



Thermische Probleme an Versteifungen bei großdimensionierten, warmgehenden Objekten

Problems of thermal stress in metal reinforcement of
largedimensional hot objects

Thermische Probleme an Versteifungen bei großdimensionierten, warmgehenden Objekten
Problems of thermal stress in metal reinforcements of large-dimensional hot objects

Inhalt
Contents

1	Problem <i>Problem</i>	2
2	Grundsätzliche Betrachtungen zu instationären Temperaturverteilungen bei Aussteifungsprofilen <i>Principal considerations concerning the non-steady-state temperature distribution in reinforcing stiffeners</i>	3
3	Beispiele <i>Examples</i>	4
4	Schlussfolgerung <i>Conclusions</i>	7

1 Problem

Bei der Isolierung von warmgehenden Objekten – insbesondere großdimensionierten Kanälen wie sie bei Reaktoren, Rauchgasentschwefelungs- und -entstickungsanlagen vorkommen – ist zu beachten, dass die Versteifungsprofile der Kanalwand immer eine Wärmebrücke darstellen. Daraus resultieren zwei Probleme:

- Der erhöhte Wärmestrom über die Wärmebrücke führt zu Temperaturabsenkungen an den Innenwänden der Kanäle. Hier kann es an der Kanalinnenwand zur Unterschreitung der Taupunkttemperatur des Rauchgases kommen. Der resultierende kurzzeitige Säureausfall bei jedem An- und Abfahren der Anlage führt mittelfristig zu einem deutlich erhöhten korrosiven Angriff auf der Kanalinnenwand. Diese Problematik ist nicht Thema dieses Briefes.
- Bei unzulässig hohen Temperaturdifferenzen zwischen der Innen- und Außenseite der Profile können innerhalb dieser unzulässig hohe Spannungen auftreten, die zu Verformungen (Verbiegungen) und damit zu Abrissen der Schweißnähte führen können. Deshalb werden in der Regel maximal zulässige Temperaturdifferenzen vorgeschrieben, die durch eine geeignete Konstruktion und Dimensionierung der Isolierung eingehalten werden muss.

Das Einhalten der vorgegebenen Temperaturdifferenzen ist für den stationären Betrieb, also dann, wenn sich die Rauchgastemperaturen nicht ändern, im Allgemeinen dann nicht problematisch:

- wenn bei Verstärkung über 100 mm die volle Isolierschichtdicke eingehalten wird,
- bei Verstärkungen bis 100 mm die Isolierschichtdicke noch mindestens 1/3 der ungestörten Isolierschichtdicke entspricht.

Schwierigkeiten können jedoch im instationären Betrieb – zeitlich veränderliche Rauchgastemperaturen beim Anfahren oder Abfahren der Anlage – auftreten.

Wird die Anlage hochgefahren, so folgt die Temperatur der Kanalwandung sowie der Innenseite der Aussteifungsprofile dem Anstieg der Rauchgastemperatur, während die Außenseiten der Profile zunächst noch kalt bleiben und die Temperaturen erst nach längerer Verzögerung ansteigen. Dadurch können Temperaturdifferenzen entstehen, die wesentlich höher sind als im stationären Betrieb.

1 Problem

For the insulation of hot objects – especially large-dimensional ducts as found in nuclear power plants, flue gas desulphurisation and denitronisation systems, it must be taken into consideration that reinforcing stiffeners on the duct wall always constitute thermal bridges. Two problems result:

- The increased heat flow through the thermal bridge leads to reduced temperatures at the inner surface of the duct wall. This may lead to temperature below the dew point temperature of the flue gas on that inner surface of the duct wall. The resulting short-term condensation of acid at the inner surface of the duct wall during each starting and shut-down process of the installation lead to a significantly increased corrosive attack there. This problem is not considered in this paper.
- With unacceptable high temperature differences between the inner and the outer edge of the stiffeners, thermal stress may result leading to distortion of profiles resulting in cracking of welded seams. For this reason, one generally determines maximum admissible temperature differences that are to be maintained through an appropriate construction and dimensioning of the insulation.

