Wärmedurchlasswiderstand infrarotreflektierender Foliendämmstoffe: Konstruktionen mit infrarotreflektierenden Folien gemäss EN ISO 6946

Autor(en): **Ghazi Wakili, Karim**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

Band (Jahr): **118 (2000)**

Heft 46: **Kunst als Bau**

PDF erstellt am: **19.03.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-80003

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Karim Ghazi Wakili, Thomas Frank

Wärmedurchlasswiderstand infrarotreflektierender Foliendämmstoffe

Konstruktionen mit infrarotreflektierenden Folien gemäss EN ISO 6946

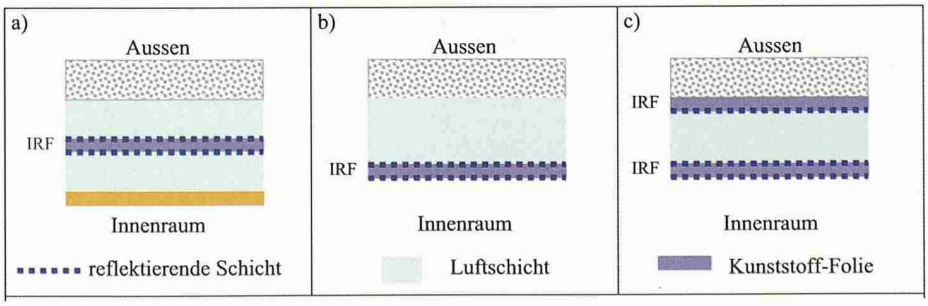
Seit einiger Zeit läuft im europäischen Raum eine Werbekampagne für infrarotreflektierende Foliendämmstoffe. Einige Anbieter verteilen Broschüren mit mangelhaften und irreführenden Angaben bezüglich der Wärmeleitfähigkeit bzw. des Wärmedurchlasswiderstandes dieser Produkte und bezüglich des Vergleichs mit herkömmlichen Wärmedämmprodukten. Der vorliegende Beitrag soll unter Anwendung der neuen Norm SIA 180 (Ausgabe 1999) bzw. der EN ISO 6946 mit Hilfe von Tabellen und konkreten Beispielen Klarheit über die tatsächlichen thermischen Eigenschaften dieser Produkte schaffen.

Eine Konstruktion mit infrarotreflektierenden Foliendämmstoffen IRF besteht aus drei Komponenten:
- Eine oder mehrere 3 bis 8 mm dicke Kunststoff-Folien (mit eingeschlossenen Luftblasen) oder Vliese
- Eine infrarotreflektierende Schicht auf einer oder beiden Seiten der Kunststoff-Folie
- Eine Luftschicht auf einer oder beiden Seiten der infrarotreflektierenden Kunststoff-Folie

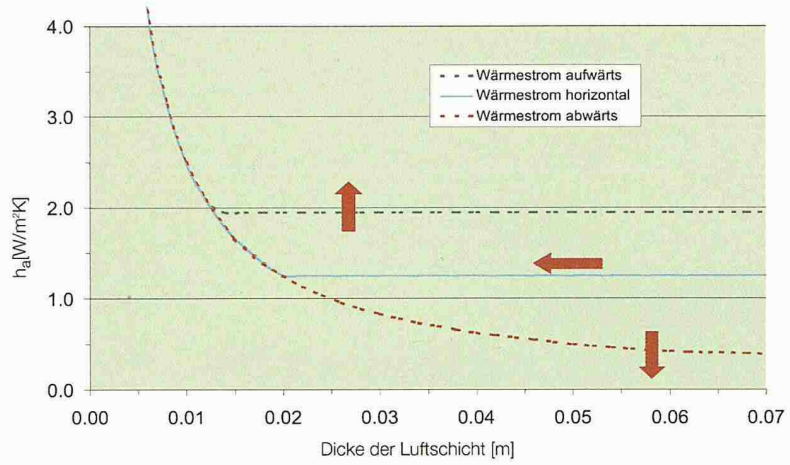
Aus diesem Aufbau ist ersichtlich, dass die Wärmeübertragung durch eine IRF-Konstruktion sich hauptsächlich aus Wärmestrahlung und Wärmeströmung (Konvektion) in den Luftschichten zusammensetzt. Im Gegensatz dazu ist bei herkömmlichen Wärmedämmprodukten die Wärmeleitung massgeblich.
Der Wärmedurchlasswiderstand R_g einer unbelüfteten Luftschicht ergibt sich gemäss EN ISO 6946 (1996):

