

Maximale Temperaturbelastungen  
der Vormauerschale von  
Aussenwandkonstruktionen mit  
Kerndämmung

**F 1987**

F 1987

Bei dieser Veröffentlichung handelt es sich um die Kopie des Abschlußberichtes einer vom Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen -BMVBW- geförderten Forschungsarbeit. Die in dieser Forschungsarbeit enthaltenen Darstellungen und Empfehlungen geben die fachlichen Auffassungen der Verfasser wieder. Diese werden hier unverändert wiedergegeben, sie geben nicht unbedingt die Meinung des Zuwendungsgebers oder des Herausgebers wieder.

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

Die Originalmanuskripte wurden reprototechnisch, jedoch nicht inhaltlich überarbeitet. Die Druckqualität hängt von der reprototechnischen Eignung des Originalmanuskriptes ab, das uns vom Autor bzw. von der Forschungsstelle zur Verfügung gestellt wurde.

© by Fraunhofer IRB Verlag

Vervielfältigung, auch auszugsweise,  
nur mit ausdrücklicher Zustimmung des Verlages.

**Fraunhofer IRB Verlag**

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau

Postfach 80 04 69  
70504 Stuttgart

Nobelstraße 12  
70569 Stuttgart

Telefon (07 11) 9 70 - 25 00  
Telefax (07 11) 9 70 - 25 08

E-Mail [irb@irb.fraunhofer.de](mailto:irb@irb.fraunhofer.de)

[www.baufachinformation.de](http://www.baufachinformation.de)

Institut für Ziegelforschung Essen e. V.  
Am Zehnhof 197-203, 4300 Essen-Kray  
Telefon 0201/59 00 17 - 19

Staatlich anerkannte Material-Prüfstelle  
und Emissions-Meßstelle

# Institut für Ziegel- forschung

Der Bundesminister für Wohnungsbau

*Abschluß-Zwischen-Bericht  
zum Forschungs-Auflauf*

*AN: BLS-800182-5 Eing.: 4.2.85*

*Nr. 1987*

The logo consists of a solid red square on the left, followed by the letters 'IZF' in a bold, red, sans-serif font.



BERICHT ÜBER DAS FORSCHUNGSVORHABEN

"MAXIMALE TEMPERATURBELASTUNGEN DER VORMAUERSCHALE  
VON AUBENWANDKONSTRUKTIONEN MIT KERNDÄMMUNG"

DAS FORSCHUNGSVORHABEN WURDE GEFÖRDERT DURCH DEN  
BUNDESMINISTER FÜR RAUMORDNUNG, BAUWESEN UND STÄDTEBAU

## I N H A L T S V E R Z E I C H N I S

<u>Abschnitt:</u>		<u>Seite:</u>
1.	Einleitung	1
2.	Ziel und Durchführung des Forschungs- vorhabens	3
3.	Temperaturbelastung und Berechnung	5
3.1	Lufttemperaturen	5
3.2	Niederschlag	6
3.3	Strahlung	7
3.4	Berechnungsbeispiele	10
3.5	Temperaturverformungen und -spannungen	13
4.	Vergleichende Temperaturmessung im Labor	14
5.	Temperaturmessungen an Bauobjekten mit Kerndämmung	18
5.1	Bauwerksmessungen in Wittmund	18
5.2	Weitere Bauwerksmessungen	21
5.3	Vergleichende Bauwerksmessungen	22
6.	Folgerungen für die Praxis	28
7.	Zusammenfassung	30

Der Bericht enthält 26 Anlagen.

## 1. Einleitung

Die zeitlich veränderliche klimatische Belastung einer Außenwand durch Sonneneinstrahlung, Lufttemperatur, Wind und Schlagregen ist bekanntermaßen von den örtlichen Gegebenheiten, d.h. der Lage des Bauwerks, seiner Umgebung sowie der Orientierung der Wand abhängig. Die mögliche Beanspruchung wird jedoch stark vom konstruktiven Aufbau selbst beeinflusst. Dies gilt es insbesondere immer dann zu berücksichtigen, wenn statt bislang bewährter Konstruktionen andere Ausführungsformen gewählt werden.

Bei zweischaligem Mauerwerk war und ist es auch heute üblich, zwischen Vor- und Hintermauerschale eine Luftschicht anzuordnen, die nach DIN 1053 unten und oben belüftet sein muß. Sie ist bei reinem Luftschichtmauerwerk in der Regel 6 cm dick, bei zusätzlicher Dämmschicht auf der Außenseite der Hintermauerschale in mindestens 4 cm Dicke auszuführen. Bei zweischaligem Mauerwerk mit Luftschicht handelt es sich um eine vor allem unter extremen Witterungsbedingungen bewährte Außenwandkonstruktion, die sich dadurch auszeichnet, daß die vordere Verblendschale mit Abstand vor der tragenden Konstruktion steht und diese gegen Schlagregenbeanspruchung und extreme Temperatureinwirkungen abschirmt.

Bei zweischaligem Mauerwerk mit Kerndämmung ohne Luftschicht - üblicherweise und im weiteren einfach mit Kerndämmung bezeichnet - wird der Raum zwischen den Mauerwerksschalen ganz mit Dämmstoffen ausgefüllt. Diese im Ausland zum Teil schon länger gebräuchliche Variante des zweischaligen Mauerwerks kommt auch hier immer häufiger zur Ausführung. In der gültigen deutschen Mauerwerksnorm / 1 / ist zweischaliges Mauerwerk mit Kerndämmung nicht verankert, da bisher keine ausreichenden, allgemein gültigen Erfahrungen vorliegen. Die Anwendung ist über Zulassung geregelt, die sich auf die Kerndämmung, d.h. auf den Dämmstoff bezieht und vom Institut für Bautechnik erteilt wird.

Im vorliegenden Forschungsbericht wird die möglicherweise erhöhte Temperaturbelastung der Vormauerschale durch die nachträgliche oder gleichzeitige Kerndämmung zweischaliger Wände behandelt. Andere Fragestellungen hinsichtlich der Kerndämmung sind nicht Gegenstand des Berichtes. Dazu wird auf einen weiteren Forschungsbericht /2/ des IZF<sup>1</sup> verwiesen, in dem auch die Forschungsschwerpunkte anderer Institute hinsichtlich der Kerndämmung aufgeführt sind.

Maximale Temperaturbelastungen interessieren im Prinzip nur deshalb, weil sie ursächlich für die daraus resultierenden Dehnungen oder bei deren Behinderung für die Temperaturspannungen in den Vormauerschalen maßgebend sind. Um zu große Temperaturspannungen im Mauerwerk zu vermeiden, werden bekanntlich horizontale und vertikale Dehnungsfugen im Verblendmauerwerk angeordnet, damit es nicht zu Rissen kommt, die die Funktion und das Aussehen der Wand nachhaltig stören und nur schwer zu beseitigen sind.

Die Kenntnis möglicher Temperaturen und Temperaturunterschiede in den Vormauerschalen erleichtert unter Beachtung der Konstruktion die richtige und sinnvolle Anordnung der Dehnungsfugen. Dabei sollte immer bedacht werden, daß diese in zwar ausreichendem, jedoch nicht übermäßigem Maße vorhanden sein sollten, da jede Dehnungsfuge auch eine Art Schwachstelle ist, die nach gegebener Zeit erneuert werden muß.

Bei der Kerndämmung von zweischaligem Mauerwerk wird zum Teil angenommen, daß es durch den möglichen Wärmestau vor der Dämmschicht, z.B. bei intensiver Sonneneinstrahlung, zu stark erhöhten Temperaturen in der Verblendschale gegenüber der bisher üblichen Konstruktion mit Luftschicht kommt. Dies hat dazu geführt, daß von den Bauberatungen der maßgebenden Hersteller von Verblendsteinen, nämlich von Ziegeln und Kalksandsteinen, empfohlen wird, bei Kerndämmung einen engeren Abstand, d.h. mehr vertikale Dehnungsfugen zu wählen.

Ziel der durchgeführten Forschungsarbeit war es u.a., die Berechtigung dieser Annahme zu überprüfen, worauf im folgenden näher eingegangen wird.

## 2. Ziel und Durchführung des Forschungsvorhabens

Ziel des Forschungsauftrages war es, den Berechnungsansatz für die Temperaturbeanspruchung von Vormauerschalen sicherer zu machen. Dabei galt es insbesondere kerngedämmte Außenwandkonstruktionen zu berücksichtigen, da für diese Wandbauart keine hinreichenden Berechnungs- und Meßergebnisse vorlagen.

In Abhängigkeit des Schichtaufbaus unter Berücksichtigung des Standortes und der Ausrichtung der Wände sollten maximale Temperaturen  $\max. \vartheta$ , minimale Temperaturen  $\min. \vartheta$  sowie maximale Temperaturunterschiede  $\max. \Delta \vartheta$  herausgefunden werden. Die maximalen und minimalen Mitteltemperaturen, d.h. bezogen auf die Mitteltemperatur der Vormauer, sind für die möglichen Längenänderungen gegenüber dem Einbauzustand maßgebend. Die möglichen Verformungen bestimmen ursächlich den Abstand und die Dicke der notwendigen Dehnungsfugen. Bei Behinderung dieser Verformungen in Wandebene entstehen Spannungen in senkrechter und horizontaler Richtung.

Temperaturunterschiede innerhalb des Querschnitts rufen bekanntermaßen Durchbiegungen, bzw. bei flächigen Bauteilen Verwölbungen hervor. Bei deren Behinderung entstehen Spannungen. Die möglichen Verwölbungen sind insbesondere bei der geschoßweisen/zeilenhaften Verankerung der Vormauerschale von großer Bedeutung, die ebenfalls in einem Forschungsvorhaben / 3 / des IZF näher untersucht wurden, für deren Ausführung jedoch noch eine Zustimmung im Einzelfall notwendig ist, da diese Art der Verankerung in DIN 1053 bisher nicht berücksichtigt wird.

Nach Möglichkeit sollten in Abhängigkeit des Standortes, der Lage der Wand, deren Farbe und Aufbau die zuvor genannten Temperaturen tabellarisch angegeben werden.

Dies erwies sich jedoch bei der Vielzahl der eingehenden Parameter als ziemlich schwierig, so daß hier keine umfassende Tabelle mit möglichen Temperaturen angegeben werden kann. Dies erscheint auch nicht notwendig, da man davon ausgehen kann, daß zweischaliges Mauerwerk mit Luftschicht eine bewährte und bekannte Konstruktion ist, für die genügend Hinweise für die richtige Ausbildung gegenüber möglicher Temperaturbeanspruchung und daraus resultierender Verformung vorliegen. Es kam hier also darauf an, die Konstruktionen mit Kerndämmung in das im Prinzip bereits bekannte Schema einzupassen. Nach Möglichkeit sollten jedoch auch feste Richtwerte, die natürlich immer eine Vereinfachung der natürlichen Verhältnisse beinhalten, angegeben werden.

Die Durchführung der Untersuchungen gliederte sich in 4 Abschnitte, die zunächst getrennt und später zusammenfassend betrachtet wurden.

Aufgrund vorliegender Modellvorstellungen / 4 /, / 5 /, / 6 / über Höhe, Art und Dauer der Temperaturbelastung wurden zunächst Berechnungen hinsichtlich möglicher Temperaturen bei Variation der Konstruktion durchgeführt. Variiert wurden dabei z.B. die Art der Verblender, die Dicke der Kerndämmung usw.

Im weiteren wurden im Rahmen der Forschungsarbeit:

"Geschoßweise Verankerung" /3/

ergänzende Versuche dergestalt ausgeführt, daß Vormauerschalen aus Ziegeln und Kalksandsteinen zweischaliger Wände mit Kerndämmung einerseits und Luftschicht andererseits extrem, wie z.B. bei intensiver Sonneneinstrahlung, beaufschlagt wurden und die dabei entstehenden Temperaturen über dem Querschnitt gemessen und verglichen wurden.

Ferner wurden die aus eigenen Langzeitmessungen an verschiedenen Orten vorhandenen Temperaturprofile von zweischaligem Mauerwerk mit Kerndämmung in Hinsicht auf extreme Temperaturbelastungen ausgewertet. Dabei war es bei einer Außenwand möglich, vergleichend zur üblichen Ausführung mit Luftschicht zu messen.

Schließlich wurden nach Möglichkeit die Berechnungen und Auswertungen anderer Institute / 7 /, / 8 / mit einbezogen und mit den eigenen Meßergebnissen verglichen.

Ziel der durchgeführten Untersuchungen war nicht die Berechnung notwendiger Fugenabstände, maximaler Verwölbungen, möglicher Risse usw., sondern die für eine statische Berechnung notwendigen Grundlagen bzw. Berechnungsannahmen zu erarbeiten.

### 3. Temperaturbelastung und Berechnung

Außenbauteile sind folgenden, zeitlich veränderlichen meteorologischen Temperaturbelastungen ausgesetzt:

- Lufttemperatur
- Niederschlag
- Strahlung

Die Berechnung der daraus entstehenden Temperaturverteilungen geschieht bei nahezu zeitlich unveränderten äußeren Bedingungen, z.B. im Winter ohne Sonnenstrahlung nach einfachen stationären Methoden. Bei plötzlicher Änderung der Belastung, z.B. bei Schlagregen, sind für eine genauere Berechnung der Temperaturprofile instationäre Berechnungsverfahren notwendig.

#### 3.1 Lufttemperaturen

-----

Die jährliche Schwankung der Lufttemperaturen interessiert wegen der zeitlichen Differenz der Extremwerte nur für die stationäre Berechnungsweise. Die jahreszeitlichen Schwankungen sind maßgebend für mögliche Längenänderung der Vormauerschale in Wandebene.

Für Mitteleuropa kann maximal von einer Differenz des absoluten Maximums und Minimums von rund 60 K ausgegangen werden. Für Landklimate kann diese Differenz noch größer sein.

Realistisch für die Verhältnisse in der Bundesrepublik Deutschland ist ein Wert von ca. 50 K entsprechend einer maximalen Lufttemperatur von 35 °C im Sommer und einer minimalen Temperatur von - 15 °C im Winter.

Die täglichen Schwankungen der Lufttemperaturen ergeben zeitabhängige, d.h. instationäre Temperaturverteilungen in der Verblendschale. Eine Auswertung der deutschen meteorologischen Jahrbücher von 1953 bis 1977 ergab z.B. für Aachen eine maximale Tagestemperaturdifferenz von 19,2 K. Die größte Temperaturdifferenz für diesen Zeitraum betrug für Münster 23 K und für den Kahlen Asten 20,1 K.

Es ist leicht nachzuweisen / 6 /, daß selbst eine Temperaturdifferenz von 25 K innerhalb von 12 Stunden in 11,5 cm dicken Vormauerschalen Temperaturverteilung hervorruft, die zwar gekrümmt sind, wie bei instationären Berechnungsmethoden zu erwarten. Das Ausmaß der Abweichung von einer gradlinigen Verteilung ist jedoch äußerst gering. Der Einfluß eines möglichen Wärmestaus durch Kerndämmung kann entsprechend dieser Überlegung nicht größer sein als nach stationären Berechnungen zu erwarten. Die Änderung der Lufttemperaturen vollzieht sich zu langsam, so daß kein merklicher Wärmestau entstehen kann, wie leicht vorstellbar ist.

### 3.2 Niederschlag

-----

Niederschläge als Regen, Schnee oder Hagel können ähnlich wie in Behälter einströmende Flüssigkeiten einen plötzlichen Temperatursturz an der Oberfläche von Bauteilen bewirken. Für senkrechte Wände ist infolge Schlagregens nach vorhergehender Aufheizung durch Sonnenstrahlung mit einer plötzlichen Abkühlung zu rechnen. Die Höhe des Temperatursprungs, der vorteilhafter durch eine Sprungfunktion mit unendlichem Wärmeübergangswert angesetzt wird, ist ziemlich unsicher. Ein Wert von 20 K könnte realistisch sein. Hierbei muß gesagt werden, daß es an Meßwerten unter natürlichen Bedingungen fehlt, die diesen Wert bestätigen könnten.

Die Berechnung der Temperaturprofile ist insofern auch problematisch, da genau genommen die Wärmekapazität des Regens sowie die Verdunstungswärme berücksichtigt werden müßten. Die Temperaturverteilung ist jedoch unabhängig davon instationär, d.h. das Temperaturprofil stark gekrümmt. Laborversuche / 2 / haben gezeigt, daß die Kerndämmung so gut wie keinen Einfluß auf den möglichen Temperaturverlauf hat.

### 3.3 Strahlung

-----

Nach Lufttemperatur und evtl. Niederschlag haben die verschiedenen Strahlungsarten

- kurzwellige Sonnenstrahlung
- langwellige Wärmestrahlung

einen starken Einfluß auf die Temperaturverteilung im zweischaligen Mauerwerk, insbesondere in der Vormauerschale.

Die unterschiedlichen Wärmeübergänge und Wärmeströme infolge Einstrahlung und Abstrahlung bei gleichzeitiger Konvektion werden oft durch die sogenannte "Sonnenlufttemperatur" berücksichtigt. Dabei wird die gesamte Wärmestrahlung formal durch eine fiktive Lufttemperatur ersetzt, die die gleichen Wärmeströme und Temperaturen im Bauteil erzeugt. Die mathematische Berechnung der instationären Temperaturen ist unter Verwendung der Sonnenlufttemperatur, insbesondere bei numerischen Berechnungsverfahren einfacher. Für die Berechnung der Sonnenlufttemperatur gibt es mehrere Ansätze, die sich dadurch unterscheiden, inwieweit die Wärmestrahlung, die nach Stefan-Boltzmann in der 4. Potenz von der Temperatur abhängt, berücksichtigt wird. In /9 / werden die möglichen Methoden mit Vor- und Nachteilen ausführlich dargestellt. Grundsätzlich sollte jedoch hier beachtet werden, daß die eingehenden zahlreichen Parameter, die oft sehr unsicher sind, das Ergebnis eher beeinflussen können, als die Genauigkeit der Berechnungsmethode.

Für baupraktische Rechnungen ist es meist ausreichend, die Sonnenlufttemperatur nach der ursprünglichen Formel von Mackey und Wright /10/ zu berücksichtigen.

$$\vartheta^* = \frac{I \cdot a_s}{s} + \vartheta_L \quad ^\circ\text{C}$$

Strahlungsintensität	I	W/m <sup>2</sup>
Absorptionszahl	a <sub>s</sub>	-
Wärmeübergangskoeffizient	α <sub>a</sub>	W/(m <sup>2</sup> · K)
Lufttemperatur	ϑ <sub>L</sub>	°C

Die Strahlungsintensität I hängt von folgenden Parametern ab:

- Tageszeit
- Jahreszeit
- geografische Lage
- Orientierung des Bauteils
- Trübung der Luft

Mit Hilfe des Berechnungsverfahrens für Sonnenstrahlungsintensitäten nach Heindl und Koch /11/ wurden im Hinblick auf extreme Werte spezielle Auswertungen vorgenommen. Die Tagesmaxima der direkten Sonneneinstrahlung auf verschieden orientierte Flächen sind in Anlage 1 für den Jahresablauf aufgetragen. Der tägliche Zeitpunkt der Maximalwerte ist außer für Südwände und horizontale Flächen selbstverständlich von der Jahreszeit abhängig. Für die Dauer der möglichen Einstrahlung ist, wie leicht einsehbar, auch noch die Jahreszeit und die Orientierung des Bauteils maßgebend. Auffallend ist jedoch, wenn man einmal von den nach Norden orientierten Wänden absieht, daß der maximal mögliche Betrag der Sonneneinstrahlung nicht sehr unterschiedlich ist. Bei Berücksichtigung unterschiedlicher Lufttrübung - im Sommer stärker als im Winter - sind die Werte im Jahresverlauf noch gleichmäßiger. Die maximale direkte Sonneneinstrahlung - die diffuse Strahlung ist für relativ plötzliche Aufheizungen der Vormauerschale weniger wichtig - die zu irgendeinem Zeitpunkt eine Vormauerschale beliebiger Orientierung treffen kann, ist also relativ konstant.