The limitation to the temperature differences demanded does not constitute a problem in steady-state service, i. e. with flue-gas temperatures not changing, as long as the required insulation material coverage on the outside of the stiffeners – 1/3 s for stiffeners up to 100 mm, but full insulation thickness s for stiffeners over 100 mm – is observed.

Difficulties, however, may occur during non-steady-state operations, where flue-gas temperatures change over time, as the installation is started up or shut down.

On starting up the installation, the temperature on the inner surface of the wall and the inner edges of the reinforcing stiffeners follows the increasing flue-gas temperature, whilst the outer edges of the stiffeners remain cold, and the temperature there increases only after a considerable delay. This may lead to temperature differences substantially above those during steady-state operations.

Die Höhe dieser „stationären Temperaturdifferenzen“ hängt von vielerlei Faktoren ab:

- Temperaturanstiegsgeschwindigkeit des Gases: je schneller die Anlage angefahren wird, umso höher sind die Temperaturdifferenzen.
- Größe der Profile: bei großen Profilen mit großen Massen treten höhere Temperaturdifferenzen auf als bei kleinen.
- Geometrie der Aussteifungsprofile.
- Wärmeleitfähigkeit der eingesetzten Materialien.
- Wärmeübertragungsverhältnisse.

Um die Temperaturdifferenzen abzumindern, muss dafür gesorgt werden, dass möglichst viel Wärme durch Strahlung und Konvektion von der Kanalwand an die äußeren Schenkel der Aussteifungsprofile transportiert wird. Dies kann – falls technisch durchführbar – geschehen, indem ein breiter Rand der Kanalwand nicht isoliert und eine konturfolgende Isolierung ausgeführt wird.

Diese und andere Maßnahmen im Isolierbereich sind jedoch nur beschränkt wirksam. Bei großen Aussteifungsprofilen lassen sich die stationären Temperaturdifferenzen auch mit „besten Isolierungen“ nicht auf zulässige Werte reduzieren. Es sind deshalb andere Maßnahmen – außerhalb des Isoliergewerkes – notwendig. Diese können z. B. darin bestehen, dass anstelle eines großen Profils mehrere kleine Profile verwendet werden, dass die Anfahrsgeschwindigkeit der Anlage gesenkt wird, oder dass die Außenflansche eine Zusatzheizung erhalten.

2 Grundsätzliche Betrachtungen zu stationären Temperaturverteilungen bei Aussteifungsprofilen

Die Profiltemperaturen werden von den geometrischen Gegebenheiten und den Werkstoff- bzw. Dämmstoffkennwerten beeinflusst.

Einige grundsätzliche Aussagen können für die in Abb. 1 und 2 dargestellten Ausführungsvarianten gemacht werden.

Bei der in Abb. 1 dargestellten einfachen Aussteifungsrippe (Flachstahl; kleiner als 100 mm) kann man davon ausgehen, dass die Temperatur am Profilrand ungefähr der Temperatur am Innenrand entspricht, wenn die vorhandene Dämmstoffüberdeckung d genügend groß ist (siehe Abschnitt 1). In diesem Fall entstehen keine hohen thermischen Spannungen. Das „Taupunkttemperaturproblem“ an der Kanalinnenseite ist jedoch auch hier zu prüfen.

The magnitude of these „on-steady-state temperature differences“ is dependent upon a variety of factors:

- Speed of temperature increase in the flue gas: the faster the installation starts up, the higher the temperature differences.
- Size of the stiffeners: with big profiles and large masses, the temperature differences are higher than with smaller profiles.
- Shape of reinforcing stiffeners.
- Thermal conductivity of materials used.
- Thermal transmission conditions.

To lower the temperature differences, measures must be taken to allow for the movement of as much heat as possible through radiation and convection from the duct wall to the outer edge of the reinforcing stiffeners. This may be achieved – if technically feasible – by leaving an ample portion of the duct wall uninsulated.

