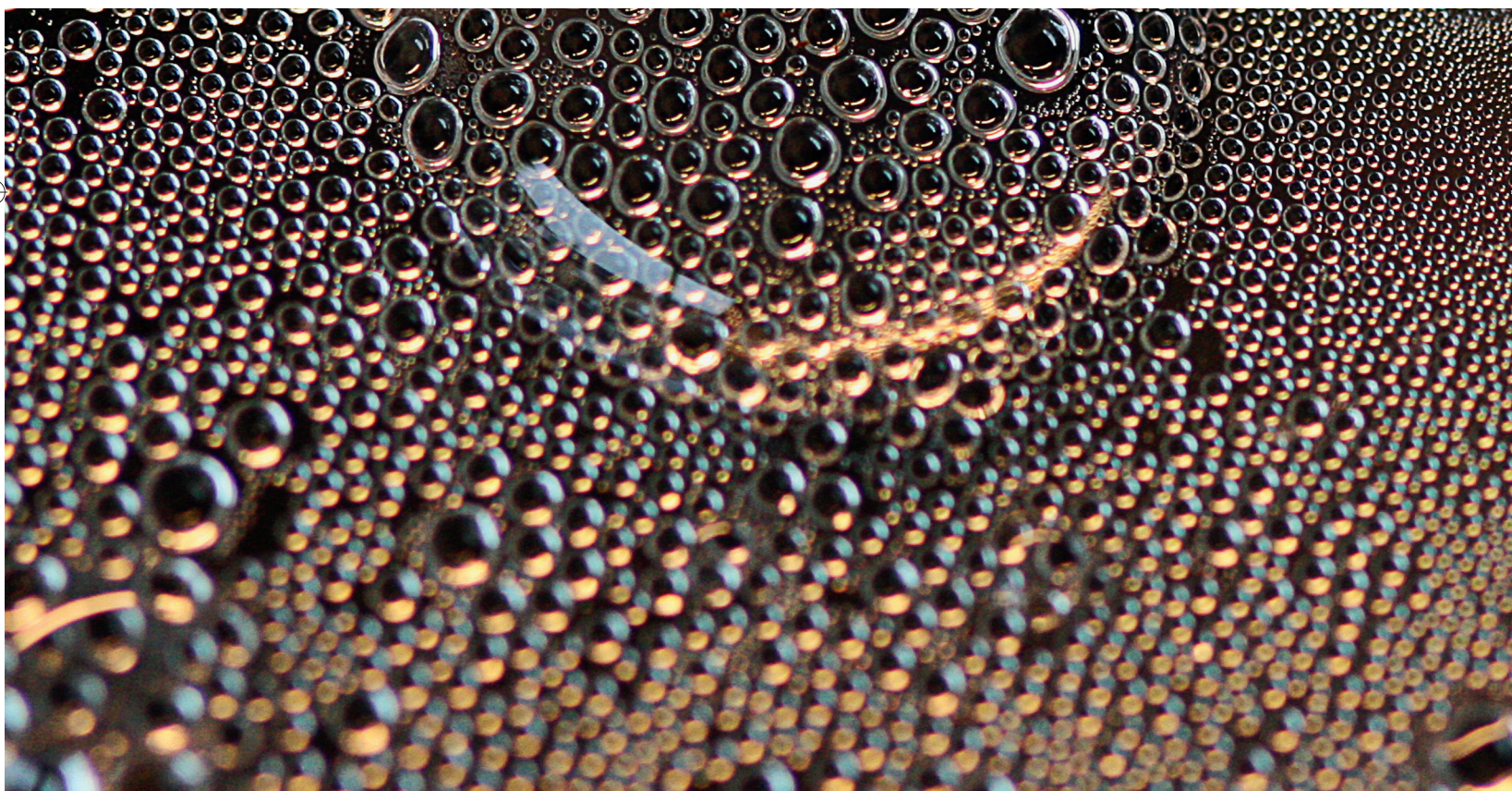


Technischer Brief **11** Technical Letter

Feuchte im Dämmsystem
Moisture in insulation systems



WÄRME-, KÄLTE-, SCHALL- UND BRANDSCHUTZ

Feuchte im Dämmsystem *Moisture in insulation systems*

Inhalt / Table of contents	Seite / Page
1. Negative Wirkungen von Feuchte in der Dämmung <i>Negative effects of moisture in the insulation</i>	3
1.1 Erhöhung der Wärmeleitfähigkeit <i>Increase of thermal conductivity</i>	3
1.2 Gewichtszunahme <i>Weight increase</i>	6
1.3 Zerstörerische Wirkung von Eis <i>Destroying effects of ice</i>	6
1.4 Gefahr der Korrosion <i>Corrosion risk</i>	6
1.5 Schädigung bestimmter Dämmstoffe <i>Damage of certain insulants</i>	7
1.6 Zusammenfassung <i>Conclusion</i>	7
2. Wie gelangt Feuchte in Dämmsysteme? <i>How can moisture penetrate the insulation systems?</i>	7
2.1 Eindringen von Oberflächenwasser <i>Ingress of surface water</i>	8
2.2 Feuchteeintrag durch Luftströmung <i>Moisture ingress through air flow</i>	9
2.2.1 Kälte­dämmungen <i>Cold insulations</i>	9
2.2.2 Wärme­dämmungen <i>Thermal insulations</i>	10
2.2.3 Betrieb mit Wechseltemperaturen <i>Operation with changing temperatures</i>	11
2.3 Feuchteeintrag durch Wasserdampfdiffusion <i>Moisture ingress through water vapour diffusion</i>	11
3. Schutz gegen Durchfeuchten <i>Protection against moisture</i>	12
3.1 Schutz gegen Oberflächenwasser <i>Protection against surface water</i>	12
3.1.1 Konstruktive Maßnahmen <i>Design principles</i>	12
3.1.2 Hydrophobierung <i>Hydrophobisation</i>	12
3.2 Schutz gegen Feuchteeintrag durch Luftströmung <i>Protection against ingress of moisture through air flow</i>	13
3.2.1 Kälte­dämmungen <i>Cold insulations</i>	13
3.2.2 Wärme­dämmungen <i>Thermal insulations</i>	14
3.2.3 Betrieb mit Wechseltemperaturen <i>Operation with changing temperatures</i>	15
3.3 Schutz gegen Feuchteeintrag durch Wasserdampfdiffusion <i>Protection against ingress of moisture through water vapour dif-</i> <i>fusion</i>	16

4.	Vorbeugende Maßnahmen / Maßnahmen im Schadensfall <i>Precautionary measurements / Procedures in case of damage</i>	16
4.1	Transport und Lagerung <i>Transportation and stockpiling</i>	16
4.2	Planung und Montage <i>Design and assembly</i>	17
4.3	Schadensfälle <i>Cases of damage</i>	17
5.	Wie kann Feuchte aus dem Dämmsystem entfernt werden? <i>How can moisture be removed out of insulation systems?</i>	18
5.1	Wasserablauf <i>Water drainage</i>	18
5.2	Trocknung <i>Drying</i>	18
5.3	Das "kapillaraktive" Verfahren <i>The "capillary active" method</i>	18
6.	Einzelfallbetrachtungen <i>Discussion of special cases</i>	19
6.1	Randbedingungen bei Zuluftkanälen <i>Environment conditions for air ducts</i>	19
6.2	Luftverluste in Abluftkanälen: Durchfeuchtung der Dämmung von Innen her <i>Air leaks in exhaust ducts: Moisture ingress in the insulation from the inside</i>	21

1. Negative Wirkungen von Feuchte im Dämmsystem

Dämmstoffe werden aus unterschiedlichen Materialien hergestellt, die sich sowohl durch ihre chemischen Eigenschaften als auch durch ihre Materialstruktur deutlich unterscheiden.

Der mögliche Eintrag von Feuchte in den Dämmstoff sowie der Einfluss eingedrungener Feuchte sind in der Regel von der Kombination der chemischen und physikalischen Eigenschaften des jeweiligen Dämmstoffes abhängig.

Feuchte im Sinne dieses Technischen Briefes ist flüssiges Wasser, das durch eindiffundierenden Wasserdampf oder mit einströmender Luft in den Dämmstoff gelangt und dort kondensiert, oder das bereits als flüssiges Wasser in den Dämmstoff eingedrungen ist. Es hat diese negativen Folgen:

1.1 Erhöhung der Wärmeleitfähigkeit

Die zwischen den Fasern oder in den Zellen von Dämmstoffen vorhandene Luft ist wegen ihrer geringen Wärmeleitfähigkeit der wesentliche Träger der Wärmedämmwirkung des Dämmstoffes. Da die Wärmeleitfähigkeit von Wasser 25 Mal größer ist als diejenige von Luft, verschlechtert sich bei einer Durchfeuchtung die Wärmedämmwirkung des Dämmstoffes. Der Wärmedurchlasswiderstand wird vermindert.

Bild 1 zeigt, dass schon bei geringen Feuchtegehalten eine erhebliche Zunahme der Wärmeleitfähigkeit stattfindet.¹⁾

5 Vol.-% gleichmäßig verteilter Feuchte führen in Dämmstoffen zu einer Erhöhung der Wärmeleitfähigkeit von mindestens 25 % (Bild 1).

Die Erhöhung der Wärmeleitfähigkeit des Dämmstoffes ist jedoch abhängig von der Durchfeuchtungsart. Ist in den Dämmstoff Wasser als Regen- oder Spritzwasser eingedrungen, so wird das Wasser die Dämmschicht durchfeuchten und sich im Laufe der Zeit durch die Schwerkraft im unteren Bereich der Dämmung sammeln.

Ist die Durchfeuchtung des Dämmstoffes auf Diffusions- oder Luftströmungsvorgänge zurückzuführen – hauptsächliche Ursache der Durchfeuchtung von Kälte-dämmungen –, so ist die Feuchte in Form von Wasserdampf eingedrungen, der in der Kälte-dämmung im Bereich der Kondensationszone in den flüssigen Aggregatzustand übergeht.

1. Negative effects of moisture in insulation systems

Insulants are made of a variety of materials, differing notably in both their chemical properties and their material structure.

The possible ingress of moisture into the insulant and the effect of invading moisture as a general rule are dependent upon the combination of chemical and physical properties of the respective insulant.

Moisture in the sense of this Technical Letter is liquid water which invades the insulant by way of water vapour diffusion or with air movement and condenses there, or which penetrates the insulant already as liquid water. This has the following negative effects:

1.1 Increase of thermal conductivity

The air between the fibres of an insulant or in its cells is, because of its low thermal conductivity, the most important element of the thermally insulating effect of the material. Since the thermal conductivity of water is 25 times that of air, the thermally insulating effect of an insulation material decreases if it gets wet. The thermal resistance is lowered.

Figure 1 shows that already small amounts of moisture lead to a significant increase of the thermal conductivity.¹⁾

5 Vol.-% of moisture evenly distributed lead to a decrease in thermal resistance of an insulant of about 25% (Figure 1).

The increase of the thermal conductivity of the insulation, however, is dependent upon the character of the wetness. In case water has penetrated the insulant in the form of rain or splash water, it will evenly moisten the insulation layer and after a while concentrate in the lower parts of the system as an effect of gravity.

