

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 17

**Untersuchung der Durchfeuchtung
von Dämmschichten
bei Kälteleitungen durch
Dampfdiffusion**

von

H. Zehendner und W. Albrecht

Untersuchung der Durchfeuchtung von Dämmschichten bei Kälteleitungen durch Dampfdiffusion

H. Zehendner und W. Albrecht, FIW München

Rohrleitungen bei betriebstechnischen Anlagen mit Betriebstemperaturen unter der Umgebungstemperatur (sog. Kälteleitungen) sind so zu dämmen, daß eine Tauwasserbildung auf der Dämmschichtoberfläche wegen Unterschreitens der Taupunkttemperatur der Umgebungsluft nicht erfolgt.

Diese Mindestanforderung kann durch ausreichende Bemessung der Dämmschicht erfüllt werden, wenn bei der Berechnung abgesicherte Werte der Wärmeleitfähigkeit bei der zugehörigen Mitteltemperatur des Dämmstoffes sowie des äußeren Wärmeübergangskoeffizienten bei der vorliegenden Lufttemperatur und relativen Luftfeuchte zugrunde gelegt werden. Aufgrund des Temperaturgefälles von der Umgebungsluft zur Rohrtemperatur der Kälteleitung liegt i. a. auch ein Dampfdruckgefälle an der Dämmschicht an, demzufolge Wasserdampf in Abhängigkeit von der Dampfdurchlässigkeit des Dämmsystems

zum Rohr diffundieren kann. Diffundierende Feuchtigkeit führt aber im Dämmsystem beim Unterschreiten der Taupunkttemperatur zur Tauwasserbildung und im Laufe der Zeit zur Durchfeuchtung und damit auch zur Verminderung der Wärmedämmwirkung; ferner besteht die Gefahr der Korrosion der verwendeten Werkstoffe und weiterer Schäden durch Quellung oder mechanische Zerstörung. Bei intermittierender Betriebs-

weise von Kälteleitungen kann es neben den Diffusionsvorgängen auch noch zu Strömungsvorgängen als Folge von Luftdruckunterschieden kommen und damit zum weiteren zusätzlichen Transport von Feuchtigkeit in das Wärmedämmsystem.

Zur Verhinderung des Luftaustausches und des Wasserdampftransportes müßte das Wärmedämmsystem praktisch luft- und diffusionsdicht ausgeführt werden, d. h., der Dämmstoff müßte mit einer dichten Ummantelung versehen werden. Diese Forderung läßt sich aber in der Praxis nur mit hohem technischen Aufwand erfüllen, besonders wegen stets vorhandener Anschlüsse oder Abzweigungen, Stütz- oder Tragkonstruktionen und dgl.

Unter diesen Gesichtspunkten strebt man auch aus wirtschaftlichen Überlegungen eine möglichst dichte Ummantelung der Dämmstoffe an unter Verwendung von diffusionsdichten Stoffen wie Bleche oder ausreichend dicke Metallfolien, muß sich aber darauf beschränken, das Eindringen von Feuchtigkeit so gering als möglich zu halten und es nicht vollkommen auszuschließen.

