

# Funktionsmaterialien für Wärmedämmung

Hans-Peter Ebert

Bayerisches Zentrum für Angewandte Energieforschung e.V.,

Abt. Funktionsmaterialien der Energietechnik,

Am Hubland, 97074 Würzburg, ebert@zae.uni-wuerzburg.de

In zahlreichen technischen und nicht-technischen Bereichen werden Wärmedämmungen zum Schutz vor zu großer Wärme oder Kälte eingesetzt. Die Einsatzbereiche erstrecken sich dabei beispielsweise von Wärmedämmschichten in Textilien, über den Wärmeschutz von Gebäuden bis hin zu technischen Wärmedämmungen in Geräten, Anlagen und Fahrzeugen. Je nach Anwendung werden an das Wärmedämmsystem spezifische Anforderungen, z.B. hinsichtlich Dämmeffizienz oder Einsatztemperaturbereich, gefordert. Funktionelle Materialien eröffnen dabei die Chance, effizientere Wärmedämmsysteme zu realisieren.

Allgemein findet der Wärmetransport in porösen Materialien, aus denen im Allgemeinen Dämmstoffe bestehen, durch Wärmeleitung über das Festkörpergerüst, durch Wärmetransport in der Gasphase und durch Wärmestrahlungstransport statt [1]. Letzterer kann durch den Einsatz von so genannten Infrarot-Trübungsmitteln reduziert werden. IR-Trübungsmittel stellen heutzutage maßgeschneiderte Pulversysteme beispielsweise aus infrarot-aktiven Oxiden oder Carbiden dar, die effizient Wärmestrahlung im Dämmsystem streuen oder absorbieren (s. Abbildung 1).

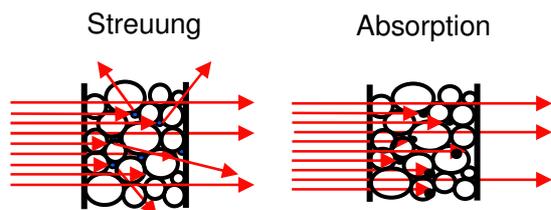


Abbildung 1: Homogen in Wärmedämmmaterialien verteilte IR-Trübungsmittel können Wärmestrahlung durch Streu- und Absorptionsprozesse reduzieren.

Die materialspezifische Größe der spezifischen Extinktion ist ein Maß für die Effizienz von IR-Trübungsmitteln. Diese spektrale Größe entspricht im Wesentlichen dem massenbezogenen Wirkungsquerschnitt der IR-aktiven Teilchen für Wärmestrahlung entsprechender Wellenlänge. Die Wirkungsweise lässt sich an Hand eines mit Siliziumcarbid-Pulver getrübbten Silica-Pulver erläutern (siehe Abbildung 2). Das hier gezeigte Silica-Pulver, eine Fällungskieselsäure, hat zwar eine geringe Festkörperwärmeleitfähigkeit, aber man erkennt aus dem dargestellten Infrarotspektrum der spezifischen Extinktion, dass diese für Wellenlängen kleiner 8  $\mu\text{m}$  nur sehr gering ausfällt. Damit kann in diesem Wellen-

bereich, der mit zunehmenden Einsatztemperaturen für die Wärmedämmung immer mehr zum Tragen kommt, Wärmestrahlung nahezu ungehindert durch das Silica-Pulver dringen. Die ansonsten guten Wärmedämmeigenschaften verschlechtern sich deshalb mit zunehmender Temperatur damit zunehmend. Das ausgewählte IR-Trübungsmittel, SiC, zeigt gerade bei kleinen Wellenlängen eine sehr hohe spezifische Extinktion und kann somit durch Beimischung die Gesamttextinktion einer Silica-SiC-Pulvermischung erhöhen. Damit werden auch bei hohen Einsatztemperaturen eine effiziente Reduzierung des Wärmestrahlungstransports und eine geringe Gesamtwärmeleitfähigkeit für das nun IR-getrübbte Silica-Pulver ermöglicht.

