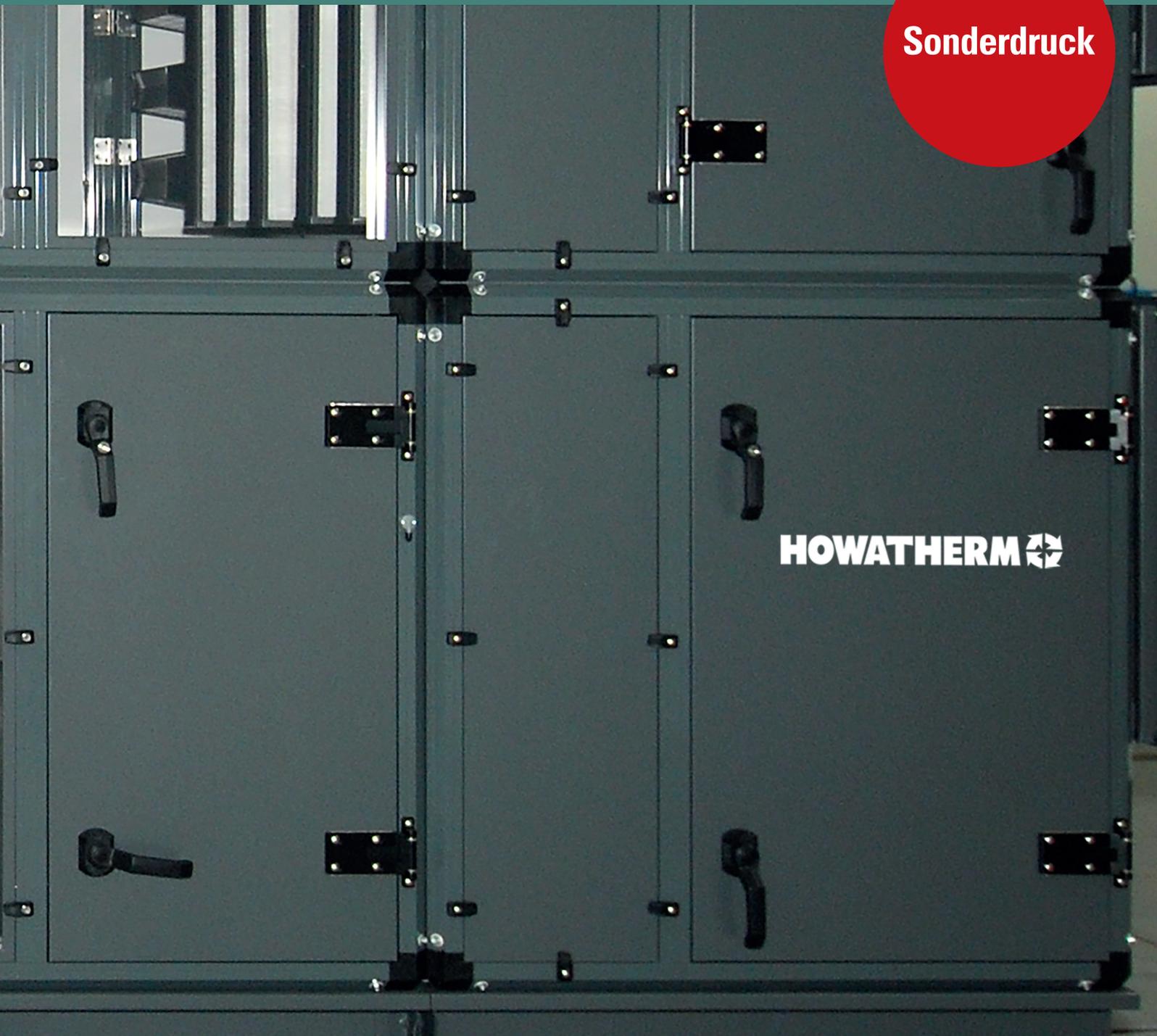


HLH

Lüftung | Klima
Heizung | Sanitär
Gebäudetechnik

Organ des VDI für Technische Gebäudeausrüstung

Sonderdruck



Eine kritische Betrachtung

**Verfahren zur Bestimmung der thermischen Güte
von Gehäusekonstruktionen von RLT-Geräten nach DIN EN 1886**

Eine kritische Betrachtung

Verfahren zur Bestimmung der thermischen Güte von Gehäusekonstruktionen von RLT-Geräten nach DIN EN 1886

Die Norm DIN EN 1886¹⁾ wurde in ihrer ersten Version im Jahr 1998 herausgegeben. Im Zuge der Überarbeitung erfolgte die zweite Veröffentlichung im Jahr 2007. Die Norm ist somit schon seit mehr als 20 Jahren Stand der Technik und dient als Referenz zur Beurteilung thermischer Kennwerte von RLT-Gerätegehäusen. In diesem Fachbericht werden im Speziellen der Wärmedurchgang und die Kältebrücken der Konstruktion betrachtet.

