

**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 II. Wärmeschutz in der Industrie

Nummer 1

# Garantiefragen im Wärmeschutz

Von

Dipl.-Phys. W. F. CAMMERER

## Garantiefragen im Wärmeschutz\*)

Von Dipl.-Phys. W. F. Cammerer

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

### 1. Grundsätzliches über Garantien

Jede Lieferung in der Technik — sei es von Material oder einer ausgeführten Anlage — ist erst dann vollwertig, wenn die Erfüllung der gestellten und vom Lieferer zugesagten Anforderungen durch ausreichende Garantien *gewährleistet* ist. Diese Garantien müssen zweckentsprechend und sinnvoll sein; das heißt: sie sollen einerseits eindeutig die geforderten Eigenschaften kennzeichnen und andererseits mit genügender Sicherheit angegeben, eingehalten und nachgeprüft werden können. Übertriebene Versprechungen, deren Erfüllung bei dem jeweiligen Stande der Technik oder auf Grund physikalischer Gesetzmäßigkeiten nicht möglich ist, verwässern den Garantiebegriff. Ebenso sind solche Garantien sinnlos, deren einwandfreie Nachprüfung nicht sichergestellt ist. Hierunter ist nicht nur zu verstehen, daß die erforderlichen meßtechnischen Voraussetzungen gegeben sein müssen, sondern auch, daß die genaue Ursache für eine Garantieüberschreitung ermittelt werden kann, vor allem dann, wenn mehrere Firmen an einer Lieferung beteiligt sind. In einem solchen Falle müssen die in Frage kommenden Garantien eindeutig getrennt werden können.

Für den Abnehmer einer Wärme- oder Kälteschutzanlage ist der Wunsch naheliegend, vom Lieferer alles das garantieren zu lassen, was durch die Isolierung erreicht werden soll. Hierfür kommen vor allem in Frage:

- a) der höchstzulässige Wärme- oder Kälteverlust
- b) die Temperatur der Isolierungsoberfläche (bzw. deren Übertemperatur)
- c) der örtliche oder zeitliche Temperaturabfall einer Anlage (zum Beispiel die Temperaturabnahme einer Dampferneuerung vom Erzeuger bis zum Verbraucher, oder die zulässige Abkühlung einer Behälterfüllung)

- d) die vollständige oder teilweise Verhinderung von Tauwasser an Kaltwasserleitungen oder an Wänden und Decken von betrieblichen Räumen usw.<sup>1)</sup>

Die Erfüllung dieser Forderungen durch Aufbringung einer entsprechend bemessenen Wärmedämmschicht setzt die genaue Kenntnis all derjenigen Eigenschaften und Einflüsse voraus, von denen die jeweilige Forderung abhängig ist. Neben der *Wärmeleitfähigkeit* des zu wählenden Isoliermaterials ist zunächst die *Temperatur des Wärme- oder Kälte-trägers* von Bedeutung, die vom Auftraggeber im allgemeinen vor Ausführung der Anlage mitgeteilt werden kann. Auch die *Betriebsweise* ist in manchen Fällen wichtig, etwa bei einer Tauwasserisolierung die Benutzungszeit der Anlage und die relative Luftfeuchtigkeit (deren genaue Angabe oftmals aber nicht möglich ist).

Außerdem sind, je nach der geforderten Eigenschaft, zum Teil von erheblichem Einfluß:

*Temperatur der Umgebungsluft* und der in der Nähe der Anlage befindlichen Körperoberflächen, die mit der Isolierungsoberfläche in Strahlungsaustausch stehen

*Wärmeübergangsverhältnisse* an der inneren und äußeren Isolierungsoberfläche

*Wärme- oder Kältebrücken* der Isolierung (wie Halterungen, Versteifungen und Abstandsstützen von Blechmänteln und dergleichen).

Diese Einflüsse sind im allgemeinen nicht beziehungsweise nicht genügend genau bekannt, oder sie können an verschiedenen Stellen und zu verschiedenen Zeiten unterschiedlich sein. So schwanken manchmal die Raumtemperatur (etwa die Lufttemperatur eines Kesselhauses), der Einfluß von Wärme zustrahlenden Oberflächen und die Luftbe-

<sup>1)</sup> Auf Forderungen, die nicht unmittelbar den Wärmeschutz einer Isolierung betreffen (beispielsweise Druckfestigkeit, Temperaturbeständigkeit, chemische Eigenschaften, Diffusionsdurchlässigkeit des Materials und ähnliches), ferner auf juristische Fragen und Konventionalstrafen soll in diesem Zusammenhang nicht eingegangen werden

\*) Vortrag auf der Mitgliederversammlung des Forschungsheimes für Wärmeschutz am 25. 3. 1960 in Hannover

wegung in der Nähe der isolierten Anlage örtlich und zeitlich mehr oder weniger, und sie sind auch zahlenmäßig oft nur schwer zu erfassen. Die nachträgliche Änderung der Strahlungszahl der Isolierungsoberfläche — beispielsweise durch einen Aluminiumbronze-Anstrich — kann sich je nach den Verhältnissen, sehr stark auswirken, vor allem auf die Höhe der Oberflächentemperatur [1].

