

**F O R S C H U N G S H E I M**  
**MITTEILUNGEN**  
**F Ü R W Ä R M E S C H U T Z**  
**E . V . M Ü N C H E N**

Reihe I. Allgemeine Fragen des Wärme- und Kälteschutzes

Nummer 1

**Die Wärmeleitfähigkeit einer geschichteten  
Aluminiumfolien-Mineralfaserisolierung**

von

Dipl.-Phys. W. F. CAMMERER

# Die Wärmeleitfähigkeit einer geschichteten Aluminiumfolien-Mineralfaserisolierung\*

Von Dipl.-Phys. W. F. Cammerer, Tutzing/Obb.

(Mitteilung aus dem Forschungsheim für Wärmeschutz e. V., München)

In der Wärme- und Kälteschutztechnik haben Isolierungen aus mineralischen Faserstoffen, wie Glas-, Gesteins- und Schlacken- bzw. Hüttenwolle in einem Temperaturbereich von etwa  $-200$  bis  $+650^{\circ}\text{C}$  große Bedeutung erlangt. Die ausgezeichnete wärme-lämmende Wirkung beruht auf den vielen kleinen, von dünnen Fasern gebildeten Lufträumen, in denen die Wärmeübertragung durch Strahlung und Konvektion stark vermindert wird und der Anteil der Wärmeleitung des verhältnismäßig gut leitenden Fasermaterials durch entsprechende Wahl der Faserstärke und Faserlagerung auf ein Mindestmaß verringert werden kann (1). Mineralische Faserstoffe, die sowohl als Stopfisolierungen mit kurzen Fasern als auch in zunehmendem Maße in Form von leichteren Matten aus längeren gerichteten Fasern Verwendung finden, haben sich gut bewährt. Die hervorragenden Laboratoriumsmeßwerte hinsichtlich einer niedrigen Wärmeleitfähigkeit sind aber in der Praxis nicht immer erreichbar. Bei dem Hauptanwendungsgebiet von Mineralfaserstoffen, nämlich der Isolierung von Ferndampf- und Kraftwerksleitungen, zeigt sich bei Nachmessungen der Wärmeleitfähigkeit

sehr häufig, daß Stopfisolierungen infolge von Ungleichmäßigkeiten in der Ausführung, besonders durch größere Hohlräume, wesentlich höhere Werte als diejenigen aufweisen können, die an Proben im Laboratorium ermittelt werden. Auch bei Matten-isolierungen, die an sich durch ihre fabrikmäßige Herstellung diesen Gefahren weniger ausgesetzt sind, läßt sich oft feststellen, daß durch unvollständige Ausfüllung des durch den Blechmantel vorgegebenen Raumes, aber auch durch Quetschfalten und andere Ungleichmäßigkeiten, erhebliche Erhöhungen der Betriebswärmeleitahlen auftreten.

Bild 1 zeigt neben den im Laboratorium gemessenen Kurven für die Temperaturabhängigkeit der Wärmeleitfähigkeit von Stopfungen und Matten aus langen und kurzen Mineralfasern Meßpunkte, die unter Verwendung des Schmidt'schen Wärme-flußmessers (2) in den letzten Jahren bei Garantienachmessungen ermittelt wurden (3). Man sieht sehr gute Meßwerte, da bei ein-

\*) Inhalt eines Vortrages anlässlich der Mitgliederversammlung des Forschungsheimes in München am 23. Januar 1959.

