

Kann der langfristige Anstieg der Wärmeleitfähigkeit in VIPs wesentlich verringert werden?

Dr. Roland Caps
va-Q-tec AG

1 Anstieg der Wärmeleitfähigkeit in mikroporösen Vakuumdämmplatten

Es wird erwartet, dass Vakuumdämmplatten, die im Baubereich eingesetzt werden, für eine Zeit von 30 bis 50 Jahren genutzt werden können. In dieser Zeit darf die Wärmeleitfähigkeit von einem Anfangswert (im Bereich von 0,004 bis 0,005 W/(mK)) auf einen maximal zulässigen Wert (z.B. 0,008 W/(mK)) ansteigen. Dies entspricht einem Anstieg der Wärmeleitfähigkeit von weniger als 0,1 mW/(mK) pro Jahr. Eine solch geringe Änderung der Wärmeleitfähigkeit ist innerhalb eines überschaubaren Zeitraums, z.B. eines Jahres, wenn überhaupt, messtechnisch nur äußerst schwierig feststellbar. Sehr viel einfacher ist die Höhe des Gasdruckes messbar, der direkt über bekannte Beziehungen mit der Wärmeleitfähigkeit verknüpft ist. Typischerweise werden Vakuumdämmplatten aus mikroporöser Kieselsäure auf einen Gasdruck von 1 bis 3 mbar evakuiert. Nimmt der Gasdruck zu, so steigt auch die Wärmeleitfähigkeit der Vakuumdämmplatte an - mit 0,043 mW/(mK) pro Zunahme des Gasdruckes um 1 mbar. Bei einem Anstieg des Gasdruckes auf 50 mbar hat sich die Wärmeleitfähigkeit des Vakuumpaneels dadurch um etwa 2 mW/mK erhöht.

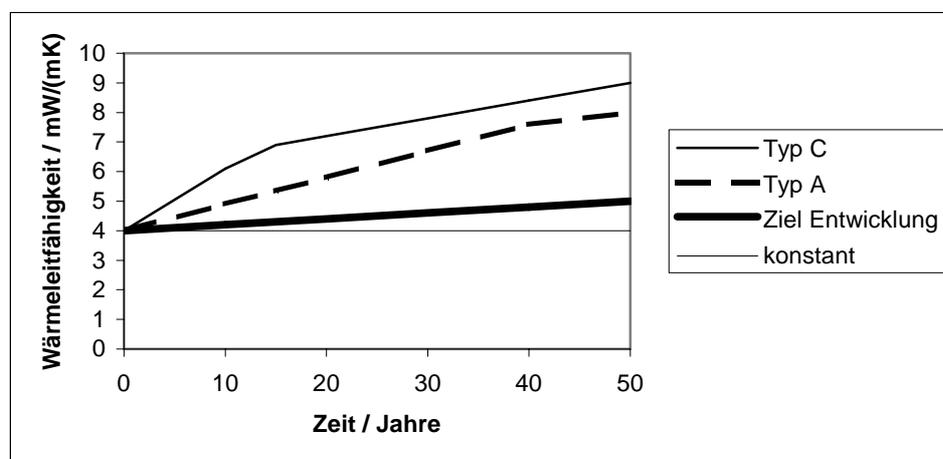
Über die Umhüllung der Vakuumdämmplatte dringt im Laufe der Zeit allerdings nicht nur Luft in den Dämmkern ein, sondern auch Wasserdampf. Zum großen Teil wird der Wasserdampf von der mikroporösen Kieselsäure aufgenommen, ein kleiner Teil trägt aber ebenfalls zu einer Erhöhung des Gasdruckes bei. Untersuchungen des ZAE Bayern haben gezeigt, dass eine Änderung des Wassergehaltes des Dämmkerns von 1% in etwa eine Erhöhung der Wärmeleitfähigkeit um 0,5 mW/(mK) bedingt. Bei einer Gleichgewichtsfeuchte des Dämmkerns von etwa 3 bis 4 % kommen also auch noch etwa bis zu 2 mW/(mK) Wärmeleitfähigkeit zu der Ausgangswärmeleitfähigkeit hinzu. In Kombination mit einem Gasdruckanstieg auf 50 mbar verdoppelt sich also die Wärmeleitfähigkeit aufgrund von Gas- und Wasserdampfdiffusion durch die Hüllfolie des Vakuumpaneels von anfangs 4 mW/(mK) auf 8 mW/(mK). Diese Verdoppelung der Wärmeleitfähigkeit kann man als Grenze für die Nutzung des Vakuumpaneels ansehen.

