

Hochbarrierefolien für Vakuum-Isolationspaneele - eine Übersicht -

Vip-Bau 2003, 1. Fachtagung
Rostock-Warnemünde, 10.-11. Juli 2003

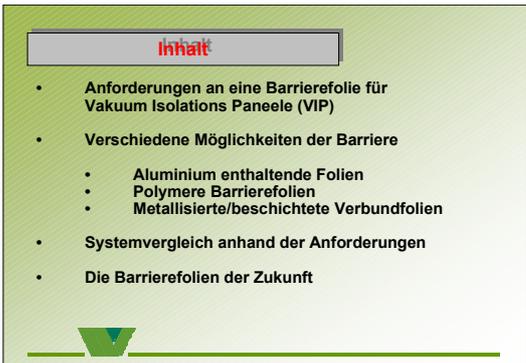
Dr.-Ing. Sven Jacobsen, Wipak Walsrode GmbH & Co. KG

Einleitung:

Vakuum Isolierpaneele (VIP) werden bereits seit mehr als 15 Jahren im Bereich der Kühleisrandisolierung erfolgreich eingesetzt. Auf eine ebenso lange Erfahrung in der Herstellung von Hochbarrierefolien für diese Anwendung kann die Firma Wipak zurückblicken.

Vakuum Isolierpaneele werden aus unterschiedlichsten Kernmaterialien (offenzellige Polyurethan- oder Polystyrolschäume, Kieselsäure, verpresste Glasfasermaterialien, ..) für unterschiedlichste Nutzungen eingesetzt. Daraus ergeben sich auch für die eingesetzten Barrierefolien Anforderungen unterschiedlichster Art (Einsatzzeitraum, Beständigkeit, Festigkeit, Durchlässigkeiten, Temperaturbeständigkeiten). In diesem Artikel sollen nun basierend auf den Anforderungen der Vakuumpaneele an die Barrierefolien die grundsätzlichen folientechnischen Lösungsvarianten mit allen ihren Vor- und Nachteilen dargestellt werden, um dem Hersteller und Nutzer von Vakuumisolierpaneelen einen ersten Überblick über die technologischen Möglichkeiten zu geben.

Dies kann und soll nur ein vorbereitender Überblick sein, denn einzelne individuelle Randbedingungen des Einsatzbereiches können bestimmte Lösungen unmöglich machen und anderen den Vorzug geben. Hier hilft nur eine direkte Abstimmung mit dem Folienhersteller Ihres Vertrauens.



Inhalt

- Anforderungen an eine Barrierefolie für Vakuum Isolations Paneele (VIP)
- Verschiedene Möglichkeiten der Barriere
 - Aluminium enthaltende Folien
 - Polymere Barrierefolien
 - Metallisierte/beschichtete Verbundfolien
- Systemvergleich anhand der Anforderungen
- Die Barrierefolien der Zukunft

Abb. 1: Inhalt

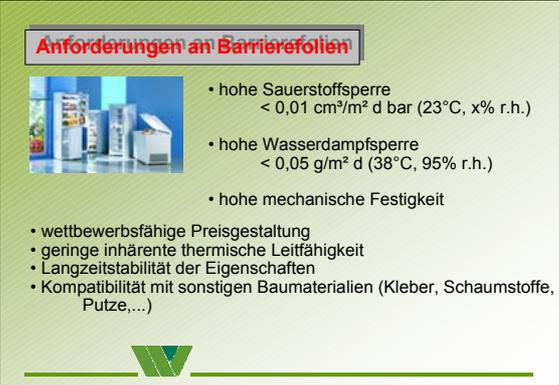
Wipak Covexx und Hochbarrierefolien:

Wipak Covexx, der Teil der Firma Wipak, der sich mit technischen Anwendungen beschäftigt, hat Erfahrung mit Hochbarrierefolien im Anwendungsfall Vakuumisolerpaneele seit den späten 80er Jahren. Damals wurden in enger Zusammenarbeit mit den Firmen Electrolux und Degussa die ersten Vakuumpaneele in Deutschland entwickelt. Diese Paneele wurden in den folgenden Jahren im Bereich von Kleinkühlschränken für Boote, Minibars und Caravans in gleichmäßig steigenden Stückzahlen eingesetzt. Darüber hinaus besitzt die Firma Wipak Erfahrungen mit anderen Anwendungen die Hochbarrierefolien erfordern. Dazu gehören langlebige Produkte wie Fußbodenheizungen, Erdölleitungen aber auch ungewöhnliche Anwendungen wie die Internationale Raumstation.

