

CERAMOR

VERGLEICH DES WÄRMEWIDERSTANDS von

TRADITIONELLEN
DÄMMSTOFFEN

VS

CERAMOR



Berechnungen

Der Gesamtwärmewiderstand (R_t) eines Materials umfasst die folgenden Wärmewiderstände ^{*1)}:

^{*1)} Fundamentals of heat and mass transfer - 6. Aufl. 2007 John Wiley & Sons, Inc.; (Abschnitt 3.1.2. Thermischer Widerstand)

Leitfähiger Wärmewiderstand R_{cond} ,

Konvektiver Wärmewiderstand R_{conv} , UND

Strahlungswärmewiderstand R_{rad}

$$R_t = R_{cond} + R_{conv} + R_{rad} \quad (1)$$

Der konduktive Wärmewiderstand ergibt sich aus der Definition des konduktiven Wärmestroms:

$$H_{cond} = \lambda \frac{\Delta T}{d} = \frac{\Delta T}{\frac{d}{\lambda}} = \frac{\Delta T}{R_{cond}} \quad R_{cond} = \frac{d}{\lambda} \quad (2)$$

Der konvektive Wärmewiderstand ergibt sich aus der Definition des konvektiven Wärmestroms:

$$H_{conv} = h\Delta T = \frac{\Delta T}{\frac{1}{h}} = \frac{\Delta T}{R_{conv}} \quad R_{conv} = \frac{1}{h} \quad (3)$$

Der Strahlungswärmewiderstand R_{rad} kann über die Strahlungswärmeflussgleichung ausgedrückt werden ^{*2)}:

^{*2)} John H. Lienhard IV und John H. Lienhard V, A heat transfer textbook, Ausgabe 5, Phlogiston Press. Cambridge 2019 (Abschnitt 2.3, Widerstand gegen Wärmestrahlung, Seite 71)

$$H_{rad} = \varepsilon\sigma(T_1^4 - T_2^4) = (4\varepsilon\sigma T_m^3)\Delta T = h_{rad}\Delta T = \frac{\Delta T}{\frac{1}{h_{rad}}} = \frac{\Delta T}{R_{rad}} \quad (4)$$

$$T_m = (T_1 + T_2) / 2 \quad (5)$$

$$h_{rad} = 4\varepsilon\sigma T_m^3 \quad \text{Strahlungswärmeübertragungskoeffizient} \quad (6)$$

$$R_{rad} = \frac{1}{h_{rad}} \quad (7)$$

$$R_{rad} = \frac{1}{4\varepsilon\sigma T_m^3} \quad (\text{m}^2\text{K/W}) \quad \text{Strahlungswärmedurchgangskoeffizient} \quad (8)$$

Berechnungen

Wärmewiderstand von herkömmlichen Dämmmaterialien (IM)

Der Wärmewiderstand herkömmlicher Dämmstoffe wird nach etablierten Normen gemessen und berechnet und ist auf den leitfähigen Wärmewiderstand wie in Gleichung (2) beschränkt. Daher ist der Wärmewiderstand herkömmlicher Isolatoren (R_{ins}) eigentlich ein leitfähiger Wärmewiderstand (R_{cond}):

$$R_{ins} = R_{cond} = \frac{\Delta T}{H_{cond}} = \frac{d}{\lambda} \quad (9)$$

Die Wärmeleitfähigkeit wird dann wie folgt berechnet

$$\lambda = \frac{d}{H_{cond}} \quad (10)$$

Der konvektive Wärmewiderstand kann jedoch auch aus standardisierten Tabellen berücksichtigt werden, um $R_{ins} = R_{cond} + R_{conv}$ zu erhalten.

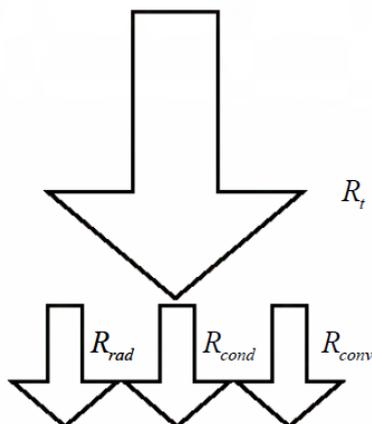
Beispiel: Getesteter Wert für Steinwolle ist: $R=5,56 \text{ m}^2\text{K/W}$ für die Dicke von $d=200 \text{ mm}$. Daher ist, $\lambda=0,036 \text{ W/mK}$

