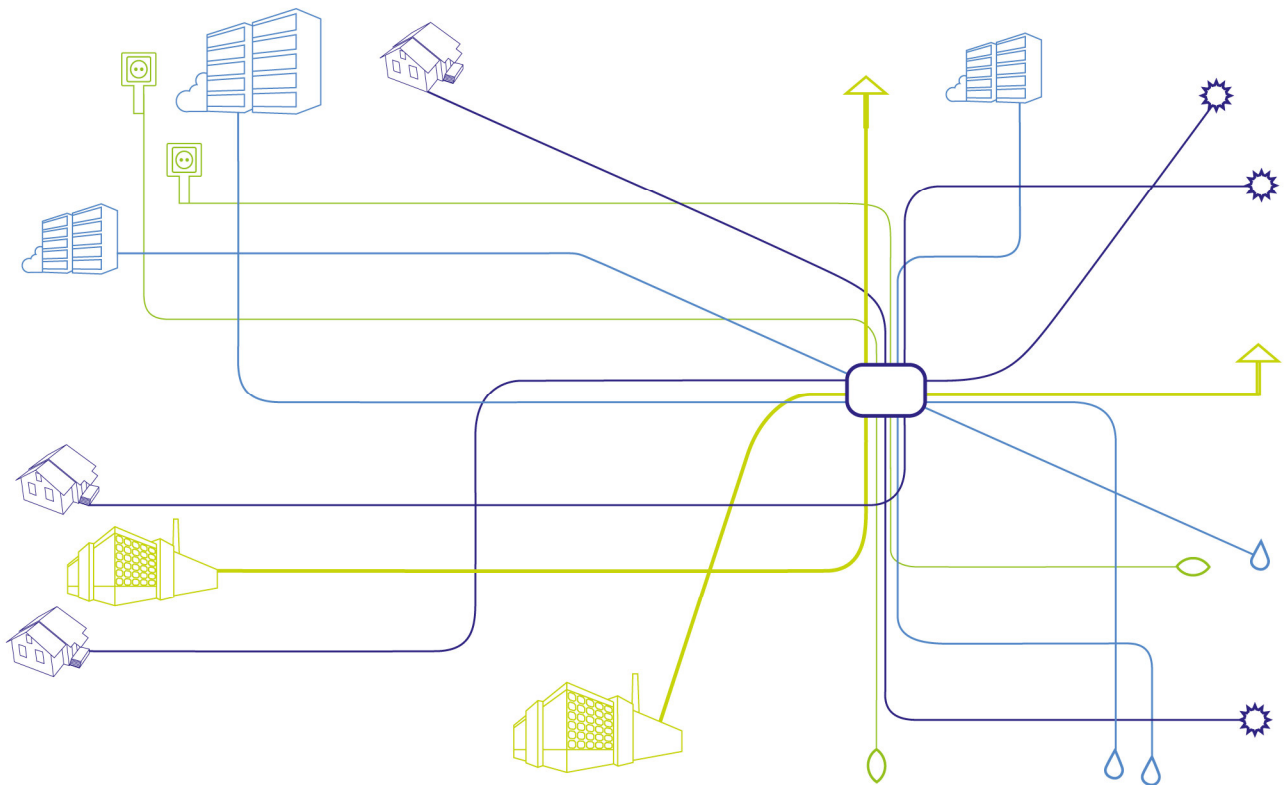




Erforschung von Speicherisolierungen auf Basis von Hochleistungsisolatoren



VORWORT

Die Publikationsreihe **BLUE GLOBE REPORT** macht die Kompetenz und Vielfalt, mit der die österreichische Industrie und Forschung für die Lösung der zentralen Zukunftsaufgaben arbeiten, sichtbar. Strategie des Klima- und Energiefonds ist, mit langfristig ausgerichteten Förderprogrammen gezielt Impulse zu setzen. Impulse, die heimischen Unternehmen und Institutionen im internationalen Wettbewerb eine ausgezeichnete Ausgangsposition verschaffen.

Jährlich stehen dem Klima- und Energiefonds bis zu 150 Mio. Euro für die Förderung von nachhaltigen Energie- und Verkehrsprojekten im Sinne des Klimaschutzes zur Verfügung. Mit diesem Geld unterstützt der Klima- und Energiefonds Ideen, Konzepte und Projekte in den Bereichen Forschung, Mobilität und Marktdurchdringung.

Mit dem **BLUE GLOBE REPORT** informiert der Klima- und Energiefonds über Projektergebnisse und unterstützt so die Anwendungen von Innovation in der Praxis. Neben technologischen Innovationen im Energie- und Verkehrsbereich werden gesellschaftliche Fragestellung und wissenschaftliche Grundlagen für politische Planungsprozesse präsentiert. Der **BLUE GLOBE REPORT** wird der interessierten Öffentlichkeit über die Homepage www.klimafonds.gv.at zugänglich gemacht und lädt zur kritischen Diskussion ein.

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines Projekts aus dem Forschungs- und Technologieprogramm „e!Mission.at“. Mit diesem Programm verfolgt der Klima- und Energiefonds das Ziel, durch Innovationen und technischen Fortschritt den Übergang zu einem nachhaltigen Energiesystem voranzutreiben.

Wer die nachhaltige Zukunft mitgestalten will, ist bei uns richtig: Der Klima- und Energiefonds fördert innovative Lösungen für die Zukunft!

A stylized, handwritten signature in black ink.

Ingmar Höbarth
Geschäftsführer, Klima- und Energiefonds

A handwritten signature in black ink that reads 'Theresia Vogel'.

Theresia Vogel
Geschäftsführerin, Klima- und Energiefonds

1 Inhaltsverzeichnis

1	Inhaltsverzeichnis	3
2	Einleitung	4
2.1	Schwerpunkte des Projektes	5
2.2	Aufbau der Arbeit	6
2.3	Einordnung in das Programm:	8
3	Inhaltliche Darstellung	9
3.1	Erforschung der wärmetechnischen Eigenschaften von Faservliese	9
3.1.1	Allgemeines	9
3.1.2	Wärmetransportvorgänge innerhalb eines Faservlieswerkstoffes	9
3.1.3	Abhängigkeiten des Strahlungsanteils	10
3.1.4	Wärmetransport in der Grenzschicht zwischen Faserstoff und Speichermantel 13	
3.2	Erforschung der dominanten Wärmetransportmechanismen in Vliesisolierungen ...	13
3.2.1	Experimentelle Untersuchungen	14
3.2.2	Ergebnisse	15
3.3	Hochleistungsisolatoren	17
3.3.1	Diskontinuierlich aufgebaute Superisolatoren	18
3.3.2	Kontinuierlich aufgebaute Superisolatoren	19
3.3.3	Risiken	22
3.3.4	Ergebnisse	23
4	Ergebnisse und Schlussfolgerungen	24
5	Ausblick und Empfehlungen	25
6	Literaturverzeichnis	26

2 Einleitung

Basierend auf der Direktive 2010/30/EU muss bis 2020 eine 20%ige Reduktion der Treibhausgasemissionen erfolgen.

Die daraus resultierende generelle Richtlinie (ECO-Design-Richtlinie) stellt in diesem Zusammenhang im Rahmen des Teilgebietes „Speicher, Puffer, indirekt beheizter Speicher“ außerordentliche Anforderungen an die Isolierung von Warmwasserspeicher in Bezug auf die Begrenzung deren Energieverluste.

Im Zuge dieser Richtlinie sind indirekt beheizte Speicher bis zu einem Volumen von 500 Liter anhand von Qualitätskennzeichen, welche durch die jeweils zulässigen Wärmeverlustgrenzwerte definiert sind, klassifiziert. Aber auch Speicher mit größeren Volumen sind von dieser Richtlinie betroffen, da ab 2017 die Mindeststandards bezüglich deren Wärmeverluste verschärft werden.

Speicher mit zu hohen Wärmeverlusten werden also zukünftig vom Markt verschwinden, da sie laut den Direktiven nicht mehr angeboten werden dürfen.

Um diesen strengen Anforderungen in Zukunft erfolgreich begegnen sowie um im direkten Wettbewerb reüssieren zu können, ist es notwendig, die aktuell vorliegenden Wärmeverlustwerte der Speicherisolierungen entscheidend zu reduzieren.

Bei Warmwasser-Speicherisolierungen auf Vliesbasis sind λ -Werte von $\sim 0,035 \text{ W/m}^2\text{K}$ Stand der Technik. Durch Änderungen an der Formulierung des Isolationswerkstoffes sind lediglich Reduktionen um maximal $\sim 10\%$ möglich. Andererseits ist es sehr wichtig, die konvektiven Anteile des Wärmeüberganges möglichst gering zu halten. Deswegen muss bei der Montage der Isolierung diese sehr gut am Speicher anliegen und bei jeder Witterung (Kälte, Hitze) gleich gut montierbar sein. Dies ist bei modernen Isolierungen schon gut gelungen.

