

Fraunhofer-Institut für Bauphysik

AUSSENSTELLE HOLZKIRCHEN

Amtlich anerkannte Prüfstelle für die Zulassung neuer Baustoffe, Bauteile und Bauarten
Institutsleitung: Prof. Dr. F. P. Mechel

20. Dez. 1985

4

EB-8/1985

Effektiver Wärmeschutz von Ziegelaußenwandkonstruktionen

3. Untersuchungsabschnitt

Auswirkung der Strahlungsabsorption von Außenwandoberflächen und Nachtabenkung der Raumlufttemperaturen auf den Transmissionswärmeverlust und den Heizenergieverbrauch

Untersuchungen durchgeführt im
Fraunhofer-Institut für Bauphysik

im Auftrag des
Ziegelforums e.V., München

Der Bericht umfaßt
15 Seiten Text
10 Tabellen
11 Bilder

Ausgangspunkt der Untersuchung war die
sowohl höhere Oberflächentemperatur als auch die
für die Wärmeabstrahlung.



Holzkirchen, den 20. Dezember 1985

Sachbearbeiter und Abteilungsleiter:

Dr.-Ing. H. Werner

Institutsleiter:

Prof. Dr.-Ing. habil. K.A. Gertis

Auswirkung der Strahlungsabsorption von Außenwandoberflächen und Nachtabsenkung
der Raumluffttemperaturen auf den Transmissionswärmeverlust
und den Heizenergieverbrauch

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung und Problemstellung

2. Durchführung der Untersuchung

3. Ergebnisse

- 3.1 Rechnerische Voruntersuchung
 - 3.1.1 Stationäre Rechnung unter Berücksichtigung der Strahlungsabsorption von Außenoberflächen
 - 3.1.2 Rechnung mit Nachtabsenkung der Raumluffttemperatur
- 3.2 Experimentelle Versuchsergebnisse und Vergleiche mit Rechenergebnissen
 - 3.2.1 Wirkung der Farbgebung der Außenoberfläche
 - 3.2.1.1 Oberflächentemperaturen
 - 3.2.1.2 Wärmestromdichten
 - 3.2.1.3 Heizenergieverbrauch der Testräume
 - 3.2.2 Wirkung der Nachtabsenkung
 - 3.2.2.1 Wärmestromdichten
 - 3.2.2.2 Heizenergieverbrauch der Testräume

4. Zusammenfassung und Schlußfolgerungen

5. Literatur

Auswirkung der Strahlungsabsorption von Außenwandoberflächen und Nachtabenkung
der Raumlufttemperaturen auf den Transmissionswärmeverlust
und den Heizenergieverbrauch

1. Einleitung und Problemstellung

Da in den letzten Jahren die passive Solarnutzung durch große Verglasung und Glasvorbauten immer mehr Anwendung fand, stellte sich bei Architekten und Planern u. a. auch die Frage, welcher Bedeutung im Vergleich dazu der passiven Sonnenenergienutzung durch Strahlungsabsorption an nicht transparenten Bauteilen zukommt. Es ist bekannt, daß dunkle - stark absorbierende - Außenoberflächen insbesondere bei Südorientierung und Sonnenschein wesentlich wärmer werden als weiße - weniger stark absorbierende - Oberflächen. Es stellt sich die Frage, inwieweit sich die in der Wand absorbierte Sonnenenergie auf den Transmissionswärmeverlust auswirkt. In diesem Zusammenhang interessiert, ob die Wärmedämmung bzw. die Anordnung der Dämmschicht sich negativ auswirkt oder nicht.

Um quantitativ festzustellen, wie sich dieser Absorptionseffekt bei verschiedenen Außenwandkonstruktionen auf den Wärmedurchgang (Transmissionswärmeverlust) und auf den Heizenergieverbrauch auswirkt, wurden Untersuchungen an Testräumen mit unterschiedlichen Außenwandkonstruktionen und unterschiedlicher Farbgebung der Außenoberflächen exemplarisch durchgeführt.

2. Durchführung der Untersuchung

Als Versuchsobjekt hat, wie aus Bild 1 hervorgeht, ein Gebäude mit sechs nebeneinander liegenden Räumen gedient, die mit der Fensterfassade nach Süden orientiert sind. Alle Räume sind geometrisch gleich und haben eine Grundfläche von 20 m². Der vorliegende Grundriß resultiert aus früher durchgeführten Untersuchungen über den Einfluß von Wärmebrücken auf den Heizenergieverbrauch [1]. Für die hier vorliegende Untersuchung sind lediglich vier Räume benutzt worden, die teilweise unterschiedliche Außenwandkonstruktionen gemäß Tabelle 1 aufweisen. In jeweils zwei Räumen sind monolithische Außenwände (Raum 1 und 3) bzw. mit Polystyrol-Hartschaum gedämmte Wände (Raum 4 und 5) eingebaut worden. Die k-Werte dieser vier Konstruktionen betragen einheitlich 0,46 W/m²K.

Um eine gegenseitige Beeinflussung der Räume auszuschalten, sind die Trennwände zweischalig ausgeführt und die Bauteile Decke und Fußboden extrem wärmedämmend (20 cm Polystyrol-Hartschaum) worden. Die Räume wurden elektrisch direkt mit ölgefüllten Radiatoren beheizt, die über in Raummitte angebrachten Kontaktthermometer geregelt wurden. Die Sollinnenlufttemperatur betrug 20 °C. Mit Ausnahme zweier Perioden, die mit Nachtabsenkung gefahren wurden, sind die Raumlufttemperaturen über 24 Stunden pro Tag konstant gehalten worden. Um einen einheitlich definierten Luftwechsel zu gewährleisten, wurde jeder Raum mit Hilfe eines Gebläses belüftet. Der Luftwechsel betrug $0,1 \text{ h}^{-1}$. Da auch Meßperioden mit Nachtabsenkung der Raumlufttemperaturen betrachtet wurden, sind zur Simulation der Speicherwirkung von Möbeln in jedem Raum 6 m^2 große Preßspanplatten aufgestellt worden. Die Fußböden waren mit einem Filzteppich belegt.

In der hier vorgesehenen Untersuchung war die durch das Fenster einfallende Sonneneinstrahlung als Störgröße zu betrachten; daher wurden während der Untersuchungsdauer die Rolläden an den Fenstern heruntergelassen. Hierzu ist zu bemerken, daß die Ausklammerung der Sonneneinstrahlung durch die Fenster bei der vorliegenden Aufgabenstellung richtig ist, allgemein aber nicht der Praxis entspricht. Man kann durch diese Maßnahme zwar exakt ermitteln, wieviel die nichttransparenten Wandflächen zur solar bedingten Reduktion der Transmissionswärmeverluste quasi "in Reinkultur" beitragen; man muß sich aber auch bewußt sein, daß diese Werte nur solange gelten, so lange keine Überheizungseffekte im Raum auftreten.

Der gesamte Untersuchungszeitraum gliedert sich in drei Phasen, die in Tabelle 2 näher erläutert sind. Während in Phase I (vom 24. November 1984 bis 17. Dezember 1984) die Räume 1 und 4 auf konstant 20 °C beheizt worden sind, wurden die Räume 3 und 5 mit Nachtabsenkung von 22 bis 6 Uhr gefahren. Die Außenoberflächen der Außenwände waren in dieser Zeit hell gestrichen (Dispersionsanstrich mit einem Absorptionskoeffizient von ca. 0,2). In der Untersuchungsphase II wurde bei unterschiedlichem Außenanstrich (Raum 1 und 5 hell; Raum 3 und 4 dunkel, Absorptionskoeffizient ca. 0,9) konstant auf 20 °C geheizt. In der Phase III (vom 13. März bis 15. April) wurden bei unterschiedlicher Farbgebung alle Räume wieder mit Nachtabsenkung der Raumlufttemperaturen gefahren.

I: 24.11./17.12.
 II: 18.12./12.3.
 III: 13.3./15.4.

Raum	I	II	III
1	HO	hell (0,2)	alle mit Nachtabsenkung
4	AD	dunkel (0,9)	
3	HO	hell (0,2)	alle mit Nachtabsenkung
5	AD	dunkel (0,9)	

3. Ergebnisse

3.1 Rechnerische Voruntersuchung

Vor Beginn der experimentellen Untersuchungen mit den Testräumen sind rechnerische Voruntersuchungen über den Einfluß der Strahlungsabsorption und der Nachtabenkung auf den Wärmedurchgang mit verschiedenen Methoden durchgeführt worden. Ergebnisse dieser Rechnungen werden in diesem und im direkten Vergleich mit den Meßergebnissen im folgenden Kapitel dargestellt.

3.1.1 Stationäre Rechnung unter Berücksichtigung der Strahlungsabsorption von Außenoberflächen

Der Wärmedurchgang unter stationären, d.h. zeitunabhängigen Randbedingungen kann sehr einfach mit folgender Beziehung [2] beschrieben werden:

$$q = k \Delta \vartheta - \frac{k A J}{\alpha_a} \quad (1)$$

Es bedeuten:

q : Wärmestromdichte durch die Außenwand

k : Wärmedurchgangskoeffizient nach DIN 4108 bzw. nach Zulassung für die Außenwand

$\Delta \vartheta$: Differenz der Lufttemperaturen zwischen innen und außen.

A : Absorptionskoeffizient der Außenoberfläche

J : durchschnittliche Strahlungsintensität auf die Außenoberfläche

α_a : äußerer Wärmedurchgangskoeffizient

Um einen sog. effektiven k -Wert zu definieren [3][4], ergibt sich aus der Beziehung (1) folgender Ansatz:

$$q = k \Delta \vartheta \left(1 - \frac{A J}{\alpha_a \Delta \vartheta} \right) \quad (2)$$

Mit

$$q = k_{\text{eff}} \Delta T \quad (3)$$

ergibt sich zusammen mit Beziehung (2) der effektive k-Wert zu

$$k_{\text{eff}} = \left(1 - \frac{A J}{\alpha_a \Delta T} \right) k \quad (4)$$

Zur Veranschaulichung der Abhängigkeit des Wärmedurchgangs von der auf die Außenoberfläche absorbierten Strahlung und der Differenz der Lufttemperatur ist in Bild 2 exemplarisch für zwei unterschiedliche Außenwände ($k = 1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$ und $k = 0,5 \text{ W/m}^2\text{K}$) die Wärmestromdichte dargestellt. Man ersieht daraus, daß mit Zunahme der absorbierten Strahlung der Wärmedurchgang kleiner wird und zwar um so stärker je höher der k-Wert ist. Allerdings ist bei gleicher Temperaturdifferenz der Punkt, bei dem der Wärmedurchgang null wird (Punkt A bei 20 K Temperaturdifferenz), für beide hier zugrundegelegten Konstruktionen gleich. Bei derselben Temperaturdifferenz ergibt sich z.B. bei 75 W/m^2 absorbiertes Strahlung bei $k_w = 1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$ eine Wärmestromdichte von 15 W/m^2 , d.h. ein um 25 % niedrigerer Wert als ohne Berücksichtigung der Einstrahlung. Für den äußeren Übergangskoeffizienten wurde hier im Gegensatz zu den Annahmen nach DIN 4701 ein Wert von $15 \text{ W/m}^2\text{K}$ zugrundegelegt, da wie die Messungen gezeigt haben, die berechneten Oberflächentemperaturen außen mit diesem Wert besser mit den gemessenen übereinstimmen. Im übrigen ist bekannt, daß $\alpha_a = 23 \text{ W/m}^2\text{K}$ nach DIN 4701 für die durchschnittliche Betrachtung im allgemeinen zu hoch ist.

