

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 11

**Wärmeleitfähigkeit
von Wärmedämmstoffen
an Rohrleitungen**

von
Dipl.-Ing. H. Zehendner

Wärmeleitfähigkeit von Wärmedämmstoffen an Rohrleitungen*

Aufgrund des Energieeinsparungsgesetzes vom 23. 7. 1976 verordnete die Bundesregierung Maßnahmen für die Wärmedämmung von Rohrleitungen an heizungstechnischen Anlagen und Brauchwasseranlagen in der Heizungsanlagen-Verordnung –HeizAnIV– vom 22. 9. 1978 [1, 2].

Die Anforderungen von § 6 der HeizAnIV bedurften in ihrer weitreichenden Fassung eingehenden Erläuterungen, so daß bald viele Veröffentlichungen und Kommentare für die Bemessung der Dämmschichtdicke folgten [3, 4, 5, 6].

Außerdem erwartete man von den Verwaltungsvorschriften der Bundesländer oder im Rahmen von Normungsarbeiten eindeutige Regeln für die Behandlung von Wär-

medämmstoffen mit anderen Rechenwerten der Wärmeleitfähigkeit nach DIN 4108 als $0,035 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ [7].

Diese Rechenwerte für das Bauwesen berücksichtigen ja Einflüsse des praktischen Feuchtegehalts und einer evtl. Alterung; sie sind auf eine Mitteltemperatur der Wärmedämmung von $+10 \text{ }^\circ\text{C}$ bezogen und gelten für den ebenen Zustand der Dämmstoffe [8].

Für die Wärmeleitfähigkeit von Wärmedämmungen an Rohrleitungen mit Rohrtemperaturen von $60 \text{ }^\circ\text{C}$, $100 \text{ }^\circ\text{C}$ und höher sind aber höhere Mitteltemperaturen als $10 \text{ }^\circ\text{C}$ zugrundezulegen; außerdem gelten für die Wärmeübertragung in Hohlzylindern andere Gesetzmäßigkeiten, als für den ebenen Zustand [9, 10].

Im Rahmen einer Forschungsarbeit sollte deshalb die Wärmeleitfähigkeit für verschiedene Dämmstoffe an Prüfrohren nach DIN 52613 [11] bestimmt werden, und in Abhängigkeit von der Mitteltemperatur aufgezeigt werden.

Damit konnte eine Grundlage geschaffen werden, für die Berechnung der Dämmschichtdicke an Rohrleitungen für betriebstechnische Anlagen mit Wärmeleitfähigkeitswerten, entsprechend dem heutigen Stand von Wissenschaft und Technik.

Prüfeinrichtung

Die Wärmeleitfähigkeit von rohrförmigen Proben wird nach dem Rohrverfahren nach DIN 52613

mit elektrisch beheizten Prüfrohren bestimmt, durch Ermitteln des Wärmestromes und der Temperaturdifferenz im stationären Zustand sowie der Probenmaße.

Die Einflüsse der praktischen Ausführung der zylindrischen Wärmedämmung auf die Wärmeübertragung, wie z. B. Art der Befestigung, der Fugen und Stöße oder etwaige Strukturveränderungen bei Verwendung von ebenen Produkten können mit Prüfrohren von unterschiedlichen Außendurchmessern und ausreichender Länge erfaßt werden.

Für unser Forschungsvorhaben sind im FIW Prüfrohre von 27 mm und 50 mm Außendurchmesser und von 2 m Länge gebaut worden. Die Prüfrohre sind an den Rohrenden mit 200 mm langen wärmedämmenden Schutzzyklindern zur Verhinderung oder Verminderung von Wärmeverlusten an den Stirnflächen ausgestattet.

Durch das Rechenverfahren nach „van Rinsum“ können etwaige Wärmeverluste bei der Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit berücksichtigt, und das Versuchsergebnis korrigiert werden [11].

Die Prüfrohre bestehen aus Messing und werden durch ein inneres Heizrohr mit einer Heizwicklung aus einem Vacromiumband

Ein Bericht von:



Dipl.-Ing. Horst
Zehendner, München

*) Vortrag anläßlich der Mitgliederversammlung des Forschungsinstitutes für Wärmeschutz e. V. München, am 15. 5. 1981 in München.

Die Untersuchungen wurden mit Mitteln des Bayerischen Staatsministeriums für Wirtschaft und Verkehr und der Industrie durchgeführt. Der Verfasser bedankt sich an dieser Stelle nochmals für die Förderung unserer Forschungstätigkeit.



Bild 1: Ansicht der Prüfeinrichtung mit zylindrischem Prüfraum und Kryostat sowie dem Prüfrohr \varnothing 27 mm mit aufgebrachtem Isolierschlauch.

(3 mm x 0,3 mm) mittels Digital-Netzgeräten elektrisch beheizt.

Zur Messung der Temperaturen des Prüfrohrs und der Oberflächen der zu untersuchenden Wärmedämmung sind 20 Thermoelemente aus lackiertem, seidentensponnenen Eisen-Konstantan-Draht 2 x 0,3 mm \varnothing gleichmäßig über Länge und Umfang verteilt anzubringen.

Für die Untersuchungen unterhalb der Raumtemperatur sind temperierbare Prüfräume erforderlich, in denen die etwa 2,5 m langen Prüfrohre mit Schutzzyklindern waagrecht angeordnet werden können.

Die Prüfräume bestehen aus einem Hohlzylinder aus 2 mm dickem Kupferblech, \varnothing 300 mm, mit bifilar und spiralförmig aufgebracht und aufgelöteten Kühlrohren aus Kupfer.

Der Hohlzylinder, einschließlich der Kühlschlangen, ist außen mit einem Wärmeleitmentelement abgestrichen und geglättet und mit einer 80 mm dicken Polyurethan(PUR)-Ortschaumschicht

mit Aluminiumblechmantel wärmegeklämt worden.

Die Temperatur in den Prüfräumen kann mit Kryostaten auf den gewünschten Wert im Bereich von 30 bis ca. -70 °C eingestellt und

konstant gehalten werden, d. h., die Wärmeleitfähigkeit der Wärmedämmung kann je nach Verwendung und Stoffart im Bereich von -60 bis ca. $+100$ °C Mitteltemperatur untersucht werden (Bilder 1 und 2).