Nachdem sich heute die Vakuum Isolierpaneele neue Anwendungsgebiete außerhalb der Kühlschränke erschließen, erfordern diese neuen Anwendungsgebiete auch angepasste Barrierefolien mit angepassten Eigenschaften.

Einer dieser Anwendungsbereiche ist die Bauindustrie mit zum Teil ganz eigenen Gesetzen und Anforderungen.

Die Anforderungen an Hochbarrierefolien in diesem Bereich sind in Abb. 2 zusammengefasst. Dazu gehören eine hohe Sauerstoffsperre (Permeation $< 0,01 \text{ cm}^3/\text{m}^2 \text{ d bar}$ bei 23°C). Der Wert für die Sauerstoffpermeation steht dabei stellvertretend für die Permeation von Gasen, insbesondere nicht polaren Stoffen. Diese Permeation wird in Volumeneinheit je Fläche Folie, je Tag und je bar Druckdifferenz ausgedrückt. Die Druckdifferenz ist dabei die Partialdruckdifferenz zwischen den beiden Seiten der Folie. In der Literatur und in den Angaben zu Permeationsraten sind sehr viele unterschiedliche Zahlen bei unterschiedlichen Bedingungen zu entdecken. Wichtig ist an dieser Stelle, dass Angaben unterhalb von $0,01 \text{ cm}^3/\text{m}^2\text{d bar}$ unrealistisch sind. $0,01$ ist die derzeitige Messgrenze für Sauerstoffdurchlässigkeiten bei Standardmessgeräten, wie sie zum Beispiel in der Qualitätskontrolle eingesetzt werden. Nur Werte bis zu dieser Grenze können sicher garantiert und von Ihrem Folienhersteller überwacht werden. Alle Werte darunter können über aufwendigere Meßmethoden abgeschätzt oder interpoliert werden, können aber nur als Abschätzung dienen, nie als abgesicherter Qualitätsgrenzwert. Darüber hinaus ist die Angabe der Messbedingungen (Temperatur, Luftfeuchtigkeit) wichtig. Die Gasdurchlässigkeiten nehmen mit steigender Temperatur zu. Steigende Luftfeuchtigkeiten wirken sich je nach Folientype ebenfalls negativ auf die Permeationsraten aus. Sind Temperatur und Luftfeuchtigkeiten nicht angegeben, müssen diese Randwerte dringend mit dem Folienhersteller abgesichert werden.



Anforderungen an Barrierefolien

- hohe Sauerstoffsperre
< $0,01 \text{ cm}^3/\text{m}^2 \text{ d bar}$ (23°C , x% r.h.)
- hohe Wasserdampfsperre
< $0,05 \text{ g}/\text{m}^2 \text{ d}$ (38°C , 95% r.h.)
- hohe mechanische Festigkeit
- wettbewerbsfähige Preisgestaltung
- geringe inhärente thermische Leitfähigkeit
- Langzeitstabilität der Eigenschaften
- Kompatibilität mit sonstigen Baumaterialien (Kleber, Schaumstoffe, Putze,...)

Abb. 2: Anforderungen an Barrierefolien

Zweiter wesentlicher Kennwert ist die Wasserdampfdurchlässigkeit. Dieser Wert wird in Gewicht je Folienfläche und Tag angegeben und sollte bei heutigen Barrierefolien $<0,05 \text{ g/m}^2\text{d}$ betragen (38°C , 95%). Auch hier ist die Angabe von Temperatur und Luftfeuchtigkeit wichtig, da sich auch die Wasserdampfpermeation mit Temperatur und Luftfeuchtigkeit verändert. Die Wasserdampfpermeation ist ein symbolischer Wert für die Permeation von polaren Stoffen durch die Konstruktion.