These and other measures in the area of insulation are, however, of limited effect. With big reinforcing stiffeners, the non steady-state temperature differences cannot be reduced to acceptable levels, even through „the best possible insulation“. Therefore, other measures – outside the control of the insulation trade – are required. Such measures could be e. g. to use several smaller stiffeners instead of one large one, to reduce the rate of temperature increase when starting up the installation, or to install a tracer heating along the outer edge of the stiffeners.

2 Principal considerations concerning the non-steady-state temperature distribution in reinforcing stiffeners

The temperatures in the reinforcing stiffeners are influenced by their shapes, and the appropriate steel and insulation material design values.

Some observations of principle can be made for the design examples given in Figures 1 and 2.

The simple reinforcing fin shown in Figure 1 (steel sheet; smaller than 100 mm) would generally have roughly equal temperatures at the inner and outer edges, providing the insulation material coverage d is sufficiently extensive (see chapter 1). In this case, no elevated thermal stress occurs. The „dew point temperature problem“ on the inner surface of the duct wall, however, must also be considered in this case.

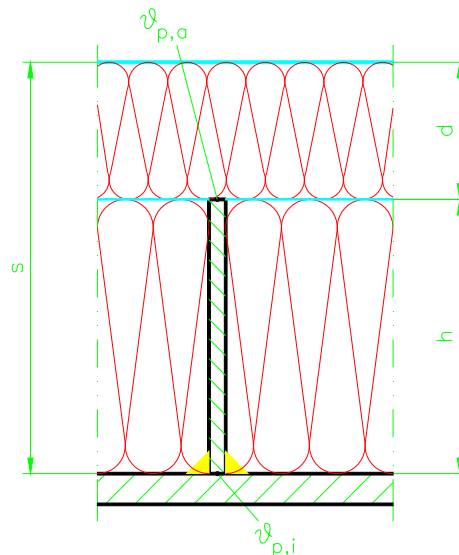


Abbildung 1

Figure 1

Im Gegensatz hierzu ist die Temperatur am Außenflansch des in der Regel größer dimensionierten I-Profils (normalerweise Steghöhe größer als 100 mm) niedriger als am Innenflansch, da wegen des Außenflansches größere Massen zu erwärmen sind und wegen der größeren Steghöhe der Wärmetransport länger dauert.

Contrary to this example, the temperature on the outer flange of the normally bigger I-profile (double T-profile – generally with webs exceeding 100 mm) is definitely lower than that of the inner flange, since bigger masses must be heated on the outer edge and the heat transport requires more time due to the length of the web.

Häufig wird vom ausführenden Isoliergewerbe verlangt, einen rechnerischen Nachweis für die auftretenden Temperaturdifferenzen – ggf. im dargelegten Anfahrbetrieb – zu erbringen. Derartige Berechnungen können mit numerischen Verfahren, wie den Finiten Differenzen- oder den Finiten Element-Verfahren durchgeführt werden. Jedoch ist zu beachten, dass mit diesen Verfahren zwar die Wärmeleitung innerhalb der Profile beliebig genau berechnet werden kann, bezüglich des Wärmetransportes durch Strahlung oder Konvektion jedoch Annahmen getroffen werden müssen, deren Genauigkeit sich nur sehr schwer abschätzen lässt. Dies gilt insbesondere für die Wärmestrahlung. Hier sind die Oberflächeneigenschaften von Kanalaußenwand und Aussteifungsprofil von ausschlaggebender Bedeutung. Sie sind dem Isolierunternehmen nicht in der notwendigen Genauigkeit bekannt. Bei der Abgabe von Gewährleistungen auf Basis solcher Berechnungen ist deshalb Vorsicht geboten.

Frequently, insulation contractors are required to prove mathematically the temperature differences to be expected – normally calculated against known warming-up conditions in the start phase of the installation. Such calculations can be computed with numerical procedures such as the finite difference or the finite element methods. However, it must be remembered that with these methods the thermal conduction inside the stiffeners can be calculated satisfactorily exact, however, assumptions must be made regarding the movement of heat through radiation and convection, the precision of which is very difficult to assess. This applies especially to radiation. Here, the surface conditions of the duct wall and the reinforcing stiffener are of decisive importance. They are not known to the insulation contractor with the precision required. Therefore, the declaration of warranties on the basis of such calculations should be cautioned against.