In case the wetness is a consequence of diffusion or air movement procedures – principal cause for moistened cold insulations –, the moisture has penetrated in the form of water vapour which changes into the liquid phase in the zone where condensation occurs.

¹⁾ Forschungsinstitut für Wärmeschutz e.V. München, Lochhamer Schlag 4, 82166 Gräfelfing – Forschungsvorhaben Nr. B I 5-80 01 83-4

Die Zunahme der Wärmeleitfähigkeit der Dämmschicht resultiert dann aus einer höher wärmeleitenden "Nasszone", die sich durch die Anreicherung des Kondensats im Bereich der Kondensationszone gebildet hat. Wassermoleküle lagern sich dabei an dem Feststoffgerüst oder an den Zellwänden ab. Dies geschieht bei offen- und geschlossenzelligen Dämmstoffen gleichermaßen. Bei offenzelligen oder faserigen Dämmstoffen wird dieser Vorgang, bedingt durch geringe Strömungs- und Wasserdampfdiffusionswiderstände, in wesentlich kürzerer Zeit ablaufen als dies bei geschlossenzelligen Dämmstoffen der Fall ist. Geschlossenzellige Dämmstoffe, die strömungsdicht sind und einen hohen Wasserdampfdiffusionswiderstand aufweisen, lassen, abhängig von den klimatischen Umgebungsbedingungen, nur geringe Feuchteströme zu, sodass sich die Eigenschaften des Dämmstoffes im Laufe seiner Nutzungsdauer wesentlich langsamer ändern.

Bild 1 gilt nur für eine gleichmäßig durchfeuchtete Schicht.

Eine Berechnung des Wärmedurchlasswiderstandes der nur teilweise durchfeuchteten Dämmschicht ist aufwändig und mit hoher Unsicherheit behaftet, da die Tauwasserzone nur eine lokale Änderung der Wärmeleitfähigkeit des Dämmstoffes bewirkt und sich die Kondensationszone im Laufe der Zeit verschiebt.

Die Verminderung des Wärmedurchlasswiderstandes der gesamten Dämmschicht ist jedoch nicht umgekehrt proportional zur Wärmeleitfähigkeitserhöhung des durchfeuchteten Anteils, sondern steigt in sehr viel geringerem Maße, da die Wärmedurchlasswiderstände der durchfeuchteten und der trockenen Dämmschicht "hintereinander geschaltet" sind.

The increase of thermal conductivity of the insulation layer is then the result of a "wet zone" with higher thermal conductivity, which has formed through a concentration of the condensing water in the area of this "condensation zone". In this case, water molecules form at the solid material structure or at the cell walls. This occurs equally in open and closed cellular insulants. However, due to their low air-flow and water vapour diffusion resistance, this action takes a notably shorter period with open cellular or fibrous than with closed cellular insulants. Closed cellular insulants with high air-flow and water vapour diffusion resistance only allow for modest moisture ingress dependent upon environment conditions, which leads to a much slower change of the insulation material's properties during their service life.

Figure 1 is only valid for evenly wetted layers.

A calculation of the thermal resistance of an only partly wetted insulation layer is complicated and carries a high risk of uncertainty, since the condensation zone causes only a local change of the insulant's thermal conductivity and this zone is moving as time goes by.

The decrease of thermal resistance of the entire insulation layer, however, is not inversely proportionate to the increase of thermal conductivity of the wetted part, but instead increases at a much smaller scale, since the thermal resistances of the wet and the dry insulation layer zones are "cascade-connected".

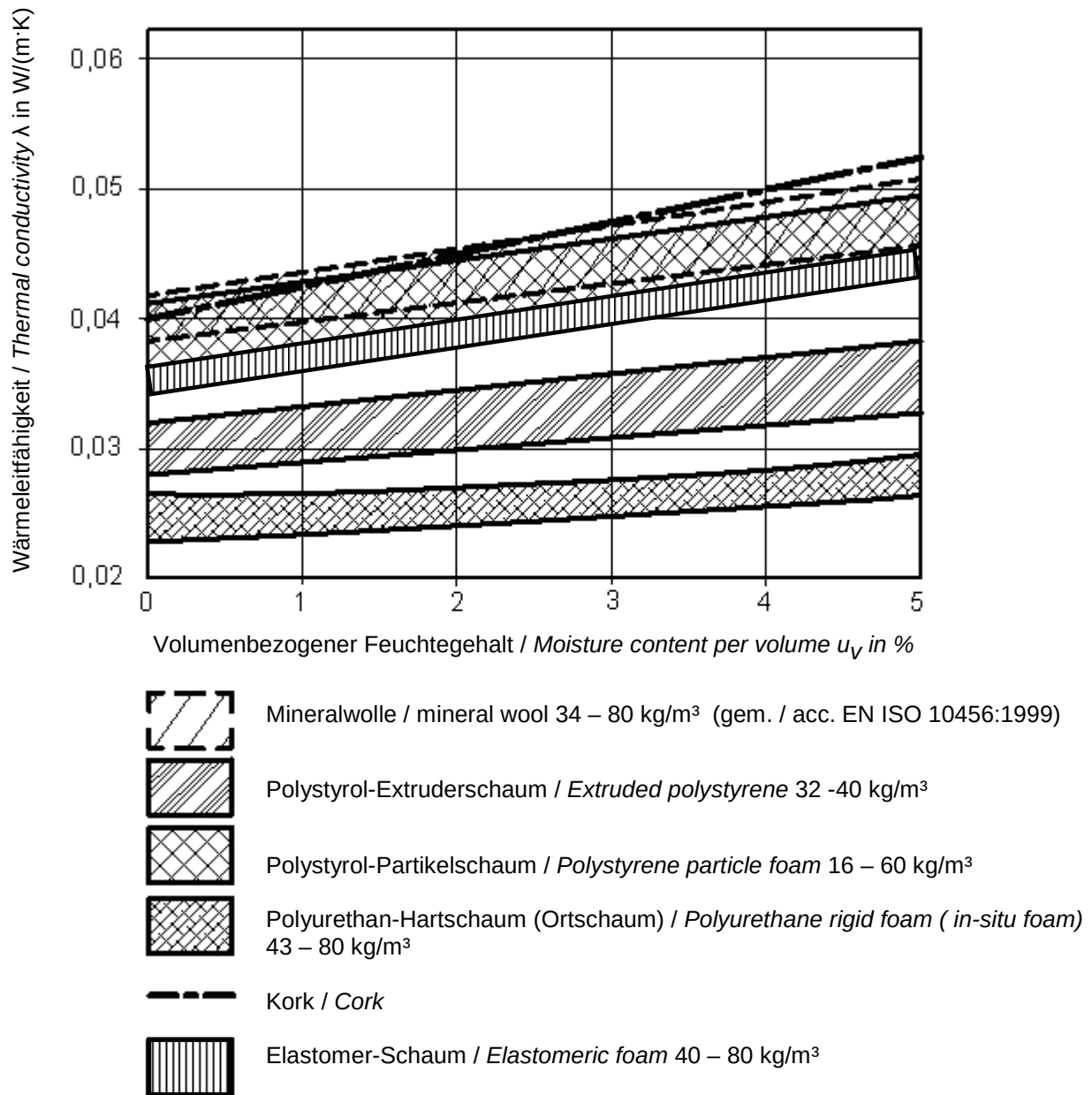


Bild 1: Abhängigkeit der Wärmeleitfähigkeit in W/(m·K) bei einer Temperatur von 10 °C vom volumenbezogenen Feuchtegehalt in %

Figure 1: Relation of thermal conductivity in W/(m·K) at a temperature of 10 °C to moisture content per volume in %

Bei offenzelligen Dämmstoffen dagegen kann sich ein nicht zu vernachlässigender Wasserdampfdiffusionsstrom ausbilden, der noch zusätzliche Wärme über Wassermoleküle in der Dämmung transportiert. Dieser Wärmeübertragungsmechanismus kann zu einer etwa 100%-igen Erhöhung des Wärmetransportes führen.

In open cellular insulation materials, however, a water vapour diffusion flow can occur that cannot be disregarded and which causes an additional heat transfer in the insulation through water molecules. This heat transfer mechanism may lead to a heat flow increase of roughly 100%.

Aus diesen Gründen lässt sich eine einfache Beziehung zwischen volumenbezogenen Feuchteanteilen im Dämmsystem und resultierender Erhöhung der Wärmeleitfähigkeit, wie im Bild 1 für geschlossenzellige Dämmstoffe gezeigt, für diffusionsoffene Dämmstoffe nicht aufstellen.

Eine zusätzliche erhebliche Zunahme der Wärmeleitfähigkeit erfolgt, wenn das eingedrungene Wasser gefriert: die Wärmeleitfähigkeit von Eis ist 100 Mal größer als diejenige von Luft.

1.2 Gewichtszunahme

Eine Gewichtszunahme durch aufgenommene Feuchte wird in der Regel bei der Auslegung von Dämmsystemen nicht berücksichtigt.

Bei einer 10 cm dicken Polystyrol-Platte von 1 m x 1 m mit einem Eigengewicht von 2,5 kg (Rohdichte 25 kg/m³) bedeuten 5 Vol.-% Wasser eine Gewichtszunahme von 5 kg, also eine Verdreifachung des Gewichts. Selbst bei einer Mineralwolle-Matte mit einer Rohdichte von 80 kg/m³, die bei gleichen Abmessungen 8 kg wiegt, bedeuten die 5 kg Gewichtszunahme durch eine 5 Vol.-%-ige Wasseraufnahme noch eine ganz erhebliche Veränderung.

Die Gewichtszunahme kann zu statischen Problemen führen, z. B. bei Kühlraumdecken.

1.3 Zerstörerische Wirkung von Eis

Da sich Wasser ab einer Temperatur von +4 °C bei weiterer Abkühlung wieder ausdehnt und sich diese Ausdehnung auch bei Gefrieren des Wassers fortsetzt, kann Eis Dämmsysteme zerstören.

1.4 Gefahr der Korrosion

Wasser ist eine der Ursachen für viele Korrosionsvorgänge, die bei Abwesenheit von Feuchte praktisch nicht stattfinden.

In der Dämmtechnik sind insbesondere die Sauerstoff-, Kontakt- und Spannungsrisskorrosion von Bedeutung.

Korrosionsfördernde Ionen, z. B. Chloridionen, können bei nichtrostenden austenitischen Stählen zu Spannungsrisskorrosion führen. Sie können durch Wasser aus dem Dämmstoff ausgewaschen und an denjenigen Stellen im Dämmsystem zu hoher Konzentration gebracht werden, an denen das Wasser zusammenläuft. Bei Regenwasser kommt hinzu, dass es außerdem mit korrosionsfördernden Ionen aus der Umgebungsluft belastet ist.

Because of this, a simple relation between volume percentages of moisture in insulation systems and a resulting increase of thermal conductivity, as shown in Figure 1 for closed cellular insulants, cannot be established for insulation materials which are open to diffusion.

An additional essential increase of thermal conductivity is created when the penetrating water freezes: the thermal conductivity of ice is 100 times larger than that of air.