Nur die Kombination aus guten Sperrwerten gegen Sauerstoff und Wasserdampf garantiert eine gute Gesamtbarriere.

Weitere wichtige Anforderungen an eine Barrierefolie sind hohe mechanische Festigkeiten und eine wettbewerbsfähige Preisgestaltung. Verlangt wird zusätzlich eine Langzeitstabilität der Eigenschaften, die allerdings von den Umgebungsbedingungen abhängt und damit in jedem Anwendungsfall getrennt betrachtet werden muss. Wichtig ist insbesondere im Baubereich auch die Kompatibilität mit sonstigen Baumaterialien (Klebern, Putzen, ...).

Zusätzlich ist eine möglichst geringe inhärente Folienwärmeleitfähigkeit erwünscht. Dies ergibt sich aus der Randbedingung der thermischen Isolationseigenschaften des Vakuumpaneels. Die Folie ist das einzige Element des VIP, das um das eigentliche Paneel herumreicht und damit Vorder- und Rückseite des Paneels, kalte und warme Seite miteinander verbindet. Eine gute thermische Leitfähigkeit dieser Folie reduziert damit den Nutzen des VIP. Je nach Größe, Einsatzgebiet und Kernmaterial ist auch hier eine Abwägung vorzunehmen.

Erhältlich sind momentan 3 verschiedene prinzipielle Arten von Hochbarrierefolien. Barrierefolien die eine konkrete Aluminiumschicht enthalten. Barrierefolien auf reiner polymerer Basis und sogenannte metallisierte oder beschichtete mehrlagige Verbundsysteme (vgl. Abb. 3). Heutzutage kommen zu mehr als 80% verschiedene mehrlagige Verbundsysteme zum Einsatz. In sehr wenigen Anwendungsfällen werden auch Hybridsysteme aus verschiedenen Folienarten eingesetzt.



Abb. 3: Mögliche Arten von Barrierefolien

Aufbau, Vor- und Nachteile der einzelnen Foliensysteme

- Barrierefolien die eine Aluminiumschicht enthalten (vgl. Abb.4):

Barrierefolien mit Aluminium enthalten wie der Name schon sagt immer eine Aluminiumfolie im Kern der Folie. Diese Aluminiumfolie ist zwischen $5\mu\text{m}$ und $25\mu\text{m}$ dick, typischerweise zwischen $7\mu\text{m}$ und $12\mu\text{m}$. Auf der Außenseite der Aluminiumfolie ist

eine Schicht eines Basispolymeren angebracht. Dieses Basispolymere übernimmt den Schutz der empfindlichen Aluminiumfolie und stellt die Verbindung zur Umgebung her. Je nach Art des Basispolymeren sind damit unterschiedliche chemische und physikalische Randbedingungen möglich. Basispolymere sind dabei insbesondere Polyester, Polypropylen oder Polyamid. Andere Schichten sind eher ungewöhnlich. Dieses Basismaterial schützt das Aluminium vor mechanischer Beschädigung, aber auch vor Korrosion. In einigen Fällen wird das Aluminium auch auf beiden Seiten von einer polymeren Schicht geschützt. Zusätzlich ist auf mindestens einer Seite eine Siegelschicht aufgebracht, die aus Polyolefinen oder Polyestern besteht und welche die wichtige Funktion des Einschweißens des Paneels erfüllt. Auf das Thema Siegelschichten soll an dieser Stelle nicht gesondert eingegangen werden, da hier ein zusätzliches großes Feld an Möglichkeiten existiert. Wichtig ist, dass die Siegelschicht auf die Anwendung und Fertigung abgestimmt ist.

Vorteile von diesen Aluminium enthaltenden Barrierefolien sind die extrem hohen Gassperreigenschaften, die unterhalb jeder Nachweißgrenze liegen. Es können recht preisgünstige Basismaterialien verwendet werden. Diese Verbundfoliensysteme sind aus dem Bereich der Kaffee- oder Chemikalienverpackung bekannt und sehr gut verfügbar.