TEXT: Maria Swiderek, Boris Wollscheid und Christoph Kaup

Die wohl wichtigste Kennziffer bei der Beurteilung der Wärmedämmeigenschaften eines RLT-Gerätegehäuses ist die Wärmedurchgangszahl, oft als U-Wert bezeichnet. Sie ist eine Kennziffer zur Beschreibung der hintereinander geschalteten Wärmeübergangs- und Wärmeleitungsvorgänge, die bei der Wärmeübertragung von einem wärmeren in ein, durch einen Festkörper getrenntes, kälteres Fluid stattfinden.

$$\dot{Q} = U \cdot A \cdot (\vartheta_1 - \vartheta_2)$$

wobei:

- \dot{Q} thermische Wärmeleistung in [W]
- U Wärmedurchgangskoeffizient in [W/m²/K]
- A wärmeübertragende Fläche
- ϑ_1 Temperatur Fluid 1 in [°C]
- ϑ_2 Temperatur Fluid 2 in [°C]

mit:

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}$$

wobei:

- α_1 Wärmeübergangskoeffizient Fluid 1 in [W/m²/K]
- α_2 Wärmeübergangskoeffizient Fluid 2 in [W/m²/K]
- δ Dicke des wärmeleitenden Bauteils in [m]
- λ Wärmeleitwiderstand des wärmeleitenden Bauteils in [W/m/K]

Wie die oben genannte Gleichung zeigt, ist es notwendig, ein Wandbauteil mit geringer Wärmeleitfähigkeit und einer möglichst großen Dicke zu wählen, um einen kleinen U-Wert zu erreichen. Die inneren und äußeren Wärmeübergangskoeffizienten sollten so klein wie möglich sein. Der Wärmeübergangskoeffizient an der Innenwand eines RLT-Gerätegehäuses ist berechenbar mit dem Ansatz für erzwungene Konvektion durchströmter Körper. Aufgrund der geringen Strömungsgeschwin-

digkeiten in RLT-Geräten kann von einer laminaren Kanalströmung ausgegangen werden. Die äußere Wand kann mit dem Modell der natürlichen Konvektion beschrieben werden. Damit ergeben sich theoretisch Wärmeübergangskoeffizienten von etwa 1,5 bis 2 W/m²/K für die freie Konvektion außen und innen, bei Messbedingungen (Luftwechsel 100 mit $w \approx 0,2$ m/s) rund 2,5 W/m²/K.

U-Wert Bestimmung

In der DIN EN 1886 erfolgt die Klassifizierung der Wärmedämmeigenschaften eines RLT-Gerätegehäuses durch die Einteilung in sogenannte T-Klassen. Die messtechnische Bestimmung des U-Werts ist an einem Prüfgehäuse (Modelbox) durchzuführen. Dabei ist die grundlegende Anforderung, dass das geprüfte Gehäuse möglichst genau der Bauweise und der konstruktiven Qualität der für den Produktbereich typischen Ausführung entspricht. Die Modelbox muss dazu mit den identischen Fertigungs- und Montagemeethoden gefertigt werden wie Geräte aus

der regulären Produktion. Die Norm gibt für die Höhe und die Breite der Modelbox Werte zwischen 0,9 m und 1,4 m vor. Die äußere Oberfläche muss zwischen 10 m² und 30 m² liegen. Weiterhin muss die Modelbox aus zwei gekoppelten Gehäuseeinheiten bestehen, die im Inneren mit regulierbaren Heizvorrichtungen ausgestattet werden. Zur Verhinderung einer zu starken Temperaturschichtung sind Vorrichtungen zur Luftumwälzung mit einer Luftumwälzrate von 100 bis 110 je Stunde anzubringen. Der Aufstellort ist so zu wählen, dass das Prüfgehäuse isoliert aufgestellt werden kann. Hierzu sollte der Abstand zum Fußboden 300 bis 400 mm betragen und eine Umgebungsströmung von < 0,5 m/s gegeben sein.

Die Messung des U-Wertes erfolgt indirekt durch Messung der Temperaturdifferenz zwischen mittlerer Innenluft- und mittlerer Außenlufttemperatur und der zugeführten elektrischen Leistung im Beharrungszustand, also in dem Fall wenn die elektrisch zugeführte Leistung gleich dem Wärmeverlust ist, der über das Gehäuse abgegeben wird. Der U-Wert ergibt sich somit nach:

$$U = \frac{P_{el}}{A \cdot \Delta\vartheta_{air}}$$

mit:

- P_{el} elektrische Leistungsaufnahme der Heizungen (einschließlich der Ventilatoren) in [W]
- A Fläche des Prüfgehäuses (Modelbox) in [m²]
- $\Delta\vartheta_{air}$ Temperaturdifferenz der Luft (innen zu außen) in [K]

Das Prüfgehäuse ist demnach mit Vorrichtungen zur Temperatur- und zur Leistungsmessung auszustatten. Für die Temperaturmessung sieht die DIN EN 1886 eine Einteilung der Modelbox über deren Länge in drei gleiche Messzonen vor. In den Gehäuseecken und in den Ecken der Zonentrennstellen sind im Abstand von 100 mm zu den Gehäusewänden Temperaturempfänger anzubringen, sodass die Temperatur im Inneren an 16 Stellen geometrisch verteilt gemessen wird. Die Temperatur der Außenluft ist durch sechs Temperaturempfänger je 0,25 m zentriert von den Außenwänden entfernt zu bestimmen (**Bild 1**).

