



## Grundlagen der Kälteisolierung

Principles of cold insulation

## Grundlagen der Kälteisolierung *Principles of cold insulation*

### Inhalt *Contents*

|     |  |    |
|-----|--|----|
| 1   | Einleitung<br><i>Introduction</i> .....  | 2  |
| 2   | Physikalische Grundlagen des Wasserdampftransports und der Tauwasserbildung<br><i>Physical principles causing water vapour transmission and the formation of dew</i> ..... | 3  |
| 2.1 | Relative Feuchte<br><i>Relative humidity</i> .....   | 3  |
| 2.2 | Tauwasser<br><i>Dew</i> .....  | 3  |
| 2.3 | Feuchtetransport durch Wasserdampfdiffusion<br><i>Moisture transmission through water vapour diffusion</i> .....   | 5  |
| 3   | Aufgaben der Kälteisolierung<br><i>Duties of cold insulation</i> .....   | 5  |
| 4   | Feuchte in Kälteisolierung<br><i>Moisture in cold insulations</i> .....  | 6  |
| 4.1 | Feuchteeintrag durch Luftströmung<br><i>Ingress of moisture through air flow</i> .....   | 6  |
| 4.2 | Feuchteeintrag durch Wasserdampfdiffusion<br><i>Ingress of moisture through water vapour diffusion</i> .....   | 7  |
| 4.3 | Dampfbremsen<br><i>Water vapour retarders</i> .....  | 7  |
| 4.4 | Bewertung<br><i>Evaluation</i> .....   | 8  |
| 5   | Flansche und Armaturen<br><i>Flanges and fittings</i> .....  | 8  |
| 6   | Zusammenfassung<br><i>Summary</i> .....  | 10 |

## 1 Einleitung

Die Hauptaufgabe aller Isolierungen ist die Minderung von Wärmeströmen.

Der Wärmestrom ist bei Wärmeisolierungen vom Objekt zur Umgebung gerichtet, bei Kälteisolierungen von der Umgebung zum Objekt. Die DIN 4140 definiert „Kälte­dämmung“ wie folgt:

*Dämmsystem für Anlagen, die unterhalb der Umgebungstemperatur betrieben werden.“*

Die „Grundlagen der Kälteisolierung“, die in diesem Brief dargestellt werden, gelten überall, wo die Mediumtemperatur unter der Temperatur der Umgebungsluft liegt.

Bei Kälteisolierungen besteht die Gefahr einer Durchfeuchtung des Dämmstoffes. Die Durchfeuchtung erfolgt durch Kondensation des Wasserdampfes aus der umgebenden Luft, wenn innerhalb der Isolierung die Taupunkttemperatur des Wasserdampfes unterschritten wird.

Die Masse des kondensierenden Wasserdampfes wird begrenzt durch die Masse des nachströmenden Wasserdampfes. Wasserdampf wird transportiert durch Gesamtdruckunterschiede (Luftströmung) und Wasserdampfpartialdruckunterschiede (Wasserdampfdiffusion) zwischen der Umgebung und der Isolierung.

Das Verhindern der Durchfeuchtung steht im Vordergrund aller Überlegungen zum Aufbau einer Kälteisolierung. Wird diese Gefahr nicht unterbunden, so bildet sich Wasser und/oder Eis an denjenigen Teilen des Isoliersystems, deren Temperatur unter der Taupunkttemperatur liegt.

Wasser und Eis müssen aus drei Gründen aus dem Isoliersystem herausgehalten werden:

- Im Dämmstoff mindern sie die Isolierwirkung erheblich. Die Wärmeleitfähigkeit von Wasser ist 20 Mal höher als diejenige von Luft,  $\lambda_{\text{Luft}} = 0,03 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ ;  $\lambda_{\text{Wasser}} = 0,6 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ ; die Wärmeleitfähigkeit von Eis ist 100 Mal höher,  $\lambda_{\text{Eis}} = 3 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ .
- Wasser kann Korrosion an isolierten Anlagen und an der Innenseite der Ummantelung bewirken.
- Wasser und Eis führen zu einer Gewichtszunahme der Isolierung. Kälteleitungen können unter dieser Zusatzlast brechen.

## 1 Introduction

The main duty of all insulation systems is the minimisation of heat flow rates.

With hot insulation, the heat flow rate is from the object towards the ambient air, with cold insulations from the ambient air to the object. DIN 4140 defines “Cold insulation” as follows:

*Insulation system for plants, operated below ambient temperature.“*

The “principles of cold insulation” set forth in this paper apply wherever the medium temperature is below the temperature of the ambient air.

With cold insulations, there is always the danger of moisture entering the insulation material. The moisture is caused through condensation of water vapour out of the ambient air, whenever the temperature inside the insulation material is below the dew point, providing there is water vapour at this place.

The mass of the condensing water vapour is limited to the mass of the intruding water vapour. Water vapour will be transported by differences in the overall pressure (air flow) and through differences in the partial water vapour pressure (water vapour diffusion) between the ambient air and the insulation.

Minimisation of moisture in the insulation is the prime consideration in the design of a cold insulation. If this danger is not prevented, water and/or ice form at those parts of the insulation system where the temperature is below the dew-point temperature.

For the following reasons, it is important that water and ice must be kept out of any insulation system:

- In the insulation material, they reduce the insulating effect considerably. The thermal conductivity of water is 20 times that of air,  $\lambda_{\text{Air}} = 0,03 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ ;  $\lambda_{\text{Water}} = 0,6 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ ; the thermal conductivity of ice is 100 times that of air,  $\lambda_{\text{Ice}} = 3 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ .
- Water can cause corrosion on insulated installations and on the inner surface of the cladding.
- Water and ice increase the weight of the insulation. Cold piping can collapse under this additional load.

