

Bauphysikalisches Rechenbüro Hauser

dir. v. Hauser

*verkauft an: Schulze, Gyron, Scheide-
mankel, AGH, 307, Stindl, 317F
Stiftung 3x, 12B*

BRB Hauser - Marlenweg 7 - 8730 Bad Kissingen
Entwicklungsgemeinschaft
Holzbau in der DGfH e.V.
Prannerstraße 9/I

8000 München 2

Ihr Zeichen

Ihr Schreiben vom

Unser Zeichen

Bad Kissingen,

80/25 Te/fh

8. Mai 1980

KG 2/80

10. Juli 1981

Wärmebrücken im Holzbau

Forschungsarbeit durchgeführt im Auftrag der Entwicklungsgemeinschaft Holzbau in der Deutschen Gesellschaft für Holzforschung e.V. München.

1. Einführung

Die besonders während der letzten Jahre aufgetretenen Energiepreissteigerungen hatten zur Folge, daß aus Gründen der Energieeinsparung die Fugen von Fenstern und Türen dichter wurden und die Wärmedämmung von Außenbauteilen zunahm. Die dichteren Fenster bewirken den gewünschten geringen Luftaustausch mit der Außenluft. Dadurch nimmt die relative Raumluftfeuchte zu und die Oberflächentemperatur von Außenbauteilen, bei deren Unterschreitung Tauwasserbildung einsetzt, steigt an. Der besonders gefährdete Bereich von Wärmebrücken wird dadurch noch kritischer und bedeutsamer.

Die Erhöhung der Wärmedämmwirkung erfolgt häufig unter Verwendung spezieller Dämmmaterialien. Aus konstruktiven Gründen treten dabei

bei vielen Konstruktionstypen Wärmebrücken auf. Mit zunehmenden Dämmschichtdicken wirken sich diese Wärmebrücken anteilmäßig stärker aus und deshalb gewinnen Wärmebrücken, auch unter dem Gesichtspunkt von Energieeinsparung, immer mehr an Bedeutung.

Die für den Wärmeschutz im Hochbau zuständige Norm, DIN 4108 - "Wärmeschutz im Hochbau" /1/ behandelt Wärmebrücken in nur sehr unzureichender Weise, da es bisher nicht gelang, einfach zu handhabende, normungsfähige Lösungsmethoden für die Berechnung von Wärmebrücken zu entwickeln. Für den Bereich des Holzbaus sollen deshalb im folgenden die Auswirkungen von Wärmebrücken an Hand von typischen Konstruktionsbeispielen rechnerisch untersucht /2/ und aufgezeigt werden. Dabei ist die Wärmebrückenwirkung sowohl im Hinblick auf innerseitige Oberflächentemperaturen als auch bezüglich der k-Wert-Beeinflussungen zu betrachten.

Bei Wärmebrücken ist zwischen baustoffbedingten und geometrischbedingten Wärmebrücken zu unterscheiden. Baustoffbedingte Wärmebrücken treten im ebenen Wand- bzw. Dachfeld auf und resultieren aus der unterschiedlichen Wärmeleitfähigkeit verschiedener, nebeneinander angeordneter Materialien. Geometrisch bedingte Wärmebrücken liegen in Gebäudeecken vor, bei denen die innerseitige wärmeaufnehmende Oberfläche kleiner ist als die außenseitige wärmeabgebende Oberfläche. Nach außen springende Gebäudeecken zeigen deshalb die negativen Auswirkungen von Wärmebrücken und nach innenspringende Gebäudeecken nicht. Im folgenden werden deshalb nur nach außen springende Gebäudeecken betrachtet, bei denen es im Holzbau zu einer Überlagerung von baustoff- und geometrischbedingten Wärmebrücken kommt.

2. Stoffbedingte Wärmebrücken in Außenwänden

Wärmebrücken in Außenwänden in Holzbauweise liegen bei Stielen, Riegeln und ähnlichen Konstruktionsteilen vor, da diese Holzteile eine

höhere Wärmeleitfähigkeit besitzen als das im Gefach vorhandene Dämmmaterial. Dabei ist zwischen belüfteten und unbelüfteten Konstruktionen zu unterscheiden. Für unbelüftete Konstruktionen sind innerseitige Oberflächentemperaturverteilungen in Bild 1 und für belüftete Konstruktionen in Bild 2 dargestellt. Dabei werden jeweils die Stielbreite und -dicke und bei belüfteten Konstruktionen zusätzlich die Breite b der zwischen Stiel und belüftetem Hohlraum befindlichen Dämmschicht variiert. Die jeweilige Konstruktion ist über den Diagrammen schematisch dargestellt. Für eine Breite $b = 0$ ist zusätzlich auch der Temperaturverlauf angegeben, wie er sich ergibt, wenn der Holzstiel gemäß DIN 4108 "abgeschnitten" wird (in diesen Fällen nach 60 mm), die Querleitfähigkeit der Materialien jedoch berücksichtigt wird. Für die unbelüfteten Konstruktionen sind auch die Oberflächentemperaturverläufe wiedergegeben, wie sie sich nach den Rechenvorschriften der DIN 4108 ergeben.

Die den Berechnungen zugrunde gelegten thermischen Stoffwerte sind in Tabelle 1 zusammengestellt. Die Anisotropie der Holzspanplatten wird berücksichtigt, da sie, wie Berechnungen erbrachten, von nicht zu vernachlässigbarem Einfluß ist. Als Randbedingungen liegen den Temperaturverläufen Raumlufttemperaturen von $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ sowie Außenlufttemperaturen von $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ zugrunde. Die Wärmeübergangskoeffizienten werden gemäß DIN 4108 gewählt, wobei auf der Innenseite ein Wert von $8\text{ W/m}^2\text{K}$ herangezogen wird, da bei der Untersuchung von stoffbedingten Wärmebrücken die Auswirkungen auf den Wärmedurchgangskoeffizienten k im Vordergrund stehen sollen und dem k -Wert ein α_i -Wert von $8\text{ W/m}^2\text{K}$ zugrunde liegt. Der Einfluß des innerseitigen Wärmeübergangskoeffizienten wird im folgenden noch aufgezeigt.

2.1 Innerseitige Oberflächentemperaturen

Den wiedergegebenen Temperaturverläufen sind u.a. folgende Ergebnisse zu entnehmen:

a) unbelüftete Konstruktionen

Die innerseitige Oberflächentemperatur ist an der Stielmitte am tiefsten und steigt allmählich auf den Wert des ungestörten Ge-

fachbereichs. Mit zunehmender Stielbreite sinken die Oberflächentemperaturen im Stielbereich. Bei Vergrößerung der Stieldicke und damit des Hohlraums steigen die Oberflächentemperaturen nur geringfügig an.

Nach den Rechenvorschriften der DIN 4108 treten Temperatursprünge auf, die einen großen Einfluß der Hohlraumbreite bzw. der Stieldicke vortäuschen, obwohl er sehr klein ist und die von dem nicht zu vernachlässigenden Einfluß der Stielbreite unberücksichtigt bleiben.

b) belüftete Konstruktionen

Bei den belüfteten Konstruktionen verschwindet der Einfluß der Stieldicke bzw. Hohlraumbreite, falls der Stiel nicht seitlich abgedämmt ist. Der Einfluß der Stielbreite ist in diesem Fall praktisch wie bei den unbelüfteten Außenwänden. Wird der Stiel jedoch seitlich abgedämmt, dann stellen sich neue Temperaturprofile ein. So treten bei einer Dämmschichtbreite b von 60 mm die höchsten Oberflächentemperaturen nicht mehr im Gefachbereich sondern seitlich des Stiels auf. Die seitliche Abdämmung der Stiele wirkt sich bei großen Stieldicken stärker aus als bei kleinen, wobei die Stielbreite wenig Einfluß ausübt. Bei dicken Stielen kann deren Wärmebrückenwirkung durch seitliche Dämmschichten praktisch beseitigt werden.

Werden die Oberflächentemperaturen unter Zugrundelegung von gemäß DIN 4108 "abgeschnittenen" Stielen, jedoch unter Berücksichtigung der Querleitfähigkeit berechnet, dann ergeben sich für die Dämmschichtbreite $b = 0$ die gestrichelt dargestellten Verläufe. Diese sind definitionsgemäß unabhängig von der Stieldicke, aber abhängig von der Stielbreite. Die so gewonnenen Werte liegen immer tiefer als die tatsächlich vorhandenen.

Zur Verdeutlichung sind in Tabelle 2 die tiefsten innerseitigen Oberflächentemperaturen der untersuchten Varianten zusammengestellt.