Innerhalb welcher Zeit werden diese Grenzwerte - 50 mbar Gasdruck und 3 bis 4% Wasserdampfgehalt des Kerns und damit eine Gesamtwärmeleitfähigkeit von 8 mW/mK - überschritten? Frühere Untersuchungen (Caps 2003) haben gezeigt, dass mit hochwertigen Barrierefolien (Typ A) bei einem 20 mm dicken Vakuumpaneel Anstiege des Gasdruckes auf einen Betrag von 1 mbar pro Jahr begrenzt werden können. Der Anstieg des Wasserdampfgehaltes im Dämmkern liegt im Bereich von etwa 0,1%-Massenprozent pro Jahr. Damit können also rechnerisch die oben angegebenen Grenzwerte von 50 mbar und 3 bis 4% Feuchtegehalt bei einer Nutzungsdauer von 30 bis 50 Jahren gerade eingehalten werden. Abb. 1 zeigt schematisch den Anstieg der Wärmeleitfähigkeit in evakuierten mikroporösen Kernen für unterschiedliche Folien (Typ A, Typ C). Für die Folie Typ C wurde eine um 50 % höhere Gasdurchlässigkeit und eine um den Faktor 3 höhere Wasserdampfdurchlässigkeit als für die Folie A angesetzt. Das Erreichen einer Gleichgewichtsfeuchte von 4 % wurde berücksichtigt (Knick im Anstieg der Kurven in Abb. 1).

Die Frage ist nun, ob man sich mit dem bisherigen, machbaren Anstieg der Wärmeleitfähigkeit um den Faktor 2 innerhalb dieses Zeitraums zufrieden geben soll, oder ob es Möglichkeiten gibt, den Anstieg der Wärmeleitfähigkeit zu verringern. Denn zum einen muss sich ein mit Vakuumdämmplatten ausgerüstetes Gebäude bei der wärmetechnischen Auslegung am maximalen Wärmeverlust der Bauteile orientieren, d.h. am Wert, der gegen Ende der Nutzungsdauer auftritt. Zum anderen kostet eine Vakuumdämmplatte gegenüber konventioneller Dämmung immer noch ein Mehrfaches. Jede Verbesserung des Langzeitverhaltens bedeutet daher effektiv eine Kostenreduzierung, wenn damit geringere Grenzwerte der Wärmeleitfähigkeit während der Nutzungsdauer erreicht werden können.

Im folgenden werden erste Ergebnisse von Entwicklungen gezeigt, die das Ziel haben, den Gas- und Wasserdampfeintrag in Vakuumdämmplatten zu verringern. Dazu werden zunächst die verwendeten Messmethoden vorgestellt, die es ermöglichen auch kleinste Gasdruckanstiege in hinreichend kurzer Zeit zu quantifizieren.

Abb. 1: prognostizierter Anstieg Wärmeleitfähigkeit VIPs mit Folien Typ A, Typ C und Ziel für verbesserte Umhüllung (schematisch)