3.1.2 Rechnung mit Nachtabsenkung der Raumlufttemperatur

Der Wärmedurchgang unter periodischen, d.h. bei instationären aber immer wiederkehrenden Temperaturrandbedingungen (Bild 3) wurde bereits von Heindl [5], Gertis [6] und Hauser [7] rechnerisch untersucht. Auch eine experimentelle Untersuchung [8] hat gezeigt, daß unter sog. quasistationären Bedingungen der Effekt der Nachtabsenkung der Raumlufttemperatur auf den durchschnittlichen Wärmedurchgang bzw. auf den Heizenergieverbrauch, wie folgt, mit den Mittelwerten der Tem-

peratur beschrieben werden kann:

$$\frac{q_{mNA}}{q_{oNA}} = \frac{\Delta T_{mNA}}{\Delta T_{oNA}} \quad (5)$$

Dabei bedeuten:

q : durchschnittlicher Wärmedurchgang

ΔT : durchschnittliche Differenz der Lufttemperaturen zwischen innen und außen

Indizes:

mNA: bei Nachtabsenkung der Raumlufttemperaturen

oNA: ohne Nachtabsenkung, d.h. bei konstanter Raumlufttemperatur.

3.2 Experimentelle Versuchsergebnisse und Vergleiche mit Rechenergebnissen

Die nachfolgend gezeigten Ergebnisse gelten für die hier vorliegenden Versuchsbedingungen und können im allgemeinen nicht unmittelbar verallgemeinert werden. Während die Heizenergieverbräuche und ihre prozentualen Veränderungen ausschließlich für die hier zugrundegelegten Testräume gelten, können die Ergebnisse über die Wärmestromdichten und Oberflächentemperaturen für gleiche südorientierte Wände mit entsprechender Farbgebung und gleichartigen meteorologischen Verhältnissen übertragen werden, wobei insbesondere der zugrundegelegte äußere Wärmeübergangskoeffizient von $15 \text{ W/m}^2\text{K}$ zutreffen muß (windarme Verhältnisse).

3.2.1 Wirkung der Farbgebung der Außenoberfläche

Durch die Farbgebung der Außenoberfläche kann das Absorptionsvermögen wesentlich beeinflusst werden. Um den Absorptionseinfluß in seinem Variationsbereich bei außengedämmten und monolithischen Wandkonstruktionen aufzuzeigen, wurden zwei extreme Farbgebungen ausgewählt, die im folgenden mit "hell" (weißer Dispersionsanstrich) und "dunkel" (dunkelbrauner Dispersionsanstrich) bezeichnet werden.

3.2.1.1 Oberflächentemperaturen

In Bild 4 sind in einer strahlungsreichen Periode (mittlere Strahlungsintensität

auf die Oberfläche: 224 W/m^2) die Oberflächentemperaturen für die beiden Konstruktionen in den beiden unteren Diagrammen graphisch dargestellt. Im oberen Diagramm sind die meteorologischen Bedingungen zugeordnet. Man erkennt, daß die Unterschiede der maximalen Außenoberflächentemperaturen, die bei der höchsten Einstrahlung auftreten, groß sind. Die Unterschiede betragen ca. 40 K. Bei dunkler Farbe treten bei der außengedämmten Konstruktion sogar Temperaturen von über $60 \text{ }^\circ\text{C}$ auf, die um ca. 10 K höher sind als die der monolithischen Wand. Dies ist darauf zurückzuführen, daß durch die Außendämmung ein schneller Ausgleich nach innen hin verhindert wird. Daraus sollte allerdings nicht der voreilige Schluß gezogen werden, daß eine derartige Konstruktion die Sonnenenergienutzung verhindert.

Bild 5 zeigt den 5. Tag der in Bild 4 dargestellten Periode in einer direkten Gegenüberstellung der gemessenen und berechneten Oberflächentemperaturen. Für die instationären Berechnungen werden die gemessenen Tagesgänge von Sonneneinstrahlung, Außen- und Innenlufttemperatur zugrundegelegt. Man kann nach Anpassung einiger Randbedingungen (Absorptionsgrade und Wärmeübergangskoeffizienten) eine sehr gute Übereinstimmung zwischen Messung und der instationären Rechnung feststellen. Folgende Kennwerte wurden bei der Rechnung zugrunde gelegt:

Absorptionsgrade: heller Anstrich: 0,22
dunkler Anstrich: 0,91

Wärmeübergangskoeffizienten: innen: $5 \text{ W/m}^2\text{K}$
außen: $15 \text{ W/m}^2\text{k}$

Um zu veranschaulichen, wie die Temperaturverteilung zu bestimmten Zeiten in den Bauteilen aussieht, ist in Bild 6 die Temperaturverteilung über den Querschnitt bei jeweils hellem und dunklem Anstrich dargestellt. Morgens um 6 Uhr treten in allen Fällen die tiefsten Außenoberflächentemperaturen und um 12 Uhr bzw. 15 Uhr die höchsten Werte auf. Insbesondere ist zu bemerken, daß zu keiner Tageszeit die innere Oberflächentemperatur höher wird als $20 \text{ }^\circ\text{C}$, obwohl bereits vier strahlungsreiche Tage vorausgingen. Dies bedeutet, daß dem Innenraum zu keinem Zeitpunkt über die nichttransparente Wandfläche Wärme zugeführt wird. Diese Fläche liefert somit keine Solargewinne in den Raum. Die Sonneneinstrahlung auf die Wandfläche bewirkt lediglich einen Rückgang der Verluste, aber keine Gewinne.

3.2.1.2 Wärmestromdichten

Entsprechend Bild 4 ist in Bild 7 für dieselbe Periode der gemessene Transmissionswärmedurchgang für die beiden Konstruktionen bei heller und dunkler Farbgebung dargestellt. Auffällig ist, daß die dunkle Farbgebung eine etwas stärkere Schwankung hervorruft. In dieser sehr strahlungsreichen Periode ist der Transmissionswärmeverluststrom deutlich niedriger als sonst, wobei der Unterschied zum hellen Anstrich umso größer wird, je länger die strahlungsreiche Periode dauert. Erst am letzten Tag, an dem die Einstrahlung nachläßt, wird der Unterschied kleiner. Außer der etwas stärkeren Amplitudenschwankung bei der außengedämmten Konstruktion sind keine deutlichen Unterschiede im Niveau des Wärmestroms bei den beiden Konstruktionen mit entsprechender Farbgebung festzustellen.

Für einen längeren Zeitraum von 28 Tagen im Februar/März 1985 (durchgehender Heizbetrieb) ist in Bild 8 die Abhängigkeit der Transmissionswärmestromdichte von der absorbierten Strahlung dargestellt. Dabei werden die Meßergebnisse mit nach verschiedenen Methoden berechneten Ergebnissen verglichen. Auf der rechten Ordinate ist die prozentuale Erniedrigung des mittleren Transmissionswärmeverlustes gegenüber ohne Berücksichtigung der Absorption aufgezeigt. Bei hellem Anstrich beträgt in dieser Periode die Erniedrigung bei beiden Konstruktionen ca. 20 %, bei dunklem Anstrich ca. 45 %. Streng rechnerisch müßte die Relation zwischen diesen beiden Werten im Verhältnis der Absorptionsfähigkeiten, d.h. 0,9 zu 0,22 liegen. Daß dies nicht der Fall ist, wird durch die meßtechnischen Randbedingungen begründet, die keinen voll eingeschwungenen Temperaturzustand erreicht haben.

Die Ergebnisse des Absorptionseinflusses auf den Wärmedurchgang bei durchgehendem Heizbetrieb sind in den Tabellen 3 und 4 zusammengefaßt. Die Abweichungen zwischen instationärer Rechnung und Messung sind relativ gering, wie aus Tabelle 3 hervorgeht. Die stationäre Rechnung ohne Berücksichtigung der Absorption ergibt allerdings wesentlich zu hohe Werte. Die ermittelten prozentualen Unterschiede der Wärmeströme bei dunklem gegenüber hellem Anstrich gemäß Tabelle 4 zeigen, daß der Einfluß der Absorption auf den Wärmedurchgang für die beiden Konstruktionen (außengedämmt und monolithisch) nicht wesentlich unterschiedlich ist, zumal die Meßgenauigkeit in der Größenordnung dieser festgestellten Unterschiede liegt.

In Tabelle 5 ist der sog. Absorptionseffekt der beiden Konstruktionen bei unterschiedlicher Farbgebung nach meßtechnischer und rechnerischer Ermittlung dargestellt. Wie aus dieser Tabelle hervorgeht, beträgt nach Messung der Absorptionseffekt bei hellem Anstrich 1,5 % (monolithisch), 1,6 % (außengedämmt) und 3,7 % bzw. 3,5 % bei dunklem Anstrich. Da, wie festgestellt werden konnte, die dynamische (instationäre) Berechnung des Wärmedurchgangs unter Einbeziehung der Absorption eine sehr gute Übereinstimmung mit den Meßergebnissen erbrachte, wurden für die hier zugrundegelegten Konstruktionen der durchschnittliche Transmissionswärmeverlust einer südorientierten Wand für eine ganze Heizperiode rechnerisch ermittelt. Dabei wurden die langjährigen mittleren klimatischen Bedingungen von München zugrundegelegt. In Bild 9 ist das Ergebnis dieser Berechnung einschließlich einer einfachen stationären Betrachtung in Histogrammform dargestellt. Ohne Berücksichtigung der Absorption ergibt sich für die Heizperiode September bis April gemäß der Beziehung $q = k\Delta v$ ein mittlerer Transmissionswärmeverlust für alle Wandkonstruktionen von $6,63 \text{ W/m}^2$ (=100 %). Der wahre Transmissionswärmeverlust in dieser Zeit ist bei den hellen Wänden um ca. 15 %, bei den dunklen Wänden um ca. 40 % kleiner. Der Vergleich der beiden Rechenmethoden zeigt, daß die wesentlich einfachere stationäre Betrachtung bei Berücksichtigung der Absorption sehr gute Ergebnisse liefert, die nur geringfügig höher als die der instationären Betrachtung sind. Daraus kann die Schlußfolgerung gezogen werden, daß der Einfluß der Wärmespeicherkapazität bei Langzeitbetrachtungen nur noch sehr gering ist.

