

**DIN EN ISO 12241**

ICS 27.220; 91.120.10

Ersatz für  
DIN EN ISO 12241:1998-06**Wärmedämmung an haus- und betriebstechnischen Anlagen –  
Berechnungsregeln (ISO 12241:2008);  
Deutsche Fassung EN ISO 12241:2008**

Thermal insulation for building equipment and industrial installations –  
Calculation rules (ISO 12241:2008);  
German version EN ISO 12241:2008

Isolation thermique des équipements de bâtiments et des installations industrielles –  
Méthodes de calcul (ISO 12241:2008);  
Version allemande EN ISO 12241:2008

Gesamtumfang 58 Seiten

Normenausschuss Bauwesen (NABau) im DIN

## Nationales Vorwort

Dieses Dokument (EN ISO 12241:2008) wurde von der Arbeitsgruppe 4 des Technischen Komitees SC 2 „Berechnungsverfahren“ vom ISO/TC 163 „Thermal performance and energy use in the built environment“ in Zusammenarbeit mit dem Technischen Komitee CEN/TC 89 „Wärmeschutz von Gebäuden und Bauteilen“ (Sekretariat: SIS, Schweden) unter deutscher Mitwirkung erarbeitet.

Der für die deutsche Mitarbeit zuständige Arbeitsausschuss im DIN Deutsches Institut für Normung e.V. ist der als Spiegelausschuss zu ISO/TC 163/SC 2/WG 4 eingesetzte Arbeitsausschuss NA 005-56-10 AA „Dämmarbeiten an technischen Anlagen“ des Normenausschusses Bauwesen (NABau).

Für die im Abschnitt 2 zitierten Internationalen Normen wird im Folgenden auf die entsprechenden Deutschen Normen hingewiesen:

|           |       |                  |
|-----------|-------|------------------|
| ISO 7345  | siehe | DIN EN ISO 7345  |
| ISO 9346  | siehe | DIN EN ISO 9346  |
| ISO 10211 | siehe | DIN EN ISO 10211 |
| ISO 23993 | siehe | DIN EN ISO 23993 |
| ISO 13787 | siehe | DIN EN ISO 13787 |

Für die bessere Anwendbarkeit der Norm werden nachfolgend Symbole vorgestellt, die unter Abschnitt 3.2 nicht aufgeführt sind:

| Symbol      | Definition                          | Einheit   |
|-------------|-------------------------------------|-----------|
| $\Delta_l$  | äquivalente Länge                   | m         |
| $\lambda_2$ | Wärmeleitfähigkeit der zweiten Lage | W/(m · K) |

## Änderungen

Gegenüber DIN EN ISO 12241:1998-06 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- Verfahren zur Bestimmung der Korrekturausdrücke für den Wärmedurchgangskoeffizienten und den längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten von Rohen wurden aufgenommen.

## Frühere Ausgaben

DIN EN ISO 12241: 1998-06

## Nationaler Anhang NA (informativ)

### Gegenüberstellung der Formelzeichen analog der VDI 2055

| Bedeutung                                | Nach EN ISO 12241 | VDI 2055                      |
|------------------------------------------|-------------------|-------------------------------|
| Wärmestrom                               | $\Phi$            | $\dot{Q}$                     |
| Wärmestromdichte                         | $q$               | $q$                           |
| Längenbezogene Wärmestromdichte          | $q_l$             | $q_l$                         |
| Celsius-Temperatur                       | $\theta$          | $\vartheta$                   |
| Wärmeübergangskoeffizient                | $h$               | $\alpha$                      |
| Enthalpie                                | $h$               | $h$                           |
| Wärmedurchgangskoeffizient               | $U$               | $k$                           |
| Dicke                                    | $d$               | $s$                           |
| Zeit                                     | $t$               | $t$                           |
| Geschwindigkeit                          | $v$               | $w$                           |
| Durchmesser                              | $D$               | $d$                           |
| Höhe                                     | $H$               | $H$                           |
| Wärmedurchlasswiderstand                 | $R$               | $R$                           |
| Längenbezogener Wärmedurchlasswiderstand | $R_l$             | $R_l \text{ in } m \cdot K/W$ |
| Umfang                                   | $P$               | $U$                           |
| Wärmeübergangswiderstand                 | $R_s$             | $1/\alpha$                    |

## Nationaler Anhang NB (informativ)

### Literaturhinweise

DIN EN ISO 7345, *Wärmeschutz — Physikalische Größen und Definitionen*

DIN EN ISO 9346, *Wärmeschutz — Stofftransport — Physikalische Größen und Definitionen*