2.2 Verallgemeinerung der Temperaturrandbedingungen

Die in den Diagrammen der Bilder 1 und 2 wiedergegebenen Temperaturverläufe gelten für die angegebene Raum- und Außenlufttemperatur von 20 °C bzw. -15 °C. Zur Verallgemeinerung der Rechenergebnisse kann eine dimensionslose Temperatur θ gemäß folgender Definition

$$\theta = \frac{\vartheta_{0i} - \vartheta_{La}}{\vartheta_{Li} - \vartheta_{La}}$$

benutzt werden, die immer zwischen 0 und 1 liegt. Tritt z.B. bei den hier gewählten Randbedingungen an einer Stelle eine innerseitige Oberflächentemperatur ϑ_{0i} von 16 °C auf, dann beträgt

$$\theta = \frac{16 - (-15)}{20 - (-15)} = 0,886$$

und die innerseitige Oberflächentemperatur betrage an der gleichen Stelle bei einer Raumlufthtemperatur von z.B. 22 °C sowie einer Außenlufttemperatur von 4 °C

$$\vartheta_{0i} = \theta \cdot (\vartheta_{Li} - \vartheta_{La}) + \vartheta_{La} = 0,886 (22 - 4) + 4 = 19,9 \text{ °C}$$

Durch dieses Beispiel wird die Verallgemeinerungsfähigkeit der dargestellten Ergebnisse deutlich und auch die "Schärfe" der gewählten Randbedingungen (Außenlufttemperatur -15 °C).

2.3 Wärmedurchgangskoeffizienten k

Der Einfluß der Wärmebrückenwirkung der Stiele auf den über die Außenwand gemittelten k-Wert spiegelt Tabelle 3 wieder, welche die k-Werte aller Varianten enthält. Das Achsmaß der Stiele beträgt dabei 62,5 cm.

Konstruktionen mit tiefen Oberflächentemperaturen ϑ_{0i} oder kleinen θ weisen hohe k-Werte auf und umgekehrt. Je nach Dicke und Breite des

Stiels sowie nach Dämmschichtbreite b treten bei belüfteten Konstruktionen k -Werte von 0,534 bis 0,643 $\text{W/m}^2\text{K}$ auf, während sich gemäß DIN 4108 k -Werte von 0,602 bzw. 0,674 ergeben. Nach DIN 4108 erhält man bei belüfteten Konstruktionen immer zu hohe k -Werte. Die maximale Abweichung beträgt 6 %.

Bei unbelüfteten Konstruktionen ergeben sich nach DIN 4108 jeweils zu kleine k -Werte, wobei die maximale Abweichung in diesem Fall 9 % beträgt.

Die Zusammenstellung der k -Werte in Tabelle 3 verdeutlicht auch, daß belüftete Konstruktionen bei gleichem Schichtaufbau nicht zwangsläufig schlechtere Dämmwerte aufweisen müssen als unbelüftete, sobald nämlich die Stiele seitlich abgedämmt sind. Welche Dicke diese seitliche Abdeckung haben sollte, kann für den Einzelfall jeweils mit Hilfe der k -Wert-Abminderung, die z.B. bei Erhöhung der Dämmschichtbreiten b von 10 auf 60 mm 6 bis 12 % beträgt, entschieden werden.

3. Geometrie- und stoffbedingte Wärmebrücken

Geometrie- und stoffbedingte Wärmebrücken liegen an den Anschlußstellen von Außenwänden mit Außenwänden bzw. mit Geschoß- oder Kellerdecken vor. Im Anschlußbereich von zwei Bauteilen treten zweidimensionale Temperaturfelder auf und im Anschlußbereich von drei Bauteilen dreidimensionale. Der Übergang zwischen diesen Bereichen ist fließend. Im folgenden werden alle Bereiche an Hand eines unterkellerten Einfamilienhauses mit nicht ausgebautem Dachgeschoß untersucht. Dabei wird die in Bild 3 dargestellte Holzhauskonstruktion herangezogen. Die den Berechnungen zugrunde gelegten Stoffwerte sind in Tabelle 1 enthalten. Als Randbedingungen werden folgende Lufttemperaturen gewählt:

Raum	20 °C
Keller	8 °C
Dachgeschoß	-15 °C
Außenluft	-15 °C

Die Wärmeübergangskoeffizienten werden nach DIN 4108 festgelegt. Um den Einfluß der innerseitigen Wärmeübergangskoeffizienten zu ermitteln, werden außer dem Wert von $6 \text{ W/m}^2\text{K}$ auch Wärmeübergangskoeffizienten α_i von 4 und $8 \text{ W/m}^2\text{K}$ herangezogen.

Die Berechnungsergebnisse werden in Form von Oberflächentemperaturprofilen dargestellt. Dabei wird jeweils die innerseitige Oberflächentemperatur der Außenwand zwischen der Ecke, die durch die Traufen- und die Giebelwand gebildet wird - kurz "Ecke" genannt - , und dem nächsten Wandstiel wiedergegeben. Bei der unteren Gebäudeecke - Anschlußbereich der Traufen- und Giebelwand mit der Kellerdecke - geht zusätzlich als Parameter der Abstand vom Fußboden mit ein und bei der oberen Gebäudeecke - Anschlußbereich der Traufen- und der Giebelwand mit der Geschoßdecke - der Abstand von der Decke. Bei der unteren Gebäudeecke ergeben sich wegen des symmetrischen Aufbaus von Kellerdecke, Traufen- und Giebelwand keine Unterschiede zwischen den Oberflächentemperaturen der beiden Außenwände. Die im folgenden aufgezeigten Ergebnisse gelten deshalb bei der unteren Ecke für beide Außenwände.

Oberflächentemperaturen auf der Giebelwand sind für die obere Gebäudeecke in den oberen Diagrammen in Bild 4 wiedergegeben und für die untere Gebäudeecke in den unteren Diagrammen in Bild 4. Der jeweils zugrunde gelegte innere Wärmeübergangskoeffizient ist über den Diagrammen angegeben. Aus den Kurvenverläufen lassen sich folgende Ergebnisse ablesen:

- In der Ecke liegen jeweils die tiefsten Oberflächentemperaturen vor. Sie steigen mit zunehmendem Abstand von der Ecke an, erreichen nach etwa 20 cm einen Wert, der dem zweidimensionalen Temperaturfeld des Anschlusses Außenwand/Kellerdecke bzw. Außenwand/Geschoßdecke entspricht, und fallen im Bereich des Wandstiels erneut ab.
- Mit zunehmendem Abstand vom Fußboden bzw. von der Decke steigen die Oberflächentemperaturen an und erreichen nach etwa 15 cm Ab-

stand das zweidimensionale Temperaturfeld des Anschlusses Giebel/Traufenwand.

- Die Temperaturgradienten sind im direkten Eckbereich sowie nahe dem Fußboden und der Decke am größten.
- Die Oberflächentemperaturen sind im Bereich des Wandstiels deutlich höher als im Eckbereich.
- Die Oberflächentemperaturen der Außenwand in der oberen Ecke unterscheiden sich von den Oberflächentemperaturen in der unteren Ecke wenig.
- Bei dem kleinsten innerseitigen Wärmeübergangskoeffizienten treten erwartungsgemäß die tiefsten Temperaturen auf und bei dem größten Wärmeübergangskoeffizienten die höchsten. Dabei sind die Unterschiede an den Stellen mit den tiefsten Oberflächentemperaturen - im direkten Eckstielbereich sowie nahe dem Fußboden und der Decke - am größten. Die Oberflächentemperaturen sinken bei Abnahme der Wärmeübergangskoeffizienten von 6 auf 4 $\text{W/m}^2\text{K}$ um bis zu 3 K und steigen bei Erhöhung der Wärmeübergangskoeffizienten von 6 auf 8 $\text{W/m}^2\text{K}$ um bis zu 2 K.

Auf der Traufenwand liegen in der unteren Gebäudeecke, wie bereits ausgeführt, exakt die gleichen Oberflächentemperaturen wie auf der Giebelwand vor und in der oberen Gebäudeecke treten auf der Traufenwand etwas höhere Temperaturen auf, wie ein Vergleich der entsprechenden Temperaturkurven - Bild 4, Diagramm links oben mit Bild 5 - verdeutlicht. Bei Wärmeübergangskoeffizienten von 6 oder 8 $\text{W/m}^2\text{K}$ nehmen die Unterschiede ab. Auf die zusätzliche Darstellung der dazugehörigen Temperaturverläufe wurde deshalb verzichtet. Alle weiteren Untersuchungsergebnisse wurden an Hand der "kritischeren", kälteren Giebelwand aufgezeigt.

3.1 Konstruktionsvarianten

Die innerseitigen Oberflächentemperaturen können durch Erhöhung der Wärmedämmung der Außenwände angehoben werden. Dazu bieten sich prin-

zipiell drei Möglichkeiten an.

- Erhöhung der Dicke der vorhandenen Dämmschicht.
- Anbringung einer zusätzlichen, außenseitigen Dämmschicht.
- Anbringung einer zusätzlichen, innerseitigen Dämmschicht.