Zur Durchführung der Messung ist eine stationäre Temperaturdifferenz zwi-

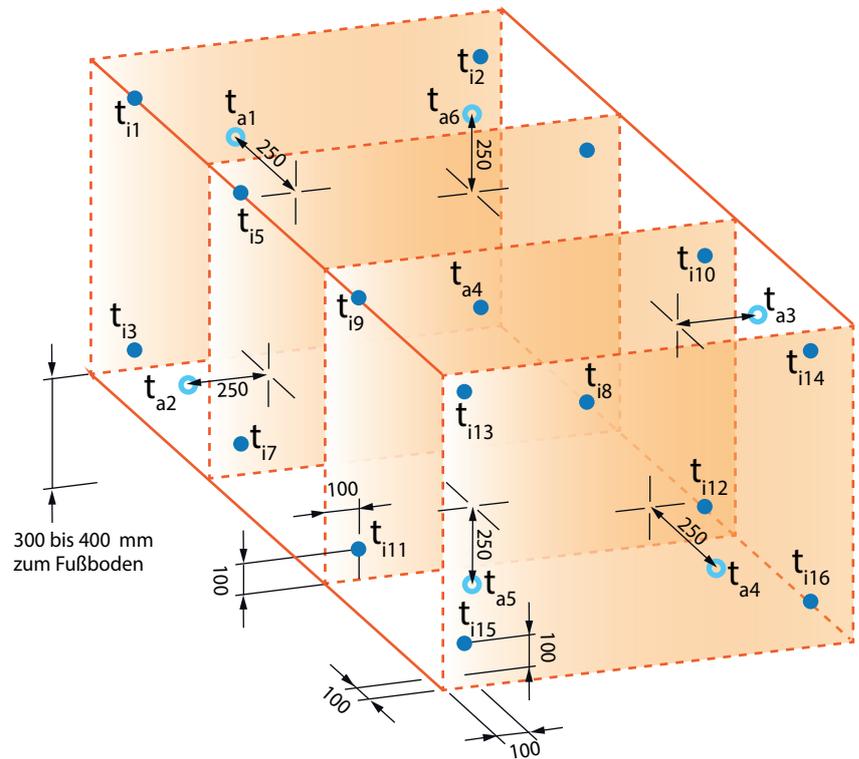


Bild 1: Position der Temperaturmessfühler nach DIN EN 1886 (Abmessungen in mm). Bild: Schiller-Krenz

schen mittlerer Innen- und mittlerer Außentemperatur herzustellen. Es ist dafür zu sorgen, dass die Standardabweichung der Messreihen dieser beiden Temperaturen 1,0 K während eines 30-Minuten-Intervalls nicht überschreitet. Zur Sicherung von homogenen Bedingungen im Inneren des Prüfgehäuses darf die Temperaturdifferenz zwischen den inneren Messstellen 2,0 K nicht überschreiten und die Temperaturdifferenz zwischen den gemittelten Zonentemperaturen darf nicht über 0,5 K liegen. Um den Einfluss der Umgebungsströmung zu verringern, dürfen die gemessenen Außentemperaturen nicht mehr als 0,5 K voneinander abweichen.

Bei einer stationären Temperaturdifferenz von 20 K zwischen mittlerer Innen- und mittlerer Außentemperatur und unter Einhaltung der oben genannten Bedingungen wird die zugeführte elektrische Leistung der Heizungen und der Ventilatoren zur Luftumwälzung ermittelt. Die mit diesen Werten errechnete Wärmedurchgangszahl kann schließlich zur Einteilung des Gerätegehäuses in die entsprechende T-Klasse verwendet werden (**Tabelle 1**).

Neben dem Wärmedurchgangskoeffizienten wird bei der Messung weiterhin der Wärmebrückenfaktor k_b der Gehäuse-

konstruktion bestimmt. Auf diese Weise kann das Gehäuse in eine der fünf TB-Klassen eingeteilt werden (**Tabelle 2**). Die TB-Klasse ist dabei ein Indikator für die Kondensationsneigung des Gehäuses, welche von der Klasse TB1 bis TB5 zunimmt. Zur Bestimmung des Wärmebrückenfaktors einer Gehäusekonstruktion muss die minimale Temperaturdifferenz zwischen einem Punkt auf der äußeren Gehäuseoberfläche und der zugehörigen mittleren Zoneninnenlufttemperatur unter zuvor erläuterten stabilen Prüfbedingungen (stationäre Temperaturdifferenz von 20 K zwischen Innen- und Außentemperatur) ermittelt werden. Der Wärmebrückenfaktor berechnet sich nach:

$$k_b = \frac{\Delta\vartheta_{min}}{\Delta\vartheta_{air}}$$

mit:

$$\Delta\vartheta_{min} = \vartheta_i - \vartheta_{s,max}$$

F U B N O T E

- 1) DIN EN 1886:2009-07: Lüftung von Gebäuden – Zentrale raumlufttechnische Geräte – Mechanische Eigenschaften und Messverfahren; Deutsche Fassung EN 1886:2007.

wobei:

- $\Delta\vartheta_{\text{air}}$ Temperaturdifferenz der Luft (innen zu außen) in [K]
- ϑ_1 jeweilige Innentemperatur in [°C]
- $\vartheta_{s,\text{max.}}$ max. Oberflächentemperatur in [°C]

Wärmestrahlung von Oberflächen

Neben dem konvektiven Wärmeübergang muss auch immer die Wärmestrahlung eines Körpers berücksichtigt werden. Die DIN EN 1886 vernachlässigt bei den thermischen Prüfungen diesen Umstand, weist jedoch darauf hin, dass in den Prüfraum keine Strahlungswärme von außen einfallen darf. Weiterhin werden Messgeräte gefordert, die gegen thermische Strahlung geschützt sind. Die Strahlungsleistung vom oder zum Prüfgehäuse wird messtechnisch jedoch nicht berücksichtigt.