3 Beispiele

3 Examples

Für eine konturfolgende Isolierung eines Profils IPE 360 nach Abb. 2a sind nachfolgend einige Ergebnisse von Finite-Element-Berechnungen angegeben. Abb. 3 zeigt den zeitlichen Temperaturanstieg bei der ungestörten Kanalwand und dem Innen- und dem Außenflansch bei Anfahrgeschwindigkeiten 1,6 K/min und 0,4 K/min.

For insulation following the surface of a profile IPE 360 as in Figure 2a, some results of finite element calculations are given below. Figure 3 shows the temperature increase over time at a non-disturbed duct wall and the inner and the outer edges of the reinforcing flange, when the warming-up transients are 1,6 K/min and 0,4 K/min.

Die maximal auftretenden Temperaturdifferenzen für ein nach Abb. 2a isoliertes Profil IPE 400 sind für verschiedene Anfahr- und Abfahr- sowie für den stationären Betrieb in Tabelle 1 angegeben.

The maximum occurring temperature differences for a profile IPE 400 insulated according to Figure 2a, are given for different warming-up transients and for steady-state operations in Table 1.

Tabelle 2 zeigt die maximalen Temperaturdifferenzen für hohlraumisierte I-Profile nach Abb. 2b.

Table 2 shows the maximum temperature differences for I-profiles, insulated with air gaps according to Figure 2b.