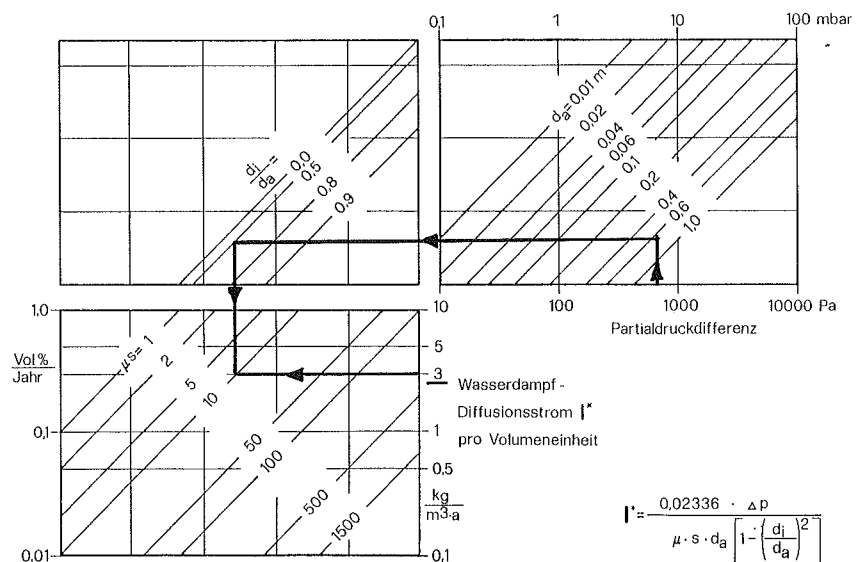


Abb. 1: Nomogramm zur Ermittlung der „diffusionsäquivalenten Luftschichtdicke $s_d = \mu \cdot s$ “ der Ummantelung der Wärmedämmung an Rohren nach AGI Q 112.

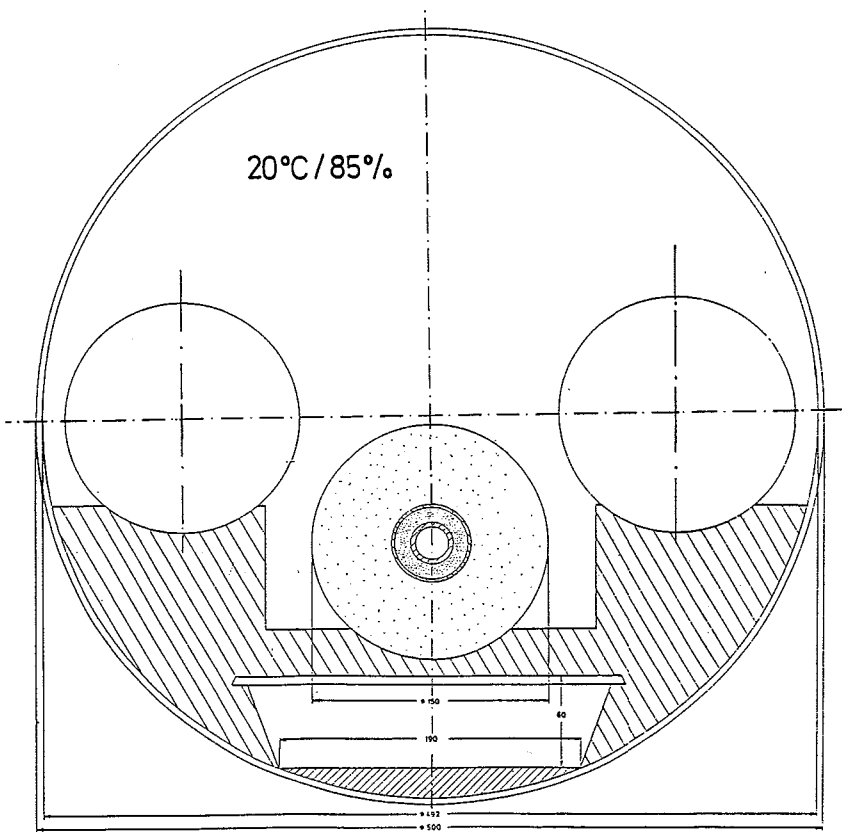


Abb. 2: Schnitt durch den klimatisierten Prüfraum 20 °C/85 % mit der möglichen Anordnung von drei Prüfrohren.

Unter diesen Überlegungen wurde das Arbeitsblatt AGI-Q 112 „Dämmarbeiten an betriebstechnischen Anlagen – Dampfbremsen“ (Ausgabe Oktober 1980) erstellt, wobei man sich in den beteiligten Fachkreisen über eine geringe Feuchtaufnahme im Laufe der Zeit und in Verbindung damit auf eine geringe Minderung der Wärmedämmwirkung verständigte.

Dabei werden Anforderungen an den Diffusionswiderstand der äußeren Ummantelung gemäß den jeweiligen Betriebsdaten und Gegebenheiten gestellt, d. h., ein Mindestwert $s_d = \mu \cdot s$ in Meter, auch als „diffusionsäquivalente Luftschichtdicke“ bezeichnet, der Ummantelung des Dämmstoffes wird ermittelt, der eine Erhöhung der Wärmeleitfähigkeit des Dämmstoffes um maximal 20 bis 30 % über die Betriebszeit zuläßt.