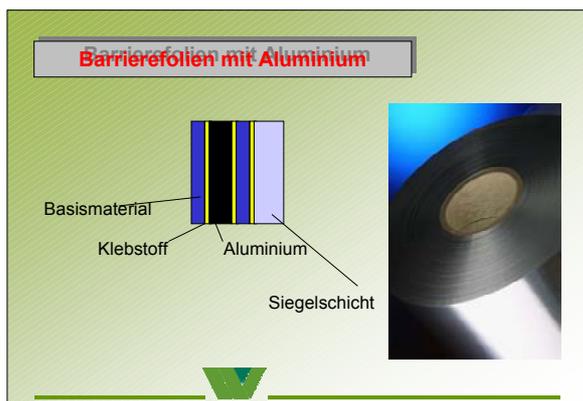


Abb. 4: Barrierefolien mit Aluminium

Nachteile sind insbesondere die hohe inhärente thermische Leitfähigkeit des Aluminiums, die einen Teil der durch die VIP erzielten Isolationseigenschaften wieder verbraucht. Zusätzlich negativ wirkt sich die Korrosionsempfindlichkeit des Aluminiums aus. Insbesondere in sauren Umgebungen kann es hier zu einem korrosiven Angriff kommen. Aluminium ist darüber hinaus anfällig für Knickbruch, so dass es zu mechanischen Schädigungen der Barrierefunktion kommen kann. Dies ist insbesondere vor dem Hintergrund kritisch zu sehen, dass die Barriere hier durch eine einzelne Funktionsschicht erzeugt wird. Das tatsächliche Verhalten ist dabei entscheidend vom genauen Aufbau abhängig. Hierzu ist interessant, dass es sich bei Aluminiumfolien immer um Legierungen handelt, die ihrerseits bestimmte Eigenschaften mitbringen. So ist der mechanische Verformungsgrad von Aluminium vom Eisengehalt in der Aluminiumlegierung abhängig. Unterhalb einer Dicke von ca. 12µm Aluminium tauchen zusätzlich sogenannte Pinholes im Aluminium auf, die aus dem Walzprozess der Aluminiumfolienherstellung resultieren. Die exakte Menge, Größe und der Einfluss dieser Pinholes auf die Barriereigenschaften ist dabei, von der verwendeten Aluminiumlegierung, von dem herstellenden Walzwerk und von der Einbindung der Aluminiumfolie in den entsprechenden Foliengesamtaufbau abhängig.

- Barrierefolien die eine reine polymere Barriere enthalten (vgl. Abb.5):

Barrierefolien mit einer rein polymeren Barriere bestehen immer aus vielen verschiedenen Schichten von Polymeren. Jedes Polymere hat eigene charakteristische Barriereigenschaften (vgl. Abb. 6 in der die Barrierewerte für unterschiedliche Kunststoffe bei 23°C für eine Schichtdicke von 25µm dargestellt sind). Durch geschickte Kombination dieser einzelnen Polymere lassen sich synergistische Barrierepotentiale erschließen.