## 2 Physikalische Grundlagen des Wasserdampftransports und der Tauwasserbildung

### 2.1 Relative Feuchte

Luft enthält Wasserdampf. Die Wasserdampfmenge, die die Luft höchstens aufnehmen kann, ist temperaturabhängig und steigt mit zunehmender Temperatur (siehe Tabelle 1).

Die prozentuale Höchstmenge an Wasserdampf, die Luft bei einer definierten Temperatur aufnehmen kann, bezeichnet man als 100 % relative Feuchte. Die tatsächlich vorhandene Wasserdampfmenge in der Luft wird jeweils als Verhältnis zu dieser möglichen Höchstmenge bei einer definierten Temperatur angegeben: "80 % relative Luftfeuchte bei einer Lufttemperatur von 20 °C" bedeutet, dass die tatsächlich vorhandene Feuchte in der 20 °C warmen Luft 80 % dessen beträgt, was Luft bei 20 °C an Feuchte höchstens aufnehmen kann.

**Die Angabe einer relativen Luftfeuchte ohne zugehörige Temperatur ist unvollständig.**

### 2.2 Tauwasser

Tauwasser (auch "Kondenswasser" oder "Schwitzwasser" genannt) ist das aus der Luft bei Taupunkttemperaturunterschreitung ausfallende Wasser. Die Taupunkttemperatur ist vom Luftzustand (Temperatur und relative Feuchte; z. B. 20 °C und 80 %) abhängig. Sie wird unterschritten, wenn die Feuchte enthaltende Luft sich derartig abkühlt, dass sie – wegen gleichbleibender Wasserdampfmenge – jetzt 100 % relative Luftfeuchte bei der neu eingenommenen niedrigeren Temperatur aufweist: Wasser fällt aus. Dies kann im freien Luftraum geschehen: Nebel; oder durch Berührung mit kalten Gegenständen; Tauwasser an der Oberfläche dieser Gegenstände.

## 2 Physical principles causing water vapour transmission and the formation of dew

### 2.1 Relative humidity

Air contains water vapour. The amount of water vapour, which the air can ultimately absorb, is dependent upon the temperature and increases with it (see Table 1).

The maximum water vapour percentage, air can accommodate at a given temperature, is called 100% relative humidity. The amount of water vapour actually present in the air is expressed in relation to this possible maximum at the defined temperature: "80 % relative humidity at an air temperature of 20 °C" means that the moisture actually present in the 20 °C warm air is 80 % of what air at 20 °C would ultimately be able to absorb.

**Declaring a relative humidity without the associated temperature would be meaningless.**

### 2.2 Dew

Dew (also called „condensation water“) is water condensing out of the air whenever the temperature is below the dew point. The dew-point temperature is dependent upon the condition of the air (temperature and relative humidity; e. g. 20 °C and 80 %). It is undercut when the air containing moisture is cooled down to an extent that – due to a relative humidity of 100 % at the newly obtained – lower – temperature and as a result water condenses. This can happen in the open air as fog, but also through contact with cold objects as dew at the surface of these objects.

Die zulässige Abkühlung von Oberflächen in Abhängigkeit von der Luftfeuchte und -temperatur zeigt die Tabelle 1:

The permissible cooling of surfaces dependent upon the temperature and relative humidity of the air is shown in Table 1.

Tabelle 1: Größtmöglicher Feuchtegehalt der Luft und zulässige Untertemperatur bis zur Tauwasserbildung bei verschiedenen Luftfeuchten

Table 1: Maximum moisture content of air and permissible temperature difference until dew formation at different relative humidities