Um also die sehr hohen Ansprüche an die Wärmeisolierung zu erreichen, sind grundsätzlich neue Technologien und Werkstoffe erforderlich. Trotzdem soll das Maß an Handhabbarkeit, physiologische Unbedenklichkeit und ökologische Entsorgungsmöglichkeit gewahrt bleiben.

Die Zielerreichung soll zu einer neuartigen Generation von Speicherisolierung, mit bis zu 30 Prozent verminderten Wärmeverlusten führen. Dadurch resultiert ein Isoliermaterial, das die mechanischen Vorteile (Weichheit, Elastizität, Relaxationsfähigkeit bei gleichzeitig ausreichender Stabilität) von bisher bewährten Vliesstrukturen mit den sehr hohen Dämmeigenschaften der Hochleistungsisolatoren vereint und in einer Isolierung mündet, die ausgezeichnete Dämmwerte bei gleichzeitig einfacher Handhabbarkeit bietet.

2.1 Schwerpunkte des Projektes

Im Rahmen des Projektes wurden einerseits neue Materialverbindungen auf Basis von Vliesen und deren wärmetechnischen Eigenschaften, andererseits die wärmetechnischen Eigenschaften des eingesetzten Referenzmaterials erforscht. Generelles Ziel war es, die bis dato vorliegenden Speicherenergieverluste entscheidend zu senken. Im Speziellen sollten die Forschungsergebnisse zu neuen, modernen Speicherisolierungen führen, die neben den gestellten technischen Anforderungen auch den ökonomischen Aspekten genügen.

1. Erforschung der wärmetechnischen Eigenschaften in Vliesisolierungen

Ziel war hierbei die Erforschung der dominanten Wärmemechanismen in einer Referenz-Vliesisolierung um die für den Wärmeverlust verantwortlichen Parameter zu filtern, wobei durch Optimierung dieser Größen insgesamt eine Reduzierung der Wärmeleiteigenschaften erreicht werden sollte. Das daraus resultierende Produkt stellt gleichzeitig die Basis für die folgenden Forschungsarbeiten dar.

2. Weiterentwicklung von Hochleistungsisolatoren

Bei der Referenz-Isolierung handelt es sich um lose, im Verbund ungerichtet angeordnete, verknäulte und annähernd runde Fäden aus definiertem Material, mit ebenso definierter Feinheit und Schnittlänge, deren stabiler Zusammenhalt mittels Schmelzfasern gewährleistet wird. Durch die unregelmäßige Anordnung der Fasern in der Isolierung findet eine anisotrope Wärmeleitung statt.

Bislang wurden mit derartigen Materialien in Abhängigkeit der Temperatur Wärmeleitkoeffizienten von 38 – 41 [mW/ m²K] erreicht.

Für die Qualität der Isolierung ist jedoch neben einem geringen Wärmeleitkoeffizient vor allem auch die Fähigkeit wesentlich, am Speichermantel durchgehend und dicht anzuliegen, sodass Kanäle vermieden werden, in denen Konvektion von erhitzter Luft stattfinden kann.

Durch die elastische Eigenschaft der Referenz-Isolierung wird eine sehr gute Passform am Speicher erreicht, die in Verbindung mit seiner hoher Relaxationsfähigkeit auch nach erfolgter Kompression bzw. Überdehnung, vollständig in ihre Ausgangslage zurückkehrt. So ist gewährleistet, dass die Isolierung auch danach dicht am Speichermantel anliegt. Mit derartigen Isolierungen können Abstrahlwerte im Bereich von 3,4-3,6 kWh/24 h erreicht werden (Stand 2012).

Der dem Forschungsvorhaben zugrundeliegende Gedanke war daher, die Erreichung eines niedrigen Wärmeleitkoeffizienten unter Erhaltung der mechanischen Eigenschaften der Referenz-Isolierung.

Dafür sollten Materialien, mit weitaus niedrigeren Wärmeleitkoeffizienten als die Referenz-Isolierung zum Einsatz kommen.

2.2 Aufbau der Arbeit

Die Umsetzung des Forschungsprojektes erfolgte gemäß folgenden Schritten:

1. Theoretische Vorarbeiten

Im ersten Schritt wurden die theoretischen Grundlagen von Vliesstrukturen, (Aufbau, Einsatzmöglichkeiten, Eigenschaften, Umweltaspekte) erarbeitet.

Mittels Literaturrecherchen und Auswertung aller bisher in diesem Zusammenhang vorhandenen Arbeiten und Daten, Patentrecherchen, Materialscreening und Kontakten zu universitären Einrichtungen wurden relevante Materialien ermittelt.

Es wurde auch dabei geachtet, ob bzw. in wie weit diese Materialien auch in anderen Branchen z.B. Bauindustrie für Hausdämmungen einsetzbar sind.

2. Experimentelle Untersuchung der Wärmetransportvorgänge in Vliesisolierungen

An Hand der theoretischen Modelle erfolgte die experimentelle Bestimmung der Anteile Leitung, Konvektion und Strahlung in der Referenz-Vliesmatrix.

Die einzelnen Wärmetransportvorgänge werden durch spezifische Produktionsparameter beeinflusst. Entsprechend dem dominanten Wärmetransportvorgang wurde durch Variation des beeinflussenden Produktionsparameters der Gesamtwärmeverlust verändert. Es wurden Versuchsmuster mit variiertem Produktionsparameter hergestellt und die damit erreichten Wärmeverluste unter Verwendung eines Referenzspeichers ermittelt.

3. Experimentelle Untersuchung der Faserparameter

Es erfolgte eine Filterung von Faserstrukturen die innerhalb einer Vliesisolierung eine Verbesserung der Wärmedämmeigenschaft zur Folge hatten. Diese bildeten die Basis für die Generierung einer gegenüber dem Referenzmuster verbesserten Isolierung.

Die Ausbildung der Faserstrukturen (räumliche Beschaffenheit, Oberflächenstruktur, geometrische Ausdehnung und Form, Anordnung der Fasern udgl.) waren wesentliche Faktoren die auf den Wärmetransportvorgang Einfluss hatten. Entsprechend der gewonnenen Erkenntnisse ließen sich gewisse bevorzugte Faserformen ableiten, die die Wärmedämmeigenschaft der Isolierung günstig beeinflussen. Zunächst wurden im Rahmen der theoretischen Vorarbeiten die Art der Faserstrukturen und deren Eigenschaften bestimmt. Anhand der dominierenden Wärmetransportvorgänge wurden die in Frage kommenden Strukturen ausgewählt.

4. Theoretische Vorarbeiten zum Thema Hochleistungsisolatoren

Es wurden die theoretischen Grundlagen von Hochleistungsisolatoren (Aufbau deren Einsatzmöglichkeiten, Eigenschaften, Umweltaspekte) und eine theoretische Basis für die praktische Projektumsetzung hinsichtlich bestehender Produkte am Markt sowie der vorliegenden Patentsituation erarbeitet.

Durch theoretische Vorstudien (Analyse von mechanischen und wärmetechnischen Eigenschaften...) wurde eine Auswahl von geeigneten Hochleistungsisolatoren getroffen, die in weiterer Folge praktisch untersucht wurden.

5. Experimentelle Untersuchungen

Auf Basis der theoretischen Vorarbeiten wurden permanent stabile Verbindungen erforscht.

Untersucht wurden verschiedene Kombinationsmöglichkeiten, Einsatzmöglichkeiten aber auch das langfristige Verhalten des Konglomerats, mit anschließender experimenteller Verifizierung.

6. Theoretische und praktische Untersuchung von Gasen als Isolatoren

Es erfolgte zunächst eine Identifikation von Gasen mit permanent konstanten wärmetechnischen Eigenschaften die aufwandsneutral eingesetzt werden konnten, sowie die Untersuchung und Entwicklung konstruktiver Lösungsmöglichkeiten der entsprechenden Isolierungen.

Durch theoretische Vorstudien (Analyse von wärmetechnischen Eigenschaften...) wurde eine Auswahl von geeigneten Gasen getroffen. Im Rahmen der praktischen Forschungsarbeiten wurden Verfahren zur technischen Umsetzung als Isolationsmedium erarbeitet, des Weiteren die konstruktiven Formen der Isolationshüllen entworfen.