Die Auswirkungen dieser drei Verbesserungsmöglichkeiten werden im folgenden unter Zugrundelegung der in Bild 6 dargestellten Außenwandkonstruktionen aufgezeigt. Zum Vergleich enthält Bild 6 auch die Ausgangsvariante. Die Dachgeschoß- und Kellerdeckenkonstruktion bleibt unverändert. Somit ergeben sich folgende Konstruktionsvarianten:

- I Ausgangsvariante
- II Erhöhte Dämmschichtdicke
- III Zusätzliche Außendämmung
- IV Zusätzliche Innendämmung

Die außenseitige Dämmschicht erstreckt sich von der Unterkante Geschoßdecke bis zur Oberkante Betondecke der Kellerdecke, die innerseitige Dämmschicht vom Fußboden bis zur Decke.

Die innerseitigen Oberflächentemperaturen auf der Außenwand in der oberen und unteren Gebäudeecke sind für die Konstruktionen II, III und IV in Bild 7 dargestellt. Im Vergleich zur Ausgangskonstruktion I (Bild 4, Diagramme in der Mitte) zeigt sich:

- Bei den Konstruktionen II und III treten bezüglich des prinzipiellen Kurvenverlaufs die gleichen Ergebnisse wie bei I auf. Bei Konstruktion IV wird durch die innerseitige Dämmschicht der Eckstielbereich kleiner, wodurch die tiefsten Temperaturen "abgeschnitten" werden.
- Durch die unterschiedlichen Dämm-Maßnahmen steigen die innerseitigen Oberflächentemperaturen an. Größenordnungsmäßig sind die Verbesserungen bei II und III annähernd gleich (ca 1 bis 2 K), bei IV hingegen deutlich höher.
- Bei Konstruktion IV wirkt sich der Abstand von der Decke und der Abstand vom Fußboden wesentlich schwächer aus als bei den anderen Konstruktionen.

Um die innerseitigen Oberflächentemperaturen der einzelnen Konstruktionsvarianten leichter miteinander vergleichen zu können, ist in dem Bild 8 und 9 für alle Konstruktionsvarianten jeweils ein Horizontal- oder Vertikalprofil wiedergegeben. Im einzelnen enthält Bild 8 ein Horizontalprofil auf der Außenwand im Abstand von 1 cm vom Fußboden und Bild 9 zwei Vertikalprofile auf der Außenwand im Abstand von 2,5 cm bzw. 35 cm von der Ecke. Bei Konstruktion IV beinhaltet der bei den Vertikalprofilen angegebene Abstand von der Ecke den Abstand von der durch die Innendämmung gebildeten Ecke. Die auf der Geschoßdecke und auf der Kellerdecke auftretenden Temperaturen sind in Bild 10 einander gegenübergestellt. Aus den Diagrammen lassen sich u.a. folgende Ergebnisse ablesen:

- Auf der Außenwand treten bei allen Profilen bei der Ausgangsvariante I die tiefsten Temperaturen auf und bei der zusätzlich innengeämmten Konstruktion IV die höchsten, wenn man von dem unkritischen, ungestörten Gefachbereich absieht, in dem die Konstruktion mit der erhöhten Dämmschichtdicke II um knapp 0,5 K höhere Oberflächentemperaturen aufweist als die Konstruktion IV.
- Auf der Decke und auf dem Fußboden liegen bei Konstruktion IV die tiefsten Temperaturen vor, weil durch die geringe Wärmeleitfähigkeit der innerseitigen Dämmschicht kaum Wärme zur Decke und zum Fußboden gelangt. Bei den Konstruktionen I bis III tritt die tiefste Fußbodentemperatur in geringem Abstand von der Außenwand auf. Ober dem seitlich des Estrichs angeordneten Dämmstreifen liegen höhere Oberflächentemperaturen vor.
- Die Konstruktion mit der erhöhten Dämmschichtdicke II unterscheidet sich von der Konstruktion mit der zusätzlichen Außendämmung nur geringfügig. Lediglich auf der Decke und auf der Außenwand im nahen Deckenbereich sind bei der außengeämmten Konstruktion III um knapp 1 K tiefere Oberflächentemperaturen vorhanden als bei Konstruktion II, weil sich die Außendämmung nur bis zur Unterkante der Geschoßdecke erstreckt.

Die oben beschriebenen Untersuchungsergebnisse gelten für den stationären Zustand unter Zugrundelegung der genannten Randbedingungen. Für

andere Temperaturrendbedingungen können die Oberflächentemperaturen in der oberen Gebäudeecke exakt und in der unteren Gebäudeecke näherungsweise mit Hilfe der zuvor definierten dimensionslosen Temperatur θ ermittelt werden. Um auch die Auswirkungen instationärer Randbedingungen aufzuzeigen, wird im folgenden ein Aufheizvorgang betrachtet.

3.2 Instationäre Randbedingungen

Instationäre Randbedingungen treten auf, sobald sich entweder außerhalb des Gebäudes die Lufttemperaturen und ggf. auch die Sonneneinstrahlungsintensitäten zeitlich verändern oder die Raumlufttemperatur infolge eines intermittierenden Heizbetriebs oder infolge von Überheizungen schwankt.

Bei sinkenden Raum- oder Außenlufttemperaturen treten während des Auskühlvorgangs durch das Wärmespeichervermögen der Bauteile immer höhere Oberflächentemperaturen auf als im dazugehörigen stationären Zustand. Bei periodisch wiederkehrenden Auskühlvorgängen hängt der Grad der Auskühlung der Konstruktion von deren instationären Wärmeleiteigenschaften ab, die von der Masse und der Wärmeleitfähigkeit der einzelnen Bauteilschichten sowie deren Anordnung bestimmt werden. Bei Gebäuden in Holzbauweise kühlen die Bauteile stärker aus als bei Gebäuden in einer schweren Massivbauweise. Da während des Auskühlvorgangs die Räume im allgemeinen nicht genutzt werden und somit die Feuchteproduktion der Nutzer entfällt, ist - sobald ein Austausch zwischen Raum- und Außenluft stattfindet - der Auskühlvorgang unkritisch; Wenn am frühen Morgen die ausgekühlten Räume wieder aufgeheizt und genutzt werden, steigen die Temperatur und die Feuchte der Raumluftr rasch an, während sich die Bauteile langsamer erwärmen. Während der Aufheizphase ist daher die Gefahr der Tauwasserbildung größer als während der Auskühlphase.

Im folgenden wird deshalb ein Aufheizvorgang betrachtet, bei dem die Raumluftrtemperatur, wie in Bild 11 dargestellt, während einer Stunde von 15 °C auf 20 °C ansteigt. Vor dem Aufheizvorgang soll sich die

Konstruktion im stationären Zustand befinden. Die Außenlufttemperatur beträgt konstant 0°C , da man bei der bislang zugrunde gelegten Außenlufttemperatur von -15°C die Raumlufthemperatur nicht auf 15°C absinken lassen würde.

Die Auswirkungen des Aufheizvorgangs werden am Beispiel von Konstruktionsvariante I untersucht. Dabei wird die obere Gebäudeecke herangezogen, die eine reine Holzbauweise darstellt, während die untere Gebäudeecke wegen der Kellerdecke als Mischbauweise zu bezeichnen ist. Für diese Wahl spricht auch die zu erwartende Änderung der Bauordnung, nach der Holzbalkendecken als Kellerdecken zugelassen werden. Zusätzlich hat die Betrachtung der oberen Gebäudeecke den Vorteil, daß sich die dargestellten Ergebnisse mit Hilfe der dimensionslosen Temperatur θ auf andere Temperaturrandbedingungen übertragen lassen.

Die Ergebnisse der Untersuchung werden durch Darstellung von Temperaturprofilen an verschiedenen Orten und zu verschiedenen Zeitpunkten in Bild 12 wiedergegeben. Das obere Diagramm gilt für den nahen Deckenbereich im Bereich der oberen Rippe und das untere Diagramm für den Bereich, in dem der Einfluß der Decke abgeklungen ist und das zweidimensionale Temperaturfeld des Anschlusses Traufen-/Giebelwand vorliegt. Der Kurvenverlauf zum Zeitpunkt 0 h gilt für den stationären Zustand vor dem Aufheizvorgang. Nach theoretisch unendlich langer Zeit stellt sich der neue stationäre Zustand ein (Zeitpunkt ∞). Alle anderen Temperaturen liegen zwischen diesen Kurven. Zu dem Zeitpunkt, zu dem die Raumlufthemperatur ihren Endwert von 20°C erreicht hat, treten erwartungsgemäß innerseitige Oberflächentemperaturen auf, die noch nicht den Endwert angenommen haben. 6 Stunden nach Beginn des Aufheizvorgangs liegt im Gefachbereich praktisch der neue stationäre Temperaturzustand vor; im Bereich der oberen Rippe sowie im Bereich des Eck- und Wandstiels hingegen noch nicht, weil hier größere Massen zu erwärmen sind. Somit werden durch den Aufheizvorgang die Wärmebrückeneffekte der stoff- sowie der stoff- und geometrischbedingten Wärmebrücken verstärkt. Zur Verdeutlichung sind dazu in Bild 13 Oberflächen-

temperaturen an bestimmten Außenwandstellen in Abhängigkeit der Zeit dargestellt. Bei 80 cm Abstand von der Decke und 33 cm Abstand von der Ecke - ungestörter Gefachbereich - liegt ab dem Zeitpunkt von ca. 5 h ein horizontaler Kurvenverlauf vor, während an allen anderen Stellen die Oberflächentemperatur noch ansteigt. Dabei ist der Anstieg nahe der Decke sowie nahe der Ecke steiler als in großer Entfernung, wenngleich die Unterschiede klein sind. Die größten Temperaturveränderungen treten während der ersten Stunde auf. Sie betragen

- im ungestörten Gefachbereich (80 cm Abstand von der Decke/33 cm Abstand von der Ecke) 2,65 K
- im Wandstielbereich in großem Abstand von der Decke (80 cm/63 cm) 2,5 K
- im Bereich der oberen Rippe in großem Abstand von der Ecke (0,5/33 und 63 cm) 2,25 K
- in der Ecke in großem Abstand von der Decke (80 cm/0,6 cm) 2,15 K und
- in der Ecke nahe der Decke (0,5 cm/0,6 cm) 2,0 K.