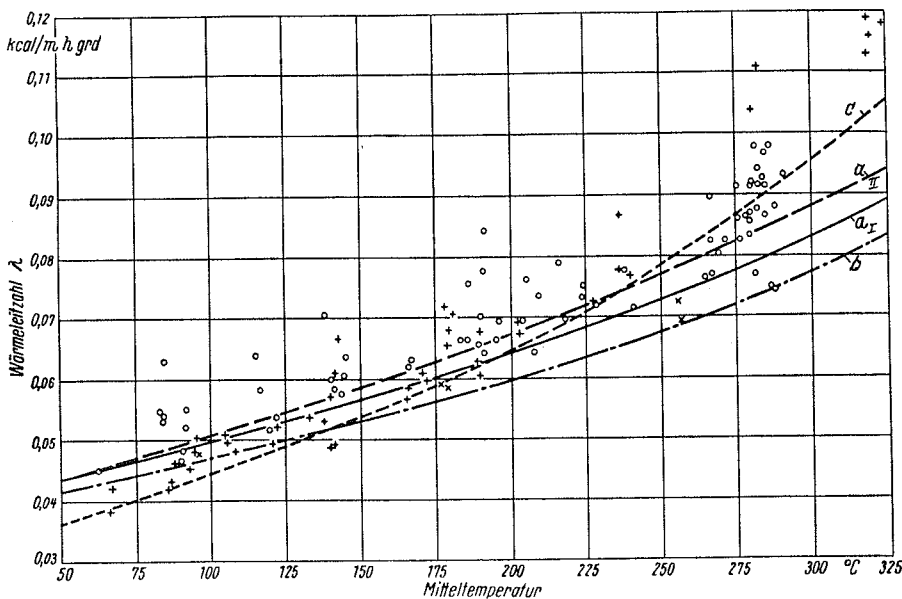


Bild 1. Wärmeleitahlen von Mineralfaser-Isolierungen in Abhängigkeit von der Mitteltemperatur.

- |                 |  |
|-----------------|--|
| Meßpunkte       |  |
| ○               | Mineralwolle-Stopfisolierung   |
| ×               | Matten aus kurzfasriger Mineralwolle   |
| +               | Matten aus mittel- bis langfasriger Mineralwolle   |
| Kurven          |  |
| a <sub>I</sub>  | Mineralwolle I, Stopfisolierung  |
| a <sub>II</sub> | Mineralwolle II, Stopfisolierung<br>( $R \approx 200 \text{ kg/m}^3$ )                     |
| b               | Matten aus kurzfasriger Mineralwolle<br>( $R \approx 200 \text{ kg/m}^3$ )                 |
| c               | Matten aus mittel- bis langfasriger Mineralwolle<br>( $R \approx 100-120 \text{ kg/m}^3$ ) |

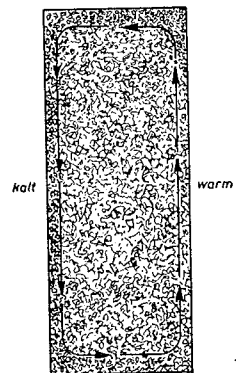


Bild 2. Konvektion in einer Mineralfaserisolierung (nach Wilkes).

wandfreier Ausführung der Isolierung die Laboratoriumswerte selbstverständlich erreichbar sind. Der größere Teil der Meßpunkte liegt aber erheblich höher. Die in das Bild eingezeichneten Laboratoriums-Meßkurven stellen mittlere Werte dar. Es gibt selbstverständlich auch günstigere Versuchsreihen, die aber in der Praxis noch schwerer als die im Bild gezeigten zu verwirklichen sind.

Die Ursachen für diese Verschlechterungen können nur in der Erhöhung der Strahlungs- und Konvektionsanteile der Wärmeübertragung durch Vergrößerung der Lufträume oder in einer Erhöhung des Anteils der Wärmeleitung des Fasermaterials durch ungünstige Faserrichtung liegen. Bei einlagigen Matten-Isolierungen kann eine ungenügende Fugenabdichtung wesentlich zu einer Vergrößerung der Wärmeverluste einer Rohrisolierung beitragen. Diese nachteiligen Einflüsse von Hohlräumen innerhalb der Faserisolierung nehmen mit steigender Temperatur zu, da Wärmestrahlung und Konvektion stark temperaturabhängig sind. In der Mattenherstellung ist heute außerdem ein Zug zu immer leichteren Fasermatten festzustellen. Wenn auch die Rohdichte\*\*\*) der Mineralfasermatten im allgemeinen 120 bis 150 kg/m<sup>3</sup> beträgt, so werden heute bereits Matten mit einer geringeren Dichte von z. B. 60 bis 80 kg/m<sup>3</sup>, ja sogar von 8 bis 10 kg/m<sup>3</sup> angeboten. Die Anfertigung derartiger leichter Matten von gleichmäßiger Dichte ist nur durch Verwendung von sehr feinen Fasern möglich, deren Herstellung einen beachtlichen Fortschritt der Mineralfaserindustrie darstellt. Da aber die Wärmeübertragung durch Konvektion und Strahlung durch den großen Luftgehalt zunimmt, ist die Wärmeleitfähigkeit dieser leichten Fasermatten größer als diejenige von dichteren Ausführungen, besonders bei höheren Temperaturen.

