

**VEREIN
DEUTSCHER
INGENIEURE**

Wärme- und Kälteschutz von betriebstechnischen Anlagen in der Industrie und in der Technischen Gebäudeausrüstung
Technische Grundlagen zur Überprüfung der wärmetechnischen Eigenschaften von Dämmsystemen, Ermittlung von Gesamtwärmeverlusten

VDI 2055

Blatt 3 / Part 3

Thermal insulation of heated and refrigerated operational installations in the industry and the building services
Technical basics for the verification of thermotechnical properties of insulation systems, determination of total heat losses

**Ausg. deutsch/englisch
Issue German/English**

Die deutsche Version dieser Richtlinie ist verbindlich.

The German version of this guideline shall be taken as authoritative. No guarantee can be given with respect to the English translation.



Inhalt	Seite
Vorbemerkung	2
1 Anwendungsbereich	2
2 Normative Verweise	3
3 Begriffe	3
4 Formelzeichen und Indizes	4
5 Technische Grundlagen zur Überprüfung der vertraglich vereinbarten Eigenschaften von Dämmsystemen	6
5.1 Allgemeines	6
5.2 Wärmestromdichte und Temperatur	7
5.3 Umgebungsbedingungen und Hilfsgrößen	27
5.4 Messunsicherheiten der Wärmestromdichte und Oberflächentemperatur	29
6 Methoden zur Bestimmung von Gesamtwärmeverlusten und Gesamtwärmeeinträgen	32
6.1 Prozessenergiebilanzen	35
6.2 Energiestrombilanz der Luft	36
6.3 Gesamtwärmeverluste aus gemessenen und berechneten Wärmeströmen	39
6.4 Vereinfachte Ausgleichsrechnung	39
6.5 Beispiele	41
7 Messunsicherheiten	48
7.1 Allgemeines	48
7.2 Zufällige Messunsicherheiten	49
7.3 Systematische Messunsicherheiten	50
7.4 Ergebnisunsicherheiten	51
7.5 Ermittlung von Unsicherheiten	52

Contents	Page
Preliminary note	2
1 Scope	2
2 Normative references	3
3 Terms and definitions	3
4 Symbols and indices	4
5 Technical foundations for the verification of contracted thermal properties of insulation systems	6
5.1 General	6
5.2 Heat flow density and temperature	7
5.3 Ambient conditions and auxiliary values	27
5.4 Measuring uncertainties of heat flow density and surface temperature	29
6 Determination of total heat losses and total heat inputs	32
6.1 Process energy balances	35
6.2 Energy flow balance of the air	36
6.3 Total heat losses out of measured and calculated heat flows	39
6.4 Simplified correction calculation	39
6.5 Examples	41
7 Measuring uncertainties	48
7.1 General	48
7.2 Random measuring uncertainties	49
7.3 Systematic measuring uncertainties	50
7.4 Result uncertainties	51
7.5 Determination of uncertainties	52

VDI-Gesellschaft Energie und Umwelt (GEU)
Fachbereich Energiewandlung und -anwendung

This is a preview. Click here to purchase the full publication.

Frühere Ausgabe: 05/10 Entwurf, deutsch
Former edition: 05/10 Draft, in German only

Zu beziehen durch / Available at Beuth Verlag GmbH, 10772 Berlin – Alle Rechte vorbehalten / All rights reserved © Verein Deutscher Ingenieure e.V., Düsseldorf 2011

Vervielfältigung – auch für innerbetriebliche Zwecke – nicht gestattet / Reproduction – even for internal use – not permitted

	Seite		Page
8 Umrechnung der Messwerte auf Auslegungsbedingungen		8 Conversion of measured values to design conditions	
8.1 Allgemeines	54	8.1 General	54
8.2 Wärmestromdichte	54	8.2 Heat flow density	54
8.3 Oberflächentemperatur	55	8.3 Surface temperatures	55
8.4 Tauwasserbildung	55	8.4 Condensation	55
8.5 Gesamtwärmeverlust	56	8.5 Total heat loss	56
9 Vergleich der Messergebnisse mit vertraglich vereinbarten Eigenschaften	57	9 Comparison of the measuring results with the contracted properties	57
Schrifttum	58	Bibliography	58

Vorbemerkung

Der Inhalt dieser Richtlinie ist entstanden unter Beachtung der Vorgaben und Empfehlungen der Richtlinie VDI 1000.