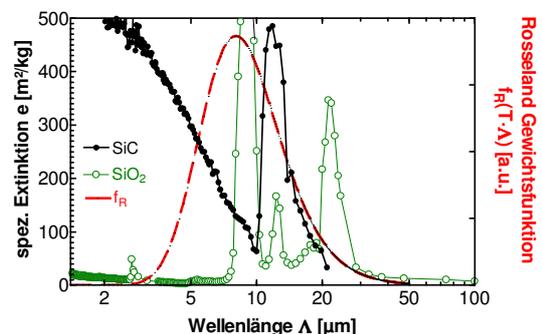


Abbildung 2: Spektrale spezifische Extinktion eines  $\text{SiO}_2$ -Pulvers, welches als Dämmmaterial eingesetzt wird, und eines SiC-Pulvers, das als IR-Trübungsmittel wirkt. Zusätzlich eingezeichnet ist spektrale Verteilung der Nettostrahlungsstroms (Rosseland-Gewichtsfunktion) für eine Strahlungsmitteltemperatur von 300 K. Mit zunehmender Temperatur verschiebt sich diese Funktion zu kürzeren Wellenlängen.

Eine besondere Klasse von Wärmedämmmaterialien bilden Aerogele, die über einen Sol-Gel Prozess maßgeschneidert hergestellt werden können. Aerogele bestehen aus einem nanostrukturierten drei-dimensionalen Netzwerk von Primärpartikeln und können Porositäten von über 95% erreichen. Aufgrund ihrer Struktur sind sie für Wärmedämmaufgaben besonders gut geeignet.

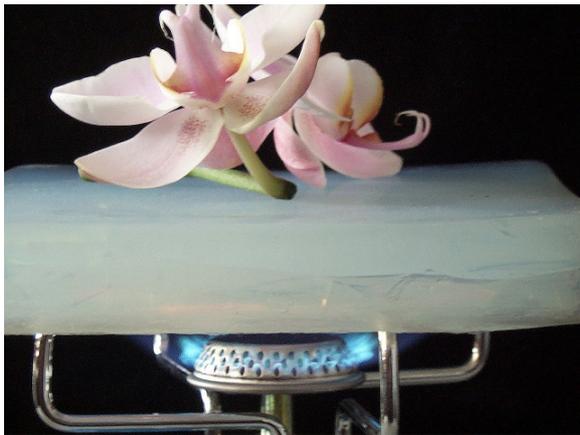


Abbildung 3: Silica Aerogel erweist sich auf Grund seiner nanoporösen Struktur als ein hervorragender Wärmedämmstoff.

Neben den bereits seit Jahrzehnten bekannten Silica-Aerogelen werden in jüngster Zeit auch Aerogele aus Kohlenstoff, so genannte Kohlenstoff-Aerogele zur Wärmedämmung entwickelt [3]. Zur Herstellung von Kohlenstoff-Aerogelen wird aus den Ausgangsreagenzien Resorcin und Formaldehyd ein organisches Nassgel dargestellt, das typischerweise nach einem Austausch der Porenflüssigkeit bei Normalbedingungen getrocknet wird. Das getrocknete Resorcin-Formaldehyd-Aerogel wird schließlich unter Sauerstoff-Ausschluss mittels eines Pyrolyse-Prozesses in ein Kohlenstoff-Aerogel umgewandelt. Durch die Wahl reiner Ausgangsreagenzien kann somit ein hochreines, hochporöses nanostrukturiertes Hochtemperatur-Wärmedämmmaterial synthetisiert werden. Dabei lassen sich Porengröße und Teilchengrößen durch geeignete Wahl der Prozessparameter in einem großen Parameterbereich variieren.