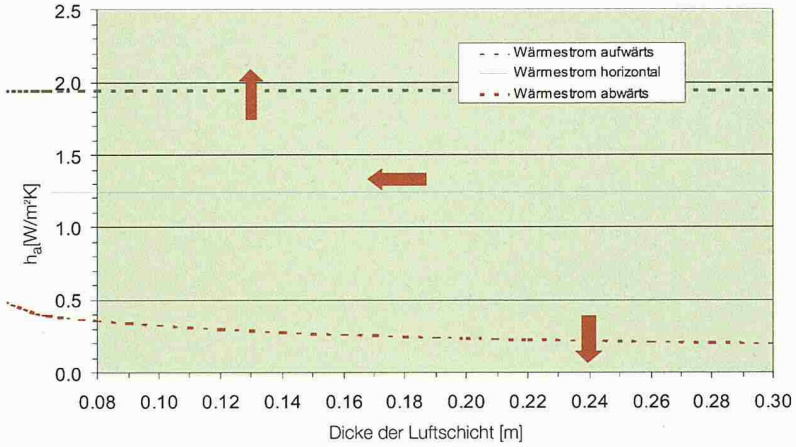
$$R_g = 1 / (h_a + h_r)$$

wobei h_a bzw. h_r die Wärmeübergangskoeffizienten durch Leitung/Strömung bzw. Strahlung sind. Die Grösse h_r wird durch die Emissionsgrade der begren-



1
Verschiedene Konstruktionen mit infrarotreflektierenden Foliendämmstoffen IRF





	Äquivalente Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{äq}$ [W/mK] bei T_m = 283 K = 10°C					
Dicke [m]	↓	↑	↓	↑	↓	↑
0.01	0.067	0.067	0.030	0.030	0.028	0.028
0.02	0.109	0.123	0.035	0.049	0.030	0.044
0.03	0.151	0.185	0.040	0.074	0.033	0.067
0.04	0.194	0.246	0.046	0.098	0.036	0.089
0.05	0.236	0.308	0.051	0.123	0.039	0.111
0.07	0.324	0.431	0.065	0.172	0.048	0.155
0.10	0.460	0.616	0.090	0.246	0.066	0.222

nichtreflektierende Fläche ε = 0.9 — reflektierende Fläche ε = 0.1
Richtung des Wärmestroms — Luftschicht

T_m = 293 K = 20°C		Richtung des Wärmestroms		
	Emissionsgrad	↑	←	↓
R_{si} [W/m²K] (h_{si} = 1/ R_{si})	ε = 0.1	**0.18** (5.56)	**0.33** (3.03)	**0.79** (1.27)
	ε = 0.9	**0.10** (10.00)	**0.13** (7.69)	**0.17** (5.88)

2

Wärmeübergangskoeffizient h_a durch Leitung bzw. Konvektion für Luftschichtdicken von 10 bis 70 mm gemäss EN ISO 6946

3

Wärmeübergangskoeffizient h_a für Luftschichtdicken von 80 bis 300 mm gemäss EN ISO 6946. Die Norm erlaubt eine Bestimmung des R_g nur für Luftschichten mit einer Dicke < 0,3 m

4

Äquivalente Wärmeleitfähigkeit von horizontalen Luftschichten und begrenzenden Flächen

5

Wärmeübergangswiderstände an Innenoberflächen gemäss EN ISO 6946

zenden Flächen in der Wärmestromrichtung bestimmt:

$$h_r = 4 \cdot \sigma \cdot T_m^3 / (1 / \varepsilon_1 + 1 / \varepsilon_2 - 1)$$

