

<sup>1x</sup>  
**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**

I / 7

**Die Bedeutung der Wärmeleitzahl  
in der Wärme-  
und Kälteschutztechnik**

Von W. F. Cammerer

# Die Bedeutung der Wärmeleitzahl in der Wärme- und Kälteschutztechnik (\*)

Von W. F. Cammerer (\*\*)

## 1. Begriff der Wärmeleitzahl

In der Wärme- und Kälteschutztechnik werden von den zur Verwendung kommenden Dämmstoffen neben ausreichender mechanischer Festigkeit, Raum- und Temperaturbeständigkeit, Unempfindlichkeit gegen atmosphärische oder sonstige betrieblich bedingte Einflüsse und Unschädlichkeit für die zu schützende Anlage vor allem ein guter Wärmeschutz gefordert. Dieser wird, abgesehen von der Isolierdicke, durch die entscheidende Stoffeigenschaft, nämlich eine entsprechend geringe Wärmeleitfähigkeit gewährleistet. In der Praxis nennt man diese Eigenschaft meistens «Wärmeleitfähigkeit».

Die Wärmeleitfähigkeit ist daher eine Stoffeigenschaft, die in einem gegebenen Temperaturfeld die Größe des Wärmestromes bestimmt. Sie setzt sich bei Dämmstoffen aus der Wärmeleitung des Feststoffmaterials und der Porenluft sowie aus Konvektion und Strahlung in den Hohlräumen zusammen. Man kann sie als diejenige Wärmemenge in kcal bezeichnen, die durch zwei gegenüberliegende Flächen eines Würfels aus dem betreffenden Stoff von 1 m Kantenlänge in der Stunde fließt, wenn sich deren Temperaturen um 1 grad unterscheiden und die übrigen vier Flächen des Würfels gegen eine Wärmeabgabe geschützt sind (Bild 1). Daraus ergibt sich die Maßeinheit der Wärmeleitfähigkeit im technischen Maßsystem zu kcal/m h grad. Das Symbol ist  $\lambda$ .

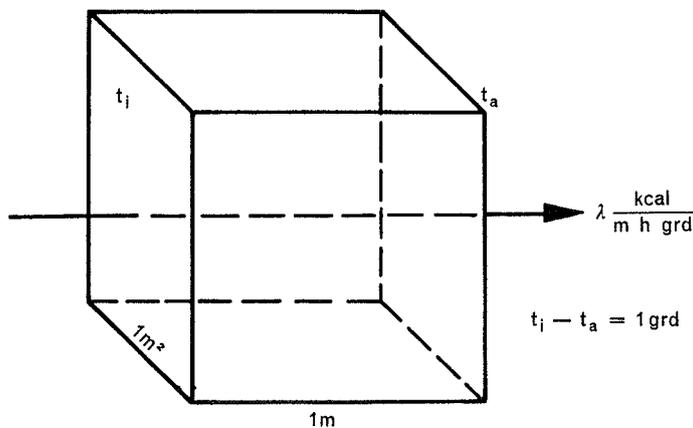


Bild 1  
Anschauliche Darstellung der Wärmeleitfähigkeit

soll noch darauf hingewiesen werden, daß bei Einführung des geplanten neuen Maßsystems die Maßeinheit der Wärmeleitfähigkeit J/m s grad ist. Die in diesem Maßsystem ausgedrückten Wärmeleitfähigkeiten sind dann um etwa 16 Prozent größer als die heutigen Werte.

Ein von der Wärmeleitfähigkeit abgeleiteter Begriff ist die «Wärmedurchlaßzahl», nämlich das Verhältnis der Wärmeleitfähigkeit zur Dicke einer plattenförmigen Isolierung, also eine Größe, welche die Dicke der Platte miteinfaßt. Man kann sie sich wieder als eine Wärmemenge in kcal vorstellen und zwar diejenige, die in der Stunde durch eine plattenförmige Schicht von gegebener Ausführungsdicke senkrecht zu den Oberflächen von 1 m<sup>2</sup> Größe hindurchfließt, wenn sich deren Temperaturen um 1 grad unterscheiden (Bild 2). Die Maßeinheit ist entsprechend kcal/m<sup>2</sup> h grad. Man bezeichnet sie mit  $\Lambda$ .

Die «Wärmedurchgangszahl k» ist ein ähnlicher Begriff, nur daß sich die Temperaturdifferenz zu beiden Seiten der Platte auf die Luft bzw. die angrenzenden Medien bezieht und nicht auf die Körperoberflächen. Die Wärmedurchgangszahl schließt also den Wärmeübergang zum Beispiel von Luft auf die Oberfläche und von der Oberfläche auf die Luft mit ein und ist stets kleiner oder höchstens gleich der Wärmedurchlaßzahl bei gleicher Isolierdicke. Der Wärmeübergang stellt ja einen, wenn auch meist kleinen, zusätzlichen Wärmewiderstand dar.

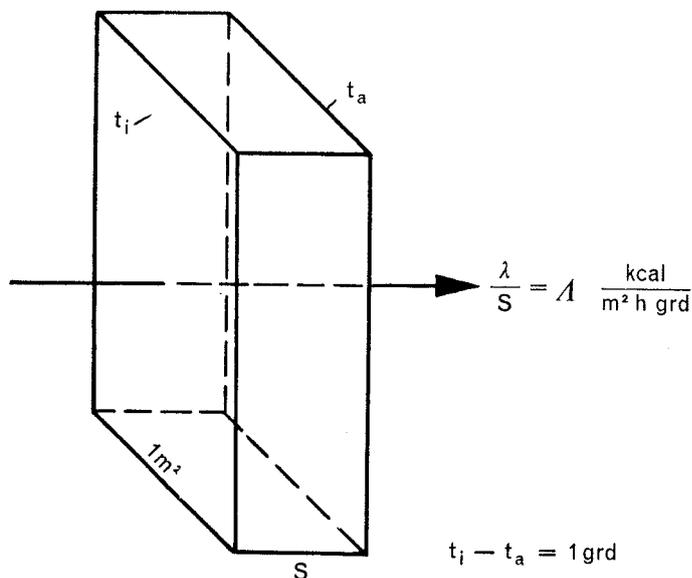


Bild 2  
Anschauliche Darstellung der Wärmedurchlaßzahl einer Wandisolierung

## 2. Messung der Wärmeleitfähigkeit

Diese wärmeschutztechnischen Größen, besonders «die Wärmeleitfähigkeit», können nun nicht mit einem Meßgerät unmittelbar bestimmt werden, wie man etwa eine Dicke mit der Schublehre mißt, sondern sie ergeben sich nur rechnerisch aus einer Gleichung, wenn die anderen darin vorkommenden Größen ermittelt wurden. Nachstehend sind die Berechnungsformeln für die Wärmeleitfähigkeit von plattenförmigen Körpern und Rohrisolierungen angegeben. Im letzteren Falle ist zu unterscheiden, ob die strömende Wärmemenge für eine bestimmte Rohrlänge oder je m<sup>2</sup> Isolierungsfläche festgestellt wurde.

