



Zur Problematik der Gewährleistung von Oberflächentemperaturen

Problems associated with the warranty of specified surface temperatures

Zur Problematik der Gewährleistung von Oberflächentemperaturen
Problems associated with the warranty of specified surface temperatures

Inhalt / *Table of Contents*

Seite / *Page*

1. Vorbemerkung: Stand der Diskussion <i>Foreword: Current discussion</i>	2
2. Einflussgrößen, die die Oberflächentemperatur bestimmen <i>Parameters influencing the surface temperature</i>	3
3. Begründung im Einzelnen <i>Substantiation in detail</i>	5
3.1 Stützkonstruktionen <i>Spacer constructions</i>	5
3.2 Wärmeübergangsverhältnisse an der Isolierungsoberfläche <i>Heat transfer conditions at the insulation surface</i>	7
3.3 Lokal unterschiedliche Wärmeübergangsverhältnisse <i>Locally different conditions for surface heat transfer</i>	9
3.4 Strahlungsaustausch <i>Radiation exchange</i>	10
4. Zusammenfassung <i>Summary</i>	12
Anlage Bestellformular <i>Annex</i> <i>Order form</i>	

1. Vorbemerkung: Stand der Diskussion

„Die Isolierung ist so zu bemessen, dass bei Voll-
lastbetrieb die Temperatur auf der Oberfläche der
Ummantelung nicht höher als 30 °C über der Um-
gebungstemperatur, gemessen in 1 m Entfernung,
liegt.“

„Die zulässige Temperaturdifferenz zwischen der
Außenfläche des Blechmantels und der Umge-
bungstemperatur darf 20 °C bei einer Luftge-
schwindigkeit von 0 m/s nicht überschreiten. Die
Umgebungstemperatur wird in 1 m Abstand vom
isolierten Anlagenteil gemessen.“

„Die Temperatur der Ummantelung darf 60 °C
nicht überschreiten.“

Diese Zitate sind Forderungen aus Ausschrei-
bungstexten und Isolierspezifikationen. Sie sind
außerordentlich problematisch, da ihre Einhaltung
häufig nicht gewährleistet werden kann oder wirt-
schaftlich nicht sinnvoll ist.

In diesem Brief sollen deshalb die Probleme auf-
gezeigt werden, die beim Vorausbestimmen und
Einhalten der Oberflächentemperaturen auftreten
können, und es soll die Frage beantwortet wer-
den, inwieweit es technisch notwendig ist, maxi-
male Oberflächentemperaturen zu spezifizieren.

Als Gründe für die Forderung nach Einhaltung von
bestimmten Oberflächentemperaturen werden
genannt:

- Berührungsschutz,
- Explosionsschutz,
- Tauwasserverhütung.

Neben diesen drei Gründen mag bei der Vorgabe
einer maximalen Übertemperatur noch die Vor-
stellung eine Rolle spielen, dass **bei geringer
Übertemperatur zwangsläufig ein niedriger
Wärmestrom flösse. Diese Vorstellung ist
falsch.** Beispielsweise wird – wie in Tabelle 2
gezeigt – bei einer Verringerung des Strahlungs-
koeffizienten der Ummantelung deren Oberflä-
chentemperatur erhöht, aber gleichzeitig **verrin-
gert** sich die Wärmestromdichte.

Umgekehrt kann durch Erhöhung der Luftge-
schwindigkeit zwar die Oberflächentemperatur
gesenkt werden (siehe Tabelle 2), jedoch muss
gleichzeitig ein erhöhter Wärmeverlust in Kauf
genommen werden. **Die Ansicht, dass die Ober-
flächentemperatur ein leicht zu kontrollieren-
des Maß für die Güte einer Isolierung sei, ist
deshalb falsch.**

1. Foreword: Current discussion

„The insulation must be so designed that the tem-
perature at the surface of the cladding will not ex-
ceed 30 °C above ambient temperature, measured
at 1 m distance, whilst the installation is operating
at maximum performance.“

“The temperature difference between the surface of
the cladding and the ambient air must not exceed
20 °C at a wind speed of 0 m/s. The ambient tem-
perature is measured at 1 m distance from the insu-
lated face of the installation.”

“The temperature of the cladding must not exceed
60 °C.”

These quotations are found in specifications for
insulation systems. They constitute significant prob-
lems, since such demands frequently cannot be
warranted and do not make sense economically.

This letter highlights the problems associated with
theoretical calculation and the warranty of surface
temperatures, and the question will be considered
to what extent it is technically necessary to specify
maximum surface temperatures.

Reasons frequently given for the demand not to
exceed a specified surface temperature are the
following:

- personnel protection
- prevention of explosion,
- prevention of dew.

Along with these three reasons, the demand for a
maximum excess temperature may have been
caused by the perception that **with a low excess
temperature – of necessity – a low heat flow rate
were associated. This perception is wrong.** For
example – as shown in Table 2 – a decrease in the
thermal radiation coefficient of the cladding **in-
creases** its surface temperature, however, it de-
creases the heat flow rate.

Conversely, an increase in the wind speed de-
creases the surface temperature (see Tables 2),
however, increased heat loss is also a conse-
quence. **The perception that the surface temper-
ature might be an easy measure of the quality of
an insulation is, therefore, wrong.**

Zwei der drei o. g. Forderungen können durch andere Maßnahmen besser erreicht werden:

- Wird ein Berührungsschutz mit den durch technische oder wirtschaftliche Anforderungen vorgegebenen Isolierdicken nicht erreicht, so können Schutzgitter oder Schirmbleche angebracht werden. Hierdurch wird ein sicherer Berührungsschutz erreicht.
- Für einen Explosionsschutz reichen Isoliermaßnahmen alleine nicht aus. Es müssen immer zusätzlich die besonderen Explosionsvorschriften beachtet werden.