Alle Rechte, insbesondere die des Nachdrucks, der Fotokopie, der elektronischen Verwendung und der Übersetzung, jeweils auszugsweise oder vollständig, sind vorbehalten.

Die Nutzung dieser VDI-Richtlinie ist unter Wahrung des Urheberrechts und unter Beachtung der Lizenzbedingungen (www.vdi-richtlinien.de), die in den VDI-Merkblättern geregelt sind, möglich.

Allen, die ehrenamtlich an der Erarbeitung dieser VDI-Richtlinie mitgewirkt haben, sei gedankt.

Eine Liste der aktuell verfügbaren Blätter dieser Richtlinienreihe ist im Internet abrufbar unter www.vdi.de/2055.

1 Anwendungsbereich

Gegenstand dieser Richtlinie sind die technischen Grundlagen zur messtechnischen Nachprüfung der zwischen Dämmunternehmern und Auftraggeber vertraglich vereinbarten wärmeschutztechnischen Größen (z.B. Wärmestromdichten und Oberflächentemperaturen) von Dämmungen an betriebstechnischen Anlagen in der Industrie und in der Technischen Gebäudeausrüstung.

Darüber hinaus werden in Abschnitt 6 Verfahren zur Bestimmung des Gesamtwärmeverlusts von Anlagen vorgeschlagen. Der Gesamtwärmeverlust kann für die Beurteilung der Energieeffizienz von betriebstechnischen Anlagen von Bedeutung sein.

Preliminary note

The content of this guideline has been developed in strict accordance with the requirements and recommendations of the guideline VDI 1000.

All rights are reserved, including those of reprinting, reproduction (photocopying, micro copying), storage in data processing systems and translation, either of the full text or of extracts.

The use of this guideline without infringement of copyright is permitted subject to the licensing conditions specified in the VDI Notices (www.vdi-richtlinien.de).

We wish to express our gratitude to all honorary contributors to this guideline.

A catalogue of all available parts of this series of guidelines can be accessed on the internet at www.vdi.de/2055.

1 Scope

The technical foundations for the verification through measurements of the thermal properties (e.g. heat flow densities and surface temperatures) of insulation systems at operational installations in industry and in technical Building Services that have been agreed between insulation contractor and client are the topic of this guideline.

In Section 6, methods for the determination of total heat losses of installations have additionally been proposed. The total heat loss may be consequential when assessing the energy efficiency of industrial installations.

2 Normative Verweise / Normative references

Die folgenden zitierten Dokumente sind für die Anwendung dieser Richtlinie erforderlich: /

The following referenced documents are indispensable for the application of this guideline:

AGI Q 02 Dämmarbeiten an betriebstechnischen Anlagen; Begriffe (Insulation on industrial installations; Terminology)

DIN 1319-4 Grundlagen der Messtechnik (Foundations of measuring technology)

DIN 4140 Dämmarbeiten an betriebstechnischen Anlagen in der Industrie und in der technischen Ge-

bäudeausrüstung; Ausführung von Wärme- und Kälte-dämmungen (Insulation work at operational installations in industry and in the technical building equipment; Execution of thermal and refrigerated insulations)

VDI 2055 Blatt 1 Wärme- und Kälteschutz von betriebstechnischen Anlagen in der Industrie und in der Technischen Gebäudeausrüstung; Berechnungsgrundlagen (Thermal insulation of heated and refrigerated operational installations in the industry and the Building Services; Calculation rules)

3 Begriffe

Allgemeine Begriffe

Die Begriffe in dieser Richtlinie stützen sich auf das Arbeitsblatt AGI Q 02 und die beiden Normen DIN 4140 und DIN 1319.

Begriffe zur Messunsicherheit

Für die Anwendung dieser Richtlinie gelten die Begriffe nach DIN V ENV 13005, DIN 1319 und VDI 2048 Blatt 1 und die folgenden Begriffe.

Empirische Standardabweichung (Standardunsicherheit) des Mittelwerts

Wurzel der Varianz des Mittelwerts, die den Wertebereich angibt, innerhalb dessen der tatsächliche Messwert mit einer Wahrscheinlichkeit von 65 % liegt.

Anmerkung: Sie ist definiert entsprechend Gleichung (43) in Abschnitt 7.2.