2 Bestimmung der Gas- und Wasserdampftransmission von Hochbarrierefolien

Die Höhe des Gasdruckanstieges und Wasserdampfeintrages werden im wesentlichen von den Eigenschaften der Hüllfolie bestimmt. Aluminiumverbundfolien zeigen die geringste Gas- und Wasserdampfdurchlässigkeit. Mit den besten zur Verfügung stehenden Aluminiumverbundfolien hätte man sogar die Möglichkeit, die Wärmeleitfähigkeit von evakuierten, mikroporösen Dämmstoffen über mehrere Jahrzehnte hinweg praktisch konstant zu halten. Aluminiumverbundfolien werden allerdings bei mikroporösen Dämmplatten kaum als Hüllfolie genutzt, da über die Aluminiumfolie mit einer typischen Stärke von 6 bis 8 μm am Rand des Vakuumpaneels recht viel Wärme abgeleitet wird. Deswegen hat man spezielle Kunststoffverbundfolien entwickelt, die meist mit mehreren Schichten einer hauchdünnen Metallbedampfung ausgerüstet sind. Diese Metallbedampfung weisen insgesamt eine Stärke von einem Bruchteil eines Mikrometers auf, so dass die Wärmeübertragung über diese Schichten praktisch keine Rolle mehr spielt. Die Durchlässigkeit dieser metallisierten Verbundfolien für Gase und Wasserdampf ist allerdings wesentlich höher als bei Aluminiumverbundfolien.

Es gibt verschiedene Möglichkeiten die Gasdurchlässigkeit von Folien zu testen. So stehen kommerzielle Geräte zur Messung der Sauerstofftransmission von Folien zur Verfügung, deren Messgrenze aber schon in einem Bereich liegt, die die hochwertigen, metallbedampften Barrierefolien für Vakuumdäm-

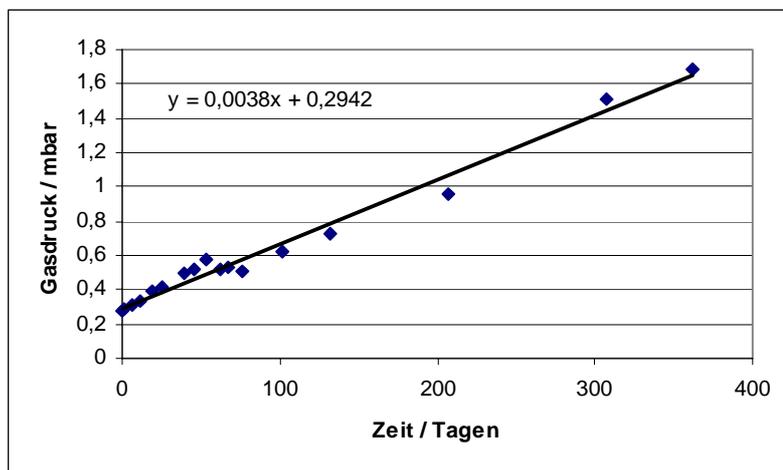
mungen erreichen. Ähnliches gilt für die Messung der Wasserdampfdurchlässigkeit. Für die Bewertung einer Barrierefolie hat es sich als vorteilhaft erwiesen, die Durchlässigkeiten der Hülle an der Vakuumdämmplatte selber zu testen. Denn die Gas- und Wasserdampftransmission wird nicht allein von der Eigenschaft der Hülle festgelegt sondern auch von den Defekten in der Hülle, die beim Verarbeiten zum rechteckförmigen Paneel auftreten, aber auch von der Eigenschaft der Siegelnaht. Letztendlich zählt der Anstieg des Gasdruckes im Vakuumpaneel und die Zunahme des Feuchtegehalts im Kern.

Bisherige Messungen des Gasdruckanstieges in Vakuumdämmplatten mit mikroporöser Füllung sind allerdings recht langwierig. Typischerweise dauert es ein halbes Jahr bis ein Gasdruckanstieg von einem halben mbar in einem üblichen Vakuumpaneel mit Kieselsäurefüllung sicher nachgewiesen werden kann. Zudem tragen in diesem Fall Gas- und Wasserdampfeintrag gleichermaßen zum Gasdruckanstieg bei und lassen sich nicht ohne weiteres trennen. Aus diesem Grund ist auch eine Beschleunigung des Gasdruckanstieges durch Lagerung des Testpaneels bei erhöhter Temperatur problematisch, da die Gas- und Wasserdampfeintrag gegenüber Raumtemperatur sich in ihren Beiträgen ändern.

