

IBP-Bericht RK-ES-05/2000

**Untersuchungen des langwelligen Wärmestrahlungsverhaltens
von Fassadenanstrichen im Winter**

Dr.-Ing. H. Leonhardt
Dipl.-Ing.(FH) Sinnesbichler

Fraunhofer-Institut für Bauphysik
(Leiter: Prof. Dr. Dr. h.c. mult. Dr. E.h. mult. Karl Gertis)

1. Einführung

Gebäudefassaden werden zum Schutz vor Bewitterung größtenteils mit Farb-
anstrichen versehen. Außer als Wetterschutz dienen diese Anstriche auch zur
optischen Gestaltung der Außenbauteile. Um Gebäude vor Überhitzung durch
solare Energie zu schützen bzw. um solare Energie zur Beheizung zu nutzen,
werden in wärmeren Gegenden Gebäude meist weiß (z.B. arabische Staaten),
in kälteren dunkel (z.B. blau, braun in Skandinavien) gestrichen. Helle Farben
reflektieren die eingestrahlte Sonnenenergie und tragen so weniger zur
solaren Erwärmung bei, dunkle Farben hingegen absorbieren Strahlung und
führen zu einer solaren Aufwärmung der Fassade. Im Infrarotbereich sind
übliche Fassadenfarben dunkel, ungeachtet ihrer unterschiedlichen Farben im
sichtbaren Bereich. Dies bedingt eine ganztägige Abstrahlung der Fassade
zum kälteren Halbraum und damit eine Abkühlung des Gebäudes.

Am Fraunhofer-Institut für Bauphysik wurden Fassadenanstriche, die durch
Pigmentierung infrarotreflektierend sind, im Labor und unter realen Witte-
rungsbedingungen untersucht. Ziel der Untersuchung war, festzustellen, in-
wieweit sich eine infrarotbeschichtete Fassade, bedingt durch die geringere
Abstrahlung, ganztägig weniger abkühlt als eine mit einer handelsüblichen
Farbe gestrichene Fassade.

2. Labormessungen

Vor Beginn der Freilanduntersuchungen sind unterschiedliche Farbtöne neu
entwickelter infrarotreflektierender Fassadenfarben im Labor untersucht wor-
den. Tabelle 1 verdeutlicht anhand der Emissionsgrade die Unterschiede im
Bereich der langwelligen Strahlungsemission. Im Vergleich zu einem han-
delsüblichen Fassadenanstrich mit einem Emissionsgrad um $\varepsilon = 0,90$ zeigen
die infrarotreflektierenden Farben (IR-Farben) deutlich niedrigere Emissions-
grade von $\varepsilon = 0,50$ bis $0,60$. Da die Wärmeabgabe einer Außenwand zur

Umgebung über Strahlung und Konvektion erfolgt, wird die IR-reflektierende Farbe die Gesamtwärmeabgabe an die Umgebung beeinflussen. Der Strahlungsanteil an der gesamten Wärmeübertragung wird geringer. Die durchgeführten Labormessungen zeigen, daß die Wärmeabgabe durch Strahlung um bis zu 54 % verringert werden kann.

3. Durchführung der Freilanduntersuchungen

Nach umfangreichen Laboruntersuchungen sind drei IR-reflektierende Farb- anstriche - eine helle (graue), eine dunklere (blaue) und eine dunkle (rote) Farbe – und drei entsprechende, optisch gleich aussehende konventionelle Farbanstriche auf Vergleichsfeldern mit traditionellem Putz für die Praxisuntersuchungen ausgewählt worden. Die Untersuchungen wurden an der Südfassade einer Versuchshalle durchgeführt (vgl. Bild 1). Die Südfassade ist in thermisch voneinander getrennte Felder aufgeteilt. Der Innenraum wurde im Winter auf 20 °C konstant beheizt. Um den Einfluß von Temperaturunterschieden der Luft mit der Höhe zu vermeiden, wurde der Hallenboden im Bereich der Südfassade zusätzlich mit 10 cm dicken Dämmplatten versehen. Die Unterschiede der Innenlufttemperaturen zwischen unterem und oberem Feld betragen danach noch ca. 2 K.