Dies wird aber nur akzeptiert, wenn durch die Durchfeuchtung keine weiteren stofflichen Änderungen wie Quellungen oder mechanische Zerstörungen des Wärmedämmstoffes auftreten können.

Je nach dem gewählten Dämmstoff und dessen Struktur, offen- oder geschlossenzellig und damit auch dessen Dampfdurchlässigkeit, diffundiert Wasserdampf in die Dämmschicht ein und führt bei Erreichen des Sättigungsdruckes zum Tauwasserausfall, und zwar je nach Temperatur über 0 °C in Form von Wasser oder unter 0 °C in Form von Reif oder Eis. Nach Glaser [1, 2] kann die diffundierende Menge und die Ebene oder der Dickenbereich des Tauwasserausfalles bei Dämmstoffen mit oder ohne äußere Ummantelung berechnet werden, wenn die zugehörigen Stoffwerte bekannt sind.

Die Wärmeleitfähigkeit von Rohrdämmstoffen ist nach DIN 52613 in Abhängigkeit von der Mitteltemperatur zu bestimmen und anzugeben [3] und die Werte der Dampfdurchlässigkeit sind nach DIN 52615 nach dem Trocken- oder Feuchteverfahren zu ermitteln und als Diffusionswiderstandszahl μ bei homogenen Stoffen oder als s_d -Werte bei nicht homogenen Stoffen oder Flächengebilden anzugeben [4].

Für Wärmedämmsysteme mit äußerer Ummantelung unterschiedlicher Durchlässigkeit kann die diffusionstechnische Abschätzung mit dem Arbeitsblatt Q 112 vorgenommen werden; wobei mittels eines Nomogramms entweder der Mindestwert von s_d für eine unbedenkliche Feuchtaufnahme ermittelt werden kann oder aber bei einem gegebenen s_d -Wert die jährliche diffundierende Feuchtemenge für die gegebenen Betriebsdaten zu entnehmen ist (siehe Abb. 1).

Entsprechend dem heutigen Stand ist es üblich, den trockenen Zustand des Dämmstoffes bei Rohrleitungen zugrunde zu legen und die zugehörigen Stoffwerte für diese Abschätzung zu verwenden. Dieses Verfahren liefert aber keine Aussage über den Ort der Feuchteausscheidung oder die weitere Verteilung im Dämmstoff, sondern nur einen Wert der jährlichen Feuchtaufnahme in Vol.-%. Bei bekanntem Einfluß der Feuchtigkeit auf die Wärmeleitfähigkeit kann damit die Minderung der Wärmedämmwirkung grob abgeschätzt werden [5, 6].

Bei Wärmedämmstoffen ohne äußere Ummantelung wie z. B. Isolierschläuchen mit geschlossenzelliger Struktur ist dieses Verfahren nicht anwendbar. Bei bekannten Stoffen ist mit dem Glaserverfahren [1, 2] zu Beginn der Tauwasserbildung im Dämmstoff der Ort der Feuchteausscheidung zu ermitteln und für diesen Ausgangs-

zustand die diffundierende Feuchtigkeitsmenge zu berechnen. Der weitere Fortgang der Durchfeuchtung im Laufe der Zeit ist noch nicht ausreichend geklärt, da die Einflüsse der stofflichen Änderungen mit der Feuchteanreicherung sowohl bei stationärer wie auch intermittierender Betriebsweise noch nicht angegeben werden können.

Im Rahmen eines Forschungsvorhabens sollten deshalb die Vorgänge des Feuchtetransportes in Dämmstoffen an Kälteleitungen eingehender untersucht werden, besonders im Hinblick auf Größe und Ort der Durchfeuchtung, und deren Einfluß auf die Wärmedämmwirkung bestimmt werden. Für die Untersuchungen an verschiedenen gebräuchlichen Dämmstoffen sollten auch die wichtigsten Stoffwerte nach den genormten Prüfverfahren bestimmt werden, um evtl. Grundlagen zu finden für eine gesicherte rechnerische Behandlung der Durchfeuchtung für die praktische Verwendung unter den möglichen Beanspruchungen und Randbedingungen.