Die infrarotreflektierende Schicht reduziert h_r durch ihren kleinen ε-Wert. Die Grösse h_a hängt von der Dicke der Luftschicht ab. Diese Abhängigkeit ist in den folgenden zwei Bildern gemäss EN ISO 6946 dargestellt. Aus den beiden Bildern 2 und 3 ist ersichtlich, dass der Wärmedurchlasswiderstand R_g einer unbelüfteten Luftschicht ab einer bestimmten Dicke konstant bleibt.
Mit anderen Worten bedeutet dies, dass der R_g-Wert einer vertikalen Luftschicht (horizontaler Wärmestrom) ab einer Dicke von rund 2 cm nicht mehr zunimmt. Analoges gilt für eine horizontale Luftschicht mit Wärmestrom aufwärts (z.B. Flachdach im Winter) ab einer Dicke von 1,3 cm. Im Gegensatz dazu nimmt R bei herkömmlichen Dämmstoffen linear mit der Dicke zu.

Äquivalente Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{äq}$ von Luftschichten

Die äquivalente Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{äq}$ von Luftschichten wird definiert durch:

$$\lambda_{äq} = d / R_g = d \cdot (h_a + h_r)$$

Bei obiger Formel steht d für die Dicke der Luftschicht. In der Tabelle (Bild 4) ist $\lambda_{äq}$ bei $T_m = 283$ K für horizontale Luftschichten in Abhängigkeit der begrenzenden Flächen, der Wärmestromrichtung und der Dicke zusammengestellt.

Wärmeübergangswiderstände R_s von reflektierenden Oberflächen

Bei IRF-Konstruktionen, bei denen eine der reflektierenden Seiten unmittelbar dem Innenraum zugewandt ist (Bild 1), muss eine Reduktion des inneren Wärmeübergangskoeffizienten berücksichtigt werden. Durch den niedrigen ε-Wert wird der Strahlungsanteil h_r verkleinert und somit der innere Wärmeübergangswiderstand R_{si} vergrössert. Nach der Norm EN ISO 6946 Anhang A gilt:

$$R_{si} = 1 / (h_{ci} + h_r)$$

Dabei ist der Strahlungsanteil $h_r = 4 \cdot \sigma \cdot \varepsilon \cdot T_m^3$ und
- $h_{ci} = 5{,}0$ W/m²K für Wärmestrom aufwärts
- $h_{ci} = 2{,}5$ W/m²K für Wärmestrom horizontal
- $h_{ci} = 0{,}7$ W/m²K für Wärmestrom abwärts

In Bild 5 ist ein Vergleich mit Wärmeübergangswiderständen an nichtreflektierenden Oberflächen nach Norm (EN ISO 6946, 5.2) dargestellt.

Linearer Wärmebrücken-Verlustkoeffizient ψ

Genau wie bei den herkömmlichen Wärmedämmprodukten bewirken Latten und Träger bei einer IRF-Konstruktion eine zusätzliche lineare Wärmebrücke, deren Verlustkoeffizient ψ mit einer zweidimensionalen numerischen Berechnung ermittelt werden kann (prEN ISO 10211-2).

Verkleinerung des Wärmedurchlasswiderstandes

Bekanntlich verkleinert sich der Wärmedurchlasswiderstand von herkömmlichen Wärmedämmprodukten durch verschiedene Faktoren wie z.B. Alterung, Feuchteaufnahme usw. Bei IRF-Konstruktionen kann eine Verkleinerung des Wärmedurchlasswiderstandes durch die Veränderung der Emissionseigenschaft (Erhöhung des ε-Wertes) der reflektierenden Schicht auftreten. Mögliche Ursachen können Oxidierung der Metallschicht oder Ablagerung von Feuchte, Staub oder Schmutz auf den beschichteten Oberflächen sein.

Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten U

Gemäss SIA 180 (1999) müssen Wärmebrücken in der Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten immer berücksichtigt werden. Hierzu kann folgender Ansatz Anwendung finden:

$$U = (U_0 A + \psi \ell) / A$$

- U_0 = Wärmedurchgangskoeffizient für den ungestörten Bereich ohne Wärmebrücken [W/m²K]
- A = Gesamtfläche [m²]
- ψ = linearer Wärmebrückenverlustkoeffizient in [W/mK]
- ℓ = Länge der linearen Wärmebrücke [m]

Beispiel 1: Dach mit IRF-Konstruktion (zwei Luftschichten)

In diesem ersten Beispiel werden für sommerliche und winterliche Verhältnisse zwei Varianten einer IRF-Konstruktion (Isolierung mit einem herkömmlichen Dämmstoff, Dicke = 50 mm) gegenübergestellt. Der Abstand zwischen den Balken beträgt 1 m. Die Masse für die Balken wurden mit 24 mm auf 48 mm bei den IRF-Konstruktionen und 50 mm auf 50 mm bei den herkömmlichen Konstruktionen eingesetzt. Diese wurden so gewählt, um den in der Praxis vorhandenen Dimensionen zu entsprechen (Bilder 6 und 7).
Es ist zu beachten, dass im Sommer die beiden IRF-Konstruktionen viel tiefere U_0-Werte aufweisen als im Winter. Dies ist durch die Umkehr der Wärmestromrichtung und deren Einfluss auf den konvektiven Wärmetransport in den Luftschichten bedingt. Daraus folgt eine Änderung einerseits der äquivalenten Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{äq}$ und andererseits des Wärmeübergangswiderstandes R_{si} an der Decke (gegen den Innenraum). Bei der Konstruktion mit herkömmlichen Dämmstoffen verändert eine Umkehr der Wärmestromrichtung nur den Wärmeübergangswiderstand R_{si} an der Decke, da der Wärmetransport im Dämmstoff durch die Wärmeleitung bestimmt ist und diese unabhängig von der Wärmestromrichtung ist.

Beispiel 2: Dach IRF-Konstruktion mit einer Luftschicht

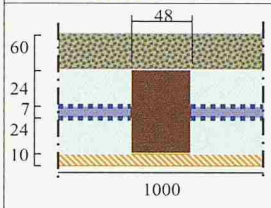
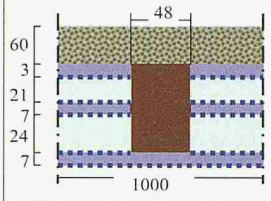
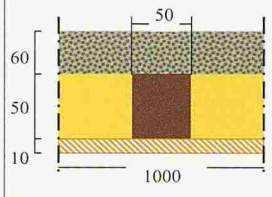
In den beiden Tabellen (Bilder 8 und 9) sind die Resultate der 2D-Berechnungen für zwei verschiedene Varianten von IRF-Konstruktionen zusammengestellt; dies sowohl bei sommerlichen wie auch bei winterlichen Verhältnissen. Als Vergleich dazu ist in der jeweils letzten Reihe dieselbe Konstruktion mit einem herkömmli-

	Material	λ-Wert [W/mK]
	Holz	0.14
	Gyps	0.25
	Stahl	50
	Zementgebundene Holzfaserplatte	0.12
	IRF-Folie	0.037

