

Wärmedämmung an haus- und betriebstechnischen Anlagen

Berechnungsregeln

(ISO 12241 : 1998)

Deutsche Fassung EN ISO 12241 : 1998

DIN**EN ISO 12241**

ICS 27.220; 91.140.01

Deskriptoren: Haustechnik, Betriebstechnik, Wärmedämmung, Rohrleitung, Berechnung

Thermal insulation for building equipment and industrial installations – Calculation rules (ISO 12241 : 1998);

German version EN ISO 12241 : 1998

Isolation thermique des équipements du bâtiment et des installations industrielles –

Méthodes de calcul (ISO 12241 : 1998);

Version allemande EN ISO 12241 : 1998

Die Europäische Norm EN ISO 12241 : 1998 hat den Status einer Deutschen Norm.**Nationales Vorwort**

Die Europäische Norm EN ISO 12241 wurde auf der Grundlage der Internationalen Norm ISO 12241 : 1998, die vom ISO/TC 163 "Thermal insulation" unter deutscher Mitwirkung erarbeitet wurde, herausgegeben.

Zuständiges CEN-Gremium ist das Technische Komitee CEN/TC 89 "Wärmeschutz von Gebäuden und Bauteilen" (Sekretariat: Schweden).

Der für die deutsche Mitarbeit zuständige Arbeitsausschuß im DIN Deutsches Institut für Normung e. V. ist der als Spiegelausschuß zu CEN/TC 89 eingesetzte Arbeitsausschuß 00.89.00 "Wärmeschutz" des Normenausschusses Bauwesen (NABau).

Für die im Inhalt zitierten Internationalen Normen wird im folgenden auf die entsprechenden Deutschen Normen hingewiesen:

ISO 7345 : 1987 siehe DIN EN ISO 7345

ISO 8497 : 1987 siehe DIN EN ISO 8497

Nationaler Anhang NA (informativ)**Literaturhinweise**

DIN EN ISO 7345

Wärmeschutz – Physikalische Größen und Definitionen (ISO 7345 : 1987); Deutsche Fassung EN ISO 7345 : 1995

DIN EN ISO 8497

Wärmeschutz – Bestimmung der Wärmetransporteigenschaften im stationären Zustand von Wärmedämmungen für Rohrleitungen (ISO 8497 : 1994); Deutsche Fassung EN ISO 8497 : 1996

Fortsetzung 31 Seiten EN

Normenausschuß Bauwesen (NABau) im DIN Deutsches Institut für Normung e. V.

Deskriptoren: Wärmedämmung, Gebäude, Rohrleitungen, Rohrleitungen für Flüssigkeiten, Leitungen (Rohre), Ausrüstung, Wärmetransport, Wärmeverlust, Berechnungsgrundlagen

Deutsche Fassung

Wärmedämmung an haus- und betriebstechnischen Anlagen

Berechnungsregeln

(ISO 12241 : 1998)

Thermal insulation for building equipment and industrial installations – Calculation rules (ISO 12241 : 1998)

Isolation thermique des équipement du bâtiments et des installations industrielles – Méthodes de calcul (ISO 12241 : 1998)

Diese Europäische Norm wurde von CEN am 1. Januar 1998 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 Zentralsekretariat 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 Zentralsekretariat mitgeteilt worden ist, hat den gleichen Status wie die offiziellen Fassungen.

CEN-Mitglieder sind die nationalen Normungsinstitute von Belgien, Dänemark, Deutschland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Luxemburg, Niederlande, Norwegen, Österreich, Portugal, Schweden, Schweiz, Spanien, der Tschechischen Republik und dem Vereinigten Königreich.

