

## VIP - Stand der Technik

Dipl.-Ing. Hannes Reisacher

Firma Porextherm-Dämmstoff GmbH, Kempten  
Heisinger Str. 8, 87437 Kempten, Germany

Durch das energiebewusste Verhalten der Verbraucher, aber auch durch die, vom Gesetzgeber vorgegebenen Verordnungen und Gesetze stieg der Bedarf an Dämmstoffen mit integrierter wärmedämmender Wirkung in den letzten Jahren stark an.

Die wichtigste Eigenschaft für Dämmstoffe ist und bleibt dabei die Wärmeleitfähigkeit. Sie ist in Verbindung mit der Schichtdicke das Maß für die Dämmwirkung und der damit verbundenen Energieeinsparung.

Für eine gute Wärmedämmung bzw. schlechte Wärmeleitung ist Voraussetzung, dass alle Wärmeleitungsmechanismen auf ein Minimum reduziert werden.

Das ist bei **VACUUMISOLATIONSPANEELN** der Fall.

### Funktionsweise von Vakuumdämmung

Der Wärmetransport in einem Dämmstoff besteht aus den Anteilen

- Wärmeleitung durch den Feststoff,
- Konvektion über das Porengas,
- Wärmestrahlung und
- Wärmeleitung über das Gas.
- 

Für eine gute Wärmedämmung bzw. schlechte Wärmeleitung ist Voraussetzung, dass alle Wärmeleitungsmechanismen auf ein Minimum reduziert werden. Die Wärmeleitung durch den Feststoff kann durch die Wahl des Materials als auch durch die Verminderung des Feststoffanteils (=Erhöhung der Porosität) verringert werden. Die Wärmeleitung über das Porengas kann durch die Art des Gases und durch den Gasdruck in den Poren beeinflusst werden. Die Wärmestrahlung kann durch Zusatz von Infrarotblockern (z. B. TiO<sub>2</sub>) oder den Einsatz IR-reflektierender Folien stark reduziert werden. Die Wärmeleitung über das Gas wird durch Druckreduzierung weitgehend ausgeschaltet.

Vakuum-Isolationspaneele (VIP) besteht folglich aus einem plattenförmigen, druckstabilen Kernmaterial (Pulverpreßlinge, Glasfasermatten oder offenporige organische Schäume), mit einer Hochbarrierefolie gasdicht verpackt und evakuiert.

## **Kernmaterialien**

Als Dämmkern geeignete Materialien sind thermisch behandelte und verpresste Glasfasern, offenporige Schaumplatten auf der Basis von Polystyrol oder Polyurethan und feindisperse Pulver insbesondere auf der Basis von Kieselsäuren. Bei Einsatz von Kieselsäuren wird die Porenweite des Gerüstkörpers so klein, dass die mittlere freie Weglänge der Gasmoleküle größer ist als der Abstand der Zellwände oder der Porenweite. Im atmosphärischen Druckbereich liegt die freie Weglänge der Luftmoleküle bei ca.  $0,06\mu\text{m}$  so dass sich bei mikroporösen Kernmaterialien auf Grund der geringen Porenweite ( $< 0,5\mu\text{m}$ ) die Wärmeleitfähigkeit bei Normaldruck auf  $25 \text{ mW/m.K}$  reduzieren lässt. Um noch niedrigere Dämmwerte zu erzielen, werden zusätzlich IR-Absorber oder Reflektoren zugemischt. Die Wärmeleitfähigkeit eines solchen mikroporösen Pulverkerns liegt dann bei  $< 20 \text{ mW/m.K}$ .

Werden Fasermaterialien als Dämmkern verwendet so muss dieser in einem Edelstahlgehäuse verschweißt werden, da auf Grund der groben Porenstruktur geringe Gasdrücke langfristig gegeben sein müssen. Offenporige Schäume unterscheiden sich zu mikroporösen Kernmaterialien vor allem in der Größe der Poren. Bei organischen Schäumen liegen die Porendurchmesser im Bereich von  $20$  bis  $100\mu\text{m}$ .