Für Berechnungen könnte von folgenden Werten ausgegangen werden:

$$I = 800 \text{ W/m}^2$$

$$I = 1000 \text{ W/m}^2 \text{ (für Höhenlagen über 1000 m)}$$

Die Absorptionszahl  $a_s$  für kurzwellige Sonnenstrahlung hängt neben der Oberflächenbeschaffenheit und dem Material in sehr starkem Maße von der Farbe ab. Da es sich bei Vormauerschalen um strahlungstechnisch matte Flächen handelt, bleibt in guter Näherung nur der Einfluß der Farbe auf die Absorptionszahl übrig. Falls keine genaueren Angaben vorliegen, können folgende Werte benutzt werden:

$$a_s = 0,9 \text{ dunkle Flächen (auch dunkle Farben)}$$

$$a_s = 0,8 \text{ graue Flächen (auch rot, grün....)}$$

$$a_s = 0,5 \text{ helle Flächen (auch weiß, gelb....)}$$

Die Wahl zutreffender Wärmeübergangszahlen  $\alpha_a$  ist genauso wichtig, wie die Festlegung der Strahlungsintensität. Die Übergangszahl auf der Innenseite der zweischaligen Wand ist relativ unwichtig und kann entsprechend DIN 4108 mit  $\alpha_i = 8 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$  gewählt werden.

Der äußere Übergangswert setzt sich bei dem gewählten Ansatz aus einem Strahlungsanteil  $\alpha_s$  und einem konvektiven Anteil  $\alpha_k$  zusammen. Für praktisch vorkommende Temperaturunterschiede kann näherungsweise  $\alpha_s = 6 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$  gewählt werden. Die konvektive Übergangszahl  $\alpha_k$  ist in hohem Maße von der Windgeschwindigkeit abhängig. Die größte Belastung hinsichtlich eines möglichen Wärmestaus bei Sonneneinstrahlung ergibt sich dann, wenn  $\alpha_k$  möglichst klein gewählt wird. Relativ übereinstimmend wird in der Literatur z.B. /12/, /13/  $\alpha_k$  mit  $6-8 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$  bei äußerer Windstille angegeben. Dies ergibt einen Gesamtübergangswert von  $\alpha_a = 12-14 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$  für einen extremen Temperaturanstieg der Vormauerschalen infolge Sonneneinstrahlung.

Für übliche Verhältnisse bei einer mittleren Windgeschwindigkeit von 2m/sec. ist  $\alpha_a$  entsprechend DIN 4108 mit 23 W/(m<sup>2</sup>·K) anzunehmen. Mit den angegebenen Werten kann die Sonnenlufttemperatur berechnet werden, mit der wiederum die instationären Temperaturen z.B. mit numerischen Berechnungsmethoden zu ermitteln sind. In Anlage 2 wird ein Temperaturbelastungsmodell angegeben, wie es der Modellvorstellung plötzlicher Sonneneinstrahlung bzw. Verschattung entspricht. Die Belastung ist in Form einer Sprungfunktion gewählt. Selbstverständlich sind die realen Verhältnisse für eine Wand bestimmter Orientierung in der Regel differenzierter. Der Fall plötzlicher Aufheizung bzw. Abkühlung z.B. nach vorhergehender Verschattung ist jedoch denkbar und liegt auf der sicheren Seite.

Das angegebene Modell ist besonders für vergleichende Rechnungen geeignet. Es ist somit möglich, den Einfluß der Kerndämmung bei zweischaligem Mauerwerk auf die Temperaturverhältnisse in der Wand anzugeben. Die berechneten Temperaturen sind in diesem Fall linear von der Sonnenlufttemperatur abhängig, so daß die Berechnungsergebnisse superponierbar sind, sie sind somit direkt auf andere Ausgangstemperaturen (Nulltemperaturen) oder höhere bzw. niedrigere Belastungen übertragbar.

### 3.4 Berechnungsbeispiele

-----

Um den Einfluß der Kerndämmung auf die maximal bzw. minimal möglichen Temperaturen in der Vormauerschale herauszufinden, bietet sich zunächst die Berechnung der stationären Temperaturprofile an, die bei extremen Verhältnissen auftreten können. Dies setzt voraus, daß die Randbedingungen unabhängig von der Zeit sind. Für sommerliche Verhältnisse mit Sonneneinstrahlung ist dies selbstverständlich nur eine Näherung, die jedoch zunächst einmal als erster Ansatz gewählt wird.

In Anlage 3 sind für zwei unterschiedliche Ausführungen bei sonst gleichen Parametern die für bestimmte Randbedingungen berechneten stationären Temperaturprofile dargestellt. Für winterliche Verhältnisse wurde eine Außenlufttemperatur von  $- 12 \text{ }^{\circ}\text{C}$  und eine Innenlufttemperatur von  $+ 23 \text{ }^{\circ}\text{C}$  gewählt. Unter Einrechnung einer gewissen Dämmwirkung der Luftschicht, wie es nach der neuen DIN 4108 /14/ auch zulässig ist, ergibt sich für die Vormauer eine Mitteltemperatur von  $- 7,4 \text{ }^{\circ}\text{C}$ . Die stärkste Abkühlung würde sich bei Annahme vollkommener Hinterlüftung mit  $- 12 \text{ }^{\circ}\text{C}$  einstellen. Bei 12 cm Dämmstoff zwischen Vor- und Hintermauerschale beträgt die mittlere Vormauertemperatur  $- 11,1 \text{ }^{\circ}\text{C}$ . Trotz stark unterschiedlicher Wärmeströme - abhängig vom Temperaturgradient - sind die Vormauertemperaturen in diesem Beispiel nur im geringen Maße von der Konstruktion abhängig.

Für maximale Lufttemperaturen im Sommer sind die Ergebnisse des Winters im Prinzip direkt übertragbar.

Bei der Annahme kontinuierlicher Sonnenstrahlung -  $I = 800 \text{ W/m}^2$ ;  $a_s = 0,8$ ;  $\alpha_a = 23 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$  - ergeben sich näherungsweise die stationären Temperaturen, wie sie ebenfalls in Anlage 3 dargestellt sind. Die Verblendziegel erreichen beim gewählten Beispiel eine Mitteltemperatur von  $47,3$ ;  $41,4$  und  $50,3 \text{ }^{\circ}\text{C}$ . Unter Berücksichtigung, daß sich der Wert von  $41,4 \text{ }^{\circ}\text{C}$  nur einstellt wenn in der Luftschicht Außenlufttemperaturen herrschen, was bei Sonnenstrahlung in Wirklichkeit nicht der Fall ist, sind auch hier die erreichten Temperaturen nahezu gleich. Der sich nach dieser Berechnungsmethode ergebende Temperaturunterschied von 3-4 K in Abhängigkeit der Konstruktion erscheint vernachlässigbar.

Der Temperaturunterschied und somit der Dehnungsunterschied zwischen Vor- und Hintermauerschale wächst jedoch mit zunehmendem Wärmedurchlaßwiderstand der Zwischenschicht. Falls es sich nicht um eine besonders wärmedämmende Hintermauerschale handelt, vollzieht sich bei Zusatzdämmung beinahe der gesamte Temperaturabfall in der Dämmschicht.

Dies ergibt sich wenigstens nach der stationären Berechnungsmethode.

Bei Kerndämmung kann näherungsweise davon ausgegangen werden, daß die Verblendschale die Temperatur der Luft - bei Sonneneinstrahlung ersatzweise die Sonnenlufttemperatur - annimmt, während die Hintermauertemperatur näherungsweise der Innenlufttemperatur entspricht. Unter Berücksichtigung der baulichen und klimatischen Gegebenheiten sowie insbesondere der Farbe der Vormauerschale sollte demnach bei Kerndämmung mit einem Temperaturunterschied von  $\pm 35$  K gegenüber der Einbautemperatur gerechnet werden. Für Ziegel würde dies eine Ausdehnungsdifferenz von  $\pm 0,2$  mm/m bedeuten.

Der Ansatz des zuvor beschriebenen Belastungsmodells und die instationäre Berechnung der Temperaturen ergibt für das zuvor beschriebene Beispiel Profile, wie sie in Anlage 4 in Abhängigkeit unterschiedlicher Konstruktionen Luftschicht - Kerndämmung dargestellt sind. Wiedergegeben sind in Anlage 4 nur die Temperaturverteilungen in der Vormauerschale. Erst nach längerer Belastungszeit sind in Abhängigkeit der Konstruktion Temperaturunterschiede erkennbar. Die Kerndämmung wirkt sich zwar aus, jedoch ist ihr Einfluß auf die möglichen Temperaturen auch hier geringer als vielleicht vermutet.

In Anlage 5.1 wurde ebenfalls unter Verwendung der Randbedingungen des Belastungsmodells der Einfluß der Art der Verblendsteine - Klinker  $\rho = 2000$  kg/dm<sup>3</sup>; Hochlochziegel  $\rho = 1200$  kg/dm<sup>3</sup> - auf den Temperaturanstieg untersucht. Bei niedriger Rohdichte vollzieht sich der Temperaturanstieg schneller, der rechnerisch vom Wärmeeindringkoeffizienten  $b = \sqrt{\lambda \cdot c \cdot \rho}$  [(W·h<sup>0,5</sup> / (m<sup>2</sup>·K))] abhängig ist. Je kleiner der Wärmeeindringkoeffizient ist, um so rascher ist beim gewählten Modell der Temperaturanstieg. Die Fortleitung des Wärmestroms im Bauteil und somit der Temperaturanstieg im Inneren des Bauteils ist wiederum von der Temperaturleitfähigkeit

$$a = \frac{\lambda}{c \cdot \rho} \quad (\text{m}^2/\text{h})$$

abhängig. Der Einfluß beider Parameter ist aus Anlage 5.1 deutlich erkennbar.

Die Abhängigkeit des Temperaturanstiegs von der Dicke der Kerndämmung schließlich wird in Anlage 5.2 beispielhaft dargestellt. Der Einfluß ist zwar rechnerisch eindeutig, in bezug auf maximale Temperaturen jedoch unbedeutend.

### 3.5 Temperaturverformungen und -spannungen

-----

Die Temperatureausdehnung von Mauerwerk wird bekanntlich durch den linearen Temperatureausdehnungskoeffizienten  $\alpha$  beschrieben. Er beträgt für Ziegelmauerwerk  $6 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ , für Kalksandsteine  $8 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ . Entsprechend dehnt sich bei Temperaturzunahme bzw. -abnahme die Vormauerschale. Bei gleichmäßiger Erwärmung kommt es lediglich zu Verformungen in Wandebene bzw. bei deren Behinderung zu Spannungen. Ungleichmäßige Erwärmung führt zu Durchbiegungen bzw. Verwölbungen der Vormauerschale, deren Behinderung wiederum zu Spannungen. Bei gekrümmten Temperaturprofilen entstehen in jedem Fall zusätzliche Eigenspannungen, die nicht durch Verformungen kompensiert werden können.

Die Temperaturspannungen sind indirekt meßbar. Bei einseitiger Aufheizung einer Vormauerschale aus Vollziegeln, die im Versuchstand ohne Dehnungsbehinderung aufgestellt wurde, wurde der Temperaturanstieg und die vertikale Längenänderung an der erwärmten Oberfläche gemessen (Anlage 6).

Die Verformung ist zunächst geringer als es der Temperatur und dem Ausdehnungskoeffizienten entspricht, bedingt durch das gekrümmte Temperaturprofil. Bei fast linearer Temperaturverteilung nach ein paar Stunden entspricht die Verformung in etwa dem Temperaturanstieg; es sind keine Eigenspannungen mehr vorhanden. Anlage 7 zeigt das gleiche Phänomen für die Durchbiegung  $f$  senkrecht zur Wandebene in Abhängigkeit des Temperaturunterschieds  $\Delta \vartheta$ .

In Anlage 8 sind die möglichen Temperaturspannungen in Abhängigkeit der Lagerungsbedingungen schematisch dargestellt. Bei voller Dehnungsbehinderung - z.B. bei zweischaligem Mauerwerk ohne Luftschicht mit durchgehender Mörtelscheibe und steifer Hintermauerschale - entstehen die dargestellten Zwängungsspannungen.

Bei möglicher Längenänderung in Vormauerebene - z.B. bei der üblichen Verbindung mit Drahtankern und entsprechenden Dehnungsfugen - entstehen Spannungen durch die behinderte Krümmung. Bei statisch bestimmter Lagerung schließlich bleiben die reinen Eigenspannungen übrig. Es ist erkennbar, daß die Temperaturspannungen von der Höhe der Temperatur aber auch von der Form der Temperaturverteilung über dem Querschnitt abhängig sind. Sie können nach / 6 / berechnet werden.

Der Einfluß der Lagerungsbedingungen, besonders an den Aufstandsflächen der Vormauerschale hinsichtlich entstehender Spannungen bzw. notwendiger Dehnungsfugenabständen wird in /15/ ausführlich erörtert.

#### 4. Vergleichende Temperaturmessung im Labor

Im Rahmen des Forschungsauftrages: "Geschoßweise Verankerung" / 3 / wurden zusätzliche Versuche mit und ohne Kerndämmung durchgeführt, um die maximale Temperaturbelastung von zweischaligem Mauerwerk, insbesondere der Vormauerschale zu messen.

Als Belastungseinrichtung zur Simulation der Sonnenstrahlung dienten Infrarotstrahler, die auf ein Gestell montiert so vor der Vormauerschale angebracht wurden, daß eine Strahlungsleistung von ca. 1000 W/m<sup>2</sup> auf der Wandoberfläche erreicht wurde.

Nach den im Kap. 3.3 gemachten Ausführungen entspricht diese Leistung bei einem Gesamtwärmeübergangswert  $\alpha$  von 13 W/(m<sup>2</sup>·K) bei absoluter Windstille einer fiktiven Sonnenlufttemperatur von:

$$\begin{aligned} \vartheta^* &= \frac{1000 \cdot 1,0}{13} + \vartheta_L \\ &= 78 + \vartheta_L \end{aligned}$$

Die äußere Oberfläche der Vormauerschale müßte demnach gegenüber der Ausgangstemperatur um ca. 80 K ansteigen. Ein Wert, der bei den Versuchen in guter Näherung auch erreicht wurde.

Gegenüber natürlichen Bedingungen beinhaltet die gewählte Belastung in etwa eine Sicherheit von 2, d.h. sie ist ungefähr doppelt so groß als in der Natur. Für natürliche Verhältnisse, also nicht in einer Versuchshalle, wäre formal ein Wärmeübergangswert von etwa  $23 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  anzusetzen. Die bei diesem Ansatz zu erwartende Erwärmung ist ungefähr nur noch halb so groß.

Der mögliche Einfluß der Farbe auf die Absorption bei natürlichem Sonnenlicht konnte mit den Infrarotstrahlern nicht simuliert werden. Dies sollte besonders bei der Aufheizung der hellen Vormauerschalen aus Kalksandsteinen berücksichtigt werden, bei denen die mögliche Oberflächentemperatur noch geringer ist als die um den Faktor 2 zu dividierende Versuchstemperatur.

Belastet wurden die Vormauerschalen der zweischaligen Wände dadurch, daß die Strahler schlagartig an bzw. nach Aufheizung abgestellt wurden. Dies ist für eine ungleichmäßige Temperaturverteilung der ungünstigste Fall. Aufgeheizt wurde in der Regel über einen Zeitraum von 7 Stunden. Nach dieser Zeit war die Erwärmung nur noch unwesentlich.

Variiert wurden die Ausführung der Vormauerschale - Ziegel und Kalksandsteine - sowie die Ausführung der Zwischenschicht. Meistens wurde zunächst eine Wand mit 8 cm Kerndämmung aus Mineralfaserplatten aufgeheizt. Dann wurde die Kerndämmung durch die offenen Seiten der Versuchswand ganz oder teilweise herausgenommen und die gleiche Wand am nächsten oder dem darauf folgenden Tag wieder aufgeheizt. Dies hat den Vorteil, daß die Versuche bei unterschiedlicher Zwischenschicht bei ein und derselben zweischaligen Wand durchgeführt werden konnten und somit der Einfluß des Wandaufbaus eliminiert wurde.

Gemessen wurden die Temperaturprofile durch Meßstellen an den Oberflächen und Trennflächen der einzelnen Schichten sowie an zusätzlichen Stellen in den Vormauersteinen. Da die Werte der äußeren Oberfläche durch die Bestrahlung der zwar abgedeckten Fühler ein wenig unsicher sind, wurde ein zusätzlicher Fühler durch Bohrung von der Rückseite unmittelbar unter der Oberfläche angeordnet.

In Anlage 9 ist der durch die beschriebene Belastung hervorgerufene Temperaturanstieg in einer zweischaligen Versuchswand mit Kerndämmung aufgetragen. Bei der Vormauerschale handelt es sich in diesem Fall um eine Klinkerschale. Die Temperaturen erreichen nach 7 Stunden an der Außenoberfläche der Klinker ca. 95 °C. Die Mitteltemperatur beträgt zu diesem Zeitpunkt ca. 80 °C. Der maximale Temperaturunterschied von ca. 35 K wird bereits nach ca. 2 Stunden erreicht, später wird er geringer. Wie bereits erläutert, betragen mögliche Werte in der Praxis ca. 50 % der hier gemessenen Werte.

In Anlage 10 ist die Aufheizung der im Prinzip gleichen Wand gezeigt mit dem Unterschied, daß zuvor die 4 cm dicken Wärmedämmplatten an der Seite zur Vormauer hin entfernt wurden, so daß hier eine 4 cm dicke Luftschicht vorhanden ist, die seitlich unten und oben Lüftungsöffnungen aufweist, während die sonst offenen Seiten der Versuchswand abgedeckt wurden. Die Maximaltemperatur außen ist nahezu wie bei Kerndämmung (Anlage 9). Die Mitteltemperatur liegt nach 7 Stunden bei ca. 72 °C, also 8 K niedriger als zuvor. Der maximale Temperaturunterschied  $\Delta\vartheta$  ist hier wie bei der Kerndämmung 35 K, nimmt jedoch mit zunehmender Zeit weniger ab.