Jedoch kann durch den Prüfaufbau und der zwangsläufig vorhandenen Temperaturdifferenz zwischen der Modelbox und der Umgebung eine Beeinflussung der Messwerte durch Strahlung nicht ausgeschlossen werden. Jeder Körper gibt neben der Konvektion auch Wärme in Form von Strahlung ab oder nimmt sie auf. Die Strahlungswärme ($\dot{Q}_{\text{Strahlung}}$) berechnet sich für zwei parallel angeordnete Flächen aus folgender Beziehung:

$$\dot{Q}_{\text{Strahlung}} = C_{12} \cdot A \cdot (T_1^4 - T_2^4)$$

wobei:

- A wärmeübertragende Fläche (Gehäuse) in [m²]
- T₁ Temperatur der ersten Fläche (Gehäuse) in [K]
- T₂ Temperatur der zweiten Fläche (Umgebung, z. B. Wand) in [K]
- C₁₂ Strahlungsaustauschzahl (im Beispiel bei parallelen Platten)

$$C_{12} = \frac{\sigma}{\left(\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1\right)}$$

mit:

- ε_1 Emissionskoeffizient der ersten Fläche (Gehäuse)
- ε_2 Emissionskoeffizient der zweiten Fläche (Umgebung, zum Beispiel Wand)
- σ Stefan-Boltzmann-Konstante $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2/\text{K}$

Klasse	Wärmedurchgangszahl (U) W x m ⁻² x K ⁻¹
T1	$U \leq 0,5$
T2	$0,5 < U \leq 1,0$
T3	$1,0 < U \leq 1,4$
T4	$1,4 < U \leq 2,0$
T5	keine Anforderungen

Tabelle 1: Klassen der Wärmedurchgangszahlen nach DIN EN 1886.

Klasse	Wärmebrückenfaktor
TB1	$0,75 < k_b < 1,00$
TB2	$0,60 \leq k_b < 0,75$
TB3	$0,45 \leq k_b < 0,60$
TB4	$0,30 \leq k_b < 0,45$
TB5	keine Anforderungen

Tabelle 2: Wärmebrückenfaktoren nach DIN EN 1886.

Im Sonderfall bei sehr großen Umschließungsflächen ist:

$$C_{12} \approx \sigma \cdot \varepsilon_1$$

und damit ergibt sich für die Strahlungsleistung näherungsweise:

$$\dot{Q}_{\text{Strahlung}} \approx \sigma \cdot \varepsilon_1 \cdot A \cdot (T_1^4 - T_2^4)$$

Theoretische Betrachtung der Strahlungsleistung einer Modelbox

Folgende Werte stellen sich während einer üblichen Modelboxmessung ein:

- Oberfläche des Prüfgehäuses mit $A = 25 \text{ m}^2$
- mittlere Innentemperatur mit $\vartheta_1 = 40 \text{ °C}$
- mittlere Oberflächentemperatur des Prüflings mit $\vartheta_1 = 22 \text{ °C}$ und damit $T_1 = 295,15 \text{ K}$
- Umgebungstemperatur mit $\vartheta_2 = 20 \text{ °C}$ und damit $T_2 = 293,15 \text{ K}$
- Emissionskoeffizient verzinktes Stahlblech mit $\varepsilon = 0,25$

Hiermit ergibt sich:

$$\dot{Q}_{\text{Strahlung}} \approx 5,67 \cdot 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}^4} \cdot 0,25 \cdot 25 \text{ m}^2 \cdot (295,15^4 - 293,15^4) \text{ K}^4$$

$$\dot{Q}_{\text{Strahlung}} \approx 72 \text{ W}$$

Wird nun das identische Prüfgehäuse nicht aus verzinktem Stahlblech, sondern mit einer beschichteten Oberfläche (zum Beispiel weiß matt) betrachtet, ändert sich der Emissionskoeffizient auf $\varepsilon = 0,95$. Daraus ergibt sich unter der Annahme einer unveränderten Oberflächentemperatur:

$$\dot{Q}_{\text{Strahlung}} \approx 5,67 \cdot 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}^4} \cdot 0,95 \cdot 25 \text{ m}^2 \cdot (295,15^4 - 293,15^4) \text{ K}^4$$

$$\dot{Q}_{\text{Strahlung}} \approx 274 \text{ W}$$

Alleine durch die Änderung der Oberflächenbeschaffenheit erhöht sich der Wärmestrahlungsanteil in diesem Beispiel um rund 200 W.

Aus diesen theoretischen Überlegungen stellt sich die Frage, ob die DIN EN 1886 als Messverfahren valide Ergebnisse liefern kann, da der Einfluss der Strahlung durch die zwangsläufig auftretenden Temperaturunterschiede kaum verhindert werden kann. Dies wäre nur dann möglich, wenn die Umschließungsflächen während der Messung auf die gleiche Temperatur wie das Prüfgehäuse geregelt werden könnten. Diese Anpassung ist allerdings kaum realisierbar, da der Aufwand sehr groß wäre und die Oberflächentemperatur der Modelbox nicht einheitlich ist. Zudem würde sich bei permanenter Anpassung der Umgebungstemperatur kaum ein Gleichgewichtszustand einstellen.