1.2 Weight increase

An increase of weight through penetrating moisture is normally not taken care of when designing an insulation system.

For a 10 cm thick polystyrene board of 1 m by 1 m with an original weight of 2,5 kg (apparent density 25 kg/m³) 5 Vol.-% of water mean a weight increase of 5 kg, that is to triplicate the original. Even with a mineral-wool mat of an apparent density of 80 kg/m³, the weight of which is at similar dimensions 8 kg, a weight increase of 5 kg through 5 Vol.-% of water penetration mean a quite considerable change.

The weight increase can lead to static problems, e. g. in cold-storage room ceilings.

1.3 Destroying effects of ice

Since water starts to expanding again below temperature of + 4 °C and this expansion continuous as water freezes, ice may even destroy insulation systems.

1.4 Corrosion risk

Water is one of the causes of many corrosion processes, which in practice do not occur in the absence of moisture.

In the insulation technology, especially oxygen, contact and stress corrosion cracking are of consequence.

Ions that promote corrosion, e. g. chloride ions, may lead to stress corrosion cracking in stainless austenitic steel. They can be washed out of the insulant by water, thus being brought to high concentration at places in the insulation system where the water drains into pools. With rain water, this effect is exaggerated since it is already laden with corrosion-promoting ions out of the ambient air.

Korrosionsfördernde Ionen sind in See- und Industrieatmosphären in erhöhter Konzentration vorhanden, was die Korrosionsgefahr für Dämmsysteme in diesen Atmosphären zusätzlich erhöht.

1.5 Schädigung bestimmter Dämmstoffe

Abgesehen von der Wärmeleitfähigkeitszunahme werden auch andere Eigenschaften von Dämmstoffen durch Wasser beeinträchtigt: Mineralwolle wird bei langanhaltender Durchfeuchtung zerstört; bei Schaumglas führt heißes Wasser mit Temperaturen über 80 °C zwischen den Stoßfugen einzelner Dämmplatten zu Materialveränderungen; Calcium-Magnesium-Silikatfasern und mikroporöse Dämmstoffe sowie nicht im Autoklaven hergestelltes Calciumsilikat werden durch Feuchte zerstört.

Durch Synthese der Rohstoffe Kalk und Sand im Autoklaven hergestellte Calciumsilikatprodukte sind dagegen nicht feuchteempfindlich.

In geschlossenzellige Dämmstoffe, z. B. Polyurethan-Hartschaum, eindiffundierendes Wasser kann die Zellstruktur zerstören, was dazu führt, dass sich das Zellgas verflüchtigt. Dies hat eine zusätzliche Erhöhung der Wärmeleitfähigkeit zur Folge.

Durchnässte, faserige Dämmstoffe neigen beim Austrocknen unter Verminderung der Dämmschichtdicke zu Materialverdichtungen. Durch diese Erhöhung der Rohdichte kann die Wärmeleitfähigkeit des Dämmstoffes bei hohen Betriebstemperaturen sogar etwas abnehmen. Allerdings wird sich wegen der damit verbundenen Verminderung der Dämmschichtdicke trotz niedrigerer Wärmeleitfähigkeit des Dämmstoffes der Wärmedurchlasswiderstand der Dämmschicht dennoch verringern.

1.6 Zusammenfassung

Bei allen Durchfeuchtungsarten kann ein einmal unzulässig feuchtebelastetes Dämmsystem seine Eigenschaften, insbesondere seine Isolierwirkung, unkontrolliert verschlechtern. Die durch auch nur vorübergehende Feuchte hervorgerufenen Veränderungen **können** reversibel sein. Sie müssen es aber nicht (siehe 4.3).

2. Wie gelangt Feuchte in Dämmsysteme?

Feuchte kann in Form von Wasser oder feuchter Luft in ein Dämmsystem gelangen. Unterschreitet die Temperatur der eingedrungenen Luft deren Taupunkttemperatur, kondensiert Wasser aus.

In sea and industrial environments, corrosion-promoting ions are present in elevated concentrations which causes an increase of the corrosion danger for insulation systems in these environments.

1.5 Damage of certain insulants

Besides the thermal conductivity increase, other properties of insulation materials are also impaired by water: mineral wool is destroyed when moistened over long periods; with cellular glass, hot water at temperatures over 80 °C leads to material changes at the cross-joints of individual boards; Calcium silicate not produced in autoclaves, calcium-magnesium-silicate fibre and microporous insulants are destroyed by moisture.

Calcium silicate products produced in the autoclaves through a synthesis of the raw materials lime and sand are not susceptible to moisture.

With closed cellular insulation materials, e. g. polyurethane rigid foam, diffusion water can destroy the cell structure which leads to an evaporation of the cell gas. This leads to an additional increase of the thermal conductivity.

Fibrous insulants, that had been wetted, tend to an increase of density whilst lowering their layer thickness when being dried out. The increase of apparent density may even lead to a slight decrease of the thermal conductivity of the insulation material at high temperatures. However, due to the parallel decrease of insulation layer thickness, the thermal resistance of the insulation layer will decrease despite the lower thermal conductivity of the insulation material.

1.6 Conclusion

In all variations of moisture penetration of insulation materials, an uncontrolled moisture-affected insulation system may deteriorate uncontrollably, especially in its insulation effect. The changes affected by an even only short time moisture penetration **may be** reversible. However, not of necessity (see 4.3).

2. How can moisture penetrate the insulation system?

Moisture may penetrate the insulation system in the form of water or moist air. Where the temperature of the penetrated air falls below its dew point temperature, water condenses.

2.1 Eindringen von Oberflächenwasser

Am häufigsten tritt Oberflächenwasser in die Dämmung durch Regen oder Schnee ein.

Dies kann bereits bei der Lagerung von Dämmstoffen geschehen, wenn sie im Freien nicht abgedeckt werden.

Auch Regen während der Montage im Freien führt zu Wassereintritt, wenn die Objekte nicht fachgerecht abgedeckt sind.

Nach Beendigung der Montage kann Regenwasser durch undichte Nähte und Durchdringungen eintreten. Besonders gefährdet sind:

- Dachkonstruktionen, z. B. bei Behältern und Kanälen
- senkrechte und schräge Abgänge von isolierten Rohrleitungen
- Durchdringungen an Anlagenteilen, wie z. B. nach oben abgehende Spindeln von Armaturen.

Regenwasser kann nicht nur von oben eindringen, sondern es kann auch durch starken Wind getrieben von unten nach oben fließen und durch undichte Stellen in die Dämmung gelangen. Dies gilt in verstärktem Maße auch für Flugschnee.

Innerhalb von Gebäuden kann bei Reinigungsarbeiten Spritzwasser in die Dämmung gelangen. Die gegen Regenwasser gültigen Konstruktionsprinzipien sind daher auch hier anzuwenden.

Gründe für undichte Dämmsysteme können sein:

- nicht fachgerechte Konstruktion des Objektes, z. B. fehlende Dacheckringe bei Tanks
- nicht fachgerechte Montage des Dämmsystems, z. B. falsche Nahtlage der Ummantelung
- nicht fachgerecht ausgeführte Reparatur- oder Wartungsarbeiten am Objekt, beispielsweise Entfernen von Kappen an Flanschen und unterlassenes oder nicht fachgerechtes Wiederanbringen
- Beschädigungen während des Betriebes.

2.1 Ingress of surface water

The most frequent ingress of surface water into the insulation is rain or snow.

This may already occur whilst the insulants are stockpiled in the open, if they are not covered properly.

Rain during assembly in the open also leads to ingress of water when the objects are not properly covered.

After completion of the mounting, rain water can leak through untight seams and penetrations. Especially risky are:

- roof constructions, e. g. at containers and ducts
- vertical and oblique exits from insulated pipes
- penetrations at components, such as upwards pointing vertical spindles.

Rain water may not only penetrate the insulation from above, but may also flow upwards when driven by strong wind and invade the insulation through leaks in the cladding. In an even increased degree, this too applies for driving snow.

Inside buildings, splash water may invade the insulation when the installation is cleaned. The principles valid against penetrating rain water must therefore also be applied here.

Reasons for untight insulation systems may be:

- unprofessional design of the object, e. g. missing roof-edge rings at tanks
- unprofessional assembly of the insulation system, e. g. wrong positioning of seams in the cladding
- unprofessional execution of repair and maintenance work at the object, such as the removal of boxes at flanges and omitted or unprofessional remounting
- damages during operation.

2.2 Feuchteeintrag durch Luftströmung

Herrscht zwischen der Umgebung und dem Inneren einer Dämmung ein Luftdruckunterschied, so findet bis zum Druckausgleich in Abhängigkeit von der Richtung der Druckdifferenz eine Luftströmung in die Dämmung hinein oder aus der Dämmung heraus statt. Druckunterschiede entstehen durch Änderung der Objekttemperatur bei An- und Abfahren einer Anlage oder durch witterungsbedingte Luftdruckschwankungen.

2.2.1 Kälte-dämmungen

Wird eine Kälteanlage in Betrieb genommen, so sinkt der Druck innerhalb der Dämmung und Umgebungsluft kann durch vorhandene Undichtigkeiten einströmen. Schon kleinste Undichtigkeiten führen zu einem vollständigen Druckausgleich zwischen Innen und Außen: der Unterdruck wird durch nachströmende Außenluft ausgeglichen.

Die unten stehende Tabelle zeigt den theoretischen Druck innerhalb einer Dämmung in Abhängigkeit von der Objekttemperatur, wenn keine Außenluft nachströmen würde.

Tabelle: Δp in Abhängigkeit von der Objekttemperatur

Table: Δp in relation to object temperature

Objekttemperatur Object temperature θ in °C	Druck p Pressure p in bar	Δp in bar bei 20 °C Außentemperatur Δp in bar at 20 °C ambient temperature
0	0,966	0,034
-40	0,898	0,102
-100	0,795	0,205
-160	0,693	0,307

Dieses Δp bewirkt das Nachströmen der Außenluft.

Kühlt sich die einströmende Luft auf Temperaturen unterhalb ihrer Taupunkttemperatur ab, so kondensiert der Wasserdampf.

Die Menge der eingetragenen Feuchte hängt ab von:

- der Größe des Druckunterschiedes
- dem strömungsoffenen Volumen in der Dämmung
- der relativen Luftfeuchte der eingeströmten Luft
- der Anzahl der Temperaturwechsel.

2.2 Moisture ingress through air flow

In case of air pressure differences between the environment and the inner parts of the insulation, an air flow occurs until equalisation is reached, dependent upon the direction of the pressure difference either into the insulation system or out of it. Pressure differences are caused through changes in the object temperature when the installation is started, respectively shut-down or through atmospheric air pressure variations.

2.2.1 Cold insulations

When a cold installation is started, the pressure inside the insulation decreases and ambient air flows in through any existing leaks. Even smallest leakages lead to a complete equalisation between the inside and the ambient air: the under-pressure is equalised by inflowing ambient air.

The table below shows the theoretical pressure inside an insulation system in relation to the object temperature if no ambient air would flow in.

This Δp causes the inflow of ambient air.