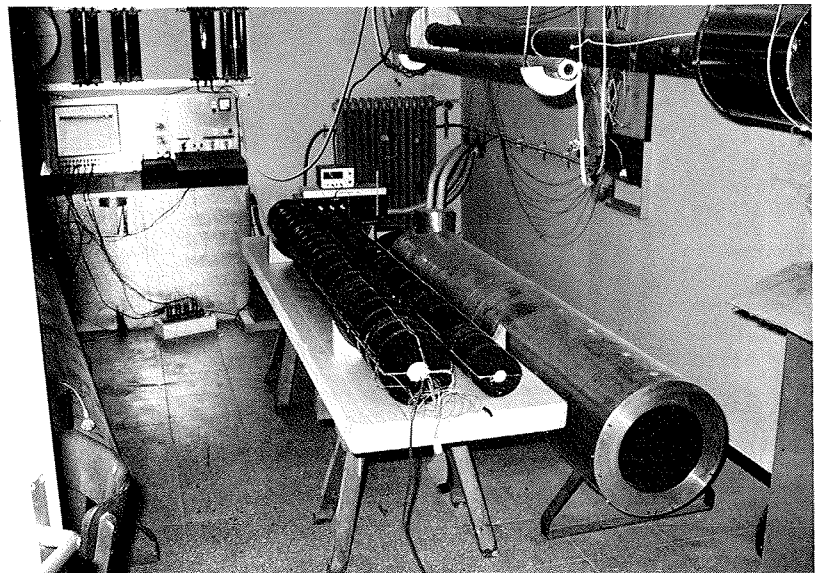
Der Aufbau und die Form der Prüfräume ergeben gleichbleibende äußere Wärmeübergangsbedingungen vom Prüfrohr zur Außenluft, was auch eine Voraussetzung zur Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit mit geringer Meßunsicherheit ($< \pm 3$ %) im stationären Zustand ist.

Untersuchte Wärmedämmungen

Für die Wärmedämmung von Rohrleitungen werden Dämmstoffe in Form von Rohrschalen, -halbschalen und Schläuchen sowie Matten oder Filze im ebenen Zustand verwendet.

Im Forschungsvorhaben sind folgende Stoffe oder Systeme von Wärmedämmungen untersucht worden, die nach Herstellungs-

Bild 2: Prüfrohre \varnothing 27 mm und 50 mm mit aufgebrachtener Wärmedämmung aus Schaumglas-Halbschalen, Dämmschichtdicke 50 und 73 mm; Ansicht der Prüfeinrichtungen im Rohr-Prüfraum des Instituts.



verfahren, Lieferform und Ausführung eingeteilt und beschrieben werden können:

ISOLIERSCHLÄUCHE

Zur Wärmedämmung von Rohrleitungen gibt es unter der früheren Bezeichnung „Isolierschläuche“ *) mehrere Dämmstoffe aus Schaumstoffen unterschiedlicher Fertigung, die in Längen von 2 m und mehr geliefert werden. Diese Wärmedämmstoffe haben meistens eine Schäumhaut auf der Außenseite und werden je nach Innendurchmesser mit Dämmschichtdicken von 4 mm aufwärts bis etwa 40 mm hergestellt.

Die Wärmeleitfähigkeit wurde von folgenden vier Typen an den beiden Prüfrohren untersucht:

PE-Schaumstoff, Typ A:

Polyäthylen(PE)-Schaumstoff in hellgrauer Farbe mit geschlossenzelliger Struktur und äußerer Schäumhaut, Rohdichte 32 und 33 kg/m³ mit einer Dämmschichtdicke von 14 mm (Prüfrohr Ø 27 mm) und 42 mm (Prüfrohr Ø 50 mm).

PE-Schaumstoff, Typ B:

Polyäthylen(PE)-Schaumstoff in grauer Farbe mit geschlossenzelliger Struktur und äußerer Schäumhaut, Rohdichte 24 und 26 kg/m³ mit einer Dämmschichtdicke von 13 mm (Prüfrohr Ø 27 mm) und 17 mm (Prüfrohr Ø 50 mm).

PE-Schaumstoff, Typ C:

Polyäthylen(PE)-Schaumstoff in grauer Farbe, außen mit 10 µm dicker Aluminium-Folie kaschiert, Rohdichte ca. 40 kg/m³ mit einer Dämmschichtdicke von 4 mm für das Prüfrohr Ø 27 mm.

Synthetischer Vinylkautschuk:

Schaumstoff in schwarzer Farbe mit geschlossenzelliger Struktur und äußerer Schäumhaut, Rohdichte 63 kg/m³ bei 18 mm Dämmschichtdicke (Prüfrohr Ø 27 mm) und 50 kg/m³ bei 41 mm

Dämmschichtdicke (Prüfrohr Ø 50 mm).

ROHRSCHALEN oder -HALBSCHALEN

Zur Wärmedämmung von Rohr-

leitungen gibt es von den verschiedenen Stoffarten Schalen oder Halbschalen mit Längen von 500 mm, 1 000 mm oder 1 200 mm, wobei je nach Anwendungsgebiet werksmäßig teilweise