Angelsächsische Forscher haben sich mit dem Einfluß einer Luftbewegung innerhalb von Isolierstoffen, welche die in den Poren stattfindende Konvektion überlagert, beschäftigt, und zwar besonders bei senkrechter Anbringung der Isolierschichten. Die Bilder 2 bis 4 sind dem Buch „Wärmeschutz“ von G. B. Wilkes (5) entnommen; die Bezeichnungen in das deutsche Maßsystem umgerechnet. Bild 2 zeigt, wie man sich bei genügender Luftdurchlässigkeit des Isoliermaterials die Luftkonvektion in der Isolierung und damit eine zusätzliche Wärmeübertragung vorstellen kann. In Bild 3 sind Meßergebnisse an einer Schlackenwolle-Isolierung bei verschiedenen Schichthöhen, und zwar bei etwa 30, 50 und 150 cm in Abhängigkeit von der Stopfdichte dargestellt. Man erkennt, daß bei größerer Dichte infolge des größeren Strömungswiderstandes der Einfluß der Konvektion und damit der Schichthöhe verschwindet. In Bild 4 sind Meßergebnisse an verschiedenen Isolierstoffen, wie Korkplatten und verschiedenen Arten von Faserplatten und -matten in Abhängigkeit von der Schichtdicke eingezeichnet. Bei konvektionsundurchlässigen Korkplatten ist kein Einfluß der Schichtdicke zu

\*\*\*) Raumgewicht.

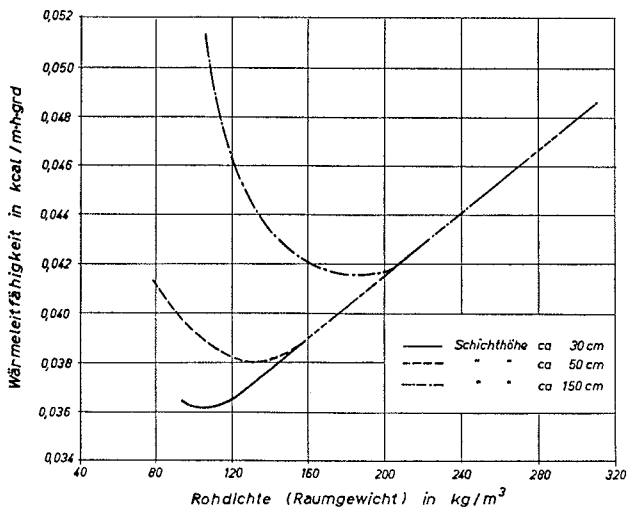


Bild 3. Wärmeleitfähigkeit von Schlackenwolle bei Raumtemperatur in Abhängigkeit von der Rohdichte bei senkrechter Anordnung der Isolierschicht nach Griffiths.

sehen, während ein solcher bei Faserstoffen vorhanden ist. Die Vergrößerung der Wärmeleitfähigkeit bei geringeren Dichten ist auch auf eine Zunahme des Strahlungseinflusses zurückzuführen. Im Forschungsheim werden zur Zeit Messungen mit Hilfe von Forschungsmitteln der Fraunhofergesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e.V. durchgeführt, um diese geschilderten Einflüsse der Luftkonvektion in Faserisolierungen nachzuprüfen.