7. Nachbetrachtung und Optimierungsprozesse

Die im Rahmen der vorigen Punkte erzielten Ergebnisse wurden in diesem Punkt analysiert und entsprechend weiter erforscht.

2.3 Einordnung in das Programm:

Das Projekt behandelt prioritär:

Schwerpunkt: Themenfeld 4, „Speicher“

Subschwerpunkt: Punkt 4.4, Thermische Speicher

Begründung: Im Rahmen des gegenwärtigen Projektes werden neuartige Materialien erforscht, welche sich von den bis dato realisierten Materialisolierkonzepten dadurch unterscheiden, indem es sich nicht um eine schichtweise Anordnung von Einzelmaterialien handelt, sondern um einen homogen aufgebauten, einheitlichen Materialverbund von neuen Isolationsmaterialien. Dies erfordert sowohl neue konstruktive Ansätze als auch neue Konzepte sowohl in der Gestaltung und Ausführung der Isolierung als auch im Bau des gesamten Isolationsverbundes. So zum Beispiel ist eine völlige Neukonzeption der Isolierhülle bei der Verwendung von Gasen notwendig um eine dauerhafte Isolation derselben erreichen zu können.

3 Inhaltliche Darstellung

3.1 Erforschung der wärmetechnischen Eigenschaften von Faservliese

3.1.1 Allgemeines

Ausgehend von den bekannten Beschreibungen der Wärmetransportvorgänge in porösen Materialien, als welche die zugrundeliegende Referenz-Isolierung interpretiert werden kann, wurden im ersten Teil des Projektes die direkten Zusammenhänge der vorherrschenden dominanten Wärmetransportvorgänge in der Vliesmatrix mit den materialspezifischen Vlies-Parameter experimentell untersucht, um daraus jene Einflussgrößen detektieren zu können, durch deren Manipulation unter Berücksichtigung der gegebenen produktionstechnischen Möglichkeiten eine signifikante Einflussnahme auf die Wärmetransportgeschehnisse in der Isolation erreichen werden können.

Der Wärmetransport bei Vliesisolierungen lässt sich allgemein wie folgt definieren:

- Wärmetransportvorgänge innerhalb eines Faservlieswerkstoffes
- Wärmetransport in der Grenzschicht zwischen Faserstoff und Speichermantel

3.1.2 Wärmetransportvorgänge innerhalb eines Faservlieswerkstoffes

- **Wärmeleitung**
 - Festkörperwärmeleitung in den Faserstoffen
 - Wärmeleitung innerhalb des sich in den Faserzwischenräumen befindlichen gasförmigen Mediums
- **Konvektion**
 - Konvektion durch frei strömendes Gasmedien
- **Strahlung**
 - Festkörperstrahlung an den Faseroberflächen
 - Gasstrahlung

Diese Wärmetransportkomponenten lassen sich auch in Form von anteiligen Wärmeleitkoeffizienten formulieren, wobei deren Summe zu einem Gesamtwärmeleitkoeffizienten λ führt, der somit als solcher die im Faservlies stattfindenden Wärmetransportmechanismen umfasst.

Es gilt somit:

$$\lambda = \lambda_L + \lambda_S + \lambda_K + \lambda_G \quad [\text{Glg. 1}]$$

λ_L ... Leitung im Festkörpergerüst

λ_S ... Strahlung

λ_K ... Konvektion,

λ_G ... Gasleitung

Es ist evident, dass freie Konvektion in Faserschichten mit Dichten im Bereich von 5 – 50 kg/m³ [1], die einen überwiegenden Volumenanteil von Luft aufweisen, unterbunden ist [2]. Dagegen stellt der diffusive Transport von Wärme über die enthaltene Luft einen wesentlichen Beitrag zum Wärmestrom durch das Material dar [3]. Bei Dicken über 20 mm kann zudem davon ausgegangen werden, dass ein direkter Strahlungsaustausch durch die Faserschicht hindurch unterbunden wird, und der Strahlungstransport diffusiven Charakter hat. Diese kann mit der entsprechenden Strahlungsleitfähigkeit λ_{SL} beschrieben werden. Damit kann man in guter Näherung den Gesamtleitkoeffizienten folgendermaßen angeben [1]:

$$\lambda = \lambda_L + \lambda_{SL} + \lambda_G \quad [\text{Glg. 2}]$$

Hinsichtlich der Dichte als Variationsparameter kann die Luftleitfähigkeit ($\lambda_G(20^\circ\text{C}) = 0,0264$) wegen der geringen zugrundeliegenden Materialdicke bei konstanter Temperatur als konstant angesehen werden, wohingegen jedoch die beiden anderen Parameter davon beeinflusst werden. Geht man zunächst von einem konstanten Grundmaterial, sowohl in Struktur und Material aus und priorisiert aufgrund der Dominanz der Wärmetransportvorgänge [2] in Gleichung 2, so lässt sich feststellen, dass die Wärmeleitung zumeist von untergeordneter Bedeutung im Vergleich zur auftretenden Wärmestrahlung ist [1].

3.1.3 Abhängigkeiten des Strahlungsanteils

Grundsätzlich kann der in Form des Wärmeleitkoeffizienten formulierte Strahlungsanteil bei optisch dicken Vliesen (mit kleineren freien Weglängen als die Vliesdicke) angegeben werden [4, 5]:

$$\lambda_S = \frac{16}{3} * \frac{n^2 * \sigma * \theta^3}{E} \quad [\text{Glg. 3}]$$

n ... Brechungsindex ≈ 1 ,

σ ... Stefan Boltzmann Konstante $= 5,67 * 10^{-8} \text{ [W/(m}^2 \text{ K}^4\text{)]}$,

θ ... absolute Temperatur [K],

E...Extinktionskoeffizient $= \rho * e$

Herbei beschreibt der Extinktionskoeffizient E die Abschwächung der Wärmestrahlung beim Durchgang durch das Material, wobei weiters gilt:

$$E = \rho * e \quad [\text{Glg. 4}]$$

Mit ρ [kg/m³] als Materialdichte und e [m²/kg] als spezifische Extinktion.

Gleichung 3 muss im Falle optisch nicht dicker Vliese ($D < 10$ mm) folgendermaßen

$$E' = E + \frac{4}{3 * D} \quad [\text{Glg. 5}]$$

ergänzt werden [4,5].

- Spezifische Extinktion

Die spezifische Extinktion ergibt sich durch die chemische Zusammensetzung des Materials und beschreibt die Abschwächung der Wärmestrahlung in einem dispersen Material aufgrund von Absorptions- und Streuprozessen. Bild 1 zeigt die Abhängigkeit der Gesamtleitfähigkeit von der Dichte unter Variation der spezifischen Extinktion:

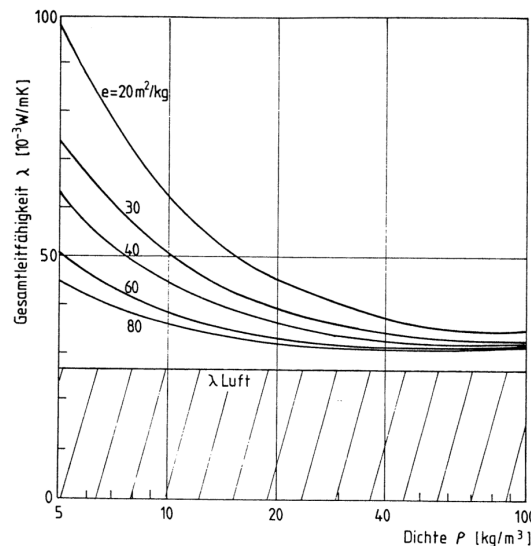


Bild 1: Gesamtleitfähigkeit eines optisch dicken Vlieses als Funktion der Dichte.

Der variable Parameter ist die spezifische Extinction e , die die Abschwächung der Wärmestrahlung beschreibt [6]. Im unteren Bereich ist die Wärmeleitfähigkeit von Luft bei 20 °C als Sockel dargestellt. [1]

Praktisch wird die spezifische Extinktion experimentell mittels FTIR Spektroskopie bestimmt. Theoretisch kann die Bestimmung für ideale Geometrien mit einer speziellen Lösung der Maxwell Gleichungen (Mie-Theorie) erreicht werden [7]. Durch die Mie-Theorie sind folgende weiteren Zusammenhänge zwischen Vliesparametern und der spezifischen Extinktion anzuführen [1]:

- a) die chemische Zusammensetzung des Fasermaterials
- b) der Vliesdichte
- c) den Faserdurchmesser
- d) die Faserlänge
- e) die Anordnung der Fasern
- f) Fasern mit Additiven

Ad a) Chemische Zusammensetzung des Fasermaterials

Organische Fasern aus Polyester, Polypropylen, Polyäthylen oder Keratin (in Daunen, Federn) weisen unterschiedliche Brechungsindexe auf, die Streuungs- und Absorptionsvorgänge und damit letztlich die Extinktion unterschiedlich beeinflussen. So ergibt sich beispielsweise für Polyester (PES) eine höhere spezifische Extinktion als für Polypropylen (PP) oder Polyethylenfasern (PE).