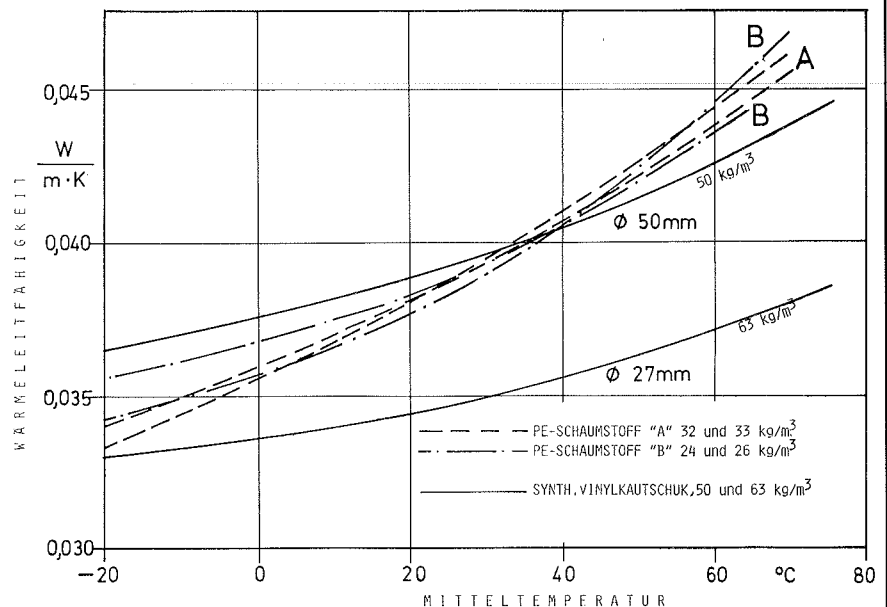


Bild 3: Wärmeleitfähigkeit von Rohr-Wärmedämmung mit „Isolierschläuchen“ unterschiedlicher Herstellung und Stoffart in Abhängigkeit von der Mitteltemperatur; Prüfrohr Ø 27 mm und 50 mm

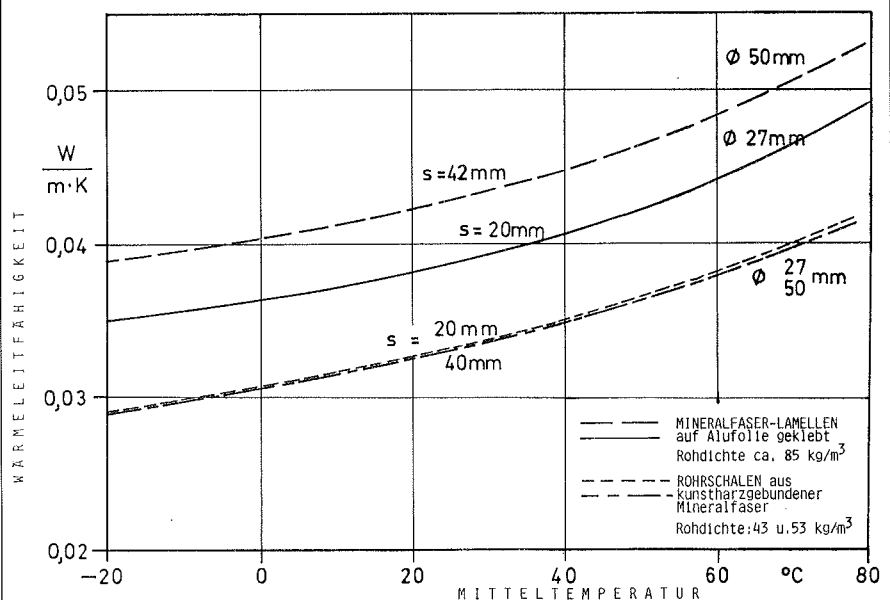


Bild 4: Wärmeleitfähigkeit von Rohr-Wärmedämmung aus Mineralfaser-Lamellmatten und kunstharzgebundenen Rohrschalen in Abhängigkeit von der Mitteltemperatur; Prüfrohr Ø 27 mm und 50 mm, Dämmschichtdicke ca. 20 und 40 mm

*) Der Begriff „Isolierung“ ist für Wärmedämmstoffe nicht mehr üblich

bereits die Produkte mit Kunststoff- oder Aluminium-Folien kaschiert werden. In anderen Fällen wurde nach Aufbringen der Rohrschalen auf die beiden Prüfrohre eine Ummantelung aufgebracht,

die besonders im Kältebereich üblich ist.

Die jeweilige Ausführung wird bei den geprüften Wärmedämmstoffen näher beschrieben:

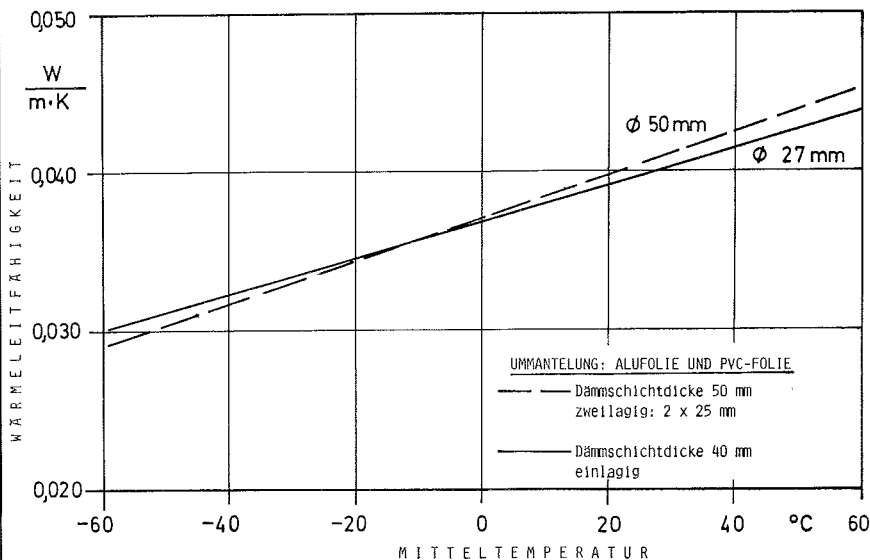


Bild 5: Wärmeleitfähigkeit von Rohr-Wärmedämmung aus verklebten und aufgebundenen Polystyrol (PS)-Hartschaum-Halbschalen, Rohdichte 18 kg/m^3 , mit äußerer Alufolien- und PVC-Folien-Ummantelung in Abhängigkeit von der Mitteltemperatur; Prüfrohr $\varnothing 27$ und 50 mm

