

DIN EN ISO 12241

ICS 91.120.10; 91.140.01

Ersatz für
DIN EN ISO 12241:2008-11**Wärmedämmung für haus- und betriebstechnische Anlagen –
Berechnungsregeln (ISO 12241:2022);
Deutsche Fassung EN ISO 12241:2022**

Thermal insulation for building equipment and industrial installations –
Calculation rules (ISO 12241:2022);
German version EN ISO 12241:2022

Isolation thermique des équipements de bâtiments et des installations industrielles –
Méthodes de calcul (ISO 12241:2022);
Version allemande EN ISO 12241:2022

Gesamtumfang 65 Seiten

DIN-Normenausschuss Bauwesen (NABau)

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (EN ISO 12241:2022) 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 von SIS (Schweden) gehalten wird.

Das zuständige nationale Normungsgremium ist der Arbeitsausschuss NA 005-56-10 AA „Dämmarbeiten an technischen Anlagen (SpA zu ISO/TC 163/SC 2/WG 4)“ im DIN-Normenausschuss Bauwesen (NABau).

Für die in diesem Dokument zitierten Dokumente wird im Folgenden auf die entsprechenden deutschen Dokumente hingewiesen:

ISO 7345	siehe	DIN EN ISO 7345
ISO 8497	siehe	DIN EN ISO 8497
ISO 9229	siehe	DIN EN ISO 9229
ISO 9251	siehe	DIN EN ISO 9251
ISO 9288	siehe	DIN EN ISO 9288
ISO 9346	siehe	DIN EN ISO 9346
ISO 13787	siehe	DIN EN ISO 13787
ISO 13788	siehe	DIN EN ISO 13788
ISO 23993	siehe	DIN EN ISO 23993

Aktuelle Informationen zu diesem Dokument können über die Internetseiten von DIN (www.din.de) durch eine Suche nach der Dokumentennummer aufgerufen werden.

Änderungen

Gegenüber der DIN EN ISO 12241:2008-11 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) technische Überarbeitung des gesamten Dokuments;
- b) die Berechnung des konvektiven Anteils des äußeren Wärmeübergangskoeffizienten;
- c) die Einführung von Wärmebrücken in die Berechnung des allgemeinen Wärmeverlusts;
- d) die Bereitstellung detaillierter Daten zusammen mit dem Verfahren zur Berechnung von Formstücken (Wärmebrücken), ausschließlich informativ;
- e) redaktionelle Überarbeitung.

Frühere Ausgaben

DIN EN ISO 12241: 1998-06, 2008-11

Nationaler Anhang NA (informativ)

Literaturhinweise

DIN EN ISO 7345, *Wärmeverhalten von Gebäuden und Baustoffen — Physikalische Größen und Definitionen*

DIN EN ISO 8497, *Wärmeschutz — Bestimmung der Wärmetransporteigenschaften im stationären Zustand von Wärmedämmungen für Rohrleitungen*

DIN EN ISO 9229, *Wärmedämmung — Begriffe*

DIN EN ISO 9251, *Wärmeschutz — Zustände der Wärmeübertragung und Stoffeigenschaften — Begriffe*

DIN EN ISO 9288, *Wärmeschutz — Wärmeübertragung durch Strahlung — Physikalische Größen und Definitionen*

DIN EN ISO 9346, *Wärme- und feuchtetechnisches Verhalten von Gebäuden und Baustoffen — Physikalische Größen für den Stofftransport — Begriffe*

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

DIN EN ISO 13788, *Wärme- und feuchtetechnisches Verhalten von Bauteilen und Bauelementen — Raumseitige Oberflächentemperatur zur Vermeidung kritischer Oberflächenfeuchte und Tauwasserbildung im Bauteilinneren — Berechnungsverfahren*

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

— Leerseite —

Deutsche Fassung

Wärmedämmung für haus- und
betriebstechnische Anlagen —
Berechnungsregeln (ISO 12241:2022)

Thermal insulation
for building equipment and industrial installations —
Calculation rules (ISO 12241:2022)

Isolation thermique des équipements
de bâtiments et des installations industrielles —
Méthodes de calcul (ISO 12241:2022)

Diese Europäische Norm wurde vom CEN am 29. Mai 2022 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 CEN-CENELEC-Management-Zentrum 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, Kroatien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, den Niederlanden, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, der Republik Nordmazedonien, Rumänien, Schweden, der Schweiz, Serbien, der Slowakei, Slowenien, Spanien, der Tschechischen Republik, der Türkei, Ungarn, dem Vereinigten Königreich und Zypern.