| Lufttemperatur<br><i>Air temperature</i> | Maximaler<br>Wasser-<br>dampfgehalt<br><i>Maximum<br/>water vapour<br/>content</i><br>g/m <sup>3</sup> | Zulässige Abkühlung (Temperaturdifferenz der Luft in K) bis zur Tauwasserbildung bei einer relativen Feuchte von<br><i>Permissible cooling (temperature difference of air in K) until dew formation at a relative air humidity of</i> |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|--|--|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|  |  | 30 %  | 40 % | 50 % | 60 % | 70 % | 75 % | 80 % | 85 % | 90 % | 95 % |
| °C                                       |  |   |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| -30                                      | 0,35   | 11,1  | 8,6  | 6,6  | 4,9  | 3,5  | 2,8  | 2,2  | 1,6  | 1,1  | 0,6  |
| -25                                      | 0,55   | 11,5  | 8,9  | 6,8  | 5,1  | 3,6  | 2,9  | 2,3  | 1,7  | 1,1  | 0,6  |
| -20                                      | 0,90   | 12,0  | 9,1  | 7,0  | 5,2  | 3,7  | 2,9  | 2,3  | 1,7  | 1,1  | 0,6  |
| -15                                      | 1,40   | 12,3  | 9,6  | 7,3  | 5,4  | 3,8  | 3,1  | 2,5  | 1,8  | 1,2  | 0,6  |
| -10                                      | 2,17   | 12,9  | 9,9  | 7,6  | 5,7  | 3,9  | 3,2  | 2,5  | 1,8  | 1,2  | 0,6  |
| -5                                       | 3,27   | 13,4  | 10,3 | 7,9  | 5,8  | 4,1  | 3,3  | 2,6  | 1,9  | 1,2  | 0,6  |
| 0  | 4,8  | 13,9  | 10,7 | 8,1  | 6,0  | 4,2  | 3,5  | 2,7  | 1,9  | 1,3  | 0,7  |
| 2  | 5,6  | 14,3  | 11,0 | 8,5  | 6,4  | 4,6  | 3,8  | 3,0  | 2,2  | 1,5  | 0,7  |
| 4  | 6,4  | 14,7  | 11,4 | 8,9  | 6,7  | 4,9  | 4,0  | 3,1  | 2,3  | 1,5  | 0,7  |
| 6  | 7,3  | 15,1  | 11,8 | 9,2  | 7,0  | 5,1  | 4,1  | 3,2  | 2,3  | 1,5  | 0,7  |
| 8  | 8,3  | 15,6  | 12,2 | 9,6  | 7,3  | 5,1  | 4,2  | 3,2  | 2,3  | 1,5  | 0,8  |
| 10                                       | 9,4  | 16,0  | 12,6 | 10,0 | 7,4  | 5,2  | 4,2  | 3,3  | 2,4  | 1,6  | 0,8  |
| 12                                       | 10,7   | 16,5  | 13,0 | 10,1 | 7,5  | 5,3  | 4,3  | 3,3  | 2,4  | 1,6  | 0,8  |
| 14                                       | 12,1   | 16,9  | 13,4 | 10,3 | 7,6  | 5,4  | 4,3  | 3,4  | 2,5  | 1,6  | 0,8  |
| 16                                       | 13,6   | 17,4  | 13,6 | 10,4 | 7,8  | 5,5  | 4,4  | 3,5  | 2,5  | 1,7  | 0,8  |
| 18                                       | 15,4   | 17,8  | 13,8 | 10,6 | 7,9  | 5,6  | 4,5  | 3,5  | 2,6  | 1,7  | 0,8  |
| 20                                       | 17,3   | 18,1  | 14,0 | 10,7 | 8,0  | 5,6  | 4,6  | 3,6  | 2,6  | 1,7  | 0,8  |
| 22                                       | 19,4   | 18,4  | 14,2 | 10,9 | 8,1  | 5,7  | 4,7  | 3,6  | 2,6  | 1,7  | 0,8  |
| 24                                       | 21,8   | 18,6  | 14,4 | 11,1 | 8,2  | 5,8  | 4,7  | 3,7  | 2,7  | 1,8  | 0,8  |
| 26                                       | 24,4   | 18,9  | 14,7 | 11,2 | 8,4  | 5,9  | 4,8  | 3,7  | 2,7  | 1,8  | 0,9  |
| 28                                       | 27,2   | 19,2  | 14,9 | 11,4 | 8,5  | 6,0  | 4,9  | 3,8  | 2,8  | 1,8  | 0,9  |
| 30                                       | 30,3   | 19,5  | 15,1 | 11,6 | 8,6  | 6,1  | 5,0  | 3,8  | 2,8  | 1,8  | 0,9  |
| 35                                       | 39,4   | 20,2  | 15,7 | 12,0 | 9,0  | 6,3  | 5,1  | 4,0  | 2,9  | 1,9  | 0,9  |
| 40                                       | 50,7   | 20,9  | 16,1 | 12,4 | 9,3  | 6,5  | 5,3  | 4,1  | 3,0  | 2,0  | 0,9  |
| 45                                       | 64,5   | 21,6  | 16,7 | 12,8 | 9,6  | 6,8  | 5,5  | 4,3  | 3,1  | 2,1  | 0,9  |
| 50                                       | 82,3   | 22,3  | 17,3 | 13,3 | 9,9  | 7,0  | 5,7  | 4,4  | 3,2  | 2,1  | 0,9  |
| 55                                       | 104,4  | 23,0  | 17,8 | 13,7 | 10,2 | 7,1  | 5,8  | 4,5  | 3,2  | 2,1  | 0,9  |
| 60                                       | 130,2  | 23,7  | 18,4 | 14,1 | 10,5 | 7,3  | 5,9  | 4,6  | 3,3  | 2,1  | 0,9  |
| 65                                       | 161,3  | 24,5  | 19,0 | 14,5 | 10,8 | 7,6  | 6,1  | 4,7  | 3,4  | 2,1  | 0,9  |
| 70                                       | 198,2  | 25,2  | 19,5 | 15,0 | 11,1 | 7,8  | 6,2  | 4,8  | 3,4  | 2,1  | 0,9  |
| 75                                       | 242,0  | 26,0  | 20,1 | 15,4 | 11,4 | 8,0  | 6,4  | 4,9  | 3,5  | 2,2  | 0,9  |
| 80                                       | 293,4  | 26,8  | 20,7 | 15,8 | 11,7 | 8,2  | 6,6  | 5,0  | 3,6  | 2,2  | 0,9  |

Man sieht in dieser Tabelle, dass z. B. bei einer Lufttemperatur von 20 °C und einer relativen Luftfeuchte von 60 % eine Oberfläche keine größere Untertemperatur als 8 K aufweisen darf, um an ihr Tauwasserbildung zu vermeiden. Die Oberfläche darf demnach nicht kälter werden als 12 °C.

The table shows that e. g. at an air temperature of 20 °C and a relative humidity of 60 %, a surface must not have a temperature reduction of more than 8 K to avoid dew condensation on it. The surface, therefore, must not get colder than 12 °C.

Dieser zulässige Temperaturunterschied sinkt drastisch, wenn die Luftfeuchte steigt. In derselben Zeile – bei 20 °C Lufttemperatur – ist die zulässige Temperaturdifferenz zur Vermeidung von Tauwasser bei einer relativen Feuchte von 90 % nur noch 1,7 K, d. h. bei sehr hoher Luftfeuchte genügt eine ganz geringe Temperaturdifferenz – hier 1,7 K –, damit sich Tauwasser auf der Oberfläche bildet.

The permissible temperature difference decreases drastically as the relative humidity increases. On the same line – at air temperature of 20 °C –, the permissible temperature difference to avoid dew formation at a relative humidity of 90 % is only 1,7 K, i. e. at this very high relative humidity, a fairly small temperature difference – here 1,7 K – is sufficient to cause dew formation at the surface.

### 2.3 Feuchtetransport durch Wasserdampfdiffusion

Luftströmung ist ein Transportvorgang aufgrund von Gesamtdruckunterschieden. Wenn Bereiche unterschiedlichen Luftdrucks nicht luftdicht voneinander getrennt sind, so strömt Luft von dem Ort höheren Drucks an den Ort niedrigeren Drucks, bis ein Druckausgleich eingetreten ist. Wenn sich bei diesem Vorgang die Temperatur ändert, weil z. B. an dem Ort des niedrigeren Drucks auch eine niedrigere Temperatur herrscht, so wird der durch die einströmende Luft mitgeführte Wasserdampf als Tauwasser ausfallen, sobald die Taupunkttemperatur unterschritten wird.