Empirische Standardunsicherheit (s_x)

Wurzel der empirischen Varianz, die angibt, dass ca. 65 % der Messwerte im Bereich $\bar{x} \pm s_x$ liegen, wobei \bar{x} den Mittelwert der Messergebnisse darstellt.

Empirische Varianz (s_x^2)

Gibt die Streuung von zufälligen Messergebnissen an.

Anmerkung: Sie ist definiert entsprechend Gleichung (40) in Abschnitt 7.2.

Empirische Varianz des Mittelwerts (\bar{x})

Varianz dividiert durch die Anzahl der Messwerte:

$$s^2(\bar{x}) = \frac{s_x^2}{n}$$

Anmerkung: Sie ist definiert entsprechend Gleichung (42) in Abschnitt 7.2.

3 Terms and definitions

General terms and definitions

The terminology used in this guideline is based on working document AGI Q 02 and on the standards DIN 4140 and DIN 1319.

Terms and definitions concerning measuring uncertainties

For the purposes of this guideline, the terms and definitions as per DIN V ENV 13005, DIN 1319 and VDI 2048 Part 1 and the following terms and definitions apply:

Empiric standard deviation (standard uncertainty) of the mean value

Root of the variance of the mean value which indicates the area of values, inside which the actual measured value lies with a probability of 65 %.

Note: It is defined according to Equation (43) in Section 7.2.

Empiric standard uncertainty (s_x)

Root of the empiric variance which rules that approximately 65 % of the measured values lie in the area $\bar{x} \pm s_x$, where \bar{x} constitutes the average of the measuring results.

Empiric variance (s_x^2)

Gives the variance of random measuring results.

Note: It is defined according to Equation (40) in Section 7.2.

Empiric variance of the mean value (\bar{x})

Variance, divided by the number of measured values:

$$s^2(\bar{x}) = \frac{s_x^2}{n}$$

Note: It is defined according to Equation (42) in Section 7.2.

Erweiterte Messunsicherheit (V_{erw})

→Messunsicherheit, bei der das Vertrauensniveau größer als das der Standardunsicherheit V_{komb} von 65 % ist.

Anmerkung: Es gilt: $V_{erw} = k \cdot V_{komb}$ mit k als dem Erweiterungsfaktor.

Erweiterungsfaktor (k)

Durch Multiplikation der Standardunsicherheit oder der →kombinierten Messunsicherheit mit dem Erweiterungsfaktor k ergibt sich eine Unsicherheit mit einem erhöhten Vertrauensniveau.

Anmerkung: Für $k = 2$ erhöht sich das Vertrauensniveau von 65 % auf 95 % (Abschnitt 7.1, Tabelle 14).

Kombinierte Messunsicherheit (V_{komb})

→Messunsicherheit, die man erhält, wenn sich die Messunsicherheit aus mehreren Einflussgrößen ergibt, die sowohl aus statistischen Streuungen als auch aus systematischen Unsicherheiten herrühren können.

Beispiel: Ist die Standardunsicherheit aufgrund der Streuung der Messergebnisse V_{zuf} und die aufgrund von systematischen Unsicherheiten V_{sys} , so ist die kombinierte Messunsicherheit

$$V_{komb} = \sqrt{V_{zuf}^2 + V_{sys}^2}$$

Anmerkung: Sie ist definiert entsprechend Gleichung (45) in Abschnitt 7.3.

Messunsicherheit

Geschätzter Wert zur Kennzeichnung eines Bereichs, innerhalb dessen der richtige Wert der Messgröße liegt.

4 Formelzeichen und Indizes

In dieser Richtlinie werden die nachfolgend aufgeführten Formelzeichen und Indizes verwendet:

Formelzeichen	Benennung	Einheit
A	Abstand	m
A	Fläche	m ²
c_p	spezifische Wärmekapazität bei konstantem Druck	J/(kg·K)
d	Durchmesser	m
f_{Int}	Integrationsfaktor	–
f_{korr}	Krümmungsfaktor	–
g	Wert der Ergebnisgröße	
\dot{H}	Enthalpiestrom	J/s
h	spezifische Enthalpie	J/kg
k	Wärmedurchgangskoeffizient	W/(m ² ·K)
k	Erweiterungsfaktor	–
\dot{m}	Massenstrom	kg/s
P	Leistung	W
p	Druck	N/m ²
\dot{Q}	Wärmeverluststrom (kurz: Wärmeverlust)	W

Expanded measuring uncertainty (V_{erw})

→Measuring uncertainty, where the level of confidence is larger than that of the standard uncertainty V_{komb} of 65 %.