Ad b) Vliesdichte

Die Strahlungsschwächung infolge der Vliesdichte resultiert aus den damit verbundenen Absorptions- und Streuvorgängen durch die vermehrte Präsenz von Feststoff. Die Variation der Vliesdichte kann dabei über die Flächendichte bei konstanter Dicke oder durch Veränderung der Vliesdicke bei konstantem Flächengewicht erreicht werden. Allerdings sind dahingehend aufgrund produktionstechnischer Restriktionen und durch die mit zunehmender Vliesdichte einhergehende Zunahme der Steifigkeit, das sich letztlich auf die Verformbarkeit und damit auf die Montagefreundlichkeit des Vlieses bei Verwendung als Speicherisolierung auswirkt, Grenzen gesetzt.

Ad c) Faserdurchmesser

In Abhängigkeit des Materials liegt das Maximum der spezifischen Extinktion für Wärmestrahlung bei Raumtemperatur je nach Faseranordnung zumeist bei Faserdurchmesser zwischen 1 und 6 μm . Für Polyester beispielsweise lässt sich der Bereich auf einen Durchmesser von 5-6 μm einschränken, wobei eine spezifische Extinktion von nahezu 100 [m^2/kg] erreicht wird. Dieser Wert liegt innerhalb des empfohlenen Bereiches von 50 – 170 [m^2/kg].

Ad d) Faserlänge

Grundsätzlich können kurze Fasern in Abhängigkeit der Anordnung und Vliesdichte eine stärkere Abschwächung der Strahlung aufgrund von erhöhten Absorptions- und Streuvorgängen bewirken. Wesentlich ist auch, dass bei kurzen Fasern höhere Vliesdichten unter gleichzeitigem Erhalt der Duktilität möglich werden.

Ad e) Anordnung der Fasern

Untersuchungen zeigten, dass eine vollständige Ausrichtung der Fasern senkrecht zur Wärmestromrichtung zu bevorzugen ist, wobei zufällig angeordnete Fasern sogar um bis zu 30% niedrigere Extinktionen erreichen.

Ad f) Zusätzliche Maßnahmen

Zusätzlich zu den beschriebenen Einflussparametern können weitere Maßnahmen ein Verbesserungspotential hinsichtlich der Strahlungsabschwächung ergeben. So werden vereinzelt metallische Beschichtungen der Fasern oder zusätzliche reflektierende Folien eingesetzt. Speziell in Verbindung mit sehr kleinen Faserdurchmessern können Beschichtungen (z.B. Al-Beschichtung) hohe Extinktionen bewirken.

3.1.4 Wärmetransport in der Grenzschicht zwischen Faserstoff und Speichermantel

Für die Qualität der Isolierung ist neben einem geringen Wärmeleitkoeffizient des Vliesmaterials vor allem auch die Fähigkeit maßgebend, am Speichermantel durchgehend und kompakt anzuliegen, sodass Kanäle vermieden werden, in denen Konvektion von warmer Luft stattfinden kann. Dies setzt weiche, elastische Eigenschaften voraus. Das Anliegeverhalten muss dabei auch nach erfolgter Kompression, wie es beispielsweise im Zuge der Montage der Isolierung eintreten kann, gewährleistet sein. Dies bedingt wiederum ein hohes Relaxationsvermögen des Vliesmaterials.

3.2 Erforschung der dominanten Wärmetransportmechanismen in Vliesisolierungen

Für die Untersuchungen wurde ein Wärmeleitmessgerät des Typs „HFM436/3/1E“ der Firma „Netzsch“ verwendet. Das Gerät weist einen Messbereich von ca. 0.002 bis 1.0 [W/(m·K)], bei einem einstellbaren Temperaturbereich von –20 und +80 [°C] auf. Die möglichen Probendicken liegen zwischen 5 und 100 [mm] bei einer variablen Plattenanpresskraft von bis zu 62 [N].

Die Beheizung kann wahlweise an der oberen oder unteren Platte erfolgen, wodurch die Wärmestromrichtung entweder nach unten oder oben gerichtet ist.

3.2.1 Experimentelle Untersuchungen

Die Versuchsreihen erfolgten anhand von Mustern des Referenz-Vlieses. Die Bestimmung des Gesamtwärmeleitkoeffizienten erfolgte bei Temperaturen, gestuft von 20°C bis 60°C und erstreckten sich über einen Vliesdickenbereich von der Ausgangsstärke des Materials bis hin zur durch die Presskraft des Wärmeleitmessgerätes begrenzten, minimal einstellbaren Dicke von 10,5 mm. Dadurch konnte bei gleichbleibender Flächendichte die Raumdichte des Vlieses variiert werden. Zusammen mit der Änderung der Betriebstemperatur und der Beheizungsrichtung wurde es möglich, einzelne Wärmetransportkomponenten zu filtern.

Bild 1 zeigt den temperaturabhängigen Verlauf des Gesamtwärmeleitkoeffizienten des Referenzvlieses bei verschiedenen Probendicken.

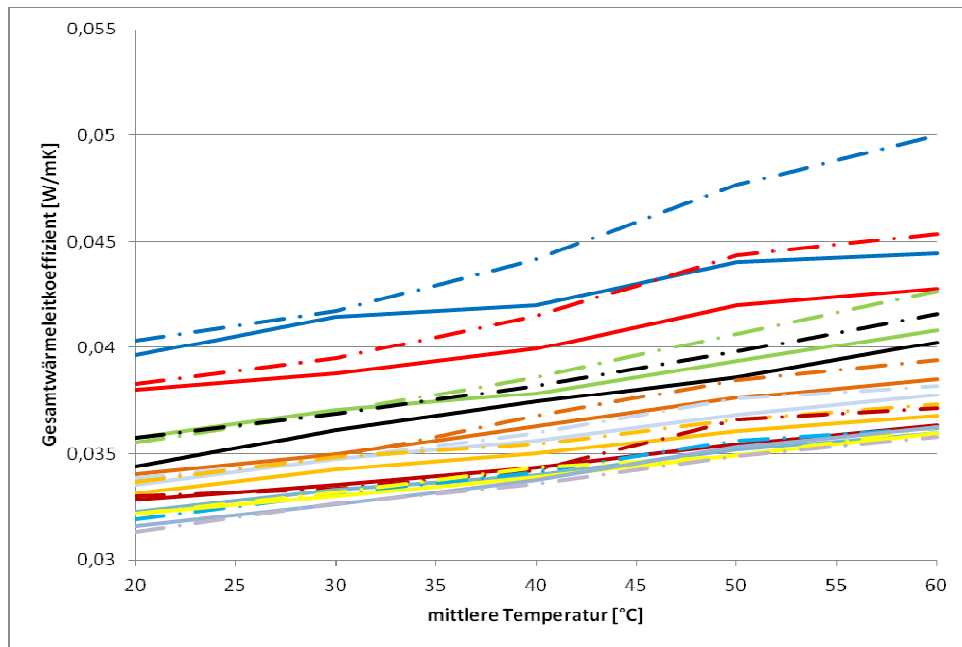


Bild 2: Temperaturabhängiger Verlauf des Gesamtwärmeleitkoeffizienten bei verschiedenen Probendicken bei Beheizung oben (BHO) und unten (BHU)

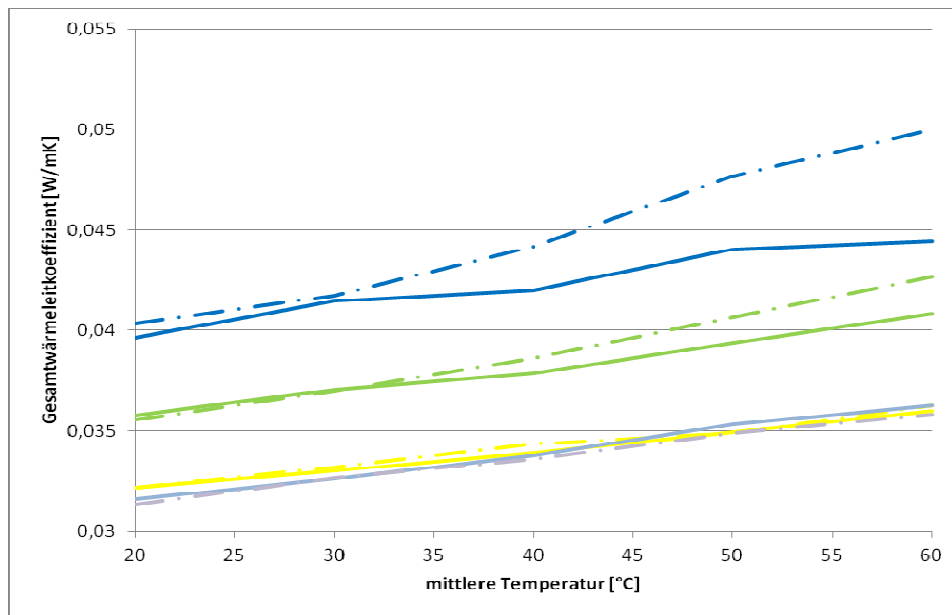


Bild 3: Temperaturabhängiger Verlauf des Gesamtwärmeleitkoeffizienten bei Beheizung oben (BHO) und Beheizung unten (BHU) bei Ausgangs(Raum)dichte der Referenzprobe (blaue Linie), bei 60 % und bei 15 % der Ausgangsdichte (gelb) und 10 %.