Bei einem weiteren Versuch (Anlage 11) wurde die gesamte Zwischendämmung entfernt, so daß hier eine 8 cm dicke Luftschicht zwischen Vor- und Hintermauerschale vorhanden ist. Die erreichten Maximaltemperaturen, z.B. nach 7 Stunden, sind nochmals mit ca. 90 °C und ca. 67 °C Mitteltemperatur niedriger.

Der Temperaturunterschied  $\Delta\vartheta$  ist jedoch mit ca. 40 K größer und wird auch mit zunehmender Zeit kaum kleiner.

In den Anlagen 12 bis 14 ist die Aufheizung für eine andere Wand, jedoch mit gleichem Material, dargestellt. Die Ergebnisse mit Kerndämmung einerseits und Luftschicht andererseits zeigen ähnliche Abhängigkeiten wie zuvor. Bei der Aufheizung entsprechend Anlage 14 wurde die Außenseite künstlich mit Luft einer Windgeschwindigkeit von ca. 1-2 m/sec. angeblasen. Die erreichten Maximaltemperaturen und maximalen Temperaturunterschiede sind, wie nicht anders zu erwarten, bei sonst gleicher Belastung merklich niedriger.

In den Anlagen 15 und 16 schließlich ist die Aufheizung einer zweischaligen Wand mit einer Vormauerschale aus Kalksandsteinen aufgetragen. Die Ergebnisse sind für Kerndämmung einerseits und Luftschicht andererseits ähnlich wie zuvor. Besonders hier - bei der hellen (weißen) Farbe der Kalksandsteine - sollte nochmals darauf hingewiesen werden, daß hier die erreichten Temperaturen infolge der Infrarotbestrahlung mehr als doppelt so hoch sind als bei kurzwelliger Sonneneinstrahlung zu erwarten. Der Einfluß bzw. Nichteinfluß der Kerndämmung auf die Temperaturverteilung gilt jedoch in der Tendenz auch für niedrigere Absoluttemperaturen.

Die Labormessungen bestätigten die aus den Berechnungen (Kapitel 3.4) bereits erkennbare Tendenz, daß die Kerndämmung sich zwar auf den möglichen Temperaturverlauf auswirkt, das Maß jedoch hinsichtlich möglicher Verformungen bzw. Spannungen gering ist.

Es fällt besonders auf, daß durch die fehlende Hinterlüftung bei Kerndämmung die Hinterseite der Vormauerschale wärmer ist, d.h. die Temperaturverteilung in den Verblendschalen gleichmäßiger.

## 5. Temperaturmessungen an Bauobjekten mit Kerndämmung

Die bisher beschriebenen Untersuchungen hinsichtlich maximaler Belastungen von Vormauerschalen mit Kerndämmung, nämlich Temperaturberechnung (Kapitel 3) und Laboruntersuchung (Kapitel 4) können wirkliche Bauwerksmessungen nicht ersetzen. Messungen an zweischaligen Wänden mit Kerndämmung sind notwendig, um die notwendigen Annahmen zu überprüfen.

Im folgenden wird über Temperaturmessungen berichtet, die vom IZF über einen längeren Zeitraum an einer Westfassade in Wittmund durchgeführt wurden. Ferner wird auf Untersuchungen und Messungen anderer Institute eingegangen und schließlich wird über umfangreiche Vergleichsmessungen an einer Wand mit unterschiedlicher Dämmung der Zwischenschicht berichtet.

### 5.1 Bauwerksmessungen in Wittmund

-----

Die Messungen in Wittmund waren bereits Gegenstand des Forschungsberichtes: "Feuchtigkeitsverhalten von ausgeschäumten Hohlschichtwänden". Der Schwerpunkt der Untersuchungen lag dem Titel des Berichts entsprechend in der Untersuchung des Feuchtigkeitsverhaltens. Für den vorliegenden Bericht wurden die gleichzeitig durchgeführten Temperaturmessungen ausgewertet.

Bei dem Objekt in Wittmund handelt es sich um eine größere Wohnanlage in dreigeschossiger Bauweise am Ortsrand in weitgehend freier Lage. In dem küstennahen Gebiet ist mit zum Teil starken Winden sowie Schlagregen aus Richtungen vornehmlich von Nordwest bis Südwest zu rechnen. Bei der untersuchten zweischaligen Wand handelt es sich um eine ca. 11 m hohe Westfassade mit zusätzlichem Giebeldreieck. Die zunächst als Luftschichtmauerwerk ausgeführte Fassade wurde nachträglich mit UF-Schaum kerngedämmt.

Die Außenwand hat von außen nach innen folgenden Aufbau:

115	mm	Verblendschale aus Vormauerhochlochziegeln im Dünnformat
60-70	mm	UF-Ortschaum, im Giebeldreieck auch teilweise dicker
240	mm	Hintermauerschale aus Kalksandlochsteinen, im Giebeldreieck 175 mm
15	mm	Innenputz

Die Temperaturmeßstellen befanden sich im Giebeldreieck, also mehr als 11 m über Geländeoberkante. Die genaue Lage der Temperaturmeßstellen ist Anlage 17 zu entnehmen.

Gemessen wurde ab Herbst 1978 bis Anfang Sommer 1981. Die Temperaturen der Außenoberfläche wurden lediglich im Jahre 1981 registriert.

Die in Zyklen von 3 Stunden aufgezeichneten Temperaturen - zwischenzeitlich geringfügig höhere Temperaturen sind denkbar - ergeben für einzelne Zeitabschnitte folgende Ergebnisse:

Für den Sommer 1979 betrug die Maximaltemperatur in Vormauermitte: 33,4 °C. Der Zeitpunkt war der 23. Juni 1979 gegen 18.00 Uhr.

Für den Sommer 1980 betrug die Maximaltemperatur in Vormauermitte: 29,4 °C. Dieser Wert wurde am 27.7.1980 gegen 21.00 Uhr gemessen.

Im Winter 1981 ergaben sich folgende Maximaltemperaturen:

$\vartheta$ vorn	=	15,2 °C
$\vartheta$ Mitte	=	9,6 °C
$\vartheta$ hinten	=	8,4 °C
$\Delta \vartheta$	=	6,8 °C

Die Temperaturen beziehen sich ausschließlich auf die Vormauer-  
schale, wobei  $\Delta \vartheta$  den Temperaturunterschied zwischen Vorderseite  
und Hinterseite angibt. Gemessen wurden diese Temperaturen am  
20.02.81 um 15.00 Uhr.

Im Frühjahr 1981 wurden folgende Maximaltemperaturen gemessen:

$\vartheta$ vorn	=	36,9 °C
$\vartheta$ Mitte	=	33,9 °C
$\vartheta$ hinten	=	30,9 °C
$\Delta \vartheta$	=	6,0 K

Gemessen wurden diese Temperaturen am 14.04.1981 um 15.00 Uhr.

Der in Anlage 17 aufgezeichnete Temperaturverlauf am 20.04.81  
ist dadurch gekennzeichnet, daß für die Verhältnisse in Wittmund  
relativ große Temperaturunterschiede zwischen Vorderseite und  
Rückseite der Verblender infolge Sonneneinstrahlung auftreten.  
Der Temperaturunterschied  $\Delta \vartheta$  beträgt hier fast 10 K.

Trotz dunkler Farbe (dunkles rot) der Vormauerziegel kann hinsicht-  
lich der langjährigen Messungen in Wittmund zusammenfassend ge-  
sagt werden, daß sowohl die Maximaltemperaturen als auch maximalen  
Temperaturunterschiede geringer sind als zunächst vermutet. Die  
Gründe dafür dürften folgende sein:

- relativ windige Lage
- keine strahlungsreflektierende Umgebung
- hohe Fassade und demzufolge Thermik bei Übertemperatur gegenüber  
der Lufttemperatur. Bei anderer Lage und Umgebung können bei  
farblich ähnlichen Ziegeln bedeutend höhere Temperaturen erreicht  
werden, wie später noch gezeigt wird (siehe Kapitel 5.3).

## 5.2 Weitere Bauwerksmessungen

-----

Interessant erschienen in diesem Zusammenhang die Messungen, die an einer 35 m hohen Verblendschale ohne Zwischenabfangung, wozu eine Zustimmung im Einzelfall eingeholt wurde, an einem Objekt in Hamburg / 7 / durchgeführt wurden.

Bei den nach Süden und Westen orientierten breiten Fassaden ohne Fenster wurden oben die Relativverformungen der Verblendschale gegenüber der Hintermauerschale gemessen. Die zweischalige Wandkonstruktion besteht von außen nach innen:

115	mm	Verblendschale aus gelben, glatten Vormauerziegeln NF
50	mm	Luftschicht
50	mm	Mineralfaserplatten
175	mm	Stahlbeton

Die rechnerische Temperaturdifferenz gegenüber der Einbautemperatur wurde mit  $\pm 40$  K angenommen. Die wirklich gemessenen Verformungsunterschiede waren viel geringer als die rechnerisch erwarteten. Dies dürfte nur in geringem Maße auf die vorhandene Luftschicht zurückzuführen sein. Die Ergebnisse der Messungen zeigen, daß die Verblendschale infolge Sonneneinstrahlung viel weniger warm wird als hier vermutet. Dies war eigentlich auch bei einer Höhe von 35 m in windfreier Lage nicht anders zu erwarten.

Die Messungen in Wittmund werden hierdurch insofern bestätigt, daß bei relativ hohen, dem Winde frei ausgesetzten Wänden nicht mit solch hohen Temperaturen in den Verblendschalen zu rechnen ist. Anzusetzen sind hier lediglich die möglichen Lufttemperaturen im Sommer und im Winter mit einem zusätzlichen, aber geringeren Aufschlag für die Erwärmung infolge Sonneneinstrahlung.

Messungen an einem nach Westen orientierten Wandprüfstand der Freilandversuchsstelle Holzkirchen / 8 / mit unterschiedlicher Ausführung der Zwischenschicht bei zweischaligem Mauerwerk bestätigten hinsichtlich der Temperaturbeanspruchung die hier durch Rechnung (Kapitel 3.4), Labormessung (Kapitel 4.) und die im nächsten Abschnitt vorgestellten Vergleichsmessungen für eine nach Süden orientierte Wand, erzielten Ergebnisse.

In der Zusammenfassung des Forschungsberichtes des Fraunhofer Instituts für Bauphysik heißt es:

"Unter sommerlichen Bedingungen ist die Kerndämmung bezüglich der Oberflächentemperaturen der Außenschale kaum von Einfluß, d.h. ein Wärmestau tritt nicht auf."

### 5.3 Vergleichende Bauwerksmessungen

-----

Die Temperaturprofile der Vormauerschale einer zweischaligen, unterschiedlich gedämmten Außenwand auf dem vom Institut für Ziegelforschung genutzten Gelände in Essen wurden über einen Zeitraum von ca. 1 1/2 Jahren kontinuierlich gemessen. Die ungefähr nach Süden orientierte 31 m lange und in der Regel 3,5 m hohe Wand wurde auch für andere Vergleichsuntersuchungen genutzt / 2 /, / 3 /. Hier sollen die Ergebnisse hinsichtlich maximaler und minimaler Temperaturen aufgezeigt und ausgewertet werden.

Bei der Halle, an deren Südwand die Temperaturmessungen durchgeführt wurden, besteht die Tragkonstruktion aus Stahl. Vor die Stahlstützen wurde einheitlich eine unverputzte Außenwand aus Hochlochziegeln gesetzt und mit Flachstahlankern mit den Stützen verbunden. Lediglich die Südwand wurde zusätzlich mit einer Verblendschale versehen. In der Prinzipskizze - Anlage 18 - ist oben die Ansicht der Wand mit den dazu gehörigen Abmessungen aufgezeichnet. Die gesamte Länge der Wand ist durch ca. 2 cm breite Dehnungsfugen in Vor- und Hintermauerschale in 5 voneinander unabhängige Felder aufgeteilt.

Die Dicke der unterschiedlich ausgeführten Zwischenschicht beträgt einheitlich 12 cm, also das maximale Maß, das nach der gültigen DIN 1053 zulässig ist.

Die gemessenen Eigenschaften der für alle Felder einheitlich verwendeten Vormauerhochlochziegel - VHLzA 28-1,6 -DF - sind folgende:

Trockenrohdichte:	1,41 kg/dm <sup>3</sup>
Scherbenrohdichte:	1,98 kg/dm <sup>3</sup>
Lochanteil:	28 %
Farbe:	rot
Temperaturausdehnungs- koeffizient	$5,65 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$
Wärmeleitfähigkeit nach DIN 4108	0,68 W/(m <sup>2</sup> ·K)

Als Dämmmaterial wurden alternativ Mineralfaserplatten mit einer rechnerischen Wärmeleitfähigkeit von 0,035 W/(m<sup>2</sup>·K) und Blähperlit mit einer rechnerischen Wärmeleitfähigkeit von 0,055 W/m<sup>2</sup>·K) verwendet. Die Rohdichte der Wärmedämmstoffe beträgt ca. 0,04 bzw. 0,09 kg/dm<sup>3</sup>.

Die porosierten Hintermauerziegel mit einer Dicke von 24 cm sind durch folgende Normbezeichnung gekennzeichnet:

DIN 105 HLzB 6-0,9-16 DF

Feld 1 - siehe Anlage 18, links - wurde mit Kerndämmung aus Mineralfaserplatten ausgeführt, Feld 2 als reines Luftschichtmauerwerk, d.h. ohne zusätzliche Dämmschicht mit den vorgeschriebenen Belüftungsöffnungen oben und unten. Feld 3 wurde ca. 3 Monate nach Fertigstellung - am 22.02.1983 - nachträglich mit Blähperlit verfüllt. Feld 4 wurde mit belüfteter Luftschicht und Dämmschicht aus Mineralfaserplatten ausgeführt. Die Dicke der Luftschicht ist hier in der Regel < 4 cm, aber mindestens 2 cm, bedingt durch die gegenüber dem Nennmaß von 2x4 cm in der Regel größere Dicke der Dämmplatten und übliche Bautoleranzen.

Der Wandaufbau in Feld 5 entspricht dem in Feld 4. Hier beträgt jedoch die Dicke der Luftschicht mindestens 4 cm.

Der Wärmedurchgangskoeffizient (k-Wert), berechnet aus den Wärmeleitfähigkeiten nach Norm, ist ebenfalls in Anlage 18 aufgetragen. Er erstreckt sich von 0,23 W/(m<sup>2</sup>·K) in Feld 1 mit Kerndämmung bis 0,93 W/(m<sup>2</sup>·K) in Feld 2 mit Luftschicht ohne zusätzliche Dämmschicht.

Die Temperaturprofile der einzelnen Felder wurden mit Platinwiderstandsthermometern gemessen, die auf und in den Vormauerziegeln installiert sind. Die Temperaturen wurden in der Regel in einem Zyklus von 1/2 Stunde von einer Datenerfassungsanlage abgefragt, gespeichert und später mit einem Rechner ausgewertet. Die Lage und Umgebung der Meßwand ist wie folgt gekennzeichnet:

Durch benachbarte Bebauung in der gleichen Höhe wie die Halle ist von einer relativ windgeschützten Lage auszugehen. Sonneneinstrahlung ist jedoch zu jeder Zeit möglich, wenn man einmal von den Rändern, Feld 1 und Feld 5, in den Morgen- und Nachmittagsstunden absieht. Ferner ist zu erwähnen, daß die Fläche vor der Wand mit Pflasterklinkern einer ähnlichen Farbe, wie sie die Verblendziegel aufweisen, ausgeführt ist.

In den Anlagen 19 bis 26 sind Ergebnisse der vergleichenden Temperaturmessungen aufgeführt.

Zunächst ist in Anlage 19 exemplarisch der Temperaturverlauf für einen warmen, strahlungsreichen Sommertag aufgetragen. Die gleichzeitig für alle Felder gemessenen äußeren Oberflächentemperaturen sind kaum voneinander zu unterscheiden, so daß sie im gewählten Maßstab kaum unterschiedlich aufzutragen sind. Der Temperaturverlauf auf der Rückseite der Vormauerziegel ist für die zusatzgedämmten Felder, sei es mit oder ohne Luftschicht, ebenfalls kaum voneinander abweichend.

Die gemessenen Temperaturen an der Rückseite in Feld 2 - mit Luftschicht ohne Dämmschicht - sind höher, was zunächst verwundert. Der Grund ist hier die Aufheizung der Halle, insbesondere durch die Fenster bei Sonneneinstrahlung und somit ein umgekehrter Wärmestrom in der Nacht, d.h. von innen nach außen. Die höheren Temperaturen in den Nachtstunden dokumentieren dies - s. Anlage 19-. Da das Temperaturniveau zu Beginn des nächsten Tages höher ist, ergeben sich für die Rückseite der Verblender höhere Temperaturen.

Im Winter sind die Verhältnisse ähnlich (Beispiel: Anlage 20).

In Anlage 21 sind die Maximaltemperaturen in den Verblendern, gemessen zu verschiedenen Zeiträumen des Jahres 1983, aufgetragen. Ausgewertet wurden die in den Feldern 1 - 4 vorhandenen Meßstellen, d.h. für die Felder 1 und 4 die Oberflächentemperaturen, die Temperatur 1 cm hinter der äußeren Oberfläche in Mitte der Verblender und an der Rückseite der Verblender. Für die Felder 2 und 3 wurden lediglich die Temperaturen an Vor- und Rückseite der Verblender gemessen. Die Temperaturunterschiede sind im allgemeinen gering. Auffallend ist auch hier wiederum, daß insbesondere an der Rückseite der Vormauerziegel in Feld 2 mit Luftschicht die Temperaturen für diese Stelle am höchsten sind. Die erreichten Temperaturen von über 50 °C sind verglichen mit den gemessenen Werten in Wittmund, bei ähnlicher Farbe der Verblender, bedeutend höher.

In Anlage 22 sind für verschiedene Meßzeiträume im Frühjahr 1984 die gemessenen Temperaturen aufgetragen. Wenn man einmal von der Höhe der erreichten Temperaturen absieht, ergibt sich ein ähnliches Bild wie für die maximalen Temperaturen im Sommer - s. Anlage 21. Auffallend ist jedoch, daß hier wiederum die Rückseite der Verblender in Feld 2 wärmer ist. Der Grund ist wiederum ein erhöhter Wärmestrom durch die fehlende Dämmschicht, hier hervorgerufen durch die Beheizung der Halle im Winter. Die geringeren Temperaturen in Feld 1 für den Zeitraum im Januar 84 sind dadurch zu erklären, daß zu diesem Zeitpunkt dies Feld bei Sonnenstrahlung durch benachbarte Bebauung eher verschattet wird. Geringfügige Temperaturunterschiede zwischen den einzelnen Feldern sind sonst aus der unterschiedlichen Farbe der Meßziegel zu erklären als auf den Einfluß der Kerndämmung zurückzuführen.