Note: It holds: $V_{erw} = k \cdot V_{komb}$ with k as the coverage factor.

Coverage factor (k)

By multiplication of the standard uncertainty or the →combined measuring uncertainty with the coverage factor k one gets an uncertainty with an increased level of confidence.

Note: For $k = 2$ the level of confidence is increased from 65 % to 95 % (Section 7.1, Table 14).

Combined measuring uncertainty (V_{komb})

→Measuring uncertainty, which one obtains, if the measuring uncertainty results from several influential quantities, which may result from both, statistical variances as well as systematic uncertainties.

Example: If the standard uncertainty on the grounds of the variance of measuring results is V_{zuf} , and that on the grounds of systematic uncertainties is V_{sys} , then the combined measuring uncertainty is

$$V_{komb} = \sqrt{V_{zuf}^2 + V_{sys}^2}$$

Note: It is defined according to Equation (45) in Section 7.3.

Measuring uncertainty

Assessed value to characterize an area, inside which the correct value of the measured quantity is found.

4 Symbols and indices

The following symbols and indices are used throughout this guideline:

Symbol	Term	Unit
A	distance	m
A	area	m ²
c_p	specific heat capacity at constant pressure	J/(kg·K)
d	diameter	m
f_{Int}	integration factor	–
f_{korr}	curvature factor	–
g	value of the result quantity	
\dot{H}	enthalpy flow	J/s
h	specific enthalpy	J/kg
k	thermal transmission coefficient	W/(m ² ·K)
k	coverage factor	–
\dot{m}	mass flow rate	kg/s
P	power	W
p	pressure	N/m ²
\dot{Q}	heat loss rate (short: heat loss)	W

Formelzeichen	Benennung	Einheit	Symbol	Term	Unit
q	Wärmestromdichte	W/m ² oder W/m	q	heat flow density	W/m ² or W/m
q'	spezifischer Wärmeverlust	W/m ² oder W/m	q'	specific heat loss	W/m ² or W/m
R	spezielle Gaskonstante	J/(kg·K) bzw. N·m/(kg·K)	R	specific gas constant	J/(kg·K) or N·m/(kg·K)
s	Dicke	m	s	thickness	m
s_X^2	empirische Varianz der Messgröße		s_X^2	empiric variance of the measured quantity	
T	absolute oder thermodynamische Temperatur	K	T	absolute or thermodynamic temperature	K
V_X	Messunsicherheit der Messgröße		V_X	measuring uncertainty of the measured value	
w	Strömungsgeschwindigkeit	m/s	w	flow rate	m/s
x	Messwert der Messgröße		x	measured value of the measured quantity	
z	Zuschlagswert für unregelmäßig vorkommende dämmtechnisch bedingte Wärmebrücken	–	z	supplementary value for irregularly spaced insulation-related thermal bridges	–
z^*	Zuschlagswert für anlagenbedingte Wärmebrücken	–	z^*	supplementary value for plant-related thermal bridges	–
α	Wärmeübergangskoeffizient	W/(m ² ·K)	α	surface coefficient of heat transfer	W/(m ² ·K)
λ	Wärmeleitfähigkeit	W/(m·K)	λ	thermal conductivity	W/(m·K)
ρ	Dichte	kg/m ³	ρ	density	kg/m ³
ϑ	Temperatur	°C	ϑ	temperature	°C
Index	Benennung		Index	Term	
0	auf Auslegungsbedingungen umgerechnet		0	converted to design conditions	
1	Prozessenergiebilanz		1	process energy balance	
2	Lüftungsbilanz		2	ventilation balance	
3	Wärmestrombestimmung		3	determination of heat flow	
a	außen		a	outer	
D	Dämmung		D	insulation	
DS	Abweichung des ausgeführten vom geplanten Dämmsystem		DS	deviation of the built insulation system from the design	
G	Gas		G	gas	
GT	Gasturbine		GT	gas-turbine	
Geb	Gebäude		Geb	building	
HD	Hochdruckdampf		HD	high pressure steam	
i	innen		i	inner	
i, j, k, l	Laufindizes		i, j, k, l	running indices	
korr	Korrektur		korr	correction	
l,R	längenbezogen, Rohr		l,R	longitudinal, pipe	
L	Luft		L	air	
m	Mittelwert		m	mean value	
M	Medium		M	medium	
MW	Messwert		MW	measured value	
ND	Niederdruckdampf		ND	low pressure steam	
O	Oberfläche		O	surface	
P	Platte oder ebene Wand		P	board or plane wall	