CEN

EUROPÄISCHES KOMITEE FÜR NORMUNG
European Committee for Standardization
Comité Européen de Normalisation

Zentralsekretariat: rue de Stassart 36, B-1050 Brüssel

Inhalt

	Seite		Seite
Vorwort	2	7 Wärmebrücken	20
Einleitung	2	8 Erdverlegte Rohrleitungen	20
1 Anwendungsbereich	3	8.1 Berechnung des Wärmeverlustes (Einzelleitung)	20
2 Normative Verweisungen	3	9 Tabellen und Diagramme	23
3 Definitionen, Symbole und Abkürzungen	3	Anhang A (informativ) Erläuterungen zur Wärmeleitfähigkeit	26
3.1 Physikalische Größen, Symbole und Einheiten	4	Anhang B (informativ) Beispiele	26
3.2 Indizes	5	B.1 Berechnung der notwendigen Dämmschichtdicke für eine zweischichtige gedämmte Wand einer Brennkammer	26
4 Berechnungsgrundlagen für den Wärmetransport	5	B.2 Wärmestrom und Oberflächentemperatur bei einer gedämmten Rohrleitung	27
4.1 Grundgleichungen für den Wärmetransport	5	B.3 Temperaturabfall in einer Rohrleitung	28
4.2 Oberflächentemperatur	16	B.4 Temperaturabfall in einem Behälter	28
4.3 Tauwasserverhütung	18	B.5 Abkühl- und Einfrierzeiten in einer Rohrleitung	29
5 Berechnung der Temperaturänderung in Rohrleitungen, Tanks und Behältern	18	B.6 Erdverlegte Rohrleitung	29
5.1 Temperaturänderung längs einer Rohrleitung	18	B.7 Erforderliche Dämmschichtdicke zur Tauwasserverhütung	30
5.2 Temperaturänderung und Abkühlzeiten in Rohrleitungen, Tanks und Behältern	18	Anhang C (informativ) Literaturhinweise	31
6 Berechnung der Abkühl- und Einfrierzeiten ruhender Flüssigkeiten	19	Anhang ZA (informativ) Normative Verweisungen auf internationale Publikationen und ihre entsprechenden europäischen Publikationen	31
6.1 Berechnung der Abkühlzeit, bei der bei vorgegebener Dämmschichtdicke das Einfrieren von Wasser in einer Rohrleitung verhindert wird	19		
6.2 Berechnung der Einfrierzeit von Wasser in einer Rohrleitung	19		

Vorwort

Der Text der Internationalen Norm vom Technischen Komitee ISO/TC 163 "Thermal insulation" der International Organization for Standardization (ISO) wurde 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 September 1998, und etwaige entgegenstehende nationale Normen müssen bis September 1998 zurückgezogen werden.

Entsprechend der CEN/CENELEC-Geschäftsordnung sind die nationalen Normungsinstitute der folgenden Länder gehalten, diese Europäische Norm zu übernehmen:

Belgien, Dänemark, Deutschland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Luxemburg, Niederlande, Norwegen, Österreich, Portugal, Schweden, Schweiz, Spanien, die Tschechische Republik und das Vereinigte Königreich.

Anerkennungsnotiz

Der Text der Internationalen Norm ISO 12241 : 1998 wurde von CEN als Europäische Norm ohne irgendeine Abänderung genehmigt.

ANMERKUNG : Die normativen Verweisungen auf Internationale Normen sind im Anhang ZA (normativ) aufgeführt.

Einleitung

Berechnungsverfahren, die die Wärmeleitung betreffen, folgen unmittelbar aus dem Fourierschen Gesetz der Wärmeleitung, so daß internationale Übereinstimmung lediglich eine Frage der mathematischen Überprüfung ist. In den verschiedenen Mitglieds-ländern bestehen keine größeren Unterschiede in den angewendeten Gleichungen. Für Konvektion und Strahlung sind allerdings keine exakten Verfahren in praktischer Anwendung, die ohne bestimmte empirische Elemente direkt mathematisch aus Newtons Gesetz der Abkühlung oder Stefan-Boltzmanns Gesetz der Wärmestrahlung ableitbar wären. Insbesondere für Konvektion ist man auf der Grundlage von Labordaten zu vielen verschiedenen Gleichungen gekommen. Unterschiedliche Gleichungen wurden in den verschiedenen Ländern entwickelt und es gibt kein exaktes Verfahren, um eine davon als unstrittig richtig zu bestimmen.