### Berechnungsformeln für die Wärmeleitfähigkeit

#### 1. Wand- oder Plattenisolierung

$$\lambda = \frac{Q}{t_i - t_a} \cdot \frac{s}{F}$$

#### 2. Rohrisolierung

$$\lambda = \frac{Q}{t_i - t_a} \cdot \frac{\ln(d_a/d_i)}{2\pi l}$$

$$\lambda = \frac{q}{t_i - t_a} \cdot \frac{d_a}{2} \cdot \ln(d_a/d_i)$$

$\lambda$  = Wärmeleitfähigkeit (Wärmeleitfähigkeit) in kcal/m h grad

$Q$  = Wärmestrom in kcal/h

$q$  = Wärmestromdichte in kcal/m<sup>2</sup> h

$F$  = Fläche in m<sup>2</sup>

$s$  = Dicke in m

$d_a$  = Äußerer Isolierungsdurchmesser in m

$d_i$  = Innerer Isolierungsdurchmesser in m

$l$  = Länge des isolierten Rohres

Wie man aus den Formeln entnehmen kann, ist die Messung mehrerer Größen erforderlich und zwar neben der geometrischen Abmessungen vor allem des Wärmeflusses und der

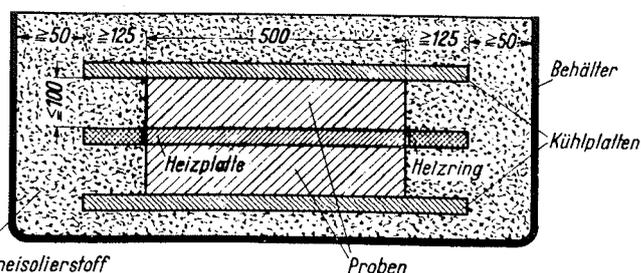


Bild 3  
Zweiplattengerät nach Poensgen

\* Umgearbeiteter Inhalt eines Vortrages anlässlich der Bundesfachgruppen-tagung des Isolierhandwerks am 21. Juni 1963 in Prien-Chiemsee.

\*\* Dr. rer. nat. W. F. Cammerer, wissenschaftlicher Leiter des Forschungsheims für Wärmeschutz e.V., München.

Oberflächentemperaturen. Die Bestimmung dieser Werte, die nur im einwandfreien Beharrungszustand der Wärmeströmung erfolgen kann, ist keineswegs einfach und erfordert genügende meßtechnische Erfahrung sowohl bei Laboratoriums- als auch bei Betriebsmessungen.

Bild 3 stellt den Schnitt durch das sogenannte Plattengerät nach Poensgen dar, das zur Bestimmung der Laboratoriumswärmeleitfähigkeit von plattenförmigen Stoffen dient (1). Bei Betriebsmessungen werden Wärmeflußmesser verwendet. In Bild 4 ist das Schaltschema eines Wärmeflußmessers und in Bild 5 das Meßprinzip skizziert. Bild 6 zeigt den Aufbau einer Betriebswärmeleitfähigkeitsmessung einer Rohrisolierung in einem Kraftwerk und Bild 7 die Anordnung der Meßgeräte für die Wärmeleitfähigkeitsmessung einer Wohnungswand.

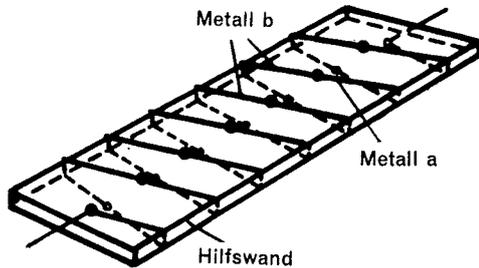


Bild 4

**Konstruktionsschema des Wärmeflußmessers nach E. Schmidt**

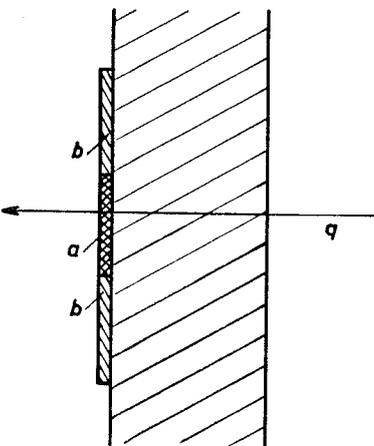


Bild 5

**Schematische Darstellung der Wärmeflußmessung an einer Wand**

- a) Wärmeflußmeßplatte      q) Wärmefluß  
b) Seitenschutzplatten

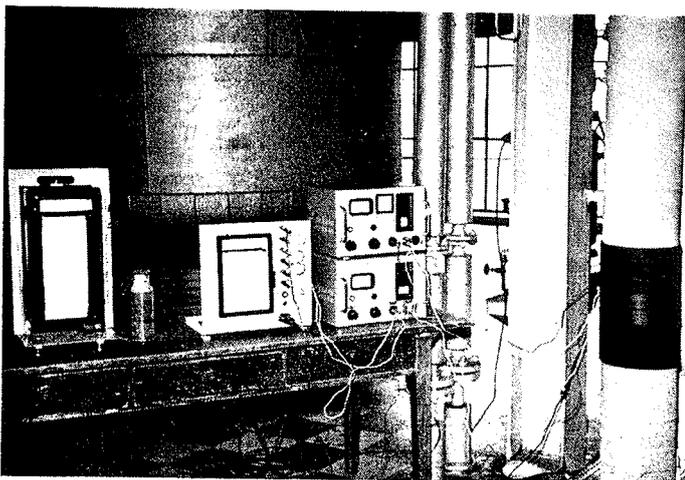


Bild 6

**Garantienachprüfung der Betriebswärmeleitfähigkeit einer Rohrisolierung in einem Dampfkraftwerk**

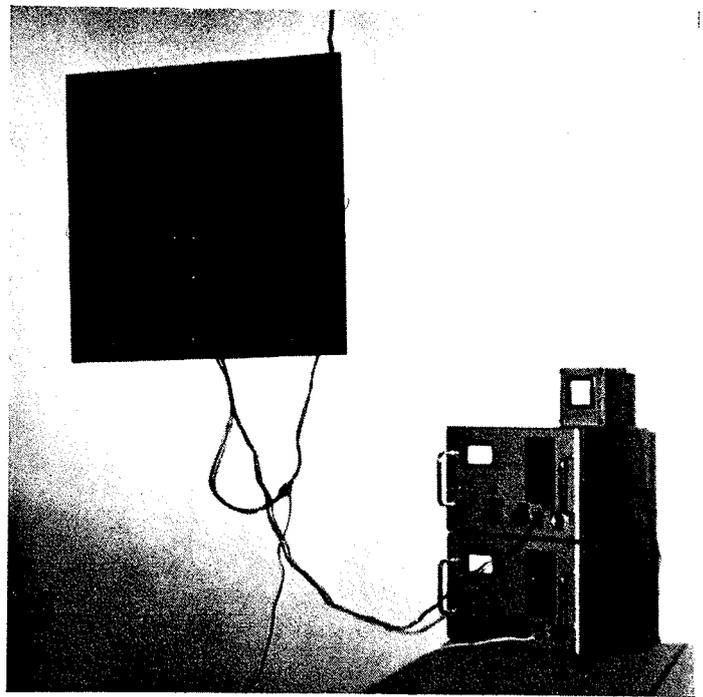


Bild 7

**Wärmeleitfähigkeitsmessung an einer Wohnungsausßenwand unter Verwendung von Zählgeräten**

Die gemessenen Größen sind naturgemäß mit gewissen Meßfehlern behaftet, selbst wenn diese durch Verwendung von Präzisionsmeßgeräten noch so klein gemacht werden. Jede ermittelte Wärmeleitfähigkeit ist also entsprechend der jeweiligen Meßtoleranz ungenau und zwar beträgt diese bei Laboratoriumsmessungen etwa  $\pm 2$  bis  $\pm 3\%$  und bei Betriebsmessungen  $\pm 3$  bis  $\pm 5\%$ , das heißt die ermittelten Wärmeleitfähigkeiten können um diese Beträge in Wirklichkeit größer oder kleiner sein.