Schnelle Tests von unterschiedlichen Folien zur Eingangskontrolle und für Weiterentwicklungen der Umhüllung sind daher mit den geschilderten Verfahren nur schwer möglich. Deshalb hat va-Q-tec mehrere Methoden entwickelt, um die Zeitdauer der Messungen zu verkürzen (Caps 2003). Zum einen kann mit dem so genannten va-Q-check System (Caps 2002) der Innengasdruck in einem Bereich von 0,02 bis 5 mbar relativ genau gemessen werden. Um den Einfluss des Wasserdampfeintrages von dem Gaseintrag zu trennen, werden in den Messproben als Füllstoff grobporige Materialien, die sich auf einen geringen Gasdruck evakuieren lassen, zusammen mit einem Trockenmittel eingesetzt. Dadurch können auch kleinere Änderungen des Gasdruckes festgestellt werden.

Abb. 2 zeigt als Beispiel eine Probe mit einer hochwertigen Hülle (Typ A). Die Lagerung erfolgte bei Raumtemperatur. Aus dem Anstieg des Gasdruckes lässt sich eine Gastransmission durch die Hülle von ca. 7 mbar liter /m² Paneel und Jahr berechnen. Schon innerhalb von 4 Wochen kann man bei der hochwertigen Folie Typ A eindeutige Aussagen zur Höhe des Gasdruckanstieges treffen.

Abb. 2: mit va-Q-check gemessener Gasdruckanstieg an einem Vakuumpaneel mit einer Umhüllung aus der Folie Typ A



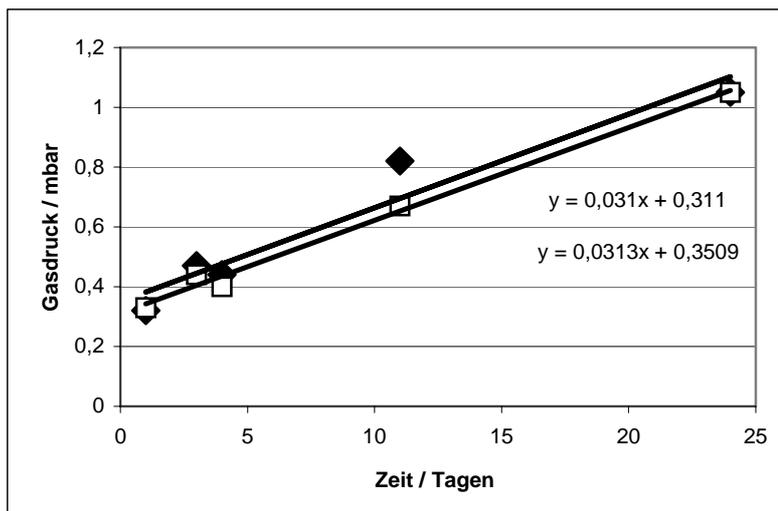


Abb. 3: mit va-Q-check gemessener Gasdruckanstieg an zwei Vakuumpanelen mit einer Umhüllung aus der Folie Typ B

In Abb. 3 sind die Messung an zwei Proben dargestellt, die mit einer anderen Folie (Typ B) umhüllt sind. Hier steigt der Gasdruck sehr viel schneller an als bei Proben mit dem Folientyp A. Schon nach einer Woche kann der Gasdruckanstieg an der Probe mit der Folie Typ B eindeutig ermittelt werden. Er ist etwa acht mal höher als bei der Folie Typ A.

Ein weitere Möglichkeit zur Bestimmung des Gasdruckanstiegs ist, den zeitliche Anstieg der Wärmeleitfähigkeit an einer Probe mit grobporösen Füllmaterial zu verfolgen. In diesem Fall wirkt sich der Gasdruckanstieg um mehr als den Faktor Hundert stärker auf die Wärmeleitfähigkeit aus als bei einem mikroporösen Füllstoff.