Damit innenseitig möglichst gleiche Randbedingungen vorliegen, sind die Vergleichsfelder paarweise waagrecht angeordnet worden. Sowohl die IR-beschichteten Putze als auch die traditionellen Putze der Vergleichsfelder waren auf Mauerwerk aufgebracht. Ergänzend wurde hellgrau IR und handelsübliches Grau auf einem Wärmedämmverbundsystem (WDVS) aufgetragen. Die bauphysikalischen Kennwerte der Versuchsfelder sind in Tabelle 2 angegeben. Der Wärmedurchgangskoeffizient (k-Wert) ist für alle monolithischen Felder gleich und beträgt $k = 1,40 \text{ W/m}^2\text{K}$. Dies entspricht dem sog. Mindestwärmeschutz, wie er z. B. im Altbau häufig vorkommt. Dieser Wert wurde vom Auftraggeber ausdrücklich gewünscht. Die IR-Farben sollen nämlich hauptsächlich für die Sanierung von Altbauten, deren Fassade optisch erhalten bleiben muß, eingesetzt werden. Die Elemente mit WDVS haben einen

k-Wert von $0,46 \text{ W/m}^2\text{K}$. In Bild 2 sind alle acht Versuchsfelder auf der südorientierten Fassade der Versuchshalle dargestellt.

4. Ergebnisse

In Bild 3 sind die Zeitverläufe für Außenlufttemperatur und Südstrahlung an einem strahlungsreichen Wintertag dargestellt. Zur Verdeutlichung des Effektes, der durch IR-reflektierende Pigmentierung auftritt, sind die Oberflächentemperaturen der vier Felder mit jeweils gleichem Wandaufbau, aber unterschiedlichen Farbtönen in Bild 4 über den gleichen Wintertag aufgetragen. Die IR-reflektierenden Farbfelder, auch der aus der ersten Entwicklungsphase stammenden Farben grau und rot, kühlen durchwegs weniger ab als die konventionell mit angestrichenen Felder. In Bild 5 sind die Verläufe des Transmissionswärmestromes durch das jeweilige Testfeld über den betrachteten Zeitraum eines strahlungsreichen Wintertages dargestellt. Die Transmissionswärmeströme schwanken bei den traditionell verputzten Fassadenelementen zwischen etwa 10 und 30 W/m^2 und bei den Fassadenelementen mit Wärmedämmverbundsystem um 15 W/m^2 (Bild 5). Vergleicht man die Wärmeströme der jeweiligen Farbenpaare (IR und ohne IR) so erkennt man, daß die Verluste der IR-reflektierenden Felder stets geringer sind als die der nicht IR-reflektierenden Felder, was sich besonders deutlich beim aus der zweiten Entwicklungsphase stammenden blauen Feld bemerkbar macht. Durch solare Einstrahlung über das Winterhalbjahr 1999/2000 verringert sich der Transmissionswärmestrom durch Absorption bei allen Feldern, so daß die temperaturbezogene Wärmestromdichte durchwegs geringer ist und zwar um 20 bis 35 % (vgl. Tabelle 3 und 4). Beim WDVS zeigt sich ebenfalls eine Reduzierung von 15 bis 19 %. Beim grauen Feld ohne IR-Beschichtung reduziert sich die Wärmeabgabe an die Umgebung durch solare Einstrahlung um 21 %, beim blauen um 22 %, und beim roten um 31 %. Beim IR-beschichteten grauen Feld werden zusätzlich 4 %, beim roten ebenfalls 4 % und beim blauen 11 % Reduzierung des Wärmestromes erreicht. Je besser die Farbe im solaren Bereich absorbiert, also je höher die Aufheizung der Wand, um so stärker wirkt sich die IR-Beschichtung auf die Wärmebilanz an

der Außenwand aus. Sie führt gemeinsam mit der solaren Absorption letztlich zu einer Verringerung der Wärmeabgabe an die Umgebung.

Zu diesen Ergebnissen ist relativierend anzumerken, daß sie nur für die hier vorliegenden Randbedingungen gelten und nicht verallgemeinert werden dürfen. Die innerseitige Randbedingung ist durch eine konstante Lufttemperatur gekennzeichnet. Außenseitig herrschen die meteorologischen Strahlenverhältnisse einer Freilandatmosphäre in ca. 700 m Meereshöhe. Die Umgebung war an winterlichen Meßtagen schneebedeckt. Die Ergebnisse sind von der Albedo der Umgebung mitbeeinflusst.