Index	Benennung
r	repräsentativ
sys	systematisch
V	Verlust
W	Wasser
WB	Wärmebrücke
x	gemessen
zuf	zufällig

Index	Term
r	representative
sys	systematic
V	loss
W	water
WB	thermal bridge
x	measured
zuf	random

5 Technische Grundlagen zur Überprüfung der vertraglich vereinbarten Eigenschaften von Dämmsystemen

5.1 Allgemeines

Alle entscheidenden Einflüsse, auch außerhalb der zu dämmenden Anlage, müssen bekannt und vertraglich festgehalten sein.

Eine Nachprüfung der wärmeschutztechnischen Eigenschaften kann nur auf der Grundlage der vertraglich vereinbarten Konstruktions- sowie Betriebs- und Umgebungsbedingungen durchgeführt werden. Wird die Einhaltung der vertraglich vereinbarten Eigenschaften bei Bedingungen überprüft, die von den vertraglich vereinbarten abweichen, so ist auf die vertraglich vereinbarten Bedingungen (Auslegungsbedingungen) umzurechnen.

Zuverlässige Messergebnisse für Wärmestromdichten und Oberflächentemperaturen sind nur bei stationären Betriebsbedingungen zu erwarten. An- und Abfahrvorgänge, aber auch wechselnde Temperaturverhältnisse beim Betrieb der Anlage verfälschen die Aussage. Daher muss die Anlage vor jeder Messung so lange mit einer konstanten Betriebstemperatur gefahren werden, bis alle Komponenten einschließlich des Dämmsystems im Beharrungszustand sind. Eine Abnahmeprozedur muss gegebenenfalls vertraglich vereinbart werden.

Mit den in der Richtlinie VDI 2055 Blatt 1 beschriebenen Methoden lassen sich nur mittlere Wärmestromdichten und mittlere Oberflächentemperaturen berechnen.

Die Überprüfung, ob die Oberflächentemperatur oder die Wärmestromdichte einer Dämmung dem vorausgerechneten und vereinbarten Wert entspricht, muss deshalb an einem Bereich der Oberfläche erfolgen, der der Berechnung zugrunde lag. Bei Rohrleitungen ist das in der Regel eine sogenannte Schusslänge¹⁾, bei Wänden richtet sich dieser Ausschnitt nach den Abständen der Unterkonstruktion.

¹⁾ Unter „Schuss“ wird der regelmäßige Abstand zwischen den Rundnähten von Ummantelungen verstanden.

5 Technical foundations for the verification of contracted thermal properties of insulation systems

5.1 General

All influential factors, even outside the installation to be insulated, must be known and be specified in the contract.

A verification of the thermal protection properties may only be conducted on the basis of the contracted construction, operation, and ambient conditions. In case the compliance of the contracted properties is checked under conditions that deviate from the conditions in the contract, a conversion to the contracted conditions (design conditions) must be made.

Reliable measuring results for heat flow densities and surface temperatures can only be expected under steady state operation conditions. Start and shut down phases, but changing temperatures during operations too, distort the result. The installation shall, therefore, be operated in a steady state mode long enough prior to each measurement to ensure that all components including the insulation system are in a stationary state. An acceptance procedure shall be contracted if need be.

Only average heat flow densities and average surface temperatures can be calculated with the methods described in the guideline VDI 2055 Part 1.

The verification, whether the surface temperature or the heat flow density of an insulation system meet the calculated and contracted values, must therefore be executed on an area of the surface which has been the basis of the calculation. For pipes this is generally a so-called shot¹⁾, for walls this area is dependent upon the distances of the sub-construction.

¹⁾ A “shot” is understood to be the regular distance between the circumferential seams of claddings.

Messungen von Wärmestromdichten und Oberflächentemperaturen an beliebig gewählten Punkten sind nicht zulässig.