Je geringer die zu erwärmende Masse ist, desto steiler ist der Temperaturanstieg und umgekehrt. Für die Praxis sind diese Unterschiede bei der Holzbauweise vernachlässigbar klein. Die Auswirkungen von Wärmebrücken werden bei Gebäuden in Holzbauweise durch instationäre Randbedingungen praktisch kaum verstärkt.

4. Zusammenfassung

Wärmebrücken im Hochbau beeinflussen die Transmissionswärmeverluste durch Außenbauteile und können zu Tauwasserbildung an diesen Bauteilen führen. Da auch die in Vorbereitung befindliche Neufassung der DIN 4108 "Wärmeschutz im Hochbau" Wärmebrücken nur in sehr unzureichender Weise behandelt, werden in der vorliegenden Untersuchung für den Bereich des Holzbaus Auswirkungen von Wärmebrücken an Hand von

typischen Konstruktionen aufgezeigt.

Im Holzbau treten im Außenwandbereich stoffbedingte Wärmebrücken auf und an den Anschlußstellen von Außenwänden mit Außenwänden bzw. mit Geschoß- oder Kellerdecken stoff- und geometrischbedingte Wärmebrücken.

Die Auswirkungen von stoffbedingten Wärmebrücken in Außenwänden auf die Oberflächentemperaturverteilungen und die k-Werte werden für belüftete und unbelüftete Konstruktionen in Abhängigkeit der Stielbreite und -dicke und bei belüfteten Konstruktionen in Abhängigkeit der Schichtdicke einer seitlich an den Stielen angebrachten Wärmedämmschicht aufgezeigt. Geringe Stielbreiten und große Stieldicken erweisen sich danach als günstig. Selbst bei belüfteten Konstruktionen kann die Wärmebrückenwirkung der Wandstiele durch seitliche Abdämmung der Stiele beseitigt werden.

Geometrisch- und stoffbedingte Wärmebrücken in Gebäudeecken bewirken eine Absenkung der innerseitigen Oberflächentemperaturen. Die innerseitigen Oberflächentemperaturen im Bereich der dreidimensionalen Anschlüsse

- Giebelwand/Traufenwand/Geschoßdecke
 - Giebelwand/Traufenwand/Kellerdecke
- sowie der zweidimensionalen Anschlüsse
- Giebelwand/Traufenwand
 - Außenwand/Geschoßdecke
 - Außenwand/Kellerdecke

werden für folgende 4 Holzhauskonstruktionstypen aufgezeigt

- I Außenwandkonstruktion mit 60 mm Mineralwolleinlage
- II Außenwandkonstruktion mit 120 mm Mineralwolleinlage
- III Außenwandkonstruktion mit 60 mm Mineralwolleinlage und 30 mm Außendämmung
- IV Außenwandkonstruktion mit 60 mm Mineralwolleinlage und 30 mm Innendämmung.

Bezüglich der innerseitigen Oberflächentemperaturen erweist sich dabei Konstruktion I als am ungünstigsten und Konstruktion IV als am

günstigsten. Praktisch gleichwertig liegen die Konstruktionen II und III dazwischen, mehr zu I tendierend. Die bei IV auftretenden tiefen Oberflächentemperaturen auf dem Fußboden können durch Teppichauflagen oder durch breitere Randdämmstreifen am Zementestrich beseitigt werden.

Die dargestellten Untersuchungsergebnisse in Form von Oberflächentemperaturen sind unter Benutzung einer dimensionslosen Oberflächentemperatur θ gemäß folgender Definition

$$\theta = \frac{\vartheta_{0i} - \vartheta_{La}}{\vartheta_{Li} - \vartheta_{La}}$$

auf andere Temperaturreandbedingungen übertragbar und somit verallgemeinerungsfähig.

Die Größe des innerseitigen Wärmeübergangskoeffizienten besitzt einen relativ großen Einfluß auf die innerseitigen Oberflächentemperaturen, wie Vergleichsberechnungen mit α_i -Werten von 4, 6 und 8 W/m²K zeigen. Der Gebäudenutzer kann deshalb u.U. durch die Möblierung im Bereich von Außenwänden die auftretenden Oberflächentemperaturen in relativ starkem Maße beeinflussen.

Unter instationären Randbedingungen werden die Auswirkungen von Wärmebrücken im Holzbau wegen der geringen Wärmespeicherfähigkeit von deren Konstruktionsteilen praktisch kaum verstärkt, wie die Untersuchung des bezüglich der Tauwasserbildung kritischen Aufheizvorgangs nach erfolgter Nachtabsenkung verdeutlicht.

5. Literatur

- /1/ DIN 4108 "Wärmeschutz im Hochbau". Entwurf (Oktober 1979).
- /2/ Wolfseher, U.: Rechnerische Ermittlung mehrdimensionaler Temperaturfelder unter stationären und instationären Bedingungen - Rechensystem und bauphysikalische Anwendung. Dissertation Universität Essen (1978).

Tabelle 1

Zugrunde gelegte Stoffwerte

Material	Wärmeleitfähigkeit in W/mK	Spez. Wärmekapazität in kJ/kgK	Rohdichte in kg/m ³
Holzspan- platte	in Plattenebene 0,29 senkrecht zur Platte 0,13	2,1	700
Holzstiel	0,13	2,1	600
Mineralwolle, Hartschaum	0,04	1,0	20
Luft	je nach Anordnung gemäß /1/	1,0	1,25
Zement- Estrich	1,4	1,0	2000
Beton	2,1	1,0	2400
Stahlanker	15	0,4	8000

Tabelle 2

Tiefste Oberflächentemperatur in °C

Hohlraum	Querleitung	Dämmschicht- breite b in mm	Stielbreite			
			40 mm		100 mm	
			Dicke des Hohlraums		Dicke des Hohlraums	
			40 mm	140 mm	40 mm	140 mm
belüftet	berücksichtigt	0	15,90	15,95	15,54	15,69
		10	16,19	16,26	15,85	16,15
		60	16,85	17,30	16,34	17,19
belüftet	berücksichtigt	0	15,72	15,72	14,79	14,79
	Stiel gemäß DIN 4108 behandelt	unberücksichtigt	0	14,29	14,29	14,29
unbelüftet	berücksichtigt	0	16,49	16,53	16,06	16,35
	unberücksichtigt	0	16,15	17,71	16,15	17,71

Achsmaß 62,5 cm

Tabelle 3

Mittlerer Wärmedurchgangskoeffizient k in W/m^2K

Hohlraum	Querleitung	Dämmschicht- breite b in mm	Stielbreite			
			40 mm		100 mm	
			Dicke des Hohlraums		Dicke des Hohlraums	
			40 mm	140 mm	40 mm	140 mm
belüftet	berücksichtigt	0	0,600	0,598	0,643	0,635
		10	0,590	0,585	0,626	0,611
		60	0,554	0,534	0,586	0,537
belüftet	berücksichtigt	0	0,607	0,607	0,680	0,680
	unberücksichtigt	0	0,602	0,602	0,674	0,674
Stiel gemäß DIN 4108 behandelt						
unbelüftet	berücksichtigt	0	0,525	0,520	0,565	0,545
	unberücksichtigt	0	0,515	0,493	0,553	0,496