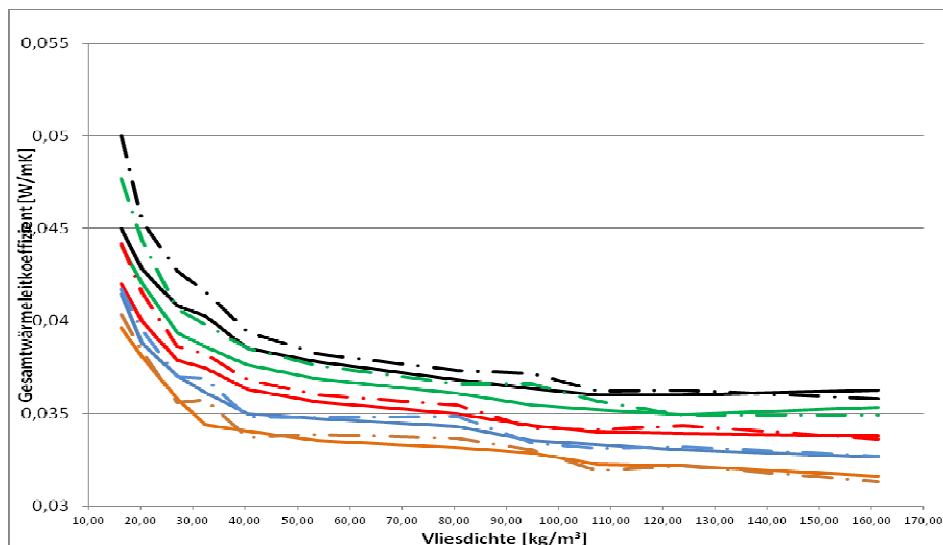


Bild 4: Dichteabhängiger Verlauf des Gesamtwärmeleitkoeffizienten bei verschiedenen Temperaturen bei Beheizung oben (BHO) und unten (BHU).

3.2.2 Ergebnisse

Unter Zugrundelegung der festgelegten Parameter wurden verschiedenste Fasern in verschiedenen Varianten kombiniert und untersucht. **Bild 5** zeigt exemplarisch den temperaturabhängigen Verlauf der Gesamtwärmeleitkoeffizienten unterschiedlicher Faservlies Proben und der Referenzvariante mit den entsprechend gemessenen Abstrahlwerten der daraus gefertigten Großmuster (**Tabelle 1**).

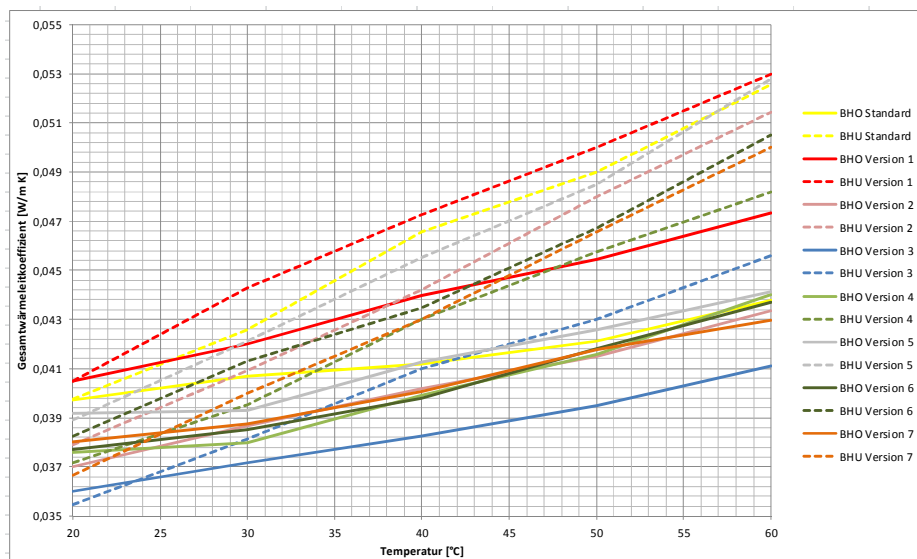


Bild 5: Gesamtwärmeleitkoeffizient der verschiedenen Faserkombinationen bei Beheizung von oben (BHO) und unten (BHU)

Bezeichnung	Wärmeverlust [kWh/24 h]
Referenz	3,40
Version 1	3,35
Version 2	3,05
Version 3	2,80
Version 4	3,20
Version 5	2,90
Version 6	2,82

Tabelle 1: Ermittelte Wärmeverluste [gemäß EN 12897:2006]

Im Rahmen der Untersuchungen konnten zwei unterschiedliche Faservarianten detektiert werden, die in weiterer Folge eingehender erforscht und analysiert wurden.

- Einerseits handelt es sich hierbei um Fasern die sich zum Referenz-Vlies hinsichtlich dem Material unterschieden, jedoch sonst völlig identisch aufgebaut waren. Diese wurden mit dem Referenzvlies in unterschiedlichen Anteilen vermischt und untersucht, wobei es gelang eine Variante zu definieren, mit der eine Reduktion der Abstrahlwerte um rund 15 % gelang.
- Andererseits wurde eine Faser ermittelt, die materialidentisch zum Referenzvlies war, sich jedoch wesentlich in geometrischer Hinsicht unterschied. Untersucht wurden dahingehend sowohl Reinvlies- als auch Mischvarianten unter gleichzeitiger Verwendung, neuartiger Schmelzfasern. Hierbei konnten Abstrahlwerte erreicht werden die rund 16 % niedriger lagen als die Referenzwerte. Zudem bietet der Einsatz dieser Fasern in verarbeitungstechnischer Hinsicht eine Verbesserung als die obige Variante.

3.3 Hochleistungsisolatoren

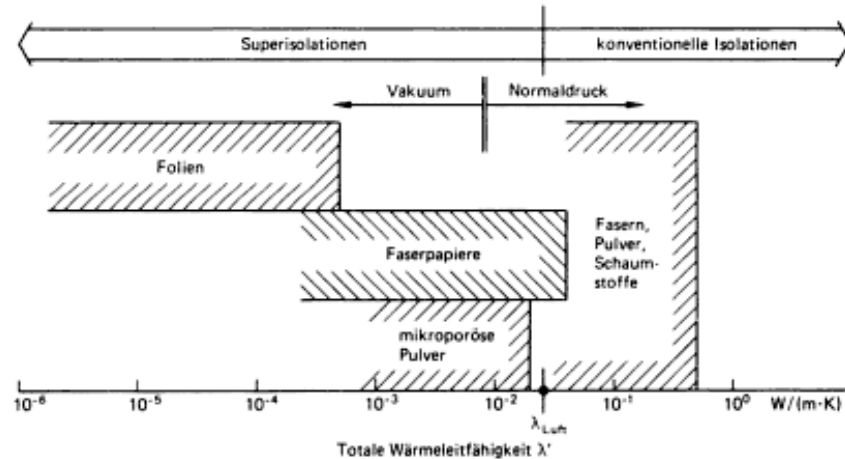


Bild 6: Übersicht über die mit Superisolatoren erreichten Wärmeleitfähigkeiten [8]

Superisolatoren sind Wärmeisolatoren, deren Gesamtwärmedurchlässigkeit deutlich geringer ist als diejenige der ruhenden Luft. Das kann zum Beispiel dadurch erreicht werden, indem feinkörnige Schüttungen evakuiert werden, und / oder durch evakuierte hochreflektierende Metallfolien.