DIN EN ISO 10211, *Wärmebrücken im Hochbau — Wärmeströme und Oberflächentemperaturen — Detaillierte Berechnungen*

DIN EN ISO 23993, *Wärmedämmung an betriebstechnischen Anlagen in der Industrie und der technischen Gebäudeausrüstung — Bestimmung der Betriebswärmeleitfähigkeit*

DIN EN ISO 13787, *Wärmedämmstoffe für die Haustechnik und für betriebstechnische Anlagen — Bestimmung des Nennwertes der Wärmeleitfähigkeit*

VDI 2055, *Wärme- und Kälteschutz für betriebs- und haustechnische Anlagen — Berechnungen, Gewährleistungen, Mess- und Prüfverfahren, Gütesicherung, Lieferbedingungen*

Deutsche Fassung

Wärmedämmung an haus- und betriebstechnischen Anlagen —  
Berechnungsregeln  
(ISO 12241:2008)

Thermal insulation for building equipment and industrial  
installations —  
Calculation rules  
(ISO 12241:2008)

Isolation thermique des équipements de bâtiments et des  
installations industrielles —  
Méthodes de calcul  
(ISO 12241:2008)

Diese Europäische Norm wurde vom CEN am 1. Mai 2008 angenommen.

Die CEN-Mitglieder sind gehalten, die CEN/CENELEC-Geschäftsordnung zu erfüllen, in der die Bedingungen festgelegt sind, unter denen dieser Europäischen Norm ohne jede Änderung der Status einer nationalen Norm zu geben ist. Auf dem letzten Stand befindliche Listen dieser nationalen Normen mit ihren bibliographischen Angaben sind beim Management-Zentrum des CEN oder bei jedem CEN-Mitglied auf Anfrage erhältlich.

Diese Europäische Norm besteht in drei offiziellen Fassungen (Deutsch, Englisch, Französisch). Eine Fassung in einer anderen Sprache, die von einem CEN-Mitglied in eigener Verantwortung durch Übersetzung in seine Landessprache gemacht und dem Management-Zentrum mitgeteilt worden ist, hat den gleichen Status wie die offiziellen Fassungen.

CEN-Mitglieder sind die nationalen Normungsinstitute von Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, den Niederlanden, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Rumänien, Schweden, der Schweiz, der Slowakei, Slowenien, Spanien, der Tschechischen Republik, Ungarn, dem Vereinigten Königreich und Zypern.



EUROPÄISCHES KOMITEE FÜR NORMUNG  
EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION  
COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION

Management-Zentrum: rue de Stassart, 36 B- 1050 Brüssel

## Inhalt

Seite

|                                                                                                                                               |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Vorwort .....                                                                                                                                 | 4  |
| Einleitung.....                                                                                                                               | 5  |
| 1 Anwendungsbereich .....                                                                                                                     | 7  |
| 2 Normative Verweisungen .....                                                                                                                | 7  |
| 3 Begriffe .....                                                                                                                              | 8  |
| 3.1 Symbole und Einheiten .....                                                                                                               | 8  |
| 3.2 Indizes .....                                                                                                                             | 10 |
| 4 Berechnungsverfahren für den Wärmetransport .....                                                                                           | 11 |
| 4.1 Grundgleichungen für den Wärmetransport.....                                                                                              | 11 |
| 4.1.1 Allgemeines .....                                                                                                                       | 11 |
| 4.1.2 Wärmeleitung .....                                                                                                                      | 11 |
| 4.1.3 Wärmeübergangskoeffizient.....                                                                                                          | 17 |
| 4.1.4 Wärmedurchgangskoeffizient .....                                                                                                        | 21 |
| 4.1.5 Temperaturen an den Schichtgrenzen .....                                                                                                | 23 |
| 4.2 Oberflächentemperatur .....                                                                                                               | 24 |
| 4.2.1 Allgemeines .....                                                                                                                       | 24 |
| 4.2.2 Beispiel der Dickenberechnung, $C'$ .....                                                                                               | 25 |
| 4.3 Verhinderung von Tauwasserbildung .....                                                                                                   | 27 |
| 4.4 Bestimmung des Gesamtwärmestroms für ebene Wände, Rohrleitungen und Hohlkugeln .....                                                      | 31 |
| 5 Berechnung der Temperaturänderung in Rohrleitungen, Behältern und Tanks .....                                                               | 31 |
| 5.1 Temperaturänderung entlang einer Rohrleitung .....                                                                                        | 31 |
| 5.2 Temperaturänderung und Abkühlzeiten in Rohrleitungen, Behältern und Tanks .....                                                           | 32 |
| 6 Berechnung der Abkühl- und Einfrier-/Erstarrungszeiten ruhender Flüssigkeiten.....                                                          | 32 |
| 6.1 Berechnung der Abkühlzeit für eine vorgegebene Dämmschichtdicke zur Verhinderung<br>des Einfrierens von Wasser in einer Rohrleitung ..... | 32 |
| 6.2 Berechnung der Einfrierzeit von Wasser in einer Rohrleitung .....                                                                         | 34 |
| 7 Bestimmung des Einflusses von Wärmebrücken .....                                                                                            | 35 |
| 7.1 Allgemeines .....                                                                                                                         | 35 |
| 7.2 Berechnung der Korrekturausdrücke für ebene Oberflächen .....                                                                             | 36 |
| 7.3 Berechnung der Korrekturausdrücke für Rohrleitungen .....                                                                                 | 36 |
| 8 Erdverlegte Rohrleitungen.....                                                                                                              | 37 |
| 8.1 Allgemeines .....                                                                                                                         | 37 |
| 8.2 Berechnung des Wärmeverlustes (Einzelleitung) .....                                                                                       | 37 |
| 8.2.1 Ungedämmte Rohrleitungen.....                                                                                                           | 37 |
| 8.2.2 Gedämmte Rohrleitung .....                                                                                                              | 38 |
| 8.3 Andere Fälle .....                                                                                                                        | 39 |
| Anhang A (normativ) Wärmebrücken in der Rohrleitungsdämmung .....                                                                             | 40 |
| Anhang B (informativ) Darstellung von auskragenden Wärmebrücken mit annähernd konstantem<br>Querschnitt.....                                  | 42 |
| B.1 Allgemeines .....                                                                                                                         | 42 |
| B.2 Gedämmte oder freie Stirnfläche .....                                                                                                     | 45 |
| B.3 Verankerungsstruktur .....                                                                                                                | 46 |
| B.4 Stirnfläche der Kühlrippe in gutem Wärmekontakt mit den freien Metallauflagern .....                                                      | 46 |

|                                                                                                                |           |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Anhang C (informativ) Beispiele.....</b>                                                                    | <b>47</b> |
| <b>C.1 Berechnung der erforderlichen Dämmschichtdicken für die zweischichtige Wand einer Brennkammer .....</b> | <b>47</b> |
| <b>C.2 Wärmestromdichte und Oberflächentemperatur einer gedämmten Rohrleitung .....</b>                        | <b>48</b> |
| <b>C.3 Temperaturabfall in einer Rohrleitung .....</b>                                                         | <b>49</b> |
| <b>C.4 Temperaturabfall in einem Behälter .....</b>                                                            | <b>50</b> |
| <b>C.5 Abkühl- und Erstarrungs-/Einfrierzeiten in einer Rohrleitung.....</b>                                   | <b>51</b> |
| <b>C.6 Erdverlegte Rohrleitung.....</b>                                                                        | <b>52</b> |
| <b>C.7 Erforderliche Dämmschichtdicke zur Verhinderung der Tauwasserbildung.....</b>                           | <b>53</b> |
| <b>Literaturhinweise .....</b>                                                                                 | <b>54</b> |

## **Vorwort**

Dieses Dokument (EN ISO 12241:2008) wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 163 „Thermal performance and energy use in the built environment“ in Zusammenarbeit mit dem Technischen Komitee CEN/TC 89 „Wärmeschutz von Gebäuden und Bauteilen“ erarbeitet, dessen Sekretariat vom SIS gehalten wird.

Diese Europäische Norm muss den Status einer nationalen Norm erhalten, entweder durch Veröffentlichung eines identischen Textes oder durch Anerkennung bis Dezember 2008, und etwaige entgegenstehende nationale Normen müssen bis Dezember 2008 zurückgezogen werden.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Texte dieses Dokuments Patentrechte berühren können. CEN [und/oder CENELEC] sind nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

Dieses Dokument ersetzt EN ISO 12241:1998.

Entsprechend der CEN/CENELEC-Geschäftsordnung sind die nationalen Normungsinstitute der folgenden Länder gehalten, diese Europäische Norm zu übernehmen: Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, Niederlande, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Rumänien, Schweden, Schweiz, Slowakei, Slowenien, Spanien, Tschechische Republik, Ungarn, Vereinigtes Königreich und Zypern.