In case the inflowing air is cooled down to below its dew point temperature, the water vapour condenses.

The amount of moisture brought in is dependent upon:

- the height of the pressure difference
- the volume of the insulation system open to influx
- the relative humidity of the inflowing air
- the number of temperature changes.

Besonders kritisch ist das Ein- und Ausströmen von feuchter Luft bei offenzelligen Dämmstoffen mit geringem Strömungswiderstand. Zur Verhinderung der Luftströmung wäre eine "Luftsperre" erforderlich, die jedoch mit den üblichen isoliertechnischen Mitteln nicht hergestellt werden kann. Dies ist der Grund dafür, dass Schüttdämmstoffe und Mineralwolle für Kälteisierungen in der Regel nicht geeignet sind: ihr Einsatz kommt nur hinter einem Doppelmantel in Betracht.

Ein Doppelmantel ist eine luft- und diffusionsdicht verschweißte oder verlötete Ummantelung von Rohren und Behältern als Schutz gegen Durchfeuchtung und Beschädigung des Dämmstoffes.

Geschlossenzellige Dämmstoffe verhindern zwar eine Luftströmung innerhalb des Dämmstoffes, jedoch können auch hier in Dämmsystemen – wenn auch wesentlich kleinere – Hohlräume verbleiben, beispielsweise als Zwischenraum zwischen Objektoberfläche und innerer Dämmstoffoberfläche. Diese müssen nach außen durch Verkleben der Fugen abgedichtet werden.

Wiederholter Luftaustausch – z. B. Betrieb mit Wechseltemperaturen oder unterbrochener Betrieb – bewirkt den so genannten **"Pumpeffekt"**: Strömt feuchte Luft in eine Kälteisolation ein, so kondensiert die Feuchte zumindest teilweise. Kehren sich die Druckunterschiede anschließend wieder um, so strömt die Luft in teilweise getrocknetem Zustand wieder aus der Isolierung aus. Dieser "Pumpeffekt" führt zu einem schrittweisen Anreichern von Wasser innerhalb der Dämmung.

2.2.2 Wärmedämmungen

Auch bei Wärmedämmungen findet beim An- und Abfahren der Anlage und durch atmosphärische Schwankungen ein Luftaustausch statt. Da jedoch die Temperatur in Richtung Objekt ansteigt, führt dies im Allgemeinen nicht zum Ausfall von Wasser im Betrieb.

Einen Sonderfall stellen Objekte im Freien dar, bei denen sich Tauwasser an der Ummantelung niederschlagen kann: z. B. bei warmgehenden Freileitungen mit Mineralwollendämmung kann eine Durchfeuchtung des Dämmstoffes durch Kondenswasser auf der Innenseite der Ummantelung auftreten, wenn die Temperatur der Ummantelung bei klarem Nachthimmel durch Wärmeabstrahlung in das Weltall unter die Taupunkttemperatur der eingeschlossenen Luft absinkt. Das auf der Innenseite der Ummantelung kondensierende Tauwasser kann dann ganz oder teilweise in den Dämmstoff gelangen.

Especially critical is the in- and out-flow of wet air with open cellular insulation materials with low air flow resistance. To prevent air movement, an "air barrier" would be required which, however, cannot be constructed with standard insulation technological means. This is the reason for loose-fill insulants and mineral wool are normally unfit for cold insulations: their employment can only be contemplated behind a double-skin covering.

A double-skin covering is an air-flow- and diffusion-tight welded or soldered casing of pipes or containers as protection against moisture and damage of the insulation material.

Closed cellular insulants prevent air flow inside the insulation material, however, even in these insulation systems cavities may remain – such as the space between object surface and inner insulation surface. These must be sealed against the outside through gluing of the joints.

Repeated air exchange – e. g. when the operation is with changing temperatures or interrupted – causes the so-called **"pumping effect"**: As moist air flows into the cold insulation, the moisture condenses at least partially. When the pressure differences are reversed, the air in a partially dried condition exits the insulation. This "pumping effect" leads to a stepwise increase of water content inside the insulation.

2.2.2 Thermal insulations

With thermal insulations, an air exchange is caused through starting and shutting down the installation and through atmospheric air pressure variations. However, since the temperature increases in direction of the object, this normally does not lead to condensation of water during operation.

A special case are installations in the open, where dew may condense at the cladding: e. g. warm pipes with mineral wool insulation, a moisture penetration of the insulant through condensing water at the inside of the cladding may occur, when the temperature of the cladding can fall below the dew point temperature of the air in the system because of thermal radiation exchange with the universe in clear nights. The dew condensing at the inside of the casing may then completely or partially drop into the insulant.

2.2.3 Betrieb bei Wechseltemperaturen

Wir sprechen von Wechseltemperaturen, wenn die Betriebstemperatur zeitweise über und zeitweise unter der Umgebungstemperatur liegt. Schwankungen der Umgebungstemperatur allein können – trotz konstanter Betriebstemperatur – für die Dämmung die Bedingungen der "Betriebsweise mit Wechseltemperaturen" schaffen.

Dabei ändert sich die Temperatur im Dämmstoff und damit die Temperatur der eingeschlossenen Luft bzw. des Zellgases. Die Temperaturwechsel führen zu Druckänderungen im Dämmsystem. Die so entstehenden Druckdifferenzen zur Umgebungsluft verursachen bei luftdurchlässigen Dämmsystemen Luftströmungen bis zum Druckausgleich. Liegt die Objekttemperatur unter der Umgebungstemperatur, so wird beim Erreichen des Wasserdampfsättigungsdruckes im Dämmsystem ein Teil des mit der Luft eingedrungenen Wasserdampfes kondensieren.

Mehrfache Wiederholungen dieses Vorganges führen auch hier zum **"Pumpeffekt"**.

Mit diesen Luftaustauschvorgängen findet eine Wasseranreicherung im Dämmstoff statt. Erfahrungen mit Isolierungen, bei denen offenzellige Dämmstoffe eingesetzt wurden, haben gezeigt, dass solche Dämmsysteme trotz sorgfältiger Abdichtung aller Nähte und Durchdringungen mit isoliertechnischen Mitteln nicht luftdicht abzuschließen sind.

2.3 Feuchteeintrag durch Wasserdampfdiffusion

Die Wasserdampfdiffusion ist ein Transportvorgang des Wasserdampfes aufgrund eines Konzentrations- oder Dampfdruckgefälles bei gleichem Luftdruck (Wasserdampfpartialdruckgefälle). Die Gefahr des Feuchteintrages durch Wasserdampfdiffusion besteht nur bei Kälte-dämmungen, da der Wasserdampfsättigungsdruck in der Luft zu tieferen Temperaturen hin abnimmt, was zu einem Dampfdruckgefälle in dieser Richtung führt.

Maßgebend für die Größe des Diffusionsstromes in ein Dämmsystem sind:

- die Dampfdruckdifferenz,
- die Schichtdicke der Isolierung,
- die Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl μ des Dämmstoffes,
- die Wirksamkeit der Dampfbremse.

2.2.3 Operation with changing temperatures

Operation with changing temperatures is a procedure where the service temperature changes over time between temperatures above and below the ambient temperature. Changes in the ambient temperature alone – despite constant operating temperature – may create the "operating conditions with changing temperatures" for the insulation.

These changes cause the temperature in the insulation material and thereby the temperature of the air, respectively the cell gas in the insulant, to change. These temperature changes lead to pressure variations in the insulation system. The resulting differences to the ambient air pressure lead in open insulation systems to an air flow until equalisation is reached. With object temperatures below the ambient temperature, part of the water vapour in the inflowing air will condense as soon as the water vapour saturation pressure in the insulation system is reached.

Repeated sequences of this condition change here too cause the **"pumping effect"**.

These air exchange processes lead to a concentration of water in the insulant. Experience with insulation systems, using open cellular insulants, have shown that such systems cannot be sealed air-tight with insulation technological means despite painstaking sealing of all seams and penetrations in the vapour retarders.

2.3 Moisture ingress through water vapour diffusion

Water vapour diffusion is a transport mechanism of water vapour caused by concentration or vapour pressure differences despite equal air pressure (water vapour partial pressure difference). The danger of moisture ingress through water vapour diffusion exists only for cold insulations since the water vapour saturation pressure of air decreases towards lower temperatures, which leads to a vapour pressure decrease in that direction.

Decisive for the extent of the diffusion flow into an insulation system are:

- the water vapour pressure difference,
- the insulation layer thickness,
- the water vapour diffusion coefficient μ of the insulation material,
- the effectiveness of the vapour retarder.

Dampfbremsen auf den warmen Seiten von Dämmschichten dienen der Verminderung von Diffusionsströmen (siehe 3.3).

Die Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl μ gibt an, um wie viele Mal der Wasserdampfdiffusionswiderstand eines Stoffes größer ist als derjenige von Luft.

3. Schutz gegen Durchfeuchten

Um Dämmsysteme vor den im Abschnitt 1 geschilderten negativen Folgen eindringender Feuchte zu schützen, sind bei der Konstruktion folgende Grundsätze zu beachten:

3.1 Schutz gegen Oberflächenwasser

3.1.1.....Konstruktive Maßnahmen

Das AGI-Arbeitsblatt Q 152 "Schutz gegen Durchfeuchten" behandelt den Feuchteeintrag in die Dämmung durch Niederschläge und Reinigung (Oberflächenwasser) sowie denjenigen durch Luftströmung und Wasserdampfdiffusion und zeigt "Konstruktionsbeispiele zum Schutz gegen Oberflächenwasser".

3.1.2.....Hydrophobierung

Mineralwolle kann durch Hydrophobieren wasserabweisend gemacht werden. Die Hydrophobierung verhindert eine Anlagerung des Wassers an den Faseroberflächen. Das Wasser tropft ab. Dies wird durch eine Erhöhung der Oberflächenspannung auf den Fasern mittels Hydrophobierungsmittel erreicht, deren Bestandteile Öle oder Silikone sind.

Zwar kann das Wasser in die Grobstruktur der Dämmstoffe einsickern, es wird aber auch wieder leicht herausgehen.

Die organische Zusammensetzung der Hydrophobierungsmittel hat zur Folge, dass sie oberhalb einer Temperatur von ca. 250 °C zerstört werden. Auch unterhalb dieser Temperatur unterliegen sie jedoch einer Alterung, die ihre Wirksamkeit herabsetzt. Bei Dauereinwirkung von Feuchte werden Hydrophobierungsmittel ausgewaschen.

Die Hydrophobierung ist daher kein Schutz gegen Durchfeuchten von Dämmstoffen an betriebstechnischen Anlagen. **Insbesondere ist durch Hydrophobieren die Kondensation von Wasserdampf nicht zu verhindern.** Hydrophobierung soll lediglich einen kurzfristigen Schutz gegen Durchfeuchten vor Inbetriebnahme – z. B. bei Regen während der Montage – bewirken.

Vapour retarders on the warm sides of insulation layers serve the purpose of minimisation of diffusion flow (see 3.3).

The water vapour diffusion coefficient μ indicates how many times larger the water vapour diffusion coefficient of a material is compared to that of air.