Die in Anlage 23 aufgeführten Minimaltemperaturen für Anfang 1983 sowie für den Winter 83/84 sind vom Betrag her gesehen nicht extrem, wie für Essener Verhältnisse auch nicht anders zu erwarten. Ein Vergleich der für die verschiedenen Felder gemessenen Temperaturen zeigt, daß die äußeren Oberflächentemperaturen nahezu gleich sind. Dies gilt in etwa auch für die Rückseite der Vormauerziegel mit Ausnahme von Feld 2. Hier wirkt sich der Wärmestrom bzw. die Abstrahlung von der Hintermauerschale auf die dort gemessenen Temperaturen aus. Für verschiedene Fragestellungen kann der geringfügige Temperaturunterschied interessant sein, z.B. für die Anzahl der Frost-Tau-Wechsel und somit für die Frostbeanspruchung der Verblendziegel. Dies ist jedoch nicht die Aufgabenstellung des vorliegenden Berichtes. Für mögliche Verformungsunterschiede ist ein Temperaturunterschied von wenigen Kelvin nicht maßgebend.

Die maximalen Temperaturunterschiede  $\Delta \vartheta$  in K zwischen der Vorderseite und der Rückseite der Vormauerziegel - gemessen zum gleichen Zeitpunkt - sind in Anlage 24 aufgetragen. Hingewiesen werden muß ganz deutlich, daß es sich nicht um einen linearen Temperaturunterschied handelt, wie er für statische Berechnungen maßgebend ist, sondern um den maximalen Temperaturunterschied eines in Wirklichkeit gekrümmten Temperaturprofils, wie er bei zeitabhängigen, instationären Verhältnissen bei Sonneneinstrahlung immer gegeben ist. Die für die statische Berechnung maßgebenden linearen Temperaturunterschiede sind um ein paar Kelvin geringer - siehe hierzu auch Anlage 8 .

Interessant ist, daß die größten Temperaturunterschiede im Frühjahr und Herbst auftreten, wie für eine Südwand auch nicht anders zu erwarten.

Zu erwähnen ist ferner, daß die maximalen Temperaturunterschiede sich selbstverständlich bei Sonneneinstrahlung einstellen und meist bis gegen Mittag ihr Maximum erreicht haben.

Dies ist natürlich nur bei einer Südwand gegeben. Der maximale Temperaturunterschied fällt keineswegs mit den erreichten Maximaltemperaturen zusammen. Somit ist das Ergebnis in etwa auch auf andere Orientierungen bei sonst gleichen äußeren Bedingungen zu übertragen.

Der aus den Meßergebnissen der Anlage 24 herauszulesende für die statischen Berechnungen maßgebende lineare Temperaturunterschied wäre in etwa 15 K.

Die sich für Feld 2 ohne Dämmschicht ergebenden geringeren Temperaturunterschiede  $\Delta \vartheta$  waren zunächst nicht so erwartet. Der Grund für die geringeren Temperaturunterschiede im Winter ist die Beheizung der Halle und somit ein Wärmestrom von innen nach außen, der insbesondere bei Sonneneinstrahlung eine gleichmäßigere Temperatur in den Verblendern bewirkt. Für den Sommer gilt das gleiche Phänomen, hier hervorgerufen durch die Überhitzung der Halle durch Sonneneinstrahlung durch die Fenster (siehe dazu auch Anlage 19 oder 20).

In den Anlagen 25 und 26 sind schließlich noch für einen Zeitraum Anfang 84, bei relativ intensiver Sonneneinstrahlung, die gemessenen Oberflächentemperaturen für das Feld 3 mit Kerndämmung und Feld 4 mit Luftschicht und Dämmschicht aufgezeichnet. Der Temperaturunterschied  $\Delta \vartheta$  ist die jeweilige Differenz der Kurven und somit direkt abgreifbar. Nennenswerte Unterschiede in Abhängigkeit der Konstruktion sind auch hier nicht festzustellen, wie ein Vergleich der Anlagen 19 und 20 deutlich macht.

## 6. Folgerungen für die Praxis

Aufgrund der durchgeführten Untersuchungen - Berechnungen, Laborversuche und Bauwerksmessungen - hinsichtlich der maximalen Temperaturbelastungen von Außenwandkonstruktionen mit Kerndämmung können folgende Hinweise für die Praxis gegeben werden:

1. Die Extremtemperaturen in üblichen Vormauerschalen sind bei Kerndämmung ähnlich wie bei zweischaligem Mauerwerk mit Luftschicht nach DIN 1053. Temperaturunterschiede von 3-5 K in Abhängigkeit der Konstruktion wirken sich im Vergleich zum Einfluß der Farbe nur geringfügig auf die mögliche Verformung in Wandebene aus.
2. Extreme Temperaturunterschiede in der Vormauerschale, die zu Durchbiegungen/Verwölbungen bzw. bei deren Behinderung zu Spannungen führen, sind bei zweischaligem Mauerwerk mit Kerndämmung eher geringer als bei zweischaligem Mauerwerk mit Luftschicht.
3. Bei Dämmung der Zwischenschicht - mit und ohne Luftschicht - ist jedoch der Temperaturunterschied und somit die Relativverformung zwischen Vor- und Hintermauerschale zu beachten. Der Temperaturunterschied ist größer als bei reinem Luftschichtmauerwerk und sollte unter Berücksichtigung der baulichen und klimatischen Gegebenheiten berücksichtigt werden, z.B. mit maximal  $\pm 35$  K bzw. 0,2 mm/m für Ziegel.
4. Die erreichten Extremtemperaturen der Vormauerschale sind für alle Konstruktionsformen von der Orientierung und Lage der Wand, deren Farbe, aber auch von der Bauwerkshöhe abhängig. Die Aufheizung bei Sonneneinstrahlung wird hauptsächlich durch die Farbe und Windgeschwindigkeit bzw. Thermik, die wiederum von der Wandhöhe abhängig sind, bestimmt.

5. Für dunkle Farben der Verblender und eine windgeschützte Lage der Wand kann von einer Mitteltemperatur der Vormauerschale bei Sonnenstrahlung von maximal 25 K über Lufttemperatur ausgegangen werden.

Dies ergibt bei einer maximalen Lufttemperatur von ca. 35 °C eine Mitteltemperatur von ca. 60 °C. Bei höheren, frei-  
stehenden Wänden werden diese Werte deutlich unterschritten.

6. Für die möglichen Minimaltemperaturen der Verblendschale sind in etwa die vom jeweiligen Standort der Wand abhängigen minimalen Lufttemperaturen maßgebend. Eine geringe Unterschreitung dieser Werte infolge Wärmestrahlung ist hier vernachlässigbar.
7. Der für die Verformung, insbesondere bei zeilenhafter bzw. geschoßweiser Verankerung für eine statische Berechnung maßgebende lineare Temperaturunterschied in der Verblendschale sollte mit maximal 15 K angenommen werden. Die Konstruktionsform - Kerndämmung oder Luftschicht - spielt auch hier nur eine untergeordnete Rolle.

Die angegebenen Zahlen sind Anhaltswerte, die für übliche Fälle auf der sicheren Seite liegen. Ganz extreme Bedingungen, z.B. Bauten im Hochgebirge oder unter anderen Klimabedingungen werden mit den angegebenen Werten nicht oder nur unzureichend erfaßt.

Die durchgeführten Untersuchungen hinsichtlich der maximalen Temperaturbelastungen von Vormauerschalen bei zweischaligem Mauerwerk mit Kerndämmung ergeben, daß es nicht notwendig ist, wegen dieser Konstruktionsform den Dehnungsfugenabstand in den Verblendschalen kleiner zu wählen als bei zweischaligem Mauerwerk mit Luftschicht. Festgestellte Schäden infolge Temperaturdehnung bzw. deren Behinderung sind nicht ursächlich von der Kerndämmung abhängig, sondern sind auf andere Ursachen zurückzuführen.

## 7. Zusammenfassung

Die maximale Temperaturbelastung der Vormauerschale von Außenwandkonstruktion mit Kerndämmung wurde zunächst rechnerisch mit Hilfe eines speziellen Temperaturbelastungsmodells und instationärer Berechnungsmethoden untersucht.

Weiterhin wurden Laborversuche durchgeführt, um die rechnerisch gefundenen Ergebnisse zu überprüfen und zusätzliche Abhängigkeiten herauszufinden. Ferner wurden Temperaturmessungen an Bauwerken mit zweischaligen Außenwänden ausgewertet und durch eine weitere vergleichende Messung ergänzt.

Um nicht alle möglichen äußeren Einflüsse auf den Temperaturverlauf - Lage und Orientierung der Wand, Klimabedingungen, Material und Farbe der Verblender - berücksichtigen zu müssen, wurde hauptsächlich vergleichend zum bisher üblichen zweischaligen Mauerwerk mit Luftschicht gerechnet und gemessen. Es wurde also in erster Linie untersucht, wie sich die Ausführung mit Kerndämmung zur bisher üblichen Konstruktionsform des zweischaligen Mauerwerks mit Luftschicht verhält.

Als Ergebnis wurde festgestellt, daß der Einfluß der Kerndämmung auf die möglichen Temperaturen und Temperaturunterschiede und somit auf die daraus resultierenden Verformungen und Spannungen gering ist. Eine Verringerung der Dehnungsfugenabstände in der Verblendschale, wie sie zum Teil empfohlen wird, ist aus Gründen der Kerndämmung zweischaliger Außenwände nicht gerechtfertigt.

Essen, den 29.11.1984

Dr. Zu/Bu

Der Institutsleiter:



(Dipl.-Ing. Fossum)

Der Sachbearbeiter:

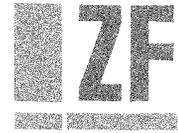


(Dr.-Ing. Zumbroich)

## Literaturverzeichnis:

- / 1/ DIN 1053, Blatt 1 November 1974:  
Mauerwerk - Berechnung und Ausführung -
- / 2/ Jung, E.; Zumbroich, H.; Schellbach, G.:  
Energieeinsparung durch Kerndämmung bei zweischaligem  
Mauerwerk  
Forschungsbericht des IZF August 1983
- / 3/ Zumbroich, H.; Schellbach, G.:  
Geschoßweise Verankerung der Vorsatzschale von  
zweischaligem Mauerwerk  
Forschungsbericht des IZF vom August 1984
- / 4/ Zumbroich, H.:  
Einfaches Verfahren zur Ermittlung von maximalen  
Wärmeeigenstressungen in mehrschichtigen Außen-  
bauteilen  
Dissertation TH Aachen 1980
- / 5/ Zumbroich, H.:  
Neues Temperaturbelastungsmodell zur Berechnung  
von Wärmeeigenstressungen in Außenbauteilen  
Bauphysik 3 (1981), Heft 6, S. 201-206
- / 6/ Zumbroich, H.:  
Maximale Wärmeeigenstressungen in Mehrschicht-  
konstruktionen - neues einfaches Berechnungs-  
verfahren -  
Die Bautechnik 59 (1981), Heft 1, S. 15-21
- / 7/ Verfasser unbekannt:  
Freistehende Ziegelverblendschale, dargestellt  
am Beispiel Handelsschule VII, Hamburg, Hebebrandstr.  
Z-Technik 15 (1981), S. 34-39
- / 8/ Mayer, E.; Künzel, H.:  
Wärme- und Regenschutz bei zweischaligem Sicht-  
mauerwerk mit Kerndämmung  
Forschungsbericht des Fraunhofer-Institut für Bauphysik  
Außenstelle Holzkirchen Mai 1983
- / 9/ Gertis, K.; Hauser, H.:  
Instationäre Berechnungsverfahren für den sommerlichen  
Wärmeschutz im Hochbau  
Berichte aus der Bauforschung Heft 102, S. 25-53
- /10/ Mackey, C.O.; Wright, L.T.:  
Periodic heat flowhomogeneous walls and roofs,  
ASHVE Transactions  
Vol. 50, 1944, S. 293-312

- /11/ Heindl, W.; Koch, H.:  
Die Berechnung von Sonnenstrahlungsintensitäten  
für wärmetechnische Untersuchungen im Bauwesen  
Gesundheits-Ingenieur, (1976), S. 301-314
- /12/ Franke, Horst.:  
Über die Temperaturverteilung in dünnen Betonkonstruktionen,  
insbesondere in zweischichtigen Betonwänden, infolge der  
Extremalwerte der Lufttemperatur und der Sonneneinstrahlung  
Fortschr.-Ber. VDI-Z., Reihe 4, Nr. 12, 1968
- /13/ Haferland, F.:  
Das wärmetechnische Verhalten mehrschichtiger Außenwände  
Wiesbaden/Berlin 1970
- /14/ DIN 4108 Teil 4, August 1981:  
Wärmeschutz im Hochbau - Wärme- und feuchteschutztech-  
nische Kennwerte
- /15/ Schubert, P.; Wesche K.:  
Verformung und Rißsicherheit von Mauerwerk  
Mauerwerk-Kalender 1984, S. 85-98
- /16/ Jung, E.; Schellbach, G.:  
Überprüfung des Feuchtigkeitsverhaltens von ausgeschäumten  
Hohlschichtwänden über einen Zeitraum von drei Jahren  
Forschungsbericht des IZF v. November 1982

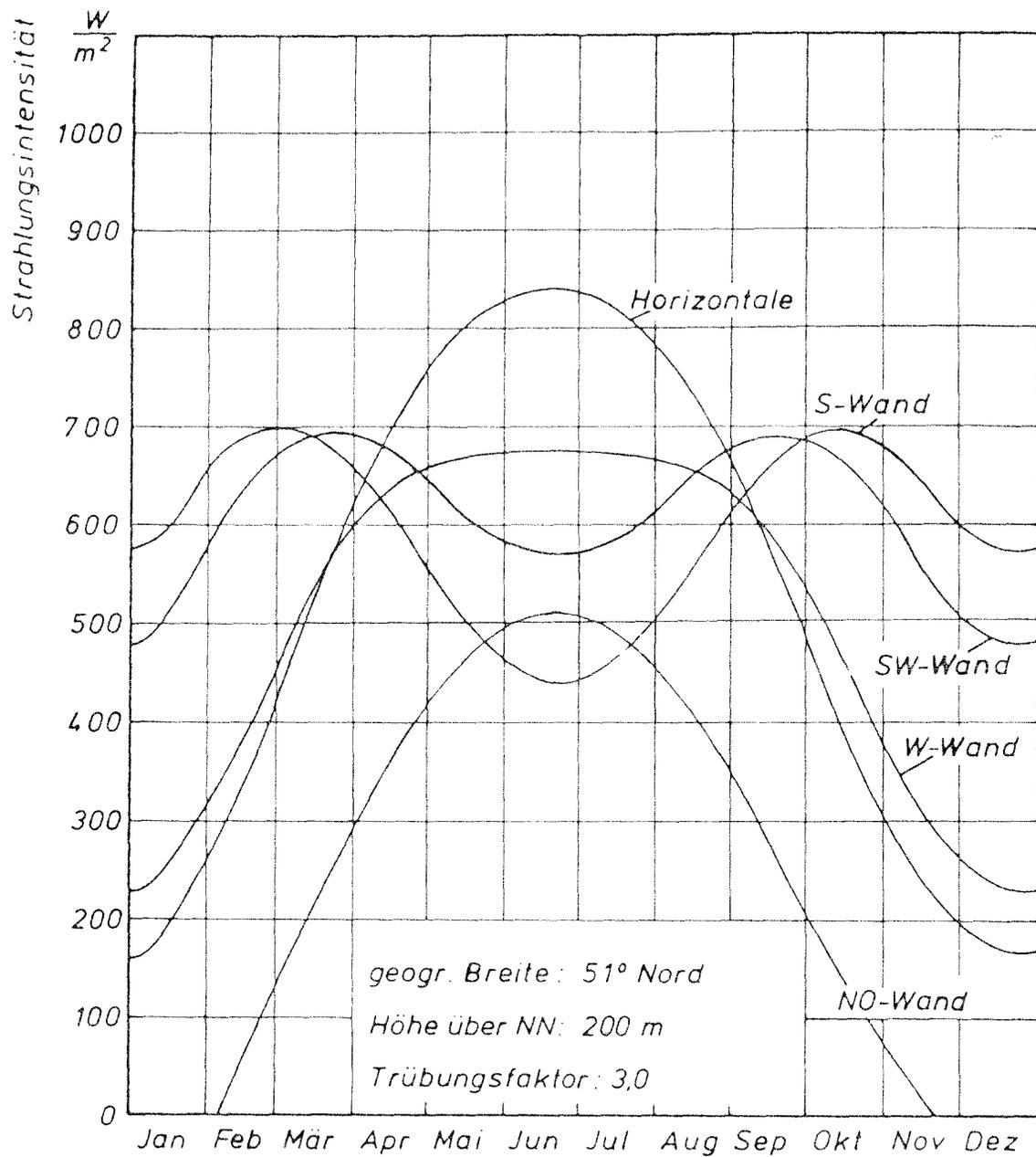


A N L A G E N

zum

Forschungsvorhaben

"Maximale Temperaturbelastungen der Vormauerschale  
von Außenwandkonstruktionen mit Kerndämmung"

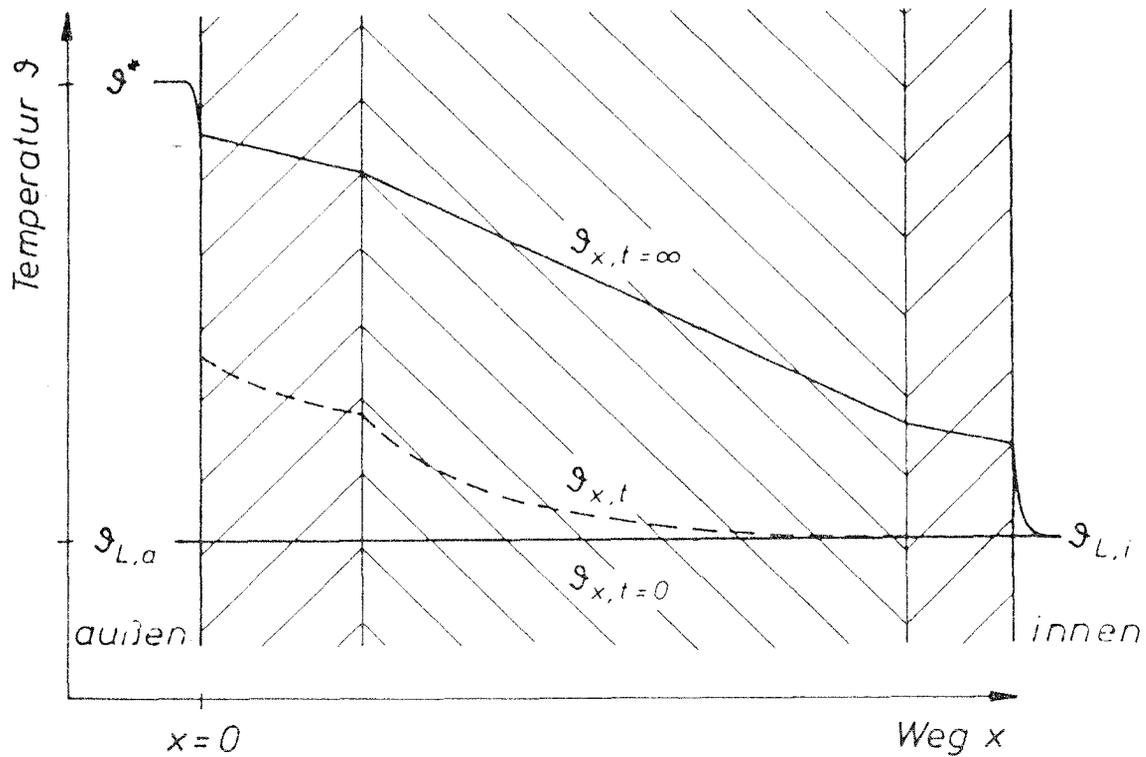


Maximale tägliche Sonneneinstrahlung (direkte Strahlung) auf Flächen verschiedener Orientierung in Abhängigkeit der Jahreszeit.