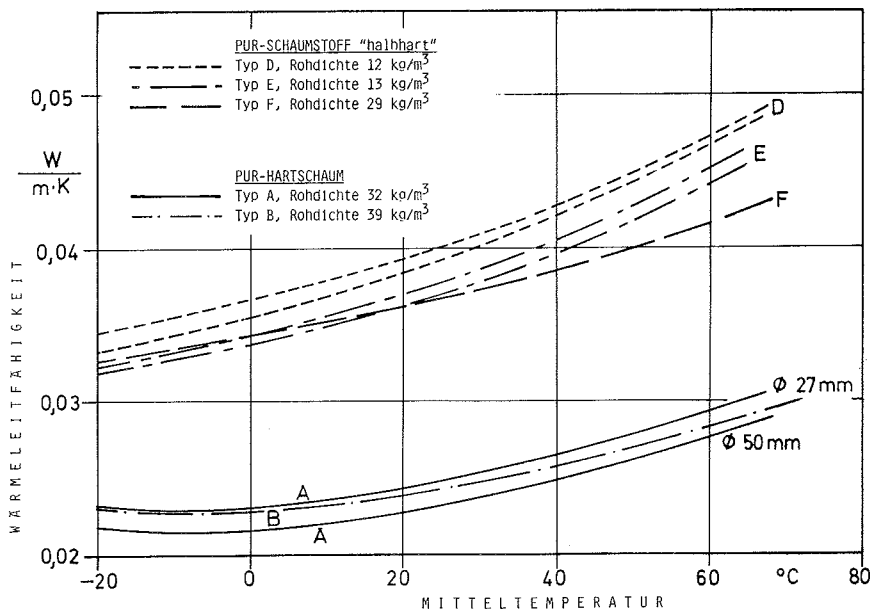


Bild 6: Wärmeleitfähigkeit von Rohr-Wärmedämmungen aus Polyurethan (PUR)-Schaumstoff-Schalen unterschiedlicher Herstellungsart in Abhängigkeit von der Mitteltemperatur; Prüfrohr $\varnothing 27$ und 50 mm

Mineralfaser-Rohrschalen:

Ca. 1 200 mm lange Rohrschalen aus mit Kunstharz gebundenen Mineralfasern, Rohdichte 53 kg/m^3 bei 20 mm Dämmschichtdicke für das Prüfrohr $\varnothing 27 \text{ mm}$ und Rohdichte 43 kg/m^3 bei 42 mm Dämmschichtdicke für das Prüfrohr $\varnothing 50 \text{ mm}$.

Polystyrol(PS)-Hartschaum-Halbschalen:

Ca. 500 mm lange Halbschalen, aus Partikelschaum (Blockware) ausgesägt, Rohdichte ca. 18 kg/m^3 . Das 27-mm- \varnothing -Prüfrohr wurde einlagig mit 40 mm dicken Halbschalen, das 50-mm- \varnothing -Prüfrohr wurde zweilagig mit je 25 mm dicken Halbschalen wärmegeädämmt.

Die Halbschalen wurden im Fugenbereich und im Mehrlagenbereich verklebt, aufgebunden und außen abschließend mit einer Alufolie (Dicke $50 \mu\text{m}$) und PVC-Folie (Dicke $0,40 \text{ mm}$) ummantelt.

Polyurethan(PUR)-Hartschaum:

Ca. 1 000 mm lange Rohrschalen mit äußerem, ca. $0,3 \text{ mm}$ dickem, werksmäßig aufgebrachtem PVC-Mantel bei Typ A und B.

Die Dämmschichtdicke betrug 20 mm beim Prüfrohr $\varnothing 27 \text{ mm}$ und 26 mm beim Prüfrohr $\varnothing 50 \text{ mm}$ bei einer Rohdichte des mit CFC_{13} getriebenem geschlossenzelligen Hartschaum von 31 bis 39 kg/m^3 .

Beim Typ C handelt es sich um aus Blockware ausgesägte Halbschalen von 1 000 mm Länge mit einer Rohdichte von 32 und 33 kg/m^3 . Aus der Blockware werden üblicherweise Platten des Anwendungstyps WD + WS nach DIN 18164 Teil 1 gefertigt.

Das 27-mm- \varnothing -Prüfrohr wurde mit 21 mm, das 50-mm- \varnothing -Prüfrohr wurde mit 40 mm dicken Halbschalen einlagig wärmegeädämmt. Die Halbschalen wurden aufgebunden und außen abschlie-

Bend mit einer Polyäthylen-Ummantelung (ca. 480 g/m²) oder einer geprägten Aluminiumfolien-Ummantelung (ca. 500 g/m²) versehen.

Polyurethan(PUR)-Schaumstoff „halbhart“:

Es wurden drei Typen von verschiedenen Herstellern geprüft, deren Schaum-Rohdichte zwischen 12 und 29 kg/m³ lag. Die Zellstruktur des auch als „halbhart“ bezeichneten Schaumstoffes ist überwiegend offenzellig oder gemischtzellig.

Die etwa 1 000 mm langen Rohrschalen haben bereits werksmäßig PVC-Folien-Ummantelungen von 0,3 oder 0,4 mm Dicke.

Die Dämmschichtdicken des PUR-Schaumstoffes lagen für die beiden Prüfrohre zwischen 20 mm und 34 mm.

Schaumglas-Halbschalen:

Ca. 450 mm lange Halbschalen mit Dämmschichtdicken von 50 oder 73 mm und einer Rohdichte zwischen 128 und 140 kg/m³.

Die Halbschalen wurden, mit um die halbe Schalenlänge versetzten Fugen, auf den Prüfrohren mit einem vorgegebenen Kleber verklebt.

Für eine Messung mit dem 27-mm-Ø-Prüfrohr wurde eine zweilagige Ausführung mit einer Dämmschichtdicke von 72 mm ausgeführt, wobei außen noch eine „Dampfbremse“ und ein abschließender verzinkter Blechmantel montiert worden ist.

Einwurf-Dämm-Mörtel:

Verarbeitungsfertiger Trockenmörtel mit dem Zuschlagsstoff Blähperlit zur Wärmedämmung von Installations-Wandschlitzten und Heizungsrohren. Das Material ist gemäß den Verarbeitungshinweisen mit Wasser angemacht und anschließend in die zylindrische Hohlschicht, gebildet aus dem Prüfrohr und einer entsprechenden Hilfsschalung, eingefüllt worden.

Beim Prüfrohr Ø 27 mm wurde die Dämmschichtdicke mit 123 mm und 115 mm mit geringerer und stärkerer Verdichtung des Materials ausgeführt, beim Prüfrohr Ø 50 mm mit einer Dämmschichtdicke von 104 mm.