### **Anerkennungsnotiz**

Der Text von ISO 12241:2008 wurde vom CEN als EN ISO 12241:2008 ohne irgendeine Abänderung genehmigt.

## Einleitung

Berechnungsverfahren, die die Wärmeleitung betreffen, sind direkte mathematische Ableitungen aus dem Fourierschen Gesetz der Wärmeleitung, so dass der internationale Konsens lediglich eine Frage der mathematischen Überprüfung ist. In den verschiedenen Mitgliedsländern bestehen keine größeren Unterschiede hinsichtlich der angewandten Gleichungen. Für Konvektion und Strahlung befinden sich jedoch keine Verfahren in praktischer Anwendung, die ohne bestimmte empirische Elemente mathematisch auf das Newtonsche Gesetz der Abkühlung oder das Stefan-Boltzmann-Gesetz der Wärmestrahlung rückführbar wären. Insbesondere für die Konvektion wurden auf der Grundlage von Labordaten viele unterschiedliche Gleichungen entwickelt. In den verschiedenen Ländern wurden unterschiedliche Gleichungen gebräuchlich, und es existiert kein exaktes Verfahren, um zwischen diesen Gleichungen zu wählen.

Innerhalb der genannten Grenzen können diese Verfahren auf die meisten Probleme zum Wärmetransport im industriellen Wärmeschutz angewendet werden.

Diese Verfahren berücksichtigen weder den Luftdurchlass noch den Durchlassgrad für Wärmestrahlung durch transparente Medien.

Die Gleichungen dieser Berechnungsverfahren erfordern zu ihrer Lösung, dass bestimmte Systemvariablen bekannt sind bzw. vorgegeben, angenommen oder gemessen werden. In allen Fällen hängt die Genauigkeit der Ergebnisse von der Genauigkeit der Eingabeveriablen ab. Diese Internationale Norm enthält keine Leitlinien für die genaue Messung irgendeiner dieser Variablen. Jedoch enthält sie Hinweise, die sich als zufrieden stellend für die Abschätzung einiger dieser Variablen für viele industrielle Wärmeschutzsysteme erwiesen haben.

Es sollte beachtet werden, dass die Berechnungen im stationären Zustand von den Randbedingungen abhängig sind. Häufig ist eine Lösung, die sich bei einem Satz von Randbedingungen ergibt, nicht ausreichend, um ein Wärmeschutzsystem zu beschreiben, das in einer wechselnden thermischen Umgebung betrieben wird (z. B. Prozessausrüstung im Ganzjahresbetrieb, Einsatz im Freien). In diesen Fällen ist es notwendig auf der Grundlage von Jahresmittelwerten oder Jahresextremwerten der Wettervariablen (abhängig von der Art der jeweiligen Berechnung) bestimmte örtliche Wetterdaten für die Berechnungen nach dieser Internationalen Norm heranzuziehen.

Insbesondere gilt, dass der Anwender nicht aus den Verfahren dieser Internationalen Norm ableiten sollte, dass die Qualität einer Wärmedämmung oder die Vermeidung der Tauwasserbildung auf der Grundlage von wenigen einfachen Messungen und unter Nutzung der hier angegebenen grundsätzlichen Berechnungsverfahren verlässlich sichergestellt werden kann. Bei den meisten wärmeübertragenden Oberflächen betriebstechnischer Anlagen liegt kein isothermer Zustand vor (keine über die ganze Oberfläche gleichmäßige Temperatur), sondern ein ungleichmäßiges Temperaturprofil. Diese Bedingung weist auf die Notwendigkeit zahlreicher Berechnungen hin, um die wärmetechnischen Merkmale jeder Oberfläche angemessen modellhaft darstellen zu können. Darüber hinaus hängt der Wärmestrom durch eine Oberfläche an jedem Punkt von einer Reihe von Variablen ab, die nicht direkt mit der Qualität der Wärmedämmung im Zusammenhang stehen. Unter anderem gehören zu diesen Variablen die Umgebungstemperatur, die Luftbewegung, die Rauigkeit und der Emissionsgrad der wärmeübertragenden Oberfläche und der Strahlungsaustausch mit der Umgebung (die häufig sehr unterschiedlich sind). Bei der Berechnung der Tauwasserbildung ist die Schwankung der örtlichen Luftfeuchte ein bedeutender Faktor.