Prüfeinrichtungen

Die Wärmeleitfähigkeit von rohrförmigen Proben wird im FIW nach DIN 52613 an mindestens 2 m langen Prüfröhren bestimmt, wobei für die Prüfungen der verschiedenen Dimensionen der Isolierschläuche eine Reihe von Prüfröhr-Durchmessern von 11 bis 60 mm zur Verfügung stehen. Für das Forschungsvorhaben sind zwei Prüfröhre von 27 und 50 mm Außendurchmesser gebaut worden, die die Messung der Wärmeleitfähigkeit sowohl mit einem elektrisch beheizten Innenrohr als auch mit der Hilfswandmethode während der Untersuchungen ermöglichten. Diese Prüfröhre dienten als Trägerrohre für die zu untersuchenden Dämmschichten oder Dämmsysteme.

Für die Prüfungen bei konstanter Temperatur und relativer Luftfeuchte ist ein zylindrischer Prüfraum von ca. 2,6 m Länge und 50 cm Durchmesser erstellt worden, in dem das Prüfklima mit 20 °C/85 % relative Luftfeuchte mittels gesättigter KCL-Lösung und ausreichender Luftumwälzung aufrechterhalten werden kann (Abb. 2 und 3).

Der Prüfraum ermöglicht gleichzeitig die Anordnung von drei Prüfröhren, die als Kälteleitung über einen Kryostat in Bereich von + 7 °C (z. B. Kaltwasserleitung) bis etwa - 20 °C betrieben werden können.

Die Feuchteaufnahme infolge Dampfdiffusion unter den gewählten Prüfbedingungen muß

Die Bestimmung der Wasserdampfdurchlässigkeit der rohrförmigen oder ebenen Probekörper erfolgte mit den Prüfschalen nach DIN 52615. Nach Erreichen des stationären Diffusionsstromes wurde entweder die Diffusionswiderstandzahl μ oder der s_d -Wert für die geprüfte Probendicke ermittelt.

Untersuchungen und Ergebnisse

Die Untersuchungen sind im Rahmen des Forschungsvorhabens an mehreren Dämmstoffen oder Dämmsystemen durchgeführt worden, wie sie heute bei Kälteleitungen in haus- und betriebstechnischen Anlagen verwendet wer-

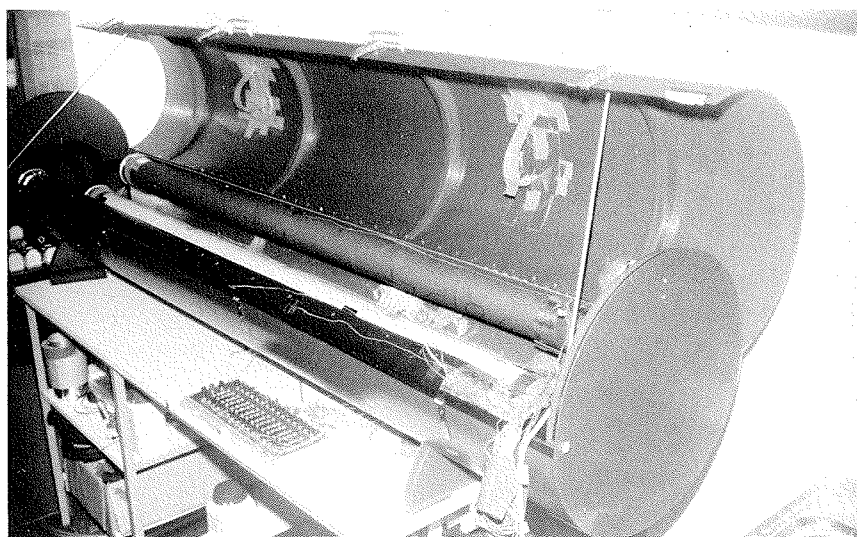


Abb. 3: Geöffneter Prüfraum mit Prüfröhren.

gravimetrisch als Funktion der Zeit bestimmt werden; dazu sind die Prüfröhre in wöchentlichen oder monatlichen Abständen aus dem Prüfraum ausgebaut worden, was durch Schnellkupplungsvorrichtungen an den Prüfröhrenden ermöglicht wurde.