Die Norm geht per Definition davon aus, dass die elektrische Leistung P_{el} gleich gesetzt werden kann mit der Wärmeleistung \dot{Q} . Weiterhin geht die Norm davon aus, dass sich die Wärmeleistung nur aus den konvektiven Wärmeverlusten einschließlich der Wärmeleitung ergibt. Bei einem U-Wert von 1,0 (Grenzwert zur Klasse T2) lägen die Wärmeverluste mittels Konvektion und Wärmeleitung bei den geforderten 20 K Temperaturdifferenz zwischen Innenraum und Umgebung bei:

$$\dot{Q}_{\text{WÜ}} = 1,0 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \cdot 25 \text{ m}^2 \cdot (40 - 20) \text{ K} = 500 \text{ W}$$

Aus den theoretischen Überlegungen wird jedoch deutlich, dass sich die elektrische Leistung P_{el} aus der Summe der Wärmeleistungen durch Wärmeleitung und Konvektion ($\dot{Q}_{WÜ}$) und aus der Strahlungsleistung zusammensetzt:

$$\dot{Q} = P_{el} = \dot{Q}_{WÜ} + \dot{Q}_{Strahlung}$$

Hieraus kann sich eine erhebliche Abweichung zu den tatsächlichen U-Werten ergeben, da zwar in der elektrischen Leistung der Strahlungsanteil enthalten ist, jedoch die Temperaturdifferenzen zwischen dem Innenraum und der Umgebung messtechnisch lediglich die konvektiven Wärmeverluste einschließlich Wärmeleitung wiedergeben.

Wird beispielsweise angenommen, dass die Wärmeverluste, die auf Basis von Wärmeübertragungsvorgängen zum Beispiel bei $\dot{Q}_{WÜ} = 500 \text{ W}$ lägen und die Oberfläche des Prüfgehäuses verzinkt wäre, würde sich folgende elektrische Leistung und damit thermische Leistungen ergeben:

$$\dot{Q} = P_{el} = 500 \text{ W} + 72 \text{ W} = 572 \text{ W}$$

Damit würde sich folgender „scheinbarer“ Wärmedurchgangskoeffizient (U) ergeben:

$$U = \frac{\overline{P_{el}}}{A \cdot \Delta \vartheta_{air}} = \frac{572 \text{ W}}{25 \text{ m}^2 \cdot 20 \text{ K}} = 1,144 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{ K}}$$

Würde das exakt gleiche Prüfgehäuse mit einer Beschichtung und entsprechend höherem Emissionsgrad und damit einem höheren Strahlungsanteil versehen werden, ergäben sich folgende Werte:

$$\dot{Q} = P_{el} = 500 \text{ W} + 272 \text{ W} = 774 \text{ W}$$

$$U = \frac{\overline{P_{el}}}{A \cdot \Delta \vartheta_{air}} = \frac{774 \text{ W}}{25 \text{ m}^2 \cdot 20 \text{ K}} = 1,548 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{ K}}$$

Damit wird offensichtlich, dass das Messverfahren nach DIN EN 1886 kritisch zu bewerten ist, da der Strahlungsanteil des Prüflings

a) von den Emissionskoeffizienten der Oberflächen und

b) von der Umgebungstemperatur abhängig ist und

c) in einer nicht zu vernachlässigenden Größenordnung liegt. Weiterhin wird deutlich, dass der Einfluss der Strahlung auch von der Oberflächentemperatur des Prüfgehäuses abhängig ist. Je schlechter die Isolationseigenschaften (Wärmedämmung), desto höher wird die Oberflächentemperatur der Modelbox und desto höher wird der messtechnisch nicht erfasste Strahlungsanteil. Zudem wird durch die Strahlungsleistung die Oberflächentemperatur beeinflusst, was wiederum den konvektiven Wärmeübergang verändert.

Messung des Wärmedurchgangs an einem Baumuster

Um die theoretischen Betrachtungen zu verifizieren, wurden im Labor der Howa-therm Klimatechnik GmbH an einem Prüfgehäuse Messwerte nach DIN EN 1886 ermittelt. Es wurde ein Prüfgehäuse mit einer Fläche von $A = 24,37 \text{ m}^2$ untersucht. Als Isolierung wurde in sämtlichen Messungen Mineralfaser mit einem Raumgewicht von 120 kg/m^3 verwendet. Auch die Konstruktionsdetails (Profile, Ecken, Blechkonstruktion etc.) waren in allen Messungen baugleich.

Im ersten Schritt wurde das Prüfgehäuse mit bandbeschichteten Blechen (weiß) sowohl innen als auch auf der äußeren Seite hergestellt. Der Emissionskoeffizient der beschichteten Oberflächen lag bei $\varepsilon \approx 0,95$. Bei der ersten Messung ergaben sich folgende Werte:

- die Umgebungstemperatur lag bei $\vartheta_2 = 22,7 \text{ °C}$
- die Innentemperatur im Prüfgehäuse lag im Mittel bei $\vartheta_i = 43,4 \text{ °C}$ (min. $43,3$ bis max. $43,5 \text{ °C}$ je nach Zone)
- die Temperaturen auf der Oberfläche der Modelbox lagen zwischen min. $27,0$ und max. $29,5 \text{ °C}$
- die elektrische Leistung im Beharrungszustand lag bei $P_{el} = 499,6 \text{ W}$

Mit diesen Werten wurde eine U-Zahl von:

$$U = \frac{\overline{P_{el}}}{A \cdot \Delta \vartheta_{air}} = \frac{499,6 \text{ W}}{24,37 \text{ m}^2 \cdot 20,6 \text{ K}} = 0,995 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{ K}}$$

erreicht. Der U-Wert liegt damit knapp in

der Klasse T2 ($\leq 1,0 \text{ W/m}^2/\text{K}$) nach DIN EN 1886.