### 3. Physikalische Eigenschaften der Wärmeleitfähigkeit

Die Wärmeleitfähigkeit eines Dämmstoffes ist keine Stoffkonstante, sondern eine Funktion von verschiedenen Eigenschaften des Dämmstoffes. Die Wärmeleitfähigkeit wird nämlich außer vom Feststoffmaterial, zum Beispiel Glas, Kunststoff, Holzstoff und dergleichen und der Stoffstruktur, beispielsweise Faserdicke und Faserlagerung, Porenform und Verkitzung usw., also von für einen bestimmten Isolierstoff gleichbleibenden Eigenschaften, von folgenden, veränderlichen Größen beeinflusst:

Rohdichte oder Raumgewicht  
Größe der Hohlräume  
Mitteltemperatur  
Feuchtigkeitsgehalt

Bei stark porösen und luftdurchlässigen Stoffen, zum Beispiel Mineralfaserstoffen, können noch folgende Einflüsse hinzukommen:

Temperaturdifferenz  
Luftkonvektion

Jeder Stoff hat für jede Mitteltemperatur (= arithmetisches Mittel zwischen Warm- und Kaltseitentemperatur) bei einer bestimmten Rohdichte einen Mindestwert der Wärmeleitfähigkeit, da einerseits bei zu geringer Dichte, also zu großer Porosität, Luftkonvektion und Wärmestrahlung in den Hohlräumen und damit die resultierende Wärmeleitfähigkeit zunehmen und andererseits bei zu großer Dichte, also bei zu großem Feststoffgehalt, ebenfalls die Wärmeleitfähigkeit größer wird. Die Wärmeleitfähigkeit hängt daher von der Rohdichte entscheidend ab. Da ferner die Wärmeübertragung in den Hohlräumen mit der Luftschichtdicke zunimmt, ist die Wärmeleitfähigkeit auch von der Größe der Hohlräume abhängig.

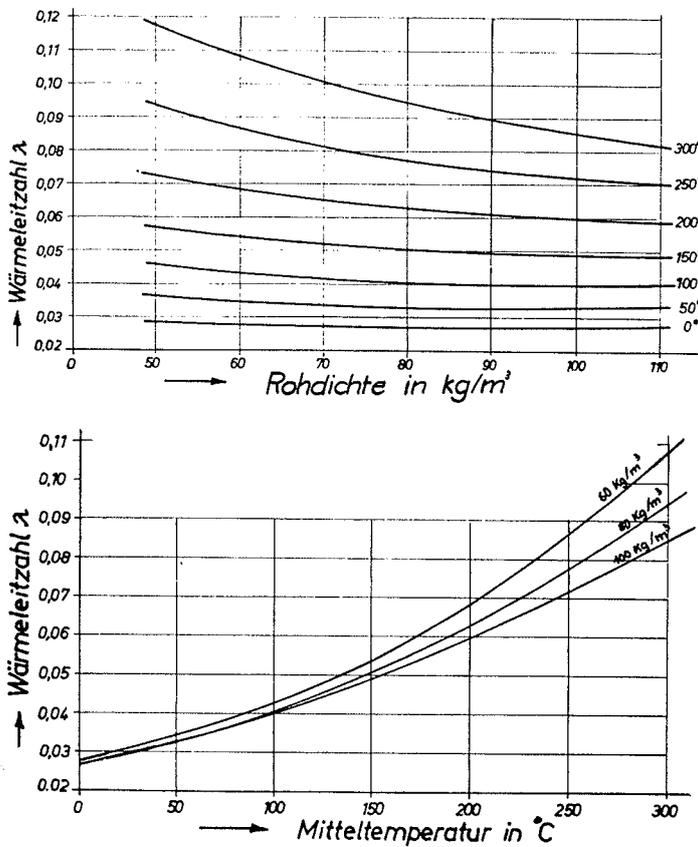


Bild 8  
Wärmeleitfähigkeiten von loser Glaswolle nach E. Raisch (2)

Bei nichtkristallinen Stoffen, wozu Dämmstoffe im allgemeinen gehören, steigt die Wärmeleitfähigkeit mit der Temperatur an und zwar umso mehr, je poröser ein Stoff ist. Je nach Rohdichte und Porengröße ist der Temperatureinfluss somit verschieden. Ein Beispiel vermittelt Bild 8 und zwar ist die Abhängigkeit der Wärmeleitfähigkeit einer losen Glaswolle von der Rohdichte und der Mitteltemperatur in zwei verschiedenen Darstellungen gezeichnet (2). Im oberen Diagramm, in dem die Rohdichte auf der Abszisse und die Mitteltemperaturen als Parameter an der Kurvenschar aufgetragen sind, erkennt man schwache Minima der Wärmeleitfähigkeit bei etwa 90 bis 100 kg/m<sup>3</sup> für Mitteltemperaturen von 0 bis 100°C, die jedoch praktisch ohne besondere Bedeutung sind. Bei höheren Mitteltemperaturen liegen die günstigsten Wärmeleitfähigkeiten bei größeren Stopfungsdichten und bei hohen Temperaturen sind diese praktisch nicht mehr zu verwirklichen. Ähnliche Gesetzmäßigkeiten gelten für alle Mineralwollen. In Bild 9 sind Untersuchungsergebnisse von Laboratoriumswärmeleitfähigkeiten von Korkplatten und in Bild 10 von Polystyrolschaumplatten in Abhängigkeit von der Rohdichte dargestellt.

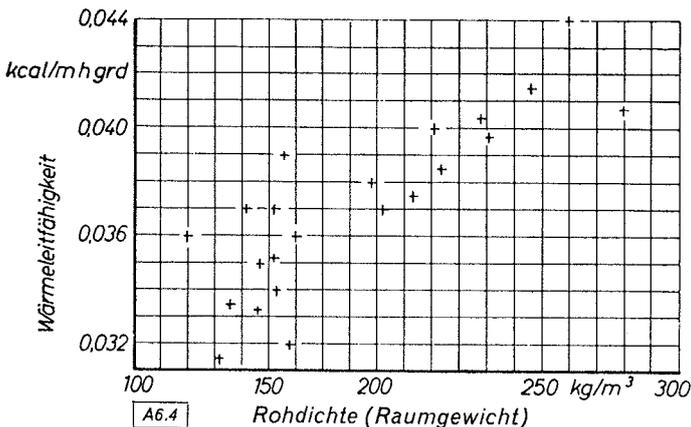


Bild 9  
Laboratoriumsmeßwerte der Wärmeleitfähigkeit von Korkplatten bei 10°C Mitteltemperatur in Abhängigkeit von der Rohdichte (Raumgewicht) (3)

Man sieht, daß in einem Falle die Wärmeleitfähigkeit mit der Rohdichte zu-, im anderen Falle abnimmt. Die günstigste Rohdichte liegt daher bei Korkplatten bei einem praktisch nicht zu verwirklichenden kleinen, bei Polystyrolschaumplatten dagegen bei einem unwirtschaftlich großen Wert.

