

F O R S C H U N G S I N S T I T U T  
**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 9

# Verhalten von Mineral- faser-Dämmstoffen bei höheren Temperaturen

von  
Dipl.-Ing. H. Zehndner



Dipl.-Ing. H. Zehendner,  
FIW München

## Verhalten von Mineral- faser-Dämmstoffen bei höheren Temperaturen\*

Bei der Wärmedämmung von Rohrleitungen, Behältern und Dampferzeugern in industriellen Anlagen, mit höheren Temperaturen werden überwiegend Mineralfaser-Dämmstoffe und Leichtbaustoffe hoher Porosität verwendet.

Neben ausreichender Wärmedämmwirkung ist die Beständigkeit gegen mechanische und chemische Beanspruchung und gegen langzeitige Wärmeeinwirkung bei höheren Temperaturen erforderlich.

In der Vergangenheit sind zahlreiche Untersuchungen durchgeführt worden, um für diese Dämmstoffe eine Anwendungs-Grenztemperatur angeben zu können, d.h. eine Höchsttemperatur der Anwendung, ohne daß durch stoffliche Änderungen bei höheren Temperaturen die Wärmedämmwirkung verändert oder unzulässig stark vermindert wird. [1, 2].

Verschiedene Prüfverfahren sind in der Richtlinie VDI 2055 für Dämmstoffe mit weichen, elastischem Gefüge beschrieben und für die Praxis angewendet worden, wo-

bei im FIW überwiegend nach dem Kurzzeitverfahren mit allseitiger Beheizung einer zylindrischen Probe (Temperatursteigerung etwa 5 K je Minute) unter  $1 \text{ kN/m}^2$  Belastung geprüft worden ist. [3].

Als Anwendungs-Grenztemperatur wurde diejenige Temperatur angegeben, bei der die Dickenminderung der Probe als Folge der Elastizitätsverminderung oder dem Erweichen der Fasern 5% betrug. Die Ergebnisse dieses Prüfverfahrens wurden oft kritisch betrachtet, da aus der Praxis sowohl höhere, als auch niedrigere Einsatz-Höchst-

temperaturen angegeben worden sind. [4, 5].

Da aber das Verhalten der Dämmstoffe in der Praxis von vielen Randbedingungen beeinflusst wird, wurde ein Forschungsvorhaben geplant und durchgeführt mit dem Ziel, die Einflüsse von Temperaturgefälle, statischer oder dynamischer Beanspruchung und der Zeit zu untersuchen.

\* Die Untersuchungen wurden mit Mitteln der AIF (Arbeitsgemeinschaft Industrieller Forschungsvereinigungen e.V., Köln) durchgeführt. Für die Unterstützung und Förderung sei auch an dieser Stelle der Dank des Instituts ausgesprochen.

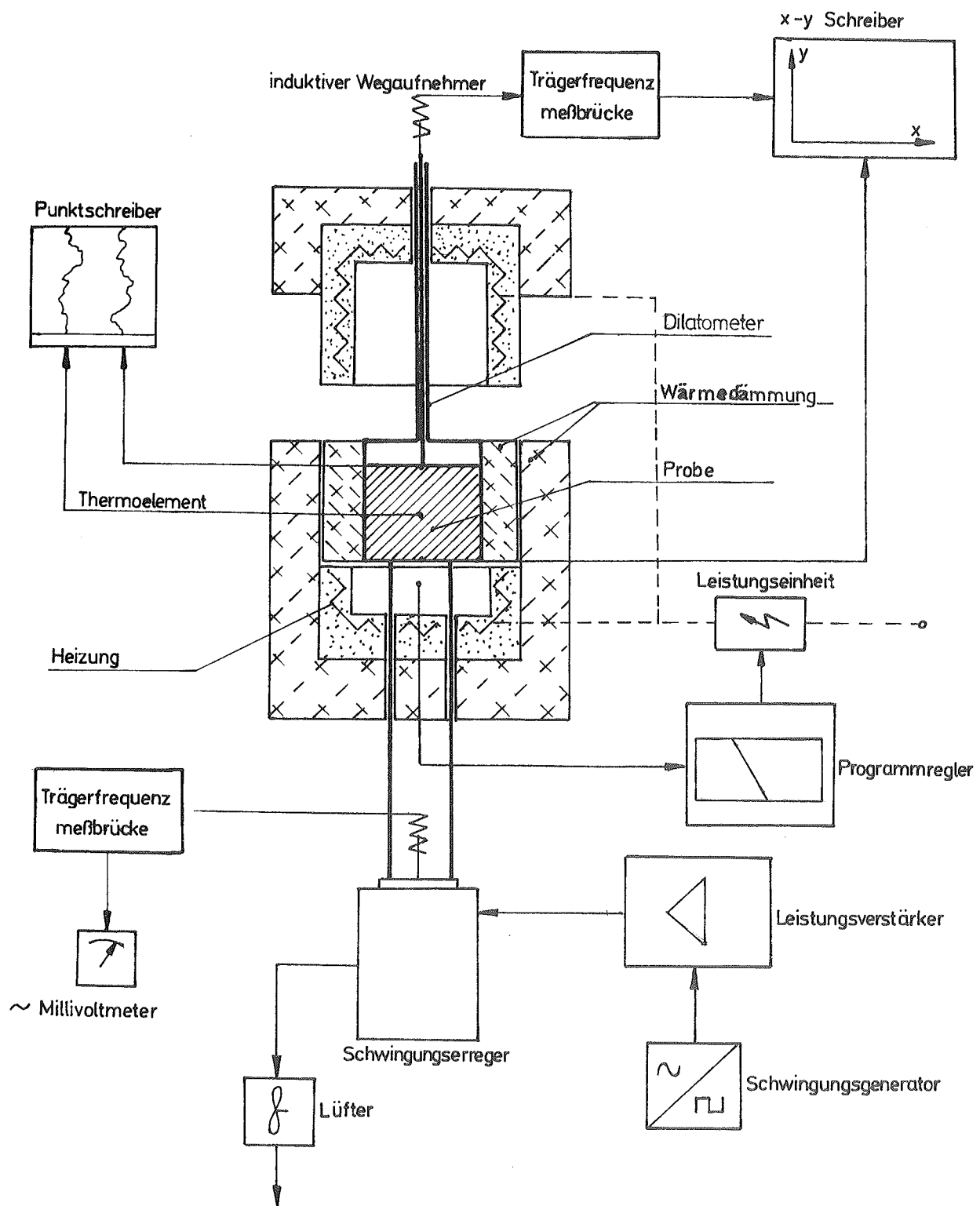


Bild 1: Schematische Darstellung der Versuchsanordnung

Im Rahmen dieser Arbeit sollen unsere Forschungsarbeiten eingehender beschrieben und die gefundenen Ergebnisse veröffentlicht werden.

## Grundlagen

Für die Wärmedämmung werden Mineralfasern in loser oder gebundener Form mit unterschiedlicher Rohdichte geliefert, wobei nach Herstellungsverfahren und Roh-

stoffzusammensetzung unterschieden wird. [6, 7].

Für die Wärmedämmarbeiten an betriebstechnischen Anlagen war bisher die Unterteilung in 3 Gruppen entsprechend den Ausgangsstoffen üblich, nämlich in Glasfasern, Stein- oder Schlackefasern und keramische Fasern. Diese Einteilung berücksichtigte auch die unterschiedliche Schmelztemperatur der Rohstoffe bei der Herstellung der glasigen Fasern und damit die unterschiedlichen Anwendungstemperaturen.

In Normen und Richtlinien faßt man aber alle künstlich aus Mineralien, Gestein oder Schlacke hergestellten Fasern für Dämmstoffe unter der Bezeichnung »Mineralfasern« zusammen.

Die Struktur der Mineralfaser-Dämmstoffe wird im wesentlichen durch das Herstellungsverfahren bestimmt, wobei die mittlere Dicke und Länge der Fasern, sowie deren Orientierung, Verfilzung und Art der Bindung von Einfluß auf die physikalischen Eigenschaften sind, ebenso der Anteil an nichtfaserigen Bestandteilen.

Eine charakteristische Größe ist dabei auch die Rohdichte, die maßgebend das Verhalten bei mechanischer Beanspruchung bestimmt.

Für betriebstechnische Anlagen werden Mineralfaser-Dämmstoffe gefordert, deren Nenndicke und Rohdichte einer flächenbezogenen Belastung von  $1 \text{ kN/m}^2$  entsprechen. [8, 9].

Matten und Filze der üblichen Mineralfaser-Dämmstoffe haben bei dieser Anforderung je nach Produktionsmethode und Art der Rohstoffe folgende Anhaltswerte der Rohdichte: Glasfasern oder keramische Fasern etwa  $60\text{--}100 \text{ kg/m}^3$  und Mineralfasern aus Gestein oder Schlacke etwa  $100\text{--}130 \text{ kg/m}^3$ . Bei Platten ist die Rohdichte durch das Verdichten und Binden der Fasern gegeben, wobei für besondere mechanische Beanspruchungen Rohdichten bis ca.  $200 \text{ kg/m}^3$  und mehr gefertigt werden.