Mit Ausnahme der Situation innerhalb von Gebäuden entspricht die durchschnittliche Temperatur des strahlenden Hintergrundes selten der Lufttemperatur, und die Messung von Hintergrundtemperaturen, Emissionsgraden sowie Flächen, die der Strahlung ausgesetzt sind, liegt außerhalb des Anwendungsbereichs dieser Internationalen Norm. Daher kann weder die Oberflächentemperatur noch die Temperaturdifferenz zwischen der Oberfläche und der Luft als zuverlässiger Indikator für die Leistung der Dämmung oder die Vermeidung der Tauwasserbildung genutzt werden.

Die Abschnitte 4 und 5 dieser Internationalen Norm geben die Verfahren an, die bei Berechnungen zur industriellen Wärmedämmung angewendet werden, die von spezifischeren Normen nicht abgedeckt werden. Bei Anwendungen, bei denen genaue Werte für die Heizenergieeinsparung oder für die Temperatur von (gedämmten) Oberflächen nicht zugesichert werden müssen oder bei denen keine Annäherung an die kritischen Temperaturen für die Tauwasserbildung stattfindet oder diese Temperaturen keinen entscheidenden Faktor darstellen, können die genannten Verfahren angewendet werden, um Wärmeströme zu berechnen.

Die Abschnitte 6 und 7 dieser Internationalen Norm stellen Anpassungen der allgemeinen Gleichungen an spezifische Anwendungen zur Berechnung des Wärmestromes, des Temperaturabfalls und der Erstarrungszeiten in Rohrleitungen und anderen Behältnissen dar.

Die Anhänge B und C dieser Internationalen Norm dienen ausschließlich der Information.

## 1 Anwendungsbereich

Diese Internationale Norm enthält Regeln zur Berechnung der mit dem Wärmetransport im Zusammenhang stehenden Eigenschaften von haus- und betriebstechnischen Anlagen, überwiegend unter stationären Bedingungen. Diese Internationale Norm liefert auch eine vereinfachte Herangehensweise für die Behandlung von Wärmebrücken.

## 2 Normative Verweisungen

Die folgenden zitierten Dokumente sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

ISO 7345, *Thermal insulation — Physical quantities and definitions*

ISO 9346, *Hygrothermal performance of buildings and building materials — Physical quantities for mass transfer — Vocabulary*

ISO 10211, *Thermal bridges in building construction — Heat flows and surface temperatures — Detailed calculations*

ISO 13787, *Thermal insulation products for building equipment and industrial installations — Determination of declared thermal conductivity*

ISO 23993, *Thermal insulation for building equipment and industrial installations — Determination of design thermal conductivity* Begriffe und Symbole