Die Prüfröhrenden und Stirnflächen der Dämmschichten bedurften einer sorgfältigen Abdichtung und Gestaltung zur Vermeidung von Randfehlern und Störeinflüssen.

den. Bei den werksmäßig hergestellten Materialien für die beiden Prüfröhre mit 27 und 50 mm Außendurchmesser lagen die Dämmdicken zwischen 25 und 35 mm. Für das Forschungsvorhaben war dabei eine Dauer von insgesamt einem Jahr vorgesehen, was je Dämmstoff eine Prüfdauer von etwa sechs Monaten bedeutet hätte. Diese Prüfdauer erwies sich im Hinblick auf die ermittelte Feuchteaufnahme in einigen Fällen als sehr kurz.

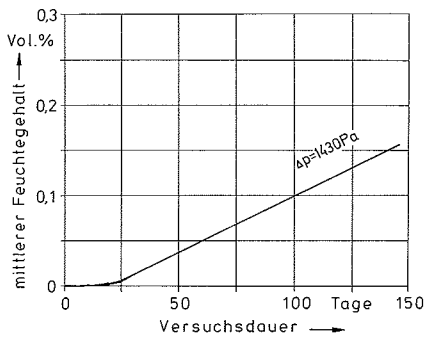


Abb. 4: Zeitlicher Verlauf der Feuchtigkeitsaufnahme des Schaumstoff-Dämmschlauchs Typ A, Dämmdicke 35 mm am Prüfrohr \varnothing 27 mm.

Der Prüfraum wurde mit $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ Lufttemperatur und 85 % relativer Luftfeuchte über die Prüfdauer konstant klimatisiert. Die Rohrtemperaturen sind beim Prüfrohr mit 27 mm \varnothing mit $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ und beim Prüfrohr mit 50 mm \varnothing mit $+7\text{ }^{\circ}\text{C}$ konstant geregelt worden; für die wöchentlichen bzw. monatlichen Wägungen war eine kurzzeitige Unterbrechung der Kühlung notwendig, d. h. eine Art intermittierender Kühlung damit gegeben.

Nachfolgend werden die einzelnen Dämmstoffe kurz beschrieben und die ermittelten Ergebnisse und Erkenntnisse dargestellt: Schaumstoff-Dämmschlauch Typ A, ein geschlossenzelliger Schaumstoff (n. A. aus Polyolefinen) mit Schäumhaut, Rohdichte ca. 40 kg/m^3 und einer Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{10\text{ }^{\circ}\text{C}} = 0,051\text{ W/(mK)}$ bei 35 mm Wanddicke.

Der ermittelte zeitliche Verlauf der Feuchteaufnahme am Prüfrohr \varnothing 27 mm bei einer Partialdruckdifferenz von 1 430 Pa über 150 Tage Prüfdauer ist in Abb. 4 dargestellt und betrug auf das gesamte Volumen bezogen weniger als 0,2 %.

Schaumstoff-Dämmschlauch Typ B, ein geschlossenzelliger Schaumstoff (n. A. Elastomerschaum) mit Schäumhaut, Rohdichte ca. 70 kg/m^3 beim Prüfrohr \varnothing 27 mm und ca. 80 kg/m^3 beim Prüfrohr \varnothing 50 mm und einer Wär-

meleitfähigkeit von $\lambda_{10\text{ }^{\circ}\text{C}} = 0,038\text{ W/(mK)}$ bei 35 mm Wanddicke. Die mittlere Diffusionswiderstandszahl bei dieser Dicke betrug etwa 4 000 bei 27 bis 35 mm und 3 000 bei 50 bis 35 mm, bestimmt nach dem Trockenbereichsverfahren.