Früher hatten die Mineralfaser-Erzeugnisse entsprechend der Produktionsmethode und der damit i.a. verbundenen größeren Faserdicken und einem größeren Anteil von nichtfaserigen Bestandteilen teilweise wesentlich höhere Rohdichte bei  $1 \text{ kN/m}^2$  Belastung [1]. Dieser Hinweis soll zum Verständnis der früheren Angaben in der Literatur und in Richtlinien gemacht werden, da ja die Beziehung zwischen der Rohdichte und der Druckbeanspruchung bzw. der Vorbeanspruchung zu berücksichtigen ist.

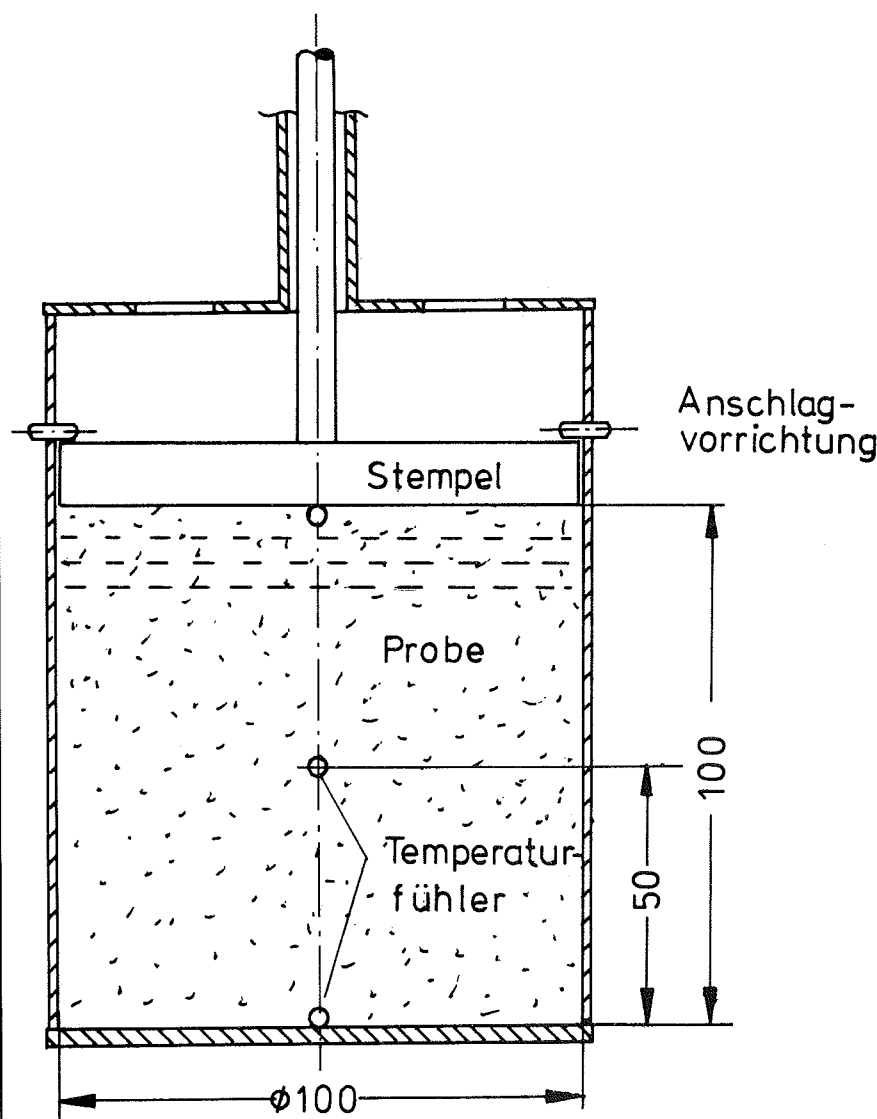


Bild 2: Schnitt durch das Prüfgefäß mit Lage der Temperaturfühler

Für die Untersuchungen der möglichen Einflüsse auf das Temperaturverhalten ist eine Prüfapparatur geplant und gebaut worden, wobei das in Abschnitt 5.252 der Richtlinie VDI 2055 (Ausgabe Dez. 1958) beschriebene Verfahren die Grundlage bildete.

Dabei waren besonders folgende Überlegungen richtungsweisend: Vergrößerung der Maße der Probekörper, um einen besseren Querschnitt des Dämmstoffes im Hinblick auf Struktur und Bindung zu erfassen,

Möglichkeit der Beheizung der Probekörper von einer und von allen Seiten,

Untersuchungen der Einflüsse von Erschütterungen und Schwingungen bei der Beurteilung der Standfestigkeit und

das Zeitstandverhalten.

All diese Einflüsse konnten mit unserer Versuchsanordnung\* untersucht werden, die kurz beschrieben werden soll.

## Beschreibung der Versuchsanordnung

Der schematische Aufbau der Versuchsanordnung ist in Bild 1 dargestellt.

Die Probe wird in einem Prüfraum eines ausreichend wärmedämmten Muffelofens beheizt, der in 2 Ebenen geteilt und geöffnet werden kann.

In das zylindrische Prüfgefäß aus dünnem, zunderfreiem Stahl können Proben von 100 mm  $\varnothing$  und 50–100 mm Höhe eingebaut werden (Bild 2).

Zur Temperaturmessung werden Temperaturfühler - Pt Rh - Pt - Mantelthermoelemente mit 0,1 mm  $\varnothing$  - entsprechend Bild 2 eingebracht, so daß eine laufende Temperatureaufzeichnung mit einem elektronischen Kompensations-Punktschreiber erfolgen kann.

Die Beheizung des Prüfraums erfolgt mittels in feuerfeste Massen eingebettete Heizspiralen aus Chrom-Nickel-Draht,  $\varnothing$  1,7 mm, die über 4 Stufen mit Heizleistungen von 2–5,7 KW geschaltet werden können.

Die gewünschte Aufheizgeschwindigkeit von z.B. 2 oder 5 K/min. oder der vorgegebene Temperaturverlauf wird mit einem Programmregler über einen Thyristor kontaktlos gesteuert, wobei eine höchste Temperatur von 1200°C möglich ist.

Bei einseitiger Beheizung wird das Oberteil des Muffelofens hochgeschoben, bei allseitiger Beheizung ist der Ofen geschlossen (Bild 3). Die Belastung wird auf die Probe durch einen ebenen Stempel aufgebracht, der während des Prüfens nahezu reibungsfrei und planparallel zum Boden des Prüfgefäßes geführt werden kann.

Die Dickenänderung der Probe beim Versuch wird durch die Bewegung des Belastungstempels



Bild 3: Einbau des Probekörpers in den Prüfraum mit hochgeschobenem Oberteil

\* Der Aufbau der Versuchsanordnung und die Durchführung der Messungen wurden von Herrn Ing. (grad.) M. Zeitler geleitet.

nach dem Dilatometerprinzip als relative Verschiebung der Endfläche zum Boden über zwei konzentrische Rohre direkt auf die Meßeinrichtung übertragen. Zur Messung wird ein induktiver Wegaufnehmer mit einem Meßbereich von  $\pm 20$  mm verwendet, der über eine Trägerfrequenzmeßbrücke proportional zur Wegände-

rung eine Spannung bewirkt. Die Dickenänderung kann auf einem Anzeigeelement direkt abgelesen oder aber auf dem x-y-Schreiber als prozentuale Dickenänderung auf der y-Achse aufgezeichnet werden; die Genauigkeit beträgt ca.  $\pm 0,2$  mm. Durch Aufzeichnen der Temperatur auf der x-Achse ist es möglich, direkt den Verlauf »Pro-

zentuale Dickenänderung-Temperatur« in Diagrammform mit dem Schreiber darzustellen.

Zur Untersuchung bei Schwingungsbeanspruchung wurde das Prüfgefäß mit einer Einrichtung gekoppelt, so daß Schwingungen mit Frequenzen im Bereich von 2–50 Hz und Amplituden bis maximal 2 mm übertragen werden können (Bild 4).

Sämtliche Steuereinheiten und Meß- und Registriergeräte sind in einem Schaltschrank zusammengefaßt worden (Bild 5).