Die Berechnung der erforderlichen Isolierstärke ist daher oftmals nur unter Zugrundelegung bestimmter Annahmen möglich, wobei der Einfluß von Wärmebrücken meist nur grob geschätzt werden muß oder aus Mangel passender Unterlagen überhaupt nicht berücksichtigt werden kann. Der letztere Fall trifft beispielsweise bei der Einmauerung von Dampfkesseln zu, wo sehr häufig die äußere Blechabdeckung von Halterungen und Teilen der Kesselkonstruktion aufgeheizt wird, deren Art und Lage manchmal nachträglich überhaupt nicht mehr festzustellen ist. Auch der Einfluß von Rohrhalterungen und -aufhängungen wird vorläufig nach den „Richtlinien für den Wärme- und Kälteschutz“ des Vereins deutscher Ingenieure (VDI) [8] nur in der Größenordnung von 15 bis 25 % des Wärmeverlustes ohne Einbauten näherungsweise berücksichtigt, je nachdem die Rohrleitungen in Innenräumen oder im Freien verlegt sind. Ein prozentualer Zuschlag kann aber diesen zusätzlichen Wärmeverlust nicht in seiner tatsächlichen Größe erfassen, da sich bei verschiedenen Isolierstärken unterschiedliche Werte ergeben, obwohl der zusätzliche Verlust für eine bestimmte Ausführung der Halterung unter gleichen Betriebsbedingungen praktisch eine Konstante ist. Es liegen hier ähnliche Verhältnisse vor wie bei den Stützringen von Blechmänteln, deren Einfluß auf Grund eingehender Untersuchungen des Forschungsheimes durch einen additiven Zuschlag auf die Wärmeleitfähigkeit des Isoliermaterials berücksichtigt wird [5 a, 8]. Die Ermittlung des zusätzlichen Wärmeverlustes von isolierten Rohrleitungen durch Aufhängungen oder Halterungen ist daher eine dringende Forderung der Praxis.

Die geschilderten Einflüsse, für welche bei wärmeschutztechnischen Berechnungen lediglich Annahmen zugrundegelegt werden können, sind für manche geforderte Wirkung einer Isolierung von so entscheidender Bedeutung, daß eine gewünschte Garantie vor Ausführung der Anlage nur mit einer mehr oder weniger großen Unsicherheit gegeben werden kann. Die genannten Forderungen eignen sich daher nicht als Garantien, deren Einhaltung ja ein eindeutiges Urteil über die Güte einer Isolierung geben soll, oder nur bedingt mit einer großen Toleranz, die ihren Wert wesentlich herabsetzt.

## 2. Zweckmäßige Garantien:

### Wärmeleitfähigkeit und Isolierdicke

Die Wärmedämmwirkung einer Isolierung kann durch zwei Größen eindeutig gekennzeichnet werden, die bei der Planung einer Wärmeschutzanlage genau angegeben, bei der Ausführung eingehalten und bei geometrisch eindeutigen Verhältnissen des Isolierkörpers auch genau nachgeprüft werden können, nämlich

1. die *Wärmeleitfähigkeit* (Wärmeleitzahl) der Isolierung
2. die *Dicke* der Isolierung.

Unter der *Wärmeleitfähigkeit* eines Stoffes versteht man eine von der Temperatur abhängige Stoffeigenschaft, die bei einem gegebenen Temperaturgefälle einen bestimmten Wärmefluß hervorruft, oder in Maßeinheiten anschaulicher ausgedrückt diejenige Wärmemenge in kcal, die in 1 h durch 1 m<sup>2</sup> einer 1 m dicken Schicht bei einer Temperaturdifferenz von 1 grad<sup>2)</sup> zwischen den Oberflächen senkrecht zu diesen fließt (die Maßeinheit der Wärmeleitfähigkeit ist dann kcal/m h grad).

Obgleich die Wärmeleitfähigkeit eine Stoffeigenschaft ist, kann sie doch an einer praktisch ausgeführten Isolierung erheblich von den im Laboratorium ermittelten Werten abweichen. Die Ursache hierfür sind Strukturänderungen des Isolierkörpers, die dieser bei der Anbringung erfährt (beispielsweise bei Mineralfaserisolierungen durch ungleichmäßige Faserlage, bei Stopfisolierungen durch Hohlräume, bei Matten und Schalen durch lückenhafte Stoßfugen). Die Wärmeleitzahl einer ausgeführten Isolierung wird daher zum Unterschied von der Laboratoriums-Wärmeleitzahl die *Betriebswärmeleitzahl* einer Isolierung genannt (bei einer mehrschichtigen Wärmedämmung die *gleichwertige Betriebswärmeleitzahl*).