Eine Feuchteanreicherung in einer Außenwand kann u.a. auch durch Taupunktunterschreitung auftreten. Summiert man alle Taupunktunterschreitungen zeitlich über die Winterperiode auf, so ergeben sich für Fassadenoberflächentemperaturen unter 0 °C lediglich beim WDVS-Feld ohne IR-Beschichtung 285 Stunden und beim Feld mit IR-Beschichtung 167 Stunden. Dies entspricht einem prozentualen Anteil von 7,8 bzw. 4,6 %. Bei den getönten (nicht weißen) traditionellen Feldern tritt keine Taupunktunterschreitung auf. Bei dem traditionellen Wandaufbau wirkt sich die durch Strahlung tagsüber eingetragene solare Wärme auf den Temperaturverlauf bis in die Nacht hinein aus. Damit ist eine Trennung der solar und IR-bedingten Reduzierung der Transmissionswärmeverluste nicht möglich. Eine Abschätzung der Beiträge zur Reduzierung der Verluste an anderen Standorten müßte rechnerisch durchgeführt werden.

Wandoberflächentemperaturen, die nicht unter die Außenlufttemperatur abkühlen, tragen zur Vermeidung von Tauwasserbildung, Feuchte- und evtl. Frostschäden an der Fassade bei. Bei den mit der IR-reflektierenden Farbe gestrichenen traditionell verputzten Wandaufbauten mit relativ hohen Wärmespeicherkapazitäten und k-Werten bleibt die Oberflächentemperatur über das betrachtete Winterhalbjahr oberhalb der Außenlufttemperatur. Bei den Feldern mit Wärmedämmverbundsystemen kühlen die Oberflächentemperaturen unter die Außenlufttemperatur ab. Die IR-beschichteten Felder bleiben aber auch hier stets wärmer als die nicht IR-beschichteten Felder.

5. Zusammenfassung

Am Fraunhofer-Institut für Bauphysik wurden vergleichende Untersuchungen an handelsüblichen und innovativen IR-reflektierenden Fassadenanstrichen durchgeführt. Im Vergleich zu einem herkömmlichen Fassadenanstrich emittiert unter den hier vorliegenden Randbedingungen die IR-Fassadenfarbe bis zu 54 % weniger infrarote Strahlung. Praxismessungen im Freigelände zeigen, daß die Außenoberflächentemperaturen von traditionell verputzten Außenwänden beheizter Räume, die mit IR-Anstrichen versehen wurden, im Gegensatz zu herkömmlich gestrichenen Fassaden durchwegs höher liegen. Dies trägt zur Reduzierung von Feuchtebelastungen in der Fassadenoberfläche und somit zur Reduzierung von Schäden bei. Auch bei den Feldern mit Wärmedämmverbundsystem bleiben die Oberflächentemperaturen der Felder mit IR-Anstrich im Winter wärmer als die der mit herkömmlichem Farbanstrich versehenen Felder.

Obwohl nicht Gegenstand der vorliegenden Untersuchungen sei abrundend darauf verwiesen, daß IR-wirksame Anstriche auch Auswirkungen auf die sommerliche Erwärmung haben, die noch näher untersucht werden müßte.

Tabelle 1 Spektrale Absorptions- bzw. Emissionsgrade der neu entwickelten Fassadenfarben im Vergleich zu herkömmlichen Farben (Labor-messung, Neuzustand).

| Farbe (neu) | Absorptions-/Emissionsgrad | | |
|----------------|---|-------------------------------------|---------------------------------------|
| | sichtbar 0,38 bis 0,78 μm | solar 0,25 bis 2,5 μm | thermisch 2,5 bis 50 μm |
| | a_{vis} [-] | a_{sol} [-] | ε [-] |
| Hellgrau | 0,43 | 0,50 | 0,85 |
| Hellgrau IR | 0,43 | 0,48 | 0,58 |
| Blau | 0,57 | 0,42 | 0,94 |
| Blau IR | 0,55 | 0,56 | 0,49 |
| Rot | 0,74 | 0,67 | 0,86 |
| Rot IR | 0,73 | 0,64 | 0,59 |

Tabelle 2 Bauphysikalische Kennwerte der untersuchten Wandelemente.