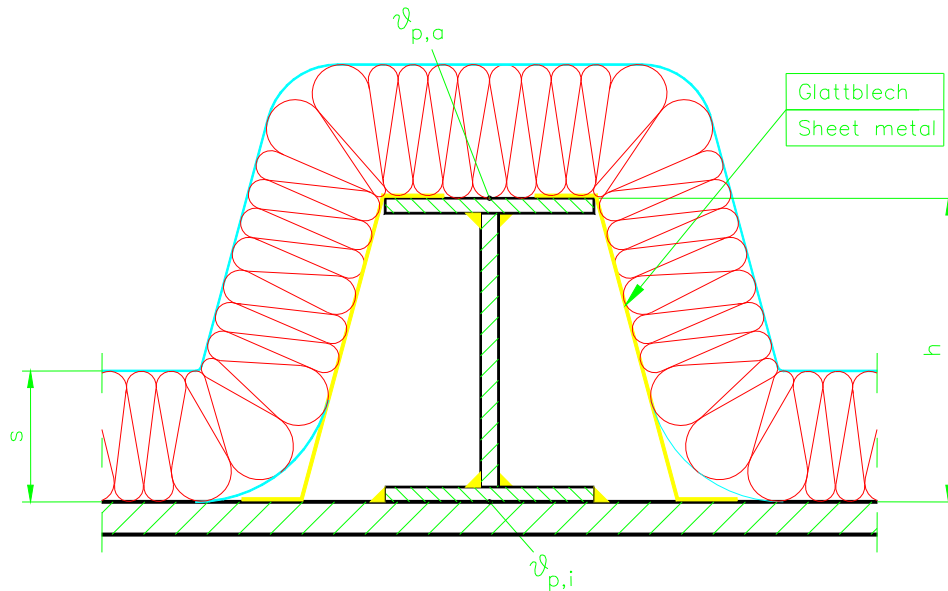


Abbildung 2a: Konturfolgende Isolierung

Figure 2a: Insulation following the surface

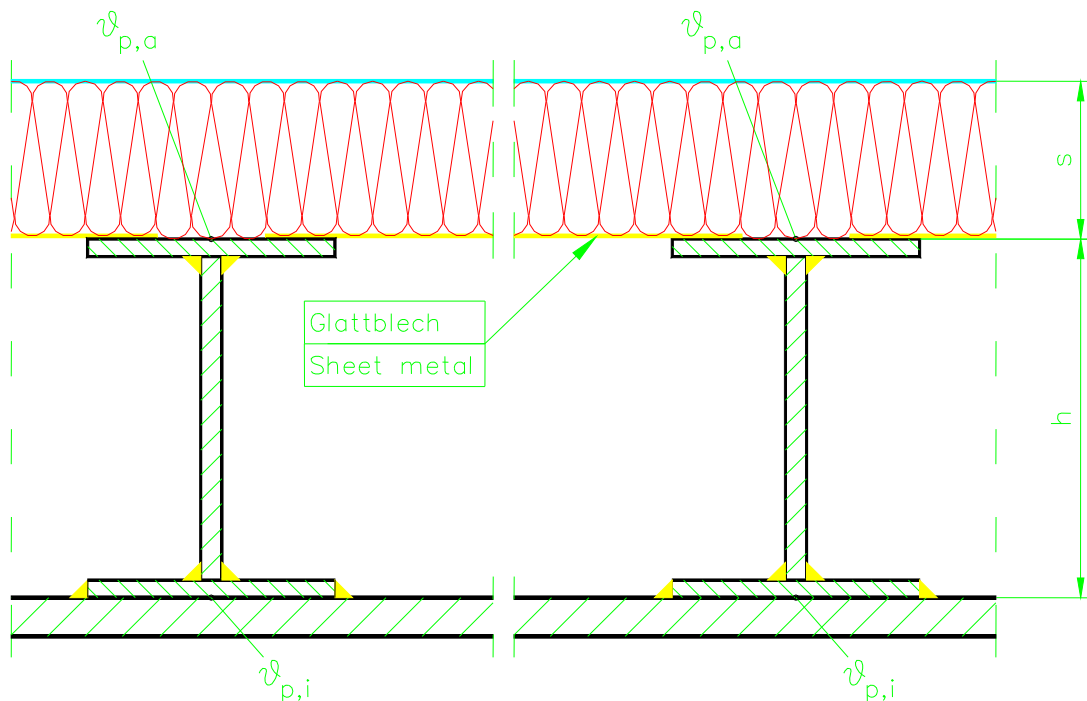


Abbildung 2b: Hohlraumisolierung

Figure 2b: Insulation with air gap

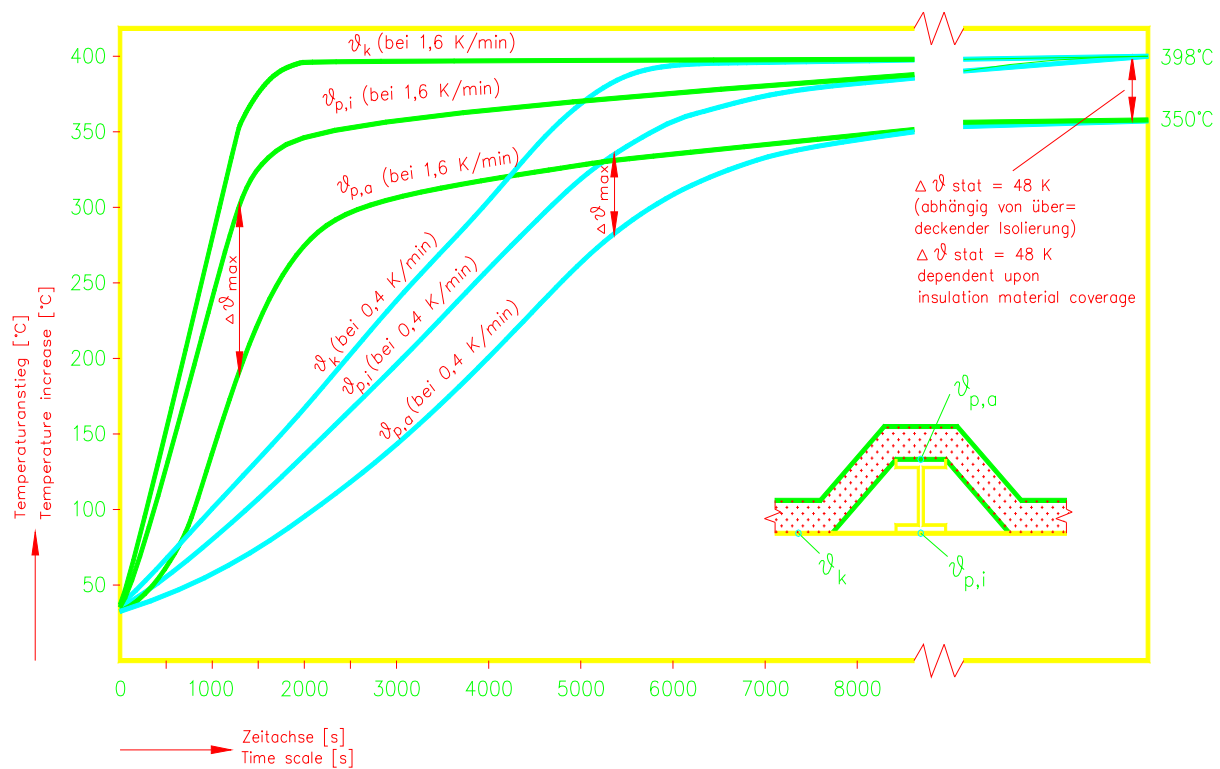


Abbildung 3: Zeitlicher Temperaturanstieg bei einem IPE-360-Profil
Anfahrsgeschwindigkeiten
0,4 K/min und 1,6 K/min

Figure 3: Temperature increase over time with an IPE-360-profile
Warming-up transients 0,4 K/min and 1,6 K/min, respectively

STATIONÄR STEADY-STATE		INSTATIONÄR Ausgangstemperatur = +40 °C NON-STEADY-STATE Initial temperature = +40 °C		
Profil Profile	Temperaturdifferenz der Flansche = $\Delta\vartheta$ in K Temperature differences in stiffeners = $\Delta\vartheta$ in K	Profil Profile	Temperaturdifferenz der Flansche = $\Delta\vartheta$ in K Temperature difference in stiffeners = $\Delta\vartheta$ in K	Anfahrsgeschwindigkeit in K/min Warming up transient in K/min
IPE 400	ca. (about) 35	IPE 400	130	1,6
		- " -	100	0,8
		- " -	80	0,4
		- " -	50-60	0,2

Tabelle 1: Temperaturdifferenzen der Flansche bei konturfolgender Isolierung (gemäß Abb. 2a)