Der Unterschied zwischen Betriebswärmeleitzahl und Laboratoriums-Wärmeleitzahl hängt eindeutig von der Qualität des tatsächlich verwendeten Isoliermaterials und der sachgemäßen und sorgfältigen Ausführung der Isolierung ab. Die Betriebswärmeleitzahl kann, sofern genügend Erfahrungen vorliegen — und bei den heute meistens verwendeten Materialien ist dies der Fall — in Abhängigkeit von der Mitteltemperatur der Isolierung angegeben werden. Ferner ist ihre eindeutige Nachprüfung an einer ausgeführten Anlage mit Hilfe des von E. Schmidt im Forschungsheim entwickelten Wärmeflußmessers möglich, im allgemeinen mit einer maximalen Meßtoleranz von  $\pm 5\%$ , sofern gewisse Voraussetzungen gegeben sind, auf die hier nicht näher eingegangen werden soll [6, 8].

Die „Richtlinien für den Wärme- und Kälteschutz“ [8] bezeichnen deshalb die *Wärmeleitzahl* als eine völlig eindeutige und am genauesten nachprüfbar Garantie und legen als Toleranz die Meßtoleranz von  $\pm 5\%$  fest, mindestens jedoch  $\pm 0.003$  kcal/m h grad. Um für diese Garantie Unterlagen zu schaffen, die auch tatsächlich der Praxis entsprechen, fordern die Richtlinien, daß bei Laboratoriumsmessungen das Isoliermaterial in der gleichen Form geprüft werden muß, in der es verwendet werden soll. So darf eine Rohrisolierung beispielsweise nicht als eine ebenflächige Isolierung untersucht werden, auch wenn sie aus dem gleichen Material besteht. Bei dieser Prüfung wird nämlich nur die Wärmeleitfähigkeit eines ebenen Ausschnittes (zum Beispiel aus einer Fasermatte) gemessen, wodurch Stoßfugen, Quetschfalten und

<sup>2)</sup> grad soll die Temperaturdifferenz in C (Celsius) bedeuten

andere durch die Krümmung bedingte Ungleichmäßigkeiten in der Isolierung, welche die Wärmedurchlässigkeit erhöhen, nicht erfaßt werden. Unsicherheiten der Ausführung durch mehr oder weniger zuverlässige Arbeitskräfte müssen vom Lieferer als Risikozuschlag in der garantierten Betriebswärmeleitzahl eingeschlossen werden.

Normalerweise kann ebenso die *Isolierdicke* kontrolliert werden, so daß die beiden Größen, welche die Güte einer Isolierung eindeutig kennzeichnen, den eingangs gestellten Forderungen für eine technische Garantie gerecht werden. Ist eine Nachmessung der Isolierstärke an der ausgeführten Isolierung nicht möglich (etwa bei einer Kesselisolierung), so kann die *Wärmedurchlaßzahl* aber garantiert werden. Man versteht darunter — in Maßeinheiten ausgedrückt — diejenige Wärmemenge, die in 1 h durch 1 m<sup>2</sup> einer Wand von gegebener Dicke fließt, wenn die Temperaturdifferenz der Oberflächen 1 grd beträgt; die Maßeinheit ist dann kcal/m<sup>2</sup> h grd. Diese Größe ist ebenfalls von Wärmeübergangsbedingungen unabhängig und wird nur von der Mitteltemperatur der einzelnen Isolierschichten und von der Güte des verwendeten Isoliermaterials sowie von der Ausführung beeinflusst.

Um Wünschen der Abnehmer gerecht zu werden, für die beispielsweise der Wärmeverlust oder der Temperaturabfall einer Dampfleitung anschaulicher oder aus betrieblichen Gründen wichtig ist, wird vorgeschlagen, solche Größen zusätzlich auf Grund vorsichtiger Annahmen zu schätzen und unter Angabe der Voraussetzungen mitzuteilen. Zur Garantie eignen sie sich jedoch wenig, obwohl die „Richtlinien“ die Garantie von Wärme- und Kälteverlusten ausschließlich Einbauten mit einer Toleranz von ± 10 % und diejenige des Temperaturabfalles mit ± 15–20 % vorsehen. Es ist jedoch leicht einzusehen, daß solche Toleranzen den Wert einer Garantie stark mindern.

Die *Oberflächentemperatur* einer Isolierung, die Vermeidung von *Tauwasser* und das *Nichteinfrieren* in Leitungen werden in den „Richtlinien“ als ungeeignet zu einer Garantie bezeichnet, und zwar aus Gründen, die nach den bisherigen Ausführungen durchaus verständlich sind.

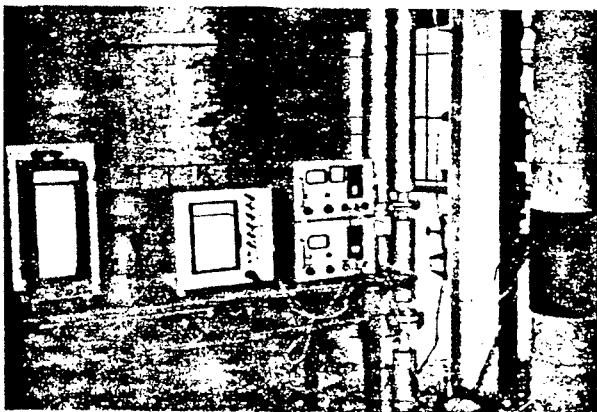


Fig. 1  
Garantienachprüfung der Betriebswärmeleitzahl (Rohrisolierung einer Kraftwerks-Dampfleitung) Vergleichsmessung mit Schreib- und Zählgeräten

Diese Gedankengänge über Garantiefragen sollen im folgenden noch an Beispielen näher erläutert werden.