Allein die Tauwasser verhütung bei Kälteleitungen kann technisch sinnvoll nur durch eine Isolierung erreicht werden, deren Dicke so gewählt ist, dass die Oberflächentemperatur die Taupunkttemperatur nicht überschreitet. Wirtschaftlich vernünftig ist dies allerdings nur dann möglich, wenn die relative Feuchte der Umgebungsluft $< 85\%$ ist. Dies entspricht einer maximal zulässigen Oberflächentemperatur von ca. 2,5 K unterhalb einer Umgebungstemperatur von 20 °C.

2. Einflussgrößen, die die Oberflächentemperatur bestimmen

Die Oberflächentemperatur einer Isolierung ist abhängig von:

- der Mediumtemperatur;
- dem Wärmedurchlasswiderstand der Isolierung, der durch Wärmebrücken wie z. B. Versteifungen und Stützkonstruktionen lokal beeinflusst wird;
- den Wärmeübergangsverhältnissen auf der Oberfläche der Isolierung, die durch den konvektiven Wärmeübergang sowie durch die Wärmestrahlung bestimmt werden;
- der seitlichen Wärmeableitung der Ummantelung, die den Abbau von Temperaturspitzen bestimmt;
- der Temperatur der Umgebungsluft sowohl global als auch lokal;
- der Anwesenheit von wärmeren oder kälteren Oberflächen, mit denen die Oberfläche der Isolierung im Strahlungsaustausch steht. Ein extremes Beispiel ist die Sonne (Aufheizung durch Sonneneinstrahlung).

Two of the three a. m. objectives are more readily achieved through other precautions:

- If personnel protection is not achieved with the insulation set by technical or economic considerations, safety screens or guard railings can be applied. These ensure personnel protection.
- For explosion prevention, insulation arrangements do not suffice. Additionally, the special explosion prevention regulations must always be complied with.

The prevention of condensation on cold installations alone can technically reasonable only be achieved through an insulation, the thickness of which is designed to ensure that the surface temperature is not below the dew-point temperature. Economically sound, however, even this arrangement is only possible if the relative humidity of the ambient air is $< 85\%$. This results for an ambient temperature of 20 °C in a tolerable surface temperature of about 2,5 K below the temperature of the ambient air.

2. Parameters influencing the surface temperature

The surface temperature of an insulation is dependent on:

- the temperature of the medium;
- the coefficient of thermal resistance of the insulation, which in turn is locally dependent on distancers and spacer constructions;
- the heat transfer conditions at the surface of the insulation, which in turn are dependent on the heat transfer by convection and thermal radiation;
- the lateral thermal conductance in the cladding, which governs the reduction of local temperature peaks;
- the temperature of the ambient air, both globally and locally;
- the existence of warmer or cooler surfaces with which the surface of the insulation is in radiation exchange. An extreme example is the sun (e. g. solar gain).

Von den genannten Einflussgrößen sind nur wenige mit genügender Zuverlässigkeit vorher bestimmbar, wesentliche Größen sind dem Einfluss des Isolierunternehmens gänzlich entzogen und auch in der Regel vom Auftraggeber nicht so genau prognostizierbar, dass sie als Grundlage für eine Vorausberechnung benutzt werden könnten. Dies gilt insbesondere für:

- Temperatur- und Strömungsverhältnisse der Umgebungsluft;
- Oberflächengeometrie, -temperatur, Strahlungsverhalten benachbarter Objekte, die mit der Isolieroberfläche im Strahlungsaustausch stehen.

Außerdem bewirken manche Einflussgrößen, beispielsweise Wärmebrücken, aber auch örtlich unterschiedliche Wärmeübergangsverhältnisse und Umgebungstemperaturen, dass die Oberflächentemperatur keine örtlich konstante Größe ist.

Es hängt von der zu isolierenden Anlage und ihrer Umgebung ab, ob die genannten Einflussgrößen genügend genau vorgegeben werden können, um die Einhaltung einer Oberflächentemperatur sicherzustellen.

In Anbetracht der genannten Einflussgrößen müsste man in vielen Fällen bei der Gewährleistung einer Oberflächentemperatur unverhältnismäßig hohe Sicherheitszuschläge machen, die in ihrer Summe zu wirtschaftlich unvertretbaren Isolierdicken führen würden.

Hierbei ist allerdings zwischen Wärme- und Kälteisolierungen zu unterscheiden. Besonders bei Anlagen mit hohen Mediumtemperaturen sind die Unsicherheiten, hervorgerufen durch hohe Wärmestrahlung von nichtisolierten Komponenten oder lokalen Überhöhungen der Umgebungstemperatur bei dicht liegenden Leitungen, größer als bei Kälteisolierungen.

Hinzu kommt, dass die Temperaturspitzen, die bei Wärmeisolierungen durch die gebräuchlichen metallenen Abstandshalter hervorgerufen werden, bei Kälteisolierungen nicht auftreten.

Die praktische Erfahrung hat gezeigt, dass bei Kälteanlagen bei genauer Kenntnis der Anlagen und entsprechend sorgfältiger Planung der Isolierung die Vermeidung von Tauwasser mit wirtschaftlich sinnvollem Aufwand bis zu einer relativen Feuchte der Umgebungsluft < 85 % gewährleistet werden kann (siehe hierzu Technischer Brief Nr. 8).

Of these parameters only a few can be calculated with satisfactory reliability; important factors are outside the sphere of influence of the insulation contractor, and neither can builders normally give a forecast of these precisely enough to serve as a foundation for an in-advance calculation. This applies specifically to:

- conditions of temperature and wind speed in the ambient air;
- geometry of the surface, surface temperature, surface radiation conditions of objects in the neighbourhood with which the insulated surface is in radiation exchange.