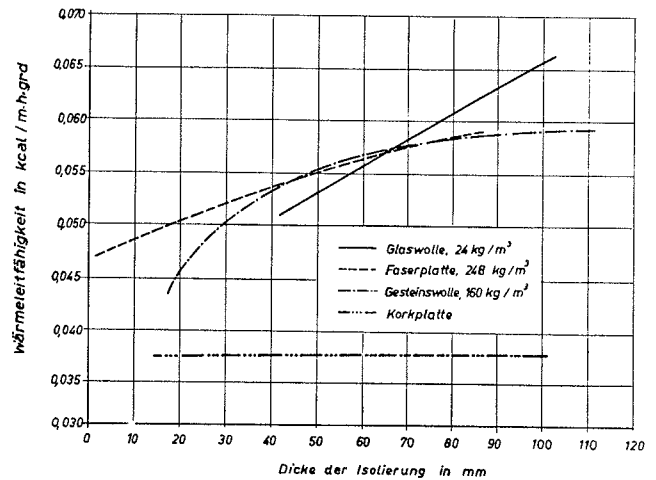


Bild 4. Wärmeleitfähigkeit von verschiedenen Isolierstoffen bei Raumtemperatur in Abhängigkeit von der Isolierstärke bei senkrechter Anordnung der Isolierschicht nach Allcut und Ewens.

Aus den Abbildungen ist zu entnehmen, daß sich die Luftzirkulation in der Isolierung durch Unterteilung in einzelne Schichten verringern läßt, wobei durch Verwendung von stark reflektierenden Oberflächen gleichzeitig die Wärmeübertragung durch Strahlung verkleinert wird. Diese Überlegungen erinnern an eine Isolierungsart, die von E. Schmidt nach dem ersten Weltkriege entwickelt wurde, nämlich an eine Luftschichten-Isolierung mit Trennwänden aus dünnen Aluminiumfolien, die als Alfol-Isolierung bekannt geworden ist (4). Je kleiner die Abstände zwischen den Folien sind, desto größer ist die Isolierwirkung, da sowohl die Wärmeübertragung durch Strahlung als auch durch Konvektion mit abnehmender Luftschichtdicke abnimmt. Die einzelnen Folien werden durch Abstandshalter in ihrer gegenseitigen Lage befestigt. Planfolienisolierungen sind infolge der etwas schwierigen Ausführung und der dazu notwendigen Fachkräfte kostspielig. Man ging deshalb dazu über, die erforderlichen Abstandshalter durch die Folien selbst zu bilden, indem man diese knitterte. Auf diese Weise entstehen unregelmäßig geformte Luftschichten, wobei sich die Aluminiumfolien an einzelnen Stellen berühren. Trotz dieser metallischen Wärmebrücken haben Knitterfolienisolierungen bei sorgfältiger Ausführung eine gute Isolierwirkung, wenn sie auch nicht diejenige der Planfolienisolierung erreichen können.

Bild 5 zeigt Beispiele von Aluminiumfolien-Isolierungen, und zwar eine Wand- und eine Rohrisolierung aus Planfolie und eine

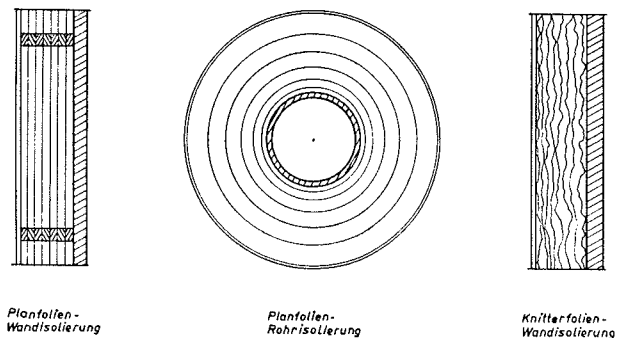
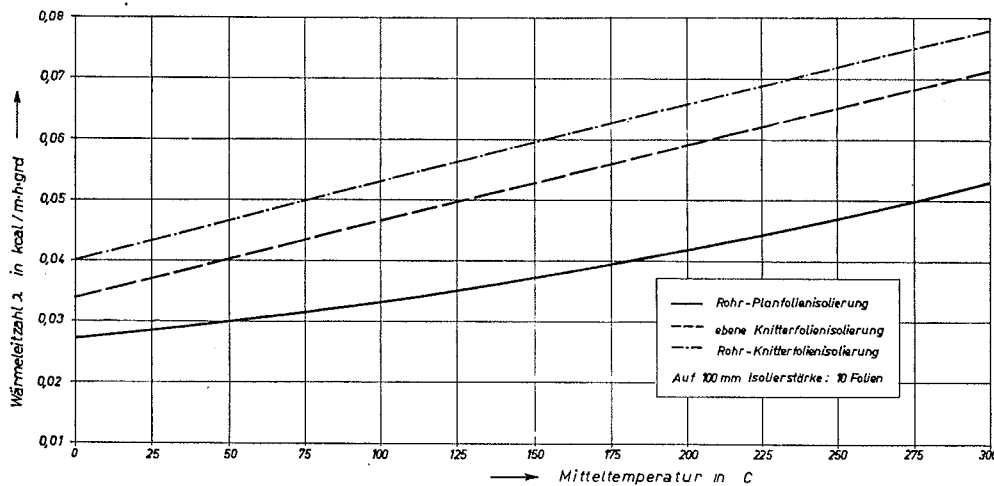


Bild 5. Aluminiumfolien-Isolierungen.