6
Wärmeleitfähigkeit der Materialien

7
Zusammenstellung der Resultate der 2-D-Berechnungen am Beispiel 1

8
Zusammenstellung der Resultate der 2-D-Berechnungen bei Variante 1

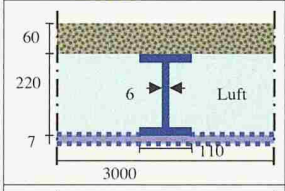
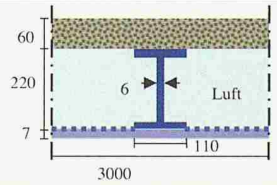
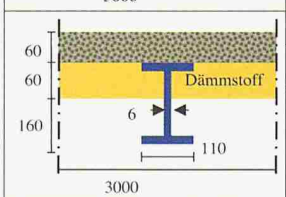
Dach mit Holzlatten Masse in mm ε = 0.1	Sommer $\theta_{e,R}$ = 65°C θ_i = 20°C R_{se} = 0.04 [m²K/W] q		Winter $\theta_{e,R}$ = 5°C θ_i = 20°C R_{se} = 0.04 [m²K/W] q	
	$\lambda_{äq}$ [W/mK]	0.042	$\lambda_{äq}$ [W/mK]	0.059
	R_{si} [m²K/W]	0.17	R_{si} [m²K/W]	0.10
	q [W/m]	22.35	q [W/m]	9.13
	U_0 [W/m²K]	**0.48**	**U_0 [W/m²K]**	**0.60**
	Ψ [W/mK]	**0.024**	**Ψ [W/mK]**	**0.020**
	$\lambda_{äq}$ [W/mK]	0.034 / 0.033	$\lambda_{äq}$ [W/mK]	0.047 / 0.054
	R_{si} [m²K/W]	0.79	R_{si} [W/m²K]	0.18
	q [W/m]	14.78	q [W/m]	7.39
	U_0 [W/m²K]	**0.32**	**U_0 [W/m²K]**	**0.48**
	Ψ [W/mK]	**0.013**	**Ψ [W/mK]**	**0.016**
	λ [W/mK]	0.040	λ [W/mK]	0.038
	R_{si} [m²K/W]	0.17	R_{si} [W/m²K]	0.10
	q [W/m]	23.66	q [W/m]	7.96
	U_0 [W/m²K]	**0.50**	**U_0 [W/m²K]**	**0.50**
	Ψ [W/mK]	**0.026**	**Ψ [W/mK]**	**0.030**

$\theta_{e,R}$ Strahlungstemperatur auf der Aussenseite des Dachs. Der erhöhte Wert trägt der direkten Sonneneinstrahlung im Sommer wie auch im Winter Rechnung.

U_0 U-Wert des ungestörten Dachs (ohne Träger)

→ Richtung des Wärmestroms

Ψ linearer Wärmebrücken-Verlustkoeffizient gemäss EN ISO10211-1 Annex C

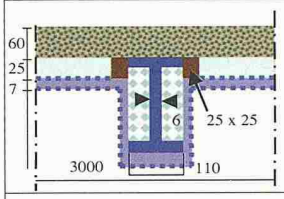
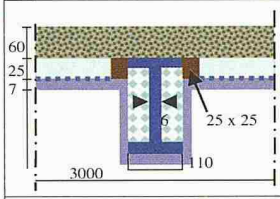
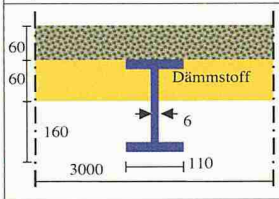
Dach mit Stahlträger Variante 1 Masse in mm ε = 0.1	Sommer $\theta_{e,R}$ = 65°C θ_i = 20°C R_{se} = 0.04 [W/m²K] q		Winter $\theta_{e,R}$ = 5°C θ_i = 20°C R_{se} = 0.04 [W/m²K] q	
	$\lambda_{äq}$ [W/mK]	0.22	$\lambda_{äq}$ [W/mK]	0.56
	R_{si} [W/m²K]	0.79	R_{si} [W/m²K]	0.18
	q [W/m]	55.74	q [W/m]	35.21
	U_0 [W/m²K]	**0.38**	**U_0 [W/m²K]**	**0.77**
	Ψ [W/mK]	**0.047**	**Ψ [W/mK]**	**0.048**
	$\lambda_{äq}$ [W/mK]	0.22	$\lambda_{äq}$ [W/mK]	0.56
	R_{si} [W/m²K]	0.17	R_{si} [W/m²K]	0.10
	q [W/m]	75.31	q [W/m]	37.61
	U_0 [W/m²K]	**0.53**	**U_0 [W/m²K]**	**0.82**
	Ψ [W/mK]	**0.095**	**Ψ [W/mK]**	**0.056**
	λ_D [W/mK]	0.040	λ_D [W/mK]	0.038
	R_{si} [W/m²K]	0.17	R_{si} [W/m²K]	0.10
	q [W/m]	69.73	q [W/m]	23.34
	U_0 [W/m²K]	**0.45**	**U_0 [W/m²K]**	**0.45**
	Ψ [W/mK]	**0.193**	**Ψ [W/mK]**	**0.203**

$\theta_{e,R}$ Strahlungstemperatur auf der Aussenseite des Dachs. Der erhöhte Wert trägt der direkten Sonneneinstrahlung im Sommer wie auch im Wintrer Rechnung.