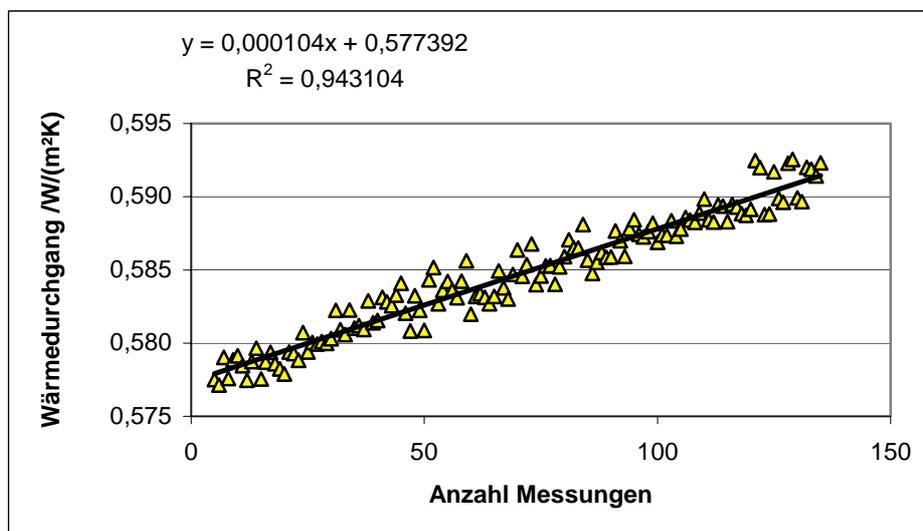


Abb 4: Anstieg des Wärmedurchgangs mit der Zeit an einer evakuierten, grobporösen Probe umhüllt mit dem Folientyp A

In Abb. 4 ist der Anstieg des Wärmedurchgangskoeffizienten an einer grobporösen Probe dargestellt, die mit der metallisierten Folie Typ A umhüllt ist. Die angelegten Temperaturen waren 20 °C und 37 °C. Aus dem zeitlichen Anstieg lässt sich ein Gaseintrag von ca. 10 mbar liter pro m² Paneel und Jahr errechnen. Berücksichtigt man die höhere Gasdiffusion an der heißen Seite der Messapparatur (37 °C), so ist dieser Wert vergleichbar mit dem Ergebnis, das mit der va-Q-check - Methode in Abb. 2 bei Raumtemperatur ermittelt wurde.

3 Wie kann man den Gas- und Wasserdampfdurchgang verringern?

3.1 Zweifolienbeutel

Eine Möglichkeit, den Gas- und Wasserdampfanstiege in die Vakuumdämmplatten zu verringern, besteht darin, die Vorderseite mit einer metallisierten Folie und die Rückseite mit einer Aluminiumverbundfolie auszuführen. Beide Folien werden über Siegelnähte am Rand verbunden (Abb. 5). Dadurch lässt sich im Prinzip der Gas- und Wasserdampfeintrag jeweils halbieren, wenn man davon ausgeht, dass über die Siegelnaht keine wesentlich Transmission stattfindet. Die Randlasche mit der gutleitenden Aluminiumverbundfolie wird bei Bedarf auf die Aluminiumfolienseite umgelegt, so dass die Hälfte des Randes aus der schlechtleitenden bedampften Barrierefolie besteht. Dadurch wird ein thermischer Kurzschluss zwischen den beiden Seiten des Vakuumpaneels in ausreichender Weise vermieden.