Der ermittelte zeitliche Verlauf der Feuchteaufnahme für die beiden Prüfrohre ist in Abb. 5 dargestellt, und zwar über 250 Tage am

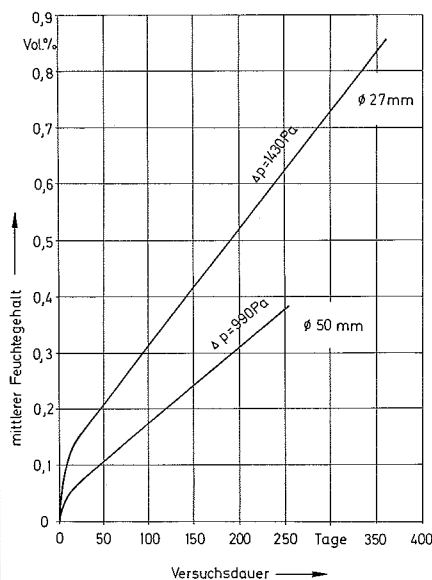


Abb. 5: Zeitlicher Verlauf der Feuchtigkeitsaufnahme der Schaumstoff-Dämmschläuche Typ B, Dämmdicke 35 mm am Prüfrohr \varnothing 27 mm und 50 mm.

Prüfrohr \varnothing 50 mm bei einer Partialdruckdifferenz von ca. 1 000 Pa und 360 Tage am Prüfrohr \varnothing 27 mm bei einer Partialdruckdifferenz von 1 430 Pa.

Schaumstoff-Rohrschalen von 1 m Länge mit äußerem, ca. 0,3 mm dickem PVC-Mantel, ein „halbharter“ gemischtzelliger PUR-Schaumstoff von 20 kg/m^3 Rohdichte und einer Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{10\text{ }^{\circ}\text{C}} = 0,036\text{ W/(mK)}$ bei 25 mm Wanddicke. Die Rohrschalen sind an den Längsschlitz mit überlappender und selbstklebender PVC-Folie ausgeführt; an der Stoßfuge erfolgt die Abdichtung mit einem Klebeband.

Die mit dem Trockenbereich-Ver-

fahren ermittelten Werte betragen $\mu = 10$ für den Schaumstoff und $s_d = 40\text{ m}$ für den äußeren PVC-Mantel im ungestörten Bereich.

Abb. 6 zeigt den ermittelten zeitlichen Verlauf der Feuchteaufnahme am Prüfrohr \varnothing 50 mm über 150 Tage bei einer Partialdruckdifferenz von ca. 1 000 Pa; auf das gesamte Volumen bezogen betrug er am Versuchsende etwa 0,5 Vol.-%.

Mineralfaser-Rohrschalen mit werksmäßig aufgeklebter $100\text{ }\mu\text{m}$ dicker Aluminiumfolien-Ummantelung von 1 m Länge, einseitig geschlitzt; Rohdichte der kunstharzgebundenen Glasfasern ca. 50 kg/m^3 und einer Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{10\text{ }^{\circ}\text{C}} = 0,031\text{ W/(mK)}$ bei 30 mm Wandstärke am Prüfrohr \varnothing 27 mm.

Die gravimetrische Ermittlung der Feuchteaufnahme bei einer Partialdruckdifferenz von 1 430 Pa am Prüfrohr \varnothing 27 mm ergab über 120 Tage Prüfdauer praktisch keine Gewichtsveränderungen über die Wägegenauigkeit hinaus, d. h., die ausgeführte Wärmedämmung war sowohl hinsichtlich der Ummantelung wie auch im Längs- und Stoßfugenbereich hinsichtlich der Überlappung und Verklebung diffusionsdicht. Nach heutigem technischen Stand gilt auch die gewählte $100\text{ }\mu\text{m}$ dicke Alufolie praktisch

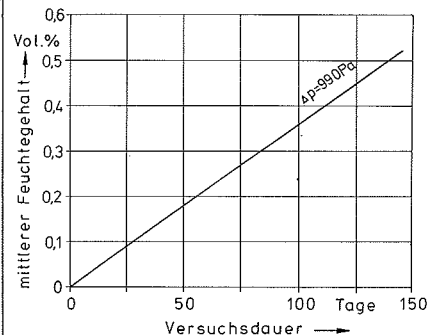


Abb. 6: Zeitlicher Verlauf der Feuchtigkeitsaufnahme der Rohrschalen aus halbhartem PUR-Schaumstoff mit PVC-Ummantelung, Dämmdicke 25 mm am Prüfrohr \varnothing 50 mm.

als diffusionsdicht, was nach DIN 52615 mit s_d -Werten größer als 1 500 m charakterisiert wird.