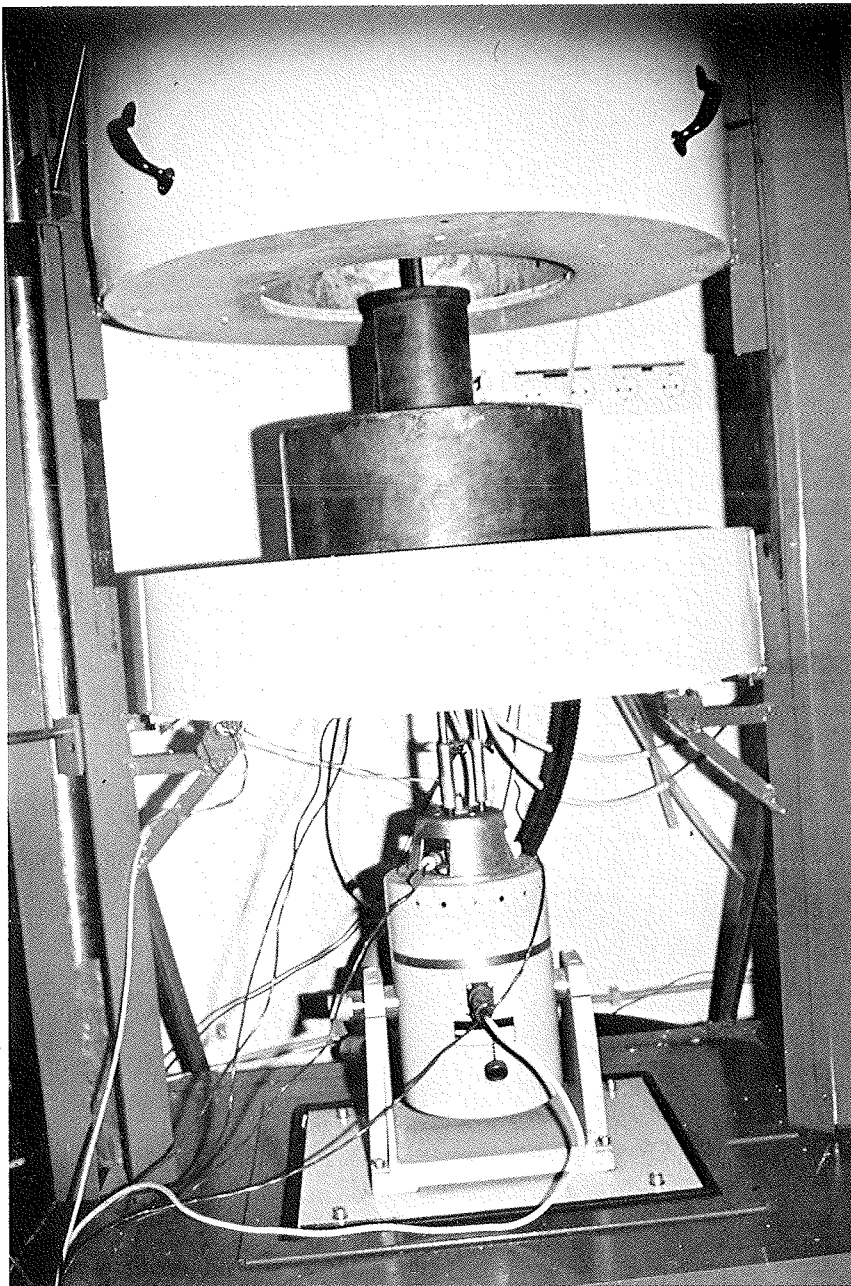


Bild 4: Versuchsanordnung mit Schwingungseinrichtung

## Untersuchte Stoffe

Im Rahmen der Forschungsarbeiten wurden handelsübliche Mineralfaser-Dämmstoffe in Form von Matten, Filzen und Platten verschiedener Hersteller untersucht. Sie werden nachfolgend mit der Rohdichte entsprechend  $1 \text{ kN/m}^2$  Belastung beschrieben und wie folgt bezeichnet:

Glasfaser-Matte, ca.  $70 \text{ kg/m}^3$ : Bezeichnung »G«

Mineralfaser-Matte I und II, ca.  $100 \text{ kg/m}^3$ : Bezeichnung »M I« und »M II«

III und IV, ca.  $125 \text{ kg/m}^3$ : »Bezeichnung »M III« und »M IV«

Mineralfaser-Platte, ca.  $180 \text{ kg/m}^3$ : Bezeichnung »MP«

Keramischer Filz, ca.  $120 \text{ kg/m}^3$ : Bezeichnung »KF«.

Die Matten konnten mit der Nennstärke von 100 mm, die Platte und der Filz nur in der Dicke von ca. 30 mm erworben werden.

Außerdem sind folgende plattenförmige Leichtbau-Dämmstoffe in dem Forschungsvorhaben mit untersucht worden:

Asbestschaum, Dicke 30 mm, Rohdichte ca.  $19 \text{ kg/m}^3$

Kalziumsilikat, Dicke 50 mm, Rohdichte ca.  $210 \text{ kg/m}^3$

Leichtbeton mit Perlitzuschlägen,

Dicke 50 mm, Rohdichte entsprechend dem Mischungsverhältnis 1:5 bis 1:11 zwischen 600 und 850 kg/m<sup>3</sup>.

## Herstellen und Form der Probekörper

Die zylindrischen Probekörper von 100 mm  $\varnothing$  sind aus den ebenen Dämmstoffen behutsam mit einer Schneidvorrichtung so ausgestochen worden, daß sie senkrecht zur Dämmstoff-Oberfläche belastet und geprüft werden konnten. Bei den Stoffen mit einer geringeren Dicke als 100 mm ist der Probekörper stets durch Aufeinanderlegen von mehreren Lagen (Schichten) hergestellt worden. Bei den plattenförmigen Leichtbaustoffen sind die erforderlichen Probekörper vorsichtig unter Vermeidung von Randzonen ausgesägt worden.

## Durchgeführte Untersuchungen und Ergebnisse

Vor den Prüfungen sind die Probekörper bei 105°C bis zur Massekonstanz getrocknet worden; dabei ist stets die Dicke entsprechend 1 kN/m<sup>2</sup> Belastung und die Rohdichte im trockenen Zustand festgestellt worden.

Für die Untersuchungen des Temperaturverhaltens wurde der Probekörper in das Prüfgefäß im Muffelofen zusammen mit den beweglichen Temperaturfühlern eingebaut; dann ist mit dem Stempel die vereinbarte Belastung auf den Probekörper im Prüfgefäß gebracht worden. Nach 2-5 Minuten wurde die Dicke des Probekörpers gemessen, die als Ausgangsdicke für die weiteren Untersuchungen galt.

Sollte die Untersuchung mit einer geringeren Dicke als bei 1 kN/m<sup>2</sup> Belastung, d.h. mit einer höheren Rohdichte durchgeführt werden, so ist die Probe durch Erhöhen des

Stempeldrucks auf die entsprechende Dicke zusammengepreßt worden. Durch eine Anschlagvorrichtung wurde dann in diesem Fall verhindert, daß sich der Stempel über die Anfangsstellung wieder hebt.

Bei dem früher festgelegten Prüfverfahren wird der Probekörper allseitig beheizt, mit einer Temperatursteigerung von 5 K je Minute und die Dickenverminderung unter dem Prüfdruck von 1 kN/m<sup>2</sup> in Abhängigkeit von der Temperatur aufgezeichnet.

Neben der allseitigen Beheizung des Probekörpers wurde in unseren Forschungsarbeiten auch noch die einseitige Beheizung der Unterseite des Probekörpers durchgeführt; dabei ist die Prüftemperatur stetig mit 2 oder 5 K je Minute oder in Stufen von 50 K in verschiedenen Zeitabständen erhöht worden.

Nachfolgend werden die Untersuchungen der Stoffe unter verschiedenen Prüfbedingungen beschrieben und die Ergebnisse dargestellt.