| Schicht bzw. Daten | | Mauerwerk traditionell verputzt | Mauerwerk mit WDVS |
|-----------------------|--|------------------------------------|-----------------------|
| Innenputz: | d [m] λ_R [W/(mK)] | 0,016 0,25 | 0,016 0,25 |
| Mauerwerk: | d [m] λ_R [W/(mK)] ρ [kg/m ³] | 0,365 0,89 1900 | 0,365 0,89 1900 |
| Dämmschicht: | d [m] λ_R [W/(mK)] | - - | 0,06 0,04 |
| Außenputz: | d [m] λ_R [W/(mK)] | 0,018 0,25 | - - |
| R-Wert: | [m ² K/W] | 0,55 | 2,01 |
| k-Wert: | [W/(m ² K)] | 1,40 | 0,46 |

d: Dicke

λ : Rechenwert der Wärmeleitfähigkeit

ρ : Rohdichte

R: Wärmedurchlaßwiderstand

k: Wärmedurchgangskoeffizient

Tabelle 3 Temperaturbezogene Wärmestromdichten an den traditionell verputzten Wandaufbauten, errechnet aus Messungen über die Winterperiode 1999/2000.

| Südwand (Holzkirchen) | | Temperaturbezogene Wärmestromdichte [W/m ² K] | | Unterschied Δ [%] |
|--------------------------|----|--|-----------------------------|--------------------------|
| | | Ohne solare Einstrahlung | Mit solarer Einstrahlung | |
| hellgrau | | 1,23 | 0,97 | -21 |
| | IR | 1,26 | 0,94 | -25 |
| blau | | 1,25 | 0,97 | -22 |
| | IR | 1,26 | 0,85 | -33 |
| rot | | 1,27 | 0,87 | -31 |
| | IR | 1,28 | 0,83 | -35 |

Tabelle 4 Temperaturbezogene Wärmestromdichten an dem Wandaufbau mit WDVS, errechnet aus Messungen über die Winterperiode 1999/2000.

| Südwand (Holzkirchen) | Temperaturbezogene Wärmestromdichte [W/m ² K] | | Unterschied Δ [%] |
|--------------------------|--|-----------------------------|--------------------------|
| | Ohne solare Einstrahlung | Mit solarer Einstrahlung | |
| Farbe | | | |
| hellgrau | 0,61 | 0,52 | -15 |
| hellgrau IR | 0,58 | 0,47 | -19 |