Innerhalb der genannten Grenzen können die Berechnungsverfahren für die meisten Probleme des Wärmetransports im indu-striellen Wärmeschutz angewendet werden.

Diese Verfahren berücksichtigen weder die Konvektion noch die Wärmestrahlung durch transparente Dämmstoffe.

Die Gleichungen für Berechnungsverfahren verlangen zu ihrer Lösung, daß manche Größen bekannt sind, vorgegeben, angenom-men oder gemessen werden. In allen Fällen hängt die Genauigkeit der Ergebnisse von der Genauigkeit dieser Eingabegrößen ab. Diese Norm enthält keine Hinweise für die genaue Ermittlung von irgendeiner dieser Eingabegrößen. Immerhin enthält die Norm Angaben, die sich als zufriedenstellend für die Abschätzung einiger der Größen für viele industrielle Wärmeschutzsysteme erwiesen haben.

Es sei hervorgehoben, daß die Berechnungen stationärer Zustände von Randbedingungen abhängen. Oft ist eine Lösung, die sich aus einer ganz bestimmten Randbedingung ergibt, nicht ausreichend, um ein Betriebssystem zu beschreiben, welches unter wechselnden Umgebungstemperaturen betrieben werden soll (z. B. Betriebsanlagen im Ganzjahresbetrieb, Einsatz im Freien). In

solchen Fällen ist es normalerweise das Beste, die örtlichen Wettermeldungen eines ganzen Jahres heranzuziehen und die Berechnung nach dieser Norm aufgrund der jährlichen Mittelwerte oder der jährlichen Extremwerte der Wetterdaten durchzuführen (abhängig von der Art der jeweiligen Fragestellung).

Insbesondere sollte der Benutzer der Verfahren dieser Norm nicht davon ausgehen, daß entweder die Qualität einer Wärmedämmung oder die Vermeidung von Tauwasser auf der Basis von wenigen einfachen Messungen und unter Benutzung der hier angegebenen grundsätzlichen Berechnungsverfahren verlässlich sichergestellt werden können. Die meisten wärmeübertragenden Oberflächen von industriellen Dämmungen sind nicht isotherm – sie weisen keine gleichmäßige Temperatur auf der Oberfläche, sondern ein ungleichmäßiges Temperaturprofil auf. Daraus ergibt sich die Notwendigkeit für umfangreiche Berechnungen zur zutreffenden Darstellung der Temperaturverteilung einer jeweiligen Oberfläche. Darüber hinaus hängt der Wärmefluß durch eine Oberfläche an jedem Punkt von einer Reihe von Variablen ab, die mit der Qualität der Wärmedämmung direkt nichts zu tun haben. Unter anderem gehören dazu die Umgebungstemperatur, die Luftbewegung, die Oberflächenbeschaffenheit und der Emissionsgrad der wärmeübertragenden Oberfläche und der Strahlungsaustausch mit den Umgebungsflächen (womit oft große Unterschiede verbunden sind). Zur Berechnung der Tauwasserbildung ist örtliche Luftfeuchte ebenfalls ein bedeutender Faktor.

Außerhalb von Gebäuden hat die durchschnittliche Temperatur des strahlenden Hintergrundes selten etwas mit der Lufttemperatur gemein, und die Ermittlung von Hintergrundtemperaturen, Emissionsgraden sowie Strahlung ausgesetzten Flächen ist außerhalb des Anwendungsbereichs dieser Norm. Aus diesen Gründen kann weder die Oberflächentemperatur noch die Temperaturdifferenz zwischen der Oberfläche und der umgebenden Luft als verlässlicher Hinweis auf die Ausführung der Dämmung oder auf die Verhütung von Tauwasserbildung genutzt werden.

Die Abschnitte 4 und 5 dieser Norm geben die Verfahren an die bei wärmetechnischen Berechnungen in der Industrie angewendet werden, die nicht in gesonderten Normen behandelt werden. Bei Anwendungen, bei denen genaue Werte für die Heizeneinsparung oder für die Temperatur gedämmter Oberflächen nicht zugesichert werden müssen oder bei denen die kritische Temperatur für Tauwasserbildung nicht erreicht wird oder keine Rolle spielt, können diese Verfahren benutzt werden, um den Wärmestrom zu berechnen.