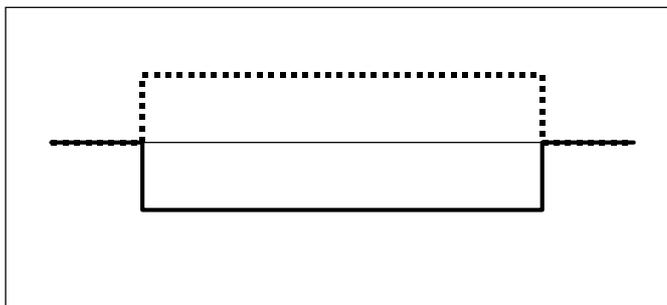


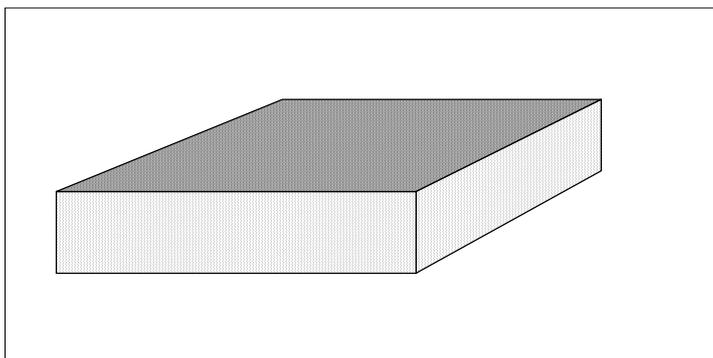
Abb.5: Querschnitt eines Zweifolienbeutels: obere Fläche metallisierte Folie, untere Fläche Aluminiumverbundfolie

3.2 Modifizierte Umhüllung

Eine bessere Möglichkeit als der Zweifolienbeutel wäre eine Kombination von Aluminiumfolie und bedampfter Folie in der Weise, dass die Aluminiumfolie die Ober- und Unterseite bedeckt und die Kanten frei bleiben (Abb. 6). Bei dieser Konstruktion würde gegenüber dem Zweifolienbeutel der Wärmewiderstand der aus der metallisierten Folie bestehenden Kanten voll zum Tragen kommen. Der Gas- und Wasserdampfdurchgang würde sich im Verhältnis der Flächen bedampfte Folie zur Summe aus der Aluminiumfolie und bedampfter Folie verringern - unter der Annahme dass Aluminiumfolie und Siegelnähte nichts zum Gas- und Wasserdampfdurchgang beitragen. Bei einem Vakuumpaneel der Größe 50 cm x 50 cm und der Stärke 2 cm könnte sich theoretisch der Gas- und Wasserdampfeintrag also bis um einen Faktor 13 gegenüber einem Paneel aus bedampfter Folie reduzieren. Ob dieser Verringerung erreichbar ist, müssen entsprechende Messungen des Gasdruck- und Wasserdampfanstiegs zeigen, die den Einfluss von unter anderem der Siegelnaht berücksichtigen.

Die Konstruktion der vorgeschlagenen Umhüllung ist allerdings nicht einfach. Erste Versuche in dieser Richtung wurden bei va-Q-tec durchgeführt mit dem Ziel die Gas- und Wasserdampftransmission gegenüber den bisherigen Werten um den Faktor 3 bis 5 zu senken. Damit kann bei Füllstoffen aus mikroporöser Kieselsäure der veranschlagte Anstieg der Wärmeleitfähigkeit so verringert werden wie in Abb. 1 als Entwicklungsziel gezeigt ist. Im folgenden werden erste Ergebnisse von Messungen an solchen Umhüllungskonstruktionen vorgestellt.

Abb. 5: Schema einer Paneelumhüllung mit einer Aluminiumverbundfolie an Oberseite (und Unterseite) und Seitenkanten aus metallisierter Folie



4 Gasdruckanstieg in Paneelen mit modifizierter Umhüllung

Um zu prüfen, ob eine Ausrüstung der Ober- und Unterseite eines Vakuumpaneels mit einer Aluminiumverbundfolie die Gas- und Wasserdampfdiffusion in das Innere des Paneels vermindert, wurden entsprechende Hüllkonstruktionen mit grobporigen Materialien gefüllt. Dadurch konnte ein geringer Startgasdruck und eine hohe Auswirkung eines Gasdruckanstiegs auf die Wärmeleitfähigkeit der Probe erreicht werden. Messungen des Gasdruckanstiegs erfolgten mit dem va-Q-check - System. Messungen des Wärmedurchgangs wurden mit einem Plattensystem mit Wärmeflussmesser durchgeführt. Aus dem Anstieg der Wärmeleitfähigkeit mit der Zeit kann bei bekannten Eigenschaften des Füllmaterials auf die Gastransmission der Hülle geschlossen werden. Alle Proben waren mit einem Trockner ausgestattet, so dass die Wasserdampfransmission durch die Hülle keinen Einfluss auf den Gasdruck haben sollte.