### 3. Rohrisolierungen

In der Industrie werden wärmeschutztechnische Garantien besonders bei Isolierungen von Rohrleitungen mit höheren Dampftemperaturen gefordert, da von einem ausreichenden Wärmeschutz die Wirtschaftlichkeit der betreffenden Anlage abhängig ist. Hier hat sich seit vielen Jahren die Garantie der Betriebswärmeleitzahl eingeführt und bewährt. Bei den heute vielfach üblichen Mineralfaserisolierungen mit Blechmantelumhüllung ist die Anbringung von Abstandshaltern erforderlich, die als Wärmebrücken wirken. Der Einfluß dieser Stützringe, auf den bereits hingewiesen wurde, ist weitgehend geklärt. Er kann jedoch mit Hilfe des Schmidt'schen Wärmeflußmeßstreifens wegen dessen Dicke nicht nachgeprüft werden, sondern es ist nur die Ermittlung der Betriebswärmeleitzahl der reinen Isolierung zwischen zwei Stützringen möglich. In Fig. 1 wird eine solche Garantienachmessung an einer Kraftwerksleitung gezeigt, wobei rechts die Rohrleitung mit den aufgebrachten Wärmeflußmeßstreifen und Schutzstreifen zu sehen ist. In diesem Falle wurde gleichzeitig mit dem herkömmlichen Sechsfarbenpunktschreiber und modernen Zählgeräten gemessen [2].

Da der Stützring ein Konstruktionselement der Isolierung ist und die Ausfüllung mit Isoliermaterial vor allem von der Sorgfalt der ausführenden Arbeitskräfte abhängt, ist der Wunsch mancher Abnehmer (besonders von Kraftwerken) verständlich, die Betriebswärmeleitzahl der Isolierung einschließ-

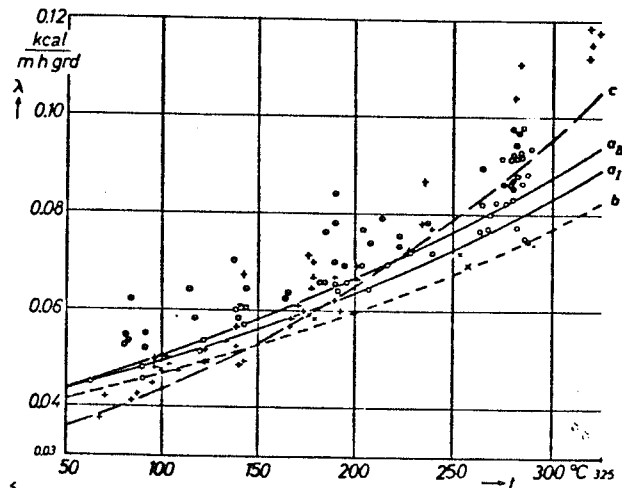


Fig. 2  
Wärmeleitfähigkeit  $\lambda$  von Mineralwolle in Abhängigkeit von der Mitteltemperatur  $t$  (Rohrisolierung mit Blechmantel)

- Meßpunkte  
 O Mineralwolle-Stopfisolierung  
 X Matten aus kurzfasriger Mineralwolle  
 + Matten aus mittel- bis langfasriger Mineralwolle  
 Kurven  
 a<sub>I</sub> Mineralwolle I, Stopfisolierung ( $R \approx 200 \text{ kg/m}^3$ )  
 a<sub>II</sub> Mineralwolle II, Stopfisolierung ( $R \approx 200 \text{ kg/m}^3$ )  
 b Matten aus kurzfasriger Mineralwolle ( $R \approx 200 - 220 \text{ kg/m}^3$ )  
 c Matten aus mittel- bis langfasriger Mineralwolle ( $R \approx 100 - 120 \text{ kg/m}^3$ )

lich Stützring garantieren und nachprüfen zu lassen. Diese Forderung kann jedoch heute noch nicht erfüllt werden. Es sind hierfür Wärmefluß-Meßdecken von 1 m Länge und einer Breite entsprechend dem Isolierungsumfang mit einer Dicke von höchstens 1 mm notwendig, da größere Dicken durch ihre Isolierwirkung den Wärmeverlust der Abstandshalter verfälschen. An der Entwicklung solch dünner Wärmeflußmesser wird im Forschungsheim gearbeitet; ihre Verwirklichung ist jedoch äußerst schwierig. Bis auf weiteres kann daher nur die reine Isolierung nachgeprüft und der Einfluß der Stützringe geschätzt werden. Eine Garantieabgabe ist deshalb heute nur in der Form möglich, daß die Betriebswärmeleitfähigkeit, gemessen zwischen zwei Stützringen, gewährleistet und deren Erhöhung durch die Stützringe zusätzlich angegeben, aber nicht garantiert wird.