Im zweiten Schritt wurde die äußere Schale in beschichteter Ausführung, aber die innere Schale in verzinkter Ausführung untersucht. Hier lagen die Emissionskoeffizienten bei $\varepsilon \approx 0,25$ (innen) und bei $\varepsilon \approx 0,95$ (außen). Dabei ergaben sich folgende Messwerte:

- die Umgebungstemperatur lag bei $\vartheta_2 = 18,8 \text{ °C}$
- die Innentemperatur im Prüfgehäuse lag im Mittel bei $\vartheta_i = 39,6 \text{ °C}$ (min. $39,5$ bis max. $39,7 \text{ °C}$ je nach Zone)
- die Temperaturen auf der Oberfläche der Modelbox lagen zwischen min. $23,6$ und max. $25,8 \text{ °C}$
- die elektrische Leistung im Beharrungszustand lag bei $P_{el} = 482,4 \text{ W}$

Mit diesen Werten wurde eine U-Zahl von:

$$U = \frac{\overline{P_{el}}}{A \cdot \Delta \vartheta_{air}} = \frac{482,4 \text{ W}}{24,37 \text{ m}^2 \cdot 20,8 \text{ K}} = 0,952 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{ K}}$$

ermittelt. Der Wert liegt deutlicher in der Klasse T2 nach DIN EN 1886.

In der dritten Messung wurde die äußere Schale in verzinkter Ausführung messtechnisch untersucht. Hier lag der Emissionskoeffizient außen bei $\varepsilon \approx 0,25$ (innen beschichtete Oberfläche mit $\varepsilon \approx 0,95$). Hieraus ergaben sich folgende Messwerte:

- die Umgebungstemperatur lag bei $\vartheta_2 = 18,8 \text{ °C}$
- die Innentemperatur im Prüfgehäuse lag im Mittel bei $\vartheta_i = 40,6 \text{ °C}$ (min. $40,5$ bis max. $40,6 \text{ °C}$ je nach Zone)
- die Temperaturen auf der Oberfläche der Modelbox lagen zwischen min. $25,3$ und max. $27,1 \text{ °C}$
- die elektrische Leistung im Beharrungszustand lag bei $P_{el} = 465,7 \text{ W}$

Mit diesen Werten wurde eine U-Zahl von:

$$U = \frac{\overline{P_{el}}}{A \cdot \Delta \vartheta_{air}} = \frac{465,7 \text{ W}}{24,37 \text{ m}^2 \cdot 21,7 \text{ K}} = 0,881 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{ K}}$$

gemessen. Der Wert liegt nun sehr deutlich in der Klasse T2 nach DIN EN 1886.

In der vierten und letzten Messung wurden beide Schalen in verzinkter Ausführung hergestellt. Damit lag der Emissionskoeffizient bei $\varepsilon \approx 0,25$ (innen und außen). Hierbei ergaben sich folgende Messwerte:

- die Umgebungstemperatur lag bei $\vartheta_2 = 18,5 \text{ }^\circ\text{C}$
- die Innentemperatur im Prüfgehäuse lag im Mittel bei $\vartheta_i = 39,3 \text{ }^\circ\text{C}$ (min. $39,2$ bis max. $39,4 \text{ }^\circ\text{C}$ je nach Zone)
- die Temperaturen auf der Oberfläche der Modelbox lagen zwischen min. $24,7$ und max. $26,1 \text{ }^\circ\text{C}$
- die elektrische Leistung im Beharrungszustand lag bei $P_{el} = 396,7 \text{ W}$

Mit diesen Werten wurde eine U-Zahl von:

$$U = \frac{\overline{P_{el}}}{A \cdot \Delta \vartheta_{air}} = \frac{396,7 \text{ W}}{24,37 \text{ m}^2 \cdot 20,8 \text{ K}}$$

$$= 0,783 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{ K}}$$

erreicht. Der Wert liegt klar in der Klasse T2 nach DIN EN 1886 und deutlich unter den Ergebnissen der ersten drei Messungen.

Mit den Ergebnissen wird offensichtlich, dass Strahlung eine erhebliche Rolle bei der Messung der thermischen Güte eines Gerätegehäuses spielt. Die Werte für den „scheinbaren“ U-Wert lagen je nach Oberflächenbeschichtung bei $0,78$ bis $0,99$ und damit in einem Bereich von $+26,1$ bis $-21,2 \%$ je nach Bezugsgröße und Oberflächenbeschaffenheit, die beim konvektiven Wärmeübergang und der daraus resultierenden Wärmeleistung keine Rolle spielt. Betrachtet man auch den Einfluss der Wärmestrahlung kann die Oberflächenbeschaffenheit nicht vernachlässigt werden.

Beim Wärmedurchgang müsste ein bandbeschichtetes Blech sogar leicht besser sein, als eine verzinkte und damit rein metallische Oberfläche, da die Beschichtung die Wärmeleitung eher behindert. Es wurde jedoch deutlich, dass Strahlungsanteile bei der Wärmeübertragung sowohl auf der inneren Seite (Strahlungsleistungsaufnahme an der Innenschale), als auch auf der äußeren Seite (Strahlungsleistungsabgabe an der Außenschale) eine große Rolle spielen. Die gemessenen Leistungsunterschiede zeigen, dass dieser Einfluss keinesfalls zu vernachlässigen ist.