Die Abschnitte 6 und 7 dieser Norm beinhalten Anwendungsbeispiele der allgemeinen Gleichungen auf spezifische Fälle zur Berechnung des Wärmestromes, des Temperaturabfalls und der Einfrierzeiten in Rohrleitungen und Behältern.

1 Anwendungsbereich

Diese Internationale Norm legt die Regeln zur Berechnung des Wärmetransports bei haus- und betriebstechnischen Anlagen unter den Bedingungen vorzugsweise des stationären, eindimensionalen Wärmestroms fest.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden normativen Dokumente enthalten Festlegungen, die durch Verweisung in diesem Text Bestandteil der vorliegenden Internationalen Norm sind. Zum Zeitpunkt der Veröffentlichung dieser Internationalen Norm waren die angegebenen Ausgaben gültig. Alle normativen Dokumente unterliegen der Überarbeitung. Vertragspartner, deren Vereinbarungen auf dieser Internationalen Norm basieren, werden gebeten, die Möglichkeit zu prüfen, ob die jeweils neuesten Ausgaben der im folgenden genannten Normen angewendet werden können. Die Mitglieder von IEC und ISO führen Verzeichnisse der gegenwärtig gültigen Internationalen Normen.

ISO 7345 : 1987

Thermal insulation – Physical quantities and definitions

ISO 9346 : 1987

Thermal insulation – Mass transfer – Physical quantities and definitions

ANMERKUNG: Weitere Literaturangaben siehe Anhang C.

3 Definitionen, Symbole und Abkürzungen

Für die Anwendung dieser Internationalen Norm gelten die Definitionen nach ISO 7345 und ISO 9346.

3.1 Physikalische Größen, Symbole und Einheiten

Physikalische Größe	Symbol	Einheit
Wärmestrom	Φ	W
Wärmestromdichte	q	W/m ²
längenbezogene Wärmestromdichte	q_l	W/m
thermodynamische Temperatur	T	K
Celsiustemperatur	θ	°C
Temperaturunterschied	$\Delta\theta$	K
Wärmeleitfähigkeit	λ	W/(m · K)
Betriebswärmeleitfähigkeit	λ_d	W/(m · K)
Wärmeübergangskoeffizient	h	W/(m ² · K)
Wärmedurchlaßwiderstand	R	m ² · K/W
längenbezogener Wärmedurchlaßwiderstand	R_l	m · K/W
längenbezogener Wärmeübergangswiderstand	R_{le}	m · K/W
Wärmeübergangswiderstand	R_s	m ² · K/W
Wärmedurchgangswiderstand einer Hohlkugel	R_{sph}	K/W
Wärmedurchgangskoeffizient einer Hohlkugel	U_{sph}	W/K
Wärmedurchgangskoeffizient	U	W/(m ² · K)
längenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient	U_l	W/(m · K)
spezifische Wärmekapazität bei konstantem Druck	c_p	kJ/(kg · K)
Dicke	d	m
Durchmesser	D	m
Temperaturfaktor	a_t	K ³
Strahlungskoeffizient	C_r	W/(m ² · K ⁴)
Emissionsgrad	ε	—
Stefan-Boltzmann-Konstante (siehe [9])	σ	W/(m ² · K ⁴)
Höhe	H	m
Länge	l	m
Dickenparameter (siehe 4.2)	C'	m
Umfang	P	m
Fläche	A	m ²
Volumen	V	m ³
Geschwindigkeit	v	m/s
Zeit	t	s
Masse	m	kg
Massenstrom	$\dot{m}$	kg/h
Dichte	ρ	kg/m ³
spezifische Erstarrungsenthalpie, Erstarrungswärme	h_{fr}	kJ/kg
relative Luftfeuchte	φ	%

3.2 Indizes

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

4 Berechnungsgrundlagen für den Wärmetransport

4.1 Grundgleichungen für den Wärmetransport

Die in diesem Abschnitt angegebenen Gleichungen gelten nur bei stationärem Wärmetransport, d. h. wenn die Temperaturen überall im betrachteten Stoff zeitlich konstant bleiben. Im allgemeinen ist die Betriebswärmeleitfähigkeit temperaturabhängig (siehe gestrichelte Linie in Bild 1).