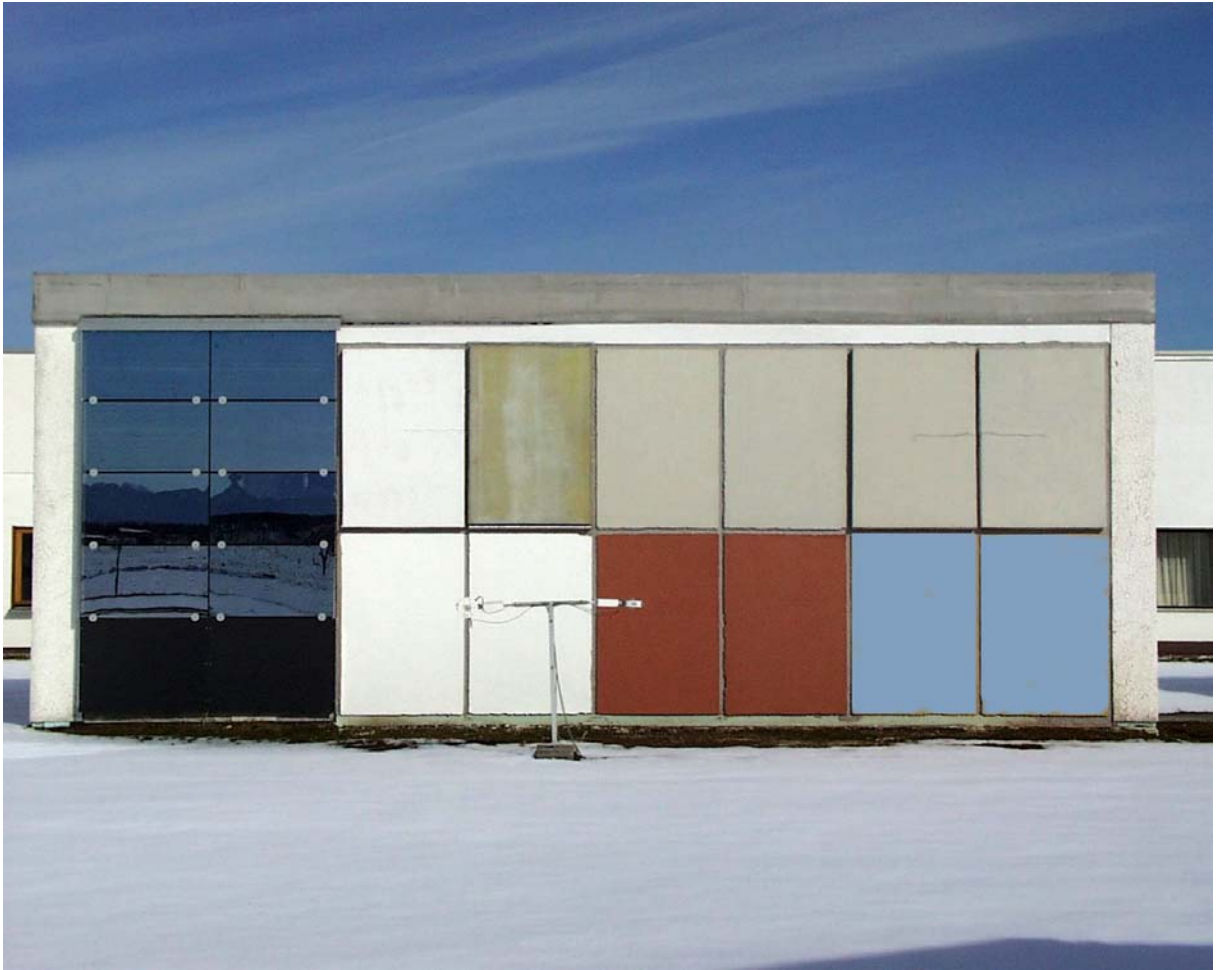


Bild 1 Fotografische Aufnahme der Südansicht des Fassadenprüfstandes im bauphysikalischem Freigelände.