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

CEN-CENELEC Management-Zentrum: Rue de la Science 23, B-1040 Brüssel

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort	4
Vorwort	5
Einleitung	6
1 Anwendungsbereich	8
2 Normative Verweisungen	8
3 Begriffe und Symbole	8
3.1 Begriffe	8
3.2 Symbole	8
3.3 Indizes	10
4 Regeln und Gleichungen zu 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 Äußerer Wärmeübergangswiderstand	25
4.1.5 Wärmedurchgangskoeffizient	25
4.1.6 Wärmestrom	26
4.1.7 Temperaturen an den Schichtgrenzen	27
4.2 Bestimmung des Einflusses von Wärmebrücken	28
4.2.1 Allgemeines	28
4.2.2 Dämmsystembedingte Wärmebrücken	28
4.2.3 Anlagenbedingte Wärmebrücken	28
4.3 Bestimmung des Gesamtwärmestroms für ebene Wände, Rohrleitungen und Kugeln	29
4.4 Oberflächentemperatur	29
4.5 Verhinderung von Tauwasserbildung	30
5 Berechnung der Temperaturänderung in Rohrleitungen, Behältern und Tanks	31
5.1 Allgemeines	31
5.2 Temperaturänderung entlang einer Rohrleitung	31
5.3 Temperaturänderung und Abkühlzeiten in Rohrleitungen, Behältern und Tanks	32
6 Berechnung der Abkühl- und Einfrierzeiten ruhender Flüssigkeiten	33
6.1 Berechnung der Abkühlzeit zur Verhinderung des Einfrierens von Wasser in einer Rohrleitung	33
6.2 Berechnung der Einfrierzeit von Wasser in einer Rohrleitung	34
7 Berechnung des Wärmeverlustes bei erdverlegten Rohrleitungen	35
7.1 Allgemeines	35
7.2 Einzelne Leitung ohne Kanäle	35
7.2.1 Ungedämmte Rohrleitungen	35
7.2.2 Gedämmte Rohrleitung	36
7.3 Andere Fälle	37
Anhang A (informativ) Wärmebrücken	38
A.1 Dämmbedingte Wärmebrücken	38
A.1.1 Allgemeines	38
A.1.2 Abstandshalter für Blechummantelungen von Rohrleitungen	38

A.1.3	Abstandshalter für Blechummantelungen von Wänden.....	38
A.1.4	Mechanische Befestigungselemente, die eine Dämmschicht durchdringen	39
A.2	Anlagenbedingte Wärmebrücken in der Rohrleitungsdämmung.....	39
A.2.1	Allgemeines	39
A.2.2	Berechnung des Wärmebrückenkoeffizienten für ungedämmte Flansche	39
A.2.3	Berechnung des Wärmebrückenkoeffizienten für ungedämmte Armaturen.....	41
A.2.4	Berechnung des Wärmebrückenkoeffizienten für ungedämmte Pumpen	45
A.2.5	Berechnung der Wärmeverluste bei Dämmkappen.....	45
A.3	Darstellung von auskragenden Wärmebrücken mit annähernd konstantem Querschnitt.....	48
A.3.1	Allgemeines	48
A.3.2	Gedämmte oder freie Stirnfläche	50
A.3.3	Verankerungsstruktur	50
A.3.4	Stirnfläche der Kühlrippe in gutem Wärmekontakt mit den freien Metallauflagern.....	51
Anhang B (informativ) Beispiele		52
B.1	Beispiel für die Anwendung der Nusselt-Zahl	52
B.2	Fall A.....	52
B.3	Fall B.....	54
B.4	Temperaturabfall in einer Rohrleitung	55
B.5	Temperaturabfall in einem Behälter	56
B.6	Abkühl- und Einfrierzeiten in einer Rohrleitung	57
B.7	Erdverlegte Rohrleitung	58
B.8	Erforderliche Dämmschichtdicke zur Verhinderung der Tauwasserbildung	59
Literaturhinweise.....		61

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (EN ISO 12241:2022) 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 von SIS gehalten wird.

Diese Europäische Norm muss den Status einer nationalen Norm erhalten, entweder durch Veröffentlichung eines identischen Textes oder durch Anerkennung bis Dezember 2022, und etwaige entgegenstehende nationale Normen müssen bis Dezember 2022 zurückgezogen werden.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. CEN ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

Dieses Dokument ersetzt EN ISO 12241:2008.