(Veröffentlichter Wert für λ ist $0,035\text{-}0,040 \text{ W/mK}$)

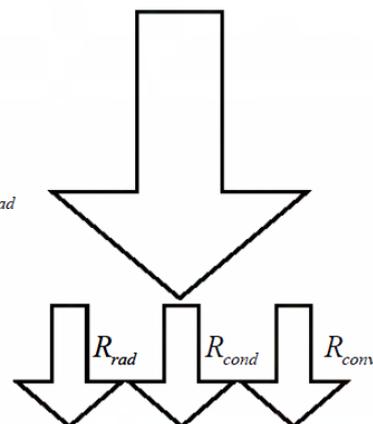
HITZEBESTÄNDIGKEIT

$$R_{TOTAL} = R_{konduktiv} + R_{konvektiv} + R_{radiativ}$$

HITZEBESTÄNDIGKEIT
KLASSISCHE ISOLIERUNG



HITZEBESTÄNDIGKEIT
Ceramor



$$R_t = R_{cond} + R_{conv} + R_{rad}$$

Berechnungen

Die thermische Beständigkeit von Ceramor

Als Verbund-Isoliermaterial der Nanotechnologie, weist Ceramor signifikante leitfähige, konvektive, strahlende und reflektierende Eigenschaften auf. Keine von ihnen wird vernachlässigt.

Für den Wärmestrom, der durch Ceramor geleitet wird, muss der Gesamtwärmewiderstand gemäß Gleichung (1) bestimmt werden:

$$R_t = R_{cond} + R_{conv} + R_{rad} \quad (11)$$

Wenn nur der leitfähige Wärmewiderstand (R_{cond}) gemessen wird für Ceramor unter Verwendung einer Standard-Methode (**ASTM 518-21, Wimpey Testergebnisse, Stichproben: 13/06/2023**), für die Dicke von 0,475 mm, dann werden folgende Ergebnisse erzielt:

$$R_{cond} = 0,0053 \text{ m}^2\text{K/W} \quad (12)$$

und damit

$$\lambda = d/R_{cond} = 0,000475/0,0053 = 0,089 \text{ W/mK} \quad (13)$$

Wenn der konvektive Wärmewiderstand hinzugefügt wird als $R_{conv} = R_{si} + R_{se} = 0,17 + 0,04 = 0,21 \text{ m}^2\text{K/W}$ (**BS EN ISO 6946:2017, Abschnitt 6.8, Tabelle 7**),) wird der Wärmewiderstand von Ceramor:

$$R_t = R_{cond} + R_{conv} = 0,0053 + 0,21 = 0,2153 \text{ m}^2\text{K/W} \quad (14)$$

Nach der Standarddefinition von λ , kann es jetzt nicht berechnet werden als:

$$\lambda = d/R_t = 0,000475/0,2153 = 0,0022 \text{ W/mK} \quad (15)$$

Das Ergebnis kann jedoch als äquivalenter Wert für Konduktion und Konvektion betrachtet werden λ_{eg}

Berechnungen

Wenn der Wärmestrahlungswiderstand von Ceramor hinzugefügt wird mit einem Emissionsgrad von $\varepsilon=0,10$ ($\varepsilon=1-p^{*3}$), $p=0,90^{*4}$, $T_1 = 45^\circ\text{C}$, $T_2 = T_1 - \Delta T = 45 - 0,073 = 44,99^\circ\text{C}$, $\Delta T = HR_c = 13,8 \times 0,053 = 0,073^\circ\text{C}$

*3) ASTM C 1371 ($\varepsilon=1-p$)

*4) GOST 896--69, Diffuser Reflexionskoeffizient (Prüfbericht Nr. 89-44 P-SN1/16, $p=90$)

$T_m = (T_1 + T_2) / 2 = 317,99 \text{ K}$ (Wimpey Labor Testergebnisse), dann wird R_{rad} zu:

$$R_{rad} = \frac{1}{4\varepsilon T_m^3} = \frac{1}{4 \times 0,10 \times 5,67 \times 10^{-8} \times 317,99^3} = 1,37 \text{ m}^2 \text{ K/W} \quad (16)$$

Der gesamte Wärmewiderstand von Ceramor beträgt nun:

$$R_{ct} = R_{cond} + R_{conv} + R_{rad} = 0,0053 + 0,21 + 1,37 = 1,59 \text{ m}^2 \text{ K/W} \quad (17)$$