U_0 U-Wert des ungestörten Dachs (ohne Träger)

→ Richtung des Wärmestroms.

Ψ linearer Wärmebrücken-Verlustkoeffizient gemäss EN ISO10211-1 Annex C

Dach mit Stahlträger Variante 2 Masse in mm ····· ε = 0.1	Sommer $\theta_{e,R}$ = 65°C θ_i = 20°C R_{se} = 0.04 [W/m²K] q		Winter $\theta_{e,R}$ = 5°C θ_i = 20°C R_{se} = 0.04 [W/m²K] q	
	$\lambda_{äq}$ [W/mK]	0.043	$\lambda_{äq}$ [W/mK]	0.062
	R_{si} [W/m²K]	0.79	R_{si} [W/m²K]	0.18
	q [W/m]	69.28	q [W/m]	35.97
	U_0 [W/m²K]	**0.48**	**U_0 [W/m²K]**	**0.76**
	Ψ [W/mK]	**0.114**	**Ψ [W/mK]**	**0.115**
	$\lambda_{äq}$ [W/mK]	0.043	$\lambda_{äq}$ [W/mK]	0.062
	R_{si} [W/m²K]	0.17	R_{si} [W/m²K]	0.10
	q [W/m]	96.74	q [W/m]	38.22
	U_0 [W/m²K]	**0.67**	**U_0 [W/m²K]**	**0.81**
	Ψ [W/mK]	**0.135**	**Ψ [W/mK]**	**0.115**
	λ_D [W/mK]	0.040	λ_D [W/mK]	0.038
	R_{si} [W/m²K]	0.17	R_{si} [W/m²K]	0.10
	q [W/m]	69.73	q [W/m]	23.34
	U_0 [W/m²K]	**0.45**	**U_0 [W/m²K]**	**0.45**
	Ψ [W/mK]	**0.193**	**Ψ [W/mK]**	**0.203**

$\theta_{e,R}$ Strahlungstemperatur auf der Aussenseite des Dachs. Der erhöhte Wert trägt der direkten Sonneneinstrahlung von 600 W/m² im Sommer und 300 W/m² im Winter Rechnung.

U_0 U-Wert des ungestörten Dachs (ohne Träger).

→ Richtung des Wärmestroms.

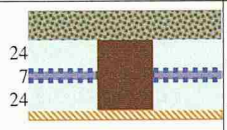
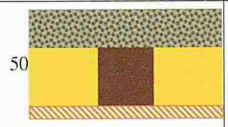
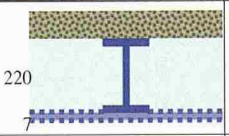
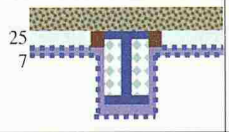
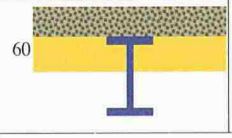
Ψ linearer Wärmebrücken-Verlustkoeffizient gemäss EN ISO10211-1 Annex C.

9

Zusammenstellung der Resultate der 2D-Berechnungen bei Variante 2

10

Zusammenstellung der Resultate der 2D-Berechnungen

Konstruktion	Sommer	Winter
	U_0 = 0.48 W/m²K A = 15 m² ψ = 0.024 W/mK λ = 18 m **U = 0.51 W/m²K**	U_0 = 0.60 W/m²K A = 15 m² ψ = 0.020 W/mK λ = 18 m **U = 0.62 W/m²K**
	U_0 = 0.50 W/m²K A = 15 m² ψ = 0.026 W/mK λ = 18 m **U = 0.53 W/m²K**	U_0 = 0.50 W/m²K A = 15 m² ψ = 0.030 W/mK λ = 18 m **U = 0.54 W/m²K**
	U_0 = 0.38 W/m²K A = 120 m² ψ = 0.047 W/mK λ = 50 m **U = 0.40 W/m²K**	U_0 = 0.77 W/m²K A = 120 m² ψ = 0.048 W/mK λ = 50 m **U = 0.79 W/m²K**
	U_0 = 0.48 W/m²K A = 120 m² ψ = 0.114 W/mK λ = 50 m **U = 0.53 W/m²K**	U_0 = 0.76 W/m²K A = 120 m² ψ = 0.115 W/mK λ = 50 m **U = 0.81 W/m²K**
	U_0 = 0.45 W/m²K A = 120 m² ψ = 0.193 W/mK λ = 50 m **U = 0.53 W/m²K**	U_0 = 0.45 W/m²K A = 120 m² ψ = 0.203 W/mK λ = 50 m **U = 0.53 W/m²K**