In Fig. 2 sind die Ergebnisse von Betriebswärmeleitfähigkeitsmessungen an Rohrisolierungen aus Mineralfaserstoffen mit Blechmantel dargestellt [5b]. Die meisten Meßwerte weichen von den Laboratoriumswerten erheblich ab, so daß bei der Garantie der Betriebswärmeleitfähigkeit einer Mineralfaser-Rohrisolierung zu der Laboratoriums-Wärmeleitfähigkeit ein entsprechender Zuschlag zu machen ist. Bei sorgfältiger Ausführung der Isolierung liegt der Zuschlag in der Größenordnung von 5–10 %. Am sichersten werden gute Werte bei Matten-Isolierung in Doppellagen mit versetzten Fugen erreicht, da auf diese Weise der Einfluß der Stoßfugen weitgehend vermieden wird.

In diesem Zusammenhang ist eine Veröffentlichung von H. Kuhn [3] über die Messung der Wärmeverluste isolierter Dampfleitungen von Interesse. H. Kuhn vertritt die Auffassung, daß die Garantie von Betriebswärmeleitfähigkeiten der reinen Isolierung bei Dampfleitungen und deren Nachprüfung mit dem Schmidt'schen Wärmeflußmesser zwischen den Stützringen nicht ausreichend sei, da bei langen Leitungen sehr viele Messungen erforderlich sind, die in der Praxis nicht ausgeführt werden könnten. Außerdem sei es nicht möglich, auf

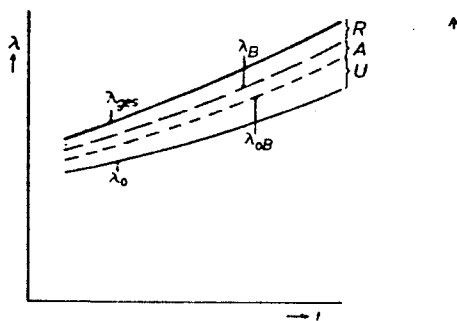


Fig. 3

Wärmeleitfähigkeit einer Rohrisolierung in Abhängigkeit von der Mitteltemperatur (nach H. Kuhn)

- $\lambda_0$  Wärmeleitfähigkeit
- $\lambda_{as}$  Betriebswärmeleitfähigkeit ohne Abstandshalter
- $\lambda_{asa}$  Betriebswärmeleitfähigkeit der Fertisolierung (bisheriger Garantiewert)
- $\lambda_{asa}$  mittlere Gesamtwärmeleitfähigkeit
- R Zuschlag für Rohralterung
- A Abstandshalter
- U Ausführungsungenauigkeiten

den Gesamtwärmeverlust der Leitung zu schließen, da Einflüsse von Abstandshaltern und Rohralterungen nicht erfaßt würden.

Er schlägt daher die Garantie und Nachprüfung einer Gesamtwärmeleitfähigkeit vor, die sich aus der Laboratoriums-Wärmeleitfähigkeit und den Einflüssen von Ausführungsungenauigkeiten, Abstandshaltern, Rohralterungen und Einbauten zusammensetzt (Fig. 3). Zur Nachprüfung der Garantie könne die Gesamtwärmeleitfähigkeit aus dem Gesamtwärmeverlust und der mittleren Temperaturdifferenz zwischen Rohr und Außenluft unter Zugrundelegung bestimmter Annahmen für den äußeren Wärmeübergang ermittelt werden. Hierzu ist die Messung des Temperatur- und Druckabfalles der gesamten Leitung, des Dampfdurchsatzes, der mittleren Lufttemperatur und der Windgeschwindigkeit an mehreren Stellen der Leitung erforderlich.

Die Garantie einer solchen Gesamtwärmeleitfähigkeit widerspricht aber dem eingangs aufgestellten Grundsatz, daß bei der Beteiligung von mehreren Lieferanten die Garantien eindeutig zu trennen sind. In dieser Garantiegröße sind nämlich neben den wärmeschutztechnischen Eigenschaften des Isoliermaterials, der Stützringe und der Ausführung der Isolierung (für die das Isolierunternehmen verantwortlich ist) auch die Wärmeverluste von Rohralterungen und Einbauten (Armaturen, Dehnungsstücken, Entwässerungen und dergleichen) enthalten, deren Einflüsse je nach Ausführungsart sehr verschieden sein können (was besonders bei Rohralterungen der Fall ist). Wie bereits erwähnt wurde, kann ihre Wirkung auf den Gesamtwärmeverlust oder den Temperaturabfall der Leitung nur grob geschätzt werden, wobei dem Lieferer der Isolierung bei der Angebotsabgabe oft noch nicht einmal Unterlagen über die Art und Ausführung der Rohralterungen zur Verfügung stehen.

Mit Ausnahme der wenigen Fälle, in denen Rohrleitungsbau und Isolierung in der Hand eines Unternehmens liegen, können daher niemals Gesamtwärmeverlust, Temperaturabfall oder Gesamtwärmeleitfähigkeit mit hinreichender Genauigkeit garantiert werden und der Lieferer der Isolierung kann nicht für Mängel haftbar gemacht werden, deren Vermeidung zur Verantwortung eines anderen Lieferers gehört und deren eindeutige Trennung von Mängeln der Isolierung bei der Nachprüfung nicht möglich ist. Solange außerdem der Einfluß der Wärmeverluste der wichtigsten Ausführungsarten von Rohralterungen noch nicht untersucht ist, kann auch vom Lieferer der Rohrleitung schwerlich eine sichere Garantie abgegeben werden.