Dieses Dokument wurde im Rahmen eines Normungsauftrages erarbeitet, den die Europäische Kommission und die Europäische Freihandelsassoziation CEN erteilt haben.

Rückmeldungen oder Fragen zu diesem Dokument sollten an das jeweilige nationale Normungsinstitut des Anwenders gerichtet werden. Eine vollständige Liste dieser Institute ist auf den Internetseiten von CEN abrufbar.

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

Anerkennungsnotiz

Der Text von ISO 12241:2022 wurde von CEN als EN ISO 12241:2022 ohne irgendeine Abänderung genehmigt.

Vorwort

ISO (die Internationale Organisation für Normung) ist eine weltweite Vereinigung nationaler Normungsinstitute (ISO-Mitgliedsorganisationen). Die Erstellung von Internationalen Normen wird üblicherweise von Technischen Komitees von ISO durchgeführt. Jede Mitgliedsorganisation, die Interesse an einem Thema hat, für welches ein Technisches Komitee gegründet wurde, hat das Recht, in diesem Komitee vertreten zu sein. Internationale staatliche und nichtstaatliche Organisationen, die in engem Kontakt mit ISO stehen, nehmen ebenfalls an der Arbeit teil. ISO arbeitet bei allen elektrotechnischen Normungsthemen eng mit der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) zusammen.

Die Verfahren, die bei der Entwicklung dieses Dokuments angewendet wurden und die für die weitere Pflege vorgesehen sind, werden in den ISO/IEC-Direktiven, Teil 1 beschrieben. Es sollten insbesondere die unterschiedlichen Annahmekriterien für die verschiedenen ISO-Dokumentenarten beachtet werden. Dieses Dokument wurde in Übereinstimmung mit den Gestaltungsregeln der ISO/IEC-Direktiven, Teil 2 erarbeitet (siehe www.iso.org/directives).

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. ISO ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren. Details zu allen während der Entwicklung des Dokuments identifizierten Patentrechten finden sich in der Einleitung und/oder in der ISO-Liste der erhaltenen Patenterklärungen (siehe www.iso.org/patents).

Jeder in diesem Dokument verwendete Handelsname dient nur zur Unterrichtung der Anwender und bedeutet keine Anerkennung.

Für eine Erläuterung des freiwilligen Charakters von Normen, der Bedeutung ISO-spezifischer Begriffe und Ausdrücke in Bezug auf Konformitätsbewertungen sowie Informationen darüber, wie ISO die Grundsätze der Welthandelsorganisation (WTO, en: World Trade Organization) hinsichtlich technischer Handelshemmnisse (TBT, en: Technical Barriers to Trade) berücksichtigt, siehe www.iso.org/iso/foreword.html.

Dieses Dokument wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 163, *Thermal performance and energy use in the built environment*, Unterkomitee SC 2, *Calculation methods*, in Zusammenarbeit mit dem Europäischen Komitee für Normung (CEN), Technisches Komitee CEN/TC 89, *Wärmeschutz von Gebäuden und Bauteilen*, in Übereinstimmung mit der Vereinbarung zur technischen Zusammenarbeit zwischen ISO und CEN (Wiener Vereinbarung) erarbeitet.

Diese dritte Ausgabe ersetzt die zweite Ausgabe (ISO 12241:2008), die technisch überarbeitet wurde.

Die wesentlichen Änderungen sind:

- die Berechnung des konvektiven Anteils des äußeren Wärmeübergangskoeffizienten;
- die Einführung von Wärmebrücken in die Berechnung des allgemeinen Wärmeverlusts;
- die Bereitstellung detaillierter Daten zusammen mit dem Verfahren zur Berechnung von Formstücken (Wärmebrücken), ausschließlich informativ.

Rückmeldungen oder Fragen zu diesem Dokument sollten an das jeweilige nationale Normungsinstitut des Anwenders gerichtet werden. Eine vollständige Auflistung dieser Institute ist unter www.iso.org/members.html zu finden.

Einleitung

Berechnungsverfahren, die die Wärmeleitung betreffen, sind direkte mathematische Ableitungen aus dem Fourierschen Gesetz der Wärmeleitung, so dass kein wesentlicher Unterschied in den Gleichungen besteht, die in den Mitgliedsländern verwendet werden. 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 angewendet, und es existiert kein genaues Verfahren, um zwischen diesen Gleichungen zu wählen.