Achsmaß 62,5 cm

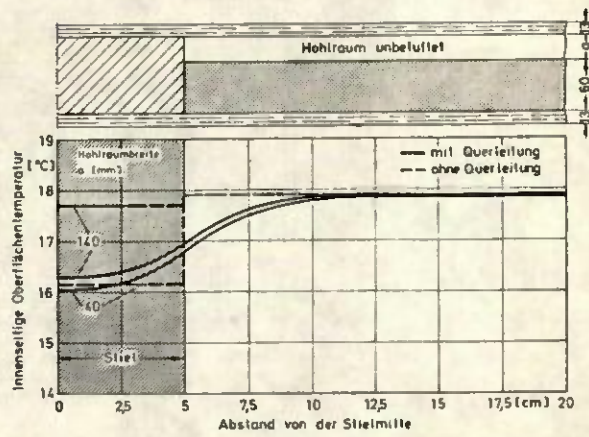
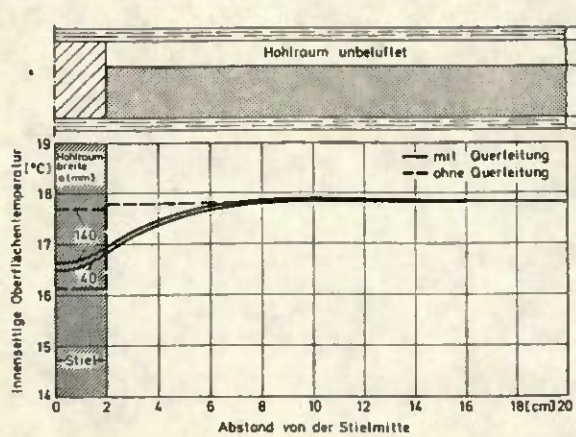


Bild 1 Innerseitige Oberflächentemperaturen einer unbelüfteten Außenwand im Wandstielbereich für unterschiedliche Hohlraum- und Stielbreiten. Das linke Diagramm gilt für eine Stielbreite von 40 mm und das rechte für eine Stielbreite vom 100 mm. Die Temperaturverläufe "ohne Querleitung" ergeben sich nach den Rechenansätzen der DIN 4108 /1/. Ober den Diagrammen ist der Außenwandaufbau schematisch dargestellt.

Zugrunde gelegte Daten

Außenlufttemperatur	-15 °C	
Raumlufttemperatur	20 °C	
Äußerer Wärmeübergangskoeffizient		23 W/m ² K
Innerer Wärmeübergangskoeffizient		8 W/m ² K.

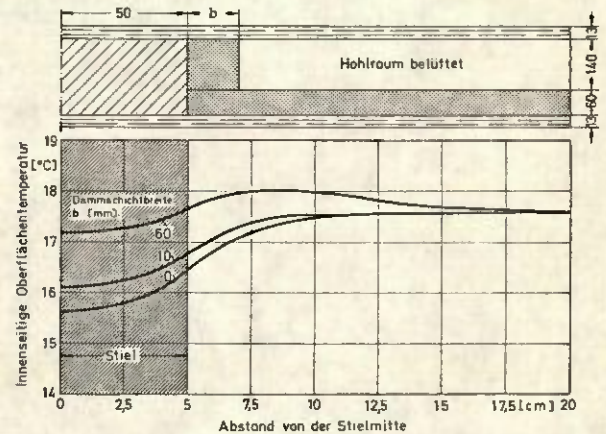
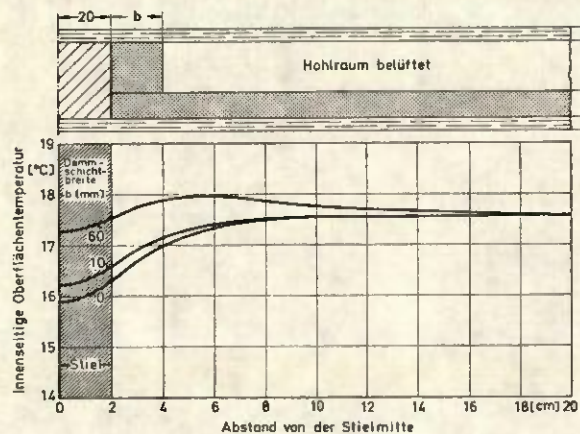
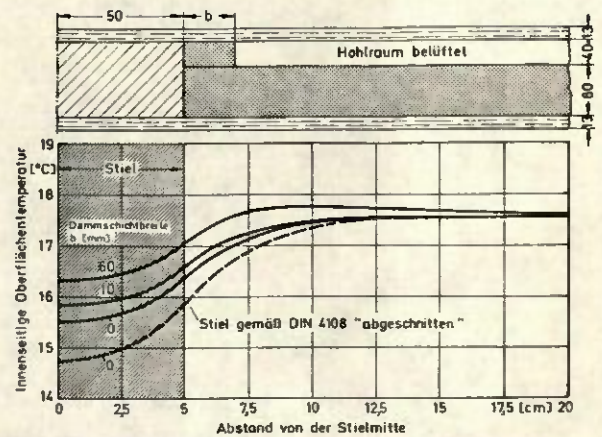
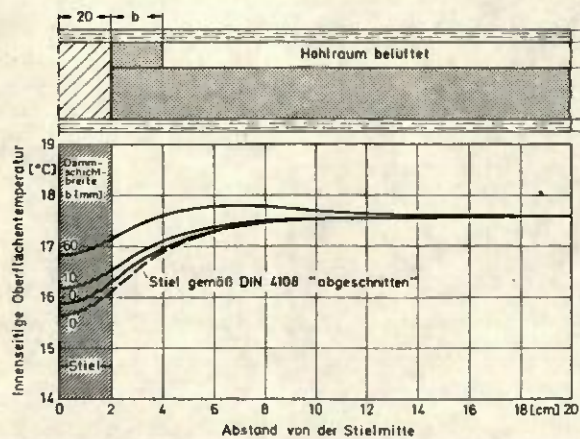


Bild 2 Innerseitige Oberflächentemperaturen einer belüfteten Außenwand im Wandstielbereich für unterschiedliche Hohlraum- und Stielbreiten. Die linken Diagramme gelten für eine Stielbreite von 40 mm und die rechten für eine Stielbreite von 100 mm. Ober den Diagrammen ist der Außenwand-aufbau schematisch dargestellt.

Zugrunde gelegte Daten

Außenlufttemperatur	-15 °C
Raumlufttemperatur	20 °C
Äußerer Wärmeübergangskoeffizient	23 W/m ² K
Innerer Wärmeübergangskoeffizient	8 W/m ² K
Wärmeübergangskoeffizient im Hohlraum	12 W/m ² K..

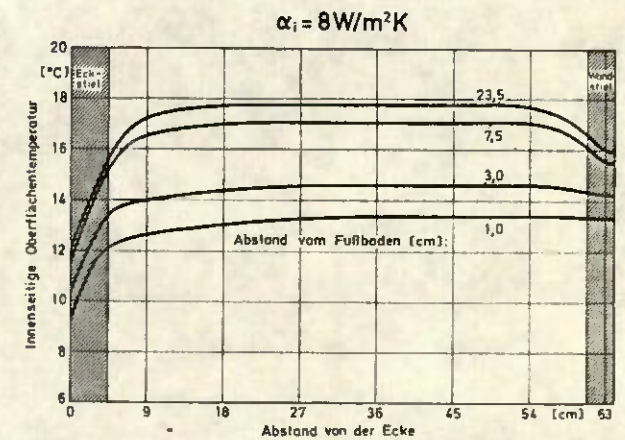
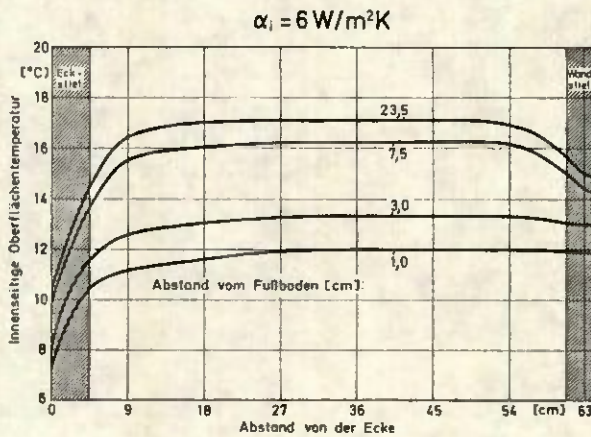
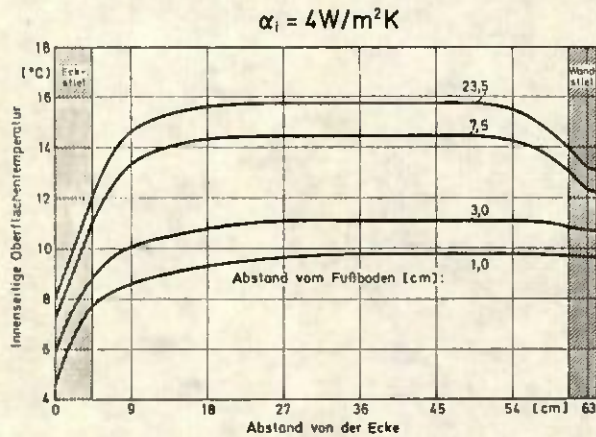
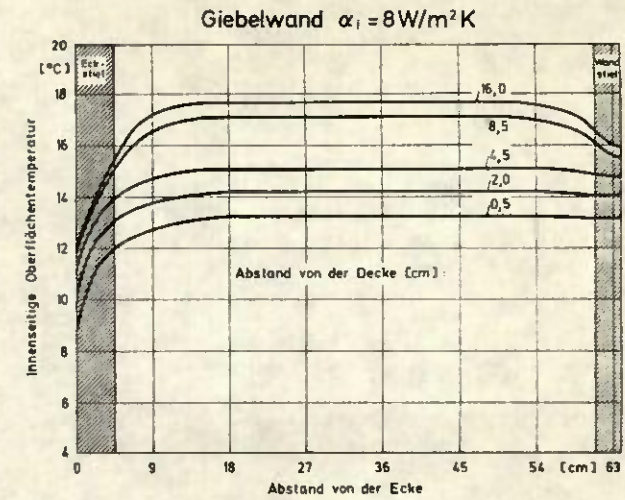
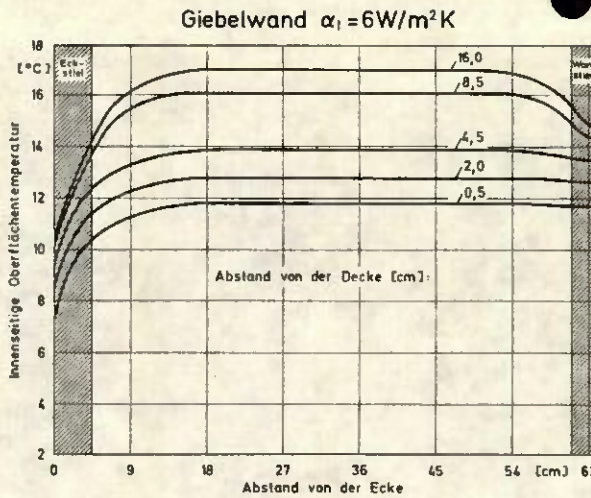
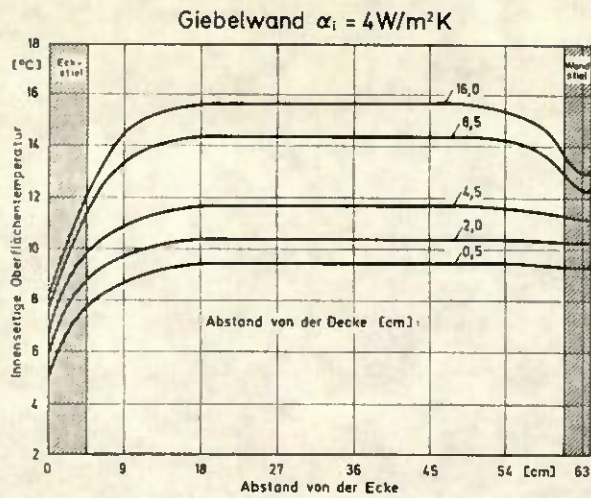