Ein Feuchtigkeitsgehalt, der die Porenluft mehr oder weniger verdrängt, erhöht die Wärmeleitfähigkeit, da Wasser eine höhere Wärmeleitfähigkeit als Luft besitzt und außerdem durch Dampfdiffusion zusätzlich Wärme übertragen wird (3).

Die Bilder 11 und 12 geben einen Überblick über den Feuchtigkeitseinfluß bei Bau- und Isolierstoffen.

Bei sehr porösen und luftdurchlässigen Stoffen, zum Beispiel leichten Faserstoffen, mißt man bei gleicher Mitteltemperatur, jedoch verschiedener Temperaturdifferenz, unterschiedliche Wärmeleitfähigkeiten, die durch die Krümmung der Wärmeleitfähigkeit-Temperaturkurve und durch eine Luftbewegung innerhalb der Isolierung hervorgerufen werden.

Bild 13 zeigt die Zunahme der Wärmeleitfähigkeit einer leichten Fasermatte mit abnehmender Temperatur. Die Ursache ist die zunehmende Luftkonvektion bei sehr tiefen Temperaturen, das heißt unter -40°C (4).

Die Wärmeleitfähigkeit einer senkrechten Fasermattenisolierung wird mit zunehmender Höhe etwas kleiner im Gegensatz zu der häufig vertretenen Meinung, daß die Wärmeleitfähigkeit infolge einer Kaminwirkung mit der Höhe zunimmt (Bild 14). Voraussetzung ist allerdings, daß bei der Messung die ganze Schichthöhe erfaßt wird, in der eine Konvektion stattfinden kann (5). Man erhält falsche Meßergebnisse, wenn man nur einen Abschnitt aus der senkrechten Isolierung mit einem Wärmeflußmesser herausgreift, wie Bild 15 zeigt. Dabei ergeben sich verschiedene Werte, wenn man an der kalten oder an der warmen Oberfläche mißt.

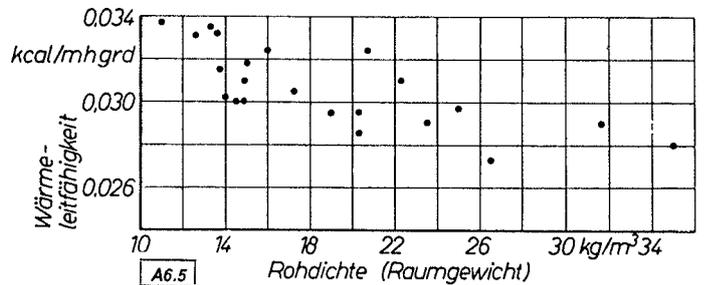


Bild 10  
Laboratoriumsmeßwerte der Wärmeleitfähigkeit von Polystyrol-Schaumstoffplatten bei 10°C Mitteltemperatur in Abhängigkeit von der Rohdichte (Raumgewicht) (3)

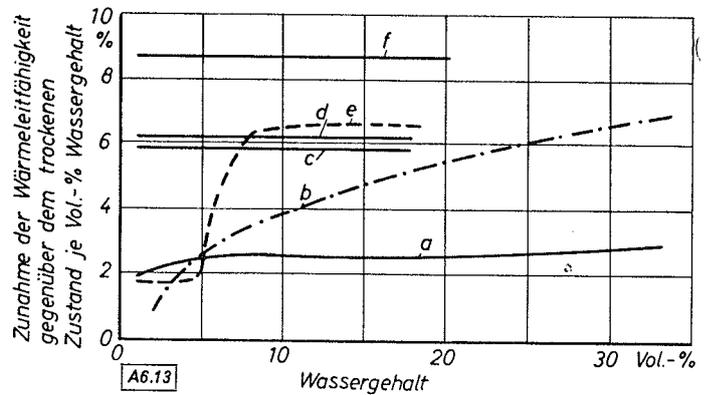


Bild 11  
Feuchtigkeitseinfluß auf die Wärmeleitfähigkeit von organischen Stoffen (3)

- a) Fichtenholz (405 kg/m<sup>3</sup>) nach Jespersen
- b) Holzwolle-Leichtbauplatten (375 kg/m<sup>3</sup>) nach Forschungsheim
- c) Korkplatten (110 bis 150 kg/m<sup>3</sup>) nach Jespersen (über 0°C)
- d) Korkplatten (100 bis 200 kg/m<sup>3</sup>) nach J.S. Cammerer (über 0°C)
- e) Holzwollbeton (400 kg/m<sup>3</sup>) nach Jespersen
- f) Korkplatten (100 bis 200 kg/m<sup>3</sup>) nach J.S. Cammerer (unter 0°C)

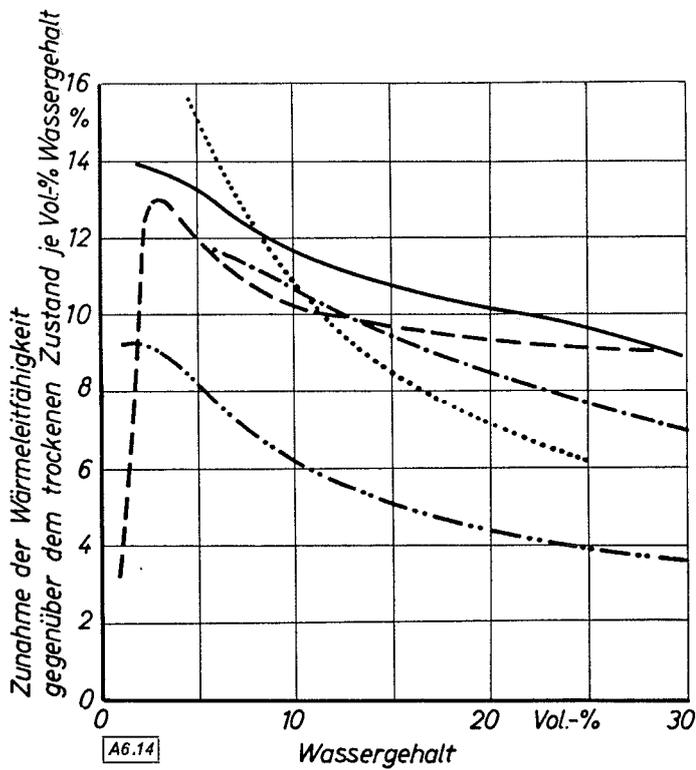


Bild 12  
**Feuchtigkeitseinfluß auf die Wärmeleitfähigkeit von anorganischen Stoffen (3)**