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

- a) Diese Verfahren berücksichtigen nicht den Luftdurchlass und den Durchlassgrad für Wärmestrahlung durch transparente Medien.
- b) Zur Lösung der Gleichungen dieser Berechnungsverfahren ist es erforderlich, dass bestimmte Systemvariablen bekannt sind bzw. vorgegeben, angenommen oder gemessen werden. In allen Fällen hängt die Genauigkeit der Ergebnisse von der Genauigkeit der Eingabevariablen ab. Dieses Dokument enthält keine Leitlinien für die genaue Messung irgendeiner dieser Variablen. Jedoch enthält sie Hinweise, die sich als ausreichend für die Abschätzung einiger dieser Variablen für viele industrielle Wärmeschutzsysteme erwiesen haben.
- c) Wenn die Berechnungen im stationären Zustand in einer wechselnden thermischen Umgebung verwendet werden (z. B. Prozessausrüstung im Ganzjahresbetrieb, Einsatz im Freien) ist es notwendig, auf der Grundlage von Jahresmittelwerten oder Jahresextremwerten der Wettervariablen (abhängig von der Art der jeweiligen Berechnung) örtliche Wetterdaten für die Berechnungen nach diesem Dokument heranzuziehen.
- d) Insbesondere gilt, dass der Anwender nicht aus den Verfahren dieses Dokuments 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. 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.
- e) Mit Ausnahme der Situation innerhalb von Gebäuden entspricht die durchschnittliche Temperatur des strahlenden Hintergrundes selten der Lufttemperatur, und die Messung von Hintergrundtemperaturen, dem Emissionsgrad sowie Flächen, die der Strahlung ausgesetzt sind, liegt außerhalb des Anwendungsbereichs dieses Dokuments. 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.

Abschnitt 4 und Abschnitt 5 dieses Dokuments geben die Verfahren an, die bei Berechnungen zur industriellen Wärmedämmung angewendet werden, und die von spezifischeren Normen nicht abgedeckt werden.

Abschnitt 6 und Abschnitt 7 dieses Dokuments stellen Anpassungen der allgemeinen Gleichungen an spezifische Anwendungen zur Berechnung des Wärmestromes, des Temperaturabfalls und der Erstarrungszeiten in Rohrleitungen und anderen Behältnissen dar. Die Wärmedämmung von Heizungs-/Kühlsystemen, wie z. B. einem Boiler und einem Kühlgerät, wird in diesem Dokument nicht behandelt.

Anhang A und Anhang B dieses Dokuments dienen nur zur Information.

1 Anwendungsbereich

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

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente werden im Text in solcher Weise in Bezug genommen, dass einige Teile davon oder ihr gesamter Inhalt Anforderungen des vorliegenden Dokuments darstellen. 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 performance of buildings and building components — Physical quantities and definitions*

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

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

ISO 13788, *Hygrothermal performance of building components and building elements — Internal surface temperature to avoid critical surface humidity and interstitial condensation — Calculation methods*

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

3 Begriffe und Symbole

3.1 Begriffe

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

ISO und IEC stellen terminologische Datenbanken für die Verwendung in der Normung unter den folgenden Adressen bereit:

— ISO Online Browsing Platform: verfügbar unter <https://www.iso.org/obp>

— IEC Electropedia: verfügbar unter <https://www.electropedia.org/>

3.1.1

thermisch getrennte Stirnscheibe

Stirnscheibe, die so verwendet wird, dass die Stirnscheiben und Stoßkappen nicht an das Objekt herangeführt werden

Anmerkung 1 zum Begriff: Diese Konstruktion dient zur Vermeidung von Wärmebrücken und der Gefahr der Beschädigung von Dampfbremsen oder Begleitheizungen [15].

3.2 Symbole

Tabelle 1 gibt die physikalischen Größen und Einheiten zu den in diesem Dokument verwendeten Symbolen an.