An mehreren Proben konnte eindeutig eine wesentliche Verringerung der Gastransmission festgestellt werden. Ein Beispiel ist in Abb. 6 dargestellt. Hier beträgt bei einer ähnlichen Probe wie in Abb. 4 - nur die Hüllkonstruktion wurde verändert - der Anstieg des Wärmedurchgangs nur noch ein Fünftel des Wertes der nicht-modifizierten Hülle.

Der mit dem va-Q-check Gerät gemessene Gasdruckanstieg an Proben mit modifizierter Hülle ist ebenfalls wesentlich geringer geworden, wie Abb. 7 zeigt. Die Proben wurden jeweils bei Raumtemperatur im Labor gelagert.

Abb. 6: Anstieg des Wärmedurchgangs mit der Zeit an einer evakuierten Probe, die an Unterseite und Oberseite mit einer Al-Folie ausgerüstet ist; die Seitenflächen sind aus Folien Typ A aufgebaut

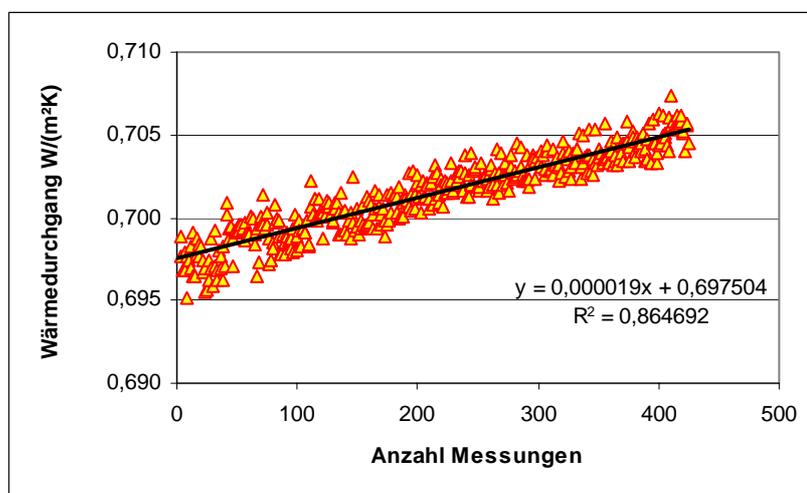
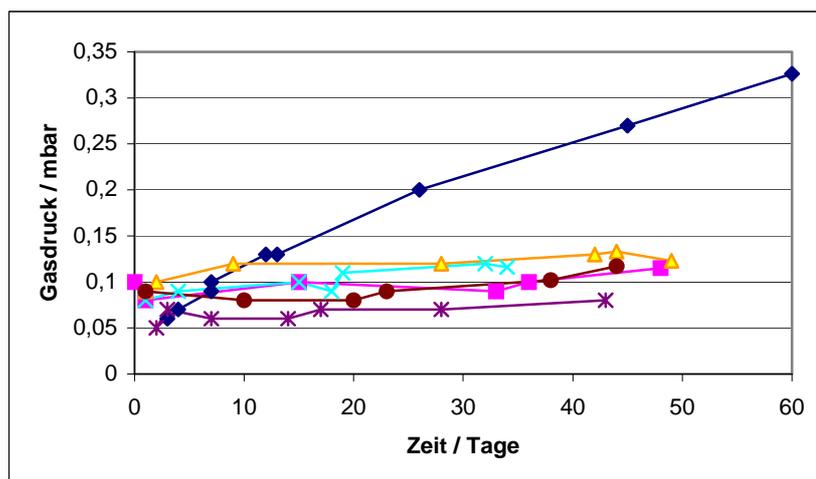