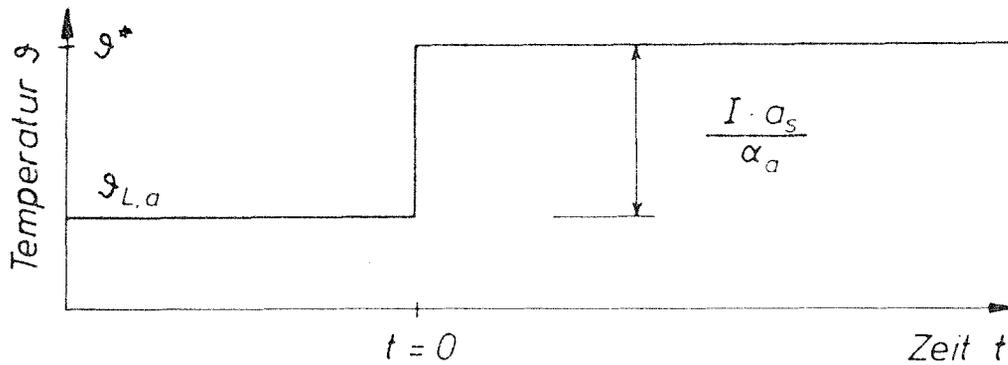
Der Zeitpunkt des täglichen Maximalwertes ist variabel.

Der Trübungs faktor ist konstant.

### Temperaturverlauf im Außenbauteil

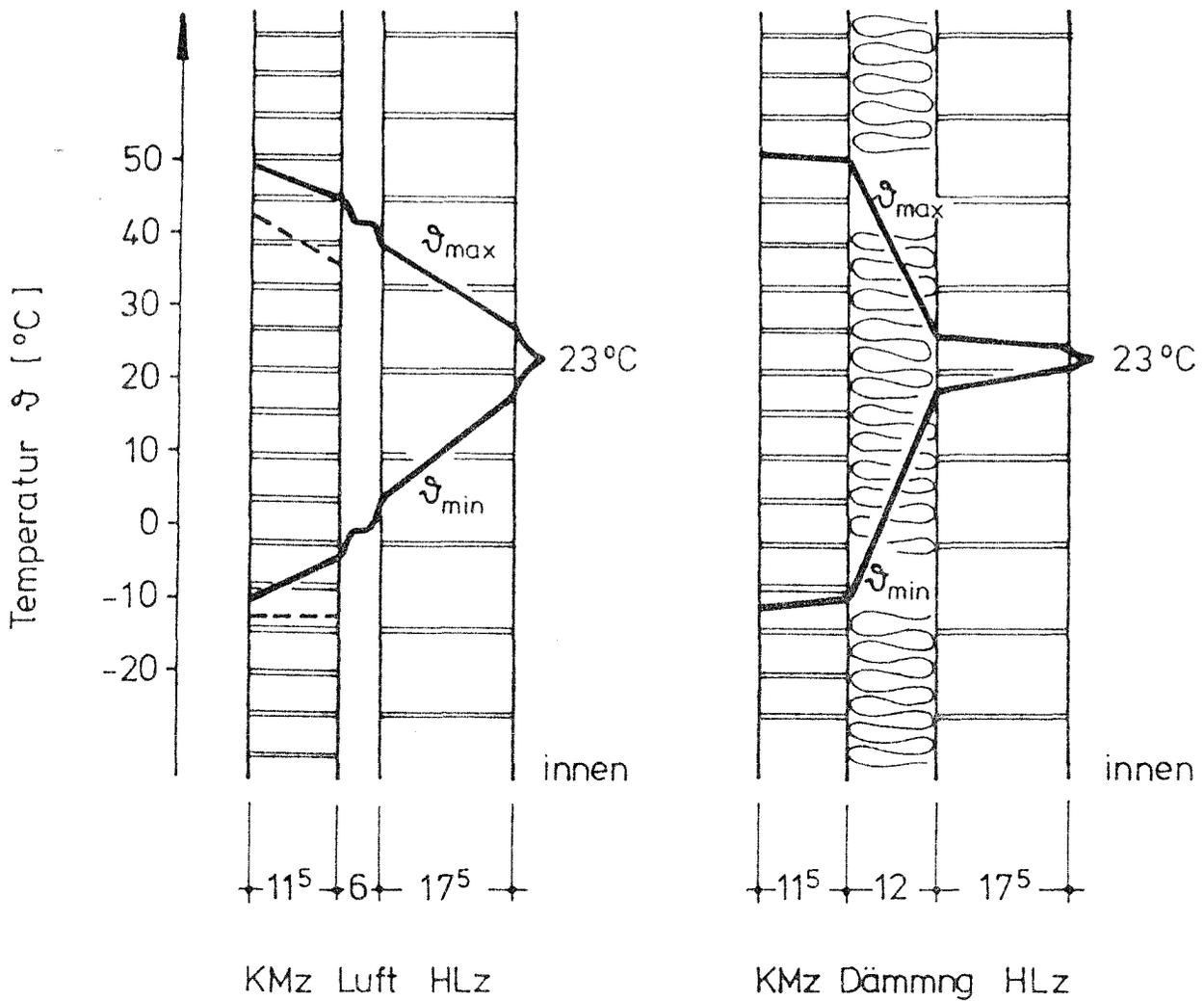


### Temperaturbelastung außen



$\alpha_i = 8 \text{ W/m}^2\text{K}$	$I = 800 \text{ W/m}^2$
$\alpha_a = 23 \text{ W/m}^2\text{K}$	$I = 1000 \text{ W/m}^2 \text{ (Gebirge)}$
$\theta_{L,i} = 23 \text{ }^\circ\text{C}$	$a_s = 0,9 \text{ (dunkel)}$
$\theta_{L,a} = 23 \text{ }^\circ\text{C}$	$a_s = 0,8 \text{ (grau,bunt)}$
$\theta_{x,t=0} = 23 \text{ }^\circ\text{C}$	$a_s = 0,5 \text{ (hell)}$

Schema des Temperaturbelastungsmodells

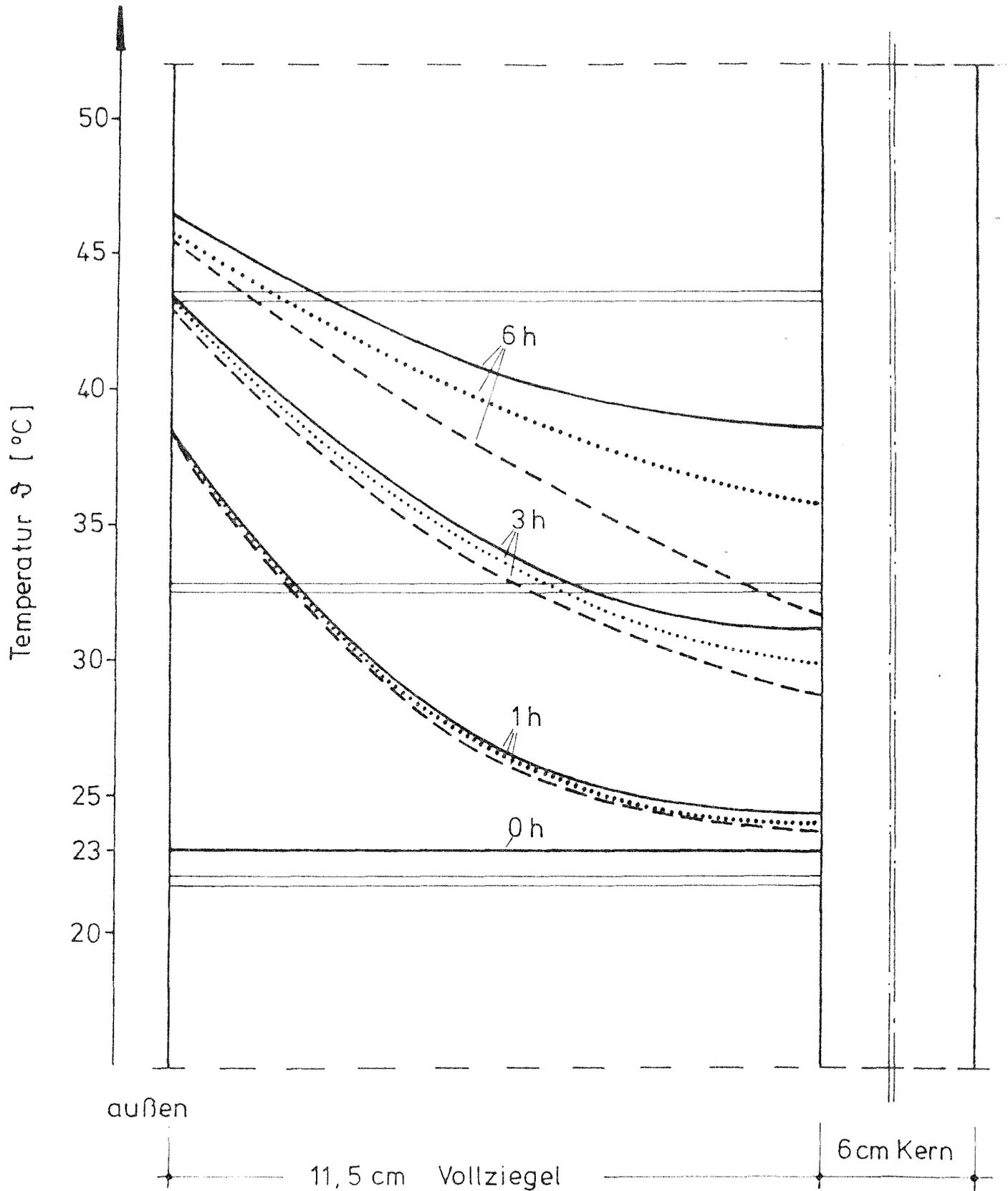


Extreme (stationäre) Temperaturen in zweischaligem Mauerwerk bei gleichen äußeren Randbedingungen  
links: mit Luftschicht

————  $1/\Lambda = 0,17 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$

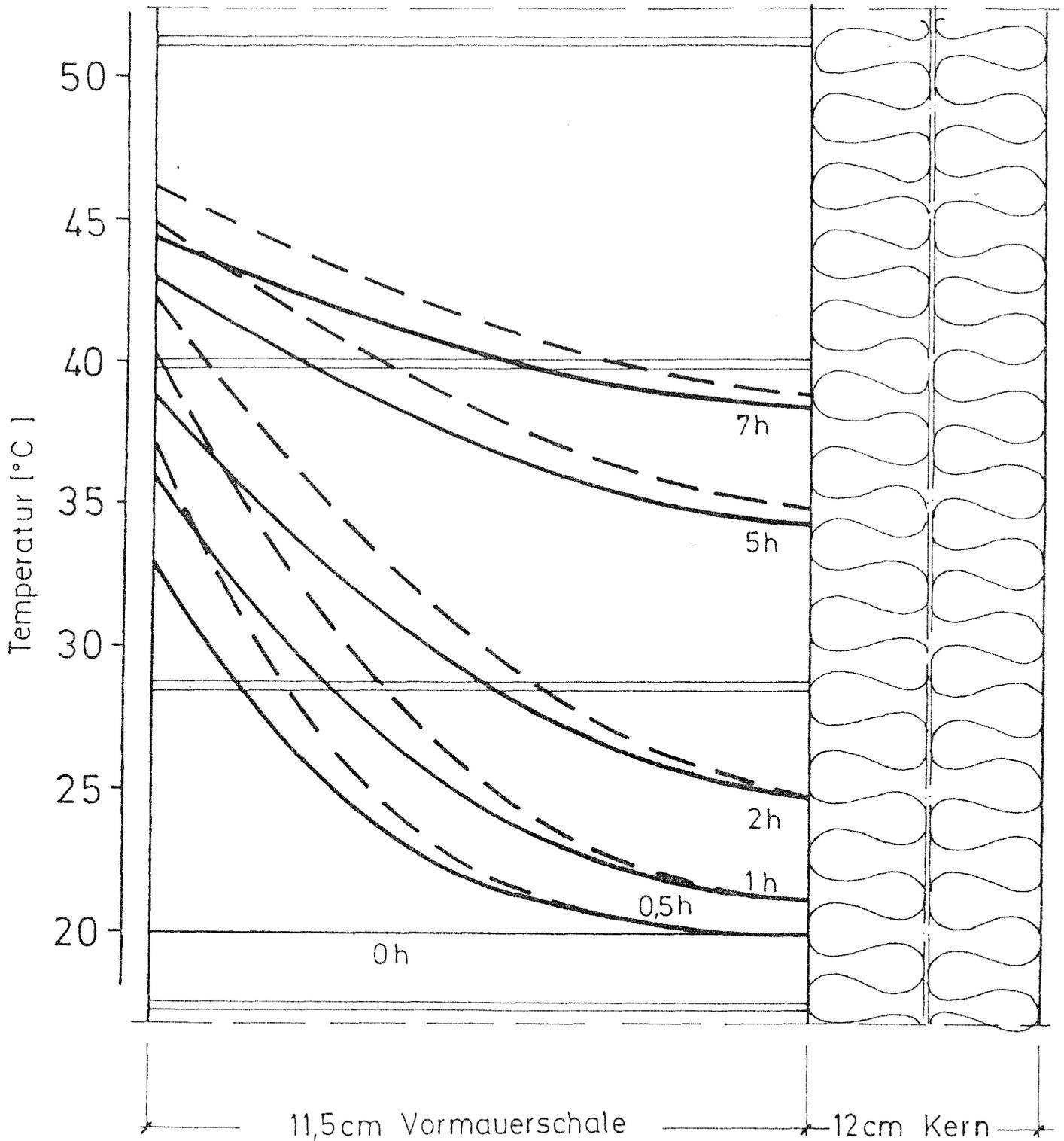
-----  $\theta$  Luftschicht =  $\theta$  Außenluft

rechts: mit Kerndämmung ( $\lambda = 0,035 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ )



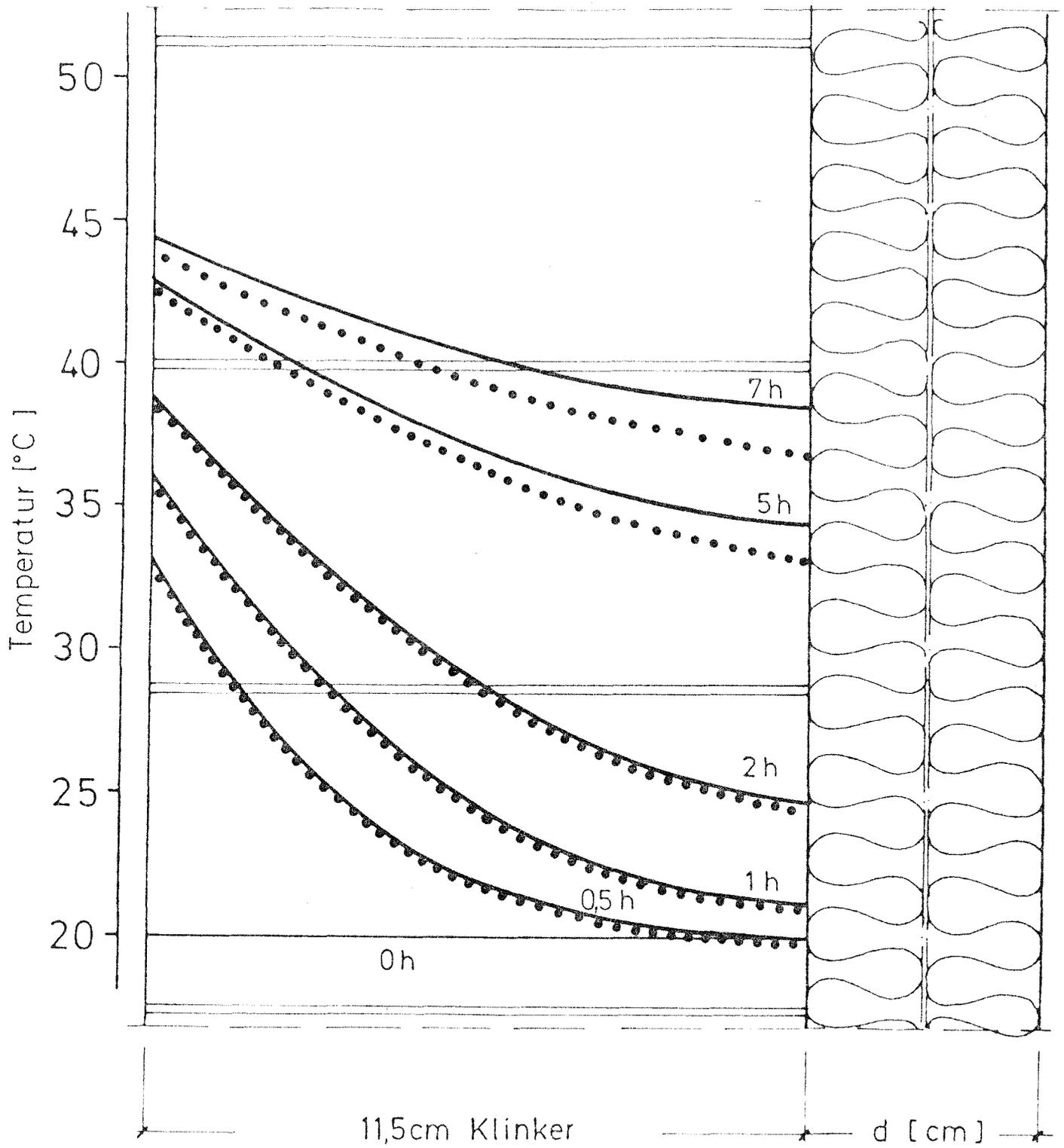
Temperaturanstieg in der Vormauerschale eines zweischaligen Mauerwerks bei plötzlicher Besonnung. Variation des Kerns bei sonst gleichen Parametern

- bei 6,0 cm Dämmschicht ( $\lambda = 0,035 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ )
- ..... bei 6,0 cm Luftschicht ( $1/\Lambda = 0,17 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$ )
- bei 6,0 cm Luftschicht ( $\vartheta$  Luftschicht  $\hat{=}$  Außenluft)