Zur abschließenden Bewertung der Forschungsarbeiten interessierte bei den untersuchten Dämmsystemen nicht nur die eindiffundierte Feuchtigkeitsmenge, sondern auch deren Verteilung. Dazu wurden die Dämmstoffe vom Prüfrohr abgenommen, schichtweise aufgespalten und bis zur Massekonstanz getrocknet und die ausgefallene Tauwassermenge bestimmt. Je nach Diffusionswiderstand des Dämmsystems war dabei der Feuchtigkeitsgehalt im inneren Drittel an der Kälteleitung etwa drei- bis viermal größer als in den äußeren Schichten.

Die rechnerische Abschätzung mit den Verfahren nach Glaser [1, 2] und mit den ermittelten Stoffwerten lieferte teils erheblich geringere wie auch höhere Werte hinsichtlich der eindiffundierenden Feuchtigkeitsmenge und deren mögliche Verteilung.

Zusammenfassung

Die Forschungsarbeiten haben über die vorgegebene Versuchsdauer wertvolle Ergebnisse gelie-

fert über die Verwendung von Wärmedämmsystemen bei Kälteleitungen mit oder ohne äußere Ummantelung, wobei mit steigendem Dampfdruckgefälle auch höhere Anforderungen an den Diffusionswiderstand zu stellen sind. Dabei ist nach dem heutigen Stand der Technik bei Kälteleitungen stets ein Korrosionsschutz entsprechend dem Arbeitsblatt AGI-Q 151 „Dämmarbeiten-Korrosionsschutz bei Kälte- und Wärmedämmungen an betriebstechnischen Anlagen“ erforderlich.

Für die Beurteilung des Langzeitverhaltens über fünf oder zehn Jahre und der Einflüsse der Durchfeuchtung auf die Wärmedämmwirkung müssen aber noch weiterreichende Untersuchungen ausgeführt werden, besonders zu tiefen Temperaturen hin [7]. Besonders die Auswirkungen der Feuchtigkeit auf die Wärmeübertragung und den Wasserdampftransport sowie mögliche stoffliche Änderungen mit steigendem Feuchtegehalt sollten eingehender erforscht werden, um abschätzende Berechnungen bei geschlossenzelligen Dämmstoffen mit erforderlicher Genauigkeit und Sicherheit durchführen zu können.

Die Forschungsarbeiten wurden mit Mitteln des Bayerischen Staatsministeriums für Wirtschaft und Verkehr München und mit Unterstützung von mehreren Firmen durchgeführt. Für die Förderung unserer Forschungstätigkeit sei auch an dieser Stelle nochmals der Dank des FIW München ausgesprochen.

Literatur

- [1] GLASER, H.: „Wasserdampfdiffusion in Rohrisolierungen“; Z. Kältetechnik-Klimatisierung, 19. Jahrgang, Heft 5/1967.
- [2] GLASER, H.: „Feuchtigkeitsausscheidung in Rohrisolierungen durch Dampfdiffusion“; Z. Kältetechnik-Klimatisierung, 20. Jahrgang, Heft 1/1968.
- [3] ZEHENDNER, H.: „Wärmeleitfähigkeit von Wärmedämmstoffen an Rohrleitungen“; Z. Isolierung, Heft 3/1982.
- [4] ZEHENDNER, H.: „Wasserdampfdurchlässigkeit von Schaumkunststoffen“; Z. Isolierung, Heft 4/1978.
- [5] ZEHENDNER, H.: „Einfluß von Feuchtigkeit auf die Wärmeleitfähigkeit von Schaumkunststoffen im Bereich von -30°C bis $+30^{\circ}\text{C}$ “; Z. Kunststoffe im Bau, 14. Jahrgang, Heft 1/1979.
- [6] CAMMERER, W. F.: „Die Wasserdampfdiffusion in der Isoliertechnik“; Z. Die Isolation, Nummer 6/1971.
- [7] AURACHER, H.: „Wasserdampfdiffusion und Reifbildung in porösen Stoffen“; VDI-Forschungsheft 566, VDI-Verlag, Düsseldorf, 1974.