Abb. 7: Anstieg des Gasdruckes an einer Probe, die mit Folie Typ A umhüllt ist (oben), und an Proben, bei denen die Ober- und Unterseite mit einer Aluminiumverbundfolie ausgerüstet ist (unten); Messungen erfolgten mit va-Q-check



5 Fazit

Erste Ergebnisse zeigen, dass es möglich ist, Vakuumdämmplatten so mit einer Umhüllung auszustatten, dass sich der Gasdruckanstieg gegenüber den mit den bisher besten metallisierten Folien gemessenen Werten wesentlich verringern lässt. Dabei bilden die seitlichen Kanten keine Wärmebrücke. Die Gastransmission lässt sich etwa um den Faktor fünf gegenüber einem üblichen Paneel, das mit einer hochwertigen, metallisierten Barrierefolie ausgestattet ist, vermindern.

Aus geometrischen Gründen ist zu erwarten, dass die Wasserdampftransmission durch die Hülle ebenfalls um mindestens den gleichen Faktor kleiner wird. Überträgt man diese Ergebnisse auf Vakuumdämmplatten mit mikroporöser Kieselsäure als Füllstoff, so sollte sich der Anstieg der Wärmeleitfähigkeit während der Nutzungsdauer deutlich verringern lassen. Dies würde bedeuten, dass auch nach mehr als 30 Jahren die Wärmeleitfähigkeit der im Baubereich angewandten Vakuumdämmplatten auf Werte um 5 mW/mK gehalten werden könnte, sich also nur wenig von den Anfangswerten unterscheidet (siehe Abb. 1, Kurve "Ziel Entwicklung").

Eine Umsetzung der Ergebnisse aus dem Labor in ein Produktionsverfahren steht allerdings noch aus. Verschiedene Ansätze in dieser Hinsicht werden zur Zeit bei va-Q-tec verfolgt.

Festzuhalten bleibt, dass alle bisher vorhandenen Möglichkeiten - Verwendung von Folien mit minimal möglichem Gas- und Wasserdampfdurchgang, Kernmaterial mit möglichst geringer Ausgangswärmeleitfähigkeit, möglichst fugen- und wärmebrückenfreie Verlegung der Vakuumdämmplatten - genutzt werden sollten, um eine höchstmögliche Performance des Produkts Vakuumdämmplatte während einer möglichst lange Einsatzdauer sicher zu stellen. Dies setzt auch voraus, dass entsprechende Messverfahren zur Verfügung stehen, die schnell und sicher die Qualitätsanforderungen an die Vakuumdämmplatten kontrollieren können. Eine kontinuierliche Überwachung von Folienqualitäten an der Produktionsstätte und eine durchgehende Qualitätskontrolle der Vakuumdämmplatten mittels Gasdruckmessung vor Auslieferung der Produkte ist unerlässlich, um eine hohe Qualität sicher zu stellen. Mittels der bei va-Q-tec eingeführten Methoden können diese Anforderungen erfüllt werden.

Literatur

Caps, R. (2002): *Vorrichtung zur Messung des Gasdruckes in evakuierten Dämmplatten*, Patentschrift DE 102 15 213 C1, Anmeldetag 6.4.2002

Caps, R. (2003): *Maßnahmen zur Qualitätssicherung von Vakuumdämmplatten*. 1. Fachtagung Evakuierte Dämmungen im Bauwesen, Rostock Warnemünde

Danksagung

Wir danken der Europäischen Kommission für die Förderung der Untersuchungen im Rahmen des Projekts VACI, Contract COOP-CT-2003-508026

Dr. Roland Caps

va-Q-tec AG
Karl-Ferdinand-Braun-Str. 7
D-97080 Würzburg
Tel. 0931-35942-12
www.va-Q-tec.com
caps@va-Q-tec.com