- Mauerziegel nach Krischer und Rohalter (1650 kg/m<sup>3</sup>, λ<sub>tr</sub> = 0,36 kcal/m h grd)
- · - Mauerziegel nach Jespersen (1680 kg/m<sup>3</sup>, λ<sub>tr</sub> = 0,54 kcal/m h grd)
- - - Porenbeton aus Quarzsand nach Jespersen (445 kg/m<sup>3</sup>, λ<sub>tr</sub> = 0,084 kcal/m h grd)
- · · Porenbeton aus Quarzsand nach Krischer (520 kg/m<sup>3</sup>, λ<sub>tr</sub> = 0,14 kcal/m h grd)
- Richtwerte nach J. S. Cammerer

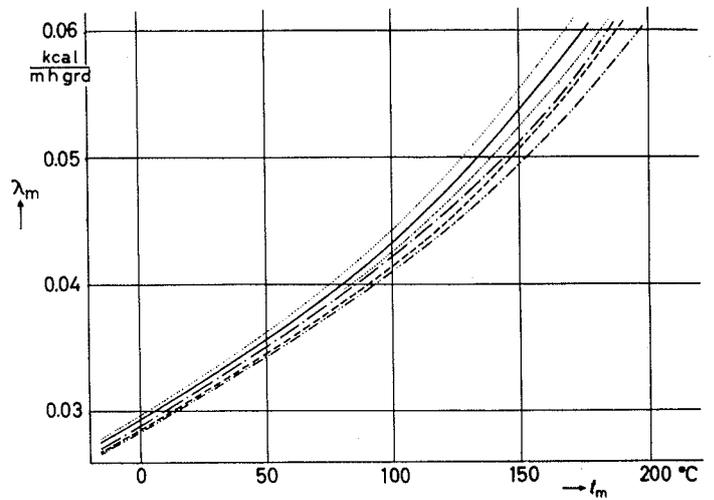


Bild 14  
**Mittlere Wärmeleitfähigkeit λ<sub>m</sub> einer Mineralfasermatte (R = 100 kg/m<sup>3</sup>) von 100 mm Dicke in Abhängigkeit von Mitteltemperatur t<sub>m</sub> und Schichthöhe h (5)**

- · - h = 1200 mm
- - - h = 600 mm
- · · h = 300 mm
- Messung im waagrechten Zweiplattengerät
- Wärmestrom von unten nach oben bzw. oben nach unten im Plattengerät

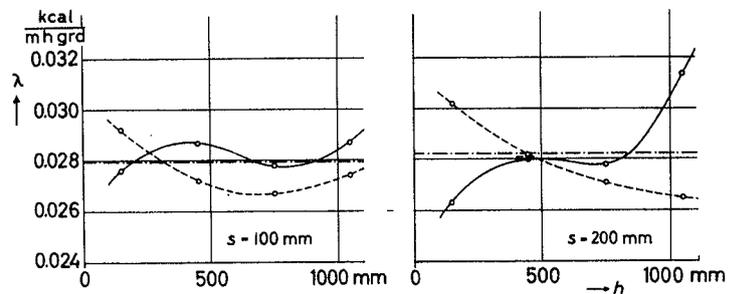


Bild 15  
**Scheinbare Wärmeleitfähigkeit λ einer senkrechten Mineralfasermatten-Isolierung von 1200 mm Höhe in Abhängigkeit von h bei etwa -3°C (5)**

- Kaltseite
- - - Warmseite
- · · · Wahre Wärmeleitfähigkeit

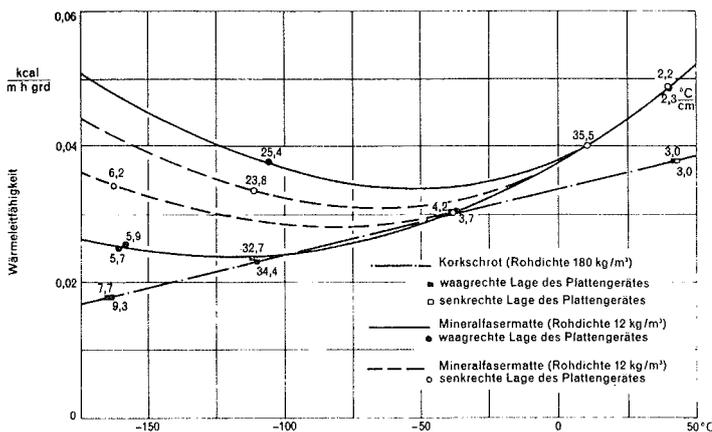


Bild 13  
**Wärmeleitfähigkeit in Abhängigkeit von der Mitteltemperatur und dem Temperaturgefälle im Versuchsmaterial (4)**

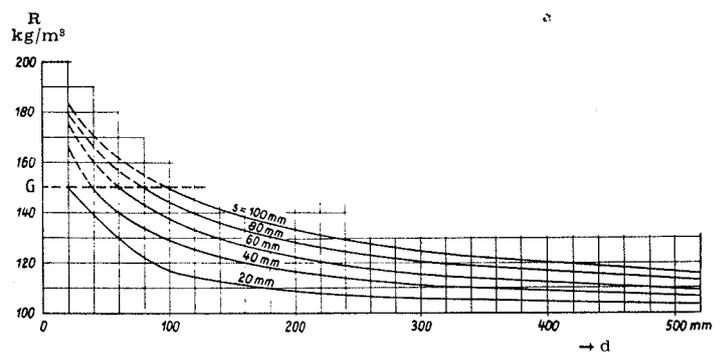
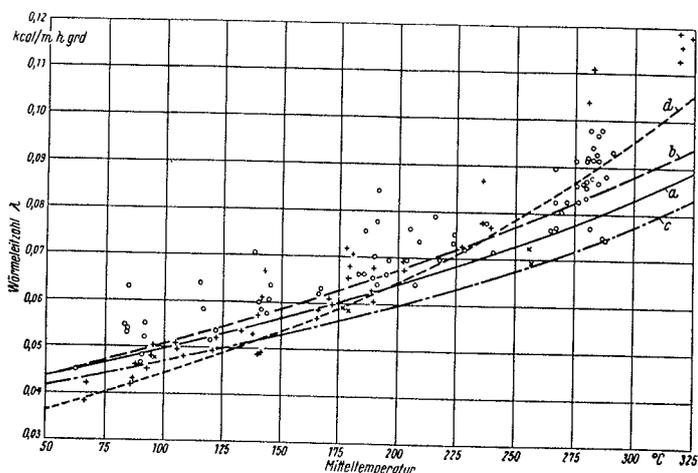


Bild 16  
**Erhöhung der Rohdichte am Rohr bei der Umlegung von Matten, die auf den äußeren Rohrdurchmesser zugeschnitten werden (6)**

G = Grenze für den Fall, daß niemals s > d sein soll

Die bisherigen Ausführungen bezogen sich auf die Materialwärmeleitfähigkeit, also die Wärmeleitfähigkeit des unverarbeiteten Dämmstoffes. Wird der Wärmeschutzstoff auf das zu isolierende Objekt gebracht, so kann er Strukturveränderungen erleiden, wie zum Beispiel lose Mineralfaser-Isolierungen durch Ungleichmäßigkeiten der Stopfung oder Matten-Isolierungen durch Quetschfalten und Fugen. Bei Rohrisolierungen aus Matten kommt eine Erhöhung der Rohdichte hinzu, deren Größe vom Rohrdurchmesser und der Zahl der Lagen abhängig ist. Bild 16 zeigt eine Abbildung von K. Seiffert über die Abhängigkeit der Dichte von Mineralfasermatten vom Rohrdurchmesser (6). Bild 17, in das Laboratoriumswärmeleitfähigkeitskurven von Stopfungen und Matten sowie Meßpunkte von Betriebswärmeleitfähigkeitsmessungen eingetragen sind, läßt den Einfluß von Ausführungsungenauigkeiten klar erkennen.