3.2.1.3 Heizenergieverbrauch der Testräume

In den einzelnen betrachteten Untersuchungsperioden wurden auch die Heizenergieverbräuche der Testräume gemessen. Da die Räume teilweise unterschiedliche Wandkonstruktionen aufweisen und dadurch unterschiedliche Wärmebrückeneffekte auftreten, wurden die betreffenden Wärmebrückenbereiche - wie Wandsockelbereich und Fensterlaibungen - bei allen Räumen zusätzlich wärmegeämmt. In einem Vorversuch wurden bei gleicher Farbgebung die Räume hinsichtlich ihres Heizenergieverbrauchs verglichen. Die Unterschiede betragen weniger als 2 %.

In den Tabellen 6 und 7 sind die mittleren Heizleistungen bei durchgehendem und unterbrochenem Heizbetrieb (Nachtabsenkung) für die einzelnen Räume gegenübergestellt. In der jeweils rechten Spalte ist auch der prozentuale Unterschied zwischen dunklem und hellem Anstrich angegeben. Der höhere prozentuale Unter-

Süden!

schied in Tabelle 7 ist dadurch zu erklären, daß in dieser 24-tägigen Periode bei weitgehend gleichen Strahlungsverhältnissen die mittlere Außenlufttemperatur um nahezu 8 K höher war als in der 28-tägigen Meßperiode der Tabelle 6. Es kann festgestellt werden, daß die heizenergetischen Auswirkungen durch Farbgebung der südorientierten Außenwandoberfläche mit und ohne Nachtabsenkung etwa die gleichen sind. Die geringfügigen Unterschiede in der Auswirkung der Farbgebung bei den betrachteten Konstruktionen sind unerheblich.

3.2.2 Wirkung der Nachtabsenkung der Raumlufthtemperatur

3.2.2.1 Wärmestromdichten (Transmissionswärmeverluste)

Bild 10 zeigt die gemessenen Wärmestromdichten durch die Außenwand bei unterschiedlichem Heizbetrieb und gleicher Farbgebung (heller Anstrich) der Außenoberfläche. Deutlich fällt auf, daß der Wärmestrom an der Innenseite der Außenwand bei Abschaltung der Heizung (22 Uhr) relativ schnell abfällt. Wird um 6 Uhr die Heizung wieder eingeschaltet, wird aufgrund der erhöhten Konvektion der Wärmestrom in die Wand stark erhöht, so daß tagsüber der Transmissionswärmeverlust in den Räumen mit Nachtabsenkung höher ist als in den anderen Räumen. Die Tabelle 8 zeigt die gemessenen und nach verschiedenen Methoden berechneten mittleren Wärmestromdichten einschließlich der prozentualen Unterschiede zwischen Messung und Rechnung. Die Differenzen im Falle der instationären Rechnung mit Absorption sind relativ klein. Die relativ niedrigen gemessenen Wärmestromdichten sind darauf zurückzuführen, daß die Wärmestrommeßscheiben im wesentlichen den Stein und weniger den Einfluß von Stoß- und Lagerfugen erfassen.

gilt für Wärmestromdichten
Die prozentuale Erniedrigung des Transmissionswärmeverlustes infolge Nachtabsenkung ist aus Tabelle 9 zu ersehen. Für den hier betrachteten Meßzeitraum ergab sich bei der monolithischen Konstruktion eine Erniedrigung um 7,6 % bei der außengedämmten Wand eine Erniedrigung von 9,4 %. Die entsprechenden Werte mit Hilfe der instationären Rechnung betragen 7,7 % bzw. 9,0 %. Die stationäre Rechnung gemäß Beziehung (5) ergibt Werte von 6,3 % bzw. 7,5 %. Dabei muß aber berücksichtigt werden, daß der Raum mit der außengedämmten Wand eine etwas größere Absenkung (ca. 0,3 K) der Raumlufthtemperatur bewirkte als der entsprechende Raum mit der monolithischen Wand.

3.2.2.2 Heizenergieverbrauch der Testräume

Ergänzend zu Bild 10 sind in Bild 11 die Heizleistungen in den vier Räumen bei unterschiedlichem Heizbetrieb und gleicher Farbgebung (heller Anstrich) dargestellt. Die Diagramme zeigen sehr anschaulich das Heizverhalten bei durchgehendem und unterbrochenem Heizbetrieb.

In Tabelle 10 sind für einen 24-tägigen Meßzeitraum im November/Dezember 1984 die durchschnittlichen Heizleistungen gegenübergestellt. Die rechten beiden Spalten der Tabelle zeigen die prozentuale Erniedrigung der Heizleistung infolge Nachtabsenkung. Die etwa 1 % höhere Auswirkung bei der außengedämmten Konstruktion dürfte auf die geringfügig höhere Absenkung der Raumlufttemperatur zurückzuführen sein.

4. Zusammenfassung und Schlußfolgerungen

Südlich
Anhand experimenteller und rechnerischer Untersuchungen wird gezeigt, wie sich die Farbgebung der Außenoberfläche südorientierter Wände unterschiedlicher Bauart auf den Transmissionswärmeverlust und auf den Heizenergieverbrauch von Testräumen auswirkt. Zusätzlich wird noch überprüft, welchen Einfluß die Nachtabsenkung der Raumlufttemperatur auf den Wärmeverlust im Vergleich zur durchgehenden Beheizung hat. Verglichen werden vier Räume gleicher Größe und Orientierung, von denen jeweils zwei unterschiedliche Außenwände aufweisen. Der eine Wandtyp besteht aus einer monolithischen Konstruktion mit einer Mauerdicke von 49 cm aus Leichtziegeln, beidseitig verputzt. Der andere Wandtyp ist außengedämmt mit 6,5 cm Polystyrol Hartschaum auf einer 24 cm dicken Wand aus Hochlochziegeln und verputzt. Beide Wandarten weisen den gleichen Wärmedurchgangskoeffizienten von 0,46 W/m²K auf.

Da bei den hier vorgesehenen Untersuchungen über die Strahlungsabsorption von nichttransparenten Außenwänden die durch die Fenster einfallende Sonneneinstrahlung als Störgröße zu betrachten war, wurde der Sonneneinfall durch die Fenster mit Beschattungsmaßnahmen eliminiert. Die Ausklammerung der Sonneneinstrahlung durch die Fenster ist bei der vorliegenden Aufgabenstellung, welche auf die Reduzierung der Transmissionswärmeverluste infolge Absorption auf Wandflächen quasi in "Reinkultur" abzielte, richtig; man muß bei der Bewertung der so gewonnenen Ergebnisse aber berücksichtigen, daß Überbeheizungseffekte im Raum nicht erfaßt werden.

Die durchgeführte Untersuchung hat gezeigt, daß bei südorientierten Wänden der Einfluß der Strahlungsabsorption auf den Transmissionswärmeverlust fallweise berücksichtigt werden sollte. Der Wärmedurchgang von Außenwänden hängt im wesentlichen von folgenden Größen ab:

- Wärmedämmvermögen der Außenwand
- Einstrahlungsintensität auf der Außenoberfläche
- Absorptionsvermögen der Außenoberfläche
- Differenz der Temperaturen zwischen Raum- und Außenluft
- Wärmeübergangskoeffizient außen

Die dargestellten Ergebnisse beziehen sich auf ca. 4-wöchige Perioden, die teilweise charakteristisch für die gesamte Heizperiode angesehen werden können. Die Auswirkung der Strahlungsabsorption auf den Heizenergieverbrauch kann aus den hier durchgeführten Messungen nicht direkt verallgemeinert werden, da der Anteil der südorientierten Wandfläche an der gesamten Hüllfläche eines Gebäudes die Auswirkung der Strahlungsabsorption auf den Heizenergieverbrauch beeinflusst. Mit Hilfe des effektiven k-Wertes kann jedoch in sehr guter Näherung die Strahlungsabsorption berücksichtigt werden. Mit Kenntnis der auf die einzelnen Flächen auftretenden Einstrahlung und der im Einzelfall vorliegenden Flächenverteilungen sowie des Luftwechsels kann der Heizenergiebedarf eines Gebäudes dann ermittelt werden.

Aus der Untersuchung über den Einfluß der Nachtabsenkung der Raumlufttemperatur auf den Transmissionswärmeverlust und Heizenergieverbrauch hat sich ergeben, daß der Nachtabsenkungseffekt in ausreichender Näherung mit den Verhältnissen der mittleren Temperaturdifferenzen zwischen Raum- und Außenluft beschrieben werden kann. Meßwerte und die Ergebnisse der instationären Rechnung ergeben etwas größere Absenkungseffekte als sie mit der stationären Betrachtung zu bekommen sind. Wesentliche Unterschiede zwischen den beiden Konstruktionen waren nicht festzustellen. Auch hinsichtlich des Einflusses der Farbgebung bei unterbrochenem Heizbetrieb ergeben sich keine anderen Ergebnisse als bei durchgehendem Heizbetrieb.

Folgende allgemeine Schlußfolgerungen lassen sich aus den durchgeführten Untersuchungen ziehen:

Fünf Schlupfgeringen;





- 4.1 Die Meßergebnisse stimmen in ausgezeichneter Weise mit instationär gewonnenen Rechnerergebnissen überein. Dies bedeutet, daß die schon länger in der Literatur vorhandenen Ergebnisse über den Einfluß der Strahlungsabsorption auf die Reduktion der Transmissionswärmeverluste von Außenwänden durch die Messungen bestätigt werden. Auch die in der Literatur vorhandenen Ansätze über den effektiven k-Wert werden bestätigt. Dabei sind jedoch Abweichungen in den Randbedingungen künftig schärfer zu beachten.
- 4.2 Die durch Strahlungsabsorption nichttransparenter Außenwände erreichbare Minderung der Transmissionswärmeverluste ist dem k-Wert der Außenwände proportional. Dies ist praktisch unabhängig davon, ob es sich um ein- oder mehrschichtige Konstruktionen handelt, und ferner unabhängig davon, wie bei Mehrschichtkonstruktionen die Schichtfolge ausgebildet ist.
- 4.3 Die Außenoberflächen erwärmen sich bei dunklen Farben stärker als bei hellen. Sie erwärmen sich bei außengedämmten Konstruktionen auch stärker als bei monolithischen. Dies gilt natürlich nicht nur für die hier zu untersuchende Heizsaison, sondern insbesondere auch für den Sommerfall.
- 4.4 Der Einfluß der Strahlungsabsorption der nichttransparenten Außenwände auf die Reduzierung der Transmissionswärmeverluste liefert in der Regel einen wesentlich kleineren Beitrag zur Heizenergiebilanz als der solare Energiegewinn infolge Sonneneinstrahlung durch die transparenten Fensterflächen.
- 4.5 Bei der quantitativen Bewertung der vorgelegten Ergebnisse ist zu berücksichtigen, daß sie für die vorhandenen meteorologischen Bedingungen gelten. Diese sind insbesondere durch eine relativ geringe Windanströmung ($\alpha_a = 15 \text{ W/m}^2\text{K}$) gekennzeichnet. Ob die ermittelten Ergebnisse auch für andere meteorologische Bedingungen zutreffen, müßte noch überprüft werden. Dabei ist auch zu berücksichtigen, daß für die ausschließlich an südorientierten Wänden vorgenommenen Messungen der einzelnen Untersuchungsparameter zwar in sich geschlossene Meßperioden, aber keine Heizperioden zur Verfügung standen.

bleibt offen.