**Durch Luftströmung können große Feuchtemengen in kurzer Zeit transportiert werden.**

### 3 Aufgaben der Kälteisolierung

Die Kälteisolierung soll:

- den Wärmeeinfall reduzieren;
- Feuchteausfall an der Objektoberfläche und in der Isolierung verhindern, dazu wird:
  - = mittels einer Dampfbremse die Wasserdampfdiffusion in den Dämmstoff **vermindert** und
  - = durch Verwendung geschlossenzelliger Dämmstoffe die Luftströmung in den Dämmstoff **verhindert**.
- Tauwasserbildung an der Isolieroberfläche verhindern, dazu wird:
  - = die Isolierschichtdicke ausreichend bemessen, so dass der Taupunkt im Dämmstoff liegt.

Da für die Erfüllung dieser Aufgaben eine Reihe von Bedingungen mit verantwortlich ist, die das Isolierunternehmen nicht beeinflussen kann, sind die Betriebs- und Umgebungszustände, für die die Kälteisolierung auszulegen ist, genau zu beschreiben. Werden keine festen Werte angegeben, z. B. wegen jahreszeitlich schwankender Lufttemperatur und relativer Feuchte, müssen Annahmen getroffen und vertraglich vereinbart werden.

Bedingungen, die vom Auftraggeber anzugeben sind:

- Umgebungstemperatur,
- relative Feuchte der Umgebungsluft,
- Betriebstemperatur.

Bedingungen, die bei der Auslegung der Isolierung häufig nur angenommen werden können:

- Geometrie der Anlage,
- Strahlungsverhältnisse an der Oberfläche der Ummantelung,

### 2.3 Moisture transmission through water vapour diffusion

Air flow is a transportation process caused by differences in the overall pressure. When points of differing air pressure are not isolated from each other in an airtight manner, air will flow from the area of higher pressure to the area of lower pressure until equilibrium is reached. If the temperature changes in this process, because e. g. a lower temperature prevails at the point of lower pressure, the water vapour contained in the inflowing air will condense as soon as the temperature is below the dew point.

**Air flow will transport great amounts of moisture in short periods.**

### 3 Duties of cold insulation

The function of cold insulation is:

- reduction of heat flow rate;
- minimisation of moisture condensation at the surface of the object, to achieve this:
  - = a water vapour retarder **minimises** the water vapour diffusion into the insulation material and
  - = the use of closed-cell insulation materials **prevents** air flow into the insulation.
- prevention of dew condensation at the surface of the insulation, to achieve this:
  - = sufficient thickness of insulation is calculated, so that the dew point is inside the insulation

Since a number of conditions, which the insulation contractor cannot influence, also contribute to the completion of this task, the service and environmental conditions for which the cold insulation is to be designed must be specified precisely. If no firm values can be given, e. g. because air pressure and relative humidity vary over the year, assumptions must be made and be agreed upon.

Conditions to be provided by the client:

- ambient temperature,
- relative humidity of the ambient air,
- service temperature.

Conditions which frequently can only be assumed for the design of the insulation system:

- overall geometry of the installation,
- radiation conditions at the surface of the cladding,

- Luftströmungsverhältnisse an der Oberfläche der Ummantelung,
- conditions of air flow and convection at the surface of the cladding.
- Wärmeübergangsverhältnisse an der Oberfläche der Ummantelung.
- conditions of heat transfer at the surface of the cladding.

Zur Verhütung von Tauwasser auf der Isolieroberfläche ist in jedem Fall eine ausreichende Isolierschichtdicke erforderlich. Bei ihrer Ermittlung spielt neben den Größen Umgebungstemperatur, Mediumtemperatur, relative Luftfeuchte und Wärmeleitfähigkeit des Dämmstoffes der Wärmeübergangskoeffizient zwischen Isolieroberfläche und Umgebungsluft eine entscheidende Rolle. Bei seiner Ermittlung sind beispielsweise behinderte Konvektion bei räumlich engen Gegebenheiten oder eingeschränkte Wärmestrahlungsverhältnisse zu berücksichtigen.

A sufficient insulation thickness is needed to prevent dew condensation at the surface of the insulation. Next to ambient temperature, temperature of the medium, relative air humidity and thermal conductivity of the insulation material, the surface coefficient of heat transfer between insulation surface and ambient air is of decisive importance for its calculation. To determine the surface coefficient of heat transfer, conditions such as inhibited convection due to close spacing or inhibited radiation conditions must be taken into consideration.

**Beim Abweichen von den vereinbarten Umgebungsluftzuständen kann eine temporäre Tauwasserbildung nicht vermieden werden.**

**When deviating from the agreed ambient air conditions, temporary dew condensation cannot be avoided.**

#### **4 Feuchte in Kälteisolierungen**

#### **4 Moisture in cold insulations**

Wasserdampf kann auf zwei Weisen in die Isolierung gelangen. In der Reihenfolge der Bedeutung sind dies Luftströmung und Wasserdampfdiffusion (siehe Kapitel 2.3 und 2.4).

Water vapour can enter the insulation in two ways. In the order of importance, these are air flow and water vapour diffusion (see chapters 2.3 and 2.4).

##### **4.1 Feuchteintrag durch Luftströmung**

##### **4.1 Ingress of moisture through air flow**

Offenzellige Dämmstoffe sind für Kälteisolierungen ungeeignet, weil sie Luftströmung und Wasserdampfdiffusion keinen Widerstand entgegensetzen. Werden sie dennoch verwendet, so ist die Luftströmung der wesentliche Grund für die großen Wasseransammlungen im Dämmstoff und am Objekt.