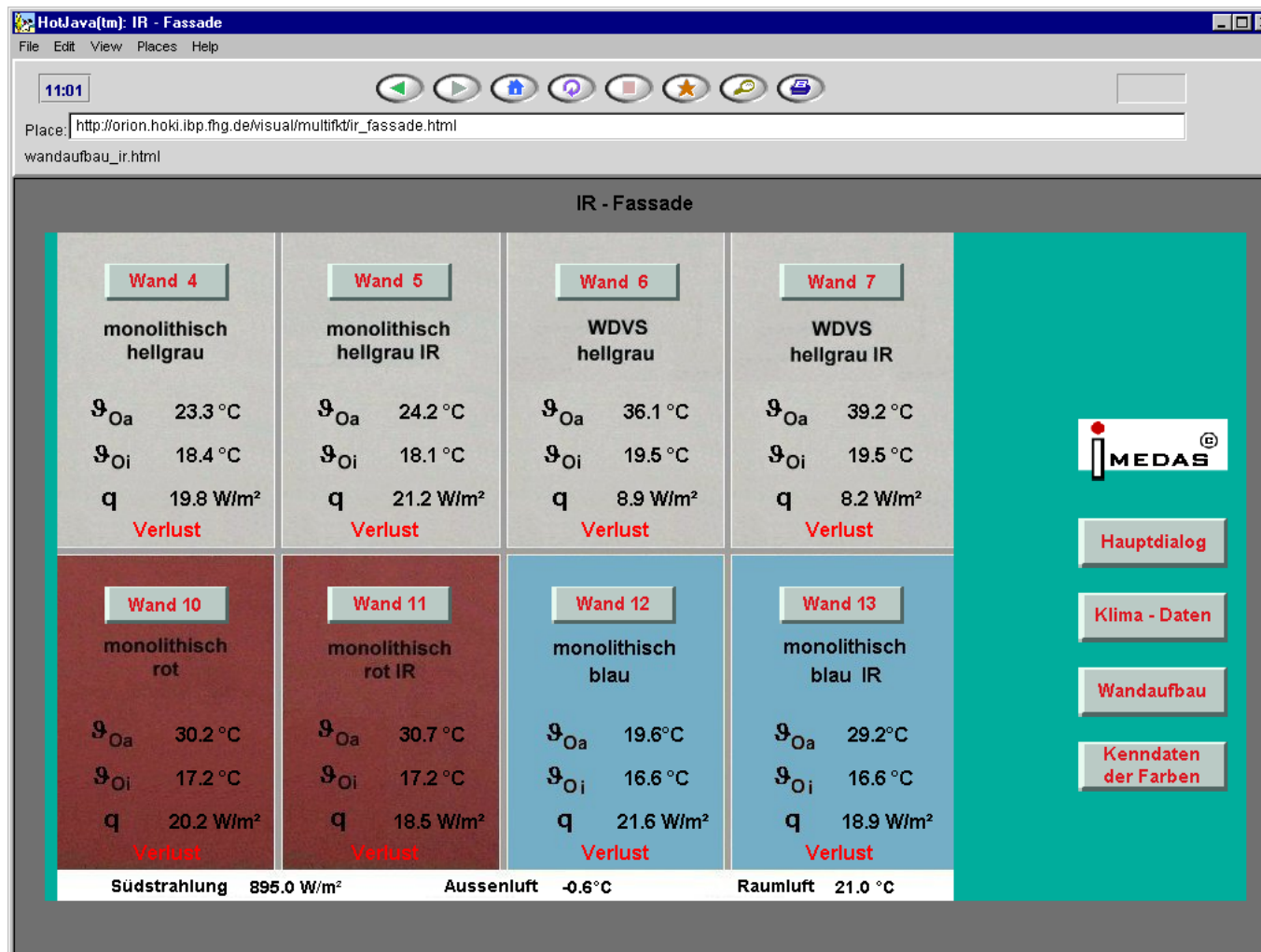


Bild 2 Computer-Abbildung der untersuchten IR-beschichteten Versuchswandaufbauten. Die Angaben im Bild beziehen sich auf einen Wintertag (Mittag) bei einer Außenlufttemperatur von $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$.

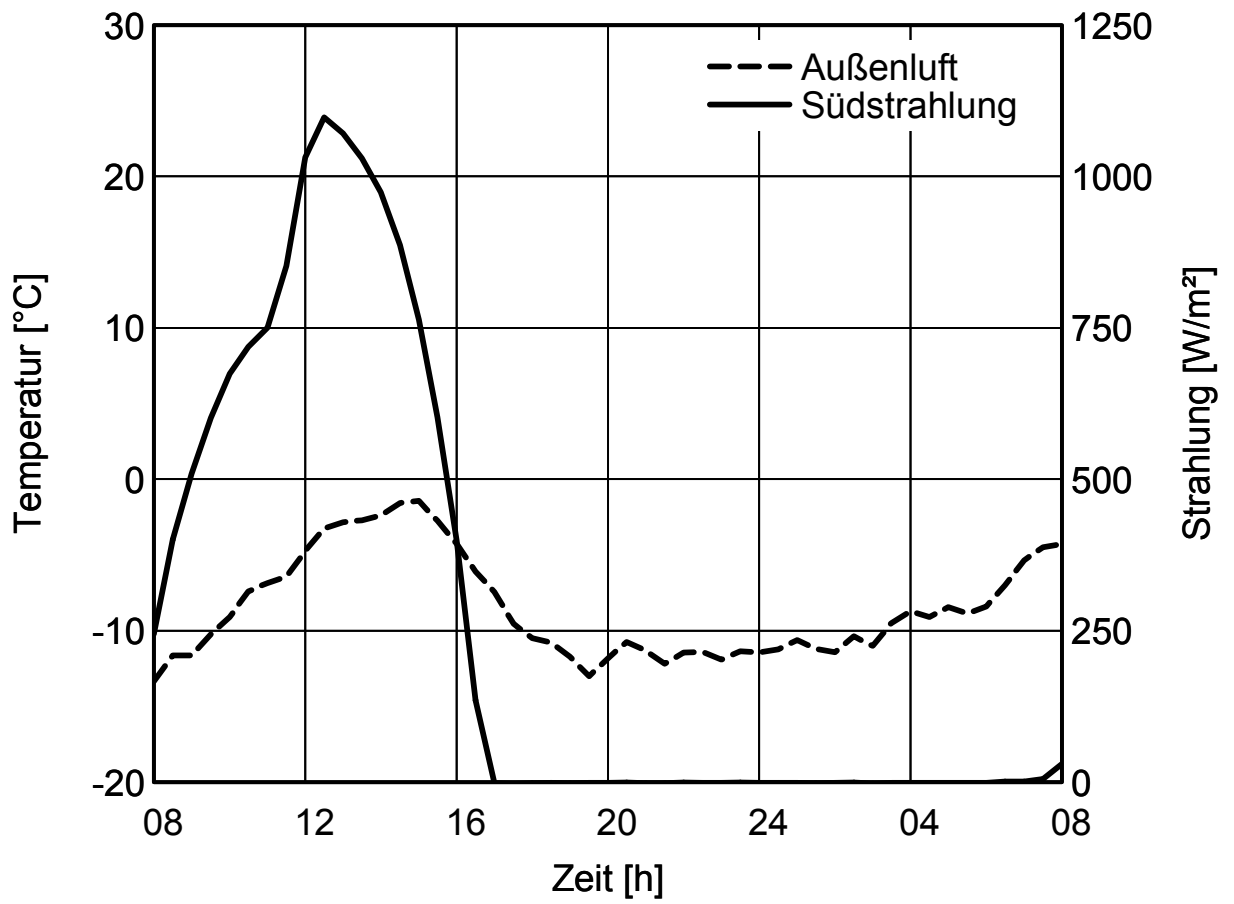


Bild 3 Zeitliche Verläufe der Außenlufttemperatur und Südstrahlung an einem kalten Wintertag.