5. Literatur

- [1] Werner, H.: Untersuchungen über den effektiven Wärmeschutz verschiedener Ziegelaußenwandkonstruktionen. Forschungsbericht T 1187, IRB-Verlag, Stuttgart (1983)
- [2] Werner, H.: Bauphysikalische Einflüsse auf den Heizenergieverbrauch. Schriftenreihe Baurecht und Bautechnik, Erich Schmidt Verlag, Berlin (1980), Heft 2
- [3] Rouvel, L.; Wenzl, B.: Kenngrößen zur Beurteilung der Energiebilanz von Fenstern während der Heizperiode. HLH 30 (1979), Nr. 8, S. 285/291
- [4] Hauser, G.: Passive Sonnenenergienutzung durch Fenster, Außenwände und temporäre Wärmeschutzmaßnahmen. HLH 34 (1983) H. 6, S. 259-265
- [5] Heindl, W.: Der Wärmeschutz einer ebenen Wand bei periodischen Wärmebelastungen. Die Ziegelindustrie 19 (1966) H. 18, S. 685-693; 20 (1967) H. 1, S. 2-8, H. 18, S. 593-599
- [6] Gertis, K.: Der instationäre Wärmedurchgang durch Außenbauteile. Berichte aus der Bauforschung. H. 103, Verlag Ernst und Sohn, Berlin (1975)
- [7] Hauser, G.: Der k-Wert im Kreuzfeuer - Ist der Wärmedurchgangskoeffizient ein Maß für Transmissionswärmeverluste? Bauphysik 3 (1981), H. 1, S. 3-8.
- [8] Schwarz, B.: Experimentelle Untersuchung über den Einfluß der Gebäudespeichermasse auf den Heizenergieverbrauch. Bericht des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik B Ho 7/82

Tabelle 1: Aufbau und bauphysikalische Daten der Außenwand in den untersuchten Testräumen.

Raum Nr.	Kurz-bez.	Aufbau	λ [W/mK]	g [kg/m ³]	k [W/m ² K]
①	MO	 2 cm Außenputz 49 cm LZ-Mauerwerk (Leichtmörtel) 1,5 cm Innenputz	0,87 0,25 0,70	1800 800 1400	0,46
③	MO	 2 cm Außenputz 49 cm LZ-Mauerwerk (Leichtmörtel) 1,5 cm Innenputz	0,87 0,25 0,70	1800 700 1400	0,46
④	AD	 2 cm Außenputz 6,5 cm Dämmschicht 24 cm HLZ-Mauerwerk (Normalmörtel) 1,5 cm Innenputz	0,87 0,04 0,58 0,70	1800 --- 1400 1400	0,46
⑤	AD	 2 cm Außenputz 6,5 cm Dämmschicht 24 cm HLZ-Mauerwerk (Normalmörtel) 1,5 cm Innenputz	0,87 0,04 0,58 0,70	1800 ---- 1400 1400	0,46

Die angegebenen k-Werte wurden mit folgenden Daten ermittelt:

innerer Wärmeübergangskoeffizient : 8 W/m²K

äußerer Wärmeübergangskoeffizient : 23 W/m²K

Wärmeleitfähigkeit mit Dicke : wie angegeben.

Tablle 2: Übersicht über die Farbgebung der Außenwandoberfläche und des Heizbetriebes in den einzelnen Untersuchungsphasen

Unter- suchungs- phase	Zeitraum	Farbe des Außenan- striches der Fassade				Heizbetrieb d: durchgehend u: unterbrochen			
		1	3	4	5	1	3	4	5
I	24.Nov. bis 17.Dez. 1984	hell	hell	hell	hell	d	u	d	u
II	18. Dez. 1984 bis 12. März 1985	hell	dunkel	dunkel	hell	d	d	d	d
III	13.März bis 15.Apr. 1985	hell	dunkel	dunkel	hell	u	u	u	u

MO : monolithisch
AD : außengedämmt

Tabelle 3: Gegenüberstellung der gemessenen und nach verschiedenen Methoden berechneten Transmissionswärmeströme in einem 28-tägigen Meßzeitraum im Februar/März 1985.

Einfluß der Farbgebung						
Transmissionswärmestrom						
Wandtyp	Oberfläche außen	Messung		Rechnung		Differenz Messung-Rechnung im Falle
		[W/m ²]	[W/m ²]	instationär [W/m ²]	stationär ohne Absorption [W/m ²]	
1	2	3	4	5	6	7
Zeitraum: 28 Tage I _S = 127 W/m ² , θ_{La} = -4 °C						
MO	hell	8,96	9,12	11,04	-1,8	-18,8
	dunkel	5,98	6,22	11,04	-3,8	-45,8
A	hell	8,86	9,40	11,04	-5,7	-19,8
	dunkel	6,28	6,80	11,04	-7,6	-43,8

Tabelle 4: Messung-Rechnungsvergleich der Differenzen der Transmissionswärmeströme zwischen dunklem und hellem Anstrich bei unterschiedlichen Einstrahlungsbedingungen.

Zeitraum mittlere Strahlungsintensität	Wand	Differenz der Transmissionswärmeströme zwischen dunklem und hellem Anstrich [%]	
		Messung	Rechnung (instationär)
Dauer			
1	2	3	4
strahlungsreich 223,9 W/m ² 7 Tage	MO	-41,0	-41,5
	AD	-37,6	-37,6
strahlungsarm 29,9 W/m ² 7 Tage	MO	-11,5	-11,9
	AD	- 9,6	-10,0
mittlere Strahlungs- bedingungen 137,0 W/m ² 28 Tage	MO	-33,3	-31,8
	AD	-29,1	-27,6

Tabelle 5: Durch Messung und Rechnung ermittelte Absorptionseffekte zweier Außenwandkonstruktionen unterschiedlicher Helligkeit der Außenoberfläche in einem 28-tägigen Zeitraum im Februar/März 1985.

Der Absorptionseffekt ist folgendermaßen definiert:

$$a = \frac{q_{\text{tat}} - k \Delta \vartheta_L}{J}$$

q_{tat} : gemessene bzw. berechnete Wärmestromdichte unter Einbeziehung der Absorption

k : k-Wert der Konstruktion

$\Delta \vartheta_L$: Differenz der Lufttemperaturen zwischen innen und außen

J : auf die Oberfläche im Durchschnitt auftreffende Strahlungsin-
tensität

Zeitraum: 28 Tage 4. Feb. bis 3. März 1985		Absorptionseffekt (Nutzung der Einstrahlung)		
Meßtyp	Oberfläche außen	Messung [%]	Rechnung	
			instationär [%]	stationär [%]
1	2	3	4	5
MO	hell	-1,5	-1,4	-0,7
	dunkel	-3,7	-3,5	-2,8
AD	hell	-1,6	-1,2	-0,7
	dunkel	-3,5	-3,1	-2,8

Tabelle 6: Einfluß der Farbgebung auf die durchschnittlichen Heizleistungen der vier Räume ohne Nachtabsenkung in einem 28-tägigen Meßzeitraum bei einer mittleren Außenlufttemperatur von -4 °C und einer mittleren Südstrahlungsintensität von 137 W/m².

ohne Nachtabsenkung				
Zeitraum: 28 Tage	Farbe	mittlere Heizleistung H		Differenz $\frac{H_d - H_h}{H_h}$ [%]
		[W]	[%]	
1	2	3	4	5
MO	hell	561	100	0
	dunkel	524	93,4 <i>Viel mehr hell</i>	-6,6
AD	hell	580	103	0
	dunkel	538	95,9	-7,2

h : hell

d : dunkel

Tabelle 7: Einfluß der Farbgebung auf die durchschnittlichen Heizleistungen der vier Räume mit Nachtabsenkung in einem 25-tägigen Meßzeitraum im März/April bei einer mittleren Außenlufttemperatur von 3,8 °C und einer mittleren Südstrahlungsintensität von 132 W/m².

mit Nachtabsenkung				
Zeitraum: 28 Tage	Farbe	mittlere Heizleistung H		Differenz $\frac{H_d - H_h}{H_h}$ [%]
		[W]	[%]	
1	2	3	4	5
MO	hell	425	100	0
	dunkel	372	87,5	-12,5
AD	hell	427	100,5	0
	dunkel	370	92,7	-13,4

h : hell

d : dunkel

Tabelle 8: Gegenüberstellung der gemessenen und nach verschiedenen Methoden berechneten Transmissionswärmeströme in einem 24-tägigen Meßzeitraum im November/Dezember 1984.

Einfluß der Nachtabsenkung					
Transmissionswärmestrom					
Wandtyp	Heizungsbetrieb	Messung	Rechnung		Differenz Messung-Rechnung instationär [%]
		W/m ²	instationär W/m ²	stationär ohne Absorption W/m ²	
1	2	3	4	5	6
MO	d	6,43	6,62	8,38	-2,9
	u	5,94	6,11	7,85	-2,8
AD	d	6,71	6,97	8,39	-3,7
	u	6,08	6,34	7,76	-4,1

d : durchgehende Beheizung
u : unterbrochene (22 bis 6 Uhr) Beheizung

Tabelle 9: Messung Rechnungsvergleiche der Differenz der Transmissionswärmeströme im Falle mit gegenüber ohne Nachtabsenkung der Raumlufttemperatur. Der Außenanstrich war in allen Fällen hell.

Zugrundegelegte Daten

Meßzeitraum: 24 Tage im November / Dezember 1984

Sonneneinstrahlung: $I_S = 58 \text{ W/m}^2$

Außenlufttemperatur: $\vartheta_{La} = 2 \text{ }^\circ\text{C}$

Wandtyp Farbe	Differenz der Transmissionswärmestromdichten bzw. mit Lufttemperaturgefälle gegenüber ohne Nachtabsenkung [%]		
	Messung	Rechnung instat.	Unterschied $(\Delta\dot{\vartheta})_{inst.} - (\Delta\dot{\vartheta})_{stat.}$
MO hell	-7,6	-7,7	-6,3
AD hell	-9,4	-9,0	-7,5

Tabelle 10: Einfluß der Nachtabenkung auf den Heizenergieverbrauch bei heller Farbgebung der Außenwandoberflächen in einem 24-tägigem Meßzeitraum im November/Dezember 1984 bei einer mittleren Außenlufttemperatur von 2 °C und einer mittleren Südstrahlungsintensität von 58 W/m².