Open-cell insulation materials are not suitable for cold insulation as they do not resist air flow and water vapour diffusion. If they are used anyway, air flow is the principal reason for substantial water accumulation in the insulation material and at the object.

Bei geschlossenzelligen Dämmstoffen reduziert sich die Gefahr der Luftströmung auf Hohlräume, Fugen und Spalten.

With closed-cell insulation materials, the risk of air flow is restricted to cavities, gaps and joints.

In jedem Fall bildet das Isoliersystem einen vom Objekt einerseits und der Ummantelung andererseits begrenzten Hohlraum, der außer mit Dämmstoff zunächst mit Luft unter atmosphärischem Druck gefüllt ist. Ändert sich dieser Luftdruck, so tritt ein Druckunterschied zwischen Umgebung und Isolierungs-„Hohlraum“ auf.

The insulation system forms a cavity between the object on one side and the cladding on the other, which is exempting the insulation material initially filled with air of atmospheric pressure. As the atmospheric pressure changes, a pressure difference occurs between the ambient air and the insulation-“cavity”.

Im Betriebszustand ist die mittlere Temperatur im Dämmstoff sowohl von der Mediumtemperatur als auch von der Umgebungstemperatur abhängig. Änderungen dieser Temperaturen führen zu Temperaturänderungen in der Isolierung und damit wiederum zu Druckänderungen entsprechend den Gasgesetzen. Die Isolierung „atmet“ und führt durch Luftaustausch ständig Feuchte in Form von Wasserdampf zu, wenn sie nicht strömungsdicht abgeschlossen ist.

Under service conditions, the mean temperature in the insulation is dependent upon both the temperature of the medium and of the ambient air. Changes in these temperatures lead to temperature differences in the insulation and thereby again to differences in pressure following the physical laws of gases. The insulation “breathes” and is continuously invaded by moisture in the form of water vapour through air exchange, if it is not sealed tightly against air flow.

In der Praxis ausgeführte Dampfbremsen können wegen der nicht zu vermeidenden Klebenähte nicht dauerhaft strömungsdicht sein. Bei ihnen würde die mit der einströmenden Luft eingetragene Feuchte als Tauwasser innerhalb der Isolierschicht ausfallen. Das ausgefallene Wasser verbliebe im Isoliersystem, und bei der nächsten Umkehr des Druckunterschiedes würde vergleichsweise trockene Luft aus der Dämmung herausströmen, da das Wasser wegen der notwendigen hohen Verdampfungsenthalpie (Verdampfungswärme) nicht genügend schnell verdunsten könnte. Bei wiederholtem Auftreten dieses Vorgangs spricht man von „Pumpeffekt“.

Um diesen Pumpeffekt zu **verhindern**, sind bei Kälteisolierungen grundsätzlich geschlossenzellige Dämmstoffe zu verwenden (siehe hierzu auch AGI-Arbeitsblatt Q 03, Tabelle 2). Ausnahmen sind z. B. Luftzerlegungsanlagen. In diesen Fällen ist ein Doppelmantel auszuführen.

Zu Sonderfällen siehe den Technischen Brief Nr. 11 "Feuchte im Dämmsystem".

Bei der Verwendung von Formstücken sind die Stöße vollständig gegen Luftströmungen abzudichten bzw. mit Klebstoff auszufüllen.

#### 4.2 Feuchteintrag durch Wasserdampfdiffusion

Im Gegensatz zur Luftströmung stellt die Wasserdampfdiffusion einen Feuchtetransport aufgrund von Wasserdampfpartialdruckunterschieden dar. Sie ist ein Transportvorgang des Wasserdampfes aufgrund eines Konzentrations- oder Partialdruckgefälles. Aufgrund der Temperatur- und Partialdruckverhältnisse ist bei Kälteanlagen der Diffusionsstrom im Allgemeinen auf das isolierte Objekt gerichtet. Damit reichert sich die Feuchtigkeit in der Isolierung an; die Wärmeleitfähigkeit wird entsprechend erhöht.

#### 4.3 Dampfbremsen

Die Wasserdampfdiffusion soll durch die "wasserdampfdiffusionsdichte" Dampfbremse **vermindert** werden, die Luftströmung soll durch die Kombination aus Dampfbremse und geschlossenzelligem Dämmstoff **verhindert** werden.

Bei PUR-Ortschaum-Isolierungen übernimmt die metallische Ummantelung durch das gute Haftvermögen des PUR-Ortschaumes am Blech gleichzeitig die Aufgabe der Dampfbremse. Nähte, Stoßstellen und Durchdringungen sind dabei sorgfältig abzudichten.

Man spricht im Gegensatz zu früher von **Dampfbremse**: obwohl sie in der Regel aus **dampfsperrenden** Stoffen besteht.

Water vapour retarders fitted in practice cannot be made permanently tight against air flow because of unavoidable joints in the adhesive. The moisture entering the system with the air flux would condense inside the insulation layer. The condensing dew would remain inside the system, and at the next turn of the pressure difference, relatively dry air would not evaporate fast enough because of its relatively high evaporator enthalpy (heat of evaporation). With repeated occurrences of this process, one speaks of a "pumping effect".

To **avoid** this pumping effect, closed-cell insulation materials are compulsory with cold insulations (see also AGI working document Q 03, table 2). Exceptions are e. g. air-separation installations. In these cases, a double-skin covering must be constructed.

For special cases see the Technical letter No. 11. "Moisture in insulation systems".

If form pieces are used, the joints must be completely closed against air flow by being totally filled with adhesive.

#### 4.2 Ingress of moisture through water vapour diffusion

Opposite to air flow, the water vapour diffusion is a moisture transportation caused by differences in the partial water vapour pressure. It is a transportation process of water vapour caused by concentration or partial pressure differences. Due to the temperature and partial pressure conditions in cold insulations, the direction of diffusion is generally towards the insulated object. This leads to moisture accumulating in the insulation; the thermal conductivity increases accordingly.