Die Messung der Betriebswärmeleitfähigkeit an einigen Stellen einer langen Rohrleitung stellt allerdings keine Prüfung der gesamten Isolierung dar. Erfahrungsgemäß läßt sich aber aus einigen Stichproben meistens ein Urteil über die Qualität einer ausgeführten Isolierung abgeben.

Selbstverständlich ist das Verfahren von H. Kuhn nützlich, um den Temperaturabfall oder den Gesamtwärmeverlust von Dampfleitungen festzustellen und Unterlagen zu schaffen, damit diese Werte zusätzlich zur Garantie der Betriebswärmeleitfähigkeit angegeben werden können. Es ist daher

auch zu begrüßen, daß H. Kuhn die keineswegs einfache Messung der erforderlichen Größen verfeinert und entsprechende Meßverfahren entwickelt hat. Wichtig ist vor allem auch der Hinweis, daß der Temperaturabfall einer langen Dampfleitung nicht nur durch Wärmeverluste bedingt ist, sondern auch durch den Druckabfall des Dampfes, was bei der Nachprüfung des Temperaturabfalles berücksichtigt werden muß.

#### 4. Isolierung von Hochleistungsdampfkesseln

Wesentlich schwierigere Verhältnisse als bei Rohrisolierungen liegen auf einem anderen Gebiet vor, nämlich bei der Garantie einer ausreichenden Wärmeisolierung von Hochleistungsdampfkesseln. Das Bestreben, Energie zu sparen und den Wirkungsgrad von Dampferzeugern zu erhöhen, fordert naturgemäß ein Mindestmaß von Wärmeverlusten der äußeren Kesseloberfläche, der *Abstrahlung*, die nur zum Teil durch Wärmestrahlung und zum anderen Teil durch Konvektion und Wärmeleitung der Luft abgegeben wird. Nach den bisherigen „Richtlinien für die Einmauerung von Hochleistungsdampfkesseln“ der Vereinigung der Großkesselbesitzer (VGB) [7] ist die Gewährleistung eines ausreichenden Wärmeschutzes der Einmauerung durch die Garantie der Oberflächentemperatur bei gegebener Kesselhaustemperatur und einer bestimmten Luftgeschwindigkeit und durch die Garantie des Wärmeverlustes bei festgelegten Betriebsbedingungen vorgesehen. Die Erfahrung hat aber gezeigt, daß diese Garantien trotz bester Ausführung der Kesselisolierung oft nicht eingehalten werden können. Auf die möglichen Gründe wurde bereits eingegangen: sie liegen im wesentlichen in dem Einfluß von Wärmebrücken, also in der Kesselkonstruktion.

Es ist daher zu begrüßen, wenn sich die VGB bemüht, bei der Neubearbeitung der „Einmauerungsrichtlinien“ die hier auftretenden Fragen objektiv zu untersuchen und physikalisch einwandfreie Grundlagen für sinnvolle und eindeutige Garantien zu finden. Das Forschungsheim hat zur Klärung der Voraussetzungen eingehende Temperatur- und Wärmeflußmessungen an einem 100-to-Zyklonkessel eines Spitzenkraftwerkes durchgeführt und interessante Ergebnisse festgestellt<sup>3)</sup>.

Zur Messung des Wärmeverlustes von Kessel-einmauerungen sind im Forschungsheim dünne Wärmeflußmesser aus Silicon-Glasseide-Gewebe und galvanischen Thermoelementen entwickelt worden, die eine Temperaturbeständigkeit bis etwa 200 °C aufweisen. Dabei konnte auf Erfahrungen aufgebaut werden, die J. S. Cammerer bei der Anfertigung von Folien-Wärmestrom-Messern für physiologische Messungen gesammelt hat [4]. Die Kesselwärmeflußmesser wurden in einer Größe von 15 cm × 15 cm und einer Dicke von etwa 0.7 mm hergestellt.

<sup>3)</sup> Für die Gewährung der notwendigen Mittel zur Durchführung der Forschungsarbeit sei der Vereinigung der Großkessel-Besitzer auch an dieser Stelle der aufrichtige Dank des Verfassers ausgesprochen. Ein ausführlicher Bericht der Ergebnisse wird in den VGB-Mitteilungen veröffentlicht werden.