Aus **Tabelle 3** wird ersichtlich, dass durch den Strahlungseinfluss die Verlustleistung der vollständig beschichteten Konstruktion gegenüber einer vollständig verzinkten Oberfläche von 397 W auf 500 W und damit um $26,1 \%$ zunimmt.

Betrachtungen zum Wärmeübergang

Zur Verdeutlichung des Phänomens der sich überlagernden Strahlung wurden die mittleren Oberflächentemperaturen an der Innen- und Außenseite der Oberflächen der Modelbox bestimmt.

$$\alpha = \frac{\dot{Q}}{A \cdot (\vartheta_m - \vartheta_w)}$$

mit:

ϑ = Temperatur des Mediums (M) beziehungsweise der Wand (W) in $[\text{ }^\circ\text{C}]$

Im ersten Schritt wurde die Wandtemperatur eines Gehäuses mit einer innen und außen beschichteten Oberfläche bestimmt. Die gewichtete mittlere Oberflächentemperatur lag außen bei $22,4 \text{ }^\circ\text{C}$. Die Lufttemperatur lag bei $19,2 \text{ }^\circ\text{C}$. Hieraus ergab sich bei einer Leistung von 496 W ein Wert für den „scheinbaren“ konvektiven Wärmeübergangskoeffizienten von:

$$\alpha_a = \frac{496 \text{ W}}{24,37 \text{ m}^2 \cdot (22,4 - 19,2) \text{ K}} = 6,4 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{ K}}$$

Innen lag der Wärmeübergangskoeffizient bedingt durch die vorherrschenden Temperaturen ($39,9 \text{ }^\circ\text{C}$ innen zu $37,3 \text{ }^\circ\text{C}$ Innenwand) bei:

$$\alpha_i = \frac{496 \text{ W}}{24,37 \text{ m}^2 \cdot (39,9 - 37,3) \text{ K}} = 7,8 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{ K}}$$

Theoretisch dürften die Wärmeübergangskoeffizienten bei reiner Konvektion wie bereits erwähnt in einer Größenordnung von etwa $1,5$ bis $2 \text{ W/m}^2/\text{K}$ liegen. Innen unter Messbedingungen (erzwungene Strömung) bei etwa $2,5 \text{ W/m}^2/\text{K}$. Zusätzlich wurde eine Modelbox mit verzinkter Oberfläche betrachtet. Hierbei ergaben sich folgende Werte: Die mittlere gewichtete Oberflächentemperatur lag außen bei $23,8 \text{ }^\circ\text{C}$. Die Lufttemperatur lag bei $19,0 \text{ }^\circ\text{C}$. Hieraus ergab sich bei einer Leistung von 400 W ein Wert für den Wärmeübergangskoeffizienten von:

$$\alpha_a = \frac{400 \text{ W}}{24,37 \text{ m}^2 \cdot (23,8 - 19,0) \text{ K}} = 3,4 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{ K}}$$

Innen lag der Wärmeübergangskoeffizient bedingt durch die herrschenden Temperaturen ($40,0 \text{ }^\circ\text{C}$ innen zu $36,6 \text{ }^\circ\text{C}$ Innenwand) bei:

$$\alpha_i = \frac{400 \text{ W}}{24,37 \text{ m}^2 \cdot (40,0 - 36,6) \text{ K}} = 4,8 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{ K}}$$

Aus den Ergebnissen wird ersichtlich, dass durch den höheren Strahlungsanteil bei beschichteter Oberfläche und einem $\Delta\varepsilon = 0,7$ der Wärmeübergangskoeffizient um den Faktor $1,6$ bis $1,8$ erhöht wird. Der konvektive Wärmeübergangskoeffizient kann sich durch Änderung der Oberflächenbeschaffenheit nicht ändern. Jedoch wird durch die erhöhte Wärmestrahlung die Oberflächentemperatur deutlich beeinflusst.

Messung	Innenschale	Außenschale	P_{el}	$\Delta\vartheta$	P_{el} normiert [20 K]	ΔP_{el}	ΔP_{el}
			[W]	[K]	[W]	[W]	[%]
1	beschichtet	beschichtet	499,6	20,6	485,0	+103,6	+26,1
2	verzinkt	beschichtet	482,4	20,8	463,8	+82,4	+20,8
3	beschichtet	verzinkt	465,7	21,7	429,2	+47,8	+12,0
4	verzinkt	verzinkt	396,7	20,8	381,4	0,0	0,0

Tabelle 3: Zusammenstellung der Leistungen im Vergleich

Tatsächlich setzt sich der Wärmeübergangskoeffizient α_{ges} anteilig aus dem konvektiven Wärmeübergang und dem Strahlungsanteil zusammen:

$$\alpha_{ges} = \alpha_K + \alpha_S$$

mit:

α_K konvektiver Wärmeübergangskoeffizient in $[W/m^2/K]$

α_S Wärmeübergangskoeffizient durch Strahlung in $[W/m^2/K]$

Der Wärmeübergangskoeffizient durch Strahlung ergibt sich dabei aus:

$$\alpha_S = C_{12} \cdot \frac{T_1^4 - T_2^4}{T_1 - T_2}$$

Damit kann der Wärmeübergang durch Strahlung analog zum konvektiven Wärmeübergang wie folgt berechnet werden:

$$\dot{Q} = \alpha_S \cdot A \cdot (T_1 - T_2)$$

Die Innenseite erwärmt sich durch den Strahlungsanteil stärker, während die Außenseite der Modelbox durch den Strahlungsanteil stärker abkühlt wird, als dies durch reine konvektive Wärmeübertragung der Fall wäre.