3. Protection against moisture

To protect insulation systems against the negative effects of penetrating moisture discussed in chapter 1, the following principles must be observed in the design:

3.1 Protection against surface water

3.1.1.....Design principles

The AGI working document Q 152 "Protection against moisture" deals with the moisture penetration of insulation systems through rain and cleaning liquids (surface water) as well as through air movement and water vapour diffusion and shows "construction examples as protection against surface water".

3.1.2.....Hydrophobisation

Mineral wool can be made water-repellent through hydrophobisation. The hydrophobisation prevents an adhesion of water, e. g. at fibre surfaces. The water drops off. This is achieved by an increase of the surface tension of the fibres through hydrophobisation means, the components of which are oils or silicones.

The water can trickle into the material structure of the insulants, but it will leave it as easily.

The organic composition of hydrophobisation means limits their temperature resistance to about 250 °C. However, even below that temperature they are susceptible to ageing which reduces their effect. In case of permanent moisture influence, hydrophobisation means are being washed away.

Hydrophobisation therefore is no protection against moisture ingress in insulants at industrial installations. **Especially hydrophobisation cannot prevent the condensation of water vapour.** Hydrophobisation is only intended to provide a short-term protection prior to starting the operation – e. g. against rain during assembly.

3.2 Schutz gegen Feuchteintrag durch Luftströmung

Druckunterschiede zwischen dem Dämmsystem und der Umgebungsluft, die zu Luftaustausch durch Strömung führen, entstehen durch:

- atmosphärische Luftdruckschwankungen
- gleitende Betriebsweise der gedämmten Anlage
- intermittierenden Betrieb der gedämmten Anlage
- Betriebsweise mit Wechseltemperaturen.

Strömt die wärmere Außenluft in ein Kältesystem hinein, so wird in der Regel innerhalb des Systems irgendwo die Taupunkttemperatur dieser Außenluft unterschritten, was zum Kondensieren des mitgeführten Wasserdampfes führt.

Der Verminderung von Feuchteintrag durch einströmende Luft kommt daher bei Kälteisierungen besondere Bedeutung zu.

3.2.1.....Kälteisierungen

Die wichtigste Maßnahme zur Verminderung von Luftströmungen in Kälteisierungen hinein ist die Minimierung strömungsöffener Räume: hier müssen geschlossenzellige Dämmstoffe zum Einsatz kommen, da diese in der Struktur des Dämmstoffes selbst keine strömungsöffenen Räume aufweisen.

Fugen sind vollflächig zu verkleben. Ausnahmen bilden Fugen in den objektseitigen Lagen mehrschichtiger Systeme, wenn sie aus konstruktiven Gründen (unterschiedliche Ausdehnungskoeffizienten von Objekt und Dämmstoff) trocken ausgeführt werden müssen.

In manchen Fällen kann es sinnvoll sein, den Dämmstoff an den Endstellen der Dämmung und dazwischen in regelmäßigen Abständen an die Rohrleitungen anzukleben. Damit soll verhindert werden, dass Feuchte, die sich aufgrund einer Beschädigung zwischen Rohr und Dämmstoff angesammelt hat, weiter längs des Rohres ausbreitet.

Es muss aber sichergestellt sein, dass die Verklebungen beim Kaltfahren nicht reißen.

3.2 Protection against ingress of moisture through air flow

Pressure differences between the insulation system and the ambient air, leading to air exchange through air flow, are caused by:

- atmospheric air pressure variations
- flexible operating conditions in the insulated installation
- interrupted operation of the insulated installation
- operating conditions with changing temperatures.

In case warm ambient air flows into the cold insulation system, the dew point temperature of the ambient air will be undercut somewhere inside the system which leads to condensation of the water vapour carried by the ambient air.

The minimisation of moisture ingress through flowing air is therefore of prime importance for cold insulations.

3.2.1.....Cold insulations

The most important measure to minimise the air movement into cold insulation systems is the minimisation of cavities open to air flow: here, closed cellular insulants must be employed since these do not offer open cavities in the structure of the material.

Joints must be fully glued. An exception are joints in object-adjacent layers of multi-layered systems if they must be assembled dry for constructive reasons (different expansion coefficients between object and insulant).

In some cases it can be advised to glue the insulant at the terminations of the insulation and in between in regular intervals along the object onto the piping. The intention is to prevent moisture that has collected due to a damage between pipe and insulant from expanding along the pipe.

Care must be taken that the glue connections do not tear when the cold installation is started.

Werden in Sonderfällen, beispielsweise in Luftzerlegungsanlagen, offenzellige Dämmstoffe eingesetzt, ist ein Doppelmantel erforderlich. Der "strömungsoffene" Raum hinter dem Doppelmantel, in dem faserige oder Schüttdämmstoffe zum Einsatz gekommen sind, ist durch die luft- und diffusionsdicht verschweißte oder verlötete Ummantelung geschützt.

Ist der Einsatz von Mineralwolle oder anderen faserigen Dämmstoffen als Vordämmung in Kälteanlagen unvermeidlich, da die Anlagen zu Reinigungszwecken gelegentlich so heiß gespült werden müssen, dass dafür die Temperaturbeständigkeit der eingesetzten Kälte-dämmstoffe, z. B. Polyurethan-Hartschaum oder flexibler Elastomerschaum, nicht ausreicht, so müssen die äußere Kälte-dämmschicht und ihre Dampfbremse die Leistung eines Doppelmantels – diffusions- und strömungsdichten Verschluss – aufweisen. Ist dies nicht der Fall, so kann während des Kältebetriebes der Anlage in die faserige Dämmschicht eindiffundierende bzw. mit Luftströmung eingetragene Feuchte zur Zerstörung der Anlage führen, wenn heiß gespült und dabei der Siedepunkt des eingedrungenen Wassers überschritten wird.

In Fällen, in denen eingedrungene Feuchte gefriert und das entstandene Eis das Dämmsystem zerstören würde, z. B. bei Fundamenten für Tanks oder Tiefkühlräume, sind frostverhindernde Maßnahmen zu ergreifen. Hierzu verwendet man verschiedene Arten von Begleitheizungen (z. B. elektrisch, mit Warmwasserleitungen, mit Warmluftleitungen), die die Temperatur im Bereich des Auflagers soweit anheben, dass der Wassertransport in das Dämmsystem aufgehoben wird. Gleichzeitig wird damit auch das Einfrieren noch vorhandener Restfeuchte verhindert.

Kälteanlagen, die sich in geschlossenen Räumen befinden, z. B. Kaltlagertanks, können durch gezielte Raumlufttrocknung vor kondensierender Luftfeuchte geschützt werden.

3.2.2 Wärmedämmungen

Bei Wärmedämmungen geht die Durchfeuchtungsgefahr im Wesentlichen vom Oberflächenwasser aus. Strömungsvorgänge spielen eine untergeordnete Rolle.

Bei warmgehenden Freileitungen (siehe 2.2) wird durch einen Luftspalt sowie Abtropf- bzw. Belüftungsöffnungen an den unteren Scheitelpunkten der Ummantelung erreicht, dass das auf der Innenseite der Ummantelung anfallende Tauwasser abgeleitet wird und nicht in die Dämmung gelangt.

Where in special cases, such as air separation installations, open cellular insulants must be employed, a double-skin covering is required. The "open" cavity behind the double-skin covering, where fibrous or loose-fill insulants have been employed, is protected through a metal covering that is welded or soldered tight against air movement and diffusion.

Where the employment of mineral wool or other fibrous insulants is unavoidable as initial insulation layer in cold installations, since the installation is occasionally flushed so hot for cleaning purposes that the temperature resistance of the otherwise employed cold insulation materials, e. g. polyurethane rigid foam or flexible elastomeric foam, does not suffice, the outer cold insulation layer and its vapour retarder must perform as a double-skin covering – sealing against air movement and diffusion. Can this not be achieved, moisture penetrating the fibrous insulation layer through diffusion, respectively air movement during the cold operation of the installation, will lead to a destruction of the installation when it is flushed hot and the boiling point of the penetrated water is exceeded.

In cases where the penetrating moisture freezes and the ice created would destroy the insulation system, e. g. in foundations of tanks and cold-storage rooms, frost-preventing measurements are to be taken. To achieve this, different forms of tracer heatings are being used (e. g. electrical, warm-water pipes, warm-air pipes) which raise the temperature in the area of the foundation so high that the water transportation into the insulation system is prevented. This also prevents the freezing of remaining residual moisture.

Cold installations in closed rooms, e. g. cold storage tanks, may be protected against condensating air moisture flowing into the insulation through dedicated drying of the room air.

3.2.2 Thermal insulations

For thermal insulations, the danger of moisture is principally caused by surface water. Flow procedures play a lesser role.

For warm pipes in the open (see 2.2) an air gap as well as dripping holes, respectively openings at the lower apexes of the cladding make sure that condense water on the inside of the cladding can be drained away, respectively evaporate and thus not penetrate the insulation.

Die Konstruktion mit Luftspalt wird gemäß DIN 4140 und AGI-Arbeitsblatt Q 03 bei warmgehenden Freileitungen empfohlen, wenn deren Mediumtemperatur – **und sei es nur zeitweise** – unter 120 °C liegt.

3.2.3.....Betrieb mit Wechseltemperaturen

Für die Dämmung von Anlagen, die mit wechselnden Betriebstemperaturen, zeitweise oberhalb und zeitweise unterhalb der Umgebungstemperatur, betrieben werden, gelten folgende Grundsätze:

- Sie sind in der Regel wie Kälte-dämmungen zu behandeln.
Bei den häufig eingesetzten organischen Schaumkunststoffen liegt die obere Anwendungsgrenztemperatur üblicherweise zwischen 80 °C und 150 °C und damit häufig unterhalb der oberen Objekttemperatur (z.B. bei Spülvorgängen). In diesen Fällen ist eine Vordämmung mit anorganischen Dämmstoffen erforderlich. Es kann auch Schaumglas eingesetzt werden, das eine obere Anwendungsgrenztemperatur von 430 °C aufweist.
Bei Temperaturen, die über diesen Wert hinausgehen, können offenzellige Dämmstoffe eingesetzt werden, die mit aufwändigen Konstruktionen (z. B. Doppelmantel-Systemen) gegen das Eindringen von Luft bzw. Wasserdampf geschützt werden müssen.
- Bei Verwendung unterschiedlicher Materialien sind die Temperaturen an den Materialgrenzen unter den jeweils ungünstigsten Randbedingungen zugrunde zu legen, um die richtige Materialauswahl und Dimensionierung zu ermöglichen.
- Die thermischen Ausdehnungen von Objekt und Dämmstoff sind besonders zu beachten, da je nach Betriebstemperatur sowohl Kontraktionen als auch Dehnungen aufgefangen werden müssen. Konstruktionsfehler können zu Rissbildung führen, die den Zutritt von Umgebungsluft und damit Feuchte ermöglicht (siehe DIN 4140, Abschnitt 4.5.7).
- Bei mit Wechseltemperaturen betriebenen Objekten besteht ein erhöhtes Korrosionsrisiko. Im Kältebetrieb kann Feuchtigkeit angereichert werden, während im Warmbetrieb möglicherweise eingetretene Korrosionsvorgänge stark beschleunigt werden. Zur Vermeidung von Korrosionsschäden ist ein auf die Einsatzbedingungen abgestimmter Korrosionsschutzanstrich gemäß AGI-Arbeitsblatt Q 151 "Dämmarbeiten – Korrosionsschutz bei Wärme- und Kälte-dämmungen an betriebstechnischen Anlagen" oder DIN EN ISO 12944 "Korrosionsschutz von Stahlbauten" erforderlich.