Dadurch unterscheiden sie sich in ihren Isolationsverhalten wesentlich von den klassischen Isolatoren, bei denen die konvektiven Wärmeleitungsanteile der enthaltenen Gase auch im Mikrovolumsbereich eine wichtige Rolle spielen.

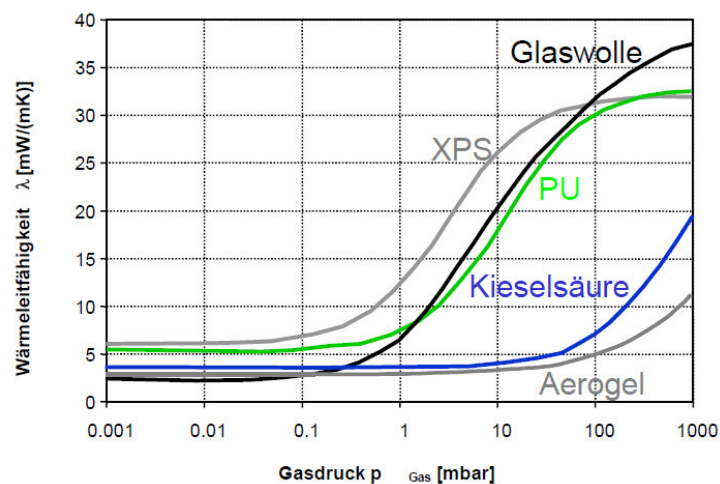


Bild 7: Wärmeleitfähigkeit verschiedener Isolatoren in Abhängigkeit des Gasdrucks [9]

Generell werden im Folgenden zwei Typen von Superisolatoren unterschieden [8]:

3.3.1 Diskontinuierlich aufgebaute Superisolatoren

Dazu gehören vor allem evakuierte, hochreflektierende Metallfolien, bereichsweise gestützte Isolierungen oder Dewardgefäße (Thermoskannen).

Der Gesamtwärmestrom wird durch Reduzierung der einzelnen Komponenten erreicht und zwar durch

- Evakuierung des Isolationsraumes auf Restgasdrücke unter 1 Pa
- Unterbindung von Feststoff-Wärmebrücken
- Verspiegelung der Innenwände

Hochreflektierende Metallfolien:

Die Folien bestehen aus Materialien wie Aluminium oder Nickel und sind optisch hochreflektierend ausgeführt, wobei zur Unterbindung von Metallkontakt sogenannte „Spacer“ eingesetzt werden. Als „Spacer“ kommen Glasseideeinlagen oder dünne Glasfaserpapiere zum Einsatz. Alternativ dazu finden auch metallbedampfte Kunststoff-Folien Anwendung.

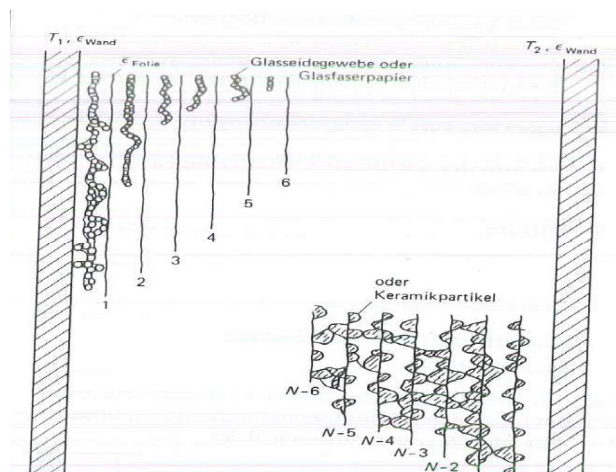


Bild 8: Metallfolien mit Spacern [8]

Da der Wärmeverluststrom steigt wenn die Folien mechanischen Druckbelastungen ausgesetzt sind, beispielsweise bei Wanddeformationen infolge des Evakuierungsvorganges, werden zur Folienversteifung häufig Stützelemente, beispielsweise dünne Keramikstifte oder Stützen aus mikroporösen Pulverisolationen, eingesetzt.

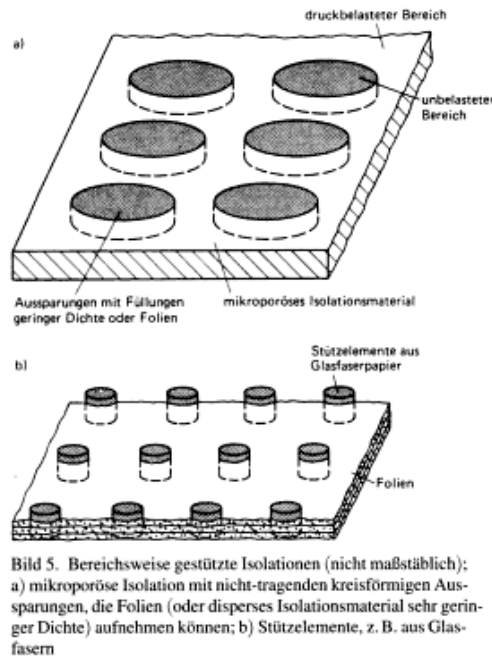


Bild 9: Bereichsweise gestützte Isolationen [8]

3.3.2 Kontinuierlich aufgebaute Superisolatoren

Dazu gehören evakuierte mikroporöse Pulver- und Faserisolierungen aber auch Schaumstoffe. Der Teilchendurchmesser oder der Hohlraum zwischen den Teilchen ist höchstens gleich der Wellenlänge der Wärmestrahlung ($1\text{--}500\text{ }\mu\text{m}$) die von der zu isolierenden Wärmequelle emittiert wird.

Die Wärmeleitfähigkeit der Luft ist eine bedeutende Komponente in üblichen, luftgefüllten Dämmstoffen. Wird die Luft entfernt, so wird die Wärmeübertragung durch Luftmoleküle ausgeschaltet. Übrig bleibt zum einen nur noch die Übertragung der Wärme durch Wärmestrahlung, die durch den Zusatz von speziellen Trübungsmitteln auf einen niedrigen Wert gebracht wird und zum anderen die geringe Wärmeleitfähigkeit des hochporösen Kernmaterials.

Basierend auf diese Ansätze sind folgende wesentlichen Vertreter anzuführen:

- a) Vakuum Isolations Paneele (VIP)
- b) Aerogele

3.3.2.1 Vakuum Isolations Paneele (VIP)

Vakuum Isolations Paneele (VIP) isolieren rund 8mal besser als Styropor (Polystrolschaum PS) oder 450mal besser als Beton.

Typische Einsatzbereiche sind bei Niedrigenergiehäusern Historische Gebäude (Innenisolation), Kühlfahrzeug, Kühlräume udgl. Bis zum Projektbeginn 2012 waren diese aufgrund ihrer starren Strukturen auf die Anwendung auf ebenen Flächen beschränkt.

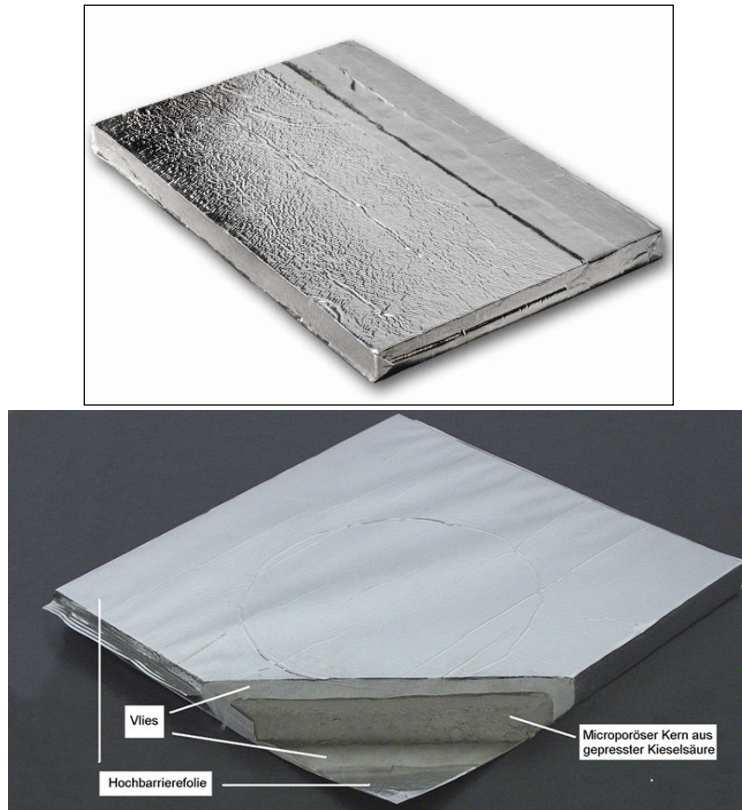


Bild 8: Vakuum Isolations Paneele (VIP) [<http://www.ikz.de/>]

Als Kernmaterial dienen offenporige, also evakuierbare Stoffe, wie beispielsweise feinkörnige Pulverplatten, speziell behandelte Glasfaservliese oder offenporige Kunststoffschäume.