Nach Abbinden des Mörtels wur-

de die Hilfsschalung entfernt und das wärmedämmte Prüfrohr bei Raumtemperatur ca. vier Wochen gelagert.

Mineralfaser-Lamellen auf Aluminium-Folie geklebt:

Ca. 50 cm breite Bahnen mit aneinandergelagerten Lamellen aus

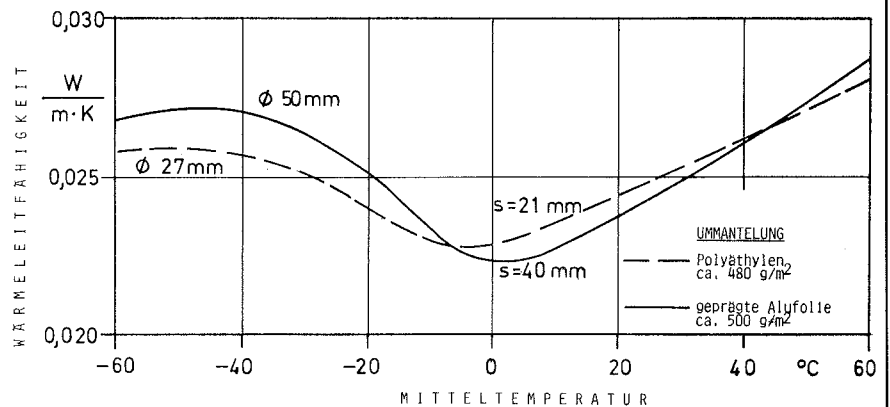


Bild 7: Wärmeleitfähigkeit von Rohr-Wärmedämmungen aus aufgebundenen Polyurethan (PUR)-Hartschaum-Halbschalen, Rohdichte ca. 33 kg/m³, mit unterschiedlicher Ummantelung in Abhängigkeit von der Mitteltemperatur;

Prüfrohr Ø 27 und 50 mm

Alter bei der Messung: ca. 5 Monate

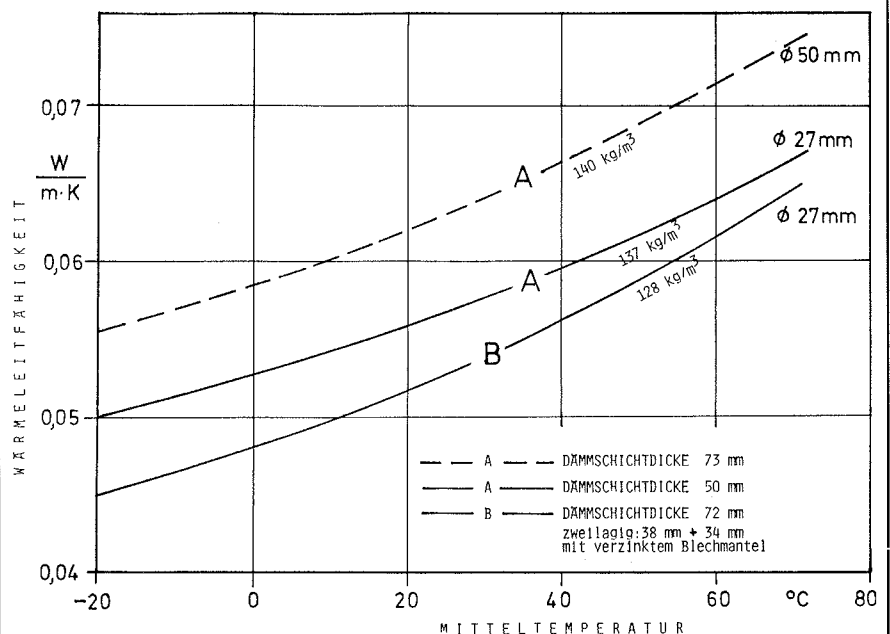


Bild 8: Wärmeleitfähigkeit von Rohr-Wärmedämmung aus aufgeklebten Schaumglas-Halbschalen, ohne äußere Ummantelung (Messungen A) und mit verzinktem Blechmantel (Messung B) in Abhängigkeit von der Mitteltemperatur;

Prüfrohr Ø 27 und 50 mm

aufrecht stehenden Mineralfasern. Das Prüfrohr \varnothing 27 mm wurde mit einer Dämmschichtdicke von 20 mm, das Prüfrohr \varnothing 50 mm mit einer Dämmschichtdicke von 42 mm wärmegeämmt. Die Rohdichte der Mineralfaser-Lamellen ohne Trägerfolie betrug ca. 85 kg/m³.

Versuchsdurchführung

Für die Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit wurde das Prüfrohr mit der aufgetragenen Wärmedämmung und der erforderlichen Meßeinrichtung in den zylindrischen, waagerechten Prüfraum eingeschoben und mittig gelagert (siehe Bilder 1 und 2).

Die Messung erfolgte im Anlieferungszustand der Wärmedämmstoffe, das entspricht bei den geprüften Systemen praktisch dem trockenen Zustand. Eine Ausnahme bildete nur der Einwurf-Dämm-Mörtel, bei dem eine Austrocknung durch Beheizen des Prüfrohrs > 100 °C oder im Trockenofen bei 105 °C erreicht werden konnte.

Die mit CFCl₃ getriebenen PUR-Hartschäume wurden vor den Prüfungen mindestens sechs Wochen bei ca. +20 °C in einem trockenen Raum des Instituts gelagert.

Die Messung der Wärmeleitfähigkeit erfolgte nach DIN 52 613 [11] im Beharrungszustand der Wärmeströmung, wobei im gewählten Temperaturbereich von etwa -20 bis +80 °C Mitteltemperatur mindestens vier oder fünf Meßpunkte eingestellt worden sind.

Zur Vermeidung von Tauwasserbildung in der Prüfeinrichtung bei Temperaturen unterhalb von etwa +20 °C ist der Prüfraum an den Stirnseiten abgedeckt und praktisch luftdicht verschlossen worden. Die Temperatur des Prüfraums von etwa +30 bis -30 °C, in Sonderfällen bis -70 °C, wurde mittels Kryostat eingestellt und konstant gehalten.