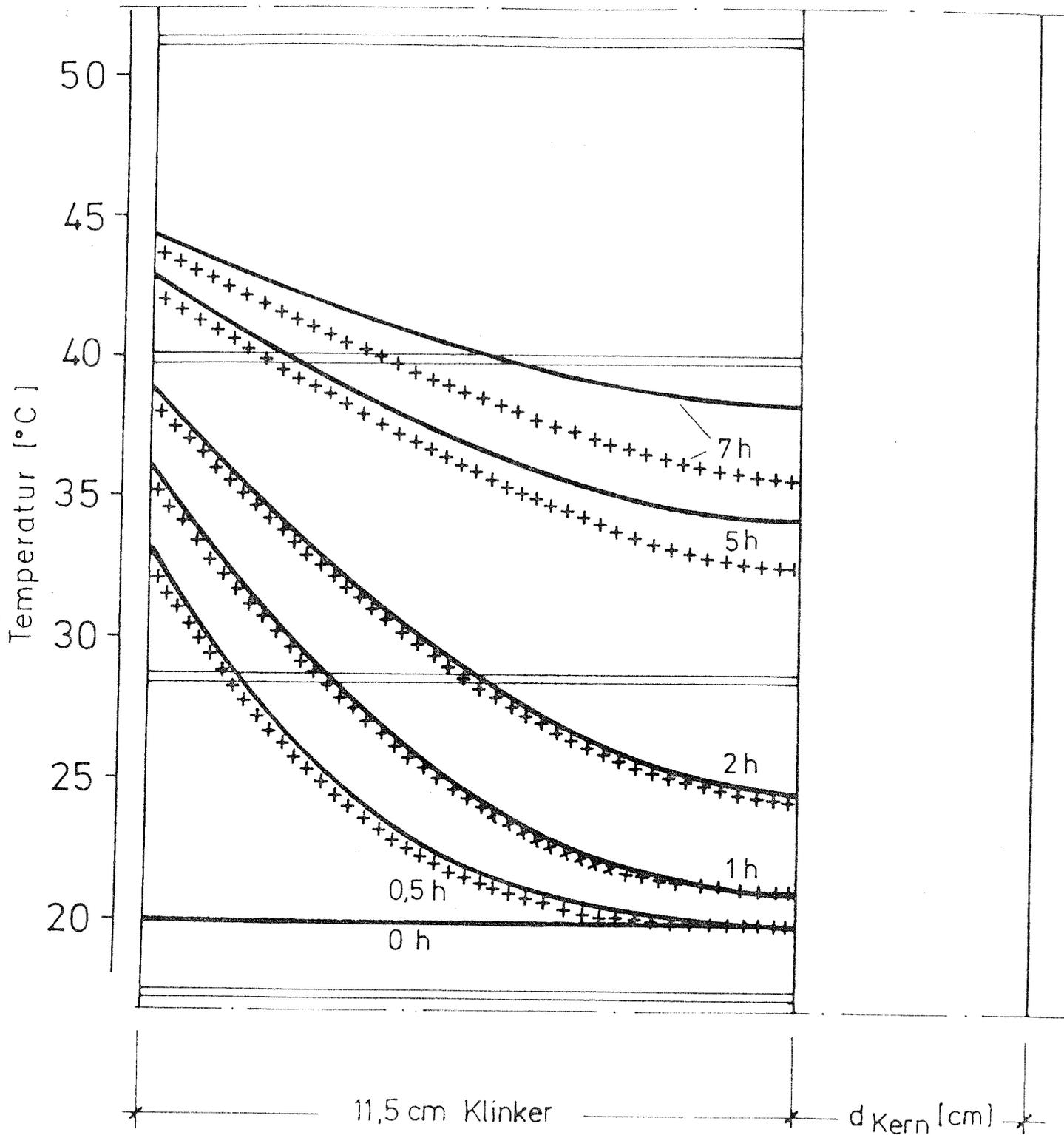
Temperaturanstieg in der Vormauerschale eines zweischaligen Mauerwerks bei plötzlicher Besonnung. Variation der Verblendziegel bei sonst gleichen Parametern.

- Klinker ( $\lambda = 0,96 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ ;  $c = 0,25 \text{ Wh}/(\text{kg}\cdot\text{K})$ ;  $\rho = 2000 \text{ kg}/\text{dm}^3$ )
- - - - Hochlochziegel ( $\lambda = 0,5 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ ;  $c = 0,25 \text{ Wh}/(\text{kg}\cdot\text{K})$ ;  $\rho = 1200 \text{ kg}/\text{dm}^3$ )



Temperaturanstieg in der Vormauerschale eines zweischaligen Mauerwerks bei plötzlicher Besonnung. Variation der Dicke der Kerndämmschicht bei sonst gleichen Parametern.

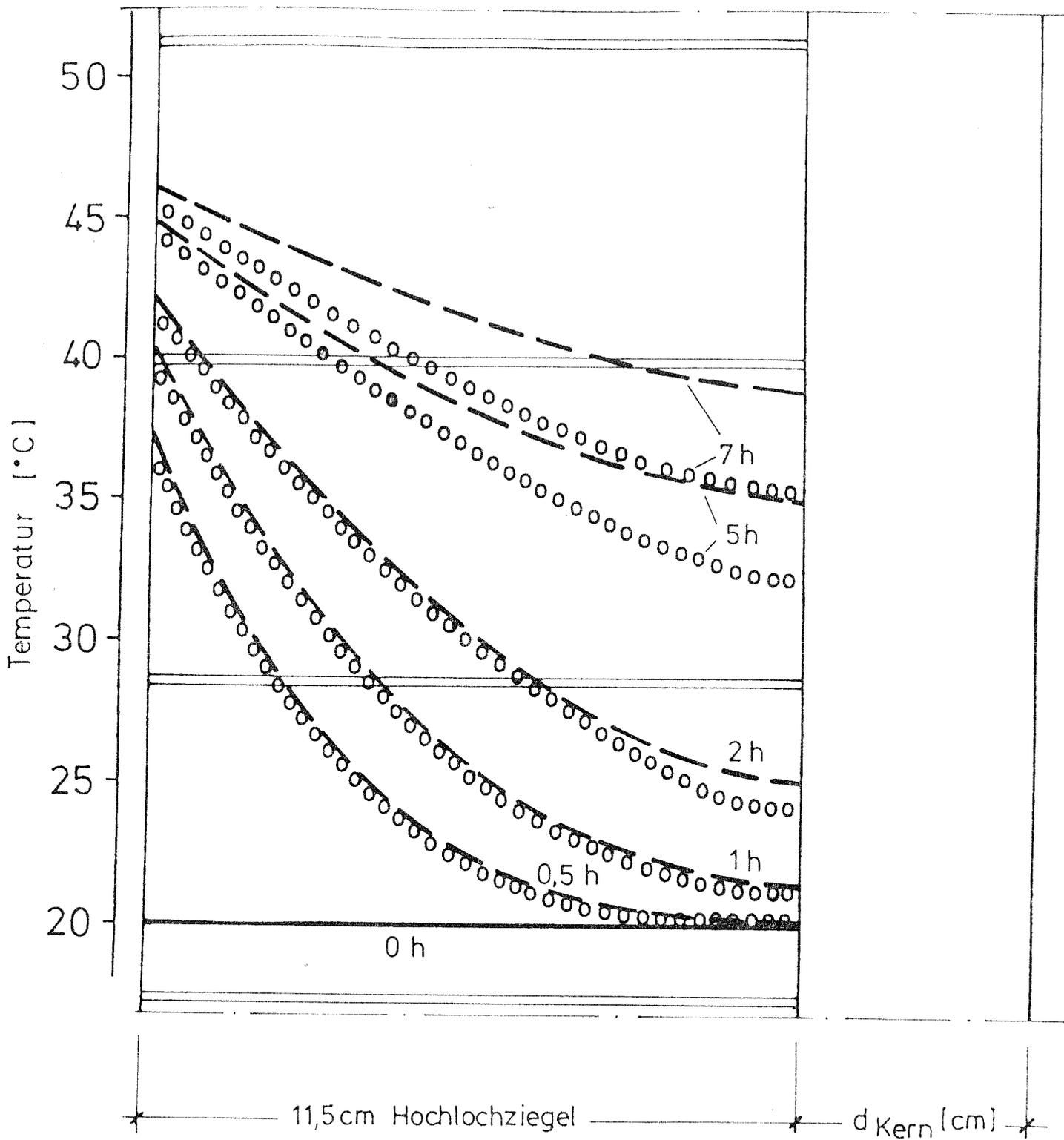
- $d_{\text{Kern}} = 12 \text{ cm}$
- .....  $d_{\text{Kern}} = 4 \text{ cm}$



Temperaturanstieg in der Vormauerschale aus Klinkern eines zwei-schaligen Mauerwerks bei plötzlicher Besonnung. Variation des Kerns bei sonst gleichen Parametern .

—————  $d_{\text{Kern}} = 12 \text{ cm}$  Kerndämmung aus Mineralfaserplatten  
 ( $\lambda = 0,035 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ )

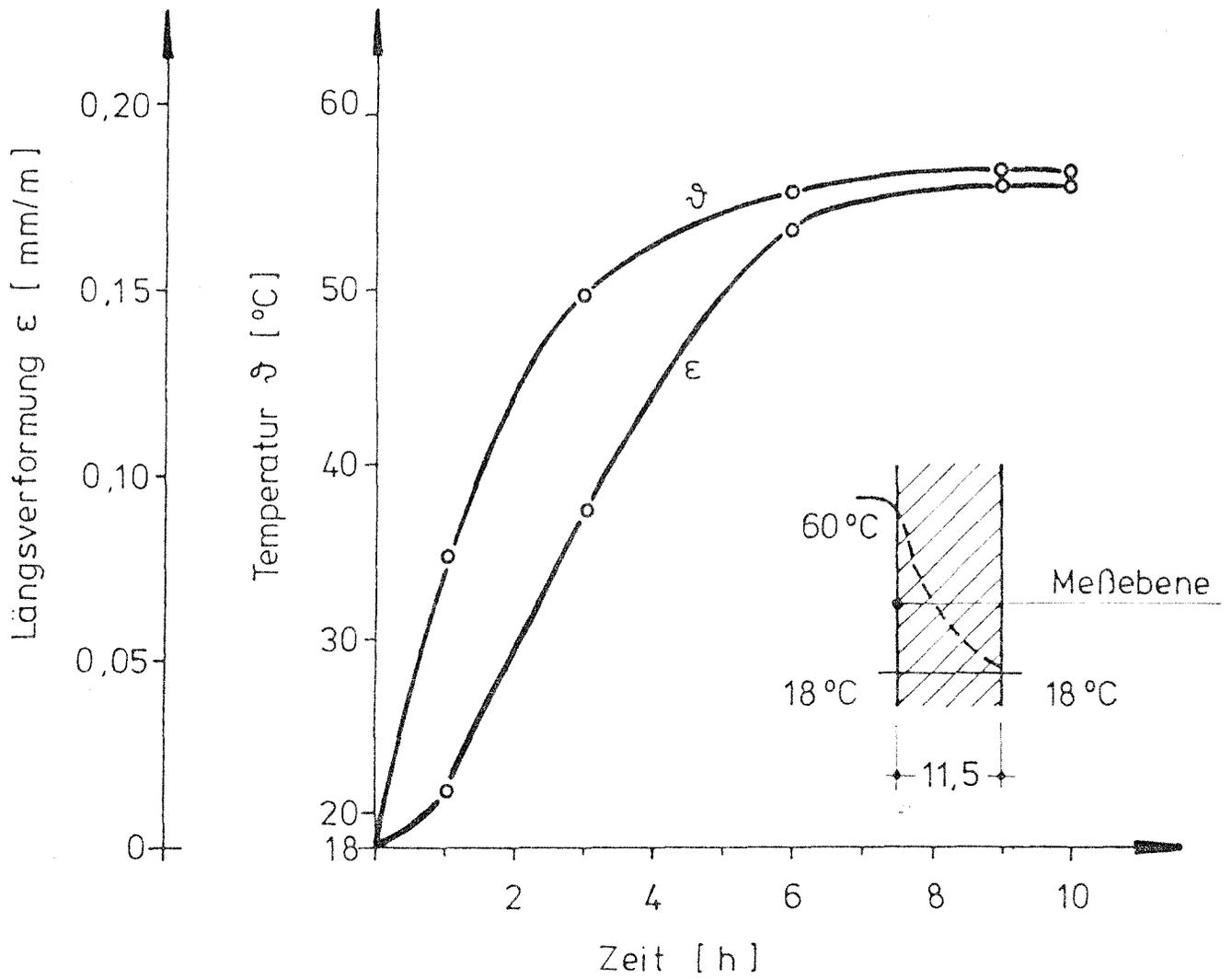
xxxxxxx  $d_{\text{Kern}} = 4 \text{ cm}$  Luftschicht ( $1/\Lambda = 0,17 \text{ m}^2\cdot\text{K/W}$ )



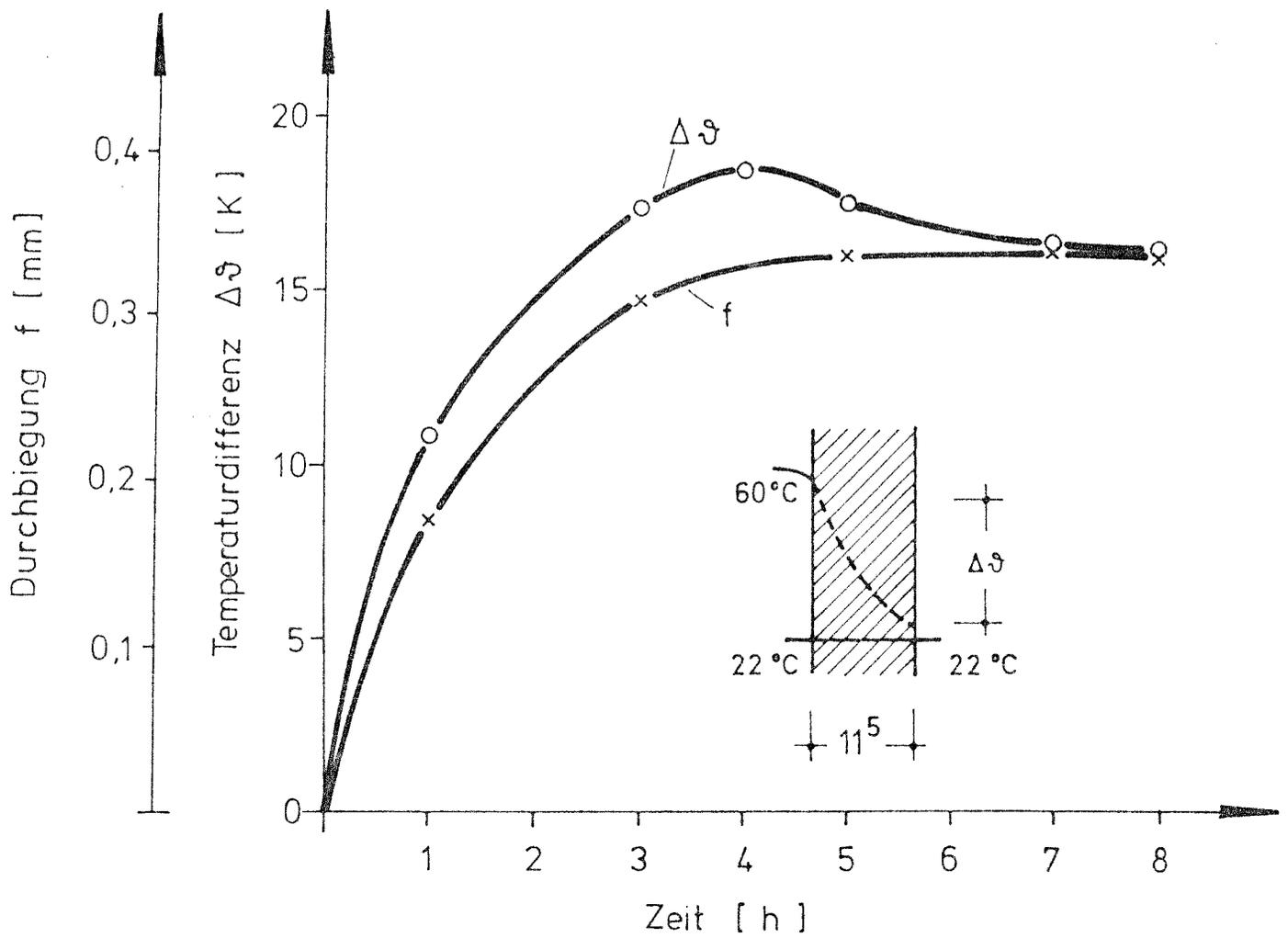
Temperaturanstieg in der Vormauerschale aus Hochlochziegeln eines zweischaligen Mauerwerks bei plötzlicher Besonnung. Variation des Kerns bei sonst gleichen Parametern.