### 3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach ISO 7345, ISO 9346, ISO 13787 und ISO 23993.

#### 3.1 Symbole und Einheiten

| Symbol       | Physikalische Größe                                                                                            | Einheit             |
|--------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|
| $A$          | Fläche                                                                                                         | $m^2$               |
| $a_r$        | Temperaturfaktor                                                                                               | $K^3$               |
| $C'$         | Dickenparameter (siehe 4.2.2)                                                                                  | $m$                 |
| $C_r$        | Strahlungskoeffizient                                                                                          | $W/(m^2 \cdot K^4)$ |
| $c_p$        | spezifische Wärmekapazität bei konstantem Druck                                                                | $kJ/(kg \cdot K)$   |
| $D$          | Durchmesser                                                                                                    | $m, mm$             |
| $d$          | Dicke                                                                                                          | $m, mm$             |
| $H$          | Höhe                                                                                                           | $m$                 |
| $h$          | Wärmeübergangskoeffizient                                                                                      | $W/(m^2 \cdot K)$   |
| $l$          | Länge                                                                                                          | $m$                 |
| $m$          | Masse                                                                                                          | $kg$                |
| $\dot{m}$    | Massenstrom                                                                                                    | $kg/h$              |
| $p$          | Umfang                                                                                                         | $m$                 |
| $q$          | Wärmestromdichte                                                                                               | $W/m^2$             |
| $q_d$        | längenbezogene Wärmestromdichte für Kanäle                                                                     | $W/m$               |
| $q_l$        | längenbezogene Wärmestromdichte                                                                                | $W/m$               |
| $R$          | Wärmedurchlasswiderstand                                                                                       | $m^2 \cdot K/W$     |
| $R_d$        | längenbezogener Wärmedurchgangswiderstand des Kanals                                                           | $m \cdot K/W$       |
| $R_l$        | längenbezogener Wärmedurchlasswiderstand                                                                       | $m \cdot K/W$       |
| $R_{le}$     | längenbezogener Wärmeübergangswiderstand                                                                       | $m \cdot K/W$       |
| $R_s$        | Wärmeübergangswiderstand                                                                                       | $m^2 \cdot K/W$     |
| $R_{sph}$    | Wärmedurchgangswiderstand einer Hohlkugel                                                                      | $K/W$               |
| $T$          | thermodynamische Temperatur                                                                                    | $K$                 |
| $t_{fr}$     | Einfrierzeit                                                                                                   | $h$                 |
| $t_v$        | Abkühlungszeit                                                                                                 | $h$                 |
| $t_{wp}$     | Zeitspanne bis zum Beginn des Einfrierens                                                                      | $h$                 |
| $U$          | Wärmedurchgangskoeffizient                                                                                     | $W/(m^2 \cdot K)$   |
| $U_l$        | längenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient                                                                     | $W/(m \cdot K)$     |
| $U_{sph}$    | Wärmedurchgangskoeffizient einer Hohlkugel                                                                     | $W/K$               |
| $U_B$        | Wärmedurchgangskoeffizient einer Wärmebrücke                                                                   | $W/(m^2 \cdot K)$   |
| $\Delta U_B$ | zusätzlicher Ausdruck für anlagebedingte Wärmebrücke und/oder unregelmäßige dämmtechnisch bedingte Wärmebrücke | $W/(m^2 \cdot K)$   |
| $U_T$        | Gesamt-Wärmedurchgangskoeffizient einer ebenen Wand                                                            | $W/(m^2 \cdot K)$   |
| $U_{T,l}$    | längenbezogener Gesamt-Wärmedurchgangskoeffizient                                                              | $W/(m \cdot K)$     |
| $U_{T,sph}$  | Gesamt-Wärmedurchgangskoeffizient einer Hohlkugel                                                              | $W/K$               |

| Symbol                 | Physikalische Größe                                                      | Einheit                              |
|------------------------|--------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|
| $v$                    | Windgeschwindigkeit                                                      | m/s                                  |
| $z, y$                 | Korrekturausdrücke für unregelmäßige dämmtechnisch bedingte Wärmebrücken | —                                    |
| $z^*, y^*$             | Korrekturausdrücke für anlagenbedingte Wärmebrücken                      | —                                    |
| $a$                    | Koeffizient der Temperaturänderung entlang einer Rohrleitung             | $m^{-1}$                             |
| $a'$                   | Koeffizient der Abkühlzeit                                               | $h^{-1}$                             |
| $\Delta h_{\text{fr}}$ | spezifische Enthalpie, latente Kühlwärme                                 | kJ/kg                                |
| $\varepsilon$          | Emissionsgrad                                                            | —                                    |
| $\Phi$                 | Wärmestrom                                                               | W                                    |
| $\lambda$              | Betriebswärmeleitfähigkeit                                               | W/(m · K)                            |
| $\lambda_d$            | Nennwärmeleitfähigkeit                                                   | W/(m · K)                            |
| $\lambda_2$            | Betriebswärmeleitfähigkeit einer zweiten Lage                            | W/(m · K)                            |
| $\theta$               | Celsiustemperatur                                                        | °C                                   |
| $\Delta\theta$         | Temperaturdifferenz                                                      | K                                    |
| $\rho$                 | Dichte                                                                   | kg/m <sup>3</sup>                    |
| $\phi$                 | relative Luftfeuchte                                                     | %                                    |
| $\sigma$               | Stefan-Boltzmann-Konstante (siehe Literaturhinweis [8])                  | W/(m <sup>2</sup> · K <sup>4</sup> ) |

### 3.2 Indizes

|     |                             |
|-----|-----------------------------|
| a   | Umgebungs-                  |
| av  | Durchschnitt                |
| B   | Wärmebrücke                 |
| c   | Kühlung                     |
| cv  | Konvektion                  |
| d   | Nennwerte, Kanal, Taupunkt  |
| E   | Erdreich, Boden             |
| e   | außen, äußerlich            |
| ef  | effektiv                    |
| fm  | Endzustand des Mediums      |
| fr  | gefrierend                  |
| H   | waagrecht                   |
| i   | innen, innerlich            |
| im  | Ausgangszustand des Mediums |
| lab | Laboratoriumswerte          |
| l   | längenbezogen               |
| p   | Rohrleitung                 |
| r   | Strahlung                   |
| ref | Bezugswerte                 |
| s   | Oberfläche                  |
| sph | kugelförmig                 |
| se  | äußere Oberfläche           |
| si  | innere Oberfläche           |
| T   | gesamt                      |
| V   | senkrecht                   |
| v   | Behälter                    |
| W   | Wand                        |
| w   | Wasser                      |