Tabelle 1 — Physikalische Größen und Einheiten zu Symbolen

Symbol	Physikalische Größe	Einheit
A	Fläche	m^2
A_s	Solarabsorptionskoeffizient	
a	Länge eines Rechtecks	m
a_r	Temperaturfaktor	K^3
b	Breite eines Rechtecks	m
C_r	Strahlungskoeffizient	$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$
c_p	spezifische Wärmekapazität bei konstantem Druck	$\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$
D	Durchmesser	m
d	Dicke	m
d_R	Dämmschichtdicke der Rohrleitung	m
F	Gesamt-Umrechnungsfaktor für die Wärmeleitfähigkeit	
Gr	Grashof-Zahl	
H	Höhe	m
h	Wärmeübergangskoeffizient	$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
J_s	Sonneneinstrahlung	W/m^2
K	Wärmebrückenkoeffizient	W/K
L	Länge	m
l	charakteristische Länge	m
l_i	innere Dämmkappenlänge	m
m	Masse	kg
$\dot{m}$	Massenstrom	kg/s
Nu	Nusselt-Zahl	
P	Umfang	m
p	Druck	Pa
p_a	Wasserdampfdruck	Pa
Pr	Prandtl-Zahl	
q	Wärmestromdichte	W/m^2 oder W/m
R	Wärmedurchlasswiderstand	$\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ oder $\text{m} \cdot \text{K}/\text{W}$ oder K/W
Re	Reynolds-Zahl	
S	Raum innerhalb der Dämmkappe	
T	thermodynamische Temperatur	K
t	Zeit	s

Symbol	Physikalische Größe	Einheit
U	Wärmedurchgangskoeffizient	$W/(m^2 \cdot K)$ oder $W/(m \cdot K)$ oder W/K
w	Geschwindigkeit der Luft oder eines anderen Fluids	m/s
x	Schraubenlänge + 20 mm	mm
α	Koeffizient des Temperaturabfalls entlang einer Rohrleitung	m^{-1}
α'	Koeffizient der Abkühlzeit	s^{-1}
Δh	latente Wärme	J/kg
ε	Emissionsgrad	
Φ	Wärmestrom	W
λ	Wärmeleitfähigkeit	$W/(m \cdot K)$
λ_d	Nennwärmeleitfähigkeit	$W/(m \cdot K)$
λ_D	Betriebswärmeleitfähigkeit	$W/(m \cdot K)$
θ	Celsiustemperatur	°C
θ_b	Messpunkt für die Temperatur am Fuß der Kühlrippe	°C
ρ	Dichte	kg/m ³
φ	relative Luftfeuchte	%
σ	Stefan-Boltzmann-Konstante (siehe Literaturhinweis [8])	$W/(m^2 \cdot K^4)$
ν	kinematische Viskosität der Luft oder eines anderen Fluids	m ² /s
Δ	Differenz	
ΔA	äquivalente Fläche	m ²
ΔL	äquivalente Länge	m
$\Delta \lambda$	zusätzliche Leitfähigkeit durch regelmäßig in das Dämmsystem eingefügte Bauteile	$W/(m \cdot K)$

3.3 Indizes

Tabelle 2 erläutert die Bedeutung der in diesem Dokument verwendeten Indizes.

Tabelle 2 — Erläuterung der Indizes

A	Armatur	i	innen (intern)
a	Umgebung	in	Ausgangszustand
anc	Verankerung	Ka	Dämmkappe
av	Durchschnitt	l	längenbezogen
B	Wärmebrücke	lab	Laboratoriumswerte
c	Kühlung	lam	laminare Strömung
cv	Konvektion	MRT	mittlere Strahlungstemperatur

cr	kritisch	P	Pumpe
cs	Querschnitt	p	Rohrleitung
d	Kanal	r	Strahlung
E	Erdreich, Boden	ref	Bezugswerte
e	außen (extern)	s	Oberfläche
ef	effektiv	sat	gesättigter Dampf
en	Eintritt	se	Außenfläche
ex	Austritt	si	Innenfläche
f	Fluid	sph	kugelförmig
fa	Stirnfläche der Kühlrippe	sq	je Quadrat
fas	Befestigungselement	T	gesamt
FEM	Finite-Elemente-Verfahren	tb	dämmbedingte Wärmebrücke
fi	Endzustand	tur	turbulente Strömung
fin	Kühlrippe	V	senkrecht
fl	Flansch	v	Behälter
forced	erzwungen	W	Wand
fr	gefrierend	w	Wasser
free	frei	wp	Beginn des Einfrierens
H	waagerecht		

4 Regeln und Gleichungen zu Berechnungsverfahren für den Wärmetransport

4.1 Grundgleichungen für den Wärmetransport

4.1.1 Allgemeines

Die in Abschnitt 4 angegebenen Gleichungen gelten nur für den Wärmetransport im stationären Zustand, d. h. wenn die Temperaturen überall im betrachteten Medium über die Zeit konstant bleiben. Die Betriebswärmeleitfähigkeit ist temperaturabhängig; siehe gestrichelte Linie in Bild 1. Für weitere Anwendungszwecke dieses Dokuments muss der Bemessungswert für die Mitteltemperatur jeder einzelnen Schicht angewendet werden.