Table 1: Temperature differences in stiffeners with insulation following the surface (according to Figure 2a)

STATIONÄR STEADY-STATE		INSTATIONÄR Ausgangstemperatur = +40 °C NON-STEADY-STATE Initial temperature = +40 °C		
Profil Profile	Temperaturdifferenz der Flansche = $\Delta\vartheta$ in K Temperature differences in stiffeners = $\Delta\vartheta$ in K	Profil Profile	Temperaturdifferenz der Flansche = $\Delta\vartheta$ in K Temperature difference in stiffeners = $\Delta\vartheta$ in K	Anfahrsgeschwindigkeit K/min Warming-up transient in K/min
IPE 400	ca. (about) 10	IPE 400	ca. (about) 50-60	1,6
		- „ -	ca. (about) 40	0,8
		- „ -	90	2,0
IPE 460	ca. (about) 10	IPE 460	75	1,6
		- „ -	50	0,8
HEA 300	ca. (about) 10	HEA 300	57	1,6
		- „ -	45	0,8
IPE 370	ca. (about) 10	IPE 370	53	1,6
		- „ -	34	0,8
IPE 300	ca. (about) 10	IPE 300	45	1,6
IPE 270	ca. (about) 10	IPE 270	42	1,6

Tabelle 2: Temperaturdifferenzen der Flansche bei Hohlraumisolierung (gemäß Abb. 2b)

Table 1: Temperature differences in flanges with “air-gap” insulation (according to Figure 2b)

Die Ergebnisse zeigen, dass besonders beim Hochfahren der Anlage mit kritischen Spannungsspitzen zu rechnen ist. Die Anfahrsgeschwindigkeit hat hierauf maßgebenden Einfluss.