—  $d_{\text{Kern}}$  = 12 cm Kerndämmung aus Mineralfaserplatten ( $\lambda = 0,035 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ )

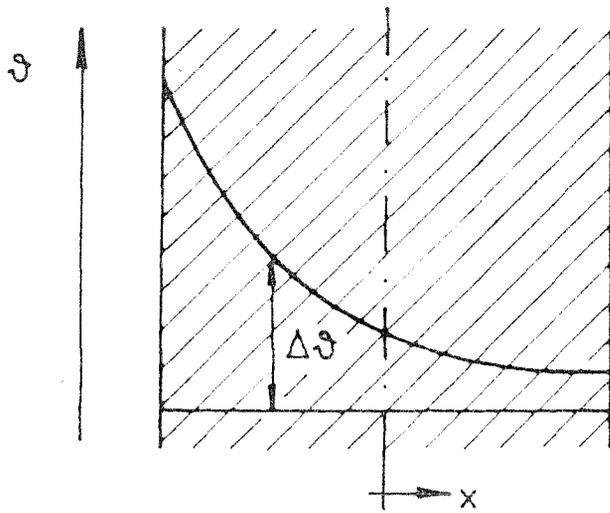
oooooo  $d_{\text{Kern}}$  = 4 cm Luftschicht ( $1/\Lambda = 0,17 \text{ m}^2\cdot\text{K/W}$ )



Temperaturanstieg  $\theta$  und Längsverformung  $\epsilon$  der erwärmten Seite einer Verblendschale (Vollziegel) ohne äußere Verformungsbehinderung

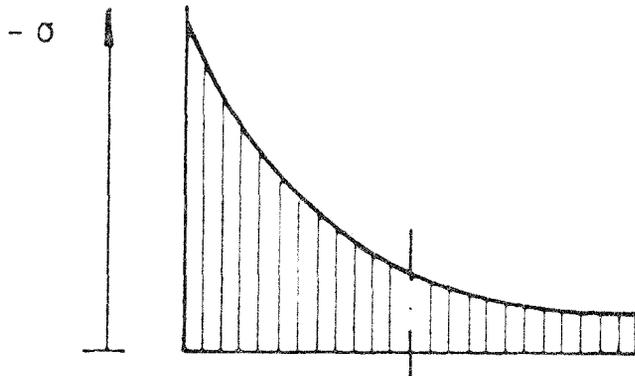


Temperaturdifferenz der Oberflächentemperaturen  $\Delta\theta$  und Durchbiegung  $f$  einer einseitig erwärmten Wand (1,5x1,5 m) aus Vollziegeln in Abhängigkeit der Zeit



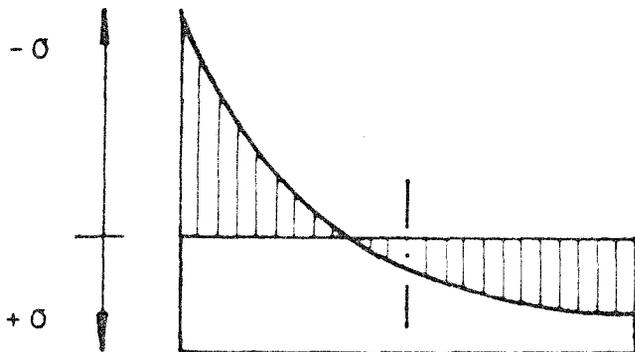
Temperaturen im  
Wandquerschnitt

instationäre Temperatur  
Einbautemperatur



Zwängungsspannungen

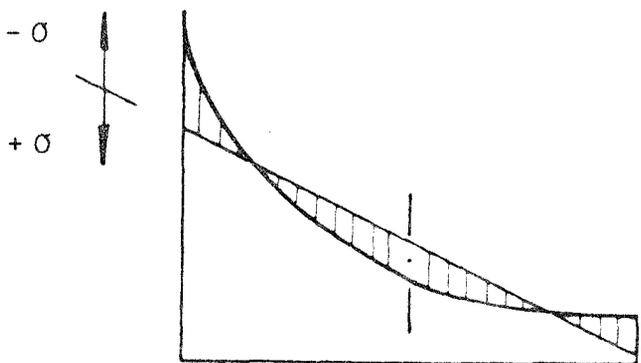
$$\sigma = E \cdot \alpha_{\theta} \cdot \Delta\theta$$



Spannungen bei  
behinderter Krümmung

$$\sigma = E (\alpha_{\theta} \cdot \Delta\theta - \epsilon_m)$$

$\epsilon_m \hat{=} \text{mittlere Dehnung}$

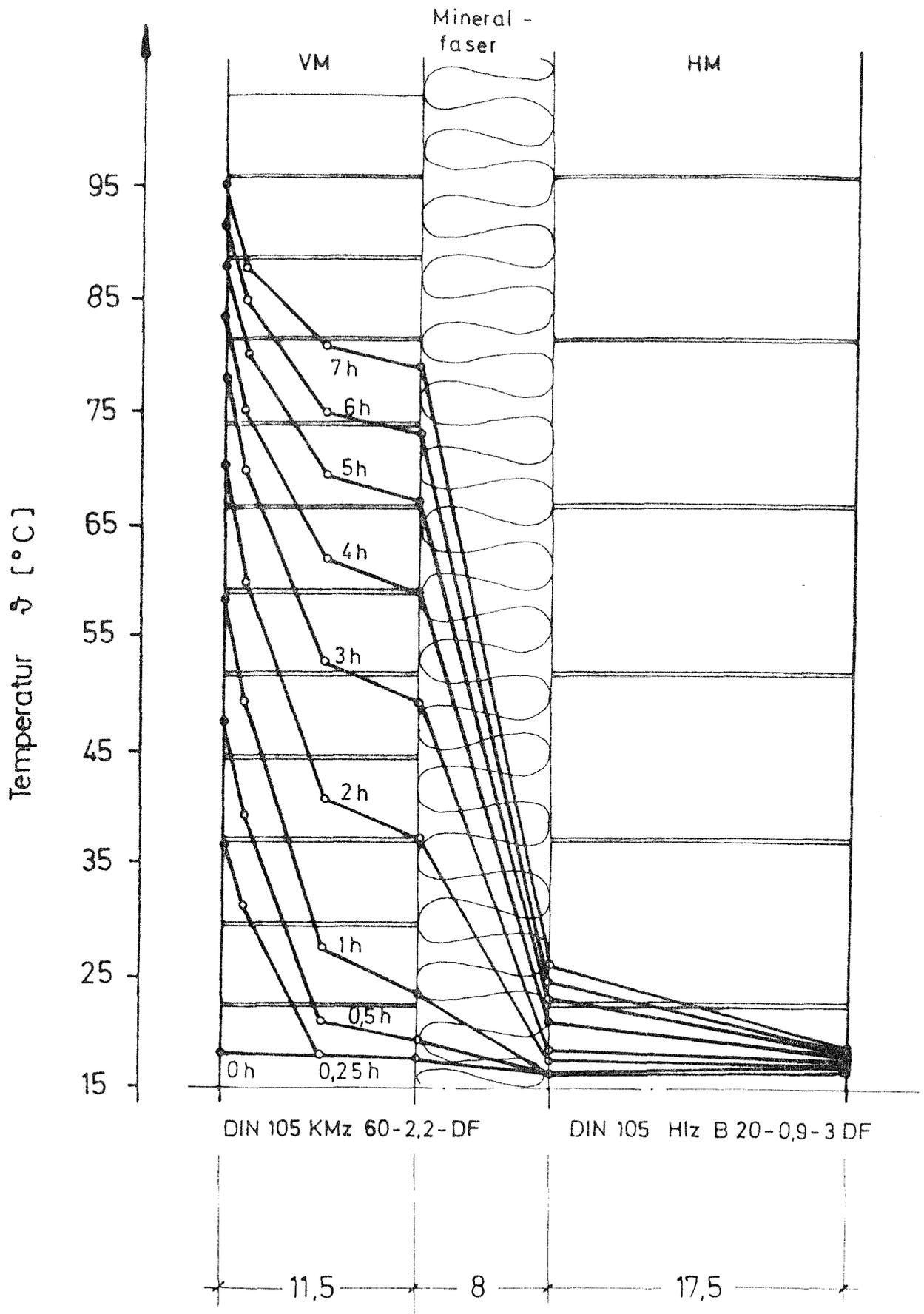


Eigenspannungen

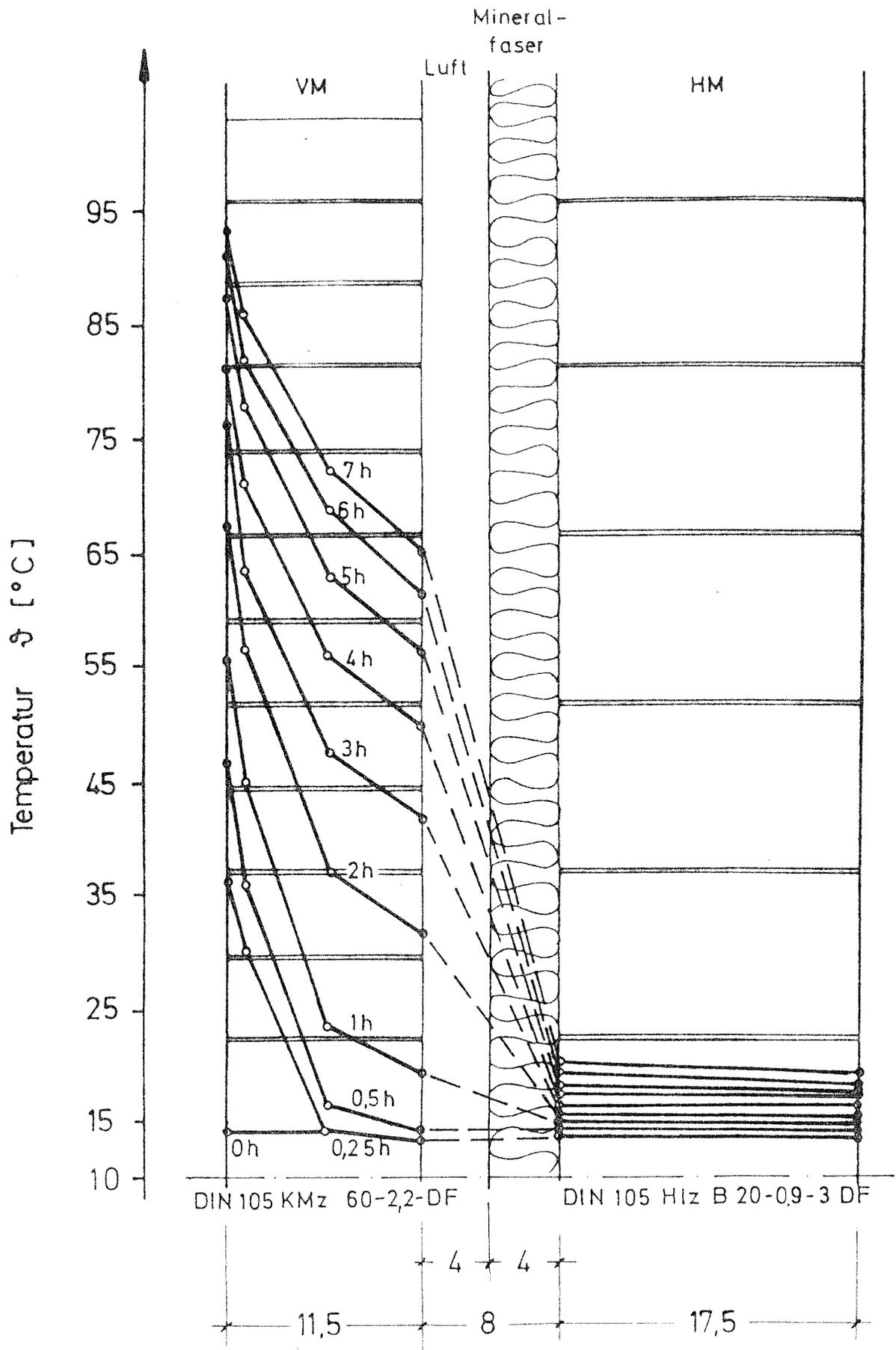
$$\sigma = E (\alpha_{\theta} \cdot \Delta\theta - \epsilon_m - \frac{x}{R})$$

$R \hat{=} \text{Krümmungsradius}$

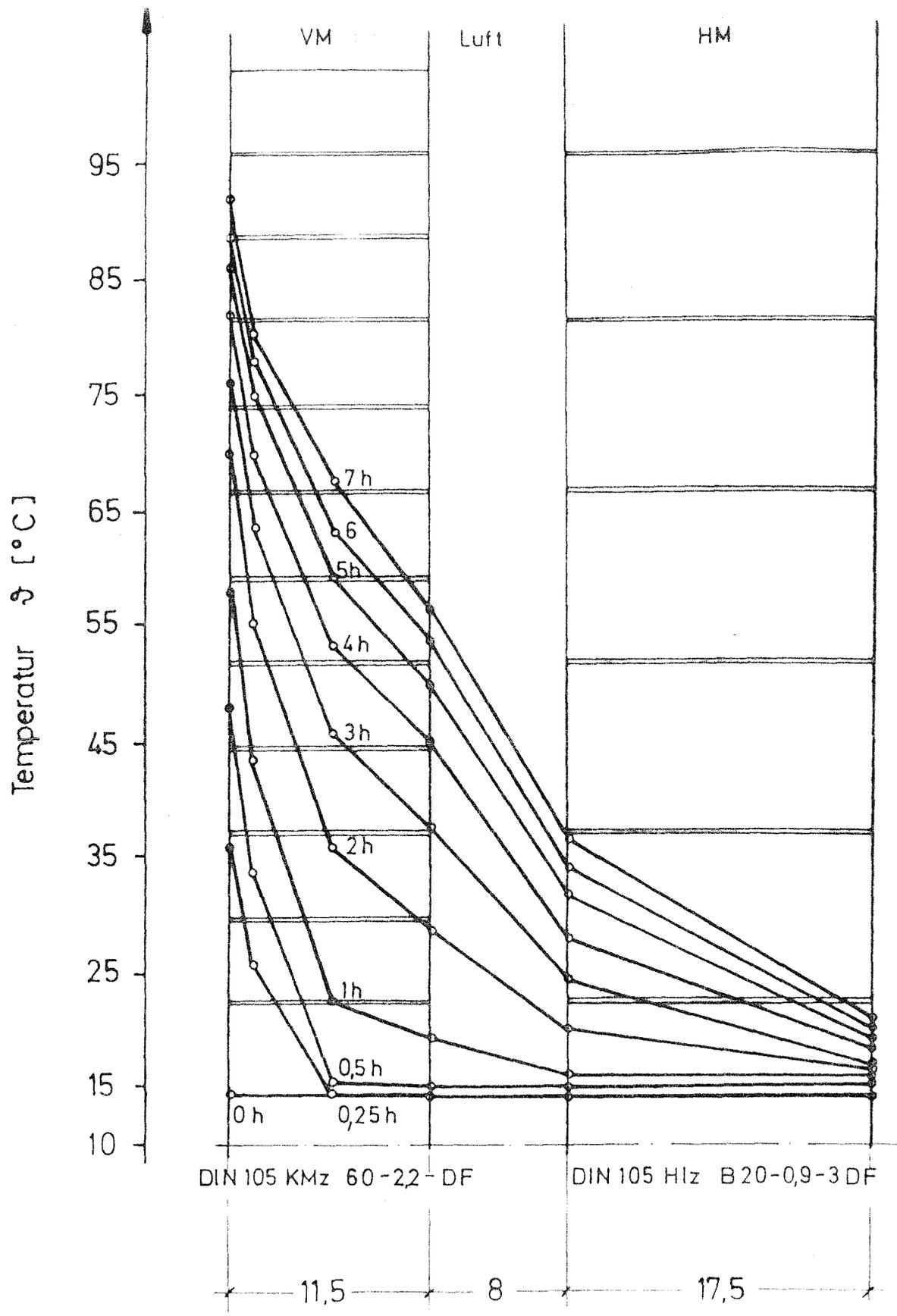
Temperaturspannungen in einer Vormauerschale in  
Abhängigkeit der Verformungsbehinderung (Prinzipiskizze)



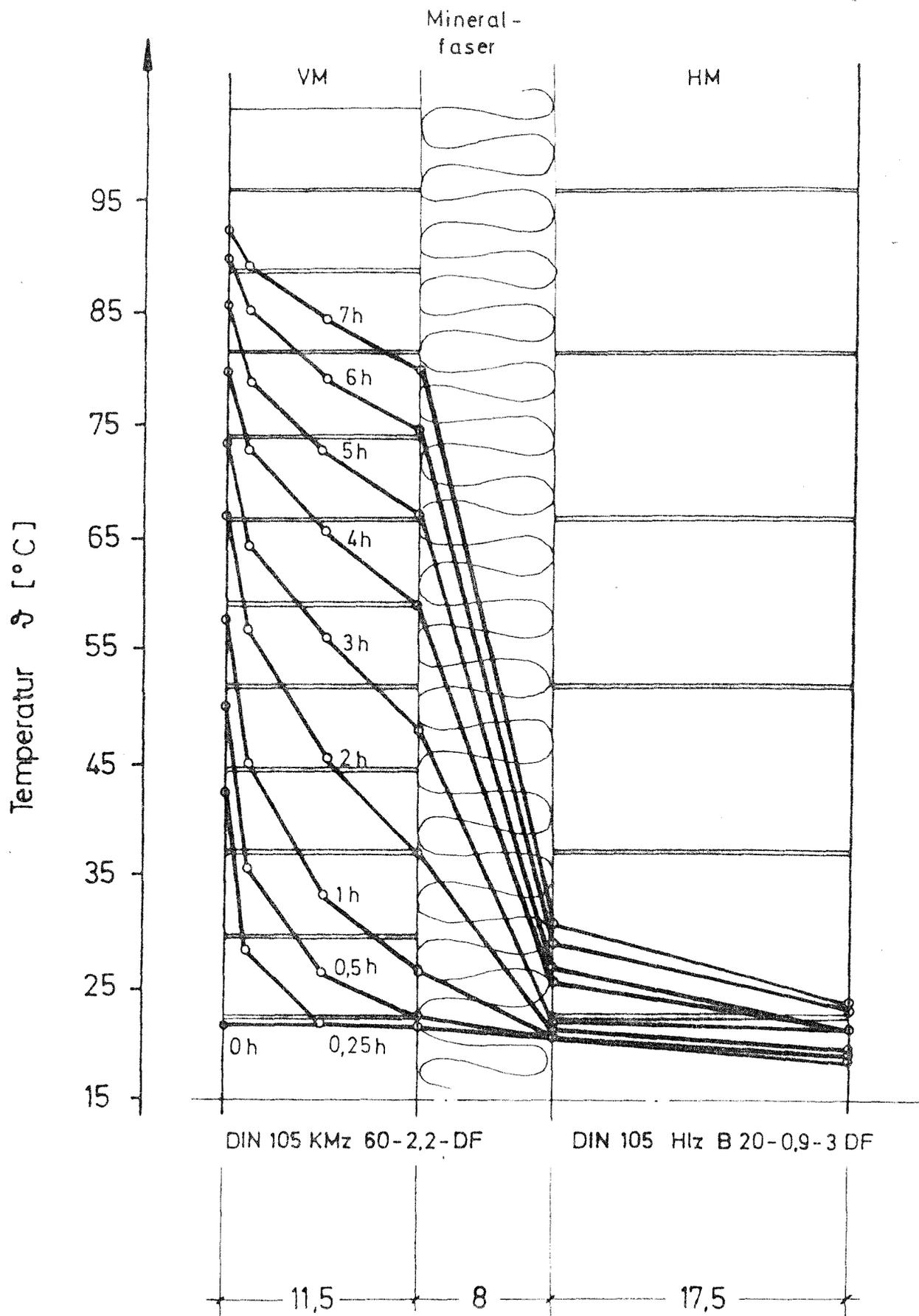
Temperaturanstieg der Versuchswand I, zweischaliges Mauerwerk mit Kerndämmung, infolge Aufheizung mit Infrarotstrahlern; Vormauerschale aus Klinkern



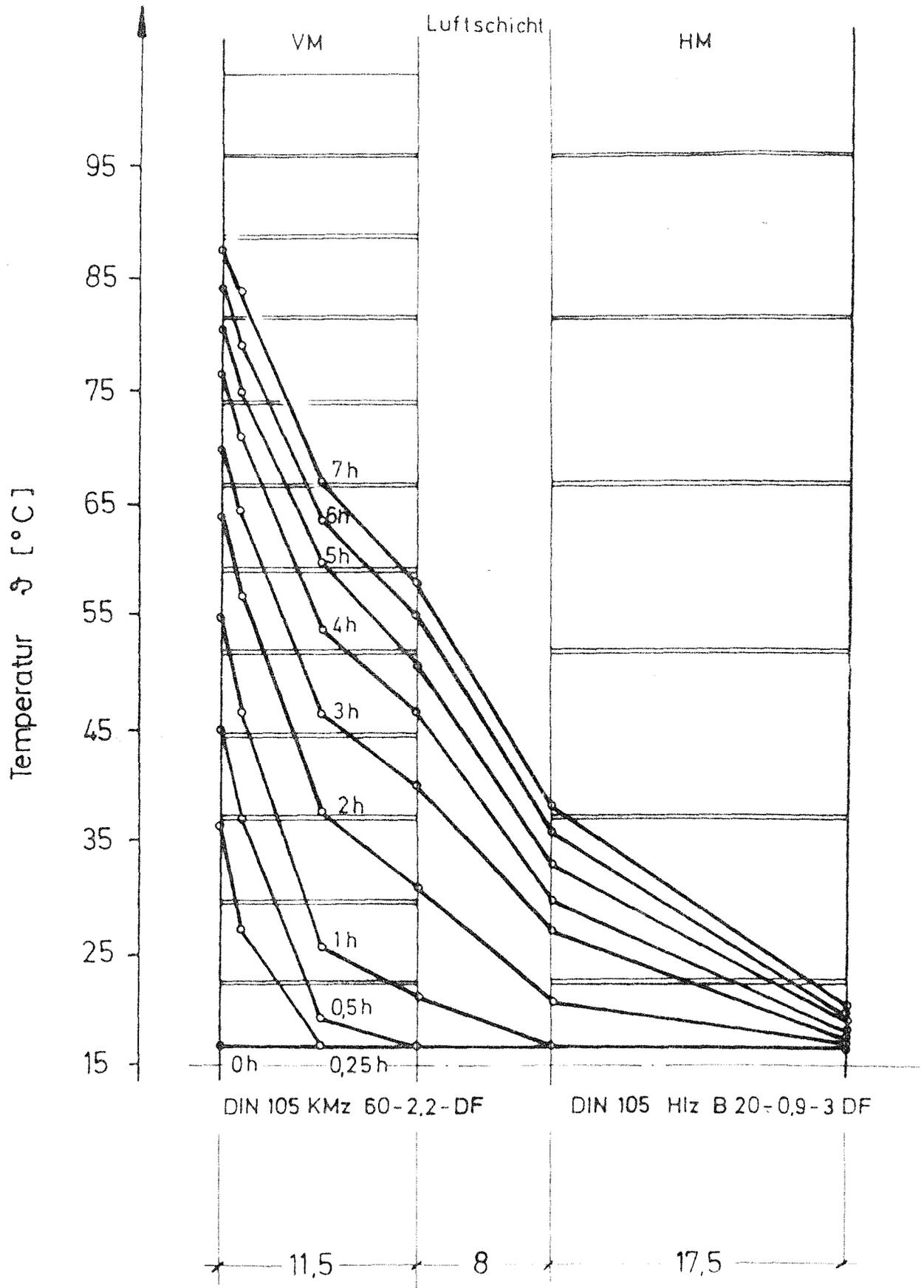
Temperaturanstieg der Versuchswand I, zweischaliges Mauerwerk mit Luftschicht und Dämmschicht, infolge Aufheizung mit Infrarotstrahlern; Vormauerschale aus Klinkern.