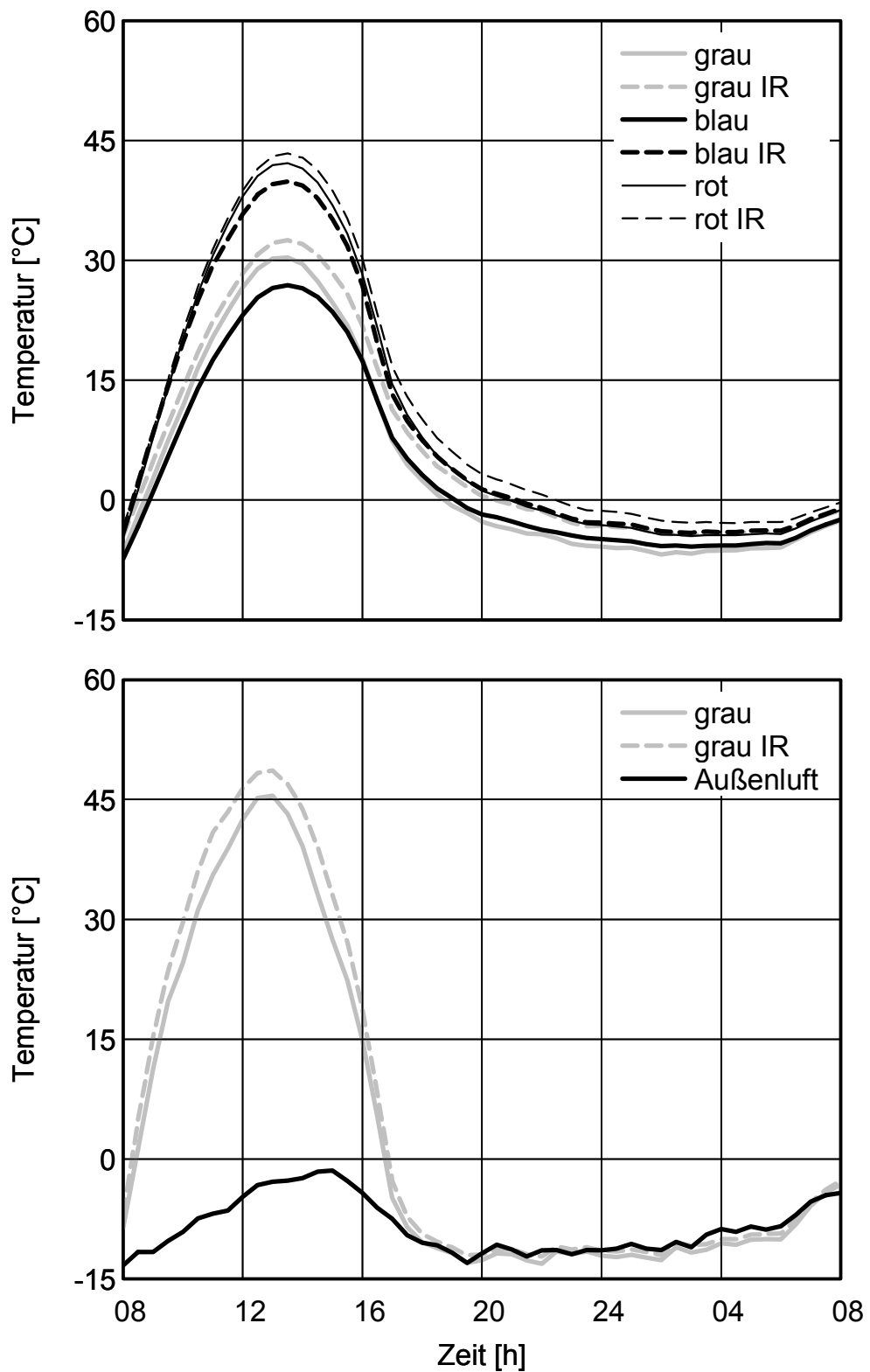


Bild 4 Zeitliche Verläufe der Oberflächentemperaturen der Versuchsfelder an einem kalten Wintertag.
 Oben: traditionelles Mauerwerk
 Unten: Wärmedämmverbundsystem