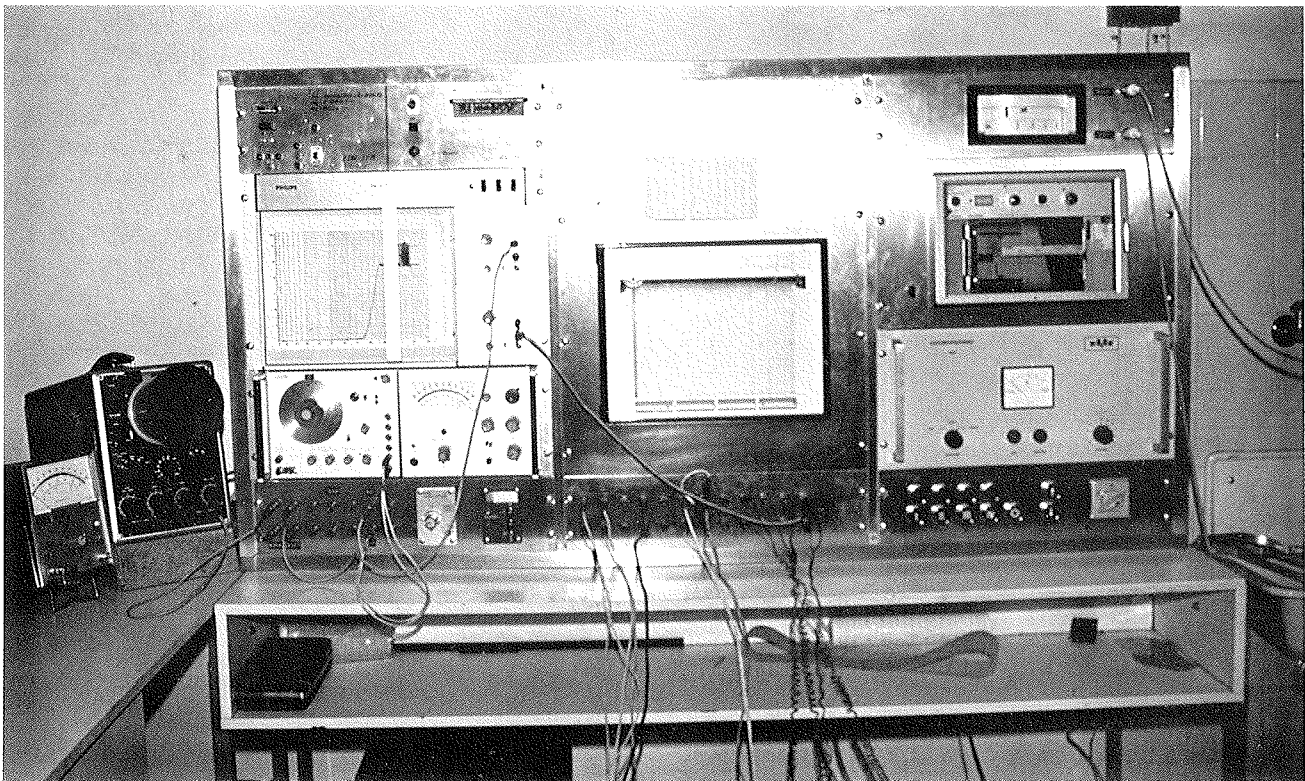


Bild 5: Schaltschrank mit Steuereinrichtungen und Meßgeräten

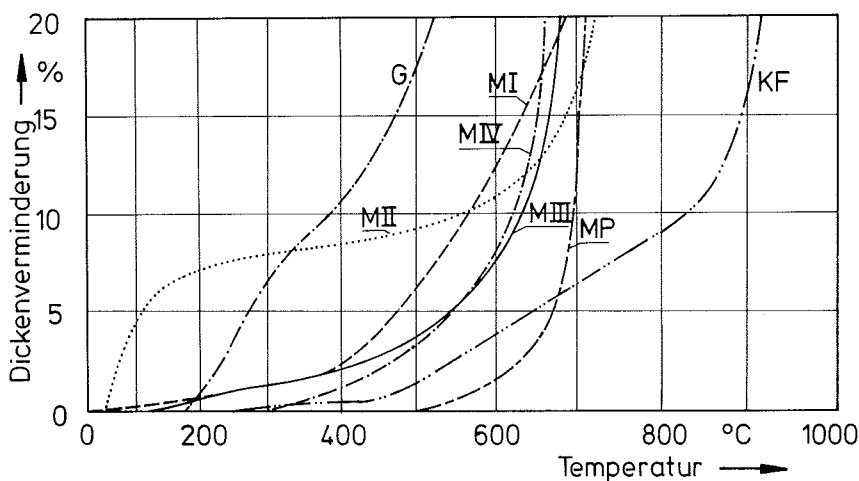


Bild 6: Kurvenverlauf »Prozentuale Dickenverminderung - Temperatur« von Mineralfaser-Dämmstoffen; Prüfung bei allseitiger Beheizung/Druck  $1 \text{ kN/m}^2$   
Rohdichte entsprechend  $1 \text{ kN/m}^2$  Belastung

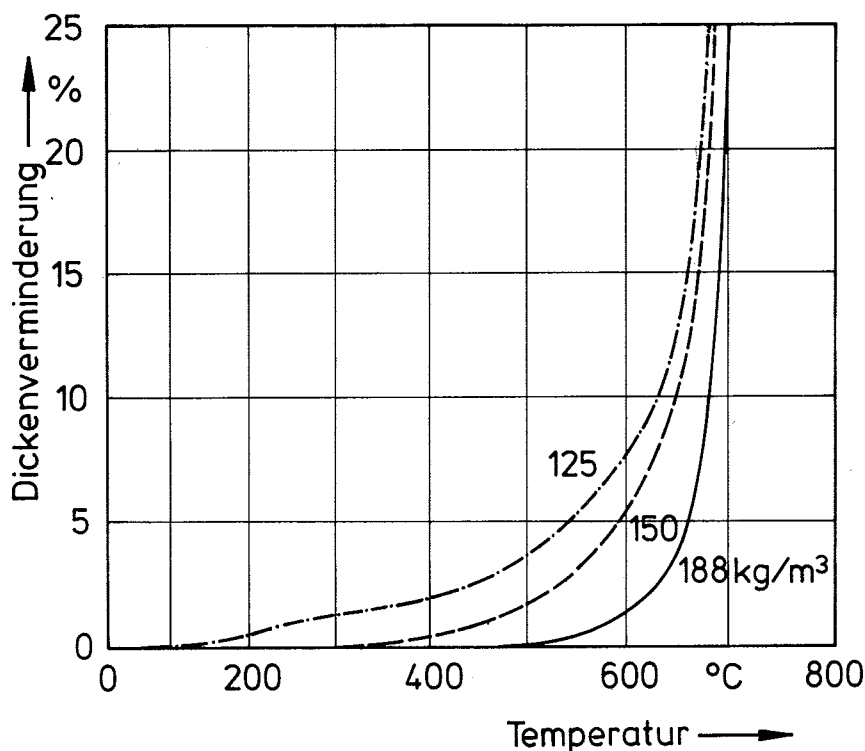


Bild 7: Kurvenverlauf »Prozentuale Dickenverminderung - Temperatur« der Mineralfaser-Matte »M III«; Prüfung bei allseitiger Beheizung/Druck  $1 \text{ kN/m}^2$ . Rohdichte  $125 \text{ kg/m}^3$  ( $1 \text{ kN/m}^2$ ) um 20 und 50% erhöht.

## Allseitige Beheizung mit Temperatursteigerung

Bei der allseitigen Beheizung des Probekörpers ist die Temperatur, ausgehend von etwa  $20^\circ\text{C}$  stetig um  $5 \text{ K}$  je Minute gesteigert worden, bis sich die Dicke um etwa 20% vermindert hat.

Es sind von jedem Stoff 3 Probekörper geprüft worden, bei sehr unterschiedlichem Verhalten 5 Probekörper.

In Bild 6 ist die mittlere prozentuale Dickenverminderung über der Temperatur für die sieben Mineralfaserstoffe dargestellt, wobei Einbaudicke und Rohdichte der Belastung von  $1 \text{ kN/m}^2$  entsprachen.

Die Prüfung bei allseitiger Beheizung, Temperatursteigerung  $5 \text{ K/min}$  und einem Druck von  $1 \text{ kN/m}^2$  ergab sehr unterschiedliche Kurvenverläufe.

Bei einigen Stoffen trat bereits unter  $200^\circ\text{C}$  eine Dickenverminderung ein, die sich teilweise unstetig, aber verstärkt mit steigender Temperatur fortsetzte. Man erkennt eine gewisse Elastizitäts- oder Gefügeänderung der Probekörper und evtl. Auswirkungen der Faserausstattung wie Schmälz- oder Bindemittel besonders bei den Stoffen »G« und »M II« und den Einfluß der geringen Rohdichte, deren Größe ja dem Prüfdruck bei Raumtemperatur entsprach.

Eine Ausnahme bildete die Mineralfaserplatte »MP« mit starker Faserbindung und einer Rohdichte von  $180 \text{ kg/m}^3$ .

Untersuchungen über den Einfluß der Rohdichte haben bei den Matten und Filzen gezeigt, daß bei um 20 oder 50% höheren Rohdichten als bei  $1 \text{ kN/m}^2$  Belastung, die Dickenverminderung der Probekörper erst bei höheren Temperaturen beginnt, daß aber die rasche Dickenverminderung als Folge der beginnenden Erweichung der Fasern nicht wesentlich von der Rohdichte abhängt. Die Bilder 7 und 8 zeigen dies am Beispiel der Mineralfaser-



matte »M III« und des keramischen Filzes »KF«.

In Bild 9 sind die Kurvenverläufe »Prozentuale Dickenverminderung-Temperatur« bei allseitiger Beheizung dargestellt, die bei der Prüfung der Mineralfaser-Dämmstoffe mit um 20% höherer Rohdichte beim keramischen Filz »KF« und mit um 50% höheren Rohdichten bei den Matten »G« und »M I-IV« ermittelt worden sind. Die Dickenverminderung beginnt bei »G« und »M II« bei etwa 350°C, bei den weiteren Stoffen bei 500-550°C. In diesem Bild wird durch die Kurvenverläufe die Unterteilung nach dem Temperaturverhalten in »Glasfasern-Stein- oder Schlackefasern und keramische Fasern« deutlich entsprechend der rascheren Dickenverminderung bei etwa 450-550°C, 650-750°C und 800-950°C.

Nach den Prüfungen bis zu den höchsten Temperaturen bei etwa 20 bis 25% Dickenverminderung sind an den Mineralfaser-Probekörpern neben unterschiedlichen Verfärbungen folgende Masseabnahmen festgestellt worden: G etwa 1,2%, M I etwa 0,4%, M II etwa 2,0%, M III etwa 0,7%, M IV keine Abnahme, MP etwa 0,5% und KF etwa 1,8%. Diese Werte der prozentualen Masseabnahme sind auf die Masse vor der Prüfung im trockenen Zustand bezogen worden.

Zur Ermittlung des Einflusses der Probengröße ist von allen Stoffen an Probekörpern von 35 mm  $\varnothing$  und 50 mm Dicke mit der früheren Prüfeinrichtung des FIW [1] das Temperaturverhalten untersucht worden. Die Ergebnisse haben gezeigt, daß im Bereich der Materialschwankungen und der Meßunsicherheit praktisch keine Unterschiede erkennbar sind, wenn die Proben sorgfältig hergestellt und in die Prüfgefäße eingebracht werden. Untersuchungen mit einer Temperatursteigerung von 2K statt 5K je Minute bei allseitiger Beheizung haben teilweise Unterschiede nur im anfänglichen Kurvenverlauf bis etwa 10% Dickenverminderung

ergeben; dabei lagen die Temperaturen des Erreichens von z.B. 5% Dickenverminderung bei M II bis 30K niedriger, bei G und M IV bis 20K höher. Bei höheren Rohdich-

ten der Probekörper konnte im Rahmen der Meßwertstreuung kein Einfluß mehr festgestellt werden.