Zeitraum: 24 Tage	Nacht- absen- kung	mittlere Heizleistung H		Differenz [%]	
		[W]	[%]	$\frac{H_m - H_o}{H_o}$ Messung	$\frac{\Delta\vartheta_m - \Delta\vartheta_o}{\Delta\vartheta_o}$ stat.Rchnng.
1	2	3	4	5	6
MO	ohne	438	100	0	0
	mit	403	92	-8,0	-6,3
AD	ohne	446	102	0	0
	mit	405	92,5	-9,2	-7,3

m : mit Nachtabenkung
o : ohne Nachtabenkung

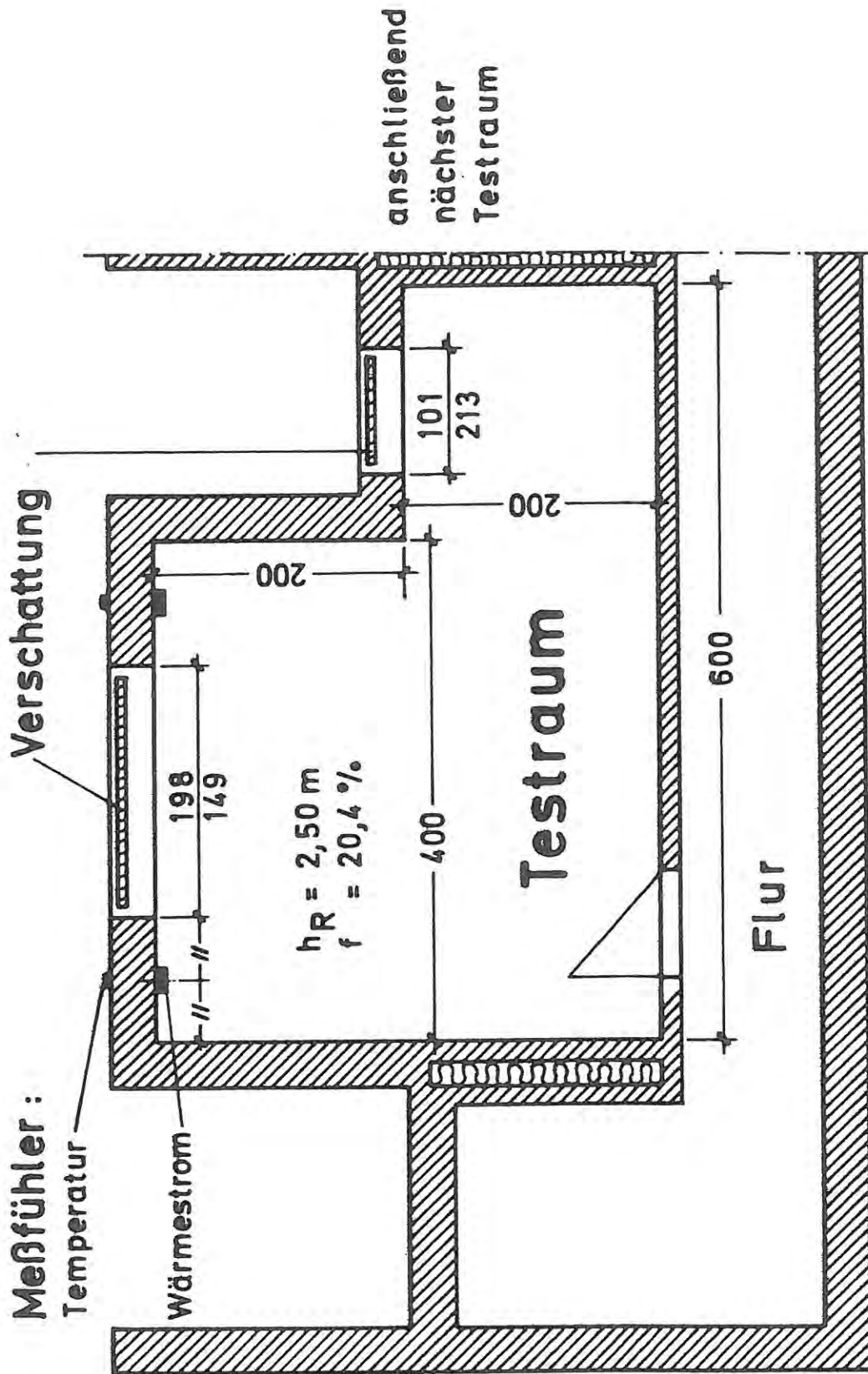


Bild 1: Grundriß eines Testraumes. Sechs solche Räume sind nebeneinander angeordnet. Die Fenster sind nach Süden orientiert.

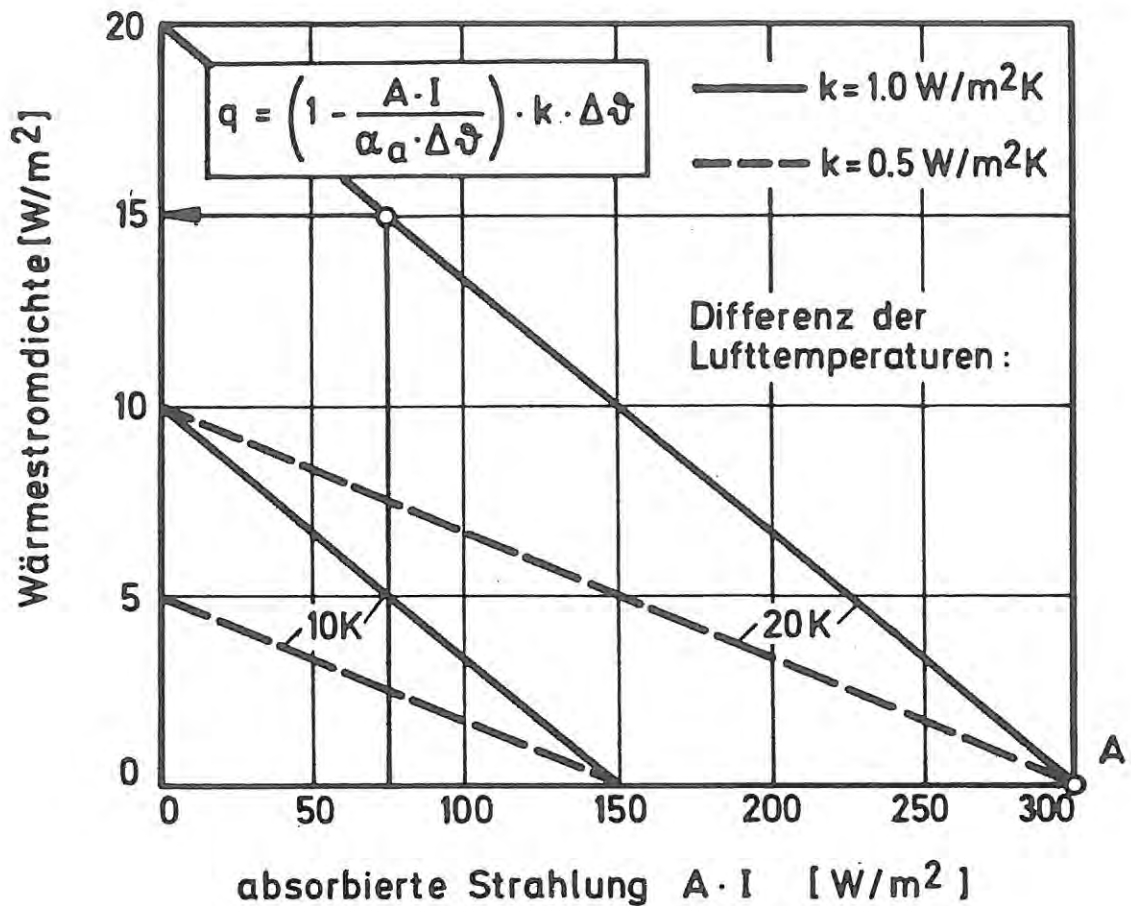


Bild 2: Transmissionswärmestromdichten zweier unterschiedlich gedämmter Außenwände in Abhängigkeit der absorbierten Strahlung gemäß folgender Beziehung [1]:

$$q = k \Delta \vartheta_L - k \frac{A \cdot I}{\alpha_a}$$

- k : Wärmedurchgangskoeffizient der Außenwand
- $\Delta \vartheta$: Differenz zwischen Raumluft- und Außenlufttemperatur
- $A \cdot I$: absorbierte Strahlung
- α_a : äußerer Wärmeübergangskoeffizient (hier $\alpha_a = 15$ W/m²K)

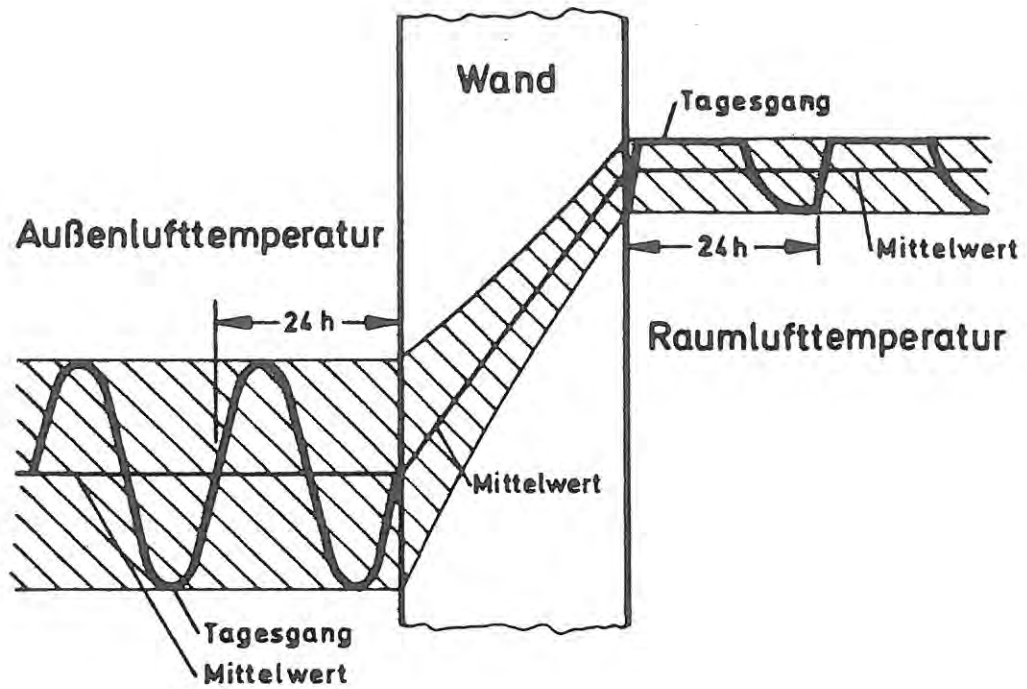


Bild 3: Schematische Darstellung der instationären Temperaturverläufe durch eine Außenwand infolge Außen- und Raumlufthtemperaturschwankungen.