**Bild 17**  
**Wärmeleitfähigkeiten von Mineralfaser-Isolierungen in Abhängigkeit von der Mitteltemperatur**

Meßpunkte

- o Mineralwolle-Stopfisolierung
- x Matten aus kurzfasriger Mineralwolle
- + Matten aus mittel- bis langfasriger Mineralwolle

Kurven

- a Mineralwolle I, Stopfisolierung  
( $R = 200 \text{ kg/m}^3$ )
- b Mineralwolle II, Stopfisolierung  
( $R = 200 \text{ kg/m}^3$ )
- c Matten aus kurzfasriger Mineralwolle  
( $R = 200\text{--}220 \text{ kg/m}^3$ )
- d Matten aus mittel- bis langfasriger Mineralwolle  
( $R = 100\text{--}120 \text{ kg/m}^3$ )

„ diesen Einflüssen tritt noch die Auswirkung der Abstandhalter von Blechmantelisolierungen auf die Betriebswärmeleitfähigkeit, wobei zu berücksichtigen ist, daß diese heute meßtechnisch im Betrieb noch nicht erfaßbar ist. Hierfür sind Spezialwärmeflußmesser erforderlich, die sich noch in der Entwicklung befinden.

Betriebsmessungen an Rohrleitungen werden daher stets in der Mitte zwischen zwei Stützringen vorgenommen, wobei das Ergebnis bei der üblichen Ausführungsform der Abstandhalter von diesen nicht abhängig ist. Die Berücksichtigung des Abstandshaltereinflusses muß rechnerisch aufgrund von Laboratoriumsmessungen erfolgen. In den VDI-Richtlinien 2055 sind die für die Praxis wichtigen Zuschläge für Rohrisolierungen angegeben (7).

Die geschilderte Abhängigkeit der Material- und Betriebswärmeleitfähigkeit von den verschiedensten Einflüssen hat zur Folge, daß die Wärmeleitfähigkeit keine feste Größe ist, sondern je nach der Verwendungsart und den unterworfenen Betriebsbedingungen verschieden groß sein kann.

#### 4. Genauigkeit von Wärmeleitfähigkeiten

Es erhebt sich daher die Frage, mit welcher Genauigkeit Wärmeleitfähigkeiten überhaupt angegeben werden können bzw. welche Aussagegenauigkeit einer mitgeteilten Wärmeleitfähigkeit

zukommt. Diese Frage soll hier für den wichtigsten Isolierstoff der Wärmeschutztechnik, nämlich für Mineralfaserstoffe untersucht werden.

Die angegebenen verschiedenartigen Einflüsse auf die Wärmeleitfähigkeit von Faserstoffen bzw. die Betriebswärmeleitfähigkeit einer ausgeführten Isolierung können in drei Gruppen eingeteilt werden:

1. Die Meßtoleranz und der Einfluß der Meßbedingungen. Sie müssen vom Prüfinstitut mitgeteilt und bei der Übertragung einer Laboratoriumswärmeleitfähigkeit auf die Praxis berücksichtigt werden.
2. Materialschwankungen des Herstellers, die durch Fertigungsunterschiede bedingt sind und die Materialwärmeleitfähigkeit beeinflussen, zum Beispiel unterschiedliche Faserdicke und Faserlänge, verschiedener Schmelzperlengehalt oder wechselnde Rohdichte.
3. Verarbeitungsschwankungen, wie Ungleichmäßigkeiten der Anbringung, Stoßfugen, Quetschfalten und dergleichen.

Eine im Laboratorium oder im Betrieb gemessene Wärmeleitfähigkeit ist mit der Meßtoleranz behaftet, das ist im Laboratorium höchstens  $\pm 3$  Prozent und im Betrieb  $\pm 5$  Prozent. Wird zum Beispiel die Wärmeleitfähigkeit einer Mineralfasermatte im Laboratorium bei  $300^\circ\text{C}$  Mitteltemperatur zu  $0,085 \text{ kcal/m h grad}$  ermittelt, so kann sie in Wirklichkeit auch höher oder niedriger sein, das heißt einen Wert zwischen  $0,0825$  und  $0,0875$  aufweisen. Würde der gleiche Wert als Betriebswärmeleitfähigkeit gemessen, so kann er zwischen  $0,081$  und  $0,089$  liegen.

Diese Tatsache muß berücksichtigt werden, wenn Laboratoriumswärmeleitfähigkeiten in der Werbung genannt werden. Aus der angegebenen Toleranz ergibt sich anschaulich, daß es keinen Sinn hat, mehr als zwei Werteziffern zu nennen. Ferner ist zu bedenken, daß solche Laboratoriumswärmeleitfähigkeiten niemals garantiert werden können, weder als Materialwärmeleitfähigkeiten noch als Betriebswärmeleitfähigkeiten, da ja die genannten Material- und Verarbeitungsschwankungen sowie die Meßtoleranz berücksichtigt werden müssen.

Im Laboratorium gemessene Werte können nur als Grundlage für die Festsetzung von Garantiewerten dienen.

Zur Ermittlung einer garantiefähigen Materialwärmeleitfähigkeit sind daher auf eine im Laboratorium mit dem Plattengerät gemessene Wärmeleitfähigkeit folgende Zuschläge zu machen:

1. Meßtoleranz von 3 Prozent.
2. Maximale Abweichung der Wärmeleitfähigkeit von einem sicheren Mittelwert infolge Güteschwankungen des Materials, die durch die Prüfung von mehreren Proben verschiedener Herstellungszeit und eventuell verschiedener Fertigung zu ermitteln ist.

Aus einem solchen Garantiewert der Materialwärmeleitfähigkeit errechnet der Verarbeiter die Betriebswärmeleitfähigkeit beispielsweise für eine Rohrisolierung durch einen weiteren Zuschlag, der Verarbeitungsmängel, Stoßfugen und andere Ungleichmäßigkeiten, beispielsweise Quetschfalten bei Matten, einlagige oder doppelagige Isolierung mit versetzten Fugen und dergleichen berücksichtigt. Bei einer sorgfältigen Ausführung einer Mattenisolierung, das heißt doppelagig mit versetzten Fugen ab einer Isolierdicke von  $50 \text{ mm}$ , beträgt dieser Zuschlag etwa  $5$  bis  $10$  Prozent je nach dem Rohrdurchmesser und der Faserart (Bild 18). Um den verarbeitenden Unternehmen die Festsetzung dieses Zuschlages zu erleichtern, soll der Hersteller neben den Garantiewerten für das Material zur Information noch die Erhöhung mitteilen, die am Prüfrohr gegenüber der Plattengerätmessung gefunden wurden. Der Unterschied zwischen Plattengerät- und Rohrwert kann nämlich je nach Faserart verschieden sein. Es wird bewußt vorgeschlagen, daß der Hersteller gegenüber dem Verarbeiter Materialwärmeleitfähigkeiten garantiert, also Werte, die aus Plattengerätmessungen und nicht aus Rohrmessungen gewonnen wurden. Bei der Garantienachprüfung einer Materiallieferung ist nämlich eine Plattengerätmessung, bei der jeweils ein Ausschnitt ( $300 \text{ mm} \times 300 \text{ mm}$ ) von zwei quadratischen, ebenen Proben von  $500 \text{ mm}$  Kantenlänge erfaßt wird, sicherer reproduzierbar als etwa eine Messung am Prüfrohr. Unterschiede in der Anbringung der Matten am Versuchsrohr können einen verschiedenen Stoßfugen- und Quetschfalteneinfluß zur Folge haben, der in der Meßtoleranz von  $\pm 3$  Prozent nicht enthalten ist.

