

34 (2007) Neue Forschungsergebnisse, kurz gefasst

Herrn Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Dr. h.c. mult. Dr. E.h. mult. Karl Gertis zur Emeritierung gewidmet

Hartwig M. Künzel und Klaus Sedlbauer

Klarstellung zur bauphysikalischen Wirkung Infrarot reflektierender Schichten

Der langwellige, infrarote (IR) Strahlungsaustausch von Gebäudeoberflächen mit ihrer Umgebung oder innerhalb eines Bauteils stellt einen nicht zu vernachlässigenden Wärmetransport dar, dessen Verminderung mit Hilfe von Infrarot reflektierenden Schichten einen Beitrag zur Energieeinsparung leisten kann. Leider wird dieser Beitrag in der Praxis häufig überschätzt. In dieser IBP-Mitteilung wird deshalb versucht das bauphysikalische Potential von IR-reflektierenden Schichten klar zu stellen.

Hintergrund

Die meisten mineralischen oder organischen Baustoffe absorbieren bzw. emittieren über 90 % der auf sie auftreffenden langwelligen Wärmestrahlung, d.h. die Reflexion beträgt weniger als 10 %. Um von Infrarot reflektierenden Folien oder Beschichtungen sprechen zu können, muss der reflektierte Anteil der Infrarotstrahlung deshalb deutlich größer als 10 % sein (z.B. blanke Metalloberflächen ca. 90 %). Bei Infrarot undurchlässigen Bauteilschichten ergänzen sich die Anteile der emittierten und der reflektierten Strahlung einer bestimmten Wellenlänge immer auf 100 %, d.h. je größer die langwellige Reflektion, desto kleiner ist die Emission. Deshalb begegnet man häufig auch dem englischen Begriff „low-ε“, was soviel wie gering emittierend bedeutet.

Infrarot reflektierende Fassaden

Im Gegensatz zur Wärmeleitung oder zum Wärmetransport durch Konvektion wirkt der strahlungsbedingte Wärmestrom auch über größere Entfernungen. Dadurch ist das Phänomen der Unterkühlung von Außenoberflächen in klaren Nächten zu erklären. Der langwellige Strahlungsaustausch mit den kalten Zonen der unteren Atmosphäre führt zu einer Energiesenke auf der Oberfläche, die dem Wärmeaustausch durch Konvektion mit der unmittelbaren Umgebung entgegengerichtet ist. Da die Oberflächenunterkühlung neben einem geringen zusätzlichen Wärmeverlust häufig feuchtetechnische Konsequenzen hat (Tauwasserbildung auf der Außen-

oberfläche, wenn die Taupunkttemperatur der Luft unterschritten wird [1]), bildet der Einsatz IR-reflektierender Fassadenanstriche eine interessante Zukunftsperspektive zur Verhinderung von mikrobiellem Wachstum [2].

Wärmeübertragung in Luftschichten im Bauteil

Während die hygrothermischen Konsequenzen des langwelligen Strahlungsaustausches an den äußeren Gebäudeoberflächen zurzeit noch Gegenstand der bauphysikalischen Forschung und Modellentwicklung sind, wurde der Einfluss IR-reflektierender Schichten auf den Wärmetransport innerhalb eines Bauteils bereits mehrfach untersucht z.B. in [3]. Da in der Praxis jedoch nach wie vor eine große Unsicherheit in der wärmetechnischen Beurteilung dieses Effekts besteht, werden die verschiedenen Wärmeübertragungsprozesse (Leitung, Konvektion, Strahlung) und ihre Größenordnung an einem Beispiel erläutert. Ausgehend von einem Temperaturgefälle von 10 K über einer 5 cm dicken Luftschicht in einem unbelüfteten Hohlraum sind die voneinander unabhängigen Wärmeströme durch Konvektion und Strahlung in **Bild 1** dargestellt. Da die Konvektion die reine Wärmeleitung überlagert, werden beide Prozesse hier in ihrer Summe betrachtet. Der strahlungsbedingte Wärmestrom ist in allen Fällen deutlich größer als der konvektive. Während jedoch die konvektive Wärmeübertragung stark von der Neigung der Luftschicht und des Wärmestroms abhängt, ist der Strahlungsaustausch richtungsunabhängig. Dafür steigt der strahlungsbedingte Wärmestrom im Gegensatz zum konvektiven bei höherem Temperaturniveau an (T^4 -Gesetz). Die geringe Abnahme des konvektiven Wärmestroms ist durch den leichten Anstieg der Viskosität der Luft bei höheren Temperaturen bedingt. Beim Wärmestrom von oben tritt so gut wie keine Eigenkonvektion auf. Der blau eingezeichnete Anteil in **Bild 1** (jeweils ganz rechts) stellt deshalb den Wärmestrom durch Wärmeleitung dar, der im Gegensatz zum konvektiven Wärmestrom mit steigender Temperatur (Temperaturabhängigkeit der Wärmeleitfähigkeit von Luft) leicht zunimmt.