Wand-Knitterfolien-Isolierung. Letztere ist besonders bei der Isolierung von Schiffskühlräumen bekannt geworden. Bei der Rohrisolierung nach dem Planfolienverfahren ist die abnehmende Luftschichtdicke in Richtung höherer Temperaturen bemerkenswert, da die Wärmeübertragung in einer Luftschicht mit zunehmender Temperatur und Schichtdicke ansteigt, so daß bei höheren Temperaturen geringere Folienabstände zweckmäßig sind. **Bild 6** zeigt die Wärmeleitfähigkeit von Plan- und Knitterfolien-Isolierungen in Abhängigkeit von der Mitteltemperatur, und zwar fallen die besonders niedrigen Wärmeleitahlen der Planfolienisolierung auf, Werte, die kaum von einer anderen Isolierungsart erreicht werden. Eine Planfolienisolierung ist aber wegen der hohen Kosten selten.

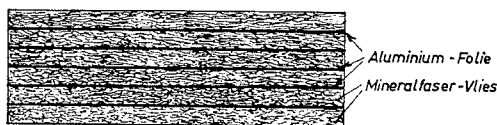
Man kann nun von dem Gedanken ausgehen, die Vorteile der Aluminiumfolienisolierung mit denjenigen der Mineralfaserisolierungen zu kombinieren unter möglicher Ausschaltung der jeweiligen Nachteile. Die Mattenisolierung hat den Vorzug der fabrikmäßigen Herstellung und der einfachen Anbringungsmöglichkeit an das zu isolierende Objekt; Spezialarbeitskräfte

guten Reflexionseigenschaften des Aluminiums und der voneinander abgetrennten Luftschichten auch bei stellenweiser Vergrößerung der Hohlräume sich nur in geringem Maße auswirken. **Bild 7** zeigt schematisch diese Kombination, nämlich eine Schichtung von Faservliesen und Aluminiumfolien. Die Isolierwirkung ist um so größer, je geringer der Fasernanteil zwischen den einzelnen Folienlagen ist, da dadurch die Wärmeleitung der Schichtung verringert wird. In **Bild 8** sind die Ergebnisse einiger bisher durchgeführter Versuche eingetragen. Zunächst wurde eine Schichtung sehr dünner Glasfaservliese mit einer Dicke von 0,3 mm untersucht. Dabei kam auf etwa 1 mm Schichtdicke eine Aluminiumfolie, d.h. auf 100 mm Isolierstärke trafen etwa 100 Folien. Die Meßergebnisse sind sehr günstig, und zwar ergab sich bei 20°C Mitteltemperatur eine Wärmeleitzahl von 0,027 kcal/m · h · grd, die der bekannten Wärmeleitahl der Planfolien-Isolierung von 0,025 kcal/m · h · grd sehr nahe kommt. Bei einer stärkeren Pressung, die zu einer Folienzahl von etwa 200 je 100 mm Isolierstärke führte, erniedrigte sich die Wärmeleitfähigkeit nur wenig, da mit kleiner werdendem Folienabstand