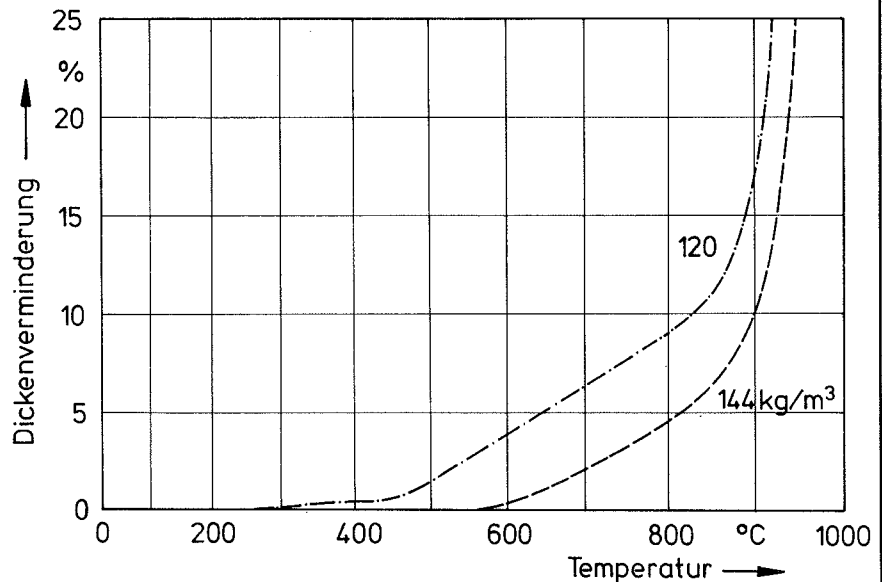


Bild 8: Kurvenverlauf »Prozentuale Dickenverminderung - Temperatur« des keramischen Filzes »KF«; Prüfung bei allseitiger Beheizung/Druck  $1 \text{ kN/m}^2$  Rohdichte  $120 \text{ kg/m}^3$  ( $1 \text{ kN/m}^2$ ) um 20% erhöht.

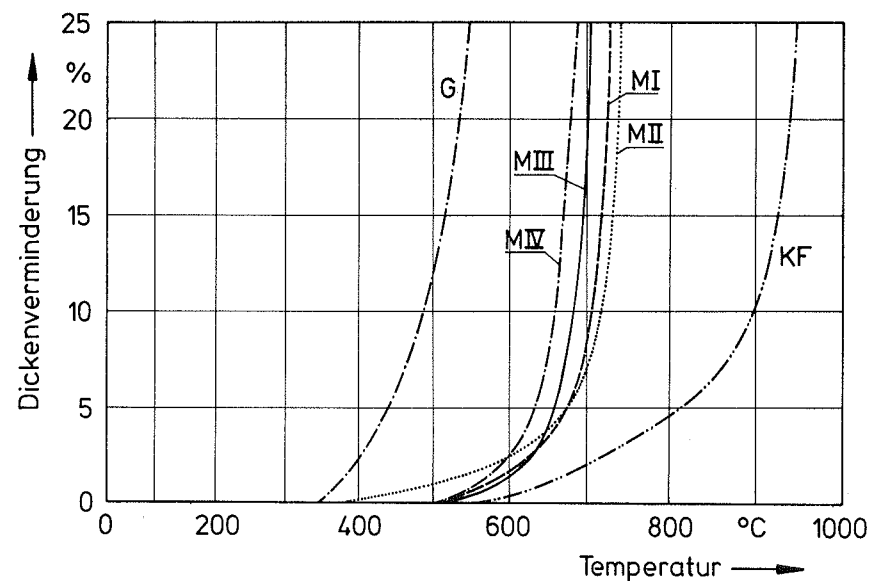


Bild 9: Kurvenverlauf »Prozentuale Dickenverminderung - Temperatur« von Mineralfaser-Dämmstoffen; Prüfung bei allseitiger Beheizung/Druck  $1 \text{ kN/m}^2$  Rohdichte um 20% (KF) und 50% (G und M I-IV) gegenüber  $1 \text{ kN/m}^2$  Belastung erhöht.

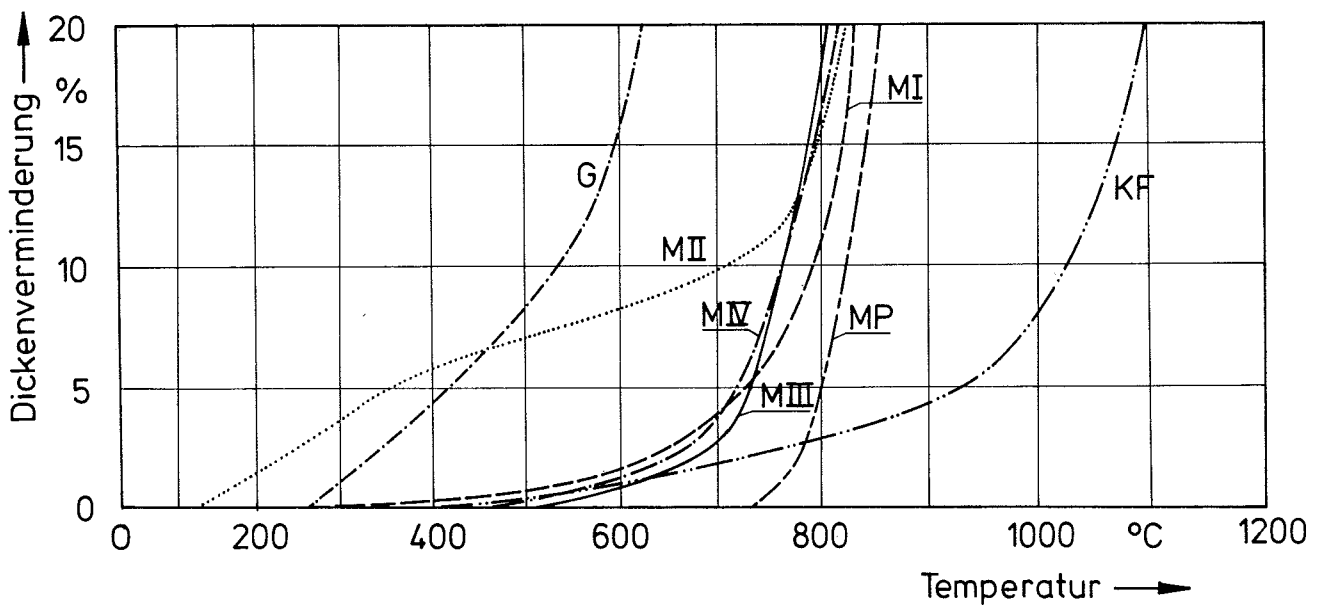


Bild 10: Kurvenverlauf »Prozentuale Dickenverminderung - Temperatur« von Mineralfaser-Dämmstoffen; Prüfung bei einseitiger Beheizung/Druck  $1 \text{ kN/m}^2$ . Rohdichte entsprechend  $1 \text{ kN/m}^2$  Belastung

### Einseitige Beheizung mit Temperatursteigerung

In den weiteren Prüfungen sind die 100 mm dicken Probekörper nur einseitig vom Boden des Prüfgefäßes her beheizt worden, um das Verhalten der Dämmschicht entsprechend der praktischen Beanspruchung zu untersuchen. Durch eine Kühleinrichtung wurde gewährleistet, daß die obere »Kaltseite« des Probekörpers nicht über  $80^\circ\text{C}$  anstieg.

Nachdem aus dem Kurvenverlauf bei allseitiger Beheizung Aussagen über beginnende Elastizitätsminderung, Gefügeänderungen und über das Erweichen der Fasern in Abhängigkeit von der Temperatur gemacht werden konnten, sollten nun diese Einflüsse in der Dämmschicht mit Temperaturgefälle untersucht werden.

Zum Vergleich sind die Prüfungen bei den Mineralfaser-Dämmstoffen mit der Rohdichte entsprechend

$1 \text{ kN/m}^2$  Belastung (Bild 10) und mit einer um 20–50% erhöhten Rohdichte (Bild 11) ausgeführt worden.

Bei der gewählten Temperatursteigerung von 5 K je Minute und dem Prüfdruck von  $1 \text{ kN/m}^2$  fällt in Bild 10 ähnlich wie bereits in Bild 6 auf, daß bei »G« und »M II« bei Temperaturen um  $200^\circ\text{C}$  schon die Dickenverminderung beginnt. Außerdem setzt die Dickenverminderung bei einseitiger Beheizung etwa bei den Temperaturen ein, bei denen die Dickenverminderung der allseitig beheizten Proben etwa 5–7% betrug.