#### 4.3 Water vapour retarders

The water vapour diffusion is supposed to be **minimised** through the „water-vapour-diffusion-tight“ water vapour retarder. The air flow is supposed to be **prevented** by a combination of water vapour retarder and closed-cell insulation material.

With PUR in-situ foam insulation systems, the metallic cladding acts as vapour retarder, provided that perfect adhesion between foam and sheet metal is achieved. Seams, connections and penetrations must be sealed with great care.

Nowadays, one speaks of water vapour **retarder**, despite the fact that generally **vapour-tight** materials are being used.



Diese Wortwahl trägt dem Umstand Rechnung, dass ein völliges Verhindern des Luftaustausches und Unterbinden der Wasserdampfdiffusion nur durch eine absolut luft- und diffusionsdichte äußere Ummantelung des Dämmstoffes möglich wäre. Diese lässt sich nur mit hohem technischen Aufwand herstellen. Zwar stehen genügend praktisch dampfdichte Stoffe, z. B. Metallfolien, Bleche, zur Verfügung, es fehlen aber praktikable Verbindungstechniken für luft- und dampfdichte Abschlüsse an Nähten und Durchdringungen. Man muss deshalb einen Kompromiss eingehen und sich darauf beschränken, das Eindringen von Feuchte in den Dämmstoff zu verringern.

Das Eindringen von Feuchte in den Dämmstoff ist auf das technisch erreichbare Minimum zu reduzieren. Durch Dampfbremsen aus aufgeklebten Metallfolien, Blechummantelungen mit dauerplastischen Abdichtungen oder Nähten, Kunststoffbinden usw. wird der Feuchtezutritt durch Dampfdiffusion herabgesetzt. Die Dampfbremse ist mit dem Dämmstoff vollflächig zu verkleben, da sonst der durch kleinste Verletzungen der Dampfbremse eingeströmten Luft, die gesamte unverklebte Dämmstoffoberfläche für Diffusionsvorgänge zur Verfügung steht.

#### **4.4 Bewertung**

Tritt Feuchteintrag durch Luftströmung auf, so übertrifft er denjenigen durch Wasserdampfdiffusion um Größenordnungen. Deswegen kommt der Verwendung geschlossenzelliger Dämmstoffe in Verbindung mit einer strömungsdichten Ausführung der Dampfbremse größere Bedeutung zu als dem Wasserdampfdiffusionswiderstand der Dampfbremse.

### **5 Flansche und Armaturen**

Am Beispiel einer geflanschten Armatur werden die konstruktiven Möglichkeiten demonstriert, um den Feuchteintrag durch Luftströmung und Wasserdampfdiffusion zu minimieren.

The verbiage reflects the fact that total prevention of air exchange and water vapour diffusion would only be possible by an absolutely air-flow- and diffusion-tight outer covering of the insulation material. This can only be achieved through very high technical effort. There are enough practically vapour-tight materials available, e. g. metal foils or sheets, however, there are no practical means of air-flow- and vapour-tight closing at joints and fittings. A compromise is therefore needed and one has to be content with the minimisation of moisture ingress into the insulation material.

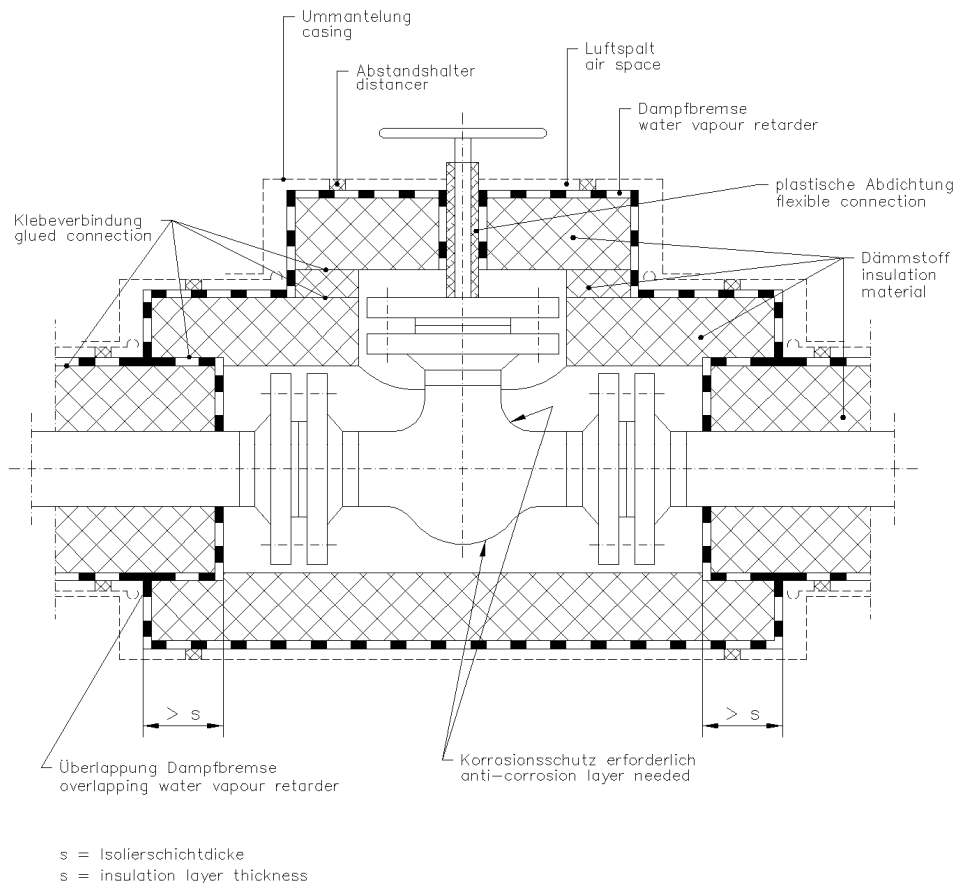
The ingress of moisture into the insulation material must be reduced to the practically feasible minimum. The moisture transport through vapour diffusion is minimised by the use of water vapour retarders of metallic foils glued to the insulant, metal-sheet claddings and permanently flexible joints at seams, plastic bandages and so on. The entire surface of the water vapour retarder must be glued to the insulation material, since otherwise air flowing through smallest damages of the water vapour retarder could use the entire non-glued surface of the insulation material for diffusion processes.