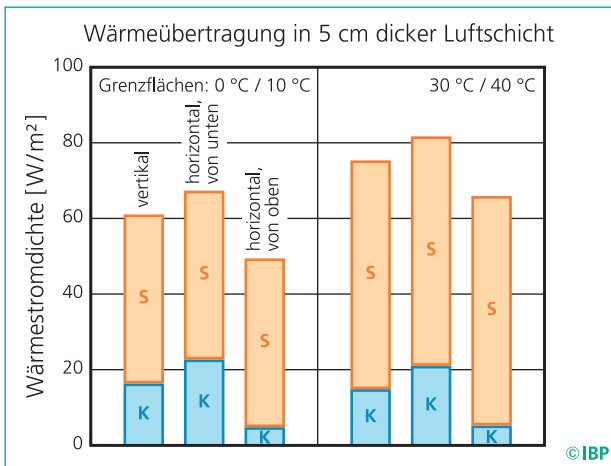


Bild 1: Theoretisch sich einstellende Wärmestromdichte in einer 5 cm dicken Luftdicht zwischen zwei nicht-metallischen Bauteilschichten ($\epsilon = 0,95$) in Abhängigkeit von der Lage der Luftschicht und der Wärmestromrichtung. Links im Bild sind die Verhältnisse bei einem Temperaturgefälle über der Luftschicht von 0°C auf der einen Seite und 10°C auf der anderen (Wintersituation) dargestellt und rechts für eine typische Sommersituation (äußere Grenzschicht 40°C, innere 30°C). Der konvektive Anteil ist jeweils blau und der strahlungsbedingte Anteil orange eingezeichnet.

Eine Reduktion des strahlungsbedingten Wärmestroms kann mit Hilfe IR-reflektierender Schichten erreicht werden. Durch eine Metallisierung der an die Luftschicht angrenzenden Bauteilschichten ist theoretisch eine Verminderung der langwelligen Wärmeübertragung um bis zu 90% möglich [3]. Für die beispielhaft ausgewählte Luftschicht von 5 cm Würden sich dann folgende Wärmedurchlasswiderstände (R-Werte) bzw. äquivalente Dämmschichtdicken für WLF 040 ergeben:

- A) vertikale Luftschicht: 0,48 m²K/W (\approx 20 mm)
- B) horizontale Luftschicht, Wärmestrom von unten: 0,36 m²K/W (\approx 15 mm)
- C) horizontale Luftschicht, Wärmestrom von oben: 0,9 – 1,1 m²K/W (\approx 40 mm)

Die Angaben unter A und B sind im Bereich von 0° bis 40°C weitgehend unabhängig vom Temperaturniveau, wobei ein kleineres Temperaturgefälle tendenziell günstigere Werte zur Folge hat. Im Fall C ist der winterliche Wärmedurchlasswiderstand mit 1,1 m²K/W größer als der sommerliche (0,9 m²K/W). Im Gegensatz zu C ändern sich die R-Werte bei A und B auch bei dickeren oder dünneren Luftschichten nur wenig, solange deren Mindestdicke 15 mm beträgt. Alle Angaben gelten jedoch nur für idealisierte Bedingungen, d.h. dauerhaft blanke und schmutzfreie ideal IR-reflektierende Oberflächen, kein Einströmen von Außenluft, etc.