Bei den Probekörpern mit erhöhter Rohdichte (Bild 11) beginnt die Dickenverminderung plötzlich bei Temperaturen, die etwa 50–100 K höher liegen, als die in Bild 9 erkennbar gewordenen »Erweichungstemperaturen«. Dies ist eine Folge der Elastizität und Druckkraft des Materials im unbeheizten Bereich, die zunächst ausgleichend auf die beheizte, erweichende Schicht wirkt. In diesem Verhalten

unterscheiden sich die geprüften Faserdämmstoffe aber wesentlich, wie es sich beim Ausbau der Probekörper an der Dicke, dem Grad der Verfärbung und der teilweise versprödeten und angesinterten »Warmseite« gezeigt hat (Bild 12). In den Bildern 13–15 sind die Kurven der prozentualen Dickenverminderung in Abhängigkeit von der Temperatur bei allseitiger und einseitiger Beheizung der Leichtbaustoffe Asbestschaum, Kalziumsilikat und Leichtbeton mit Perlitzuschlägen mit unterschiedlichem Mischungsverhältnis dargestellt. Der Asbestschaum mit einer Trockenrohichte von  $19 \text{ kg/m}^3$  zeigte dabei ein ähnliches Verhalten wie Mineralfaser-Dämmstoffe (Bild 13); nach der Beheizung bis 700 und  $900^\circ\text{C}$  trat starke Verfärbung und ein Masseverlust bis etwa 8% auf.

Die Bilder 14 und 15 zeigen die am Kalziumsilikat und am Leichtbeton aufgetretene Dickenverminderung als Folge des Schwindens bei all- und einseitiger Beheizung mit

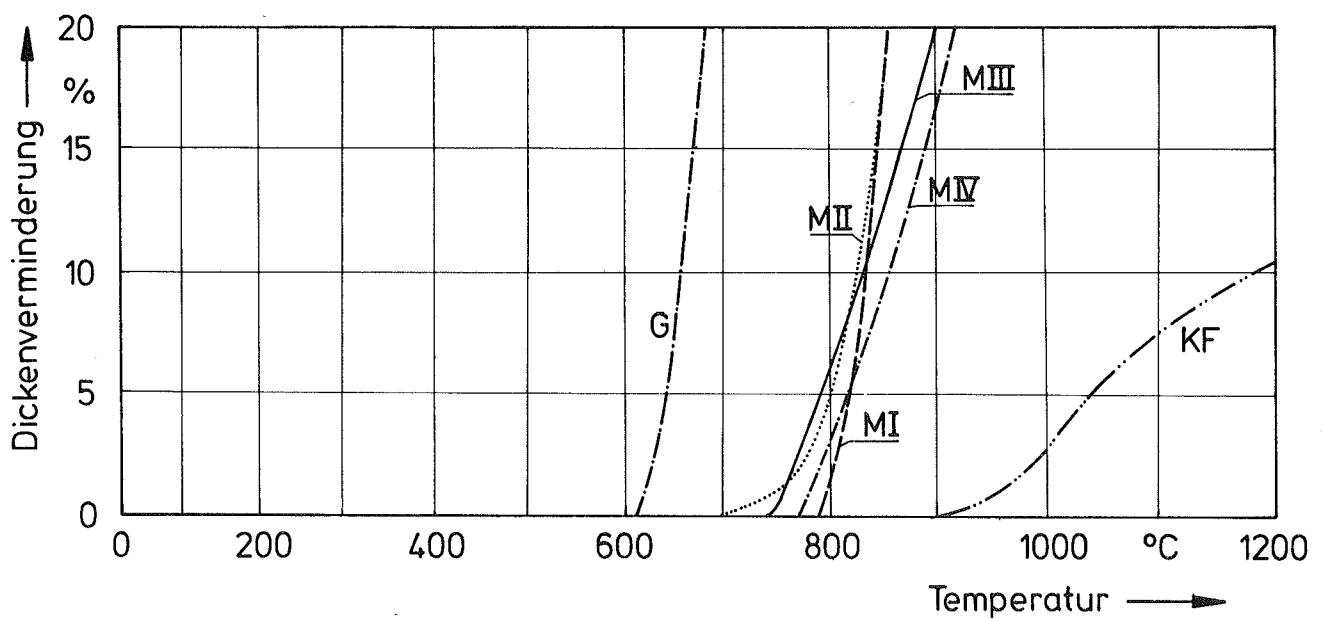


Bild 11: Kurvenverlauf »Prozentuale Dickenerminderung - Temperatur« von Mineralfaser-Dämmstoffen; Prüfung bei einseitiger Beheizung/Druck  $1 \text{ kN/m}^2$ . Rohdichte um 20% (KF) und 50% (G und M I-IV) gegenüber  $1 \text{ kN/m}^2$  Belastung erhöht.



Bild 12: Ansicht der Mineralfaser-Dämmstoffe und der Probekörper nach all- und einseitiger Beheizung

einer Temperatursteigerung von 5 K bis zu den Prüftemperaturen von etwa 1200°C. Diese Kurven können Hinweise geben, für die Anwendungsgrenze in Verbindung mit einem zulässigen Schwindmaß.

## Beheizung mit konstanter Temperatur

Die Prüfungen mit Temperatursteigerung bei unterschiedlicher Beheizung zeigen bereits nach einigen Stunden Prüfdauer die Bereiche der beginnenden Elastizitätsminderung und der beginnenden Erweichung durch raschere Dickenverminderung im sog. »Transformationsgebiet« an [11]. Diese Prüfung mit 2 oder 5 K je Minute kann deshalb auch als »Kurzzeit-Prüfung« bezeichnet werden. Im Hinblick auf den praktischen Einsatz mit Dauerbeanspruchung ist es notwendig, eine weitere Prüfung mit Beheizung bei einer konstanten Temperatur über eine längere Zeit durchzuführen, wobei die Prüftemperatur vorgegeben oder aber aus dem Kurvenverlauf der

Kurzzeit-Prüfung entnommen werden kann. Durch diese Langzeit-Prüfung ist die Angabe einer höchsten Verwendungstemperatur unter bestimmten Betriebsbedingungen möglich; sie ermöglicht sicher auch die Angabe eines Kriteriums, wie z.B. 2 oder 5% Dickenverminderung bei einer Kurzzeit-Prüfung für die Verwendungstemperatur oder aber den Beginn der Dickenverminderung bei Prüfung mit erhöhter Rohdichte. Dies ist sicher dort zu überlegen, wo die Verwendung der Matten bei Rohren oder bei stark gekrümmten Flächen zur Materialverdichtung führt [12]. Unter diesen Betrachtungen sind in unserer Forschungsarbeit verschiedene Prüfungen durchgeführt worden, wobei ein Verfahren etwas eingehender beschrieben werden soll.

Aus der Kurzzeit-Prüfung bei allseitiger und einseitiger Beheizung wurden die Temperaturen bei 5% Dickenverminderung als Prüftemperatur ausgewählt (Bilder 6 und 10) und als Prüfzeit z.B. 3 Tage vorgegeben.

Bei einseitiger Beheizung sind die Probekörper mit einer Rohdichte entsprechend 1 kN/m<sup>2</sup> Belastung mit diesen Temperaturen geprüft

und die jeweilige Dickenverminderung aufgezeichnet worden. Die Ergebnisse sind in einem Diagramm für einige ausgewählte Stoffe dargestellt worden (Bild 16).

Nach 2 Tagen ist eine Dickenverminderung von etwa 0,5% bei MP und von 2-3% bei M III und KF erfolgt, nachdem die Beheizung, ausgehend von Raumtemperatur mit etwa 5 K je Minute Steigerung auf die Prüftemperatur erfolgt ist. Die anschließende Erhöhung der Prüftemperatur (5% Dickenverminderung aus Bild 10) bringt dann rasche Dickenverminderung von 9-25% und nach 16 Stunden einen praktisch asymptotischen Kurvenverlauf.

Bei dieser Prüfung wäre zu überlegen, trotz der erwünschten erhöhten Prüfanforderung für eine Langzeitaussage, evtl. die Rohdichte zu erhöhen über den Wert bei 1 kN/m<sup>2</sup> Belastung hinaus oder aber evtl. den Prüfdruck von 1 kN/m<sup>2</sup> um 25 oder 50% herabzusetzen. Diese Überlegungen sind im Hinblick auf die Verwendung und spätere Dämmdicke und die weiteren Beanspruchungen anzustellen.

Dazu sind sicher auch noch weitere Untersuchungen mit längerer Prüfzeit wünschenswert, die aber auch an die Prüfeinrichtung erhöhte Anforderungen stellen werden.

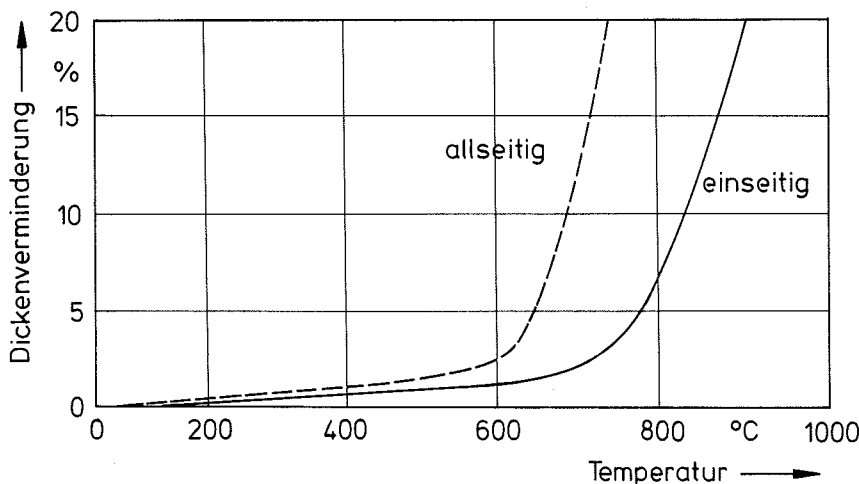


Bild 13: Kurvenverlauf »Prozentuale Dickenverminderung - Temperatur« von Asbestschaum, Rohdichte 19 kg/m<sup>3</sup> entsprechend 1 kN/m<sup>2</sup> Belastung. Prüfung bei allseitiger und einseitiger Beheizung/Druck 1 kN/m<sup>2</sup>.