#### **4.4 Evaluation**

If moisture ingress through air flow occurs, its effect exceeds the effect of water vapour diffusion exponentially. Therefore, the use of closed-cell insulation materials in connection with an air-draught-tight execution of a water vapour retarder is more important than the water vapour diffusion resistance of the water vapour retarder.

### **5 Flanges and fittings**

The example of a flanged fitting is used to demonstrate the possibilities for the minimisation of moisture ingress through air draught and water vapour diffusion.



Die Dampfbremse umschließt die Rohrleitungsisolierung und ist vor der Armatur abzuschließen, d. h. an das Mediumrohr heranzuführen. Hierdurch wird vermieden, dass bei Undichtigkeiten der Isolierung im Bereich der Armatur und bei der Demontage der Kappe Feuchte in die Rohrleitungsisolierung diffundiert bzw. feuchtehaltige Luft einströmt.

The water vapour retarder encloses the piping insulation and is connected with the object before the fitting, i. e. must be brought down to the pipe carrying the medium. This is done to avoid the diffusion of moisture, respectively the ingress of moist air into the piping insulation caused either through leaks in the water vapour retarder of the box or through the necessity to disassemble the box for maintenance purposes.

Die komplizierte Geometrie der Armaturenkappe macht eine besonders sorgfältige Abdichtung erforderlich. Die Isolierung selbst, die hier aus Rohrschalensegmenten aufgebaut ist, wird durch Klebeverbindungen zusätzlich abgesichert.

The complicated geometry of the access box necessitates a specifically painstaking sealing. The insulation itself, in this case assembled with pipe segments, is additionally secured with adhesive.

In dem relativ großen Hohlraum zwischen Armatur und Isolierung tritt beim Kaltfahren der Anlage ein Unterdruck auf, der beispielsweise bei einer Medientemperatur von  $-40\text{ °C}$  theoretisch  $0,1\text{ bar}^1$  gegenüber dem Umgebungsdruck beträgt. Infolge Druckausgleichs strömt feuchte Luft von außen in den Hohlraum der Kappe. Dort fällt ein Teil der in der Luft enthaltenen Feuchte als Tauwasser oder Eis aus.

In the relatively large cavity between fitting and insulation, under-pressure occurs as the installation starts to get cold. This under-pressure theoretically amounts at  $-40\text{ °C}$  to  $0.1\text{ bar}^1$  relative to the ambient pressure. Through pressure exchange, moist air from outside flows into the cavity of the access box. There, some of the moisture contained in the air condenses in the form of dew or ice.

<sup>1</sup> Der Druck ergibt sich aus der Mitteltemperatur  $\frac{20 + (-40)}{2} = -10\text{ °C}$

<sup>1</sup> The pressure is calculated out of the mean temperature  $\frac{20 + (-40)}{2} = -10\text{ °C}$

Durch Ausschäumen des Hohlraumes oder Ausfüllen mit Dämmstoff-Formteilen – in diesem Bild nicht gezeigt – kann dieser Gefahr begegnet oder sie verringert werden.

Die metallische Durchführung der Spindel stellt eine unvermeidliche Wärmebrücke dar. Sie kann bei entsprechend tiefen Mediumtemperaturen und hohen Luftfeuchten zur Vereisung des Handrades führen. Dies stellt jedoch keinen isoliertechnischen Mangel dar.

## 6 Zusammenfassung

**Tauwasser im Dämmstoff und auf der Oberfläche des Objekts muss verhindert werden. Hierzu muss die Dampfbremse strömungsdicht und diffusionsbremsend sein, und es müssen geschlossenzellige, miteinander verklebte Dämmstoffe eingesetzt werden.**

Kälteisolierungen haben nur eine begrenzte Lebensdauer: Sie sind labile Systeme, die aus physikalischen Gründen auf Beschädigungen empfindlich reagieren. Sie müssen regelmäßig gewartet werden; hierzu gehört die regelmäßige Kontrolle von Abdichtungen und Durchdringungen.

Für Kälteisolierungen ist wichtig:

- **Verwendung geschlossenzelliger Dämmstoffe;**
- **Stöße von Formstücken abdichten;**
- **strömungsdichte Ausführung der Dampfbremse;**
- **Dampfbremse vollflächig verkleben;**
- **Dampfbremse vor Verletzungen schützen;**
- **sorgfältige Abdichtung an Durchdringungen.**

Temporäre Tauwasserbildung auf der Ummantelung oder der Dampfbremse der Kälteisolierung kann nicht bei allen atmosphärischen Bedingungen verhindert werden (siehe auch Technische Briefe Nr. 5 und Nr. 8).

This problem can be avoided or reduced by foaming the cavity or packing it with insulation material form pieces – not shown in this figure.

The metallic access of the spindle constitutes an unavoidable thermal bridge. It may lead to ice on the wheel if the temperature of the medium is sufficiently low and the moisture in the ambient air high enough. This, however, does not constitute an insulation failure.

## 6 Summary

**Moisture condensation in the insulation material and at the surface of the object must be prevented. To achieve this, the water vapour retarder must be tight against air flow and “retarding” against diffusion, and closed-cell insulation materials must be used, effectively glued together.**

Cold insulations have a limited life expectancy: They are unstable systems, which for physical reasons react sensitively to damages. They must be maintained regularly, which includes a routine check of sealings and interruptions.