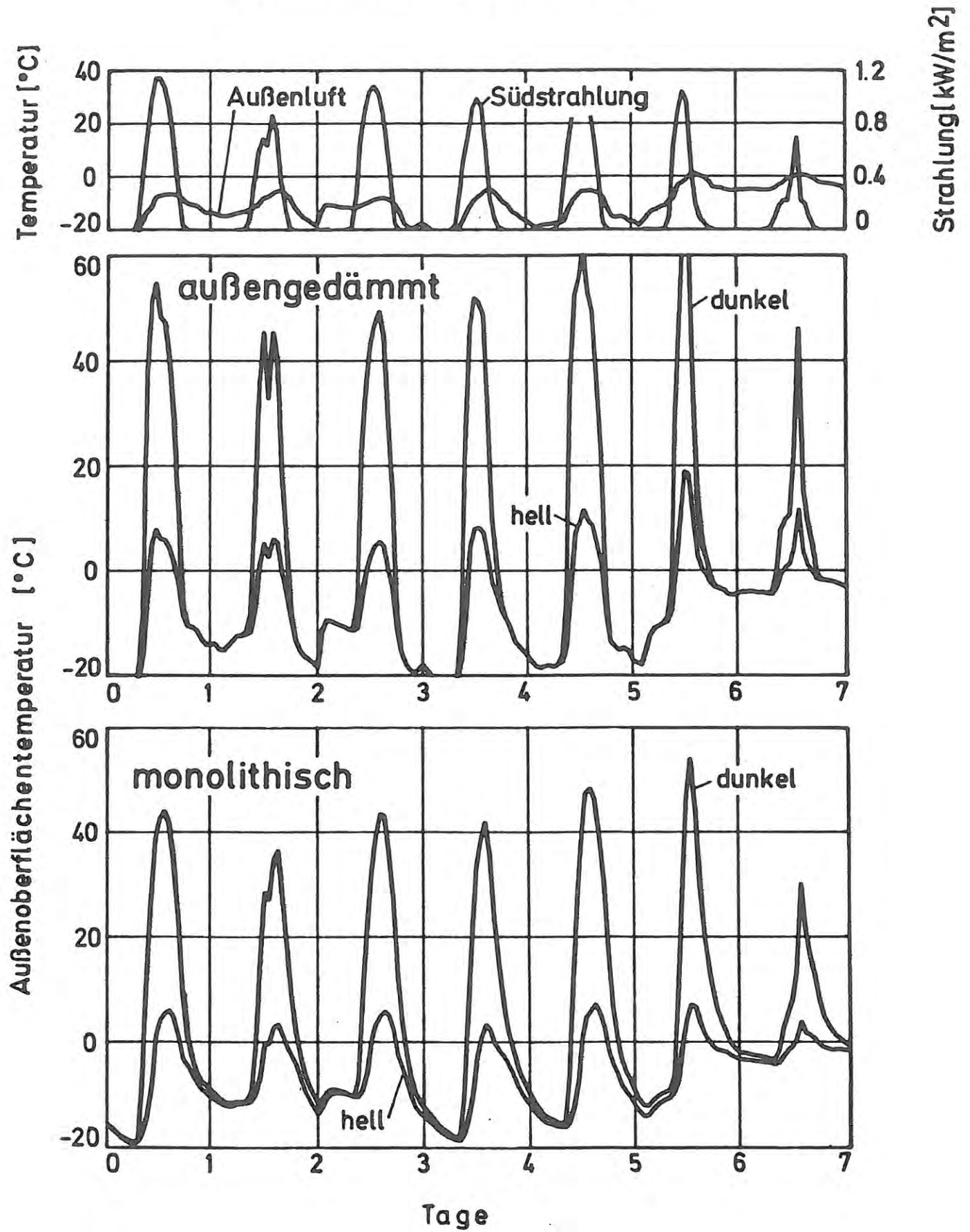


Bild 4: Gemessene Oberflächentemperaturen bei hellem und dunklem Anstrich in einer 7-tägigen Periode im Februar 1985.

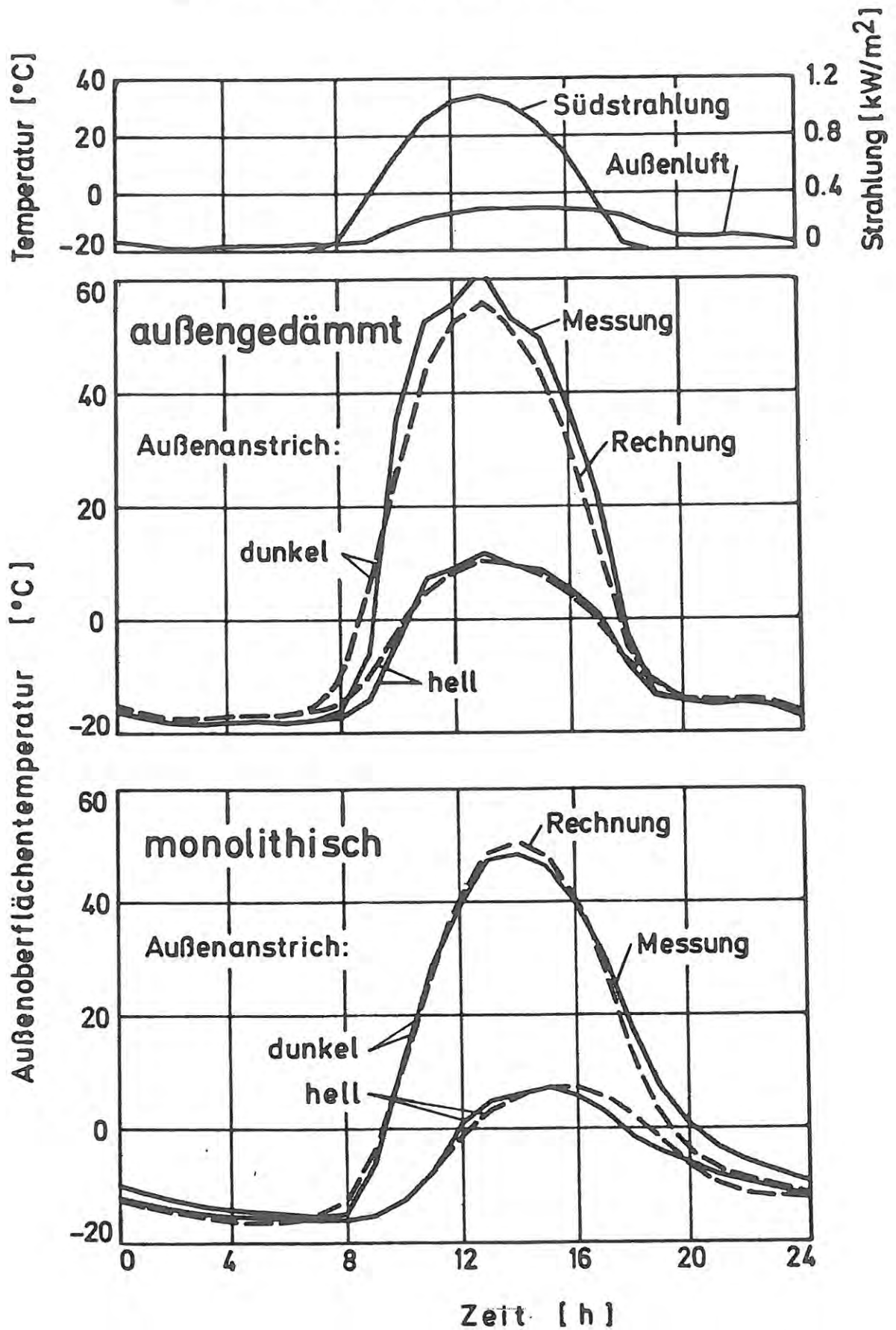
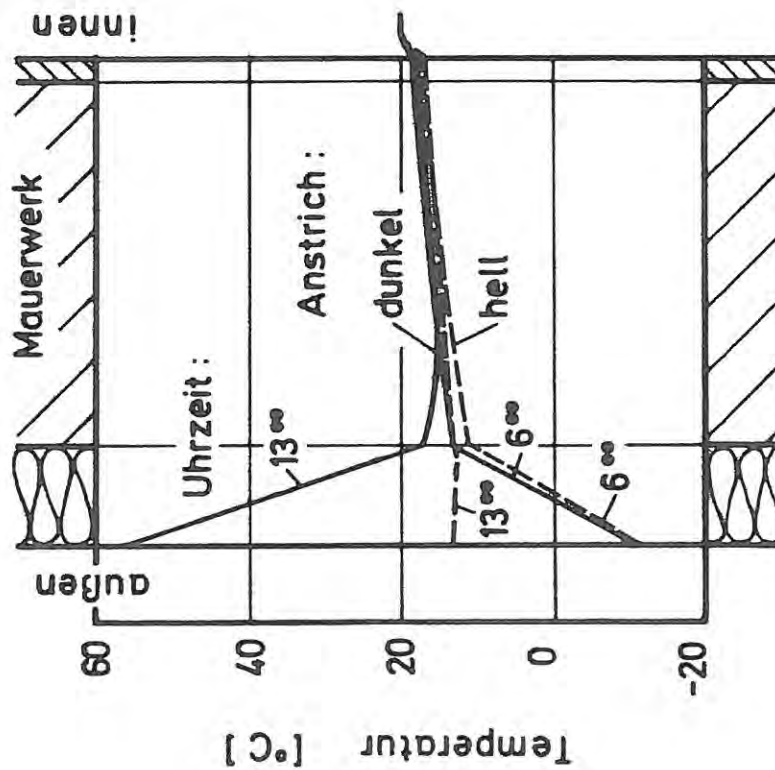


Bild 5: Gemessene und berechnete Außenoberflächentemperaturen an einem strahlungsreichen kalten Tag (20. Febr. 1985, entsprechend dem fünften Tag in Bild 4).

außengedämmt



monolithisch

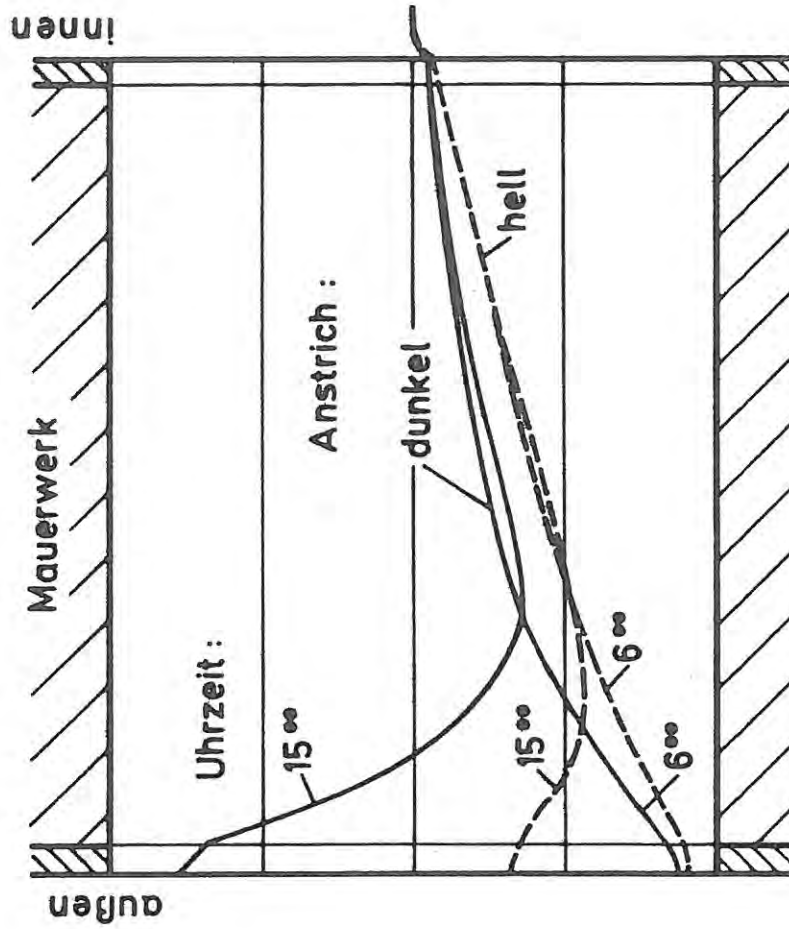


Bild 6: Berechnete Temperaturverteilung über den Querschnitt der Außenwände zu bestimmten Tageszeiten bei hellem und dunklem Anstrich an einem strahlungsreichen, kalten Tag. Der in Bild 6 zugrundegelegte Tag ist nicht identisch mit dem in Bild 5 zugrundegelegten Tag.