In addition, some parameters such as thermal bridges, but also locally different heat transfer conditions and ambient temperatures, result in local differences in the surface temperature.

It is dependent on the installation to be insulated and its surroundings, whether or not the parameters mentioned can be calculated with enough precision to ensure the compliance with a given surface temperature.

Considering the parameters mentioned, one would need to apply excessive safety increments to warrant a certain surface temperature. These safety increments would lead to economically unjustifiable insulation thicknesses.

However, one must differentiate between hot and cold thermal insulations here. Especially in installations with high medium temperatures, the uncertainties, created through high thermal radiation by non-insulated components or local peaks in the ambient temperature, where pipes run closely packed, are much greater than with cold insulations.

One must add that temperature peaks, caused in thermal insulations through the usual metallic spacers, do not exist on cold insulations.

Practical experience has shown that with cold insulations, provided exact knowledge of the installation and appropriately conscious design of the insulation, the warranty of the prevention of condensation is feasible up to a relative humidity in the ambient air of < 85 % with an economically reasonable expenditure (for details, see Technical Letter No. 8).

Bei warmgehenden Anlagen sind die Bedingungen häufig so ungünstig, dass die Einhaltung einer vorgegebenen Oberflächentemperatur nicht zugesichert werden kann.

With thermal installations, however, the conditions are frequently so disadvantageous that the compliance with a specified surface temperature cannot be warranted.

3. Begründung im Einzelnen

Gewährleistungen müssen eine sichere technisch-wissenschaftliche Basis haben und können nur bei bekannten Randbedingungen abgegeben werden. Es soll deshalb nachstehend diskutiert werden, wie sich die einzelnen Einflussgrößen auf die Oberflächentemperatur auswirken.

3. Substantiation in detail

Warranties must have a reliable technical-scientific basis and can only be given if the surface conditions are exactly known. Therefore, this paper will evaluate how the different parameters influence the surface temperature.

3.1 Stützkonstruktionen

Während bei Kälteisolierungen Stützkonstruktionen in der Regel aus Dämmstoffen oder aus Stoffen mit niedriger Wärmeleitfähigkeit bestehen, kommen bei Wärmeisolierungen häufig metallische Stützkonstruktionen zur Anwendung. Diese stellen Wärmebrücken dar und führen zu örtlich überhöhten Temperaturen.

3.1 Spacer constructions

Whilst with cold insulation systems spacer constructions are usually made of insulation material or other materials with low thermal conductivity, hot thermal insulations frequently carry metallic spacer constructions. These constitute thermal bridges and lead to local temperature peaks.

Ein Beispiel für den Verlauf der Oberflächentemperatur zeigt Bild 1:

An example for the temperature curve on an insulation surface is shown in Figure 1:

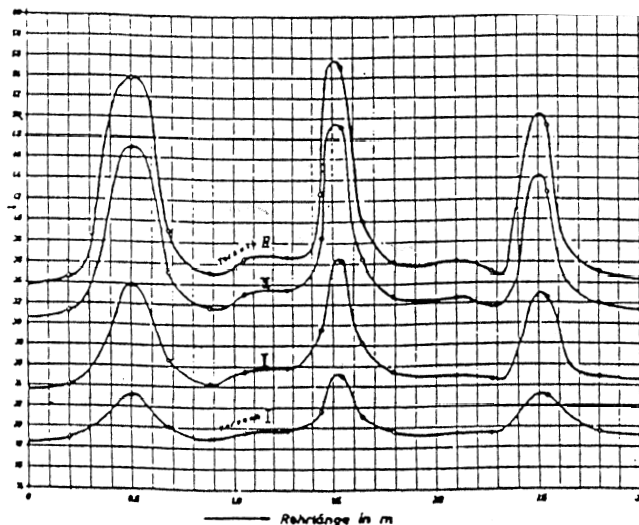


Bild 1: Gemessene Temperaturverteilung an der Oberfläche einer Blechummantelung mit Stützringen und Abstandshaltern aus 30 mm Bandstahl

Figure 1: Measured temperature distribution at the surface of a metal cladding with spacer-rings and distance holders made of 30 mm forged steel

Es ergibt sich in Längsrichtung ein zerklüftetes Temperaturgebirge. Dies wird in Umfangsrichtung durch eine sanft wellenförmige Temperaturkurve überlagert, die durch den Einfluss der Abstandshaltestege entsteht.

In longitudinal direction, steep variation is seen. Superimposed on this in circumferential direction is a smooth wavy temperature curve which is created by the distance-webs.

Eine zusätzliche Ungleichförmigkeit ergibt sich bei waagerechten Rohrleitungen und freier Konvektion, also in geschlossenen Räumen, durch einen über den Umfang unterschiedlichen Wärmeübergangskoeffizienten (siehe Kapitel 3.3). Wollte man eine Oberflächentemperatur vertraglich vereinbaren und dann messtechnisch überprüfen, so stellte sich bereits allein wegen dieser Einflüsse die Frage, an welcher Stelle die vereinbarte Temperatur zu messen wäre.

An additional irregularity is created with horizontal pipes and free convection, e. g. in buildings, through a surface coefficient of heat transfer differing around the periphery (see chapter 3.3). Should one want to specify the surface temperature in a contract and then check it by measuring, already these few influencing parameters would raise the question at which point on the surface the pre-determined temperature would have to be taken.

Hierfür gibt es verschiedene Möglichkeiten:

For this, different possibilities exist:

Erstens: Die ungestörte Temperatur ϑ_0 in der Mitte zwischen zwei Stützkonstruktionen. Diese Temperatur ist zwar einfach überprüfbar, jedoch werden hierbei nicht die erhöhten Temperaturen im Bereich der Stütz- und Tragkonstruktionen berücksichtigt. Außerdem ist zu beachten, dass sie von der Lage des Messpunktes auf dem Umfang abhängt (Bild 3).