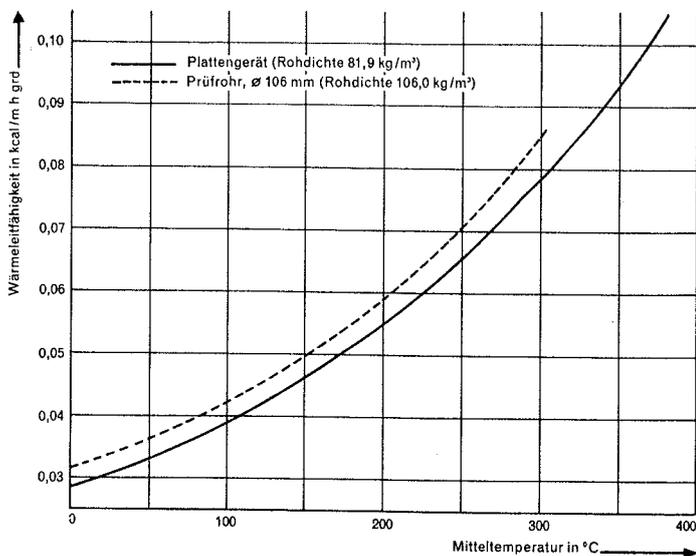


Bild 18

### Wärmeleitfähigkeit einer Mineralfasermatte (gemessen im Plattengerät und am Prüfrohr)

Der Aussagewert einer gemessenen Wärmeleitfähigkeit und eines garantiefähigen Wertes ist daher sehr verschieden. Die gemessene Wärmeleitfähigkeit trifft für das geprüfte Material zu mit einer Toleranz von  $\pm 3$  bzw.  $\pm 5$  Prozent, gibt aber noch keinen sicheren Anhalt für die durchschnittliche Qualität einer Lieferung oder Leistung. Ein Garantiewert dagegen ist ein oberer Grenzwert für das Material oder die fertige Isolierung, der nur um die Meßtoleranz der Nachprüfung überschritten werden darf.

*Um Verwechslungen zu vermeiden, sollten Hersteller daher keine Laboratoriumswärmeleitfähigkeiten in der Werbung verwenden, vor allem keine einmalig günstig gemessenen, sondern nur garantiefähige Materialwärmeleitfähigkeiten und ferner angeben, um wieviel sich diese Werte bei sorgfältiger, doppellagiger Ausführung am Rohr erhöhen. Der Verarbeiter muß sich jedoch weiter überlegen, welche Sicherheitszuschläge er außerdem noch einzurechnen hat.*

## 5. Garantiefragen

Bei der Nachprüfung von garantierten Betriebswärmeleitfähigkeiten beträgt die zulässige Toleranz nach den VDI-Richtlinien, die also eine reine Meßtoleranz darstellt,  $+ 5$  Prozent. Diese Gepflogenheit entspricht jedoch nicht der allgemeinen Meßtechnik, bei der die mögliche Meßtoleranz bereits in dem Sollwert enthalten sein muß, mit dem das Meßergebnis zu vergleichen ist. In letzterem Falle stellen die Garantiewerte Maximalwerte dar. So darf zum Beispiel im Wohnungsbau bei Wärmeleitfähigkeitsmessungen nach DIN 52 612 (1) der ermittelte Wert den Sollwert nach DIN 4108 (8) nicht überschreiten, zum Beispiel bei Schaumkunststoffplatten  $0,035$  und bei Holzwolleleichtbauplatten  $0,080$  kcal/m h grad. Eine Meßtoleranz wird nicht mehr berücksichtigt. Es ist durchaus möglich, daß bei einer Neubearbeitung der VDI-Richtlinien diese in der gesamten Meßtechnik übliche Methode übernommen wird.

In diesem Zusammenhang soll noch darauf hingewiesen werden, daß an ausgeführten Anlagen nur die Betriebswärmeleitfähigkeit und bei Kessolisolierungen die Wärmedurchlaßzahl garantiefähig ist, da nur diese Größen von Betriebsbedingungen unabhängig sind und genau nachgemessen werden können, vorausgesetzt, daß eine Wärmeleitfähigkeitsmessung ohne Störung durch Wärmebrücken möglich ist. Garantiewünsche bezüglich des Wärmeverlustes, der Oberflächentemperatur der Isolierung oder eines Temperaturabfalles zur Gewährleistung eines ausreichenden Wärmeschutzes müssen abgelehnt werden, da diese Größen noch von isolierungsfremden Einflüssen abhängen. Zur Orientierung des Abnehmers können hierfür selbstverständlich Richtwerte genannt werden, die zwar genau

nachgeprüft, aber **vor** der Ausführung der Isolierung nicht verbindlich angegeben werden können. Das gleiche gilt für die sogenannte «Gesamtwärmeleitfähigkeit» von Dampferleitungen, da diese Größe sich auf die gesamte Leitung bezieht und den Einfluß von Rohrhalterungen und sonstigen Einbauten enthält, der vom Isolierunternehmen nicht angegeben und verantwortet werden kann (9).

Vergleicht man die wärmeschutztechnischen Garantiebedingungen nach VDI 2055 für Hersteller und Verarbeiter, so stellt man fest, daß diese für den letzteren ungleich härter sind. Für Fertigarbeiten gilt nämlich eine Garantiezeit von zwei Jahren, während sie für den Hersteller nur drei Monate beträgt. Außerdem haftet der Verarbeiter nach der Montage auch für eventuelle Materialmängel des Herstellers, da diese bei einer Betriebswärmeleitfähigkeitsmessung im Meßergebnis enthalten sein können.

Die Ursache für diese unterschiedlichen Bedingungen liegt, von der Seite des Herstellers aus gesehen, darin, daß dieser nach der Lieferung seines Materials keine Gewähr mehr für Veränderungen übernehmen kann, die durch unsachgemäße Lagerung oder Verarbeitung entstehen können. Daraus ergibt sich die relativ kurze Garantiezeit von drei Monaten nach Eingang des Materials beim Abnehmer.