Die Überprüfung erfolgt messtechnisch nach Abschnitt 5.2.4 und Abschnitt 5.2.5, wobei die in diesen Abschnitten beschriebenen Messungen zwischen Auftraggeber und Auftragnehmer an einer oder mehreren Stellen vereinbart werden können.

Soll die mittlere Oberflächentemperatur oder die mittlere Wärmestromdichte der gesamten Anlage oder größerer Teile davon überprüft werden, empfiehlt es sich, den für die mittlere Temperatur oder mittlere Wärmestromdichte des repräsentativen Ausschnitts „repräsentativer Punkt“ zu ermitteln. Abhängig von der Lage der Unterkonstruktion wird über die gesamte Anlage oder deren zu überprüfende Teile ein Netz repräsentativer Punkte gelegt, an denen die Messungen vorgenommen werden. Das arithmetische Mittel aller Messwerte entspricht dann der mittleren Oberflächentemperatur bzw. mittleren Wärmestromdichte.

Bei senkrechten Objekten ist das Netz für Messungen über die gesamte Höhe zu legen (siehe Abschnitt 5.2, Bild 1 und Bild 2).

5.2 Wärmestromdichte und Temperatur

5.2.1 Messmethoden

5.2.1.1 Wärmestromdichte

Bei ebenen Wänden ist die Wärmestromdichte q oder \bar{q} der Wärmestrom pro Flächeneinheit in W/m^2 .

Für Rohrdämmungen wird die Wärmestromdichte je Meter Länge in W/m , oder – bezogen auf die Fläche der Ummantelung – in W/m^2 angegeben.

Die Wärmestromdichte wird gemäß VDI 2055 Blatt 1, Abschnitt 4.2.1.2 bzw. Abschnitt 5.1.3.3 berechnet. Sie stellt eine mittlere Wärmestromdichte dar, bei der die Auswirkungen von

- dämmtechnisch bedingten Wärmebrücken und
- anlagenbedingten Wärmebrücken, die in die Dämmung integriert sind,

eingerechnet sind.

Sie darf aber nicht mit dem spezifischen Wärmeverlust verwechselt werden, siehe VDI 2055 Blatt 1, Abschnitt 5.1 und Abschnitt 5.1.3.

Gemessen wird die Wärmestromdichte mithilfe von Wärmestrommessern, die eine elektrische Spannung proportional zur Wärmestromdichte abgeben. Das Messprinzip und verschiedene Bauformen können Abschnitt 5.2.3.2b entnommen werden.

Die messtechnische Überprüfung erfolgt nach Abschnitt 5.2.5 an einem für die Wärmestromdichte repräsentativen Ausschnitt gemäß Abschnitt 5.2.4

Measurements of heat flow densities and surface temperatures at arbitrarily selected points are not permissible.

The verification through measurement is conducted according to Section 5.2.4 and Section 5.2.5. The measurements described in these sections may be agreed between contractor and client to be executed at one or at several points.

In case the average surface temperature or the average heat flow density of an entire installation or major parts of it shall be verified, it is recommended to establish a “representative point” for a sector that displays the average temperature or average heat flow density. Dependent upon the position of the sub-construction, a screen of representative points, where the measurements are taken, is cast over the entire installation or the parts of it to be checked. The arithmetic mean of all measured values is then the average surface temperature respectively average heat flow density.

At vertical objects, the screen for measurements must be cast over the entire height (see Section 5.2, Figure 1 and Figure 2)

5.2 Heat flow density and temperature

5.2.1 Measuring methods

5.2.1.1 Heat flow density

At plane walls, the heat flow density q or \bar{q} is the heat flow per area unit in W/m^2 .

For pipes, the heat flow density is declared per metre in W/m , or – related to the surface of the cladding – in W/m^2 .

The heat flow density is calculated according to VDI 2055 Part 1, Section 4.2.1.2 respectively Section 5.1.3.3. It represents an average heat flow density, where the consequences of

- insulation system related thermal bridges and
- installation related thermal bridges, which are integrated into the insulation system

are included.

It must not be confounded with the specific heat loss, see VDI 2055 Part 1, Section 5.1 and Section 5.1.3.

The heat flow density is measured with the aid of heat flow meters, which release an electric voltage proportional to the heat flow density. The measuring principle and some instrument types can be found in Section 5.2.3.2b.

The metrological verification is conducted according to Section 5.2.5 at a sector which is representative for the heat flow density according to Section 5.2.4, us-