Bild 4 Innerseitige Oberflächentemperaturen auf der Giebelwand zwischen der Gebäudeecke (Anschluß Giebel-/Traufenwand) und dem nächsten Wandstiel in Abhängigkeit vom Abstand von der Decke (obere Diagramme) bzw. vom Fußboden (untere Diagramme) für unterschiedlich innere Wärmeübergangskoeffizienten.

Zugrunde gelegte Daten

Außenlufttemperatur $-15 \text{ }^\circ\text{C}$; Raumlufttemperatur $20 \text{ }^\circ\text{C}$

Lufttemperatur im Keller $8 \text{ }^\circ\text{C}$ und im Dachgeschoß $-15 \text{ }^\circ\text{C}$

Wärmeübergangskoeffizienten: Außen $23 \text{ W/m}^2\text{K}$; innen wie angegeben
in den belüfteten Hohlräumen $12 \text{ W/m}^2\text{K}$

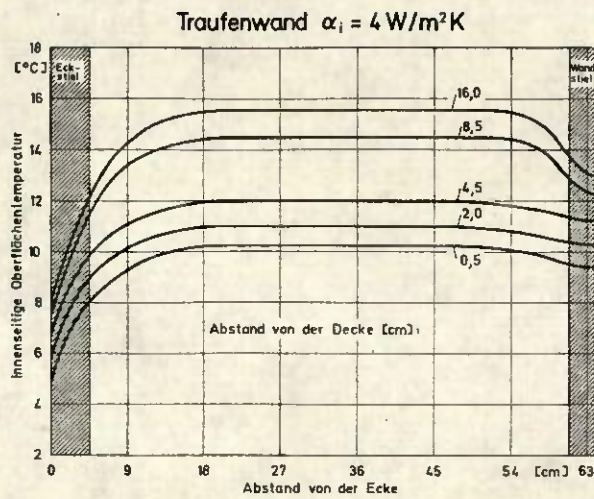


Bild 5 Innerseitige Oberflächentemperaturen auf der Traufenwand zwischen der Gebäudeecke (Anschluß Giebel-/Traufenwand) und dem nächsten Wandstiel in Abhängigkeit vom Abstand von der Decke.

Zugrunde gelegte Daten

wie Bild 4.

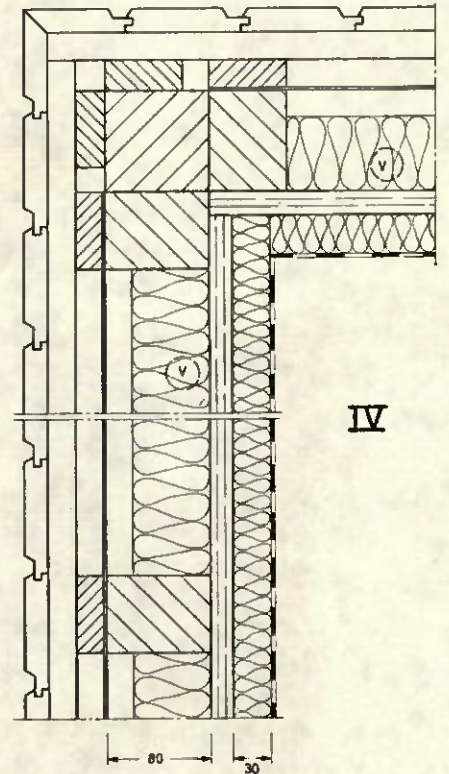
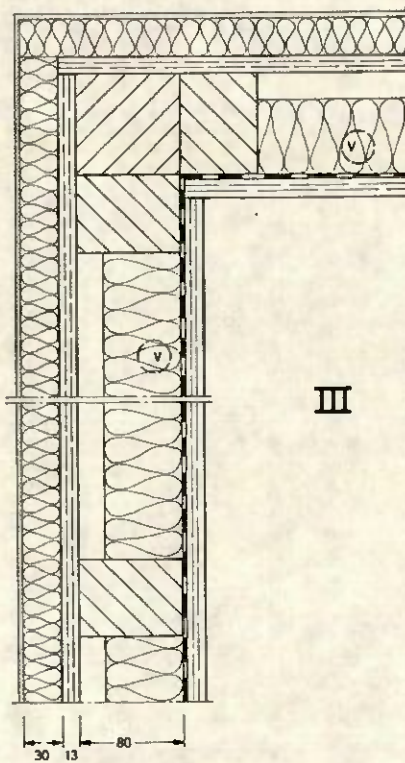
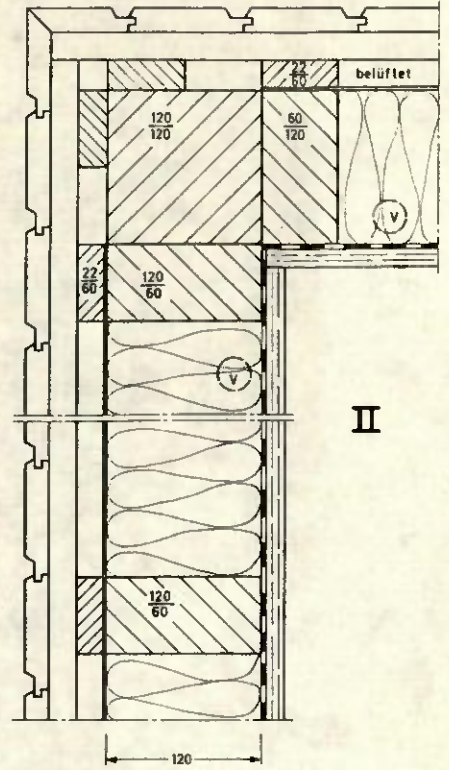
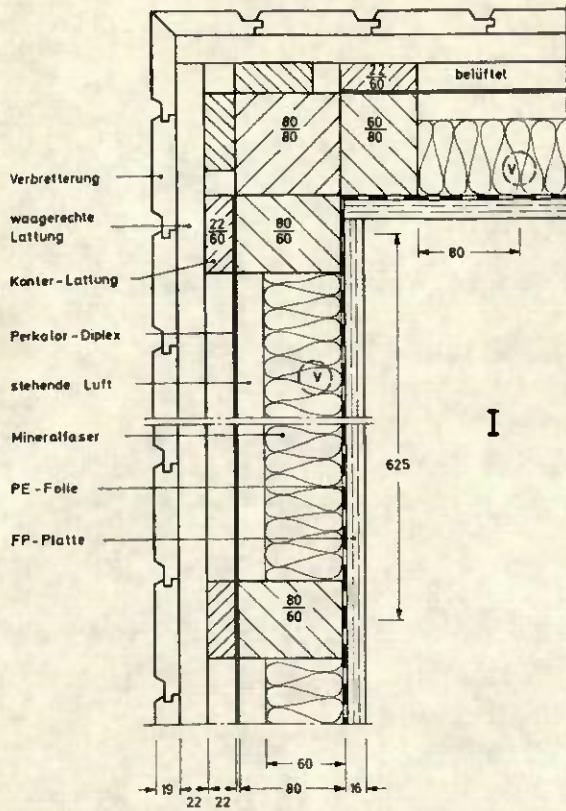


Bild 6 Horizontalschnitte durch die vier untersuchten Außenwandkonstruktionen I bis IV. Die außenseitige Dämmschicht erstreckt sich von der Unterkante Geschoßdecke bis zur Oberkante Betondecke der Kellerdecke.