Zur Klärung des Einflusses von Wärmebrücken wurde je ein Wärmeflußmesser auf der äußeren Blechabdeckung und auf dem darunter liegenden Mauerwerk aufgebracht, und gleichzeitig wurde die angezeigte Wärmemenge ermittelt. Ferner registrierten Thermolemente die Temperaturen der warmen Oberfläche des Mauerwerks unmittelbar hinter dem Rohrschirm, im Mauerwerk und auf der äußeren Blechabdeckung, sowie die Lufttemperaturen in etwa 15–20 mm und in etwa 1 m Entfernung von der Kesseloberfläche. Fig. 4 zeigt den Einbau von Schutzrohren für die Thermolemente während der Einmauerung. Zur Verhinderung einer Wärmeableitung von der Lötstelle des Thermolementes (und damit einer Falschmessung) wird das Thermolement eine gewisse Strecke in einer Zone gleicher Temperatur verlegt, bevor der Meßdraht nach außen geleitet wird. Auf Fig. 5 ist die Aufbringung eines Wärmeflußmessers auf die Oberfläche des Mauerwerks unter die äußerste Isolierschicht — eine Mineralfasermatte — zu sehen. Auf Fig. 6 ist die Meßstelle zur Zeit der Messungen abgebildet. Das entnommene Mattenstück wurde wieder eingesetzt, das herausgeschnittene Stück der Blechabdeckung eingeschweißt und ein Wärmeflußmesser zur Messung der abgegebenen Wärmemenge in der Mitte des Ausschnittes aufgeklebt. Unmittelbar vor dem Wärmeflußmesser kann man ein Thermolement sehen, dessen Lötstelle mittels einer Aluminiumfolie strahlungsgeschützt ist. Fig. 7 zeigt die Meßgeräte: einen elektronischen Kompensations-Zwölfachsreiber zur Registrierung der Meßwerte und ein Zählgerät zur zeitlichen Mittelwertbildung schwankender Größen.

Es sind dabei sehr unterschiedliche Ergebnisse festgestellt worden. An einer Meßstelle hatte der Wärmeverlust der Blechabdeckung die gleiche Größe wie derjenige des Mauerwerkes; das bedeutet: an dieser Stelle lagen ideale Verhältnisse vor, und eine Messung auf der Blechabdeckung zeigte den tatsächlichen Wärmeverlust des Mauerwerks an. An einer anderen Meßstelle gab die Blechoberfläche jedoch *das Zweifache* der auf dem Mauerwerk gemessenen Wärme ab, während an einer dritten Stelle außen nur *die Hälfte* des Wärmeverlustes des Mauerwerkes festgestellt wurde. An der zweiten



Fig. 4

Einmauerung von Schutzrohren

(Aufnahme von Thermolementen für Temperaturmessungen auf der inneren Wandoberfläche hinter dem Rohrschirm und innerhalb des Mauerwerks)

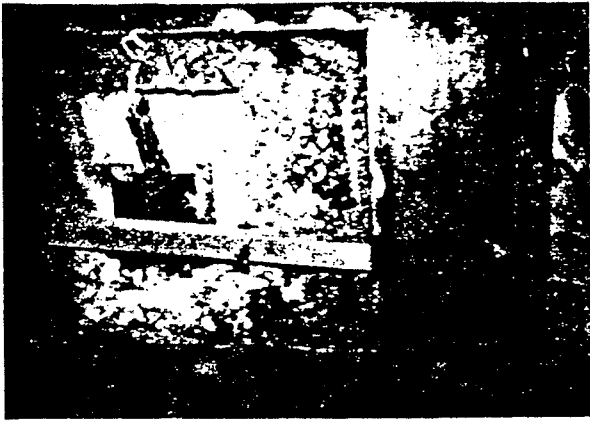


Fig. 5

Kessel-Wärmeflußmesser  
(Einbringen zur Wärmeverlustmessung des  
Mauerwerks unter der Blechabdeckung)

Meßstelle leiteten daher Wärmebrücken die Wärme unter Umgehung der Isolierung auf die Blechabdeckung, und an der dritten Meßstelle wurde Wärme in der Luftschicht unter der Blechhaut konvektiv abgeführt und an anderer Stelle abgegeben.

Aus diesen Messungen ergibt sich, daß bei Kesseleinmauerungen eine Wärmeverlustmessung, die ein Urteil über die Wärmedurchlässigkeit der Isolierung ermöglichen soll, *nur unmittelbar auf dem Mauerwerk* durchgeführt werden kann. Da aber dieser Wärmeverlust auch von der meist zwischen Blechabdeckung und Mauerwerk liegenden Luftschicht, deren Temperatur und diese wiederum von Wärmebrücken beeinflusst wird, ist auch hier die Garantie einer Größe zweckmäßig, die sich nur auf die Wärmedämmwirkung der Isolierung bezieht.

Nach den vorangestellten grundsätzlichen Ausführungen kommt als Garantiegröße nur die *Wärmedurchlaßzahl* der Isolierung in Frage. Sie kann vor Ausführung der Isolierung für die in Betracht kommenden Temperaturverhältnisse angegeben und garantiert werden, wenn die Wärmeleitfähigkeit der Materialien bekannt ist, aus denen die einzelnen Schichten bestehen.



Fig. 6

Außenansicht einer Meßstelle  
(Eingeschweißte Blechabdeckung und aufgeklebter  
Wärmeflußmesser nebst Temperaturmeßstellen)

Die Nachprüfung erfolgt durch Messen der Temperaturen zu beiden Seiten des Mauerwerks und des Wärmeverlustes am Mauerwerk unter der Blechabdeckung. Bei geschlossener und durch Stampfmasse verkleideter Berohrung erübrigt sich die Messung der warmen Oberflächentemperatur, da diese gleich der Satttdampfentemperatur des in den Rohren strömenden Dampfes gesetzt werden kann. Weist der Rohrschirm jedoch eine Rohrteilung auf, so wird der inneren Maueroberfläche unmittelbar aus dem Feuerraum Wärme zugeführt: sie erhält dadurch eine höhere Temperatur, als der Satttdampfentemperatur entspricht. In diesem Falle muß die innere Oberflächentemperatur des Mauerwerks mit Hilfe von Meßstellen ermittelt werden, die bereits während der Einmauerung anzubringen sind.