Wird wieder die äquivalente Wärmeleitfähigkeit von Ceramor eingesetzt, erhält man:

$$\lambda_{ct} = D_c / R_{ct} = 0,000475 / 1,59 = 0,0003 \text{ W/mK} \quad (18)$$

Um zu überprüfen, wie realistisch die angeführte äquivalente Wärmeleitfähigkeit ist, kann die äquivalente Dicke von Ceramor und Steinwolle verglichen werden. Dies ist möglich, wenn davon ausgegangen wird, dass die Wärmeströme durch eine Wand aus Ceramor und Steinwolle gleich sind und die erreichte Temperaturdifferenz ebenfalls gleich ist. Daraus ergibt sich:

$$H_c = H_R \quad (19)$$

$$\lambda_t = \frac{\Delta T_c}{d_c} = \lambda_R \frac{\Delta T_R}{d_R}, (\Delta T_c = \Delta T_R) \quad (20)$$

$$\frac{\lambda_t}{d_c} = \frac{\lambda_R}{d_R} \quad (21)$$

$$d_R = \frac{\lambda_R}{\lambda_t} d_c \quad (22)$$

Berechnungen

Für eine Dicke von Ceramor (z.B. $d_c = 1,0$ mm) sollte die Dicke von Steinwoll sein:

$$d_R = \frac{\lambda_R}{\lambda_c} d_c = \frac{0,035}{0,0003} \times 0,001 = 0,117\text{m} = 117\text{mm} = 11,7\text{cm} \quad (23)$$

Nun ist ermittelt, dass:

Ceramor mit $d_c = 1,0$ mm in etwa der Steinwolle entspricht von $d_R = 11,7$ cm.

Der Wärmewiderstand von Steinwolle mit $d_R = 11,7$ cm und $\lambda = 0,035$ W/mK ist:

$$R_R = \frac{d_R}{\lambda_R} = \frac{0,117}{0,035} = 3,3 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}} \quad (24)$$

FAZIT:

Ceramor mit einer Dicke von 1,0 mm hat den äquivalenten R-Wert von 3,3

Das ist nach den bisherigen Testergebnissen eine realistische Einschätzung. Genauere Ergebnisse können durch unabhängige Messungen bestätigt werden.

Beispiel: Wenn die Ceramor-Dicke $d_c = 0,5$ mm äquivalent d_R und R_R gemäß den Gleichungen (23) und (24) ist:

$$d_R = \frac{\lambda_R}{\lambda_c} d_c = \frac{0,035}{0,0003} \times 0,0005 = 0,058\text{m}$$

$$R_R = \frac{d_R}{\lambda_R} = \frac{0,058}{0,035} = 1,7 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}$$

FAZIT:

Ceramor mit einer Dicke von 0,5 mm hat den äquivalenten R-Wert von 1,7

Der Wärmewiderstand ist eine relevantere Eigenschaft als die Wärmeleitfähigkeit für den Vergleich herkömmlicher Dämmmaterialien (IM) mit wärmeisolierenden Beschichtungen (TIC) wie Ceramor.

Beim Vergleich des Wärmewiderstands von IM (wobei der größte Teil der Wärmeblockierung durch Wärmeleitfähigkeit erfolgt) mit dem Wärmewiderstand von TIC (bei dem alle 3 Wärmeblockierungsfunktionen verwendet werden) muss man den Begriff "äquivalenter Wärmewiderstand" verwenden, um die Auswirkungen von dünnen TIC-Beschichtungen zu begründen, die den gleichen Effekt wie dicke IMs erzeugen.

HINWEIS: Wenn die Wärmeleitfähigkeit zum Vergleich betrachtet wird, sollte die äquivalente Wärmeleitfähigkeit für Ceramor mit angeführt werden, die sich auf den gesamten Wärmewiderstand auswirkt als Summe der Wärmewiderstände für Konduktion, Konvektion und Strahlung.