Das Prüfrohr ist elektrisch so beheizt worden, daß die Temperaturdifferenz zwischen der Warm- und Kaltseite der Wärmedämmung

mindestens 12 bis 15 K betrug; bei Prüfrohrtemperaturen über 40 bis 80 °C oder 120 °C je nach Stoffart, entsprach die Temperaturdifferenz den praktischen Gegebenheiten bei einer Raumtemperatur von etwa 20 °C.

Die Meßpunkte der Wärmeleitfähigkeit λ in W/(m·K) sind in Abhängigkeit von der Mitteltemperatur \bar{N} in °C in Diagrammen aufgetragen und durch eine ausgleichende Gerade oder Kurve miteinander verbunden worden.

Nach der Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit wurden die einzelnen Wärmedämmstoffe hinsichtlich Beschaffenheit, Abmessungen und Masse überprüft und damit für den untersuchten Temperaturbereich als geeignet bewertet nicht aber bei wesentlichen Änderungen.

Für den Aufbau der Prüfeinrichtung und die sorgfältige und erfolgreiche Durchführung der Prüfungen und des Forschungsvorhabens bedankt sich der Verfasser auch an dieser Stelle nochmals bei den Mitarbeitern des FIW.

Ergebnisse

Die Abhängigkeit der Wärmeleitfähigkeit von der Mitteltemperatur ist für die untersuchten Temperaturbereiche in Diagrammen für die einzelnen Wärmedämmstoffe dargestellt worden. Dabei sind die λ, \bar{N} -Kurven für gleiche oder ähnliche Systeme der Stoffarten in den nachfolgenden Bildern zusammengefaßt worden. Auf die Rohdichte und die Dämmschichtdicke wird nochmals gesondert hingewiesen.

In Bild 3 sind die λ, \bar{N} -Kurven für die verschiedenen „Isolierschläuche“ im Bereich von -20 bis +70 °C Mitteltemperatur dargestellt. Die beiden PE-Typen A und B zeigen trotz unterschiedlicher Rohdichte und Herstellungs-

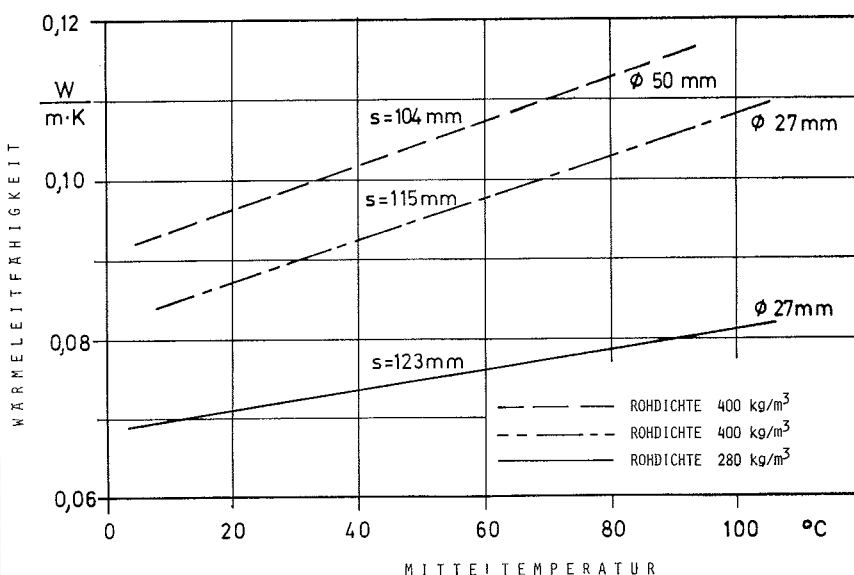


Bild 9: Wärmeleitfähigkeit von Rohr-Wärmedämmung aus Dämm-Mörtel-Hohlzylindern unterschiedlicher Rohdichte im trockenen Zustand in Abhängigkeit von der Mitteltemperatur; Prüfrohr \varnothing 27 und 50 mm, Dämmschichtdicke 104, 115 und 123 mm

WÄRMEDÄMMUNG	ROHDICHTE kg/M ³	DÄMMSCHICHT- DICKE MM	PRÜFROHR DURCH- MESSER MM	MESSWERT $\lambda_{10^{\circ}\text{C}, \text{tr}}$ W/(M·K)	ANSTIEG VON λ IN % VON 10 AUF 40 ODER 60°C MITTELTEMPERATUR	
					$\frac{\lambda_{40} - \lambda_{10}}{\lambda_{10}}$	$\frac{\lambda_{60} - \lambda_{10}}{\lambda_{10}}$
"ISOLIER SCHLAUCHE"						
<u>PE-SCHAUMSTOFF</u> TYP A	33	42	50	0,0372	9	18
	32	14	27	0,0368	11	20
<u>PE-SCHAUMSTOFF</u> TYP B	24	17	50	0,0375	8	16
	26	13	27	0,0366	11	22
<u>PE-SCHAUMSTOFF</u> TYP C	40	4	27	0,0403	13	22
<u>SYNTHETISCHER VINYLKAUTSCHUK</u>	50	41	50	0,0382	6	11
	63	18	27	0,0340	4	9
<u>ROHRSCHALEN od. HALBSCHALEN</u>						
<u>MINERALFASERN, KUNSTHARZGEB.</u>	43	42	50	0,0315	11	21
	53	20	27	0,0315	11	21
<u>PS-HARTSCHAUM</u>	18	50	50	0,0384	11	19
	18	40	27	0,0380	11	16
<u>PUR-HARTSCHAUM</u> TYP A CFCL ₃ GETRIEBEN	32	26	50	0,0221	13	26
	31	20	27	0,0236	13	25
	TYP B	39	20	27	0,0231	11
TYP C	32	40	50	0,0227	15	24
	33	21	27	0,0236	11	22
<u>PUR-SCHAUMSTOFF</u> "HALBHART" TYP D	12	30	50	0,0380	13	24
	12	32	27	0,0370	14	27
	TYP E	13	25	50	0,0350	13
TYP F	13	20	27	0,0356	14	27
	29	34	50	0,0352	9	17
<u>SCHAUMGLAS-HALBSCHALEN</u>	140	73	50	0,0603	10	18
	137	51	27	0,0540	11	19
	128	72	27	0,0498	13	24
<u>EINWURF-DÄMM-MÖRTEL</u> ZUSCHLAGSSTOFF: BLÄHPERLIT	280	123	27	0,070	6	9
	400	104	50	0,093	9	15
	400	115	27	0,084	10	16
<u>MINERALFASER-LAMELLEN</u> AUF ALUMINIUMFOLIE GEKLEBT	83	42	50	0,0413	8	17
	85	20	27	0,0372	9	19