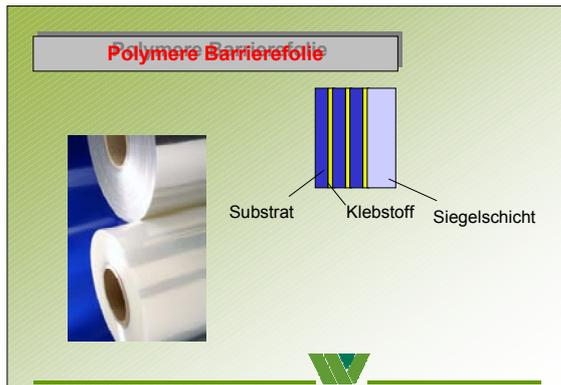


Abb. 5: Polymere Barrierefolien

Die unterschiedlichen Schichten der Gesamtfolie können dabei coextrudiert sein, das heißt in einem gemeinsamen Prozess hergestellt sein, oder aber jedes einzelne Polymere wird seinen Eigenschaften entsprechend in einem gesonderten Prozess zu einer Folie verarbeitet und die Gesamtfolie wird durch Klebstoffkaschieren der Einzel- folien hergestellt. Bei den Klebstoffen handelt es sich immer um Polyurethanklebstoffe, deren genaue Auswahl zusätzliche Eigenschaften (chemische Resistenz, mechanische Stabilität, Barrierefunktion) unterstützen kann. Vorteile rein polymerer Barrierefolien sind dabei die optische Transparenz und die mögliche hohe mechanische Belastbarkeit, insbesondere gegen Knickbruch und Durchstich. In einzelnen Zusammensetzungen können hier auch mechanisch verformbare Folien erzeugt werden, die im Extremfall sogar tiefziehbar sind und damit völlig neue Freiheiten in der Formgebung bieten. Polymere Systeme besitzen nahezu keine thermische Leitfähigkeit und unterstützen somit die isolierende Wirkung der Vakuumpaneele.

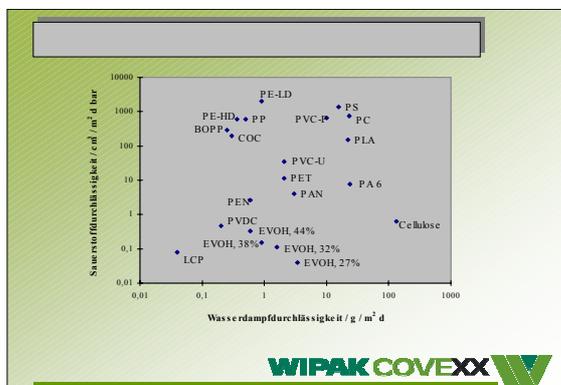


Abb. 6: Unterschiedliche Barrierepolymere

Nachteile dieser polymeren Systeme sind insbesondere die relativ geringe Barriere bei gleichzeitig hoher Dicke der Folien. Die Barriere, insbesondere die Barriere ge-

gen Gase wie Sauerstoff kann dabei extrem von den klimatischen Randbedingungen Temperatur und Luftfeuchtigkeit abhängen und sich um eine 10er Potenz verändern. Bei diesen rein polymeren Systemen handelt es sich durchweg um hochkomplexe Systeme, die auf Synergieeffekten unterschiedlicher Basispolymere vertrauen. Daher sind solche Folien nur bei wenig Herstellern zu oft hohen Preisen zu erhalten.

- Barrierefolien mit metallisierten / beschichteten Mehrlagensystemen (vgl. Abb.7:

Barrierefolien mit metallisierten bzw. beschichteten Komponenten bestehen wie bereits die polymeren Systeme aus mehreren zum Teil unterschiedlichen polymeren Basisfolien, die ihrerseits mit einer extrem dünnen im Bereich mehrerer 10 nm dicken, metallischen oder anorganischen Schicht bedampft wurden. Diese Bedampfung findet typischerweise im Hochvakuum statt und besteht aus Aluminium, Aluminiumoxid oder Siliziumoxid. Die Art der Beschichtung ist dabei für die Funktionsweise unerheblich. Alle Schichten sind mittlerweile technologisch vergleichbar. Aluminium ist metallisch glänzend, die beiden Oxidschichten sind transparent. Unterschiede in der Anwendbarkeit ergeben sich kaum. Allerdings haben die metallisierten Aluminium-Schichten einen entscheidenden Vorteil in der Verfügbarkeit und im Preis.

Vorteile dieser beschichteten Mehrlagensysteme liegen in der geringen thermischen Leitfähigkeit. Selbst die aufgedampften Aluminiumschichten liegen aufgrund ihrer Dicke <50nm und der Isolierung der einzelnen Aluminiumschichten durch Kunststoffschichten in einem unkritischen Leitfähigkeitsbereich, der kaum Auswirkungen auf die Isolationseigenschaften des Gesamtsystems VIP hat. Obwohl die Barriere geringer ist als in reinem Aluminium Systemen bewegt sich die Barriere in vielen Fällen bereits unterhalb der Messgrenze. Ein wesentlicher Vorteil liegt in der statistischen Verteilung des Ausfallrisikos auf mehrere räumlich getrennte Barrierefunktionsschichten, sodass das Risiko eines Barrierekomplettausfalls minimiert wird. Die optischen Eigenschaften sind durch die technologisch unterschiedlichen Bedampfungssysteme zwischen transparent und metallisch steuerbar. Durch den modularen Aufbau sind unterschiedliche Funktionen und Barriereigenschaften an die jeweilige Anwendung adaptierbar.

