

Betrifft: **AnTherm**; Modul zur Berechnung äquivalenter Wärmeleitfähigkeiten für Hohlräume

Vorerst sollte im Menü „Werkzeuge“ ein Programm zur Berechnung von äquivalenten Wärmeleitfähigkeiten für geschlossene Hohlräume angeboten werden. Später könnte bei einer Element-Bezeichnung „Hohlraum“ die entsprechende Berechnung automatisch gestartet werden.

Anmerkung: Ein Hohlraum wird nur in Ausnahmefällen aus einem einzigen Element bestehen; im Normalfall wird ein Hohlraum durch eine Gruppe von Elementen beschrieben werden.

Die im Folgenden angeführten Berechnungsvorschriften orientieren sich an den Euronormen EN ISO 6946 und EN ISO 10077-2 und sind für zweidimensionale Berechnungen ausgelegt.

Der Wärmedurchlasswiderstand einer **rechteckigen** Luftschicht R_g errechnet sich gemäß

$$R_g = \frac{1}{h_a + 0,5 \cdot h_r \cdot \left(1 + \sqrt{1 + \frac{d^2}{b^2}} - \frac{d}{b}\right)}$$

Hierbei ist

d ... **Dicke** des Hohlräume gemessen **in Richtung des Wärmestroms** [m]

b ... **Breite** des Hohlräume (senkrecht zur Dicke) [m]

Anmerkung: Da die Richtung des Wärmestroms bei mehrdimensionalen Berechnungen nicht von vornherein bekannt ist, ist die normative Forderung eine „Dicke“ und eine „Breite“ der Luftschicht festzulegen an und für sich nicht erfüllbar. Die entsprechende Entscheidung ist somit dem Gefühl des Programmbenutzers zu überlassen. \Rightarrow Für AnTherm bedeutet dies, dass die Richtung des Wärmeffusses vom Benutzer („längs der x-Achse oder längs der y-Achse“) festzulegen ist.

h_a berücksichtigt den konvektiven Wärmeübergang an den Hohlraumoberflächen und wird wie folgt gesetzt:

Wärmestrom	h_a [$\text{Wm}^{-2} \text{K}^{-1}$]
horizontal	$\text{Max} \left(1,25, \frac{0,025}{d}\right)$
nach oben	$\text{Max} \left(1,95, \frac{0,025}{d}\right)$
nach unten	$\text{Max} \left(0,12 \cdot d^{-0,44}, \frac{0,025}{d}\right)$

h_r berücksichtigt die langwellige Emission der begrenzenden Oberflächen und errechnet sich gemäß

$$h_r = \frac{h_{r0}}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1}$$

$\varepsilon_1, \varepsilon_2$ Emissionszahlen für langwellige Strahlung der begrenzenden Oberflächen

Defaultwert für ε_1 und ε_2 : **0,9** [-]

h_{r0} ... Wärmeübergangskoeffizient für den schwarzen Körper [$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$]

$$h_{r0} = 4 \cdot \sigma \cdot T_m^3$$

σ ... Stefan-Boltzmann-Konstante: $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8}$ [$\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$]

T_m .. mittlere, absolute Temperatur des Hohlraums [K]

Defaultwert für T_m : 283,15 K (10 °C)

Für den Normalfall **nicht rechteckiger Hohlräume** sieht die Norm folgende Vorgangsweise vor:

Es ist die äquivalente Wärmeleitfähigkeit für einen fiktiven rechteckigen Hohlraum zu berechnen. Dieser fiktive Hohlraum ist wie folgt zu konstruieren:

1. Es ist das den interessierenden Hohlraum **umschreibende Rechteck** zu konstruieren.
2. Der fiktive Hohlraum hat die **gleiche Fläche** wie der ursprüngliche Hohlraum.
3. Das **Verhältnis von Dicke und Breite** ist für den fiktiven Hohlraum **gleich** wie für den interessierenden Hohlraum.

Die für den fiktiven Hohlraum errechnete äquivalente Wärmeleitfähigkeit ist für den interessierenden (nicht rechteckigen) Hohlraum einzusetzen.

Anmerkung: Erfahrungsgemäß ist bei obiger Vorgangsweise die Berechnung der Fläche das Mühsamste. Es wäre schön, wenn AnTherm die Fläche einer Gruppe von „Hohlraum“-Elementen mit der gleichen Hohlraum-Bezeichnung automatisch berechnen würde!

Die gesuchte äquivalente Wärmeleitfähigkeit λ_{equ} des Hohlraums ergibt sich aus dem Wärmedurchlasswiderstand R_g gemäß

$$\lambda_{equ} = \frac{d}{R_g} .$$