Bild Vergleich von verschiedenen Kernmaterialien bei unterschiedlichem Unterdruck :

## Verwendete Folienumhüllungen

Der Funktionserhalt der VIP hängt entscheidend von der Gasbarriere der verwendeten Hüllfolie und von der Dichtigkeit der Siegelnähte ab. Die Aufrechterhaltung des Vakuums über mehrere Jahrzehnte Lebensdauer der VIP spielt dabei die Schlüsselrolle, denn die Wärmeleitfähigkeit des Dämmstoffes wird maßgeblich durch die Wärmeleitung des eingeschlossenen Gases bestimmt. Durch die Evakuierung wird diese Gasleitung unterbunden.

Die Wärmeleitung des VIP steigt mit zunehmendem Innendruck. Damit verlieren die VIP ihre hohe Funktionalität und ihre Vorteile gegenüber konventionellen Dämmmaterialien.

Bei den heute für die Umhüllung von VIP eingesetzten Folien handelt es sich um Mehrschichtsysteme unterschiedlichen Aufbaus und davon abhängig sich unterscheidende Eigenschaften in der Funktionalität.

Tabelle 1: Folienverbunde und ihre Eigenschaften

Folientyp	Stand der Technik beim Folienaufbau	Funktionelle Eigenschaften	Nachteile
Aluminium-Verbundfolie	Aluminiumfolie (5-12µm) mit PE Siegelschicht und einem Polyester-Außenlayer	Extrem hohe Gasbarriere unterhalb der Nachweisgrenze von O <sub>2</sub> RT: < 0,005cm <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> d bar bei 23°C	Hohe Wärmeleitfähigkeit, Pinholes (mikroskopische Fehlstellen) in Folie und Siegelnähten, Anfälligkeit für Siegelnahttrisse
Folien mit polymerer Barriere	PVDC, EVOH, PVOH beschichtete oder coextrudierte Folien mit einer PE-Siegelnaht	Mäßige Barriereigenschaften WTR:<0,1g/m <sup>2</sup> d bei 38°C, 90%rh, O <sub>2</sub> TR:~0,01cm <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> d bar bei 23 °C, keine Wärmebrückeneffekte, Transparenz, Verformbarkeit, thermoformbar	Hohe Foliendicke, Einfluss von klimatischen Bed. Auf die Barriere,
Metallisierte Polymerfolien	Polymerfolie mit vakuumtechnisch aufgedampfter Aluminiumschicht (~300 Ängström) und einer PE-Siegelschicht	Gute Barriereigenschaften: WTR:<0,1g/m <sup>2</sup> d bei 38°C, 90%rh O <sub>2</sub> TR:<0,01cm <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> d bar bei 23°C, geringe Wärmeleitung, geringer Einfluss von klimatischen Bed. Auf die Barriere,	geringe Bruchfestigkeit und Verformbarkeit, Haftungsprobleme der aufgedampften Schicht auf der Substratfolie,
Folie mit transparenter Schicht	Polymerfolie mit Oxidschicht (SiO <sub>x</sub> oder AlO <sub>x</sub> ) im Vakuum bedampft und mit einer PE-Siegelschicht kaschiert	Gute Barriereigenschaften: WTR:<0,1g/m <sup>2</sup> d bei 38°C, 90%rh O <sub>2</sub> TR:<0,01cm <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> d bar bei 23°C, keine Wärmebrückeneffekte, Transparenz,	geringe Bruchfestigkeit und Verformbarkeit, Haftungsprobleme der aufgedampften Schicht auf der Substratfolie

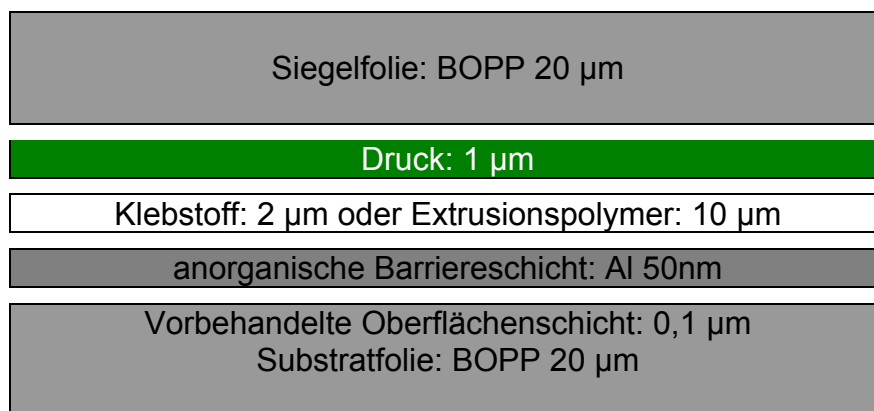
## Aluminiumkaschierte Folien

Eine heute existierende Lösung für Barrierefolien für VIP's ist ein Verbund aus Kunststofffolien und einer dünnen Aluminiumfolie. Es gibt ein kommerziell erhältliches Produkt, das extrem hohe Barrierewerte aufweist (unterhalb der Messgrenze). Unglücklicherweise kann es nur sehr begrenzt eingesetzt werden und dies hat 2 Gründe:

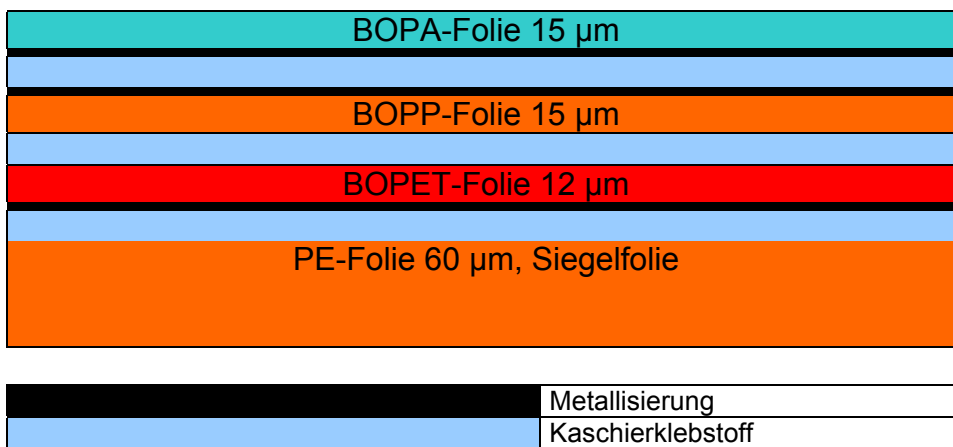
- Wärmebrückeneffekte: der Verbund weist wegen der Aluminiumfolie eine zu hohe Oberflächen-Wärmeleitfähigkeit auf. Dadurch wird ein beträchtlicher Wärmetransfer von der warmen zur kalten Seite beobachtet und die Wirksamkeit der Isolation wird deutlich verschlechtert. Dieser Randeffekt ist um so ausgeprägter je dicker die Aluminiumschicht ist und je kleiner das Paneel ist. Andererseits gibt es eine klare Limitierung, wie dünn die Aluminiumfolie sein darf, weil die Folie unterhalb einer Dicke von 6µm Pin-holes aufweist und damit ihre Barrierewirkung zu einem Teil verliert.
- Verbunde, die pin-hole-freie Aluminiumfolie enthalten, sind sehr teuer.

## Verbundfolien: Aufbau und Funktionalität

Der Verbundaufbau einer typischen konventionellen Barriereverpackung ist beispielhaft in Schema 1 dargestellt.



Schema 1: Typischer Aufbau eines Barriere-Verbundes für den konventionellen Verpackungsbereich hergestellt durch Klebstoffkaschierung einer vakuumtechnisch bedampften Folie gegen eine BOPP-Folie



Schema 2: Typischer Aufbau eines VIP-Barriereverbundes aus 3 verschiedenen metallisierten Folien und einer Siegelfolie. Währenddessen zeigt Schema 2 einen typischen Aufbau eines VIP-Folienverbundes. Eingesetzt werden dabei die verschiedenen metallisierten Folien wegen ihrer unterschiedlichen, sich ergänzenden Eigenschaften.

## Nahtbildungsverfahren für Vakuumisulationspaneelen

Abhängig von der Art des Folienverbundes für das Verpacken von Vakuumisulationspaneelen eignen sich verschiedene Verfahren für das Verschließen des Folieneinschlages der Paneelen.

Handelt es sich um Folienverbunde mit außenliegender thermoplastischer Schicht, können zum Verschließen Verfahren zum Einsatz kommen, die ein Verschließen durch Aufschmelzen mit fachfolgendem Fügen der thermoplastischen Schicht gewährleisten.

Folgende Verfahren können hier genannt werden.

- Wärmekontakt-Verfahren
- das Infrarotschweißen
- das Laserschweißen
- das Ultraschallschweißen
- das kapazitive Hochfrequenz-Schweißen und
- das Induktionsschweißen

Bei den hier beschriebenen Verfahren, muss mit Ausnahme des Ultraschallschweißens nach dem Aufschmelzen des Materials das Fügen durch das Aufbringen von Druck erfolgen.