Das verarbeitende Unternehmen muß jedoch die Isolierung so ausführen, daß der normale Betrieb der Anlage die Isolierungswirkung nicht beeinträchtigt, zum Beispiel durch unvermeidbare Erschütterungen im Kraftwerk, wofür sich eine Erprobungszeit von maximal zwei Jahren eingeführt hat. Ferner läßt sich bei einer durch eine Betriebswärmeleitfähigkeitsmessung festgestellten Garantieüberschreitung nicht immer eindeutig entscheiden, ob diese auf einen Ausführungs- oder Materialfehler zurückzuführen ist. Ein sich auf die Betriebswärmeleitfähigkeit auswirkender Materialfehler läßt sich nämlich nach der Montage nicht mehr ermitteln, weil bei der Beurteilung der gemessenen Wärmeleitfähigkeit von bereits verarbeitetem und von der Anlage wieder abgenommenem Material Verarbeitungseinflüsse und Herstellungsmängel i. a. nicht getrennt werden können.

Diese unterschiedlichen, wenn auch sachlich begründeten, Garantiebedingungen können jedoch zu ungerechten Belastungen für den Verarbeiter führen. Um diese auszuschalten, bieten sich vom meßtechnischen Standpunkt zunächst zwei Lösungsmöglichkeiten an:

1. Von jeder Materiallieferung für ein verarbeitendes Unternehmen werden Proben neutral entnommen, Rohdichte und Materialwärmeleitfähigkeit festgestellt und mit den Garantiewerten des Herstellers verglichen.
2. Zur Vermeidung der sich daraus ergebenden vielen Messungen werden diese Proben bis zum Ablauf der Garantiezeit zwei Jahre gelagert, damit sie bei eventuellen Überschreitungen der garantierten Betriebswärmeleitfähigkeit nachträglich geprüft werden können.

Beide Möglichkeiten scheiden praktisch wegen der hohen Kosten bzw. des mangelnden Lagerraumes aus. Als zweckmäßig erscheint aber eine dritte Möglichkeit, die sich in vielen anderen Zweigen der herstellenden Industrie bereits bewährt hat, nämlich der **Güteschutzgedanke**. Auf dem Bausektor gibt es beispielsweise unter anderem die Güteschutzverbände für Ziegel, Betonstein und Hartschaum-Isolierplatten bzw. die durch DIN-Vorschriften geforderte Güteüberwachung von Holzwolle-Leichtbauplatten (10), Faserdämmstoffe für den Hochbau (11) und Schaumkunststoffe als Dämmstoffe für den Hochbau (12).

Dieser Güteschutz besteht entweder darin, daß die Hersteller einer bestimmten Ware sich in einem Verband zusammenschließen und sich **freiwillig** einer laufenden Güteprüfung ihrer Erzeugnisse unterwerfen, oder daß der Hersteller mit einem Prüfinstitut einen Güteüberwachungsvertrag nach der entsprechenden DIN-Vorschrift abschließt. Ein neutrales, amtlich anerkanntes Prüfinstitut entnimmt jährlich mindestens einmal unangemeldet Proben aus dem Versandlager des Herstellers und führt genau vereinbarte Untersuchungen durch. Diejenigen Hersteller, deren Erzeugnisse die gestellten Anforderungen erfüllen, erhalten ein Güteschutzzeichen, das in der Werbung verwendet werden darf oder können ihre Ware als DIN-gerecht bezeichnen. Auf diese Weise wird eine gleichmäßige Qualität der Ware gewährleistet.

Wenn sich die Hersteller von Dämmstoffen, insbesondere von Mineralfasermatten, einer solchen laufenden Güteprüfung ihrer Produktion bezüglich der wichtigsten Materialeigenschaften,

nämlich Rohdichte, Materialwärmeleitfähigkeit und Temperaturbeständigkeit, bei Kälteschutzstoffen auch des Diffusionswiderstandsfaktors, unterziehen würden, könnten Materialfehler bzw. Abweichungen von garantierten Werten, auf ein Minimum beschränkt werden und die verarbeitenden Unternehmen hätten die sichere Gewähr, daß ihnen stets nur einwandfreies Material angeboten wird.

## 6. Zusammenfassung

Als Ergebnis dieser Ausführungen kann gesagt werden, daß die Wärmeleitfähigkeit von Materiallieferungen und fertigen Isolierungen keine konstante Größe ist, sondern von vielen Einflüssen abhängt und nur bei entsprechender Meßführung genügend genau ermittelt werden kann. Sie ist in der Wärme- und Kälteschutztechnik eine wichtige Größe, wobei der Ausgabewert einer gemessenen Wärmeleitfähigkeit und derjenige eines Garantiewertes in der Werbung sehr verschieden ist. Die gemessene Wärmeleitfähigkeit ist um die Meßtoleranz von  $\pm 3$  bzw.  $\pm 5$  Prozent unsicher und gilt nur für das Meßobjekt, während ein Garantiewert einen oberen Grenzwert darstellen muß, der alle möglichen Material-, Verarbeitungsschwankungen und Betriebseinflüsse enthalten muß. Eine Angabe von mehr als zwei Werteziffern hat wegen der Meßtoleranz keinen Sinn. Bezüglich der ungleichen Garantiebedingungen für Hersteller und Verarbeiter von Isolierstoffen nach VDI 2055 und der sich daraus eventuell ergebenden Härten wird eine laufende Güteüberwachung der Isolierstoffe vorgeschlagen.

## Literaturverzeichnis

- (1) DIN 52 612: Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit mit dem Plattengerät, Juli 1959.
- (2) E. Raisch: Wärmeleitfähigkeit von mineralischen Faserstoffen; Mittlg. a. d. Forschungshelm für Wärmeschutz e. V., München, H. 9 (1955), S. 16/28.
- (3) W.F. Cammerer: Der Einfluß der Feuchtigkeit auf die Wärmeleitfähigkeit von Bau- und Isolierstoffen nach dem gegenwärtigen Stand der Forschung; Kältetechnik 13 (1961), S. 413/420.
- (4) J. Achtziger: Wärmeleitfähigkeitsmessungen an Isolierstoffen mit dem Plattengerät bei tiefen Temperaturen; Kältetechnik 12 (1960), S. 372/375.
- (5) W.F. Cammerer: Der Konvektionseinfluß auf die Wärmeleitfähigkeit von Wandisolierungen aus Mineralfasern; Allgemeine Wärmetechnik 11 (1962), S. 95/101.
- (6) K. Seiffert: Einfluß der Rohrkrümmung auf Wärmeleitfähigkeit und Dichte von Mineralfasermatten; Allgemeine Wärmetechnik 6 (1955), S. 201/203.
- (7) VDI-Richtlinien (VDI 2055): Wärme- und Kälteschutz, Berechnungen, Garantien, Meßverfahren und Lieferbedingungen für Wärme- und Kälteisolierung, Dezember 1958.
- (8) DIN 4108: Wärmeschutz im Hochbau; Mai 1960.
- (9) W.F. Cammerer: Über die Garantie einer mittleren Gesamtwärmeleitfähigkeit der Isolierung von Dampffernleitungen; BWK 13 (1961), S. 118/120.
- (10) DIN 1101: Holzwolle-Leichtbauplatten (Abmessungen, Eigenschaften und Prüfung), Oktober 1961.
- (11) DIN 18 165: Faserdämmstoffe für den Hochbau (Abmessungen, Eigenschaften und Prüfung), März 1963.
- (12) DIN 18 164: Schaumkunststoffe als Dämmstoffe für den Hochbau (Abmessungen, Eigenschaften und Prüfung), Januar 1963.