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):

$$q = \lambda_D \cdot \frac{d\theta}{dx} \quad (1)$$

Für eine Einzelschicht gelten Gleichung (2), Gleichung (3) und Gleichung (4):

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

oder

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

und

$$R = \frac{d}{\lambda_D} \quad (4)$$

Dabei ist

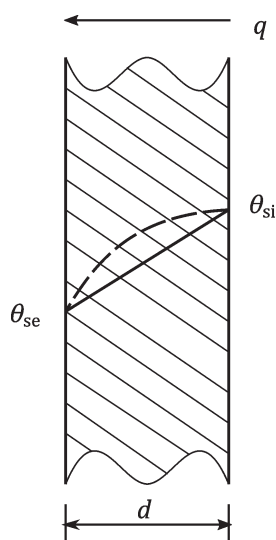
λ_D die Betriebswärmeleitfähigkeit des Dämmproduktes oder -systems, ausgedrückt in $W/(m \cdot K)$;

d die Dicke der ebenen Wand, ausgedrückt in m ;

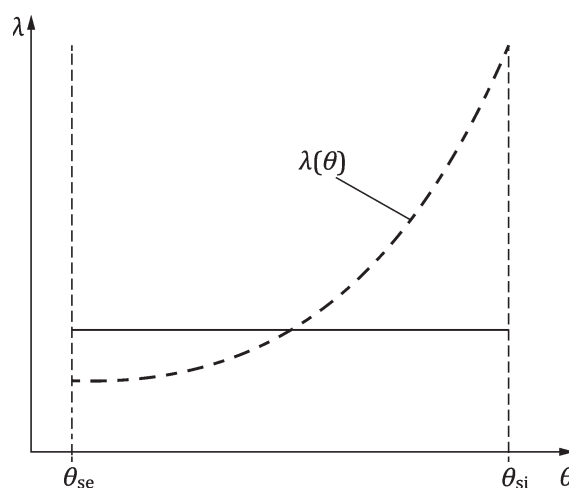
θ_{si} die Temperatur der inneren Oberfläche, ausgedrückt in $^{\circ}C$;

θ_{se} die Temperatur der äußeren Oberfläche, ausgedrückt in $^{\circ}C$;

R der Wärmedurchlasswiderstand der Wand, ausgedrückt in $m^2 \cdot K/W$.



a) Temperaturverteilung in einer einzelnen Schicht



b) Wärmeleitfähigkeit als Funktion der Temperatur

ANMERKUNG Die gestrichelte Kurve in Bild 1a) stellt den Temperaturverlauf in einer Wand dar; unter Berücksichtigung, dass die Wärmeleitfähigkeit von der Temperatur abhängt, entsprechend der gestrichelten Kurve in Bild 1b). Falls die Wärmeleitfähigkeit als temperaturunabhängig betrachtet wird (durchgezogene Linie in Bild 1b)), wird der Temperaturverlauf innerhalb einer Wand durch die gerade Linie in Bild 1a) dargestellt.

Bild 1 — Temperaturverteilung

Für eine mehrschichtige Wand (siehe Bild 2) wird q nach Gleichung (3) berechnet, wobei R der Wärmedurchlasswiderstand der mehrschichtigen Wand ist, wie in Gleichung (5) angegeben:

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

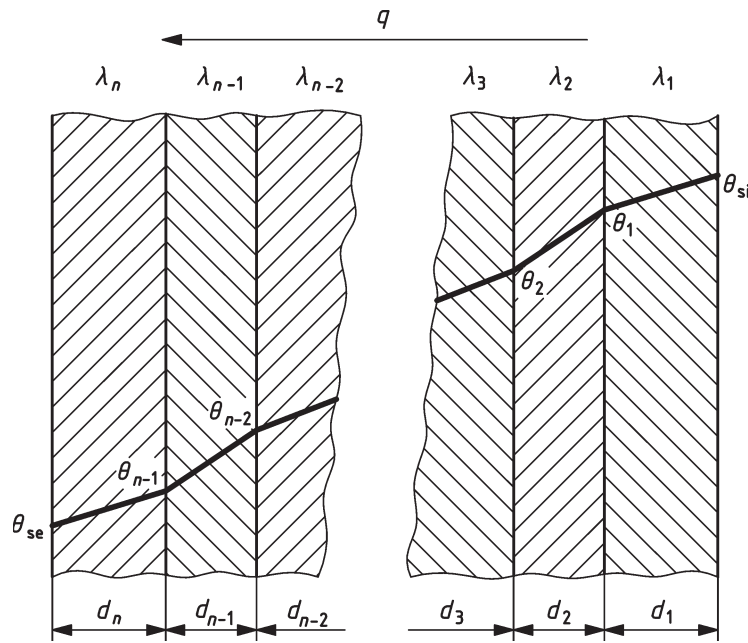


Bild 2 — Temperaturverteilung in einer mehrschichtigen Wand

Die längenbezogene Wärmestromdichte q_l in einem einschichtigen Hohlzylinder (siehe Bild 3) wird in Gleichung (6) angegeben:

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

wobei R_l der längenbezogene Wärmedurchlasswiderstand eines einschichtigen Hohlzylinders [$\text{m} \cdot \text{K}/\text{W}$] ist, wie in Gleichung (7) angegeben:

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

Dabei ist

D_e der Außendurchmesser der Schicht, ausgedrückt in m;

D_i der Innendurchmesser der Schicht, ausgedrückt in m.

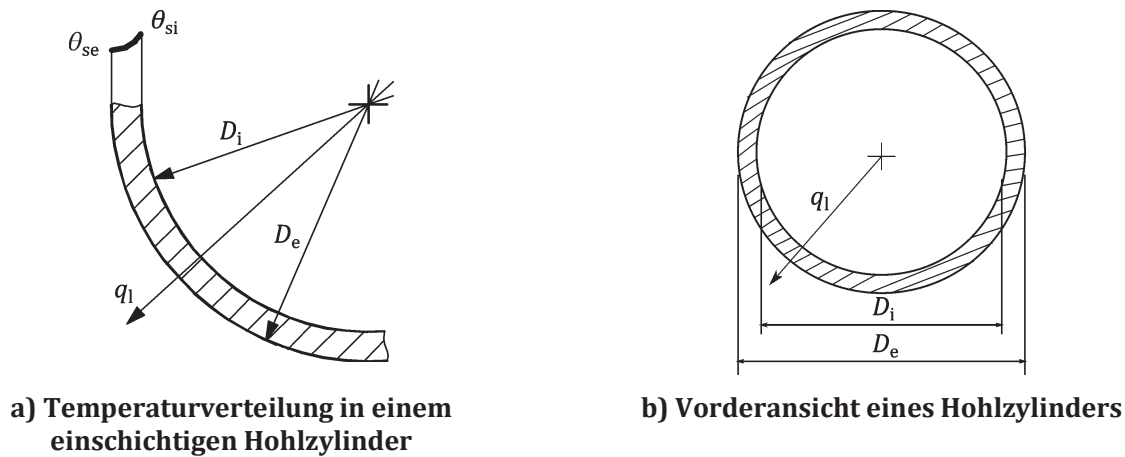


Bild 3 — Temperaturverteilung in einem einschichtigen Hohlzylinder

Für einen mehrschichtigen Hohlzylinder (siehe Bild 4) wird die längenbezogene Wärmestromdichte q_l durch Gleichung (6) berechnet, wobei R_l durch Gleichung (8) angegeben wird:

$$R_l = \frac{1}{2 \cdot \pi} \sum_{j=1}^n \left(\frac{1}{\lambda_{D_j}} \ln \frac{D_{e,j}}{D_{i,j}} \right) \quad (8)$$

Dabei ist

$$D_{i,1} = D_i;$$

$$D_{e,n} = D_e.$$

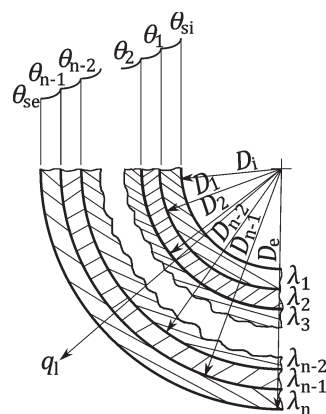


Bild 4 — Temperaturverteilung in einem mehrschichtigen Hohlzylinder

Bei gekrümmten Oberflächen mit einem Durchmesser größer als 1 200 mm wird empfohlen, Gleichungen für eine ebene Wand zu verwenden.