Zunehmend eingesetzt wird als Kernmaterial Kieselsäure, da durch spezielle Herstellprozesse extrem feinkörnige Pulvermaterialien mit amorphen Strukturen erzeugt werden kann, die im gepressten Zustand Hohlräume in ihrer hochporösen Matrix aufweisen, die um den Faktor 20 bis 100 kleiner sind als bei anderen Materialien wie Perlitpulver Glasfasern oder organischen Schäumen.

Die Anforderungen an das Vakuum sind daher ebenfalls um den Faktor 20 bis 100 geringer. Man kann mit mikroporösen Kieselsäurepulvern zum Teil schon mit einem Grobvakuum von 10 bis 100 mbar eine sehr geringe Wärmeleitfähigkeit erreichen. Daher können auch spezielle metallisierte Hochbarrierefolien, die fast frei von Wärmebrücken sind, als Umhüllungen der mikroporösen Dämmkerne zur Anwendung kommen und bei typischen Durchlassraten

von 1-2 mbar pro Jahr den Druck auf lange Zeit auf Werten unter 100 mbar halten (der Anfangsdruck nach der Herstellung liegt gewöhnlich im Bereich von 1 mbar).

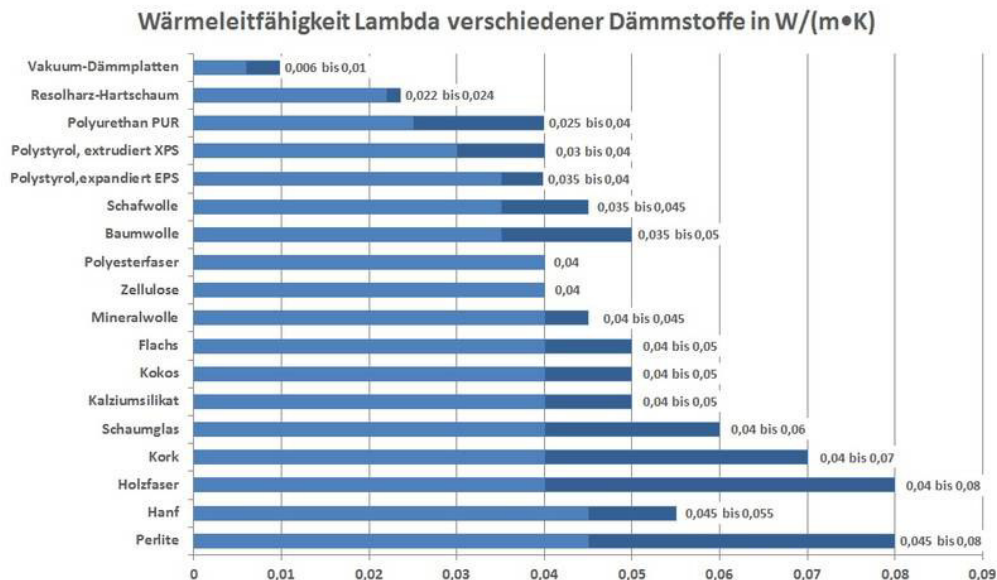


Bild 9: Wärmeleitkoeffizienten verschiedener Dämmstoffe [<http://www.dieeinsparinfos.de>]

3.3.2.2 Aerogele

Aerogele sind hochporöse Feststoffe, zumeist auf Silicat- in speziellen Fällen auf Kunststoff- oder Kohlenstoffbasis, mit einem 99,98 volumsprozentigem porösen Anteil. Die Porengröße liegt im Nanometerbereich und weisen außergewöhnlich große innere Oberflächen (bis 1000 m²/g) auf. Aerogel hat einen 2 - 8mal besseren Dämmwert, als traditionelle Dämmmaterialien. Dadurch ergeben sich mit einem Wärmeleitwert von 0.014 W/mk sehr gute Dämmwerte auf engstem Raum. Aerogel ist wasserdicht und nimmt keine Feuchtigkeit auf, ist aber diffusionsdurchlässig.



Bild 10: Aerogel [<http://www.buyaerogel.com>]

Aerogele werden hergestellt, indem ein Gel aus einem gallertartigem Stoff, meist Kieselsäure, unter extremen Bedingungen getrocknet wird.

Industriell werden Aerogele in Matten hergestellt und finden Verwendung als Kälte- und Wärmedämmungen für Wohn-, Gewerbe- und Industriebauten sowie als Hochtemperaturdämmungen.

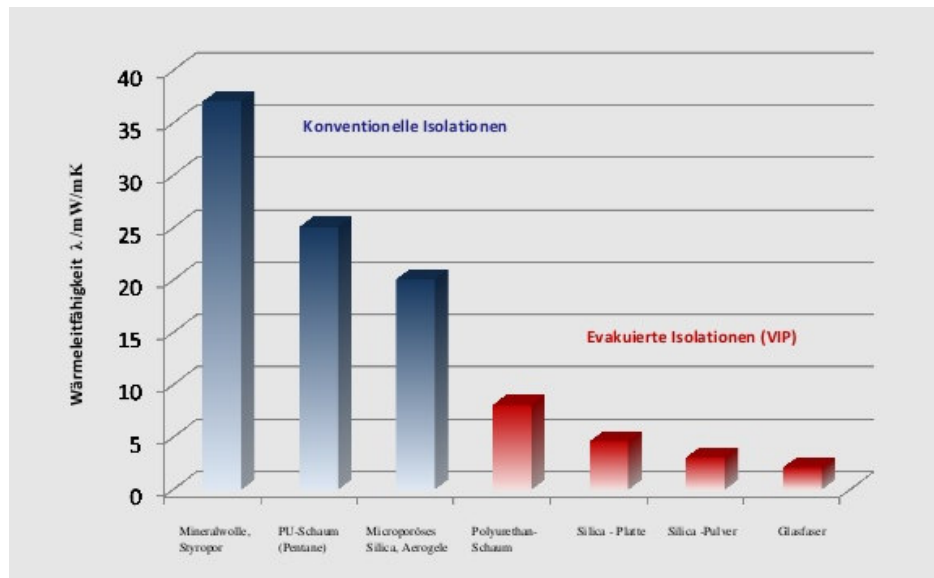


Bild 11: Wärmeleitkoeffizienten konventioneller im Vergleich zu evakuierte Isolationen [<http://de.slideshare.net>]

Sowohl die Kosten als auch die praktische Handhabung von Superisolatoren sind bis dato nicht praxisgerecht in Bezug auf Speicherisolierungen anzuwenden. Daher sollte im Rahmen dieses Projektabschnittes eine neue Generation von Isolierstoffen auf Basis von Superisoliationsstoffen und Faservliesen, die auch den mechanischen Anforderungen einer Speicherisolierung genügt und zugleich eine etwa 30%-ige Reduzierung der Wärmeenergieverluste ermöglicht, generiert werden.

3.3.3 Risiken

Die bis 2012 auf dem Markt befindlichen Hochleistungsisolierungen sind meistens wesentlich teurer oder schlechter handhabbar als die für Warmwasser-Speicher eingesetzten Materialien.

Sie sind entweder sehr spröde, reaktiv, giftig oder benötigen einen zusätzlichen Wartungs- und Abdichtungsaufwand wie zum Beispiel bei Vakuumisolierungen, bei denen die erforderlichen Drücke denen bei Fernsehröhren entsprechen. ($<10\text{mbar}_{\text{abs}}$) Solche Isolierungen müssten in regelmäßigen Abständen (z.B. 1 Jahr) neu evakuiert werden. Das ist nicht praxisgerecht und wirtschaftlich.

Andere Hochleistungsisolatoren (Superisolatoren) sind aufgrund ihrer mechanischen Eigenschaften in ihrer derzeitig vorliegenden geometrischen Formen nicht für die angestrebte Verwendung einsetzbar.

3.3.4 Ergebnisse

Im Rahmen der Forschungsarbeiten wurde eine Reihe von Konzepten von praxisgerecht einsetzbaren Speicherisolierungen auf Basis von Hochleistungsisolatoren erarbeitet und eingehend erforscht. Letztlich kristallisierten sich daraus zwei konkrete Varianten heraus, die dem formulierten Anforderungsprofil größtenteils entsprachen und mit denen im Zuge der Untersuchungen auch die besten Ergebnisse erzielt werden konnten. Vor allem hinsichtlich der Kosteneffizienz als auch der bisher ungenügenden mechanischen Eigenschaften, die dem Einsatz als Speicherisolierung bisher hinderlich war, konnten entscheidende Ergebnisse erzielt werden.

