von Optimierungsmaßnahmen auf die zu erwartenden Kosten der Foliensysteme – stellen ein wichtiges Auswahlkriterium für die geeigneten Maßnahmen dar. Funktionell überdimensionierte Lösungen mit unverhältnismäßiger Kosten-Nutzen-Relation sollen vermieden werden. Eine Reduzierung der Anzahl der Schichten im Folienverbund, bei weiterhin ausreichender Barrierewirkung, ist eine wichtige Zielsetzung des Vorhabens.

Die funktionelle Charakterisierung der Folien soll den Nachweis bringen, dass die neuen Folienverbunde dem jeweiligen, dem Einsatzgebiet angepassten Eigenschaftsprofil, entsprechen.

Das Referenzfüllmedium ist pyrogene Kieselsäure, Aerogele sollen ebenfalls zum Einsatz kommen. Alternative Formen, Füll- und Verschlusstechniken der Umhüllungsfolie werden untersucht, um ein dichtes Aneinanderreihen der VIP's ohne überstehende Siegelnahtlaschen zu ermöglichen und Lösungen auch für Formteile für spezielle Adapterelemente zu ermöglichen.

2.3 Messtechnik

Die Barriere-Messtechnik soll in der Messgenauigkeit zum heutigen Stand um den Faktor 10 verbessert werden. Als weiteres Ziel soll eine Messtechnik für die Quantifizierung der Durchlässigkeit der Folien und Nähte bei höheren Temperaturen entwickelt werden.

Die notwendige Messtechnik an fertiggestellten Paneelen soll ausgebaut werden und die Anzeige des Innendrucks der fertigen Paneele sowohl zur Qualitätssicherung beim Hersteller als auch im Rahmen von Langzeitmessungen zum Nachweis der Langzeitstabilität ermöglichen.

3. Entwicklung und Optimierung von Wärmedämmsystemen

3.1 Konkretisierung interessanter Anwendungen

In Zusammenarbeit mit den Herstellerfirmen wird eine Anzahl von Produkten definiert, die im Rahmen des Projektes entwickelt und optimiert werden sollen. In Abhängigkeit von der Anwendung werden Mindestanforderungen für die Systeme formuliert, wie auch angestrebte Produktspezifikationen und zulässige Änderungen mit der Zeit. Ein Kostenrahmen wird festgelegt, der aufgrund durchgeführter Marktrecherchen sinnvoll erscheint.

3.2 Bauteilentwicklung

Im Gespräch der Anwenderfirmen und der Institute werden für die neuen Produkte alternative Systemkonzepte entwickelt. Spezielle Anforderungen, wie unterschiedliche Größen und Formen der Elemente werden abgestimmt. Dort wo nötig werden Konzepte für vorgefertigte Systeme, die den Schutz der VIP's gewährleisten, erarbeitet (z.B. durch Umschäumen oder Abdecken der Paneele). Spezielle Anforderungen an transluzente Elemente z.B. bezüglich der angestrebten solaren und visuellen Transmission und des Erscheinungsbildes werden berücksichtigt. Für die alternativen Systemkonzepte werden geeignete Lösungen für die Befestigung vorgeschlagen und vom Standpunkt der Anforderungen, die für das System formuliert wurden, verglichen. Alternative Systemvarianten werden von den Systemherstellern anwendungsspezifischen Belastungen ausgesetzt und deren Auswirkung quantifiziert.

Die Optimierung konstruktiver Varianten erfolgt durch Labormessungen, erste Lebensdauerabschätzungen und Simulation. Aufgrund durchgeführter Laboruntersuchungen werden Systemkomponenten und Systemvarianten bewertet. Mit Hilfe eines vereinfachten Modells zur Lebensdauerabschätzung werden weitere Aussagen bezüglich favorisierter Systemvarianten und empfohlener Panelgrößen erwartet. Für Anwendungen für die keine typischen Belastungsdaten für die VIP vorliegen, werden diese aus dynamischen Simulationsrechnungen ermittelt.

Für die besten Systementwürfe wird durch Bauteilsimulation die Minimierung von Wärmebrückeneffekten erreicht. Beispielhafte Problemstellungen, die zu energetisch optimierten Systemen führen sollen, sind:

- Bewertung und Optimierung von Siegelnahtlaschen
- Bewertung unterschiedlicher Faltechniken der Umhüllungsfolien
- Bewertung unterschiedlicher Verlegungstechniken der Elemente
- Bewertung vorgefertigter, geschützter Elemente (Umschäumen, Abdecken u.a.)
- Bewertung unterschiedlicher Befestigungstechniken

Dort wo nötig wird durch feuchtetechnische Rechnungen nachgewiesen, dass keine Bauschäden durch Kondensation zu erwarten sind.

Nach den messtechnischen und rechnerischen Optimierungsmaßnahmen wird erwartet, klare Systemkonzepte vorliegen zu haben, die im Rahmen des Projektes zu Prototypsystemen weiterentwickelt werden und zu Produkten führen, die den erwünschten Spezifikationen der geplanten Systeme entsprechen.

Für die Systeme, die bis zur Marktreife weiterentwickelt werden sollen, werden energetische Bewertungen ihrer voraussichtlichen Auswirkung auf den Energiehaushalt von Gebäuden durchgeführt.

Die Praxistauglichkeit der optimierten Prototypsysteme wird in Freilandtests am Fassadenteststand des ISE und im Rahmen von Demonstrationsvorhaben nachgewiesen.

4. Entwicklung eines Qualitätssicherungsverfahrens für VIP

Die geschätzten zulässigen Änderungen der Produktspezifikationen, die messtechnische Charakterisierung von Systemen und Teilsystemen mit Quantifizierung der Auswirkung gezielter Bewitterung auf modulspezifische Daten und die Ermittlung systemspezifischer Belastungsdaten bilden die Grundlage für ein Modell zur Lebensdauerabschätzung von Elementen. Aufgrund der ermittelten Daten und eines vereinfachten Modells zur Lebensdauerabschätzung, das bereits in der Optimierungsphase der Systeme eingesetzt wird, soll ein verfeinertes Modell aufgestellt werden, das auch die Auswirkung der zeitlichen Änderung von Materialeigenschaften auf die Permeation der Folien und Nähte berücksichtigt.

Basierend auf den neuen Erkenntnissen soll für die entwickelten Produkte, unter Berücksichtigung typischer klimaabhängiger Belastungsdaten ein Standardprüfverfahren entwickelt werden, das Aussagen bezüglich der zu erwartender Lebensdauer von VIP ermöglicht.

5. Schlussfolgerungen

Bei der Umsetzung des aufgestellten Arbeitsplans sollen sowohl neue Materialien und Systeme sowie verbesserte Herstellungsverfahren und ein Qualitätssicherungsverfahren entwickelt werden. Die Anwendungsindustrie erarbeitet neue Systemkonzepte, die mit Hilfe der neuen Dämmelemente zu deutlich verbesserten Gesamtsystemeigenschaften führen sollen.

Zusammenfassend sollen im Laufe des Projektes neue optimierte Foliensysteme, neue Vakuumisulationspaneele mit garantierter Langzeitstabilität und verschiedene Anwendungssysteme entwickelt werden, die für die Bauindustrie einen neuen Markt eröffnen.

Die internationale Zusammenarbeit im Rahmen der IEA Task ECBCS, Annex 39 (HiPTI – High Performance Thermal Insulation) wird die Bereitstellung zertifizierter Produkte auf der Basis von VIP mit großer Wahrscheinlichkeit beschleunigen.