The construction with an air gap according to DIN 4140 and AGI working document Q 03 is recommended for warm pipes in the open where the medium temperature – **and be this only periodically** – falls below 120 °C.

3.2.3.....Operation with changing temperatures

For the insulation of installations, which are operated at changing temperatures at times above and at times below the ambient temperature, the following principles apply:

- They are normally to be insulated like cold installations.
For the frequently employed organic foam materials, the maximum service temperature is normally between 80 °C and 150 °C and with this frequently below the upper temperature of the object (e.g. in cleaning procedures). In these cases, a hot-side insulation layer of anorganic insulation materials is required. Alternatively, cellular glass might be employed which has a maximum service temperature of 430 °C.
Where temperatures exceed that value, open cellular insulation materials may be employed, which must however be protected against the ingress of air respectively water vapour through complicated constructions (e. g. double-skin covering systems).
- Whilst employing different materials, the temperatures at material borders must be assumed under the respective most disadvantageous fringe conditions to arrive at the correct choice and dimensioning of the material.
- The thermal expansion of object and insulant must be taken care of specifically, since dependent upon operating temperatures both contractions as well as expansions must be compensated. Errors in the design may lead to cracks in the material which then allow for the ingress of ambient air and thereby moisture (see DIN 4140, chapter 4.5.7).
- For objects with changing temperature operations an increased corrosion risk exists. During cold operations, moisture may concentrate, whilst during thermal operation possibly earlier initiated corrosion processes are strongly promoted. To prevent corrosion damage, an anti-corrosion covering designed for the service conditions according AGI working document Q 151 "Insulation work – Corrosion protection at thermal and cold insulations at industrial installations" or DIN EN ISO 12944 "Corrosion protection of steel constructions" is required.

3.3 Schutz gegen Feuchteintrag durch Wasserdampfdiffusion

Ziel jeder Dämmkonstruktion muss es sein, das Eindringen von Wasserdampf im Wege von Diffusionsvorgängen zu verhindern. Dies kann jedoch in der Praxis nur näherungsweise erreicht werden.

Bei den durch Diffusionsvorgängen gefährdeten Kälte-dämmungen ist deshalb auf der warmen Seite des Dämmstoffes eine Dampfbremse anzuordnen. Dampfbremsen sind möglichst aus dampfsperrenden Stoffen, z. B. Metall- oder Metallverbundfolien, herzustellen. Sie sind durch eine Ummantelung vor Verletzungen zu schützen. Ist aus handwerklichen Gründen die Verwendung von Folien nicht möglich, kommen plastische Dichtmassen (dampfbremsende Stoffe) zum Einsatz.

Werden als Kälte-dämmstoffe Schaumstoffe verwendet, die selbst einen hohen Wasserdampfdiffusionswiderstand aufweisen, z. B. Schaumglas oder Elastomerschaum, so kann unter Umständen auf eine Dampfbremse verzichtet werden.

- Der Dämmstoff Schaumglas besitzt so hohe μ -Werte (> 40.000), dass eine Dampfbremse im Allgemeinen nicht erforderlich ist.
- Die Dämmstoffe flexibler Elastomerschaum und Polyethylen weisen μ -Werte zwischen 1.000 und 7.000 auf. Sie werden daher je nach Dämmstofftyp und Anwendungsfall sowohl mit als auch ohne Dampfbremse eingesetzt.
- Der μ -Wert der Dämmstoffe Polyurethan und Polystyrol ist zu niedrig (20 – 300), um eine Wasserdampfdiffusion wirkungsvoll zu verhindern. Deshalb ist bei diesen Dämmstoffen eine zusätzliche Dampfbremse erforderlich.

Montagehinweise für Dampfbremsen enthält DIN 4140.

Der Wasserdampfdiffusionswiderstand von faserigen Dämmstoffen ist gleich demjenigen von Luft ($\mu = 1$): der Wasserdampfdiffusion wird praktisch kein Widerstand entgegen gesetzt. Der Feuchteintrag durch Wasserdampfdiffusion in diese Dämmstoffe wird zusätzlich durch den Feuchteintrag durch die Luftströmung überlagert.

4. Vorbeugende Maßnahmen / Vorgehen im Schadensfall

4.1 Transport und Lagerung

Dämmstoffe sind trocken zu lagern und zu transportieren.

3.3 Protection against ingress of moisture through water vapour diffusion

It must be the aim of every insulation design to minimise the ingress of water vapour by way of diffusion processes. However, in practice this can only be partially achieved.

At cold insulations, which are threatened by diffusion processes, a vapour retarder must therefore be employed at the warm side of the insulant. Vapour retarders must be made of vapour-barring materials, e. g. metal or metal-composition foils. They must be protected against damage by a casing. Where the conditions of assembly prevent the use of foils, plastic sealing compounds (vapour-retarding materials) must be employed.

Where foams are used as cold insulation material, which themselves possess a high water vapour diffusion resistance, e. g. cellular glass or elastomeric foam, the vapour retarder can under certain conditions be dispensed with.

- The insulation material foam glass has so high μ values (> 40.000) that a vapour retarder is normally not required.
- The insulants flexible elastomeric foam and polyethylene have μ values between 1.000 and 7.000. They are therefore, dependent upon the type of insulant and the special condition of the operation, employed as well with as without vapour retarder.
- The μ value of insulation materials polyurethane foam and polystyrene is too low (20 – 300) to prevent water vapour diffusion effectively. These insulants therefore always require an additional vapour retarder.

Advice on the mounting of vapour retarders is in DIN 4140.

The water vapour diffusion resistance of fibrous insulants is equal to that of open air ($\mu = 1$): there is practically no resistance to water vapour diffusion. The moisture ingress through water vapour diffusion in these insulation materials is additionally increased by the moisture ingress through air movement.

4. Precautionary measurements / Procedures in case of damage

4.1 Transportation and stockpiling

Insulants are to be stockpiled and transported dry.

Bei langen Seetransporten und Transport in Gebieten mit schwierigen Klimaten kann es sinnvoll sein, den Packungen hygroskopische Salze beizugeben, die der Luft in der Verpackung die Feuchte entziehen.

4.2 Planung und Montage

Folgende Regeln sind bei Planung und Montage zu beachten.

- Klare Vorgaben an die Montage durch Zeichnungen und/oder Ausführungsanweisungen.
- Ausführung ausschließlich durch qualifiziertes Personal.
- Die einzusetzenden Materialien müssen eindeutig spezifiziert werden und für die Anwendung geeignet sein.
- Der Ausführende hat eine Selbstprüfung durchzuführen.

4.3 Schadensfälle

Im Schadensfall sind zunächst die Ursachen zu ermitteln. Sollte dies durch eigenes Personal nicht eindeutig möglich sein, so sind Spezialisten (Prüfinstitute oder Sachverständige) hinzuzuziehen.

Ist die Schadensursache ermittelt, erfolgt die Bewertung des Schadens.

Sind die Dämmstoffe wegen Systemfehlern im Dämmaufbau durchfeuchtet, so ist der gesamte Systemaufbau zu ändern.

Bei der Bewertung des Schadens sind folgende Fragen zu klären:

- Können die maßgeblichen Eigenschaften des durch Feuchte in Mitleidenschaft gezogenen Dämmstoffes durch Trocknen wieder vollständig hergestellt werden? (z. B. Wärmeleitfähigkeit, Festigkeit, Form und Formbeständigkeit)
- Wurde das Objekt durch die Durchfeuchtung beschädigt oder sind Folgeschäden möglich? (Korrosion, fortschreitende Schimmelbildung)
- Welcher Aufwand wird ggf. erforderlich? Wer haftet für aufgetretene Schäden?

Aufgrund der Analyse des Schadens sollte seine Relevanz für zukünftige Konstruktionen und die Qualitätssicherung bewertet werden. Hierzu sind die Konstruktion, die Arbeitsanweisung und die Kontrollpunkte der Qualitätssicherung zu überprüfen.

At long sea transport or transport in areas with difficult climates, it can be advised to add hygroscopic salts to the packages which detract moisture from the air in the packages.

4.2 Design and assembly

The following rules must be observed during design and assembly.

- Clear advice for the assembly through drawings and/or execution directives.
- Assembly only through qualified personnel.
- Materials to be employed must be specified unambiguously and be suitable for their purpose.
- The installer has to execute a self-testing.

4.3 Cases of damage

In case of damage, the causes must be established. Should this not be possible through own personnel, specialists (testing institutes or special experts) have to be asked for advice.

When the cause of a damage is established, an evaluation of the damage has to follow.

In case the insulant has been wetted through design mistakes in the system composition, the entire system composition must be changed.

When evaluating the damage, the following questions must be answered:

- Is it possible to totally offset moisture-caused damage of the insulant through drying out? (e. g. thermal conductivity, compression strength, dimensions and dimensional stability)
- Has the object been damaged by the moisture or is later damage possible? (corrosion, increased information of mould)
- Which expenditure may possibly be needed? Who is responsible for the damage occurred?

Starting from the analysis of the damage, its relevance for future constructions and the quality assurance must be evaluated. To achieve this, the construction, the execution manuals and the check points of the quality assurance system must be checked.

5. Wie kann Feuchte aus dem Dämmsystem entfernt werden?

Es gibt nur sehr wenig praktisch nutzbare Verfahren zum Entfernen von in Dämmsysteme eingedrungener Feuchte.

5.1 Wasserablauf

Anlagenteile mit hohem Feuchteanfall können so gestaltet werden, dass sich im System sammelnde Flüssigkeit abtropfen kann. Ein Ausführungsbeispiel sind der Luftspalt und die Abtropföffnungen an warmgehenden Freileitungen mit einer Objekttemperatur $< +120\text{ }^{\circ}\text{C}$.

5.2 Trocknung

Hierunter wird das Erwarten oder Herbeiführen von Trocknung fördernden Betriebsbedingungen über einen ausreichend langen Zeitraum hinweg verstanden: Durch länger anhaltende Anlagentemperaturen über der Umgebungstemperatur kann ein Feuchtestrom aus der Dämmung in die Umgebung erzeugt werden.

Lassen die normalen Betriebszustände eine ausreichende Trocknung nicht erwarten, so kann das Dämmsystem in einer außerhalb normaler Betriebszustände liegenden Phase (Revision) künstlich getrocknet werden. Hierzu kann entweder in den Anlagenteilen selbst eine ausreichend hohe Temperatur über einen ausreichenden Zeitraum erzeugt oder erwärmte, trockene Luft durch das Dämmsystem geleitet werden.

Beide Maßnahmen können nur dann Wirkung zeigen, wenn das Dämmsystem so gestaltet ist, dass Strömungen austreten können.