Bild 10: Tabellarische Zusammenfassung der Meßwerte der Wärmeleitfähigkeit bei 10 Grad C Mitteltemperatur und des prozentualen Anstiegs der Wärmeleitfähigkeit auf 40 und 60 Grad C Mitteltemperatur für die untersuchten Rohr-Wärmedämmungen mit Angabe der Rohdichte und der Dämmschichtdicke.

art einen ähnlichen Verlauf. Bei den Isolierschläuchen aus synthetischem Vinylkautschuk ergaben sich beim 27-mm- \varnothing -Prüfrohr wesentlich niedrigere λ -Werte des Materials mit höherer Rohdichte von 63 kg/m^3 als beim 50-mm- \varnothing -Prüfrohr.

Das Bild 4 zeigt die Abhängigkeit der Wärmeleitfähigkeit von -20 bis $+80$ °C Mitteltemperatur von Mineralfaser-Rohrschalen und Mineralfaser-Lamellbahnen.

Die λ, γ -Kurven der Wärmedämmung mit Lamellbahnen liegen höher als die von Rohrschalen, was durch die in Richtung des Wärmestromes ausgerichteten Mineralfasern der Lamellen zu erklären ist. Dieser Aufbau der Lamellbahn ermöglicht andererseits aber eine höhere Belastbarkeit der Wärmedämmung gegen Druckbeanspruchung, als bei senkrecht zum Wärmestrom angeordneten Mineralfasern, bei gleicher Rohdichte.

Bei den Rohrschalen ist kein Einfluß von der Dämmschichtdicke oder von der Rohdichte im untersuchten Bereich festzustellen.

In Bild 5 sind die λ, γ -Kurven für die ausgeführte Wärmedämmung mit PS-Halbschalen, Rohdichte 18 kg/m^3 im Bereich von -60 bis $+60$ °C Mitteltemperatur dargestellt. Ein Einfluß der ein- oder zweilagigen Verlegung auf die Wärmeleitfähigkeit ist bei sorgfältiger Aufbringung nicht zu erkennen.

Bild 6 enthält die Abhängigkeit der Wärmeleitfähigkeit im Bereich von -20 bis $+70$ °C von mit CFCl_3 getriebenem PUR-Hartschaum und von halbhartem PUR-Schaumstoff.

Die λ, γ -Kurven der Hartschaum-Wärmedämmung liegen wegen des Zellgases CFCl_3 wesentlich niedriger. Da der etwa 0,3 mm dicke äußere PVC-Mantel nicht als gasdiffusionsdicht zu be-

werten ist, muß mit einem Anstieg der Wärmeleitfähigkeit infolge Gasaustausch mit der Umgebungsluft im Laufe der Zeit gerechnet werden.

Der PUR-Hartschaum des Typs A und B war zum Zeitpunkt der Messung etwa 4 bis 6 Monate alt.

Die halbhartem Schaumstoff-Typen D, E und F haben eine ähnliche λ, γ -Charakteristik, wobei aber der Typ F mit der höheren Rohdichte von 29 kg/m^3 , wegen der geringeren Durchlässigkeit von Wärmestrahlung, einen flacheren Verlauf zeigt.

In Bild 7 sind die λ, γ -Kurven für die ausgeführte Wärmedämmung mit PUR-Hartschaum-Halbschalen Typ C im Bereich von -60 bis $+60$ °C Mitteltemperatur dargestellt. Zum Zeitpunkt der Messung war der mit CFCl_3 getriebene Hartschaum etwa fünf Monate alt, wobei die verschiedenen Ummantelungen erst für die Messungen am Prüfrohr aufgebracht worden sind.

Der Wiederanstieg der λ, γ -Kurven unter 0 °C und der un stetige Verlauf wird verursacht durch die Kondensation des Zellgases CFCl_3 im Bereich bis etwa -50 °C [12, 13].

Ob die gewählten Ummantelungen mit der ausgeführten Fugenausbildung als praktisch gasdiffusionsdicht angesehen werden können, ist ohne weitere Nachweise nicht möglich. Erfahrungsgemäß gelten bisher nur mindestens $50 \mu\text{m}$ dicke, metallische Deckschichten als „praktisch diffusionsdicht“ im Sinne von DIN 52 615, wobei etwaige Fugen, Überlappungen oder Verklebungen gesondert zu betrachten sind.

Bild 8 zeigt die gemessenen λ, γ -Kurven für die ausgeführte Wärmedämmung mit Schaumglas-Halbschalen im Bereich von -20 bis $+70$ °C.

Die Messung B mit zweilagiger Verlegung der Halbschalen mit einer Rohdichte von 128 kg/m^3 ergibt günstigere Werte der Wärmeleitfähigkeit, als die einlagig verlegten Halbschalen mit höherer Rohdichte der Messungen A.

In Bild 9 ist die Abhängigkeit der Wärmeleitfähigkeit von der Mitteltemperatur von 0 bis 100 °C für die untersuchte Wärmedämmung mit dem Einwurf-Dämm-Mörtel dargestellt.

Die λ -Werte mit der höheren Rohdichte von 400 kg/m^3 liegen wegen des höheren Anteils der Feststoffleitung über den Werten der Rohdichte von 280 kg/m^3 .

Diese Werte gelten für den trockenen Zustand des Materials, der durch Aufheizen der Prüfrohre auf 130 bis 170 °C erreicht wurde bzw. im Fall der ausgeführten Rohdichte von 280 kg/m^3 durch Trocknen bei 105 °C bis zur Massekonstanz.