First: The undisturbed temperature ϑ_0 in the middle between two spacer-rings. This temperature can easily be checked. However, this does not cater for the elevated temperatures in the area of support- and spacer constructions. Additionally it must be remembered that it is dependent on the position of the measuring point on the perimeter (Figure 3)

Zweitens: Die maximal auftretende Oberflächentemperatur ϑ_s an den Stützkonstruktionen. Aus Sicht des Berührungsschutzes erscheint diese Möglichkeit als durchaus sinnvoll. Sie führt aber zu unwirtschaftlichen Lösungen mit sehr hohen Isolierdicken, wie aus Tabelle 1 ersichtlich. Das mögliche Ziel des Berührungsschutzes lässt sich – wie schon gesagt – mit anderen Maßnahmen wie Schutzgittern oder Schirmblechen einfacher und wirtschaftlicher erreichen.

Secondly: The maximum surface temperature ϑ_s occurring over the spacer constructions. This value appears to be reasonable as far as personnel protection is concerned. However, it results in uneconomical solutions with very high insulation thicknesses as demonstrated in Table 1. The aim of personnel protection is – as pointed out before – more readily and economically achieved with other arrangements such as contact rails or safety guards.

Drittens: Eine über die gesamte Oberfläche gemittelte Temperatur ϑ_m . Dieses Verfahren berücksichtigt den gesamten Temperaturverlauf auf der Oberfläche und entspricht auch der Berechnungsvorschrift nach VDI 2055-1 und DIN EN 23993. Dort wird der Einfluss der Stützkonstruktionen mittel eines Zuschlagswertes $\Delta\lambda$ zur Wärmeleitfähigkeit auf die gesamte Länge eines Schusses verteilt. Geeignete Verfahren für die Mittelung sind im Technischen Brief Nr. 10 sowie in VDI 2055-3 beschrieben.

Thirdly: An average temperature ϑ_m , determined as a mean over the entire surface. This procedure includes the entire range of temperatures occurring at the surface and is in line with the calculation advice acc. to VDI 2055-1 and DIN EN 23993. There, the influence of spacer constructions is included by an allowance value $\Delta\lambda$, added to the thermal conductivity, distributed along the entire length of a shot. Procedures for the determination of the mean are being described in the Technical Letter No. 10 and in the VDI 2055 – 3.

Tabelle 1: Oberflächentemperatur auf einer Rohrleitung

$\vartheta_M = 400 \text{ °C}$	$\vartheta_0 \text{ in °C}$	$\vartheta_m \text{ in °C}$	$\vartheta_s \text{ in °C}$
s = 90 mm	54	62	110 – 130
s = 180 mm	35	39	65 – 75

Table 1: Surface temperatures of a pipe insulation

In Tabelle 1 ist für eine Rohrleitung DN 200 und eine Mediumtemperatur von 400 °C die Oberflächentemperatur ϑ_0 in der Mitte zwischen zwei Stützkonstruktionen, die über die Länge gemittelte Temperatur ϑ_m sowie die Temperatur ϑ_s an der Stützkonstruktion angegeben, wobei eine Umgebungstemperatur von 20 °C unterstellt wurde.

In Table 1, the surface temperature ϑ_0 in the middle between two spacer-rings, the longitudinal mean temperature ϑ_m and the peak temperature ϑ_s on a spacer-ring are given for a pipe NB 200 and a medium temperature of 400 °C. The ambient temperature is 20 °C.

Bei einer Isolierdicke von 90 mm wird im ungestörten Bereich die für einen Berührungsschutz vorgegebene Temperatur von 60 °C unterschritten, während im Bereich der Stützkonstruktionen Temperaturen von 110 °C bis 130 °C auftreten. Selbst wenn man die Isolierdicke auf 180 mm verdoppelte, würden an den Stützkonstruktionen noch Temperaturen von 65 °C bis 75 °C auftreten. Dies zeigt, dass der Versuch, einen Berührungsschutz allein durch Isoliermaßnahmen zu erzielen, zu unwirtschaftlichen Lösungen führen kann.

At an insulation thickness of 90 mm, the normal requirement for personnel protection, a top temperature for personnel protection of 60 °C, is undercut in the undisturbed area between two spacer-rings, whilst on the spacer-ring temperatures between 110 °C and 130 °C occur. Even a doubling of the insulation thickness to 180 mm would still not avoid temperatures between 65 °C and 75 °C on the top of the ring. This shows that an attempt to achieve personnel protection with insulation measures alone must lead to uneconomical solutions.

Hinzuzufügen ist, dass die in Tabelle 1 angegebenen Temperaturen ϑ_s im Bereich der Stützkonstruktionen Abschätzungen sind. Die tatsächlich auftretenden Temperaturen werden wesentlich dadurch bestimmt, wie gut der Kontakt zwischen Objekt und Stützkonstruktion sowie zwischen Stützkonstruktion und Blechmantel ist. Zuverlässige Rechenverfahren zur Ermittlung der Oberflächentemperaturen an den Stützkonstruktionen gibt es nicht.

It must be added that the temperatures ϑ_s given in Table 1 for the surface over the spacer-ring are estimates. The actual temperatures are strongly dependent on the degree of the contact between object and spacer-ring and between spacer-ring and cladding. Reliable calculation methods to establish the surface temperatures on spacer-rings do not exist.

3.2 Wärmeübergangsverhältnisse an der Isolierungsoberfläche

3.2 Heat transfer conditions at the insulation surface

Die Oberflächentemperatur einer Isolierung wird wesentlich durch den Wärmeübergangskoeffizienten bestimmt, der sich aus Anteilen der Konvektion und der Wärmestrahlung zusammensetzt, wogegen der Wärmeverlust nur sehr wenig vom Wärmeübergangskoeffizienten abhängt.