5.3 Das "kapillaraktive" Verfahren

Mit diesem Verfahren wird beschrieben, wie Feuchte auf kapillarem Weg aus Dämmstoffen mittels eines "Dochtes" ausgetragen werden kann.

Praktische Erfahrungen mit diesem Verfahren sind nicht bekannt. Darüber hinaus steht die Funktionsfähigkeit auch theoretisch in der Diskussion.

Feuchteeintritt bis zur Objektoberfläche wird in diesem Verfahren zugelassen, da erst beim Auftreten von Kondensat am Objekt der "Docht" mit seinem kapillaren Abtransport des Wassers wirksam wird. Deshalb besteht eine erhöhte Korrosionsgefahr.

5. How can moisture be removed out of insulation systems?

Only few practically valid procedures exist to remove penetrated moisture out of insulation systems.

5.1 Water drainage

Installation components with high moisture occurrence can be so designed that liquid concentrating in the system can be drained. One example for this execution is the air gap and the drainage openings on warm pipes in the open with object temperatures $< 120\text{ }^{\circ}\text{C}$.

5.2 Drying

This means the awaiting or the creation of service conditions furthering the drying out of the insulation over an sufficiently long period: Through installation temperatures above ambient temperature maintained long enough, a moisture flow out of the insulation into the environment can be created.

If normal service conditions do not provide for the satisfactory drying, the insulation system may be artificially dried in periods outside normal service (revision). To achieve this, a sufficiently high temperature can either be created in the components themselves for a sufficiently long period or warm, dry air can be blown through the system.

Both measurements can only be effective if the insulation system is designed to allow for the exit of air flow.

5.3 The "capillary active" method

This procedure describes how moisture can be removed out of open cellular insulation materials by capillary action of a "wick".

Practical experience with this system is not known. Additionally, the functionality of the system is also theoretically in the discussion.

Moisture ingress downed to the object surface is purposefully accepted in this procedure since the wick and the capillary removal of water only starts to function when condensation occurs at the object surface. This leads to an increased corrosion risk.

Wegen der in der Verdunstungszone des "Dochtes" zu befürchtenden Schimmelpilzbildung kommt das Verfahren außerdem keinesfalls dort in Betracht, wo hygienische Anforderungen zu stellen sind (Krankenhäuser, Lebensmittellager).

Aus den genannten Gründen kann dieses System nicht empfohlen werden.

6. Einzelfallbetrachtungen

6.1 Randbedingungen bei Zuluftkanälen

Zuluftkanäle führen Außenluft als Verbrennungsluft für Heizungen oder zur Belüftung von Gebäuden zu. Sie werden oft auf Dachböden oder in Kellerräumen verlegt. Zur Berücksichtigung des Winterbetriebes werden häufig sehr tiefe minimale Außentemperaturen angenommen.

Die dem Isolierer vorgegebene Spezifikation kann dann ähnlich lauten wie:

- minimale Außenlufttemperatur: -15 °C
- Raumtemperatur: 16 °C
- relative Raumluftfeuchte: 50 %

Unter diesen Randbedingungen ist Tauwasserbildung an den Kanaloberflächen zu erwarten, der nur durch Dämmung begegnet werden kann.

Es handelt sich hier um eine Kälte­dämmung, für die geschlossenzellige Dämmstoffe zu verwenden sind. In vielen Fällen wird jedoch, z. B. aus Brandschutzgründen, als Dämmstoff Mineralwolle verwendet und dann festgestellt, dass die eigentlich zu erwartende Durchfeuchtung nicht stattfindet.

Diese Tatsache wird in Diskussionen häufig als Beleg dafür angeführt, dass Mineralwolle als Kälte­dämmstoff doch "funktioniere".

Eine Erklärung für das Nichtdurchfeuchten ist in der tatsächlichen Raumluftfeuchte zu suchen, die häufig sehr viel geringer als die vorgegebene ist.

Dach- und Kellerräume stehen häufig über Türen, Fenster und Schächte mit der Umgebung in Verbindung, sodass Außenluft durch Luftwechsel eintreten kann und dann als Raumluft annähernd die gleiche absolute Feuchte besitzt wie die Außenluft.

Dies gilt aber nur, wenn der Raumluft keine Feuchte zugeführt wird.

Since the formation of mould must be expected in the evaporation area of the "wick", this procedure can also not be considered where hygienic requirements exist (hospitals, food stores).

Because of these reasons, the system cannot be recommended.

6. Discussion of special cases

6.1 Environment conditions for air ducts

Air ducts transport ambient air as combustion air for heating systems or for the ventilation of buildings. They are frequently installed in attics or in basement rooms. To cater for service in winter, frequently very low minimum ambient temperatures are assumed.

The specification given to the insulation contractor could then sound similar to:

- minimum external temperature: -15 °C
- room temperature: 16 °C
- relative room humidity: 50%

These fringe conditions lead to expect dew formation at the duct surface which can only be prevented through insulation.

This is a cold insulation for which closed cellular insulants must be employed. In many cases, however, e. g. for reasons of fire protection, mineral wool is used as insulation material and it is then experienced that the expected moisture in the insulant does not occur.

This fact is frequently used as a proof in discussions that mineral wool as cold insulation material does indeed "function".

The explanation for the not occurring moisture is found in the actual relative humidity of the room air, which is frequently much lower than the relative humidity assumed.

Attic or basement rooms are frequently connected with the environment through doors, windows or ducts so that air exchange with the ambient air occurs and therefore the air in the room has roughly the same absolute moisture as the ambient air.

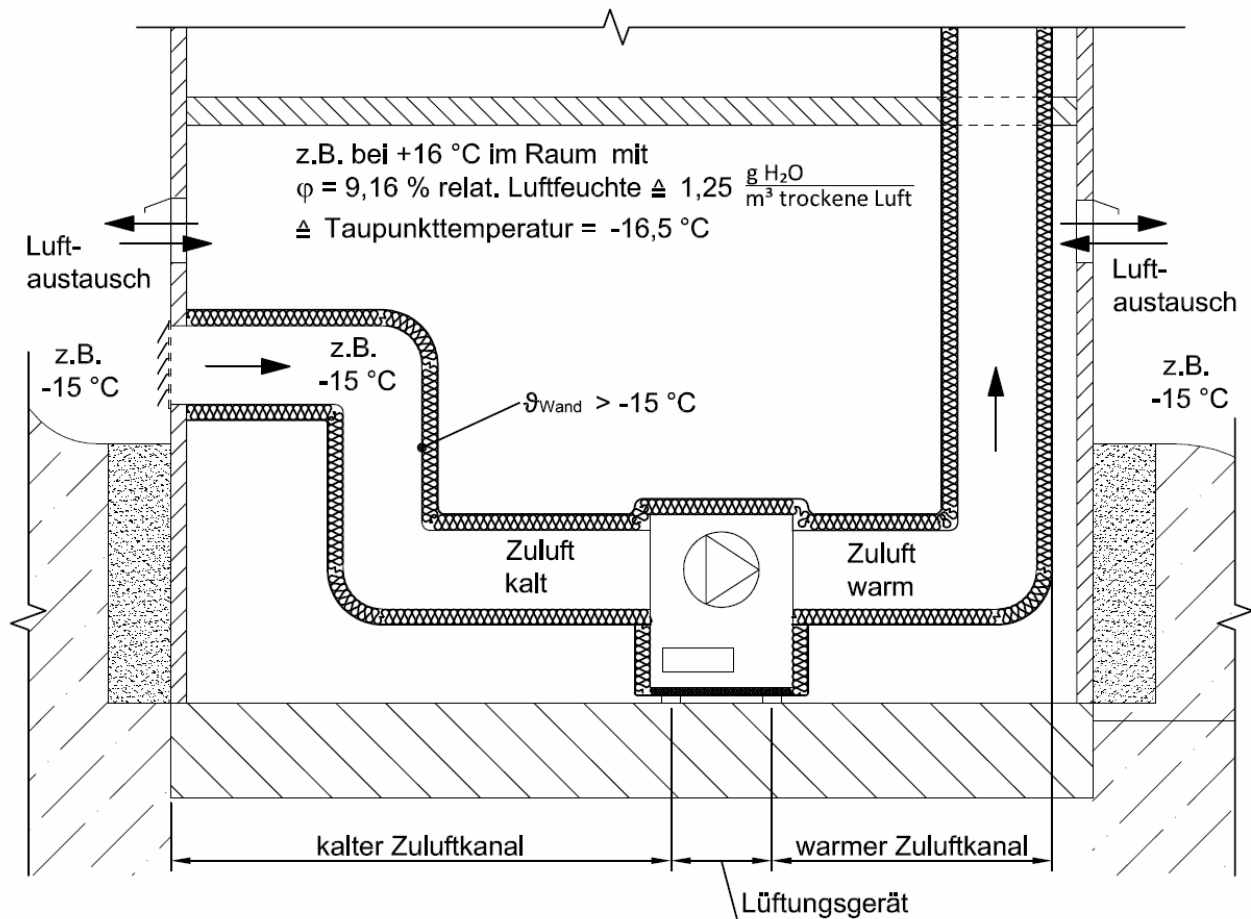
This, however, only applies where the air in the room is not artificially moistened.

In dem Beispiel des nachstehenden Bildes strömt Außenluft mit -15 °C und einer relativen Luftfeuchte von 90 % ein. Zwischen Außen- und Raumluft findet eine Vermischung statt. Damit wird die absolute Luftfeuchte der Raumluft stark herabgesetzt. Sie hat einen Gehalt von $1,25\text{ g H}_2\text{O}/(\text{m}^3\text{ trockene Luft})$ und eine Taupunkttemperatur von $-16,5\text{ °C}$. (Vgl. 1. Tabelle des Technischen Briefes Nr. 7). An Flächen mit einer Temperatur $> -16,5\text{ °C}$ findet deshalb kein Tauwasserniederschlag statt.

Aufgrund des Wärmeübergangs zwischen der Kanalluft und -wand besitzt die Kanalwand eine Temperatur $> -15\text{ °C}$, sodass es unter diesen Verhältnissen zu keinem Tauwasserniederschlag in der Luftkanaldämmung kommen kann.

In the example given in the figure below, ambient air with a temperature of -15 °C and a relative humidity of 90% enters the duct. Ambient air and room air are mixed. This reduces the absolute moisture content of the room air considerably. It has a moisture content of $1,25\text{ g H}_2\text{O}/\text{m}^3\text{ dry air}$ and a condensation temperature of $-16,5\text{ °C}$. (see 1st Table in Technical Letter Nr. 7). This means that no condensation occurs on surfaces with a temperature of $> -16,5\text{ °C}$.

Due to the surface heat transfer between the air in the duct and the duct wall, the latter has a temperature $> -15\text{ °C}$, so that no condensation occurs in the insulation of the air duct under these circumstances.



BEISPIEL: Zuluft -15 °C mit $\varphi = 90\%$ $\triangleq 1,25\frac{\text{g H}_2\text{O}}{\text{m}^3\text{ trockene Luft}}$
 Taupunkttemperatur: $-16,5\text{ °C}$

Bild 2: Im Winter wirkt die Dämmung des Zuluftkanals als Kälte­dämmung. Je trockener die Raumluft, desto geringer ist das Risiko eines Tauwasseranfalls am Kanal.