Zusammenfassung

Die Messungen mit dem Prüfrohr nach DIN 52 613 haben für die untersuchten Wärmedämmstoffe den Einfluß der Stoffart, der Rohdichte, der Zellstruktur und des Zellgases auf die Wärmeleitfähigkeit gezeigt.

Es ergeben sich unterschiedliche Meßwerte der Wärmeleitfähigkeit bei einer bestimmten Mitteltemperatur wie z. B. bei 10 °C, aber auch Unterschiede im Verlauf der λ, γ -Kurven und im Anstieg der Wärmeleitfähigkeit in Abhängigkeit von der Mitteltemperatur. Die Untersuchungen ergaben ferner, daß teilweise erhebliche Unterschiede zwischen den Meßwerten nach DIN 52 613 an ausgeführten Wärmedämmungen bestehen und den Meßwerten nach DIN 52 612 an Proben im ebenen Zustand.

Für die Berechnung der Wärmeverluste von Rohrleitungen oder

die Bemessung der Dämmschichtdicke ist es deshalb erforderlich, den für die entsprechende Mitteltemperatur zugehörigen Wert der Wärmeleitfähigkeit zu verwenden.

Eine Bezugnahme auf die Rechenwerte des Bauwesens nach DIN 4 108 ist bei betriebstechnischen Anlagen mit höheren oder tieferen Rohrtemperaturen wissenschaftlich nicht vertretbar und teilweise sogar irreführend.

Unglücklich sind und waren auch die Anforderungen und Festlegungen der HeizAnV, wie aus Bild 10 mit einer tabellarischen Zusammenfassung aller Stoff- und Meßwerte zu erkennen ist.

Neben den Meßwerten $\lambda_{10, tr}$ wurde der gemessene Anstieg der Wärmeleitfähigkeit von 10 °C auf wahlweise 40 oder 60 °C Mitteltemperatur aus den Diagrammen entnommen und als Rechengröße in % angegeben.

Dieser prozentuale Anstieg ist teilweise bei 40 °C Mitteltemperatur bereits höher als die nach DIN 52 612, Teil 2 festgelegten Zuschlagswerte für das Bauwesen zur Berücksichtigung des praktischen Feuchtegehalts, die schließlich zur Festsetzung von Rechenwerten nach DIN 4 108 dienen.

Zuschlagswerte für eine evtl. Alterung infolge Gasaustausch mit der Umgebungsluft sind gesondert zu bewerten, wobei die ausgeführte Ummantelung bei Rohr-

dämmungen zu berücksichtigen ist.

Die Abhängigkeit der Wärmeleitfähigkeit von der Mitteltemperatur hat man ja bereits früher einmal in DIN 18 421, Ausgabe Februar 1961 [14], gezeigt mit der stoffspezifischen Angabe von entsprechenden λ -Werten und der Festlegung von Mindestdicken für verschiedene Mitteltemperaturen. Auch in der Neuausgabe der Richtlinie VDI 2 055, März 1982, sind in den Tafeln 8 und 9 entsprechende λ -Werte in Abhängigkeit von der Mitteltemperatur angegeben.

Vielleicht können die Ergebnisse und Erkenntnisse unserer Untersuchungen über die Wärmeleitfähigkeit bei Rohrdämmungen dazu beitragen, daß Rechenwerte für betriebstechnische Anlagen entsprechend dem heutigen Stand von Wissenschaft und Technik festgesetzt und in der Praxis verwendet werden.

Literatur

- [1] HeizAnV: Verordnung über energieeinsparende Anforderungen an heizungstechnische Anlagen und Brauchwasseranlagen (Heizungsanlagen-Verordnung vom 22. September 1978).
- [2] TÜV-Mitteilungen für die Mitglieder des Technischen Überwachungsvereins Bayern e. V., München; Heft 1, Februar 1978.
- [3] Die neuen Anforderungen des Energie-Einsparungsgesetzes bei Planung, Bau und Unterhaltung von Gebäuden, Energieeinsparungsgesetz, Wärmeschutz-Verordnung, Heizungs-Anlagen-Verordnung; WEKA-Verlag GmbH & Co., 8901 Kissing.
- [4] Hans-Jürgen Borberg: Heizungsanlagen- und Heizungsbetriebs-Verordnung, WKSB 7/1978.
- [5] Jürgen Hüter, Köln: Bestimmung der Dämmschichtdicken für Warmwasserleitungsanlagen nach der Heizungsanlagen-Verordnung; Zeitschrift Sanitär und Heizungstechnik, Heft 22, 1978.
- [6] BMWI-Information: Damit Sie Ihr Geld nicht verheizen, Informationen zur Heizungsanlagen- und Betriebs-Verordnung, Dezember 1978.
- [7] DIN 4 108: Wärmeschutz im Hochbau, Ausgabe August 1981, Beuth-Verlag GmbH, Berlin.
- [8] DIN 52 612, Teil 1 und 2: Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit mit dem Plattengerät, Ausgabe September 1979, Beuth-Verlag GmbH, Berlin.
- [9] J. S. Cammerer: Der Wärme- und Kälteschutz in der Industrie, 4. Auflage, Reprint 1980, Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, New York.
- [10] VDI 2 055: Wärme- und Kälteschutz, Berechnungen, Gewährleistungen, Meß- und Prüfverfahren, Gütesicherung, Lieferbedingungen; VDI-Verlag GmbH, Düsseldorf, Ausgabe März 1982.
- [11] DIN 52 613: Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit nach dem Rohrverfahren, Beuth-Verlag GmbH, Berlin, Ausgabe Januar 1977.
- [12] W. Schmidt: Eigenschaften von harten Polyurethan-Schaumstoffen für die Kälteisolierung; Kunststoffe 53 (1963), Heft 7.
- [13] H. Zehendner: Wärmeleitfähigkeitsmessungen an Schaumkunststoffen bei tiefen Temperaturen; Kältetechnik, Klimatisierung Band 19 (1967), Nr. 1.
- [14] DIN 18 421: Wärmedämmarbeiten an betriebstechnischen Anlagen, Ausgabe Februar 1961 und September 1976; Beuth-Verlag GmbH, Berlin.