The surface temperature of an insulation is determined to a significant extent by the surface coefficient of heat transfer which is composed of convection and thermal radiation, whilst the heat loss has very little to do with the surface coefficient of heat transfer.

Beispiel:

Example:

Die Berechnung in Tabelle 2 gilt für eine Frischdampfleitung mit Mediumtemperatur $\vartheta_M = 530 \text{ °C}$ bei einer Umgebungstemperatur von 10 °C. In den insgesamt vier Beispielen wird sowohl der Emissionsgrad der Ummantelung als auch die Luftgeschwindigkeit als Variable geführt, und zwar einmal $\varepsilon = 0,09$ und $\varepsilon = 0,44$ und die Luftgeschwindigkeit ist 0 m/s und 5 m/s.

The calculation in Table 2 applies to a steam pipe with a medium temperature ϑ_M of 530 °C at an ambient temperature of 10 °C. A total of four examples has been calculated varying both the Emissivity of the cladding and the wind speed. Thermal radiation coefficients vary between $\varepsilon = 0,09$ and $\varepsilon = 0,44$, the air speed between 0 m/s and 5 m/s.

Aus den Ergebnissen ist zu entnehmen, dass eine gravierende Änderung dieser Randbedingungen sich nur gering auf die Wärmestromdichte auswirkt. Dagegen wird aber die mittlere Oberflächentemperatur sehr deutlich beeinflusst.

The results show that a substantial change in these fringe conditions influence the heat flow rate only marginally, whilst the average surface temperature is influenced substantially.

Tabelle 2: Einfluss von Emissionsgrad der Ummantelung und Windgeschwindigkeit auf die Oberflächentemperatur

Table 2: Influence of the emissivity of the cladding and wind speed on the surface temperature

Objekt: Rohrleitung im Freien:
Nennweite DN 200 Ummantelung: Aluminiumblech
Mediumtemperatur: 530 °C Isolierdicke: 240 mm

Object: Pipe in the open air:
Nominal diameter DN 200 cladding: aluminium sheet temperature of the medium: 530 °C insulation thickness: 240 mm

		1	2	3	4
Windgeschwindigkeit <i>Wind speed</i>	m/s	0,0	0,0	5,0	5,0
Emissionsgrad der Ummantelung <i>Emissivity of the cladding</i>	-	0,09	0,44	0,09	0,44
Wärmestromdichte <i>Density of heat-flow rate</i>	W/m ²	113,7	114,3	115,4	115,4
Mittlere Oberflächentemperatur <i>Mean surface temperature</i>	°C	37,3	29,8	16,2	15,7

Man erkennt, dass sich mit der Erhöhung des Emissionsgrades der Ummantelung bei ruhender Luft (Spalte 1 gegen 2) die Wärmestromdichte nur geringfügig, die Oberflächentemperatur sich dagegen wesentlich ändert.

One can see that the increase in the emissivity of the *cladding* at wind speed zero (column 1 against 2) influences the heat flow rate only marginally, but the surface temperature drastically.

Ebenso wirkt sich bei konstantem Emissionsgrad eine veränderte Luftgeschwindigkeit (Spalte 1 gegen 3; Spalte 2 gegen 4) auf die Wärmestromdichte sehr wenig, auf die Oberflächentemperatur dagegen erheblich aus.

The same results are caused at constant emissivity by changing the wind speed (column 1 against 3; column 2 against 4): the heat flow rate is changed minimally, yet the surface temperature on the contrary is influenced substantially.

Man erkennt aber auch weiterhin durch Vergleich der Spalten 3 und 1, dass die Oberflächentemperatur von 16,2 °C auf 37,3 °C angestiegen ist, obwohl sich die Wärmestromdichte sogar geringfügig verringert hat.

Additionally, it can be seen through comparison between columns 3 and 1, that the surface temperature has been increased from 16,2 °C to 37,3 °C. although the density of heat flow rate has even been lowered slightly.

Die Rechenergebnisse zeigen, dass die Wärmeübergangsverhältnisse die Oberflächentemperatur stark beeinflussen. Die Oberflächentemperatur ist nur dann ein Maß für den Wärmestrom, wenn der Wärmeübergangskoeffizient exakt bekannt ist. In der Praxis ist die Bestimmung des Wärmeübergangskoeffizienten sehr aufwändig.

These calculation results illustrate that the surface coefficient of heat transfer strongly influences the surface temperature. Only where the surface coefficient of heat transfer is exactly known, is the surface temperature a measure for the heat flow rate. In practice, the determination of the surface coefficient of heat transfer is very intricate.

Die stärksten Veränderungen der Oberflächentemperatur erfolgen jeweils zwischen der Luftgeschwindigkeit 0 m/s und 5 m/s: Geringe Veränderungen gegenüber dem Fall "stehende Außenluft" haben bereits Konsequenzen für die Oberflächentemperatur.

The biggest changes in the surface temperatures lies between the air speeds 0 m/s and 5 m/s: Slight changes of the condition „static ambient air“ have consequences for the surface temperature.

3.3 Lokal unterschiedliche Wärmeübergangsverhältnisse

Sowohl beim Wärmeübergang durch Konvektion als auch beim Wärmeübergang durch Wärmestrahlung können die lokal vorliegenden Wärmeübergangsverhältnisse von denen abweichen, die der Vorausberechnung zugrunde gelegt wurden.