For cold insulations, it is important that:

- **closed-cell insulation materials are used;**
- **joints between form pieces are sealed;**
- **water vapour retarder is fitted air-flow-tight;**
- **water vapour retarder is glued with its entire surface to the insulation material;**
- **water vapour retarder is protected from damage;**
- **penetrations in insulations are carefully sealed off.**

Temporary moisture condensation on the casing or on the water vapour retarder of the cold insulation cannot be avoided in all atmospheric conditions (see also Technical Letters No. 5 and No. 8).

**Literatur**

VDI 2055: Wärme- und Kälteschutz von betriebstechnische Anlagen – in der Industrie und in der Technischen Gebäudeausrüstung

DIN 4140: Dämmarbeiten an betriebstechnischen Anlagen in der Industrie und in der technischen Gebäudeausrüstung – Ausführung von Wärme- und Kälte-dämmungen

AGI Q 03: Dämmarbeiten – Ausführung von Wärme- und Kälte-dämmungen – Dämmarbeiten an betriebstechnischen Anlagen

AGI Q 157-7: Kälteschutz – Wasser-/CO<sub>2</sub>-getriebener Polyurethan-Ortschaum, Dämmschichtdicken zur Tauwasserverhütung, Kälteverluste, Massen

**Literature**

VDI 2055: Thermal insulation of heated and refrigerated operational installations in the industry and the building services

DIN 4140: Insulation work on industrial installations and building equipment – Execution of thermal and cold insulations

AGI Q 03: Thermal insulation – Execution of thermal and cold insulations – Insulation work on industrial installations

AGI Q 157-7: Cold protection – Polyurethane in-situ foam, insulation layer thicknesses to prevent condensation, cold losses, masses

Dieser Technische Brief stellt eine pauschale Sachverhaltsdiskussion dar, die eine technische bzw. bauphysikalische Bewertung eines Einzelfalls 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 not replace detailed calculations and assessments of prevailing physical conditions in complicated building tasks. 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:

- Peter Bernhoff
- Helmut Bramann
- Stefan Debold
- Bernd-Jürgen Deyle
- Theodor Haack
- Gerd Gollenstede
- Dr. Günther Kasperek
- Sascha Leschzyk
- Thomas Ortlieb
- Andreas Regel
- Walter Riering
- Roland Schreiner
- Joachim Weber

## 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](mailto: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](http://www.bauindustrie.de/wksb)

- ..... [Stück] **Nr. 1 "Thermische Probleme an Versteifungen bei großdimensionierten, warmgehenden Objekten – *Problems of thermal stress in metal reinforcements of large-dimensional objects with elevated service temperatures*", (August 2014, 5. überarbeitete Auflage)**
- **Nr. 2 "Was ist bei FCKW-freien PUR-Ortschäumen zu beachten?" (zurückgezogen)**
- ..... [Stück] **Nr. 3 "Die Verhinderung von Korrosion – *Prevention of metal corrosion*", (August 2014, 6. überarbeitete Auflage)**
- ..... [Stück] **Nr. 4 "Arbeitsblatt: Aufmaßsystem für Isolierungen", (Mai 1999, 3. Auflage)**
- ..... [Stück] **Nr. 5 "Zur Problematik der Gewährleistung von Oberflächentemperaturen – *Problems associated with the warranty of specified surface temperatures*", (Juli 2009, 3. überarbeitete Auflage)**
- ..... [Stück] **Nr. 6 "Hohe Rentabilität bei umweltgerechten Isolierschichtdicken – *High profitability through ecologically based insulation thicknesses*", (Oktober 2008, 3. überarbeitete Auflage)**
- ..... [Stück] **Nr. 7 "Grundlagen der Kälteisolierung – *Principles of cold insulation*", (August 2014, 4. überarbeitete Auflage)**
- ..... [Stück] **Nr. 8 "Auslegung der Kälteisolierung zur Tauwasserverhütung auf der Oberfläche – *Design of cold insulation to prevent formation of condensation on the surface*", (November 2011, 3. überarbeitete Auflage)**
- ..... [Stück] **Nr. 9 "Messverfahren – *Methods of measuring*", (März 2013, 3. überarbeitete Auflage)**
- ..... [Stück] **Nr. 10 "Messstellen für thermische Messungen – *Measuring points for thermal measurements*", (August 2012, 1. überarbeitete Auflage)**
- ..... [Stück] **Nr. 11 "Feuchte im Dämmsystem – *Moisture in insulation systems*", (Juli 2011, 2. überarbeitete Auflage)**
- ..... [Stück] **Nr. 12 „Harmonisierte europäische Normen für Dämmstoffe für betriebstechnische Anlagen in der Industrie und in der technischen Gebäudeausrüstung“, (August 2012, 1. überarbeitete Auflage) - „*European harmonised standards for insulation materials for technical installations in the industry and in the technical building equipment*“**
- ..... [Stück] **Nr. 14 „Energieeffizienz im Anlagenbau – Aspekte nachhaltigen Dämmens  
Energy efficiency in plant construction – aspects of sustainable insulation (Februar 2013)**
- ..... [Stück] **Nr. 15.1 „Vorbeugender baulicher Brandschutz“ (Oktober 2011)**
- ..... [Stück] **Nr. 15.2 „Brandschutz in Industrie und Tunnelbau“ (November 2011)**

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



zu beziehen über / to be ordered:

Bundesfachabteilung  
Wärme-, Kälte-, Schall- und Brandschutz  
im Hauptverband der Deutschen Bauindustrie e.V.  
Kurfürstenstraße 129, D-10785 Berlin  
Tel. 0049 30/21286-0  
Fax 0049 30/21286-246  
E-Mail: [bfa.wksb@bauindustrie.de](mailto:bfa.wksb@bauindustrie.de)

August 2014, 4. überarbeitete Auflage; August 2014, 4th revised edition