The results show that especially whilst starting up the installation, critical stress maxima must be expected. The speed of the start phase has decisive influence.

Ein Vergleich der beiden untersuchten Varianten macht deutlich, dass die Hohlraumisolierung gegenüber der konturfolgenden Isolierung sowohl bei stationären als auch bei instationären Verhältnissen kleinere Temperaturdifferenzen aufweist. Die gemachten Aussagen gelten jedoch nur, wenn unkontrollierte Konvektionseinflüsse verhindert werden können.

A comparison of the two designs considered here makes it obvious that the air-gap insulation compared to the surface-following insulation results in smaller temperature differences for both the steady-state and the non-steady-state conditions. These observations, however, only hold true when uncontrolled convection influence can be prevented.

4 Schlussfolgerung

4 Conclusions

Bei der Isolierung von großdimensionierten, warmgehenden Objekten sind besonders wärmetechnische Überlegungen notwendig. Zusätzlich sind Untersuchungen über mögliche Verformungen der Versteifung aufgrund von Temperaturdifferenzen erforderlich. Dies gilt insbesondere für instationäre Betriebszustände wie An- und Abfahrbetrieb und für Störfälle.

For the insulation of large-dimensional, hot objects, special thermal technical considerations are required. Additionally, investigations of possible deformations of stiffeners as a result of temperature differences are needed. This applies specifically to non-steady-state operation conditions such as start-up and shut-down phases and to accidents.

Ein rechnerischer Nachweis über die in der Stahlkonstruktion des Objektes maximal auftretenden thermischen Spannungen fällt nicht in den Aufgabenbereich der Isolierfirmen. Die Art des gewählten statischen Systems und der zu berücksichtigenden statischen und ggf. dynamischen Belastungen liegt im Verantwortungsbereich des Anlagenbauers.

A mathematical proof of the maximum occurring thermal stresses in the steel construction of an object is not within the area of responsibility of the insulation contractor. The static system selected and the static and dynamic stresses to be born by the construction are the responsibility of the installation contractor.

Dennoch sollte bei Vertragsverhandlungen diese Problematik zur Sprache gebracht und der Auftraggeber darauf aufmerksam gemacht werden. Es könnte nämlich eine Hinweispflicht auf mögliche Schäden bestehen, wenn die wegen der Dimensionierung der Versteifung und der auftretenden Temperaturdifferenzen in der Anlage zu erwartenden Temperaturspannungen zu Schäden führen könnten.

In Grenzfällen kann sich sogar die Notwendigkeit ergeben, mit einer Zusatzheizung an den äußeren Seiten der Versteifungen für eine gleichmäßige Erwärmung der Versteifung beim Anfahren der Anlage zu sorgen.

Nevertheless, this problem should be addressed when discussing contracts and the builder should be made aware of it. There could be an obligation to caution against possible damages, if the thermal stresses foreseen as a result of the layout, the size of the reinforcements, and the temperature differences to be expected could lead to damages.

In critical cases, even the necessity may occur to ensure a proportionate temperature increase at the outer edges of the reinforcements in the warming-up phase of the installation by installing an extra heating system.

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

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>", (August 2014, 5. 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>", (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 – <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>", (August 2014, 4. 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>", (November 2011, 3. überarbeitete Auflage) |
| [Stück] | Nr. 9 "Messverfahren – <i>Methods of measuring</i>", (März 2013, 3. überarbeitete Auflage) |
| [Stück] | Nr. 10 "Messstellen für thermische Messungen – <i>Measuring points for thermal measurements</i>", (August 2012, 1. überarbeitete Auflage) |
| [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“, (August 2012, 1. überarbeitete Auflage) - „<i>European harmonised standards for insulation materials for technical installations in the industry and in the technical building equipment</i>“ |
| [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

August 2014, 5. überarbeitete Auflage; August 2014, 5st revised edition