## **Verpacktechniken von VIP's**

1. Verpacken in 3-Rand-Siegelbeutel oder Schlauchbeutel  
Hier werden von der Folienrolle 3-Rand-Siegelbeutel nach Maß vorgefertigt, in die das Kernmaterial eingetütet wird. Danach wird die offene Seite unter Vakuum versiegelt.
2. Umhüllen durch eine straff um den Stützkörper gezogene Folie, wobei der Schweißnahtbereich an der Manteloberfläche liegt. Für das Versiegeln der Seitenbereiche und das Umlegen bzw. Umfalten der dabei entstehenden Siegelnähte sind spezielle Techniken entwickelt worden, die jedoch zum Teil sehr kostenintensiv sind.

Abhängig von der grundsätzlichen Festigkeit des Folienmaterials bleiben Siegelnähte und überstehende Siegelränder im Bereich Kanten und Ecken eine funktionelle Schwachstelle bei VIP's.

Einerseits sind diese Stellen anfällig für kleine und kleinste Diffusionskanäle und Materialrisse durch mechanische Belastungen, wodurch der Verlust des Vakuums droht, andererseits verursachen die überstehenden Siegelränder Probleme beim Verlegen der Platten hinsichtlich eines engen Kantenschlusses. Die Folge sind Wärmebrücken und die Verschlechterung der Wärmedämmung.

Möglichkeiten diese Funktionellen Schwachstellen zu minimieren sind

1. Umkleben der Siegelränder
2. zusätzlicher mechanischer Schutz der Kanten und Ecken durch Aufbringen von abriebfesten Klebebändern oder Beschichten mit speziellen Lacken.
3. Verwendung von VIP's mit Mittelnaht um einen engeren Kantenschluss beim Verlegen der Platten zu ermöglichen

## **Messtechnik zur Prüfung der Funktionstauglichkeit von VIP's**

Eine wichtige Voraussetzung für die Funktionstauglichkeit ist die Prüfung der Barriereeigenschaften an den Folien und Folienverbunden. Die Messung der Wasserdampf- und die Sauerstoffdurchlässigkeit, stellvertretend für die in der Luft vorhandenen Gase erfolgt in durchweg genormten Verfahren.

### **Sauerstoffdurchlässigkeit**

- volumetrisches Verfahren nach DIN 53 380-1 oder ASTM D 1434
- manometrisches Verfahren nach ASTM D 1434
- Sauerstoffspez. Tragergasverfahren nach DIN 53 380-3 oder ASTM D 3985

Die Messgrenze für die Sauerstoffdurchlässigkeit liegt derzeit bei  $0,05 \text{ cm}^3/\text{m}^2 \text{ d bar}$ .

### **Wasserdampfdurchlässigkeit**

- gravimetrisches Verfahren nach DIN 53 122-1 oder ASTM E 96
- Elektrolyse-Verfahren nach DIN 53 122-2

Die Messgrenze für die Wasserdampfdurchlässigkeit liegt laut Hersteller derzeit bei  $0,005 \text{ g}/\text{m}^2 \text{ d}$ .

### **Wärmeleitfähigkeit**

- stationäres Verfahren mit Plattengerät nach DIN 52 612
- instationäres Verfahren für kleine Versuchskörper

### **Innendruckmessung**

- Verfahren zur störungsfreien Messung des Unterdrucks an VIP's sind mittlerweile verfügbar aber noch nicht genormt. Hier sind nur vergleichende Messungen möglich
- eine Neuentwicklung ist die Verwendung von Sensoren in der Vakuumdämmplatte. Eine Innendruckveränderung kann mittels eines entsprechenden Messgerätes festgestellt werden

Dämmsysteme auf der Basis von Vakuumisolationspaneelen werden aufgrund ihrer bis zu 10mal besseren Isolationswirkung bei gleichem Raumbedarf eine interessante wirtschaftliche und ökologische Alternative zu konventionellen Dämmsystemen darstellen. Sie versprechen einen bedeutenden Beitrag zur Energieeinsparung in Gebäuden zu leisten. Insbesondere bei der energetischen Modernisierung von Altbauten sind Dämmsysteme mit geringem Platzbedarf von großem Vorteil.