Um bezüglich der Oberflächentemperatur auf der sicheren Seite zu liegen, muss der kleinste mögliche Wärmeübergangskoeffizient gewählt werden, während bei der Berechnung der Wärmeverluste der höchste auftretende Wärmeübergangskoeffizient – beispielsweise durch Wind – berücksichtigt werden muss. Es ist also bei der Berechnung der Oberflächentemperatur immer ruhende Luft mit freier Konvektion anzunehmen, da die Oberflächentemperatur umso höher ist, je kleiner der Wärmeübergangskoeffizient ist.

Die freie Konvektion entsteht durch Luftströmung, die sich dadurch ausbildet, dass bei Wärmeabgabe an die umgebende Luft diese leichter wird und nach oben steigt. Analog hierzu wird bei Kälteleitungen die umgebende Luft schwerer und fällt nach unten (Bild 2). Bei beengten Verhältnissen kann sich jedoch diese Luftströmung nicht in dem Maße ausbilden, wie dies bei den Formeln für den Wärmeübergang vorausgesetzt wurde.

3.3 Locally different conditions for surface heat transfer

With both the surface heat transfer through convection as well as the surface heat transfer through radiation, locally prevailing surface heat transfer conditions can differ from those assumed for the design calculations.

To be on the safe side regarding the surface temperature, the lowest possible surface coefficient of heat transfer must be selected, whilst for the calculation of heat loss, the highest possible surface coefficient of heat transfer – e. g. through wind speed – must be taken into account. Therefore, to calculate the surface temperature, one has always to assume static ambient air with free convection, since the surface temperature is higher, the lower the surface coefficient of heat transfer.

Free convection is the result of air movement, caused by the ambient air becoming lighter as it is warmed up and therefore rising. Equally, in the vicinity of cold piping, the ambient air becomes heavier and descends (Figure 2). In confined spaces, however, this air movement cannot develop to the extent which is assumed in the formula for the surface heat transfer.

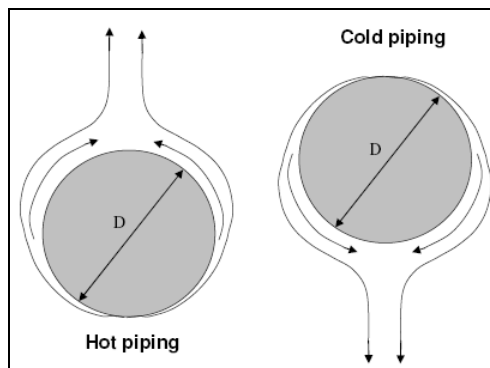


Bild 2. Freie Konvektion im Bereich einer heißen bzw. kalten Rohrleitung

Figure 2. Free convection in the vicinity of hot and cold piping

Der Wärmeübergangskoeffizient durch Konvektion wird deshalb kleiner und die Oberflächentemperatur nimmt zu bzw. nimmt bei Kälteisolierungen ab.

The surface coefficient of heat transfer through convection, therefore, becomes lower and the surface temperature increases or alternatively decreases in the case of cold insulation.

Die genauen örtlichen Verhältnisse sind bei der Projektierung der Isolierung häufig nicht bekannt und können deshalb nicht berücksichtigt werden. Außerdem lässt sich die verringerte Konvektion nicht abschätzen.

The exact local conditions are frequently unknown in the design phase of an insulation system and, therefore, cannot be taken into account. Additionally, the degree to which convection is hampered cannot be estimated in advance.

Die sich bei freier Konvektion ausbildende Luftströmung führt bei waagerechten Rohrleitungen zu unterschiedlichen Wärmeübergangskoeffizienten am Umfang der Oberfläche. Dieser ist bei Wärme abgebenden Rohrleitungen mit aufwärts strömender Luft am unteren Scheitelpunkt am höchsten und am oberen Scheitelpunkt am geringsten. Dies wiederum hat unterschiedliche Temperaturen zur Folge. Wie in Bild 3 qualitativ gezeigt, ist die Oberflächentemperatur auf der Unterseite am niedrigsten und steigt kontinuierlich zum oberen Scheitelpunkt hin an.

With horizontal pipes, the air movement, which develops under the conditions of free convection, causes differing surface coefficients of heat transfer around the perimeter of the insulation surface. This coefficient is highest at the lowest point of the perimeter and lowest at the summit, if the pipe releases heat and causes the air to rise. This, in its turn, causes different temperatures. As shown in Figure 3 qualitatively, the surface temperature is lowest on the underside of the pipe and rises continuously around the pipe towards the summit.

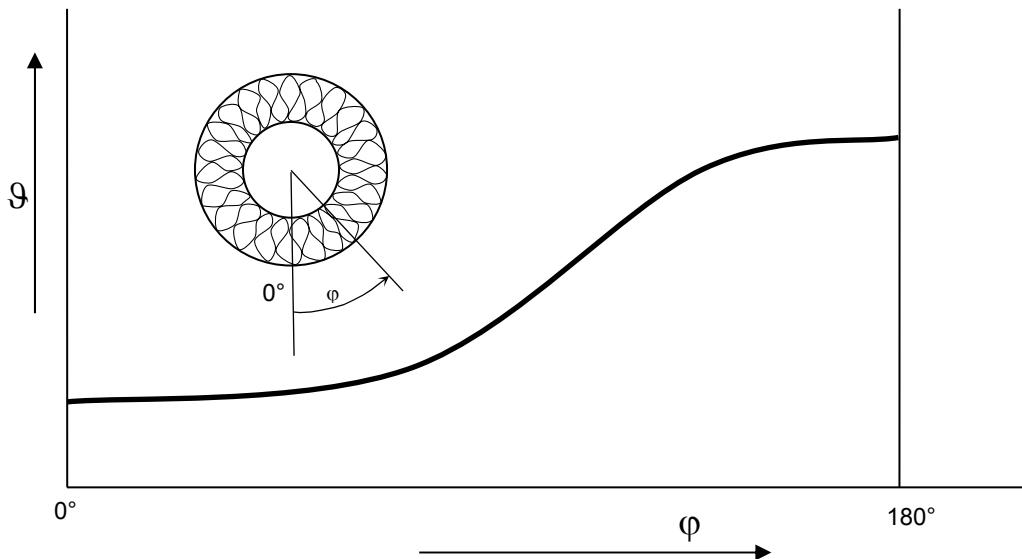


Bild 3. Umfangsabhängigkeit der Oberflächentemperatur bei einer Wärmeisolierung

Figure 3. Dependence of surface temperature on the perimeter of a thermal insulation