- heller Anstrich
- dunkler Anstrich

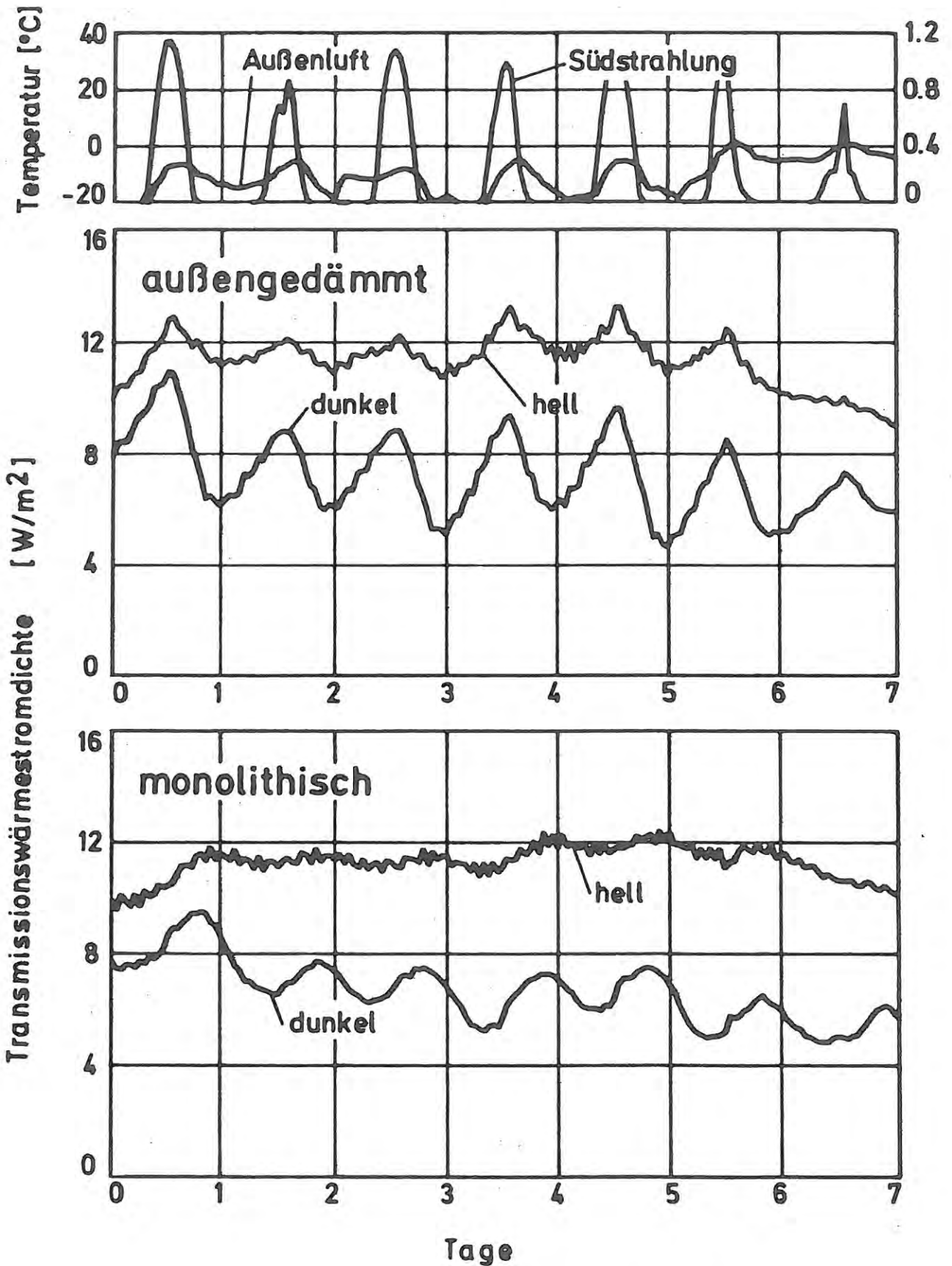


Bild 7: Gemessene Wärmestromdichten der beiden Wandkonstruktionen bei hellem und dunklem Anstrich in einer strahlungsreichen 7-Tagesperiode im Februar 1985.

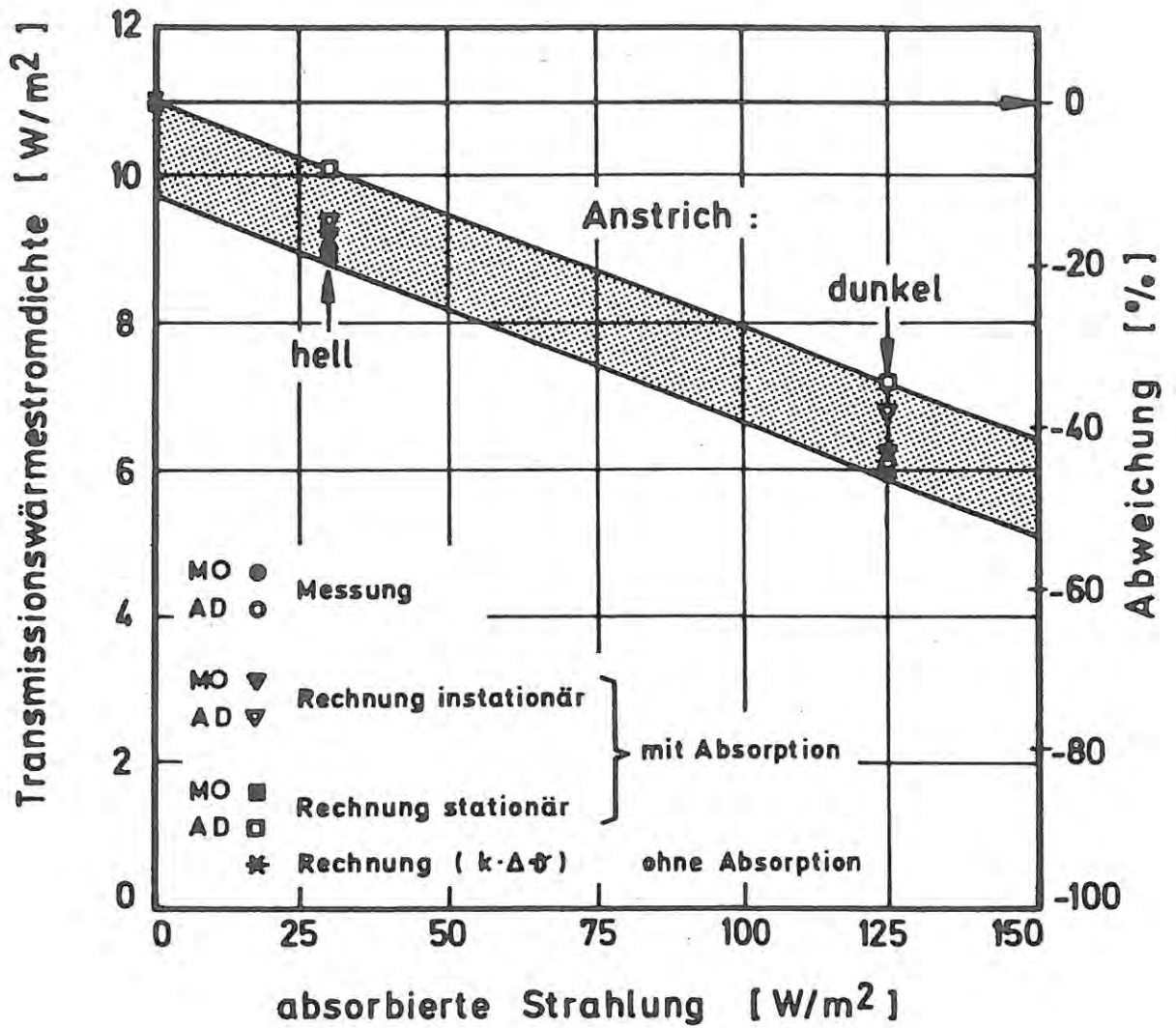


Bild 8: Vergleich gemessener und nach verschiedenen Methoden berechneter Wärmestromdichten in Abhängigkeit der absorbierten Strahlung in einem 28-tägigen Meßzeitraum im Februar/März 1985.