Es wird weiterhin deutlich, dass auch bei metallischer und verzinkter Oberfläche immer noch ein nennenswerter Wärmestrahlungsanteil vorhanden sein muss, da die theoretischen Werte für den reinen konvektiven Wärmeübergang etwa um den Faktor 2 niedriger liegen.

Bewertung des Wärmebrückenfaktors am Baumuster

Weiterhin wurde der Wärmebrückenfaktor der einzelnen Modelboxvarianten bestimmt. Zur Ermittlung der maximalen

äußeren Oberflächentemperatur wurden nach vorheriger Sondierung mit einem Infrarotthermometer sechs NTC-Temperaturfühler an den ungünstigsten (wärmsten) Stellen des Gehäuses angebracht. Mit der ersten Messung ergab sich eine maximale Oberflächentemperatur von 29,5 °C bei einer mittleren Zoneninnentemperatur von 43,4 °C und einer Temperaturdifferenz zwischen Innen- und Außentemperatur von 20,6 °C. Damit ergibt sich der Wärmebrückenfaktor der Gehäusekonstruktion von:

$$k_b = \frac{\Delta \dot{\vartheta}_{min}}{\Delta \dot{\vartheta}_{air}} = \frac{43,4 - 29,5 K}{20,6 K} = 0,675$$

Mit diesem k_b -Wert wurde die Klasse TB2 ($\geq 0,6$) erreicht.

Aus den weiteren Messungen wurde zudem deutlich, dass durch die Oberflächenbeschaffenheit und damit durch die Strahlungsanteile am Wärmeübergang nicht nur die U-Werte, sondern auch die k_b -Werte beeinflusst werden. So ergab sich bei der zweiten Messung ein Wert von $k_b = 0,66$ (innen verzinkt, außen beschichtet). Beim dritten Versuch lag der Wert bei $k_b = 0,62$ (innen beschichtet, außen verzinkt) und beim letzten Versuch bei $k_b = 0,64$ (beide Oberflächen verzinkt). Es wurde offenkundig, dass bei einer äußeren Beschichtung – bedingt durch den höheren Strahlungsanteil – der k_b -Wert positiv beeinflusst wird, da die Oberfläche stärker gekühlt wird.

Fazit

Tabelle 4 gibt einen Überblick zu den Messungen, die folgendes ergaben: Die Strahlungsleistung eines RLT-Gerätegehäuses kann bei der Messung der thermischen Eigenschaften nach DIN EN 1886 nicht vernachlässigt werden. Sie spielt vielmehr eine wesentliche Rolle.

Die Untersuchungen zeigen, dass bei einer äußeren Beschichtung bedingt durch den höheren Strahlungsanteil der k_b -Wert positiv und die U-Werte negativ beeinflusst werden, da die Oberfläche stärker gekühlt wird, obwohl sämtliche sonstige Konstruktionsdetails identisch sind. Ähnliches gilt für die innere Oberfläche, da durch eine Beschichtung die innere Oberfläche die Wärme leichter aufnehmen kann.

Diesen Umstand berücksichtigt das Verfahren der Norm nicht. Deshalb muss die DIN EN 1886 mittelfristig überarbeitet werden. Interessant ist vor allem die Tatsache, dass die Norm seit 1998 existiert und diese Ungenauigkeit im Messverfahren bislang nicht bemerkt wurde. Zudem stellt sich die generelle Frage nach der Notwendigkeit der thermischen Kennwerte. Einerseits spielen die thermischen Verluste eines RLT-Gerätegehäuses bei der Gesamtwirtschaftlichkeit kaum eine Rolle²⁾ und andererseits werden die Werte an einer Modellbox gewonnen, die kaum eine Aussage auf das Verhalten eines realen Gerätes zulässt. Dies gilt vor allem im Hinblick auf den Wärmebrückenfaktor und den U-Wert. ■

F U B N O T E

2) Thomas, L.; Kaup, C.: Energiebilanz von RLT-Geräten – Die Relevanz thermischer Energieverluste über die Gehäusekonstruktion, HLH Bd. 70 (2019) Nr. 10 S. 32-37.



Maria Swiderek, M.Sc. B.Eng.

ist Entwicklungsingenieurin bei der Howatherm Klimatechnik GmbH, Brücken.
Bild: SchillerKrenz



Boris Wollscheid, B.Eng.

ist Leiter Forschung und Entwicklung bei der Howatherm Klimatechnik GmbH sowie Lehrbeauftragter am Umwelt-Campus Birkenfeld, Hochschule Trier.
Bild: SchillerKrenz



Prof. Dr.-Ing. Christoph Kaup

ist Honorarprofessor am Umwelt-Campus Birkenfeld und Geschäftsführender Gesellschafter der Howatherm Klimatechnik GmbH, Brücken.
Bild: SchillerKrenz

© VDI Fachmedien GmbH & Co. KG, Düsseldorf 2020

Messung	1	2	3	4
Innenschale	beschichtet	verzinkt	beschichtet	verzinkt
Außenschale	beschichtet	beschichtet	verzinkt	verzinkt
U-Wert $[W/m^2/K]$	0,995	0,952	0,881	0,783
k_b -Wert	0,67	0,66	0,62	0,64

Tabelle 4: Zusammenstellung der Messergebnisse

VDI fachmedien

www.hlh.de