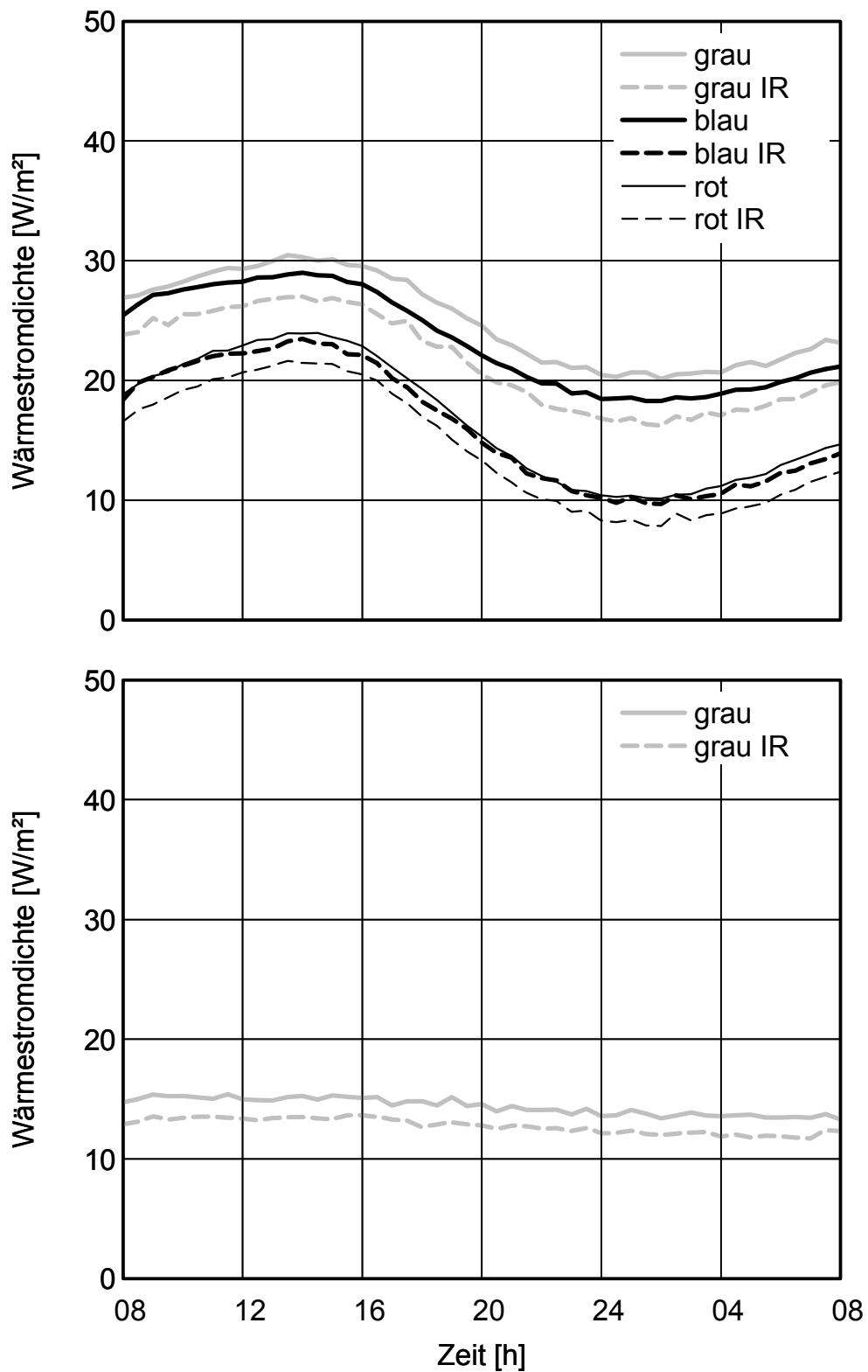


Bild 5 Zeitliche Verläufe der Wärmestromdichten an den Innenwandoberflächen der Versuchsfelder an einem kalten Wintertag.
 Oben: traditionelles Mauerwerk
 Unten: Wärmedämmverbundsystem