**Bild 6.**  
Wärmeleitfähigkeit von Aluminiumfolien-Isolierungen.

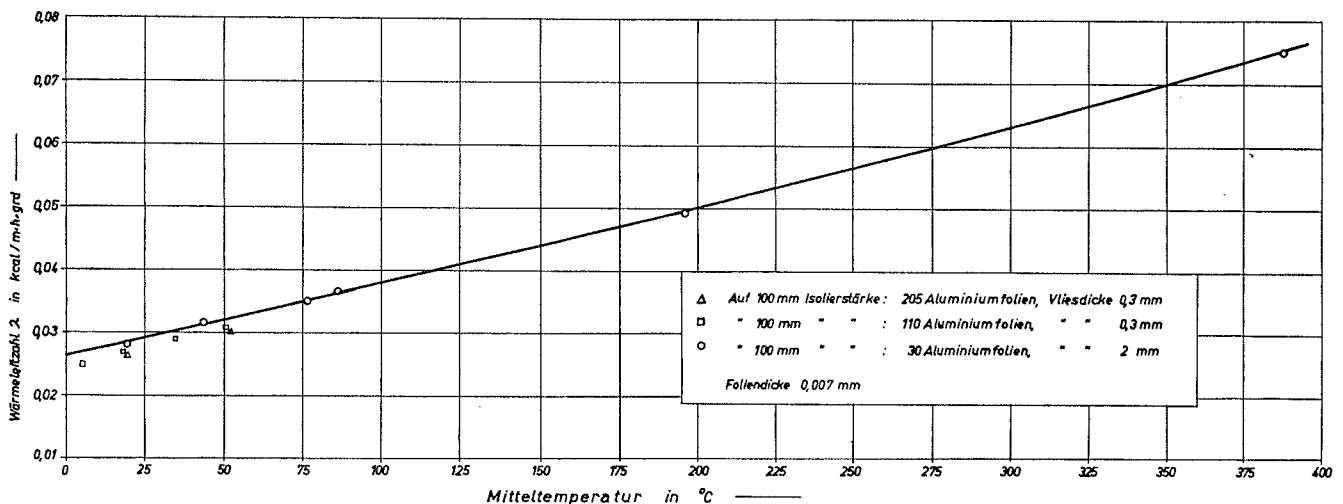
sind nicht erforderlich. Sie ist jedoch anfällig für unerwünschte Luftschichtenbildung und damit für eine Vergrößerung der Wärmeübertragung durch Strahlung und Konvektion, während diese Einflüsse bei der Aluminiumfolien-Isolierung infolge der



**Bild 7.** Schichtung von Aluminiumfolien und Mineralfasern.

der Fasernanteils ansteigt. Als nächstes wurde ein Vlies von 2 mm Dicke verwendet und die Messungen bis zu einer Warmseitentemperatur von 500°C ausgedehnt. Es ergab sich ein fast geradliniger Anstieg der Wärmeleitahlkurve mit Werten von 0,026 bei 0°C, von 0,029 bei 20°C und 0,063 kcal/m · h · grd bei 300°C Mitteltemperatur, also sehr günstige Werte. Auf 100 mm Isolierstärke trafen dabei etwa 30 Folien.

Bei einem weiteren Versuch wurde die Wärmeleitfähigkeit einer sehr leichten Mineralfasermatte mit einer Rohdichte von 10 kg/m<sup>3</sup> ohne und mit Aluminiumfolien-Zwischenlagen untersucht, und zwar betragen die Folienabstände im zweiten Fall etwa 10 mm. **Bild 9** zeigt die Meßergebnisse. Während im Bereich der Raumtemperatur der Unterschied der beiden Kurven gering ist, nimmt

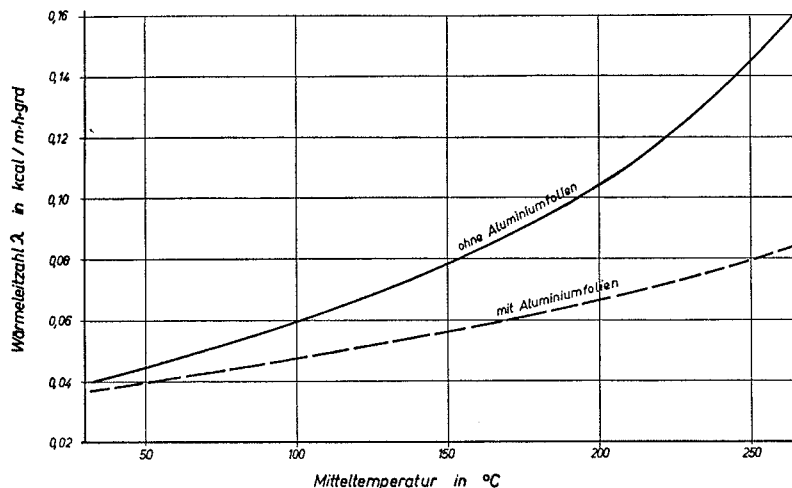


**Bild 8.** Wärmeleitfähigkeit von Schichtisolierungen aus Aluminiumfolien und Mineralfasern.

dieser mit steigender Temperatur stark zu, so daß die kombinierte Isolierung bei 250°C Mitteltemperatur eine um etwa 45% geringere Wärmeleitfähigkeit aufweist.