3.4 Strahlungsaustausch

Bei der Ermittlung der Oberflächentemperatur ist neben dem konvektiven Anteil des Wärmeübergangs auch der Anteil für Wärmestrahlung zu berücksichtigen. Tabelle 2 zeigt die Wirkung veränderter Strahlungskoeffizienten auf die Oberflächentemperatur.

Während für den konvektiven Wärmeübergang die Temperatur der umgebenden Luft maßgebend ist, sind für den Wärmestrahlungsanteil die Temperaturen der umgebenden Flächen maßgebend, mit denen die zu prüfende Oberfläche im Strahlungsaustausch steht.

In der Regel wird vereinfachend angenommen, dass diese Flächen die Temperatur der umgebenden Luft hätten.

3.4 Radiation exchange

In calculating the surface temperature, both the convective and the radiative parts of surface heat transfer must be taken into account. Table 2 shows the effect of changing radiation coefficients on the surface temperature.

Whilst the surface heat transfer through convection is governed by the temperature of the ambient air, the surface heat transfer through radiation is dependent on the temperatures of neighbouring surfaces with which the surface in question is in radiation exchange.

As a general rule, the simplifying assumption is made that these surfaces had the temperature of the ambient air.

Liegen nun aber sehr beengte Verhältnisse mit Rohrleitungsisolierungen vor, die dieselbe Oberflächentemperatur wie die betrachtete Isolierung haben, so wird ein Teil des Strahlungswärmeverlustes kompensiert, und es kommt an den Stellen der Oberfläche, die den benachbarten Flächen gegenüberliegen, zu erheblichen Temperaturerhöhungen.

Liegen der Isolierungsoberfläche andere Oberflächen mit noch höheren Temperaturen gegenüber, so kommt es zu weiteren Temperaturerhöhungen. Ein extremes Beispiel ist die Sonnenstrahlung.

Umgekehrt können durch Abgabe von Strahlungswärme an den kalten, klaren Nachthimmel Oberflächentemperaturen auftreten, die auch bei einer Wärmeisolierung zeitweise unterhalb der Temperatur der umgebenden Luft liegen und möglicherweise zur Tauwasserbildung führen. Dieses Phänomen ist von Freileitungen her bekannt und führt bei nicht hinterlüfteten Ummantelungen häufig zu Feuchteschäden.

In geschlossenen Räumen ist ferner zu beachten, dass in der Regel keine einheitliche Raumlufttemperatur herrscht:

- An senkrechten Rohrleitungen und Wänden erwärmt sich die aufsteigende Luft, so dass deren Temperatur mit zunehmender Höhe zunimmt. Dies führt zu einer kontinuierlich ansteigenden Oberflächentemperatur mit zunehmender Höhe.
- Außerdem kann besonders bei sehr eng nebeneinander liegenden Leitungen die lokale Lufttemperatur infolge Wärmeabgabe erheblich über der spezifizierten Raumtemperatur (globale Umgebungstemperatur) liegen. Diese Schwierigkeit versucht man häufig dadurch zu umgehen, dass man – wie dies auch in der Einleitung als Beispiel genannt wurde – anstelle der Oberflächentemperatur die Übertemperatur vorgibt und vorschreibt, die Lufttemperatur in 1 m Abstand von der Oberfläche zu messen.

Der Abstand von 1 m hat keinen technischen Hintergrund und ist willkürlich gewählt.

Das sich bei beengten Platzverhältnissen die Temperatur steigernden Effekte, wie erhöhte Lufttemperatur durch Wärmeabgabe der Rohrleitungen, verminderte Ausbildung der freien Konvektion sowie verminderte Wärmeabstrahlung, addieren, ist besonders hier die Gewährleistung von Oberflächentemperaturen problematisch.

However, if other pipe insulations are in close vicinity, which have the same surface temperature as the insulation in question, then a portion of the heat loss through radiation from the surface is compensated through the radiated heat from the other surfaces. This results in considerably increased temperatures of those areas of the surface which face the neighbouring surfaces.

If the insulation surfaces are facing other surfaces of even higher temperatures, the surface temperature is further increased. An extreme example is the radiation from the sun.

Inversely, the heat loss through radiation to the clear cold night sky can cause surface temperatures which lie even at a hot insulation temporarily below the temperature of the ambient air and might cause condensation. This phenomenon is known from pipes in the open and can cause damage through humidity if the cladding is not vented.

In buildings, one has additionally to take into account that normally no uniform room air temperature prevails:

- Near vertical pipes and walls, the rising air is warmed so that with increasing elevation its temperature increases. This leads to a continuously rising surface temperature with increasing elevation.
- Additionally, especially if pipes run in close proximity to each other, the local air temperature can be considerably above the specified temperature in the building (global ambient temperature) as a result of heat transfer. It is frequently attempted to circumvent this difficulty by referring to the excess temperature instead of the surface temperature – as was pointed out in the Introduction – demanding that the air temperature is measured at 1 m distance from the surface.

The distance of 1 m has no technical background and has arbitrary been chosen.

Since in close spacing conditions the temperature-increasing effects, such as increased temperature of the ambient air through heat transfer from other pipes, hampered development of free convection and reduced heat loss through radiation, add up their effects, the warranty of a surface temperature is specifically critical under such conditions.