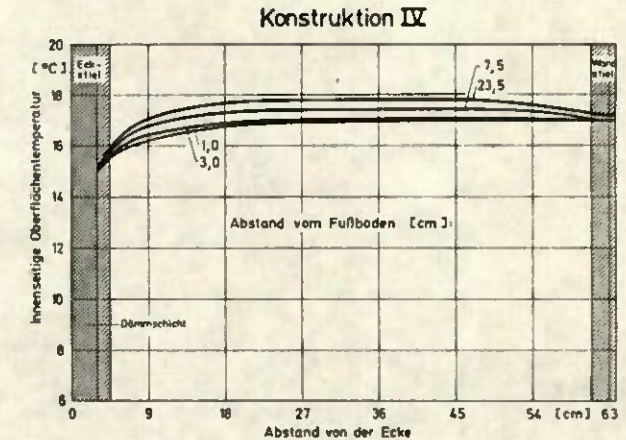
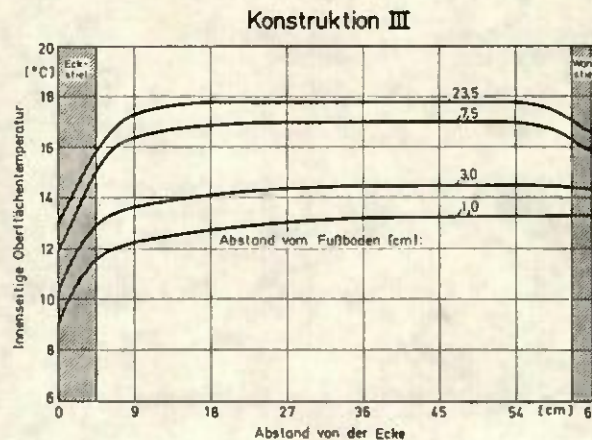
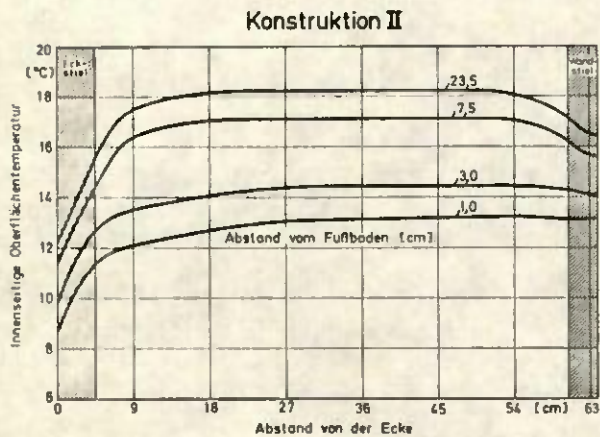
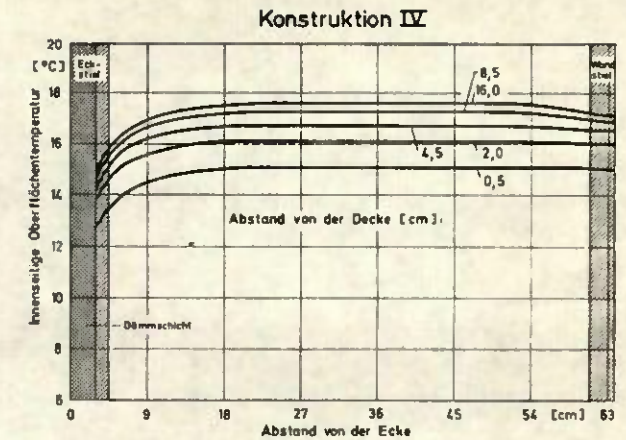
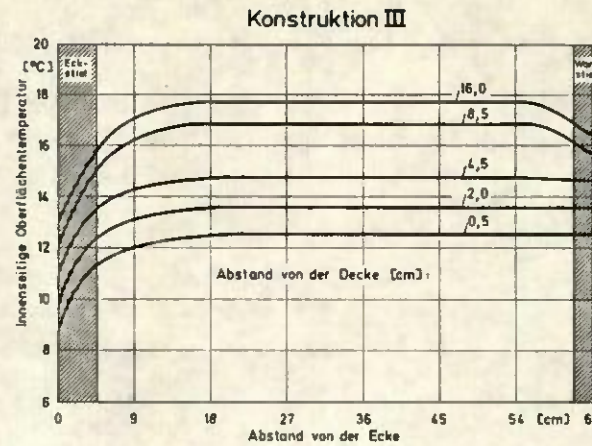
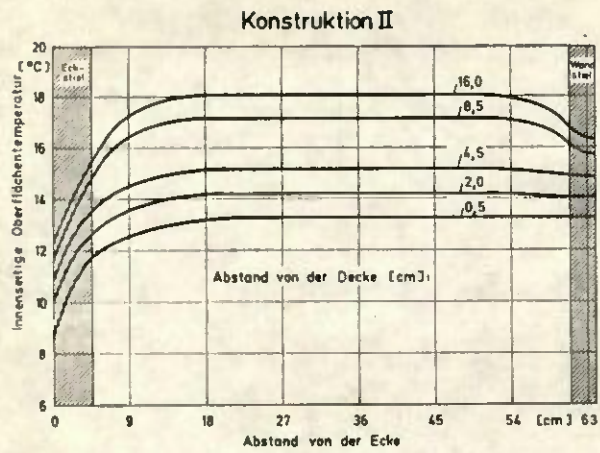


Bild 7 Innerseitige Oberflächentemperaturen auf der Giebelwand zwischen der Gebäudeecke (Anschluß Giebel-/Traufenwand) und dem nächsten Wandstiel in Abhängigkeit vom Abstand von der Decke (obere Diagramme) bzw. vom Fußboden (untere Diagramme) für die Konstruktionen II, III und IV.

Zugrunde gelegte Daten

Außenlufttemperatur $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$; Raumlufthtemperatur $20\text{ }^{\circ}\text{C}$.
 Lufttemperatur im Keller $8\text{ }^{\circ}\text{C}$ und im Dachgeschoß $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$
 Wärmeübergangskoeffizienten: außen $23\text{ W/m}^2\text{K}$; innen $6\text{ W/m}^2\text{K}$
 in den belüfteten Hohlräumen $12\text{ W/m}^2\text{K}$.

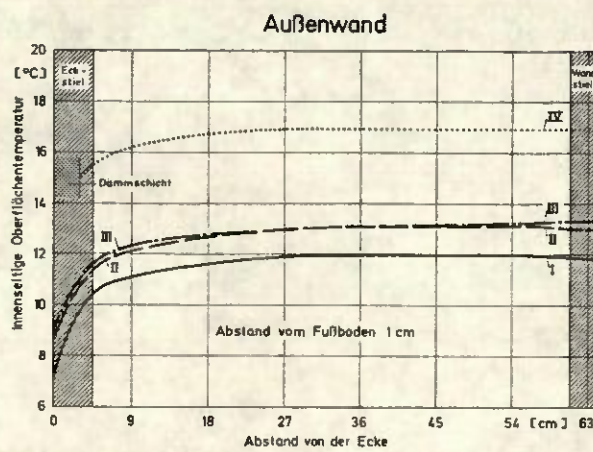


Bild 8 Innerseitige Oberflächentemperaturen auf der Außenwand zwischen der Gebäudeecke und dem nächsten Wandstiel für die untersuchten Konstruktionsvarianten (Horizontalprofil im Abstand von 1 cm vom Fußboden).

Zugrunde gelegte Daten

Wie Bild 7.