## 4 Berechnungsverfahren für den Wärmetransport

### 4.1 Grundgleichungen für den Wärmetransport

#### 4.1.1 Allgemeines

Die in diesem Abschnitt angegebenen Gleichungen gelten nur für den Wärmetransport im stationären Zustand, d. h. wenn die Temperaturen überall im betrachteten Medium über die Zeit konstant bleiben. Im Allgemeinen ist die Betriebswärmeleitfähigkeit temperaturabhängig (siehe gestrichelte Linie in Bild 1, die durch iterative Rechnungen abgeleitet ist). Für weitere Anwendungszwecke dieser Internationalen Norm muss der Bemessungswert für die Mitteltemperatur jeder einzelnen Schicht angewendet werden.

ANMERKUNG Dies kann eine iterative Berechnung erfordern.

#### 4.1.2 Wärmeleitung

Die Wärmeleitung beschreibt üblicherweise den molekularen Wärmetransport in Feststoffen, Flüssigkeiten und Gasen unter dem Einfluss eines Temperaturgradienten.

Für die Berechnungen wird angenommen, dass nur in einer Richtung ein Temperaturgradient vorliegt und die Temperatur in allen Ebenen senkrecht zu diesem Temperaturgradienten konstant ist.

Die Wärmestromdichte  $q$  in einer ebenen Wand in  $x$ -Richtung ergibt sich nach Gleichung (1):

$$q = -\lambda \frac{d\theta}{dx} \quad (1)$$

Für eine Einzelschicht gelten Gleichung (2) und Gleichung (3):

$$q = \frac{\lambda}{d} (\theta_{si} - \theta_{se}) \quad (2)$$

oder

$$q = \left( \frac{\theta_{si} - \theta_{se}}{R} \right) \quad (3)$$

Dabei ist

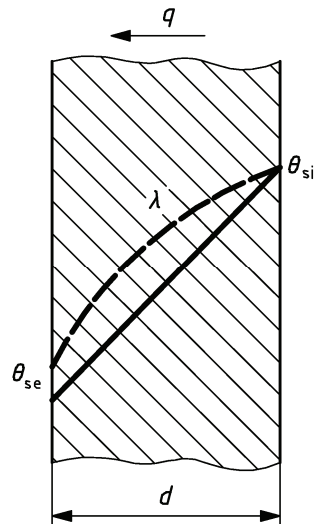
$\lambda$  die Betriebswärmeleitfähigkeit des Dämmproduktes oder -systems;

$d$  die Dicke der ebenen Wand;

$\theta_{si}$  die Temperatur der inneren Oberfläche;

$\theta_{se}$  die Temperatur der äußeren Oberfläche;

$R$  der Wärmedurchlasswiderstand der Wand.



ANMERKUNG Die gerade Linie zeigt eine vernachlässigbare, die gestrichelte Kurve eine starke Temperaturabhängigkeit von  $\lambda$ .

**Bild 1 — Temperaturverteilung in einer einschichtigen Wand**

Für eine mehrschichtige Dämmung (siehe Bild 2) wird  $q$  berechnet nach Gleichung (4):

$$q = \frac{\theta_{si} - \theta_{se}}{R'} \quad (4)$$

wobei  $R'$  der Wärmedurchlasswiderstand der mehrschichtigen Wand nach Gleichung (5) ist:

$$R' = \sum_{j=1}^n \frac{d_j}{\lambda_j} \quad (5)$$

ANMERKUNG Der Strich bezeichnet eine mehrschichtige Größe.