Für die Anwendung dieser Internationalen Norm muß die Betriebswärmeleitfähigkeit für die Mitteltemperatur für jede Schicht verwendet werden.

ANMERKUNG : Das kann eine iterative Berechnung erfordern.

4.1.1 Wärmeleitung

Wärmeleitung beschreibt den molekularen Wärmetransport in festen Körpern, Flüssigkeiten und in Gasen unter dem Einfluß eines Temperaturgefälles.

Für die Berechnungen wird angenommen, daß nur in einer Richtung ein Temperaturgefälle herrscht und somit die Temperatur senkrecht zum Temperaturgefälle konstant ist.

Für die Wärmestromdichte q in einer ebenen Wand in x-Richtung gilt:

$$q = -\lambda \cdot \frac{d\theta}{dx} \quad \text{W/m}^2 \quad (1)$$

Für eine Schicht

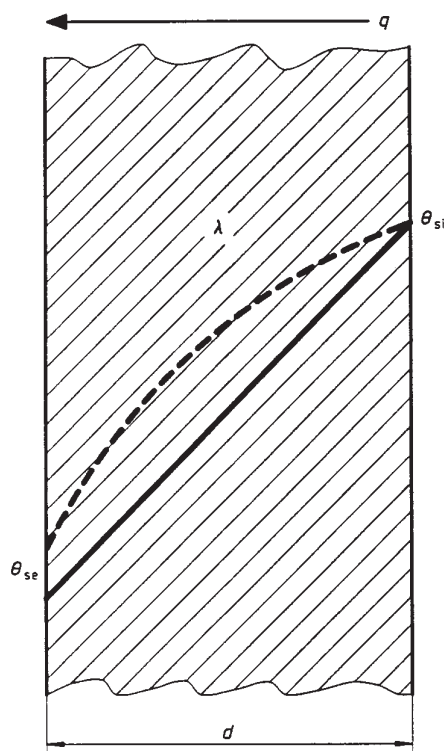
$$q = \frac{\lambda}{d} \cdot (\theta_{si} - \theta_{se}) \quad \text{W/m}^2 \quad (2)$$

der

$$q = \frac{\theta_{si} - \theta_{se}}{R} \quad \text{W/m}^2 \quad (2a)$$

Dabei ist:

- λ die Wärmeleitfähigkeit des Stoffes, in $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$;
- d die Dicke der ebenen Wand, in m;
- θ_{si} die Temperatur der inneren Oberfläche, in $^{\circ}\text{C}$;
- θ_{se} die Temperatur der äußeren Oberfläche, in $^{\circ}\text{C}$;
- R der Wärmedurchlaßwiderstand der Wand, in $\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$.



ANMERKUNG: Die gerade Linie zeigt eine vernachlässigbare, die gestrichelte Linie eine starke Temperaturabhängigkeit von λ

Bild 1: Temperaturverteilung in einer einschichtigen ebenen Wand

Für eine mehrschichtige Dämmung:

$$q = \frac{\theta_{si} - \theta_{se}}{R'} \quad \text{W/m}^2 \quad (3)$$

wobei R' der Wärmedurchlaßwiderstand der mehrschichtigen Wand ist:

$$R' = \sum_{j=1}^n \frac{d_j}{\lambda_j} \quad \text{m}^2 \cdot \text{K/W} \quad (4)$$

ANMERKUNG : Der Apostroph bezeichnet eine mehrschichtige Anordnung.