## Schwingungen

Die bisherigen Untersuchungen haben zunächst nicht den Einfluß von Schwingungen auf die Beständigkeit und das Temperaturverhalten berücksichtigt.

Bei betriebstechnischen Anlagen wie Dampferzeuger, Rohrleitungen, Maschinen, Schiffe, können Schwingungen auftreten, deren Frequenzen nach Aussage im Bereich von 3-40 Hertz bei zugehörigen Amplituden von 0,05 mm - 1 mm je nach Konstruktion liegen. Untersuchungen haben gezeigt,

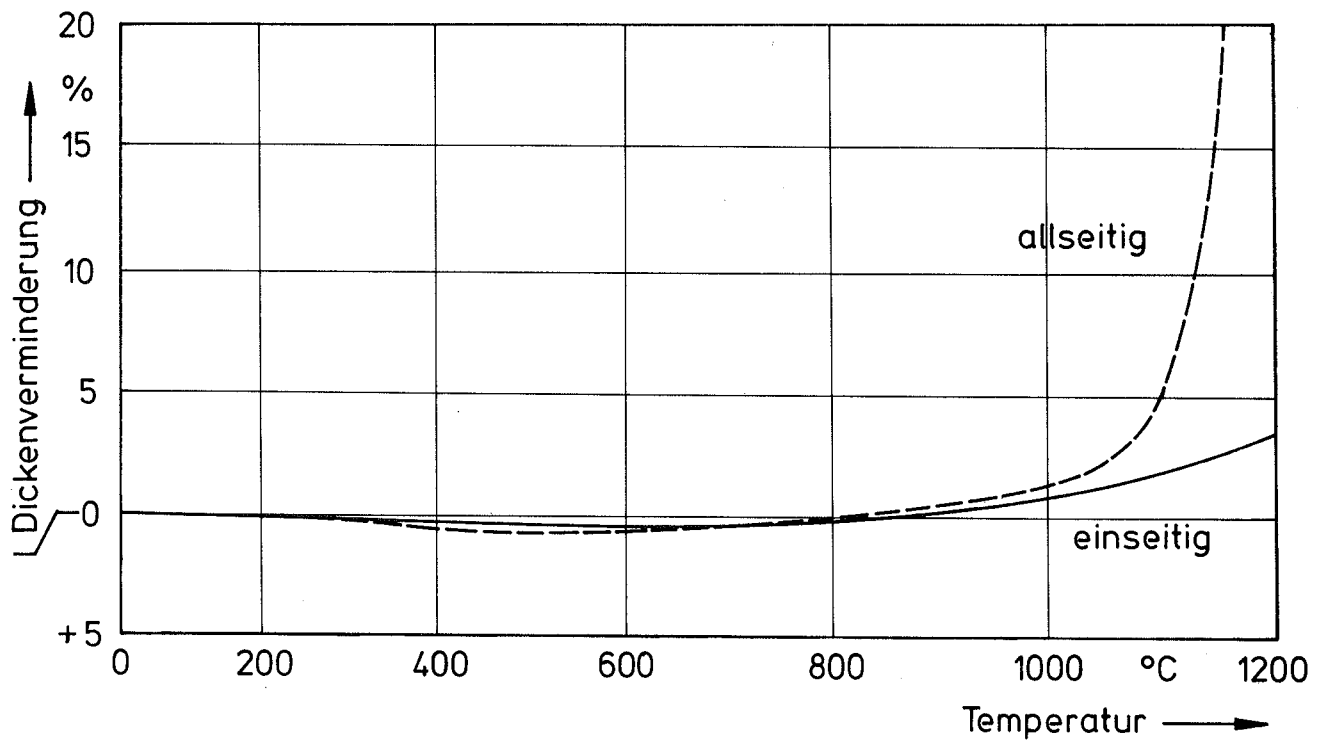


Bild 14: Kurvenverlauf »Prozentuale Dickenverminderung - Temperatur« von Kalziumsilikatplatten, Rohdichte  $210 \text{ kg/m}^3$ . Prüfung bei allseitiger und einseitiger Beheizung Druck  $1 \text{ kN/m}^2$ .

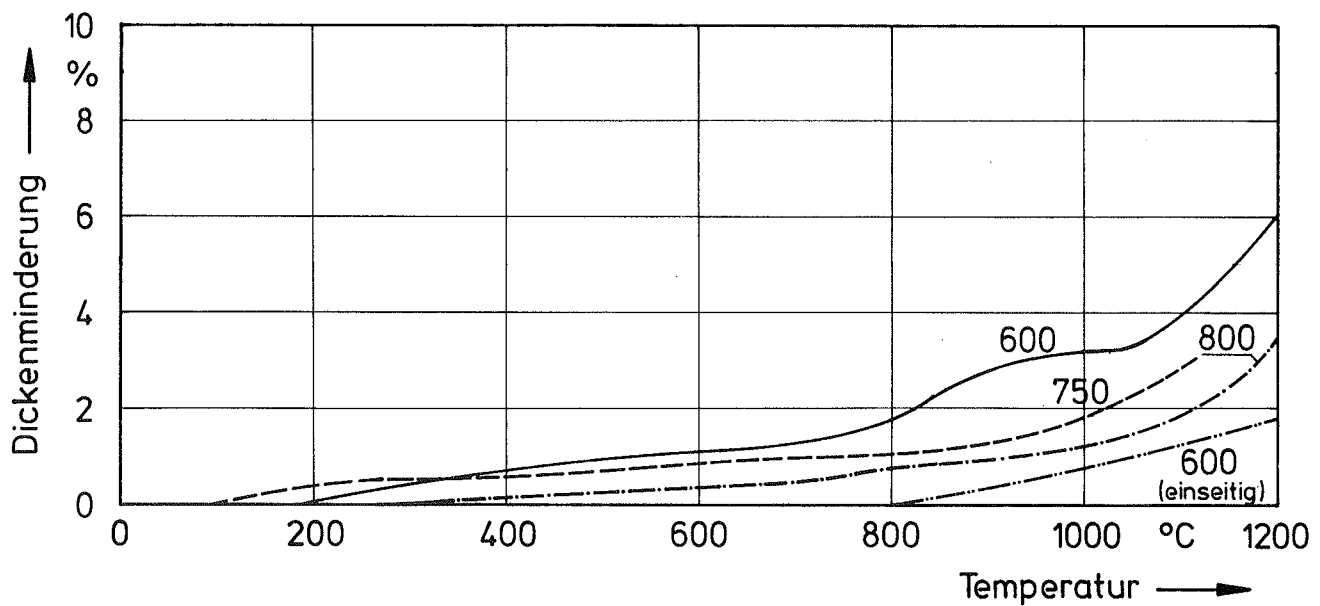


Bild 15: Kurvenverlauf »Prozentuale Dickenverminderung - Temperatur« von Leichtbeton mit Perlitzuschlägen, Rohdichte  $600, 750, 800 \text{ kg/m}^3$ . Prüfung bei allseitiger und einseitiger (nur  $600 \text{ kg/m}^3$ ) Beheizung/Druck  $1 \text{ kN/m}^2$ .

daß sich Mineralfaser-Dämmstoffe mit weicher, elastischer Struktur unter Belastung, wenn sie durch Schwingungen und Erschütterungen beansprucht werden, auf eine kennzeichnende, stoffspezifische Rohdichte einstellen [2]. Dabei wurde auch festgestellt, daß sich die Dickenverminderung der Stoffe proportional dem Logarithmus der Erschütterungsdauer verhält.

Das Verhalten wird dabei beeinflusst von Länge, Durchmesser, Schichtung und Verfilzung der Fasern und der Ausstattung des Dämmstoffs mit Bindemitteln oder Schmelzmitteln [6, 7].

Ausgehend von der Rohdichte bei  $1 \text{ kN/m}^2$  Belastung hat die Schwingungsbeanspruchung bei Raumtemperatur zu teilweise bleibender Dickenverminderung der Probekörper in unserer Prüfeinrichtung von ca. 10–30% geführt.

Bei der Prüfung mit einseitiger Beheizung und Temperatursteigerung von  $5 \text{ K}$  je Minute unter Schwingungsbeanspruchung verhielten sich die Probekörper mit um 20–30% erhöhten Rohdichten sehr unterschiedlich; Dämmstoffe wie M III blieben praktisch im Kurvenverlauf unbeeinflusst, andere wie M II zeigten bereits von  $200^\circ \text{C}$  aufwärts eine Dickenverminderung von 10–15%. Dieses Verhalten kann auch in Verbindung mit den unterschiedlich großen Masseverlusten nach der Beheizung betrachtet werden, d. h. als Folge des unterschiedlichen Gehalts an Schmelz- und Bindemitteln.