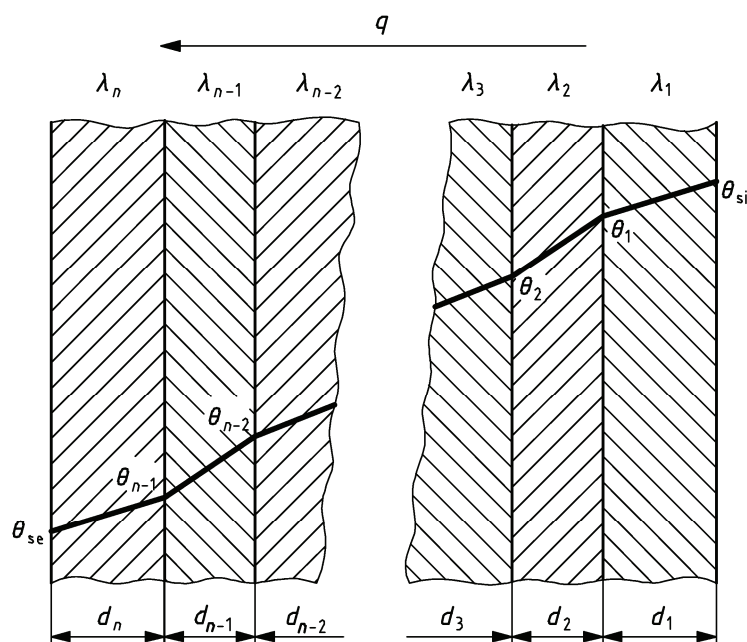


**Bild 2 — Temperaturverteilung in einer mehrschichtigen Wand**

Für die längenbezogene Wärmestromdichte  $q_l$  in einem einschichtigen Hohlzylinder (siehe Bild 3) gilt Gleichung (6):

$$q_l = \frac{\theta_{si} - \theta_{se}}{R_l} \quad (6)$$

wobei  $R_l$  der längenbezogene Wärmedurchlasswiderstand eines einschichtigen Hohlzylinders in Gleichung (7) gegeben ist:

$$R_l = \frac{\ln \frac{D_e}{D_i}}{2 \pi \lambda} \quad (7)$$

Dabei ist

$D_e$  der Außendurchmesser der Schicht;

$D_i$  der Innendurchmesser der Schicht.

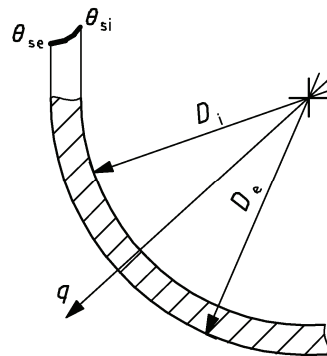


**Bild 3 — Temperaturverteilung in einem einschichtigen Hohlzylinder**

Für einen mehrschichtigen Hohlzylinder (siehe Bild 4) ist die längenbezogene Wärmestromdichte  $q$ , durch Gleichung (8) gegeben:

$$q_l = \frac{\theta_{si} - \theta_{se}}{R'_l} \quad (8)$$

Dabei ist nach Gleichung (9)

$$R'_l = \frac{1}{2 \pi} \sum_{j=1}^n \left( \frac{1}{\lambda_j} \ln \frac{D_{ej}}{D_{ij}} \right) \quad (9)$$

mit  $D_0 = D_i$  und  $D_n = D_e$ .

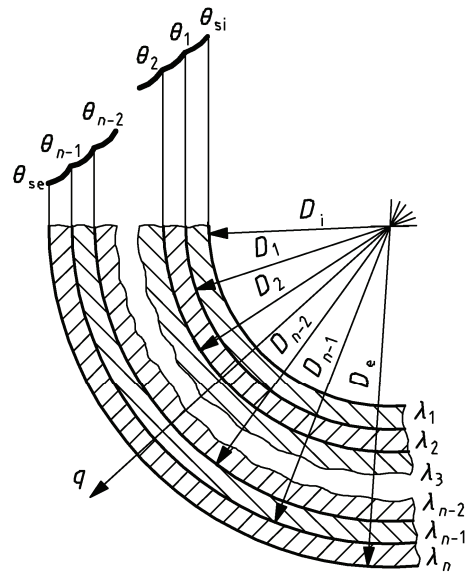


**Bild 4 — Temperaturverteilung in einem mehrschichtigen Hohlzylinder**

Der Wärmestrom  $\Phi_{sph}$  in einer einschichtigen Hohlkugel (siehe Bild 5) ist nach Gleichung (10):

$$\Phi_{sph} = \frac{\theta_{si} - \theta_{se}}{R_{sph}} \quad (10)$$

wobei  $R_{sph}$  der Wärmedurchgangswiderstand einer einschichtigen Hohlkugel nach Gleichung (11) ist.

$$R_{sph} = \frac{1}{2\pi\lambda} \left( \frac{1}{D_i} - \frac{1}{D_e} \right) \quad (11)$$

Dabei ist

$D_e$  der Außendurchmesser der Schicht;

$D_i$  der Innendurchmesser der Schicht.