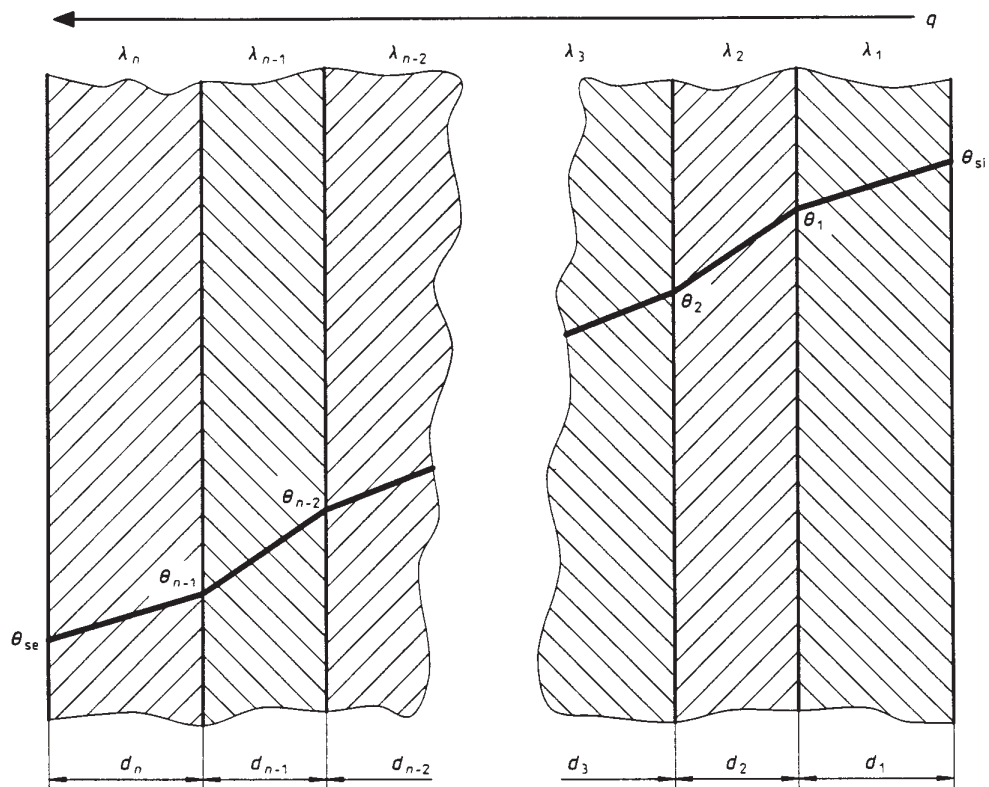


Bild 2: Temperaturverteilung in einer mehrschichtigen Wand

Für die längenbezogene Wärmestromdichte q_1 in einem einschichtigen Hohlzylinder gilt:

$$q_1 = \frac{\theta_{si} - \theta_{se}}{R_1} \quad \text{W/m} \quad (5)$$

worin R_1 der längenbezogene Wärmedurchlaßwiderstand eines einschichtigen Hohlzylinders ist:

$$R_1 = \frac{\ln \frac{D_e}{D_i}}{2 \cdot \pi \cdot \lambda} \quad \text{m} \cdot \text{K/W} \quad (6)$$

Dabei ist:

D_e der äußere Durchmesser der Schicht;

D_i der innere Durchmesser der Schicht.