Mittlere Strahlungsintensität : $137 W/m^2$

Mittlere Außenlufttemperatur : $-4 ^\circ C$

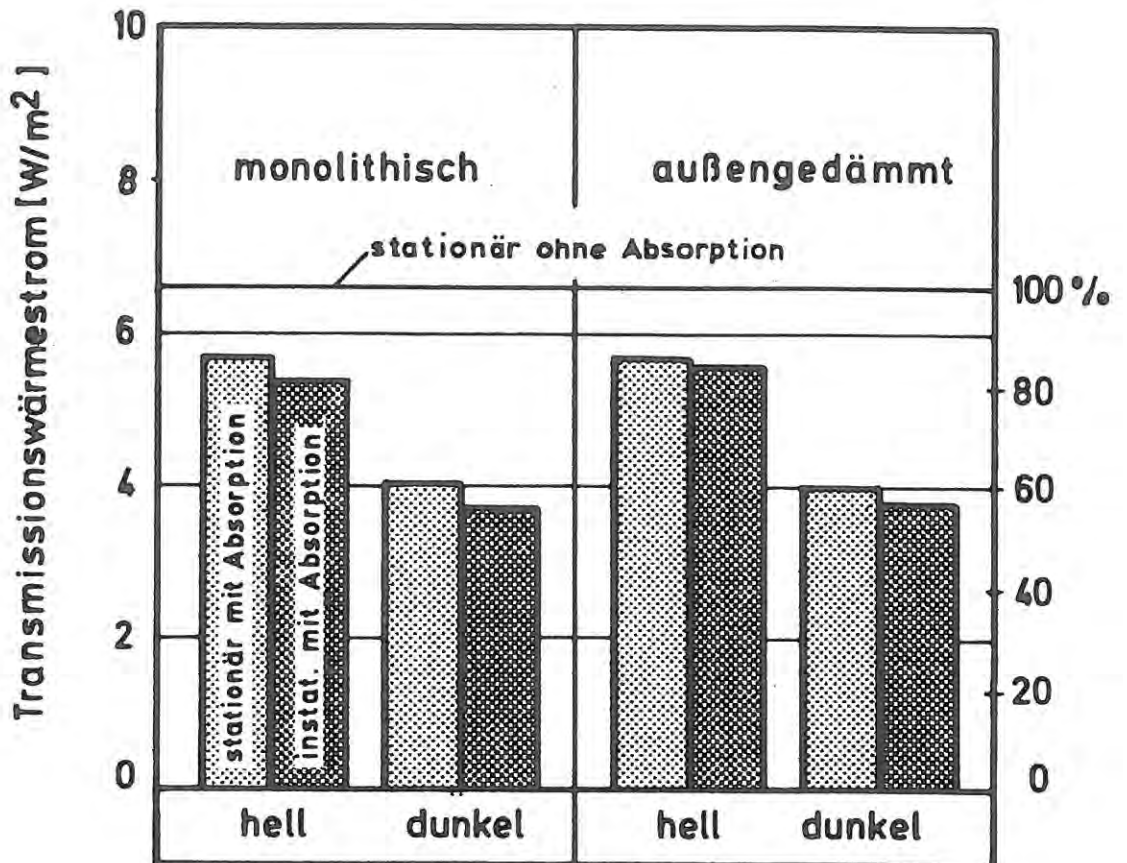


Bild 9: Berechneter mittlerer Transmissionswärmestrom in der Heizperiode (September bis April) der untersuchten Außenwände ($k = 0,46 W/m^2K$) mit unterschiedlichem Absorptionsvermögen und Nachtabsenkung.

Zugrundegelegte Daten:

Absorptionsgrade: hell : 0,22
 dunkel: 0,91

Süd-Einstrahlung : $87 W/m^2$
 Außenlufttemperatur : $4,2 ^\circ C$

(Diese meteorologischen Daten entsprechen durchschnittlichen Klimaverhältnissen in München mit einem äußeren Wärmeübergangskoeffizienten von $15 W/m^2K$. Für die Raumlufttemperatur wurde eine Nachtabsenkung zugrunde gelegt, wobei der Absenkungsgrad aufgrund von Meßdaten am Standort Holzkirchen in Korrelation mit der mittleren Außenlufttemperatur erfolgte).

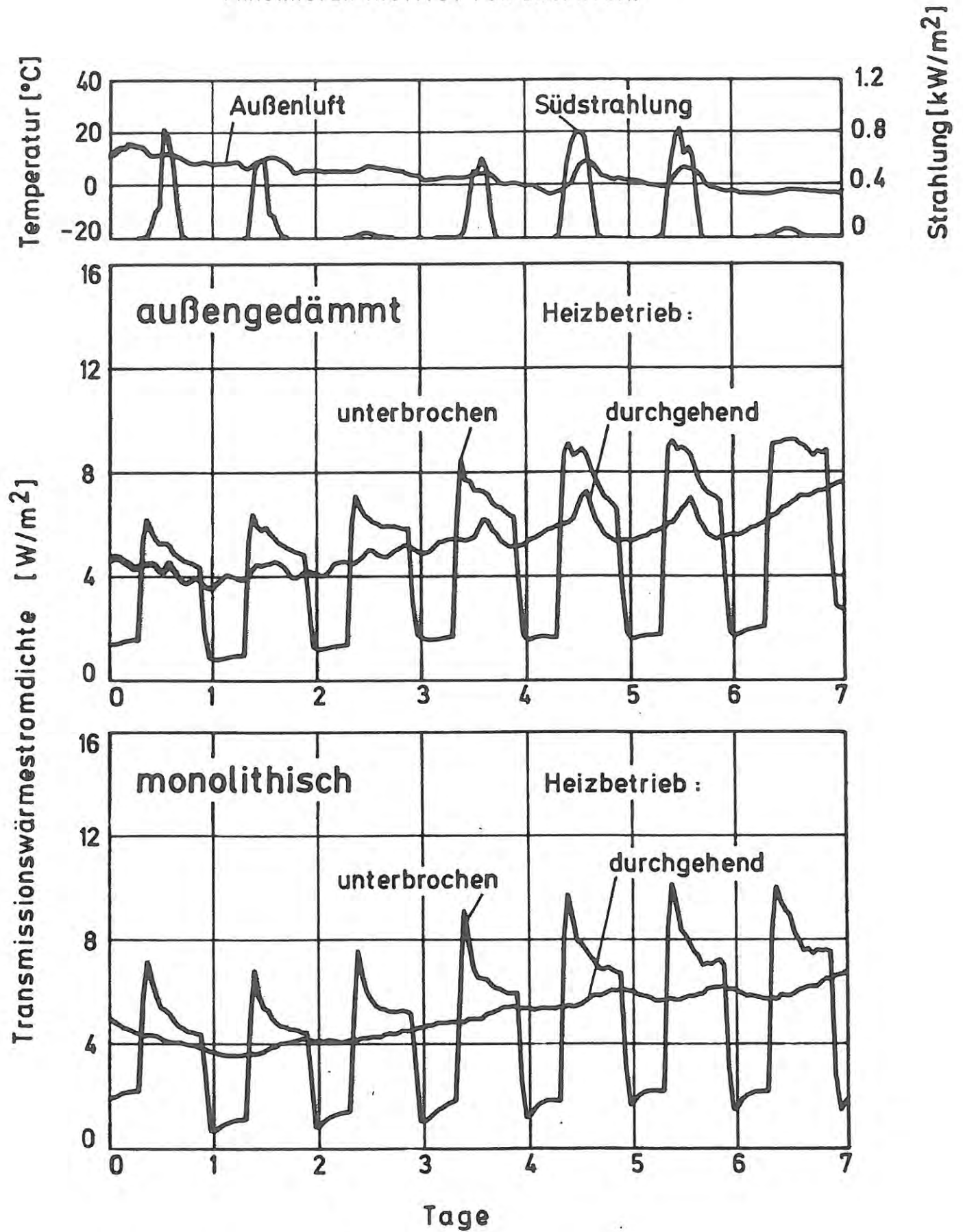


Bild 10: Gemessene Wärmestromdichten durch die Außenwand bei unterschiedlichem Heizbetrieb (mit und ohne Nachtabsenkung der Raumlufttemperatur) im November 1984

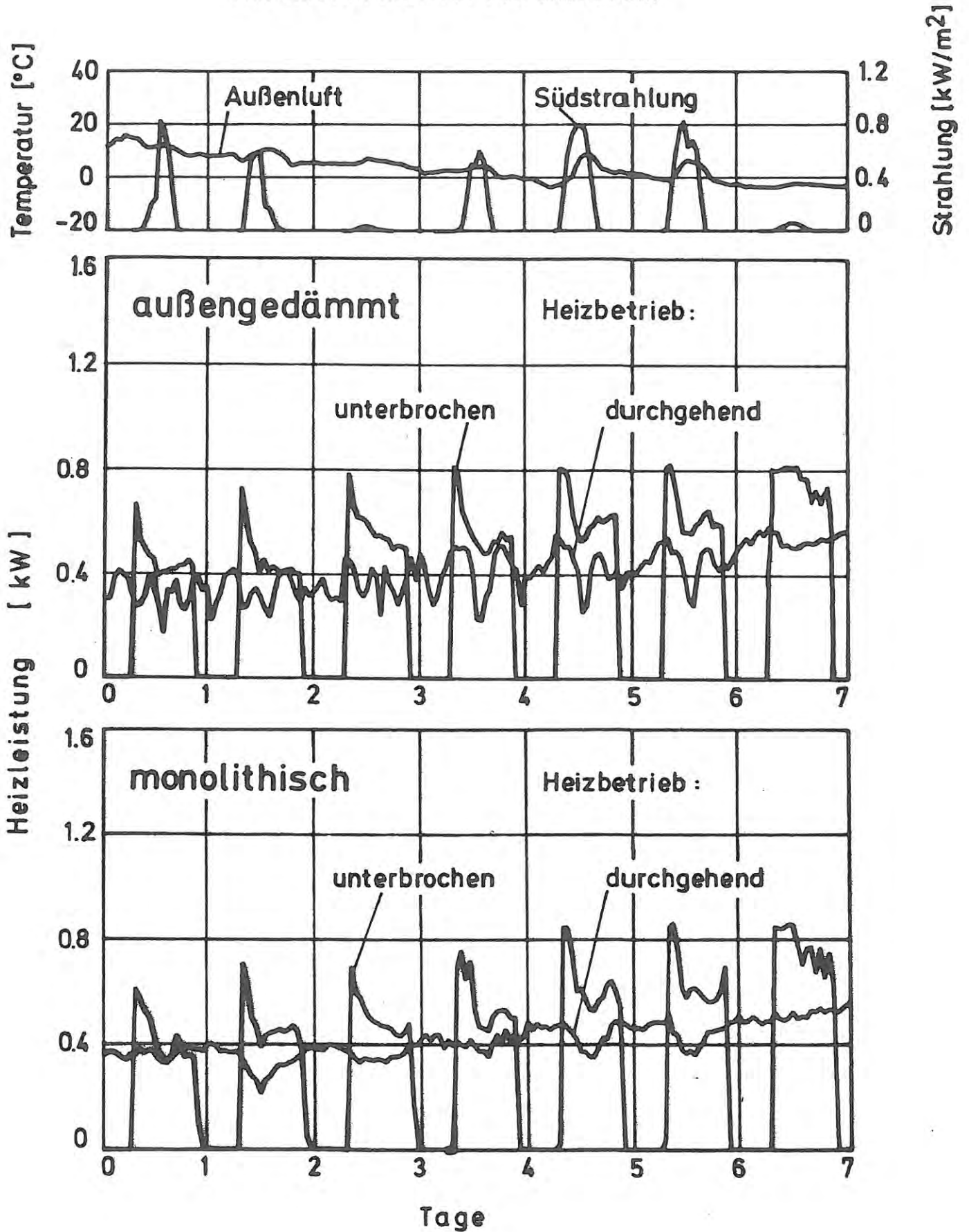


Bild 11: Heizleistungen der Räume im November 1984 bei durchgehenden und unterbrochenem Heizbetrieb. Die Außenwandoberflächen waren alle hell gestrichen.