4. Zusammenfassung

Einen einfachen Zusammenhang zwischen der Oberflächentemperatur einer Isolierung und ihrer Wärmeschutzwirkung gibt es nicht. Die Zusammenhänge sind sehr komplex. Deshalb ist es nicht zulässig, allein von Oberflächentemperaturen auf die Höhe von Wärmeverlusten eines Dämmsystems zu schließen.

Das Verlangen, die Oberflächentemperatur einer Isolierung zu gewährleisten, hat keine technische Basis, weil die Oberflächentemperatur von einer Reihe physikalischer Parameter abhängt, die nicht immer berechnet oder sicher abgeschätzt werden können. Es kann daher nicht empfohlen werden, auf ein derartiges Verlangen einzugehen.

Diese Festlegung einer maximal zulässigen Wärmestromdichte beruht auf der Absicht, Energie einzusparen, einen chemischen Prozess führen zu können, die Auskühlung eines Mediums zu verlangsamen oder auf ähnlichen objekt- oder mediumbezogenen Absichten. Hierbei handelt es sich um die Hauptaufgabe des Wärmeschutzes, nämlich die Verminderung von Wärmeströmen.

Die Forderung nach einer maximal zulässigen Oberflächentemperatur einer Isolierung kann nur in der Arbeitssicherheit für das Betriebspersonal sinnvoll begründet sein. Oberflächen dürfen in leicht berührbaren Bereichen nur so warm werden, dass eine Verbrennung nicht möglich ist.

Lässt sich die maximal zulässige Oberflächentemperatur nicht einhalten, sind andere Maßnahmen zu ergreifen. Dies kann z. B. durch zusätzliche, auf Distanz angebrachte Schutzgitter oder Schirmbleche erfolgen.

Bei Kälteisolierungen ist das Einhalten einer festgelegten Oberflächentemperatur zur Verhinderung von Tauwasser auf der Oberfläche eine technisch begründete Forderung und ein Kriterium für die Ermittlung der Isolierdicke.

Zur sicheren Verhinderung von Tauwasser müssen auch hier die dargelegten Einflüsse, wie z. B. verringerter Wärmeübergangskoeffizient, niedrigere Lufttemperatur bei dicht liegenden Leitungen, verringerte Wärmestrahlung durch gegenüberliegende Flächen gleicher Temperatur, beachtet werden.

4. Summary

In practice, a simple relation between the surface temperature and the insulating value of an insulation system does not exist. The interdependence is very complex. It is, therefore, not admissible, to deduce the heat losses of an insulation system from the surface temperature alone.

The demand to warrant the surface temperature of an insulation system has no technical justification, since the surface temperature is dependent on a number of physical parameters which cannot be calculated or estimated with the necessary degree of certainty. It can, therefore, not be recommended to yield to such a demand.

The designation of a maximum heat flow density stems from the intent to save energy, to achieve the development of a chemical process, to slow the cooling of a medium or from similar object- or medium-oriented goals. This is the main aim of heat retention, the minimisation of heat flow rates.

The requirement for a maximum admissible surface temperature of an insulation system can sensibly only be justified through concern for personnel protection. External surfaces in contact areas must only be so warm that there is no risk of burns.

Where it is impossible to maintain a maximum admissible surface temperature, other precautions must be taken. These, however, can more readily be prevented through guard-rails or distance sheets.

For cold insulations, the maintenance of a pre-calculated surface temperature to prevent condensation can be a technically sound demand and a yardstick for the calculation of the insulation thickness.

However, for the reliable prevention of condensation, the influencing parameters discussed here, such as reduced coefficients of heat transfer, low temperatures of the ambient air where pipes run in close proximity, reduced thermal radiation through adjacent surface of the same temperature, must also be taken into consideration.

Die notwendigen Einzelheiten und die **vor** der Auslegung einer Kälteisolierung zur Tauwasser-
verhütung zu vereinbarenden Umgebungsbedin-
gungen sind im Technischen Brief Nr. 8 beschrie-
ben.

Fazit:

**Es ist technisch nicht möglich, bei Isoliermaß-
nahmen die Oberflächentemperatur unabhän-
gig von eindeutig und vollständig definierten
Umgebungsbedingungen zu gewährleisten.**

The necessary details and the ambient conditions
to be agreed upon **prior to** the design of a cold
insulation to prevent condensation are explained in
the Technical Letter No. 8

Conclusion:

**For thermal insulations, it is technically not fea-
sible to warrant the surface temperatures inde-
pendently of fully established ambient condi-
tions.**

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:

- Helmut Bramann
- Peter Bernhoff
- Stefan Debold
- Gerd Gollenstede
- Theodor Haack
- 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



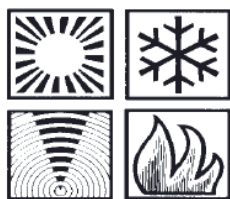
Das Bestellformular mit allen aktuellen Ausgaben technischer und kaufmännischer Briefe der BFA WKSb ist im Internet abrufbar unter www.bauindustrie.de/wksb

- [Stück] **Nr. 1 "Thermische Probleme an Versteifungen bei großdimensionierten, warmgehenden Objekten – *Problems of thermal stress in metal reinforcements of large-dimensional objects with elevated service temperatures*", (Juli 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*", (Juli 2014, 6. überarbeitete Auflage)**
- [Stück] **Nr. 4 "Arbeitsblatt: Aufmaßsystem für Isolierungen", (Mai 1999, 3. überarbeitete Auflage)**
- [Stück] **Nr. 5 "Zur Problematik der Gewährleistung von Oberflächentemperaturen – *Problems associated with the warranty of specified surface temperatures*", (September 2015, 4. 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*", (Juli 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