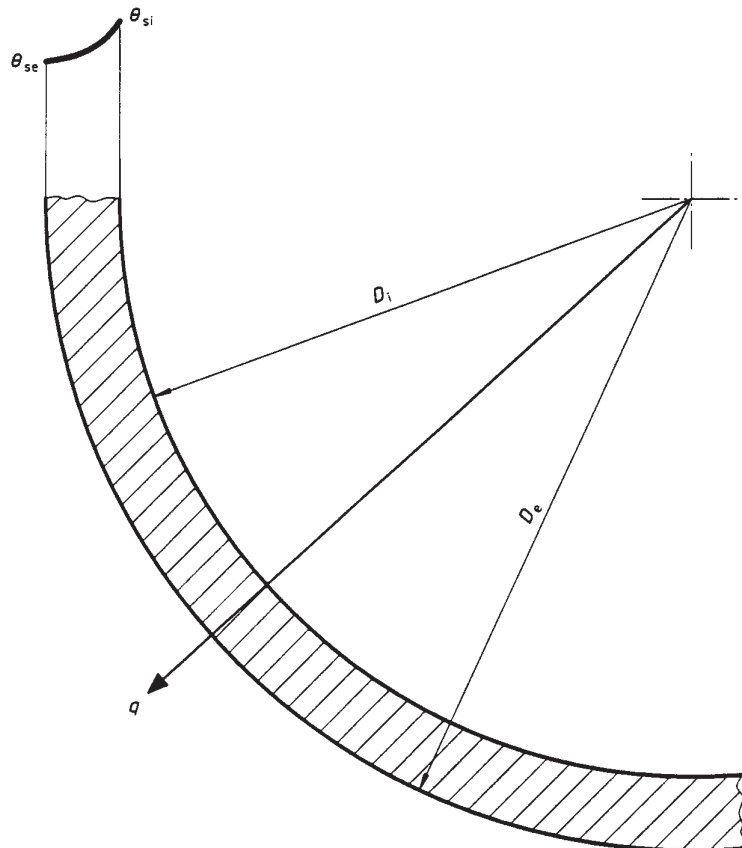


Bild 3: Temperaturverteilung in einem einschichtigen Hohlzylinder

Für mehrschichtige Hohlzylinder gilt:

$$q_1 = \frac{\theta_{si} - \theta_{se}}{R'_1} \quad \text{W/m} \quad (7)$$

Dabei ist:

$$R'_1 = \frac{1}{2 \cdot \pi} \sum_{j=1}^n \left(\frac{1}{\lambda_j} \cdot \ln \frac{D_{ej}}{D_{ij}} \right) \quad \text{m} \cdot \text{K/W} \quad (8)$$

und $D_0 \equiv D_1$ und $D_n \equiv D_e$.

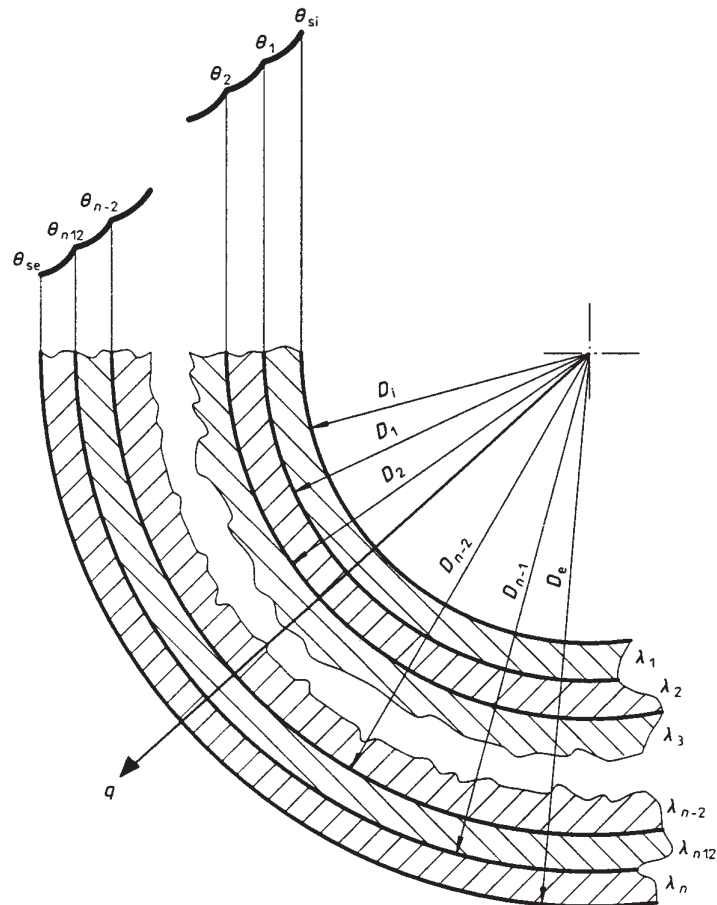


Bild 4: Temperaturverteilung in einem mehrschichtigen Hohlzylinder