Der Wärmestrom einer Kugel ϕ_{sph} einer einschichtigen Hohlkugel (siehe Bild 5) wird durch Gleichung (9) angegeben:

$$\phi_{\text{sph}} = \frac{\theta_{\text{si}} - \theta_{\text{se}}}{R_{\text{sph}}} \quad (9)$$

wobei R_{sph} der Wärmedurchlasswiderstand einer einschichtigen Hohlkugel [K/W] ist, wie in Gleichung (10) angegeben:

$$R_{\text{sph}} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_D} \left(\frac{1}{D_i} - \frac{1}{D_e} \right) \quad (10)$$

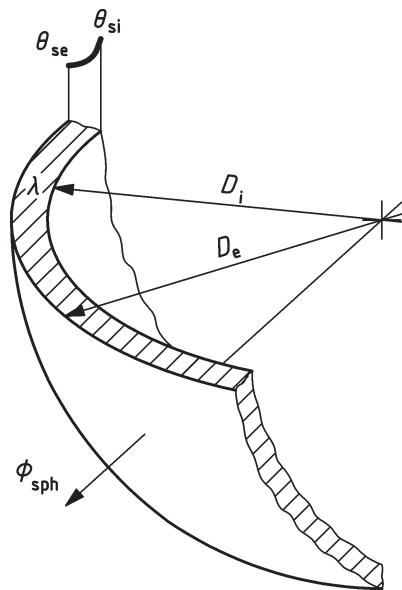


Bild 5 — Temperaturverteilung in einer einschichtigen Hohlkugel

Für eine mehrschichtige Hohlkugel (siehe Bild 6) wird der Wärmestrom einer Kugel, ϕ_{sph} , nach Gleichung (9) berechnet, wobei R_{sph} durch Gleichung (11) angegeben wird:

$$R_{\text{sph}} = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \sum_{j=1}^n \frac{1}{\lambda_{D_j}} \cdot \left(\frac{1}{D_{j-1}} - \frac{1}{D_j} \right) \quad (11)$$

Dabei ist

$$D_0 = D_i;$$

$$D_n = D_e.$$

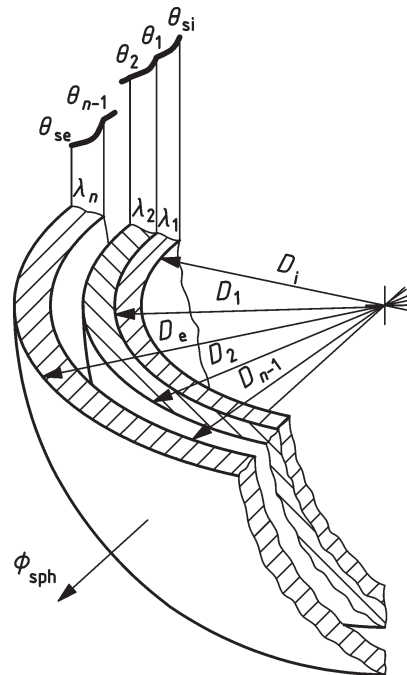


Bild 6 — Temperaturverteilung in einer mehrschichtigen Hohlkugel

Die längenbezogene Wärmestromdichte q_l durch die Wand eines Kanals mit rechtwinkligem Querschnitt (siehe Bild 7) wird durch Gleichung (12) angegeben:

$$q_l = \frac{\theta_{si} - \theta_{se}}{R_l} \quad (12)$$

Der längenbezogene Wärmedurchlasswiderstand R_l [m·K/W] der Wand eines derartigen Kanals kann nach Gleichung (13) näherungsweise berechnet werden:

$$R_l = \frac{2 \cdot d}{\lambda_D \cdot (P_e + P_i)} \quad (13)$$

Dabei ist

d die Dicke der Dämmschicht, ausgedrückt in m;

P_i der innere Umfang des Kanals, ausgedrückt in m;

P_e der äußere Umfang des Kanals, ausgedrückt in m, wie in Gleichung (14) angegeben:

$$P_e = P_i + (8 \cdot d) \quad (14)$$