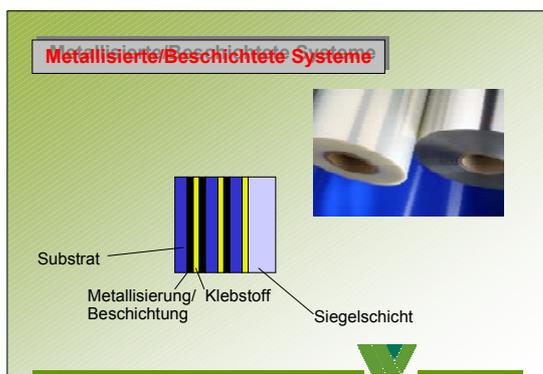


Abb. 7: Metallisierte/beschichtete Mehrlagensysteme

Als Nachteile dieses Systems ergeben sich insbesondere hohe Kosten, die durch den hohen technologischen Aufwand bei der Herstellung dieser Verbundsysteme entstehen. Dementsprechend ist die Auswahl an Herstellern dieser Systeme weltweit beschränkt und in einzelnen Fällen behindern Patente einen freien Marktzugang.

Weitere Nachteile liegen in der Knickbruchanfälligkeit, wobei das Risiko hier statistisch minimiert ist und in der Korrosionsanfälligkeit, sofern Aluminium als Bedampfungsschicht eingesetzt wird.

Technologischer Vergleich der Systeme:

Ein technologischer Vergleich der unterschiedlichen Systeme (vgl. Abb. 8) offenbart Stärken und Schwächen eines jeden Systems, Vorteile für Aluminium Systeme in der Barrierewirkung und Vorteile reiner polymerer Systeme in der inhärenten Leitfähigkeit. Die metallisierten / beschichteten Mehrlagenverbundsystemen ergeben hier interessante Alternativen, die in Ihrer Kombination zu einem vorteilhaften Gesamtergebnis führen, was der Tatsache Rechnung trägt, dass sie bereits heute überwiegend im Bereich VIP eingesetzt werden. In Einzelfällen können jedoch immer wieder auch die beiden anderen Systeme Vorteile bieten. Hier sind der direkte Kontakt und die direkte Diskussion mit dem Folienhersteller erforderlich.

Systemvergleich der Barrierefolien			
Anforderung	Alu Barriere	Polymere Barriere	Metallisierte Barriere
O2-Sperre	+++	-	++
WD-Sperre	+++	-	++
Festigkeit	+	++	+
Preis	++	-	o
Leitfähigkeit	---	+++	++
Langzeitstabilität	++	+	++
Kompatibilität	o	o	o
Korrosion	o	+	o
Fazit	o	o	+

Abb. 8: Systemvergleich

Zusammenfassung:

Wesentlich für das Funktionieren des Gesamtsystems Vakuumisulationspaneel ist die Barrierefolie. Sie stellt nicht nur den Erhalt des Vakuums über die Lebensdauer des Systems sicher, sondern stellt darüber hinaus die Verbindung zwischen Paneel und Umgebung her, sorgt also für Integration der VIP in die Gesamtstruktur. Hier kann die Folie durch zusätzliche funktionelle Oberflächen in Zukunft sicher zusätzliche Aufgaben übernehmen. Lebensdauern in der Größenordnung von ca. 10 Jahren können aus bisherigen VIP Erfahrungen abgeschätzt werden.

Es besteht eine große Vielfalt an technologischen Möglichkeiten zur Gestaltung der Siegelschichtverhältnisse und der Außenoberflächen. Aufgrund der oft widersprüchlichen Anforderungsprofile für eine Hochbarrierefolie im VIP Bereich haben fallweise einzelne Systeme Vor- und auch Nachteile. Heute werden vorzugsweise metallisierte Mehrlagenverbundsysteme eingesetzt, wobei im Baubereich zum Teil noch Aluminiumkombinationen aufgrund der gesicherteren Langzeitstabilitäten zum Einsatz kommen. Diese haben aber durch ihre Eigenleitfähigkeit entscheidende Nachteile.