Diese Ausführungen könnten noch durch weitere Beispiele aus dem Gebiete des Wärme- und Kälteschutzes ergänzt werden (zum Beispiel aus dem Kühlhaus- und Schiffskühlraumbau), welche die dargelegten Grundsätze über sinnvolle Garantien bestätigen.

Den besonderen Verhältnissen im Wohnungsbau wird noch eine eigene Arbeit gewidmet.

##### 5. Zusammenfassung

Als Ergebnis dieser Untersuchung über zweckentsprechende und sinnvolle Garantien im Wärmeschutz kann gesagt werden, daß eine eindeutige und genau nachprüfbare Garantiegröße nur die *Wärmeleitfähigkeit* der ausgeführten Isolierung in Verbindung mit der *Isolierdicke* darstellt, da diese Größen allein von der Güte des Isolierstoffes, der praktischen Ausführung und von der Mitteltemperatur der Isolierung (bzw. der einzelnen Schichten der Isolierung) beeinflusst wird. Sie ist damit völlig unabhängig von den jeweils herrschenden, örtlich und zeitlich oft wechselnden Bedingungen (wie etwa Umgebungstemperatur, Luftbewegung an der Isolierungsoberfläche, Wärmeübergang an der inneren Oberfläche, Wärmebrücken und dergleichen), also von Einflüssen, die vor Ausführung der Isolierung entweder nur schwer oder überhaupt nicht zu erfassen sind beziehungsweise berücksichtigt werden können.

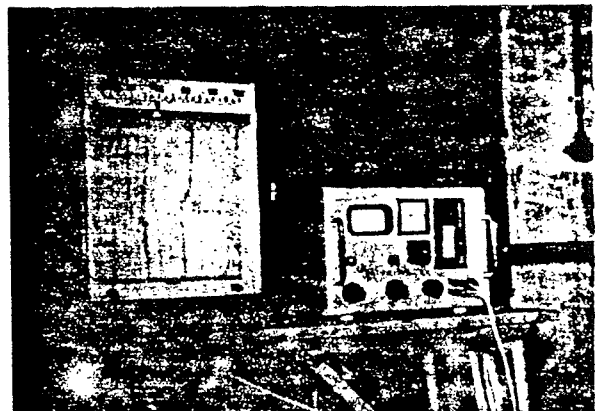


Fig. 7

Elektronischer Kompensations-Zwölfachsreiber  
und Zählgerät nach Fr. C. Cammerer  
(Registrierung oder Mittelwertbildung der Meßwerte)

## Benutzte Zeichen

R Rohdichte<sup>\*)</sup>, kg/m<sup>3</sup>

t Mitteltemperatur, °C

λ Wärmeleitfähigkeit, kcal/m h grad

\*) Die Rohdichte ist früher mit Raumgewicht bezeichnet worden

## Literaturverzeichnis

[1] W. F. Cammerer: Gewährleistungen von Oberflächentemperaturen an isolierten Anlagen; Mitt. Forschungsh. f. Wärmeschutz München H. 9 (1955) S. 46/52

[2] W. F. Cammerer u. Fr. C. Cammerer: Die Verwendung von Zählgeräten für Abnahmeversuche im industriellen Wärme- und Kälteschutz; Brennst.-Wärme-Kraft 11 (1959) S. 17/20

[3] H. Kuhn: Messung der Wärmeverluste isolierter Dampferleitungen; Brennst.-Wärme-Kraft 11 (1959) S. 336/341

[4] W. L. Lustig u. J. S. Cammerer: a) Messung der Wärmeabgabe von Mensch und Tier; Allg. Wärmetechnik 5 (1954) S. 146/153 — b) Folien-Wärmestrom-Messer für technische und physiologische Untersuchungen; Gesundh.-Ing. 76 (1955) S. 289/293

[5] E. Raisch: a) Wärmeverluste durch Stützringe für Blechmäntel; Mitt. Forschungsh. f. Wärmeschutz München H. 9 (1955) S. 29/38 — b) Wärme- und Kälteschutz; Brennst.-Wärme-Kraft 10 (1958) S. 192/193

[6] E. Raisch u. K. Schropp: Die thermoelektrische Temperatur- und Wärmeflußmessung; Mitt. Forschungsh. f. Wärmeschutz München H. 8 (1930)

[7] Vereinigung d. Großkesselbesitzer (VGB): Richtlinien für die Einmauerung von Hochleistungsdampfkesseln; Essen 1951

[8] VDI-Richtlinien (VDI 2055): Wärme- und Kälteschutz (Berechnungen, Garantien, Meßverfahren und Lieferbedingungen für Wärme- und Kälteisolierungen); Berlin 1958