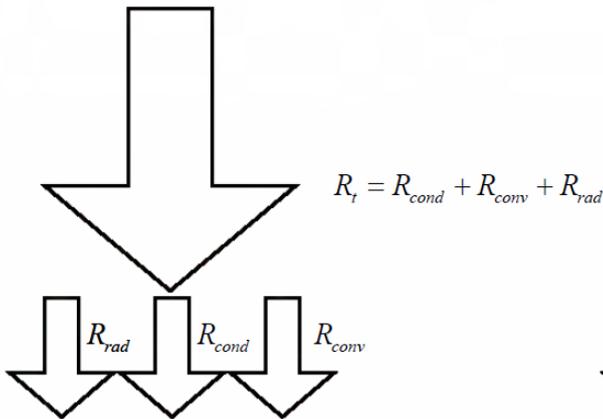
Quellenangabe

- Fundamentals of heat and mass transfer - 6. Aufl. 2007 John Wiley & Sons, Inc. (Abschnitt 3.1.2. Thermal resistance)
- John H Lienhard IV und John H Lienhard V, A heat transfer textbook, Ausgabe 5, Phlogiston Press, Cambridge, 2019 (Abschnitt 2 3, Resistance for thermal radiation, Seite71)
- ASTM C 1371 ($\epsilon=1 \cdot p$)
- G05T 896-69, Diffuse reflection coefficient (Testbericht Nr: 89-44 P-SN1/16, $p=0,90$ - Anhang 3)

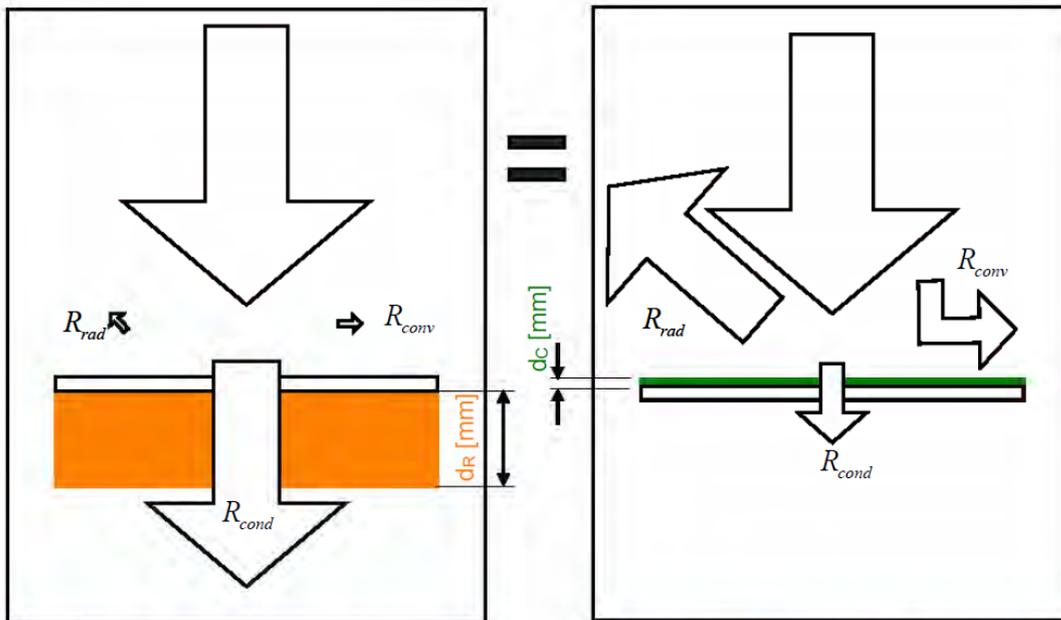
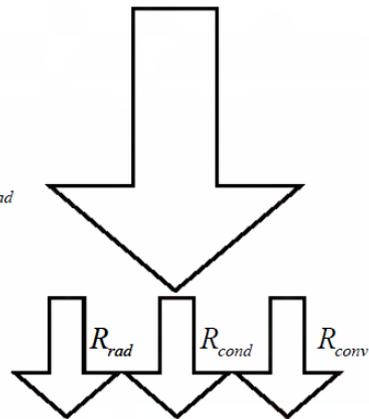
HITZEBESTÄNDIGKEIT

$$R_{\text{TOTAL}} = R_{\text{konduktiv}} + R_{\text{konvektiv}} + R_{\text{radiativ}}$$

HITZEBESTÄNDIGKEIT KLASSISCHE ISOLIERUNG



HITZEBESTÄNDIGKEIT Ceramor



HITZEBESTÄNDIGKEIT

$$R_{\text{TOTAL}} = R_{\text{konduktiv}}$$

HITZEBESTÄNDIGKEIT

$$R_{\text{TOTAL}} = R_{\text{konduktiv}} + R_{\text{konvektiv}} + R_{\text{radiativ}}$$

Im Beispiel:

d_R von 117,0 [mm] = R_R 3,3 von Steinwolle entspricht jetzt der Ceramor-Dicke von d_C von 1,0 [mm] und hat als solche R_C 3,3 oder d_C von 0,5 [mm] und hat als solche R_C 1,7