Inzwischen sind daneben noch weitere wesentliche Fragen wie

- Werkstoffqualität
- Einsatzbereich
- Wirkungsweise
- Gefahrenpotential
- produktionstechnische Herstellmöglichkeiten
- Spezifikation von Rezepturen
- Konfigurationen der Isolierungen udgl.

geklärt.

Beide Varianten wurden bei praxisrealen Bedingungen eingehend wärmetechnisch vermessen.

In der ersten Variante wurden mehrere Ausführungen unterschiedlich konfigurierter Isolierungen auf einem Referenzspeicher getestet, wobei bereits mit der Grundversion ein um 32 % niedrigerer Abstrahlwert gegenüber dem Referenzwert erreicht wurde.

Bei der zweiten Variante wiederum konnten zwei erfolgversprechende Materialstrukturen separiert werden, die beide über verschiedene Herstellprozesse in Isoliermuster übergeführt werden konnten. Mittlerweile sind für beide Strukturen bevorzugte Herstellprozesse festgelegt worden. Die wärmetechnischen Untersuchungen ergaben mit diesen Varianten einen Wärmeverlustwert der (in Abhängigkeit der Temperatur) um bis zu 32% unter dem Referenzwert lag.

4 Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Um die sehr hohen Ansprüche, die die Zielformulierung an die Projektergebnisse stellte zu erreichen, war der grundsätzlich Einsatz neuer Technologien und Werkstoffe notwendig, da durch eine explizite Änderungen an der Formulierung des Isolationswerkstoffes lediglich eine Senkung der Wärmeverluste um maximal ~10% zu erwarten waren. Trotzdem sollte aber auch das Maß an Handhabbarkeit, physiologische Unbedenklichkeit und ökologische Gesichtspunkte gewahrt bleiben.

Die innovativen Aspekte dieses Projektes umfassten somit die Erforschung eines Materials, dessen Eigenschaft über die notwendigen flexiblen, weichen Eigenschaften, die zur Unterbindung der konvektiven Wärmetransportanteile erforderlich sind und zugleich über extrem niedrige Wärmeleitkoeffizienten verfügt wodurch insgesamt eine signifikante Senkung der Wärmeverluste einher gehen sollte.

Im Rahmen des ersten Projektabschnitts gelang es, die gegenüber den dominierenden Wärmetransportvorgängen bestimmenden Vliesparameter zu definieren und gemäß diesen Vorgaben neue Faserstrukturen zu selektieren, aus denen zwei neue Vliesisolierungen generiert werden konnten, die gegenüber dem Referenzvlies eine Verbesserung der Abstrahlwerte um 15% erreichte.

Im zweiten und dritten Projektabschnitt war das Hauptaugenmerk auf die eigentliche Zielformulierung gerichtet. Demnach sollte die neu entworfene Isolierung einen um 30% im Vergleich zum Referenzwert geringeren Abstrahlwert erreichen und darüber hinaus die mechanischen Eigenschaften bewährter Vliesisolierungen aufweisen. Dazu wurden sogenannte Hochleistungsisolatoren erforscht.

Im Rahmen der Forschungsarbeiten wurde eine Reihe von Konzepten praxisgerecht einsetzbarer Speicherisolierungen auf Basis von Hochleistungsisolatoren erarbeitet. Dahingehend konnten zwei konkrete Varianten erforscht und weiterentwickelt werden. Die damit erzielbaren Abstrahlwerte liegen bei der ersten Version 32% unter dem der Referenzisolierung bei gleichzeitiger Erfüllung der restlichen Bedingungen des Anforderungsprofils.

Bei der zweiten Variante konnten zwei erfolgversprechende Materialstrukturen separiert werden, die beide bereits in Form von Musterisolierungen realisiert sind. Diese weisen eine um bis zu 32% niedrigeren Gesamtleitwärmekoeffizienten auf als der Referenzwert.

5 Ausblick und Empfehlungen

Die im Rahmen des Projektes gewonnenen Erkenntnisse und Ergebnisse dienen als Basis für zukünftige Generierung von Speichervliesisolierungen. Bereits jetzt sind Ergebnisse erfolgreich in laufende Isolierungsentwicklungsprojekte eingeflossen. Inwieweit und in welcher Form aber die Projektergebnisse nun in neue, erfolgreiche Produkte münden werden, wird trotz der Innovation nicht zuletzt auch durch den Preis bestimmt werden. Durch die momentan noch hohen Preise bei den Hochleistungsisolatoren wird ein wettbewerbsfähiges Produkt in dieser Hinsicht nur dann möglich werden, wenn es in weiteren Optimierungsprozessen gelingt, auch die ökonomischen Aspekte zufriedenstellend zu lösen.

6 Literaturverzeichnis

1	Ebert H.P., Drach V.: Thermische Optimierung belüfteter Dämmmaterialien auf Basis organischer Fasern, Bericht, 2006, 3-12
2	Farnworth, B: Mechanism of Heat Flow Trough Clothing Insulation, Textile Res. J.,12, 717-725 (1983)
3	Kaganer, M.G.: Thermal Insulation in Cryogenic Engineering, Translation by A. Moscona, Israel Program for Scientific Translations, IPST Cat. No. 2200, Jerusalem, 1969
4	Siegel, R., Howell, J.R.: Thermal radiation heat transfer, McGraw-Hill Kogakusha Ltd., Tokyo, 1972
5	Caps, R., Umbach, K.-H.: Optimierung der Wärmeisolation von Polyester-Vliesstoffen, Melliand Textilberichte 71, 440-445 (1990)
6	Caps, R.: Konstruktionsprinzipien für wärmeisolierende Textilschichten mit gutem Feuchtetransportvermögen in Abhängigkeit von den Tragebedingungen von Kleidung für niedrige Temperaturen. Schlussbericht zum AIF-Forschungsvorhaben Nr. 6647 (1989)
7	Holcombe, B.V., Stuart, I.M.: Method for Numerical Solution of Equations Describing Heat Transfer in Fibrous Bed, Journal of Thermal Insulation, 7, 214-227 (1984)
8	VDI Wärmeatlas, Berechnungsblätter für den Wärmeübergang, 9. Auflage, Springer Verlag, 2002, Kf 1-Kf17
9	Weinländer Helmut u. Hans-Peter Ebert: Energieeffiziente Gebäudehüllen: Neue Materialien und Komponenten, DPG Frühjahrstagung 2009
Weitere Quellen im Rahmen des Projektes Quellen	
	Stuart, I.M., Holcombe, B.V.:Heat Transfer through fiber beds by radiation with shading and conduction, Textile research journal, (1984)
	P. W. Gibson, C. Lee, F. Ko and D. Reneker: Application of Nanofiber Technology to Nonwoven Thermal Insulation, Journal of Engineered Fibers and Fabrics Volume 2, 2007.
	K. W. Oh, D. K. Kim and S. H. Kim: Ultra porous PET/Aerogel blanket for sound absorption and thermal insulation, Fibers and Polymers, Volume 10, 2009.
	V. Prevolnik, P. Kraner Zrim and T. Rijavec, Textile technological properties of laminated silica aerogel blanket, Contemporary Materials, 2014.
	G. J. Chul, "An aerogel manufacturing method by vacuum extraction, and the aerogel therfor, and aerogel non-woven fabric manufacturing method, and the aerogel non-woven fabric therfor, and the complex heat insulator using the aerogel non-woven fabric therfor". South Korea Patent KR20090065496, 1 June 2009.

IMPRESSUM

Verfasser

Frank Stocker
Austria Email AG
Austriastraße 6
8720 Knittelfeld
E-Mail: frstocker@austria-email.at
Web: www.austria-email.at

Eigentümer, Herausgeber und Medieninhaber

Klima- und Energiefonds
Gumpendorfer Straße 5/22
1060 Wien
E-Mail: office@klimafonds.gv.at
Web: www.klimafonds.gv.at

Disclaimer

Die Autoren tragen die alleinige Verantwortung für den Inhalt dieses Berichts. Er spiegelt nicht notwendigerweise die Meinung des Klima- und Energiefonds wider.

Weder der Klima- und Energiefonds noch die Forschungsförderungsgesellschaft (FFG) sind für die Weiternutzung der hier enthaltenen Informationen verantwortlich.

Gestaltung des Deckblattes

ZS communication + art GmbH