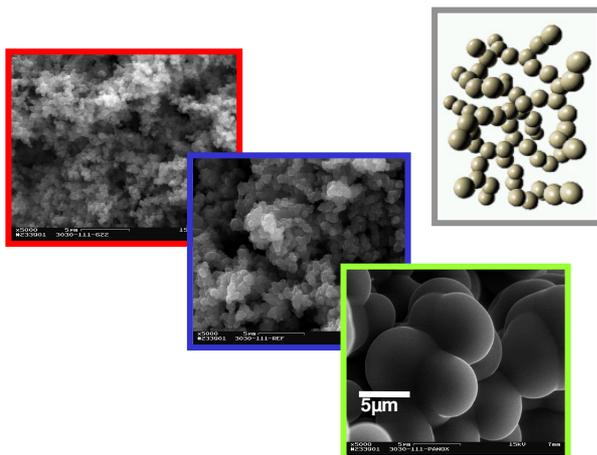


Abbildung 4: Durch Prozessvariation während der Herstellung dargestellte unterschiedliche Strukturen von Kohlenstoff-Aerogelen mit Poren < 500nm. Die REM-Bilder sind jeweils im gleichen Maßstab (weißer Balken entspricht 5  $\mu\text{m}$ ). Die Feinteiligkeit der Strukturen lässt sich bis in den Nanometerbereich hinein einstellen. Die Graphik im oberen rechten Teil des Bildes veranschaulicht schematisch die dreidimensionale Netzwerkstruktur dieser Aerogele.

Der Wärmetransport bei höheren Temperaturen ist bei Kohlenstoff-Aerogelen besonders gut unterdrückt. Das fein verzweigte Netzwerk mit seinen Verzweigungen und den vielen kettenartig vernetzten Primärpartikeln beschränkt stark den Wärmetransport über das Festkörpergerüst. Die Gaswärmeleitfähigkeit wird durch die geringen Porengrößen, welche unter 0,1  $\mu\text{m}$  liegen können, begrenzt. Schließlich ist Kohlenstoff ein ausgezeichneter IR-Absorber, so dass die bei höheren Temperaturen dominierende Wärmestrahlung effizient unterdrückt wird. Der Einfluss der Herstellungsparameter und der Umgebungsparameter auf die resultierende Wärmeleitfähigkeit wurde theoretisch und experimentell untersucht. Durch die Integration von Faser in Kohlenstoff-Aerogelen können zudem deren mechanische Eigenschaften deutlich verbessert werden.

Eine weitere Steigerung in der Funktionalität von Dämmsystemen kann durch die Integration neuer Techniken erreicht werden. Zukünftige Entwicklungen zielen daher verstärkt auf Systemlösungen ab. So kann eine Vakuumsuperisolation (VIP) durch Implementierung eines Wasserstoff speichernden Getters und einem Heizsystem in eine schaltbare Wärmedämmung umfunktioniert werden. Mit einer elektrischen Schaltleistung von ca. 5 W/m<sup>2</sup> VIP-Fläche kann man die Dämmung von einem Minimalwert der Wärmeleitfähigkeit von 0.005 W/(mK) auf 0.140 W/(mK) schalten. Diese Art der Dämmung eignet sich in hervorragender Weise dazu, Energieeinträge in ein gedämmtes System zu sammeln und nur bei Bedarf aus diesem System wieder zu entlassen. Passive Systeme werden zu aktiven und können somit für das thermische Management eingesetzt werden.

Auch in Zukunft wird durch neue Materialentwicklungen die Funktionalität von Wärmedämmmaterialien und -systemen kontinuierlich gesteigert werden können. Letztlich können hoch-effiziente Wärmedämmungen einen wesentlichen Beitrag zur Reduzierung unserer Energie und Umweltprobleme leisten.

## Literatur

- [1] VDI Wärmeatlas, VDI-Gesellschaft Verfahrenstechnik und Chemieingenieurwesen, Springer-Verlag, 8. Auflage, 1997, Heidelberg
- [2] R. Siegel und J.R. Howell, Thermal Radiation Heat Transfer, third edition, 1992, Washington
- [3] J. Fricke und R. Petricevic, Aerogels – Carbon Aerogels, Handbook of Porous Solids, F. Schüth, K. S. W. Sing und J. Weitkamp, Wiley VCH. 3: 2037-2062, 2002
- [4] M. Wiener, G. Reichenauer, F. Hemberger, H.-P. Ebert, Thermal conductivity of monolithic synthetic hard carbons as a function of pyrolysis temperature, International Journal of Thermophysics 27 (2006) 1826-1843