Die Untersuchungen ergeben, daß durch eine Kombination von Mineralfaservliesen mit Aluminiumfolien sehr niedrige Wärmeleitfähigkeiten erzielt werden können. Um zunächst die theoretisch günstigsten Werte zu erhalten, wurden die ersten Versuche mit einer sehr großen Foliendichte durchgeführt. Wirtschaftlich gesehen haben selbstverständlich solche Ausführungen keinerlei Bedeutung, da diese in der Herstellung zu teuer sind. Wie einfache Überlegungen zeigen und **Bild 9** bestätigt, wird mit zunehmender Vliesdicke die Wärmestahlungsdurchlässigkeit geringer, damit die Re-

flexionsfähigkeit der Folien kleiner und die Auswirkungen von Luftkonvektion größer. Bei Überschreitung einer bestimmten Schichtdicke wird sich kein Unterschied mehr gegenüber einer Matte ohne Folien ergeben. Der letzte Versuch zeigt aber, daß bei leichten Fasermatten auch mit wenigen Folien bei höheren Temperaturen eine wesentliche Verbesserung erreicht werden kann. Da zur Einsparung der kostspieligen Aluminiumfolien Abstände von mindestens 10 mm zweckmäßig sind, müßten die dazwischen liegenden Faservliese eine möglichst große Strahlungsdurchlässigkeit und damit etwa die Form von weitmaschigen Geweben besitzen. Ob sich solche Ausführungen als wirtschaftlich erweisen, muß die Praxis zeigen.



**Bild 9.** Einfluß von Aluminiumfolien-Zwischenlagen auf die Wärmeleitfähigkeit einer Mineralfasermatte mit einer Rohdichte von 10 kg/m<sup>3</sup> bei 10 mm Folienabstand.

### Zusammenfassung

Die durchgeführten Versuche mit geschichteten Aluminiumfolien-Mineralfaserisierungen weisen einen Weg, wie die Wärmeleitfähigkeit von Mineralfaserisierungen durch Zwischenlagen aus Aluminiumfolien erniedrigt werden kann. Wie weit solche kombinierte Faserisierungen in der Wärme- und Kälteschutztechnik Eingang finden, hängt von der Wirtschaftlichkeit technisch zu verwirklichender Ausführungen ab. Für isoliertechnische Spezialprobleme, bei der die Preisfrage keine Rolle spielt, bieten sich sicher aussichtsreiche Möglichkeiten.

### Schrifttum

1. Raisch, E.: Wärmeleitfähigkeit von mineralischen Faserstoffen; Mittlg. a. d. Forschungsheim für Wärmeschutz e. V., München, H. 9 (1955), S. 16/28.
2. Raisch, E. und Schropp, K.: Die thermoelektrische Temperatur- und Wärmefußmessung; Mittlg. a. d. Forschungsheim für Wärmeschutz e. V., München, H. 8 (1930).
3. Raisch, E.: Wärme- und Kälteschutz; BWK Bd. 10 (1958), S. 192/93.
4. Schmidt, E.: Wärmeschutz durch Aluminiumfolie; Z. VDI 69 (1927), S. 1395/1400.
5. Wilkes, G. B.: Heat Insulation; New York und London 1950.

### Nachsatz:

Wie nachträglich bekannt wird, gibt es eine in obigem Artikel beschriebene Aluminiumfolien-Mineralfaserisolation bereits seit 1956 unter dem Namen „Isoflex K 20“. Sie besteht aus superfeinen kunstharzgebundenen Glasfasermatten und gefalteten Aluminiumfolien. Die Faltung bewirkt nach Angaben der Herstellerfirma eine selbständige Dehydrierung der Isolation und verleiht der Platte gleichzeitig Eigenstabilität.