chen Wärmedämmstoff (Dicke = 60 mm) aufgeführt. Der Abstand zwischen den Stahlträgern beträgt 3 m.
In dieser ersten Variante (Bild 8) wird eine durch Stahlträger getragene Decke mit einer reflektierenden Folie abgedeckt, die unterhalb der Metallbalken verläuft. Dadurch entstehen Luftschichten mit einer Dicke von 220 mm. Um den Einfluss der reflektierenden Schichten auf jeweils $\lambda_{äq}$ und R_{si} zu verdeutlichen, wurde die Rechnung einmal für eine beidseitig und einmal für eine einseitig reflektierende Folie durchgeführt.
Auch hier ist bei den IRF-Konstruktionen ein deutlicher Unterschied zwischen Sommer und Winter festzustellen, der von der Umkehr der Wärmestromrichtung herrührt.
In der zweiten Variante (Bild 9) sind die Stahlträger mit einer reflektierenden Folie ummantelt, wodurch eine dünnere Luftschicht von 25 mm zwischen der Folie und der Decke entsteht. Zur Befestigung der Folie wurden pro Balken zwei Holzlatten mit quadratischem Querschnitt auf beiden Seiten des Stahlträgers angebracht.
Auch hier wurde der Einfluss der reflektierenden Schichten auf jeweils $\lambda_{äq}$ und R_{si} durch zwei Rechnungen, sowohl für eine beidseitig wie auch für eine einseitig reflektierende Folie ermittelt.

Zusammenfassung
Bei der Bestimmung des Wärmedurchlasswiderstandes R von Konstruktionen mit infrarotreflektierenden Foliendämmstoffen IRF hat die Anzahl und Dicke der Luftschichten eine genauso wichtige Rolle wie der Emissionsgrad ε der infrarotreflektierenden Flächen. Es ist zu beachten, dass der Wärmewiderstand einer Luftschicht ab einer gewissen Dicke, nämlich bei rund 2 cm für horizontale und rund 1,3 cm für vertikale Luftschichten mit Wärmestrom nach oben, konstant bleibt und sich mit zunehmender Dicke nicht verändert. Die Dicke der Folie selbst spielt eine untergeordnete Rolle.
Ein weiterer Parameter, der deklariert werden muss, ist die geometrische Anordnung der IRF-Konstruktion. Es muss also angegeben werden, ob sich der R-Wert auf eine Wandkonstruktion (mit vertikalen Luftschichten) oder auf eine Dachkonstruktion (mit horizontalen Luftschichten) bezieht. Im letzten Fall muss auch zwischen Sommer- und Winterklima unterschieden werden (Richtung des Wärmestroms abwärts oder aufwärts). Einen dritten Parameter stellt der lineare Wärmebrückenverlustkoeffizient ψ dar. Dieser ist ein Mass für den zusätzlichen Wärmestrom, der durch die konstruktive Befestigung (z.B. Lattung) verursacht wird. Aus diesen Gründen muss eine korrekte Deklaration Angaben zu allen massgebenden Grössen beinhalten. Ein wärmetechnischer Vergleich mit herkömmlichen Wärmedämmstoffen ist einzig auf der Basis einer vollständigen Deklaration zulässig.
Zusammenfassend ist in Bild 10 der U-Wert für die repräsentativsten IRF-Konstruktionen, die hier betrachtet wurden, anhand der Länge der linearen Wärmebrücke ℓ, der totalen Fläche des Daches A und des Wärmebrückenverlustkoeffizienten ψ aufgelistet.

K. Ghazi Wakili, Dr. sc. nat., Th. Frank, Dipl. Ing. ETH, Empa Dübendorf, Abteilung Bauphysik, Überlandstrasse 129, 8600 Dübendorf.