Figure 2: During the winter, the insulation on the ventilation air duct operates as a cold insulation. The dryer the indoor air, the lower the risk of condensation occurring on the duct.

Die vorstehenden Erläuterungen sind eine Erklärung dafür, dass bei Dämmungen von Zuluftkanälen mit Mineralwolle entgegen den Erwartungen eine Durchfeuchtung nicht stattfinden muss.

Da es durchaus Fälle gibt, bei denen die Raumluft, z. B. durch Klimaanlage oder Wäschereien befeuchtet wird, ist nur bei exakter Kenntnis der späteren Betriebsbedingungen eine genaue Beurteilung der Tauwasserproblematik möglich.

6.2 Luftverluste in Abluftkanälen: Durchfeuchtung der Dämmung von Innen her

Kanalbauteile für lufttechnische Anlagen werden in bestimmte Dichtheitsklassen unterteilt. Je nach Dichtheitsklasse sind verschiedene Leckluftströme zulässig. Wird Luft mit höherer Temperatur und einer Taupunkttemperatur über der Umgebungstemperatur durch den Kanal geleitet, so besteht die Gefahr der Kondensatbildung innerhalb des Isoliersystems. Die aus dem Kanal austretende Leckluft trifft auf den kalten Dämmstoff bzw. Blechmantel der Isolierung und ein Teil der Luftfeuchte kondensiert spätestens auf der Innenseite der Abdeckbleche. Da die Luftdurchlässigkeit des Dämmsystems in der Regel höher ist als die des Luftkanals, kann die Luft, nachdem ein Teil der Luftfeuchte kondensiert ist, aus der Dämmung wieder austreten.

This point has been discussed to explain why insulation systems on air ducts with mineral wool, contrary to expectations, need not necessarily attract moisture.

However, since service conditions occur where the room air is moistened e. g. by air-conditioning systems or laundries, only an exact knowledge of the later operating conditions allow for an exact forecast of possibly occurring condensation problems.

6.2 Air leaks in exhaust ducts: Moisture ingress in the insulation from the inside

Duct components for air-conditioning systems are classified in distinct density categories. Dependent upon the density category and the pressure difference, different leak rates are acceptable. In case air with a higher temperature and a dew point temperature above the temperature of the ambient air is led through the duct, the risk of dew formation inside the insulation system occurs. The air leaking out of the duct hits the cold insulation material, respectively the metal cladding of the insulation system and a part of the humidity condenses at the latest on the inside of the covering sheets. Since the air flow permeability of the insulation system is normally higher than that of the air duct, the air will exit the insulation system after part of its moisture has condensed in it.

Dieser Technische Brief stellt eine pauschale Sachverhaltsdiskussion dar, die eine technische bzw. bauphysikalische Bewertung eines Einzelfalles sowie ein Studium der Betriebsanleitungen benutzter Messgeräte nicht ersetzt.

Er ist das Ergebnis einer Arbeit des Technischen Ausschusses der BFA WKSB und gibt eine Information zum Stand der Technik zum Zeitpunkt der Veröffentlichung. Eine Haftung für trotz aller Sorgfalt mögliche Fehler wird nicht übernommen.

This Technical Letter provides a general discussion of the technical issues mentioned therein. It does neither replace detailed calculations and assessments of prevailing physical conditions nor a thorough study of the manufacturer's operating advice of measuring instruments used.

It is a publication of the Technical Commission of the BFA WKSB and gives information about the status of technology at the moment of publication. Despite all circumspection employed in the editing work, a liability for possible mistakes cannot be accepted.

An diesem Technischen Brief haben mitgearbeitet:

This Technical Letter was edited by the following gentlemen:

- Helmut Bramann
- Ralf Brück
- Bernd-Jürgen Deyle
- Theodor Haack
- Dr. Günther Kasperek
- Dr. Heinz Korth
- Sascha Leschzyk
- Thomas Ortlieb
- Andreas Regel
- Walter Riering
- Jürgen Schmoltdt
- Dr. Martin Zeitler

Bestellformular

TECHNISCHE BRIEFE

der BFA Wärme-, Kälte-, Schall- und Brandschutz
im Hauptverband der Deutschen Bauindustrie e.V.
10898 Berlin



Fax: 0 30 / 2 12 86- 246

E-Mail: bfa.wksb@bauindustrie.de

Das Bestellformular mit allen aktuellen Ausgaben technischer und kaufmännischer Briefe der BFA WKSB ist im Internet abrufbar unter www.bauindustrie.de/wksb

- | | |
|---------------|--|
| [Stück] | Nr. 1 "Thermische Probleme an Versteifungen bei großdimensionierten, warmgehenden Objekten – <i>Problems of thermal stress in metal reinforcements of large-dimensional objects with elevated service temperatures</i>", (Juli 2009, 4. überarbeitete Auflage) |
| ----- | Nr. 2 "Was ist bei FCKW-freien PUR-Ortschäumen zu beachten?" (zurückgezogen) |
| [Stück] | Nr. 3 "Die Verhinderung von Korrosion – <i>Prevention of metal corrosion</i>", (Juli 2009, 5. überarbeitete Auflage) |
| [Stück] | Nr. 4 "Arbeitsblatt: Aufmaßsystem für Isolierungen", (Mai 1999, 3. Auflage) |
| [Stück] | Nr. 5 "Zur Problematik der Gewährleistung von Oberflächentemperaturen – <i>Problems associated with the warranty of specified surface temperatures</i>", (Juli 2009, 3. überarbeitete Auflage) |
| [Stück] | Nr. 6 "Hohe Rentabilität bei umweltgerechten Isolierschichtdicken – <i>High profitability through ecologically based insulation thicknesses</i>", (Oktober 2008, 3. überarbeitete Auflage) |
| [Stück] | Nr. 7 "Grundlagen der Kälteisolierung – <i>Principles of cold insulation</i>", (Juli 2009, 3. überarbeitete Auflage) |
| [Stück] | Nr. 8 "Auslegung der Kälteisolierung zur Tauwasserverhütung auf der Oberfläche – <i>Design of cold insulation to prevent formation of condensation on the surface</i>", (Dezember 2005, 2. überarbeitete Auflage) |
| [Stück] | Nr. 9 "Messverfahren – <i>Methods of measuring</i>", (September 2009, 2. überarbeitete Auflage) |
| [Stück] | Nr. 10 "Messstellen für thermische Messungen – <i>Measuring points for thermal measurements</i>", (März 2002) |
| [Stück] | Nr. 11 "Feuchte im Dämmsystem – <i>Moisture in insulation systems</i>", (Juli 2011, 2. überarbeitete Auflage) |
| [Stück] | Nr. 12 „Harmonisierte europäische Normen für Dämmstoffe für betriebstechnische Anlagen in der Industrie und in der technischen Gebäudeausrüstung“ - „<i>European harmonised standards for insulation materials for technical installations in the industry and in the technical building equipment</i>“, (Juli 2009, Erstausgabe) |

Hiermit bestellen wir verbindlich die oben angegebene Anzahl Technischer Briefe, zahlbar mit Rechnungsstellung unmittelbar nach Auslieferung. Schutzgebühr jeweils 8,00 € / Stück zzgl. Versand und Mehrwertsteuer. (Für **Mitglieder der Bundesfachabteilung Wärme-, Kälte-, Schall- und Brandschutz** gilt eine ermäßigte Schutzgebühr in Höhe von 7,00 € / Exemplar - ab Bestellmengen größer 200 Stück einer Ausgabe 6,00 € / Exemplar - zzgl. Versand und Mehrwertsteuer).

Bitte geben Sie hier Ihre Rechnungs- und Lieferanschrift an:

Datum, Stempel, Unterschrift

Bestellformular

KAUFMÄNNISCHE BRIEFE

der BFA Wärme-, Kälte-, Schall- und Brandschutz
im Hauptverband der Deutschen Bauindustrie e.V.
10898 Berlin



Fax: 0 30 / 2 12 86 - 246

E-Mail: bfa.wksb@bauindustrie.de

Das Bestellformular mit allen aktuellen Ausgaben technischer und kaufmännischer Briefe der BFA WKSb ist im Internet abrufbar unter www.bauindustrie.de/wksb

----- [Stück] **Nr. 1 "Grundlagen der Kalkulation"**

wird derzeit nicht vermarktet

----- [Stück] **Nr. 2 „Sicherung der Liquidität“**

wird derzeit nicht vermarktet

----- [Stück] **Nr. 3 "Finanzierungs- / Zahlungsbedingungen und Risiken im In- und Auslandsgeschäft"**

(2. überarbeitete und erweiterte Auflage, Dezember 2006)

(Preis: € 10,00 + Versand + MWSt.)

wird derzeit nicht vermarktet bzw. in Überarbeitung

[Stück] **Nr. 4 "Tarifverträge in der Bauwirtschaft – ihre Wirkung für Isolierbetriebe“**

(3. überarbeitete Auflage, Juni 2011)

(Preis: € 10,00 + Versand + MWSt.)

[Stück] **Nr. 5 "Behörden auf der Baustelle**

(4. überarbeitete Auflage, Januar 2010)

(Preis: € 10,00 + Versand + MWSt.)

----- [Stück] **Nr. 6 "Grundlagen der rechtssicheren Gestaltung von**

- **Arbeitnehmerüberlassung**
- **Nachunternehmerverträgen**
- **Arbeitsgemeinschaften"**

wird nicht mehr vermarktet

----- {Stück} **Nr. 7 „Nachteilige Vergabe- und Vertragsbedingungen“**

wird derzeit nicht vermarktet

----- [Stück] **Nr. 8 "Veranlagungspraxis der Berufsgenossenschaften“**

wird derzeit nicht vermarktet

----- [Stück] **Nr. 9 "Bürgschaften auf erstes Anfordern als Sicherheiten für**

- **Vertragserfüllung**
- **Mängelansprüche"**

wird derzeit nicht vermarktet

[Stück] **Nr.10 "Gesetzeskonformes Verhalten und Korruptionsprävention bei Auftragsvergaben Behörden auf der Baustelle“**

(Erstausgabe, Februar 2010)

(Preis: € 10,00 + Versand + MWSt.)

Hiermit bestellen wir verbindlich die oben angegebene Anzahl Kaufmännischer Briefe, zahlbar mit Rechnungsstellung unmittelbar nach Auslieferung. Schutzgebühr jeweils 10,00 € / Stück zzgl. Versand und Mehrwertsteuer. (Für **Mitglieder der Bundesfachabteilung Wärme-, Kälte-, Schall- und Brandschutz** gilt eine ermäßigte Schutzgebühr in Höhe von 8,00 € / Exemplar - ab Bestellmengen größer 200 Stück einer Ausgabe 6,00 € / Exemplar - zzgl. Versand und Mehrwertsteuer)

Bitte geben Sie hier Ihre Rechnungs- und Lieferanschrift an:

Datum, Stempel, Unterschrift