Im Hinblick auf die Vielzahl möglicher Schwingungsbeanspruchungen sind weitere Untersuchungen durchzuführen und zwar besonders an den Dämmstoffen, die für den speziellen Anwendungsfall be-

stimmt und entsprechend ausgestattet sind.

## Zusammenfassung

Die Ergebnisse der Forschungsarbeiten haben gezeigt, wie das Verhalten von Mineralfaser-Dämmstoffen durch die Art der Temperaturbeanspruchung und weiterer mechanischer Beanspruchungen beeinflusst wird und wie sich Rohdichte, Fasermaterial, Binde- und Schmelzmittel und auch das Herstellungsverfahren dabei auswirken.

Eine wichtige Temperaturgrenze ist zunächst bei mineralischen Dämmstoffen durch den Übergang vom »glasig erstarrten« zum »plastisch erweichten« Zustand gege-

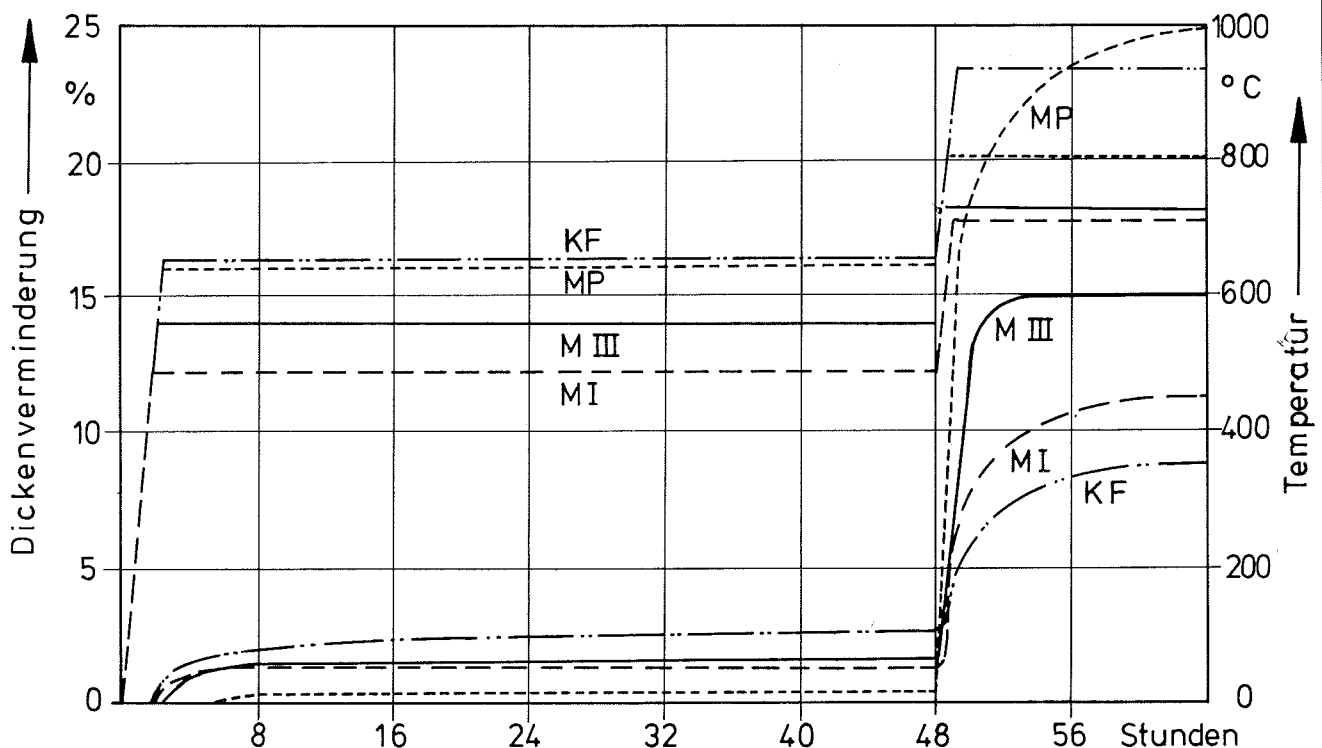


Bild 16: Kurvenverlauf »Prozentuale Dickenverminderung - Temperatur« von Mineralfaser-Dämmstoffen Rohdichte entsprechend  $1 \text{ kN/m}^2$  Belastung; Prüfung bei einseitiger Beheizung mit konstanten Temperaturen (5% nach Bilder 6 und 10)/Druck  $1 \text{ kN/m}^2$ .

ben, der mit einer Kurzzeit-Prüfung bei allseitiger Beheizung mit Temperatursteigerung durch den Kurvenverlauf »Prozentuale Dickenverminderung - Temperatur« festgestellt werden kann.

Beim Überschreiten dieser Temperatur sind Mineralfasern nur noch begrenzt belastbar und sollten nur dann eingesetzt werden, wenn die Dämmschicht mit ausreichender Rohdichte noch genügend Elastizität und Festigkeit aufweist und behält, und Gefügeänderungen auf der »Warmseite« aufnehmen kann. Dazu sind noch Untersuchungen des Zeitstandsverhaltens und falls zu erwarten von Schwingungen bei der Einsatztemperatur notwendig und die Auswirkungen auf die Struktur und evtl. die Wärmedämmwirkung zu berücksichtigen. Die Größe des Prüfdrucks ist dabei wesentlich und im Zusammenhang mit dem Verhalten des Probekörpers bei Druckbeanspruchung und der Rohdichte auszuwählen, wie aus der Neufassung der VDI 2055, Abschnitt 5.1.4 und der DIN 52272 E deutlich wird [13].

Für die Durchführung einheitlicher Prüfungen wurde der Normentwurf DIN 52271 [10] mit ei-

nem allgemein gültigen Prüfverfahren und verschiedenen Prüfbedingungen erarbeitet und der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.

Mit diesem auch in unseren Forschungsarbeiten bewährten Verfahren kann das Verhalten von Mineralfaser-Dämmstoffen und auch von Leichtbaustoffen ähnlicher Struktur bei höheren Temperaturen unter gegebenen Betriebsbedingungen ermittelt und die höchste Verwendungstemperatur bestimmt werden.

#### Literatur

[1] E. Raisch: Verhalten von mineralischen Faserstoffen bei Temperatursteigerung. Mitteilungen aus dem Forschungsheim für Wärmeschutz e.V., München, Heft 9, Dezember 1955.

[2] G. Braun: Die Eigenschaften der Mineralfasern, ihr chemisch-physikalisches Verhalten als Schall- und Wärme-Dämmstoffe, Heft 47 (1950), Die Bauwirtschaft S. 1-8.

[3] VDI 2055: Wärme- und Kälteschutz, Berechnungen, Garantien, Meßverfahren und Lieferbedingungen für Wärme- und Kälte-Isolierungen; Dezember 1958 und Entwurf März 1978.

[4] P. Jansen: Temperaturverhalten und maximale Belastungsmöglichkeit von Mineralfaserdämmstoffen bis rund 1000°C;

Brennstoff-Wärme-Kraft 26 (1974) Nr. 3, S. 95/101.

[5] P. Dietrichs/W. Krönert: Brennschwindung, Wärmeleitfähigkeit und Anwendungsgrenztemperaturen wärmedämmender Baustoffe; Z. »neue« Fachberichte, Hüttenpraxis, Metallverarbeitung, Heft 11, Nov. 1975, S. 905/915.

[6] DIN 52270: Prüfung von Mineralfaser-Dämmstoffen, Begriffe, Lieferformen, Lieferarten; Ausgabe Oktober 1976. Beuth-Vertrieb GmbH, Berlin und Köln.

[7] K. Wiedemann: Mineralfaser-Dämmstoffe für den Wärme-, Kälte-, Schall- und Brandschutz; Zeitschrift wksb 9/1979.

[8] DIN 18421: Wärmedämmarbeiten an betriebstechnischen Anlagen; Ausgabe September 1976. Beuth-Vertrieb GmbH, Berlin und Köln.

[9] DIN 52275, Teil 1: Prüfung von Mineralfaser-Dämmstoffen, Bestimmung der linearen Maße und der Rohdichte; Ausgabe Januar 1977. Beuth-Vertrieb GmbH, Berlin und Köln.

[10] DIN 52271 E: Prüfung von Mineralfaser-Dämmstoffen, Verhalten bei höheren Temperaturen; Ausgabe Entwurf Juli 1979. Beuth-Vertrieb GmbH, Berlin und Köln.

[11] DIN 52324: Prüfung von Glas, Bestimmung der Transformationstemperatur; Dezember 1960. Beuth-Vertrieb GmbH, Berlin und Köln.

[12] K. Seiffert: Einfluß der Rohrkrümmung auf Wärmeleitfähigkeit und Dichte von Mineralfaserplatten; Z. Allgemeine Wärmetechnik Jahrgang 6 (1955), Heft 10, Seite 201/203.

[13] DIN 52272, Teil 1 E: Prüfung von Mineralfaser-Dämmstoffen, Druckversuch; Ausgabe Januar 1980. Beuth-Vertrieb GmbH, Berlin und Köln.