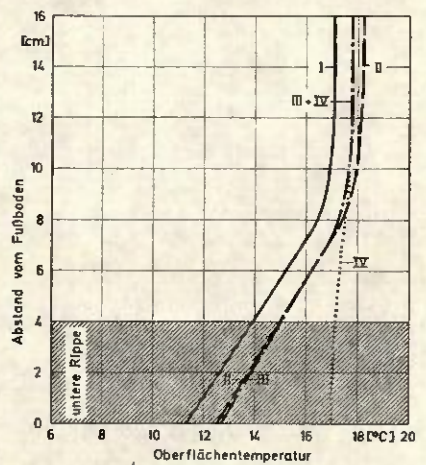
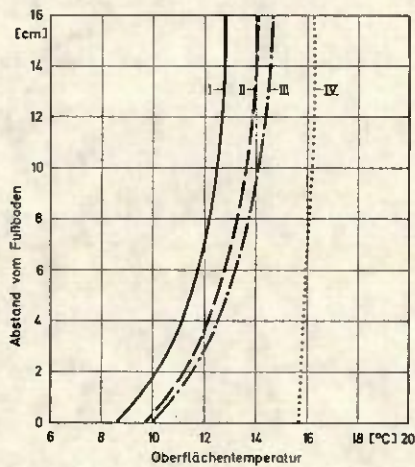
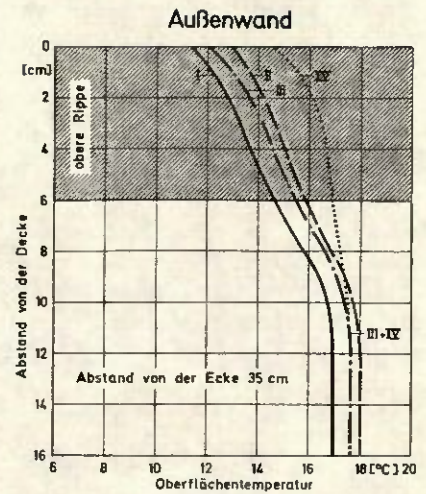
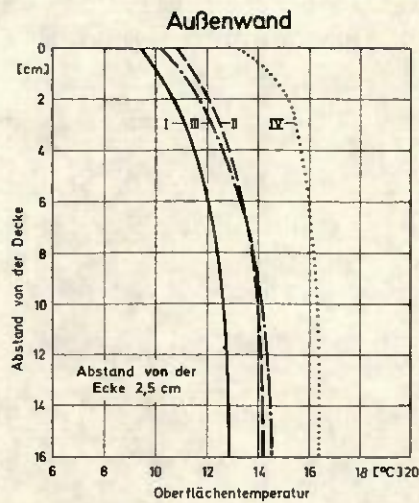


Bild 9 Innerseitige Oberflächentemperaturen auf der Giebelwand der untersuchten Konstruktionsvarianten in Abhängigkeit vom Abstand von der Decke bzw. vom Fußboden. (Vertikalprofil im Abstand von 2,5 (links) und 35 cm (rechts) von der Außenwanddecke).

Zugrunde gelegte Daten

Wie Bild 7.

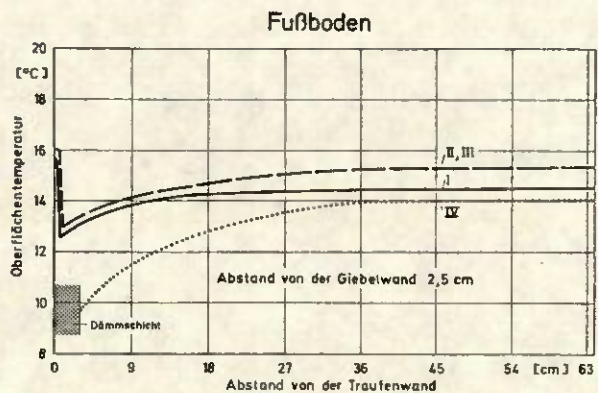
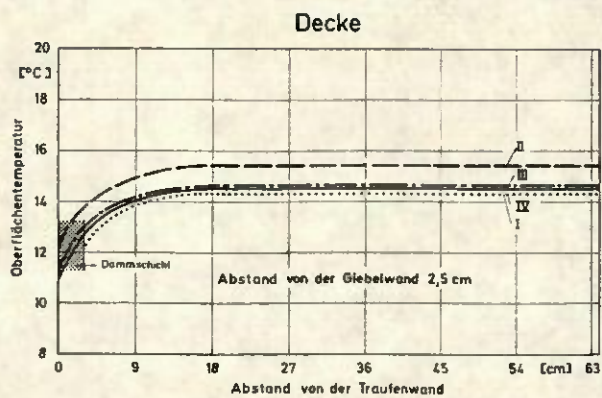


Bild 10 Innerseitige Oberflächentemperaturen auf der Geschoß- und Kellerdecke der untersuchten Konstruktionen.

Zugrunde gelegte Daten

Wie Bild 7.

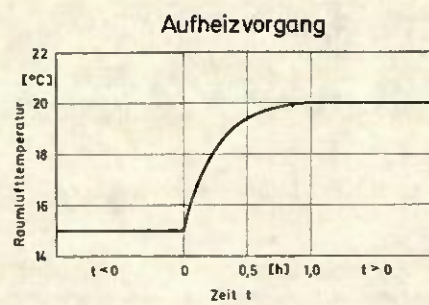


Bild 11 Für die Untersuchung des Aufheizvorgangs gewählte Abhängigkeit der Raumlufttemperatur von der Zeit.

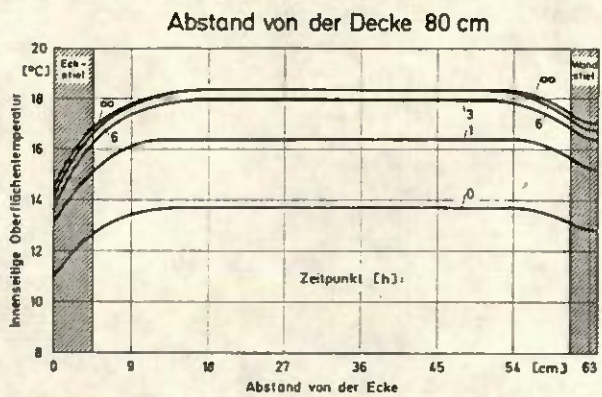
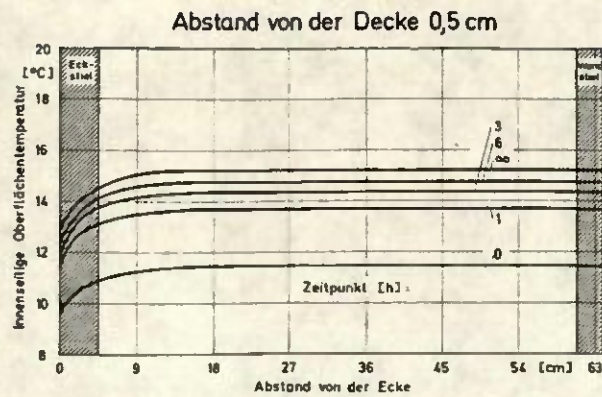


Bild 12 Innerseitige Oberflächentemperaturen auf der Giebelwand in der oberen Gebäudeecke in Abhängigkeit von dem Zeitpunkt nach Beginn des Aufheizvorgangs für einen Bereich nahe der Decke (oberes Diagramm) und für einen Bereich, in dem Decken- und Fußbodeneinfluß abgeklungen sind (unteres Diagramm).

Zugrunde gelegte Daten

Außenlufttemperatur 0 °C

Raumlufttemperatur gemäß Bild 11

Lufttemperatur im Dachgeschoß 0 °C

Wärmeübergangskoeffizient: außen 23 W/m²K; innen 6 W/m²K
in den belüfteten Hohlräumen 12 W/m²K.

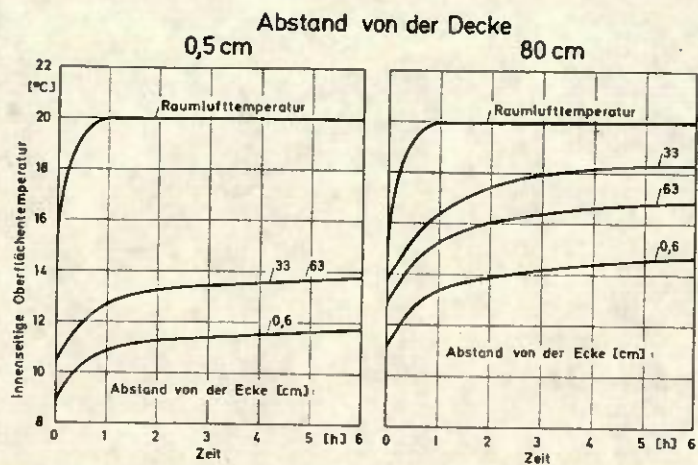


Bild 13 Zeitlicher Verlauf der innerseitigen Oberflächentemperaturen an verschiedenen Stellen der Giebelwand in der oberen Gebäudeecke (linkes Diagramm) und in dem Bereich, in dem Decken- und Fußbodeneinfluß abgeklungen sind (rechtes Diagramm).

Zugrunde gelegte Daten

Wie Bild 12.