Gemessene R-Werte von Luftschichten in Leichtbaukonstruktionen, die nur auf einer Seite eine IR-reflektierende Folie besaßen, zeigen im Vergleich dazu folgende Ergebnisse (Desjarlais und Tye zitiert in [4]):

- A) 0,42 m²K/W (Luftschichtdicke 10 cm)
- B) 0,32 m²K/W (Luftschichtdicke 15 cm)
- C) 1,3 m²K/W (Luftschichtdicke 15 cm)

Der bessere Messwert für den Fall C beruht auf der dickeren Luftschicht, die nur in diesem Fall (Wärmeleitung) eine Rolle spielt. Ist im Fall A auf beiden Seiten der Luftschicht eine IR-reflektierende Folie angebracht, verbessert sich der gemessene R-Wert nur unwesentlich auf 0,46 m²K/W. Während in [3] für den Emissionsgrad ein Zielwert von $\epsilon = 0,2$ genannt wird, liegen die Verhältnisse mit $\epsilon = 0,15$ bei dieser Messung noch etwas günstiger.


Schlussfolgerungen

Im Vergleich zu normalen Luftschichten in vertikalen Bauteilen, die einen mittleren R-Wert von ca. 0,15 m²K/W aufweisen, bringt eine einseitig angebrachte IR-reflektierende Folie eine Verbesserung um weniger als 0,3 m²K/W. Das entspricht etwa 10 mm eines herkömmlichen Dämmstoffes der Wärmeleitfähigkeitsklasse 040. Für Steildächer mit geneigten Luftschichten gelten wahrscheinlich ganz ähnliche Werte. Etwas günstiger ist die Situation bei Fußböden unter winterlichen Verhältnissen oder bei Flachdächern im Sommer, wenn der Wärmestrom von oben kommt (und nur dann!). Dort kann, durch das einseitige Anbringen einer IR-reflektierenden Schicht bei einer 5 cm dicken Luftschicht, der R-Wert in einer Richtung um etwa 0,7 (Winter) bzw. 0,5 m²K/W verbessert werden. Diese Verbesserung entspricht einer zusätzlichen Dämmung von 20 mm bis 30 mm.

Die Tatsache, dass IR-reflektierende Schichten wegen ihres Metallgehalts häufig sehr dampfdicht sind, kann jedoch feuchtetechnische Nachteile haben, die im Einzelfall zu berücksichtigen sind. Allerdings gibt es hier im Bereich der Unterdeckbahnen neuere Entwicklungen, die IR-Reflexion und Wasserdampfdurchlässigkeit miteinander verbinden. In allen Fällen muss jedoch vorausgesetzt werden, dass die IR-Reflexion nicht durch Alterung oder Verschmutzung beeinträchtigt wird. Der Vollständigkeit halber wird darauf hingewiesen, dass die energetische Wirkung der Infrarotreflexion in Bauteilen darin besteht, die Wärmedämmwirkung einer angrenzenden Luftschicht zu verbessern, d.h. ohne Luftschicht stellt sich keine Wirkung ein.

Literatur

- [1] Künzel, H.M. und Sedlbauer, K.: Algen auf Wärmedämm-Verbandssystemen. IBP-Mitteilung 28 (2001), Nr. 382.
- [2] Fitz, C. et al: Prognoseverfahren zum biologischen Befall durch Algen Pilze und Flechten an Bauteiloberflächen auf Basis bauphysikalischer und mikrobieller Untersuchungen. Bauforschung für die Praxis Band 77, Fraunhofer IRB Verlag 2006.
- [3] Gertis, K. und Erhorn, H.: Infrarot wirksame Schichten zur Energieeinsparung bei Gebäuden? gi 103(1982), H. 1, S. 20-24 u. 33-34.
- [4] Nisson, N.: Radiant Barriers, Air Barriers and Vapor Barriers. Compilation of articles from Energy Design Update, Cutter Inf. Corp. Arlington (USA) 1998.



Fraunhofer
Institut
Bauphysik

FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR BAUPHYSIK IBP

Institutsleitung: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Gerd Hauser
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Klaus Sedlbauer

70569 Stuttgart, Nobelstr. 12 (Postfach 80 04 69, 70504 Stuttgart), Tel. 07 11/970-00
83626 Valley, Fraunhoferstr. 10 (Postfach 11 52, 83601 Holzkirchen), Tel. 0 80 24/643-0
34127 Kassel, Gottschalkstr. 28a, Tel. 05 61/804-18 70