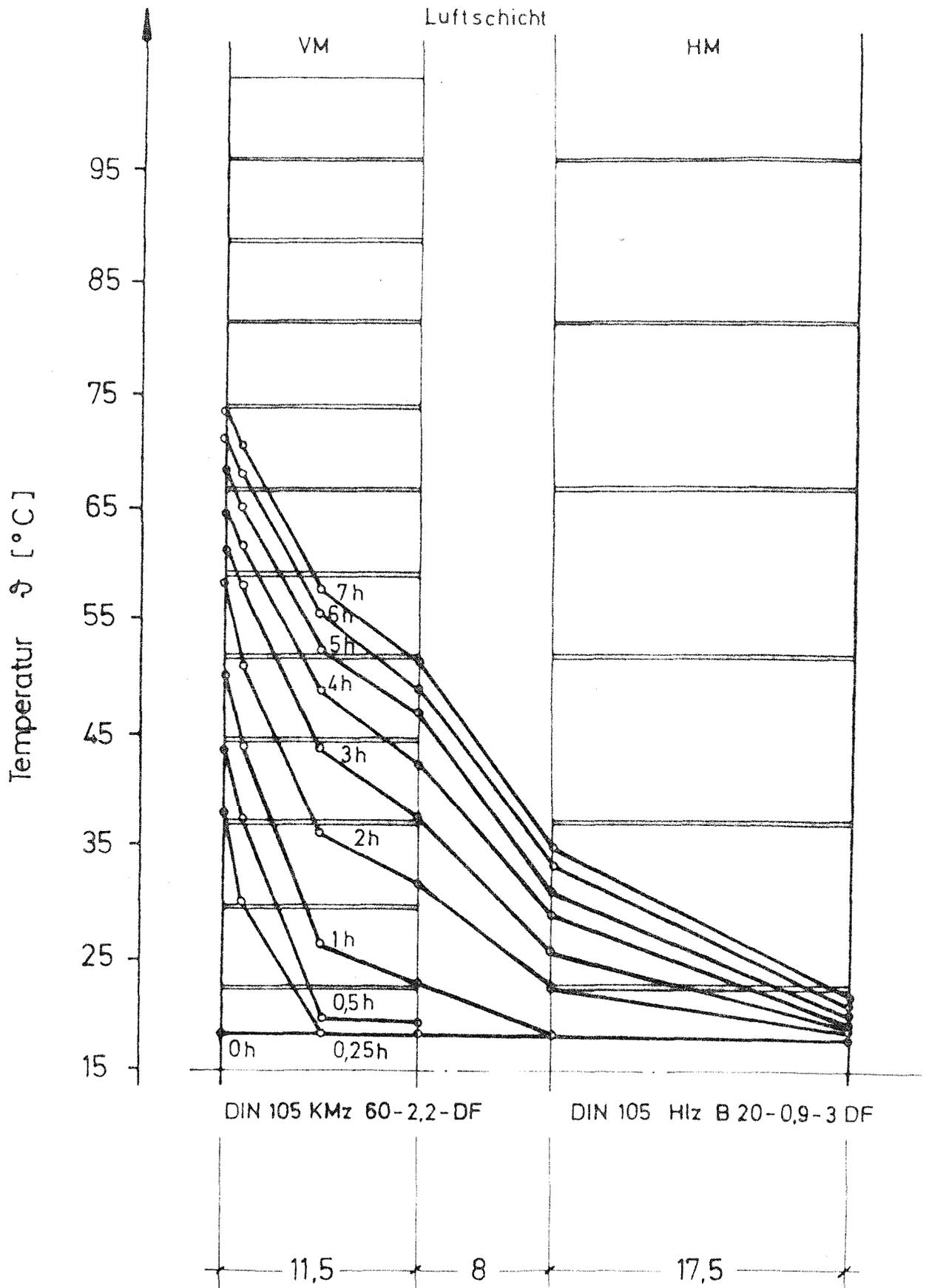
Temperaturanstieg der Versuchswand I, zweischaliges Mauerwerk mit Luftschicht, infolge Aufheizung mit Infrarotstrahlern; Vormauerschale aus Klinkern.



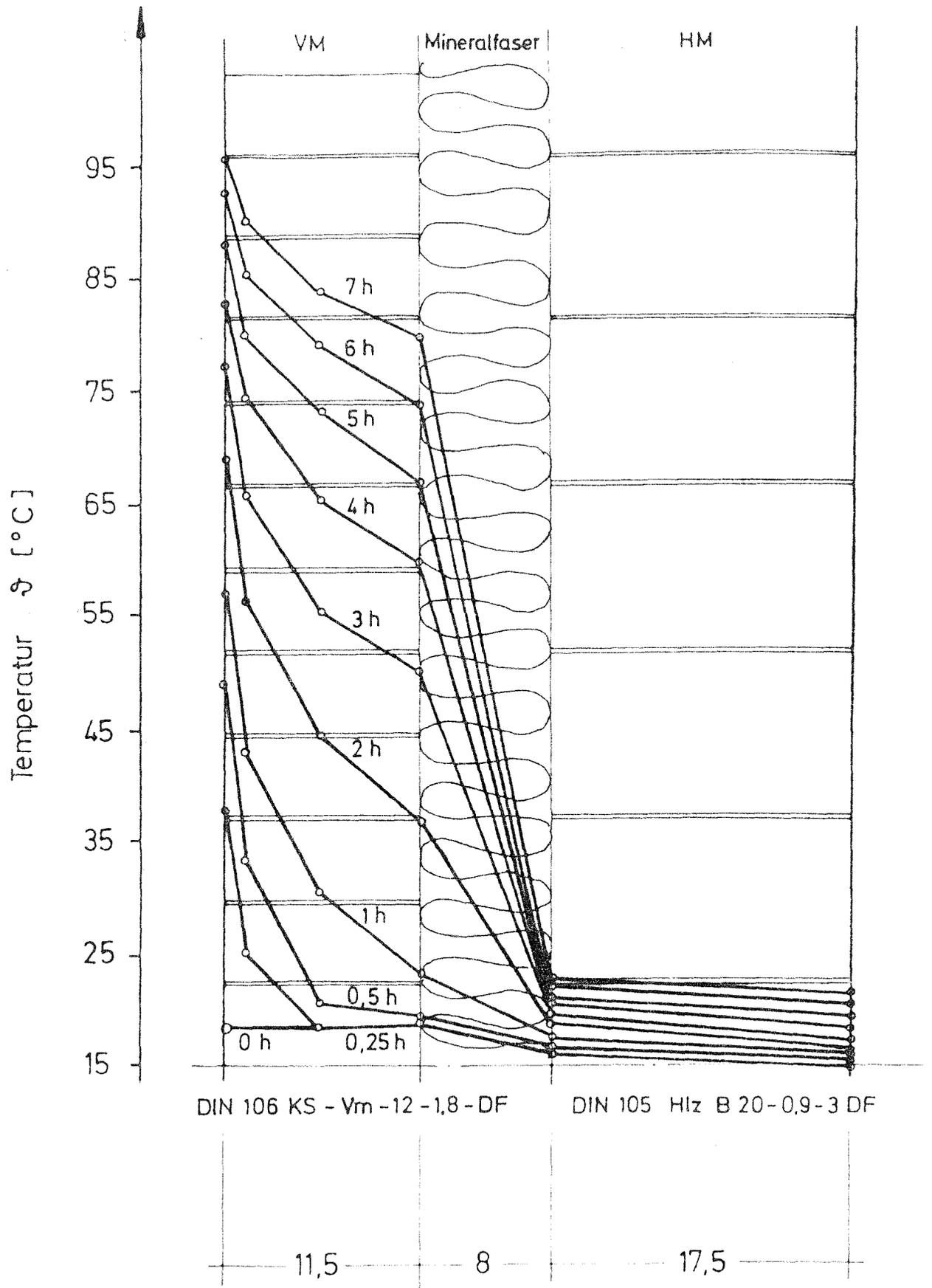
Temperaturanstieg der Versuchswand III, zweischaliges Mauerwerk mit Kerndämmung, infolge Aufheizung mit Infrarotstrahlern; Vormauerschale aus Klinkern.



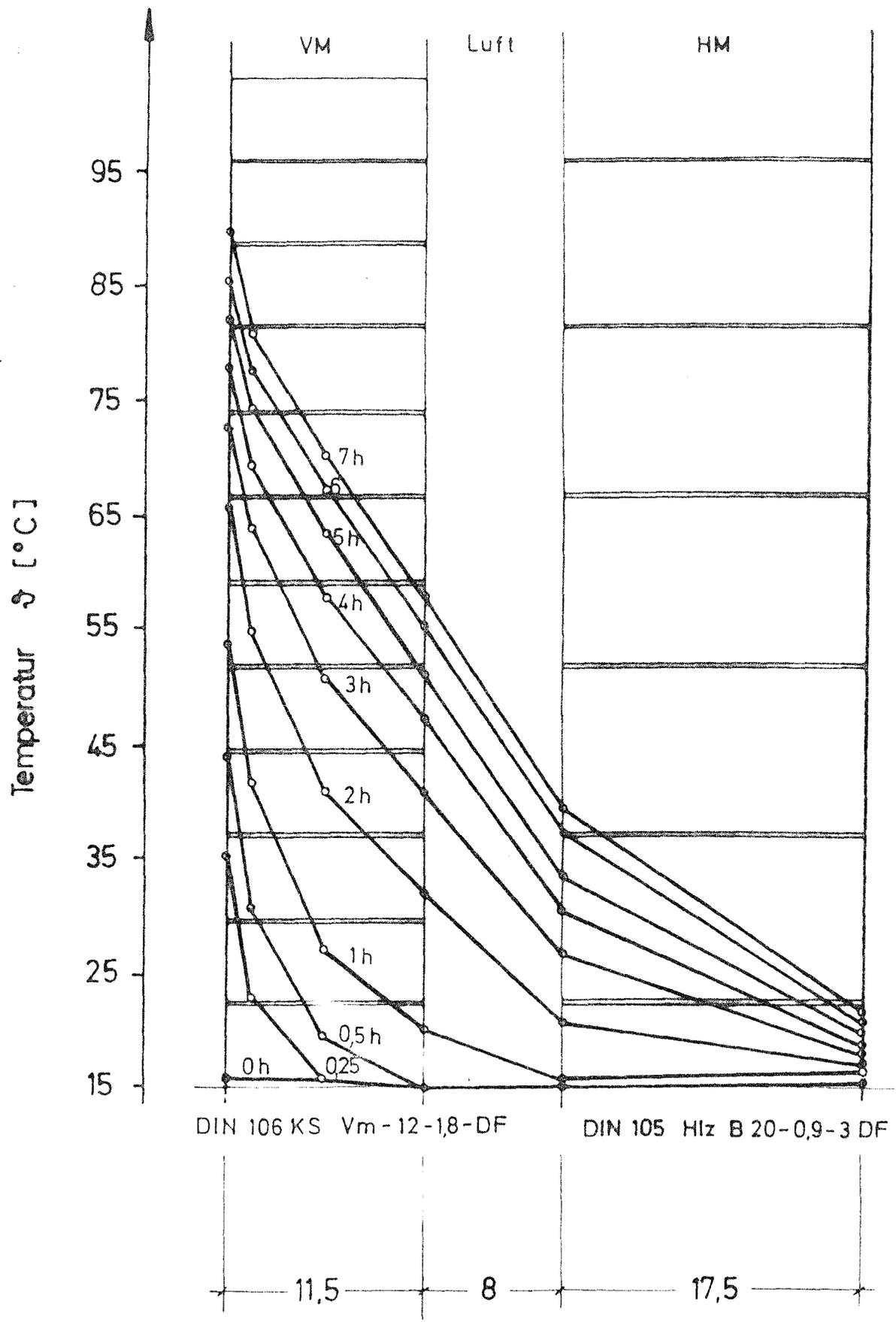
Temperaturanstieg der Versuchswand III, zweischaliges Mauerwerk mit Luftschicht, infolge Aufheizung mit Infrarotstrahlern; Vormauerschale aus Klinkern.



Temperaturanstieg der Versuchswand III, zweischaliges Mauerwerk mit Luftschicht, infolge Aufheizung mit Infrarotstrahlern; Vormauerschale aus Klinkern. Während der Aufheizung wurde hier die Vormauerschale zusätzlich mit Luft ( $v = 1-2 \text{ m/s}$ ) angeblasen.

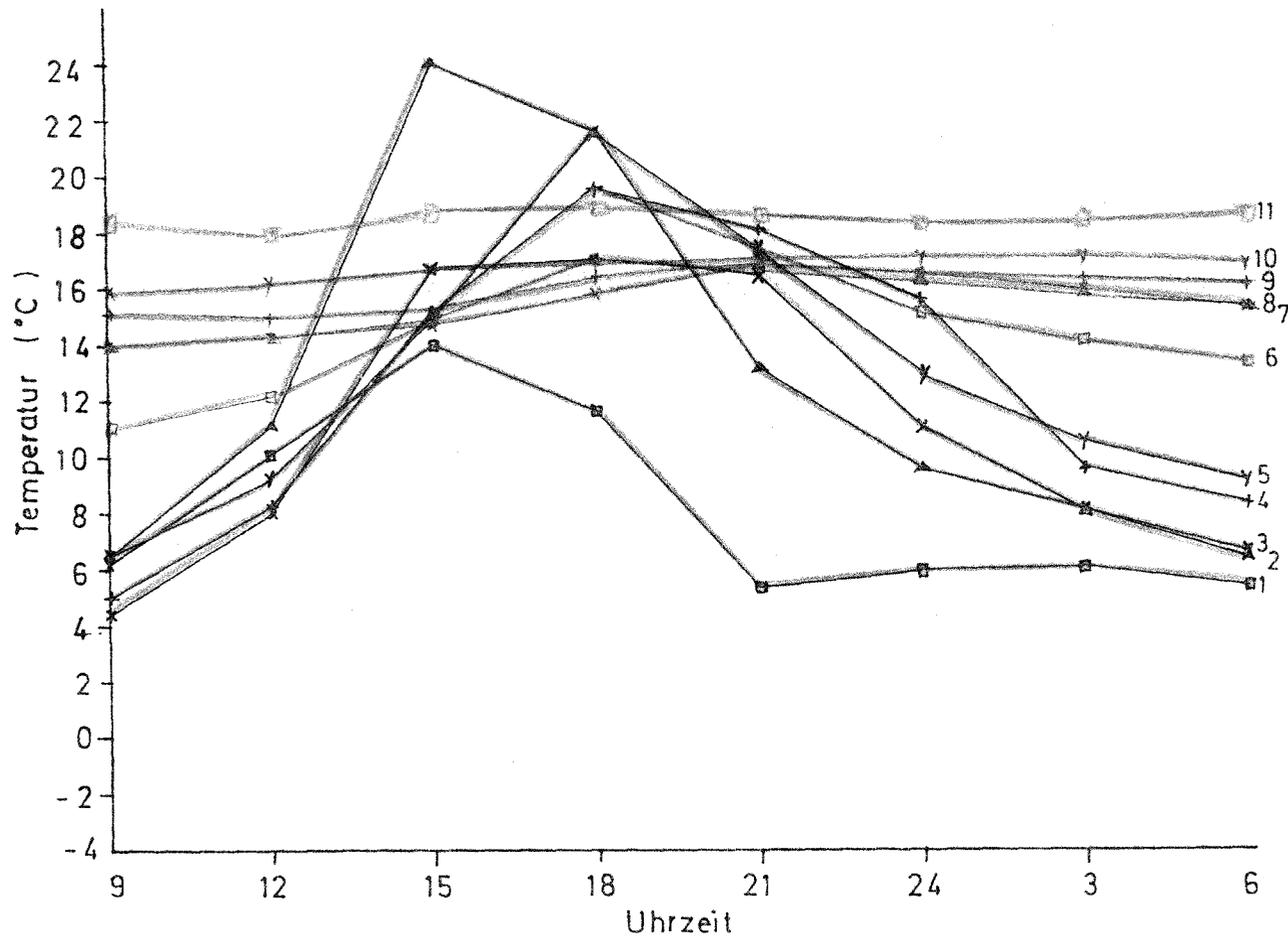


Temperaturantieg der Versuchswand VII, zweischaliges Mauerwerk mit Kerndämmung, infolge Aufheizung mit Infrarotstrahlern; Vormauerschale aus Kalksandsteinen.



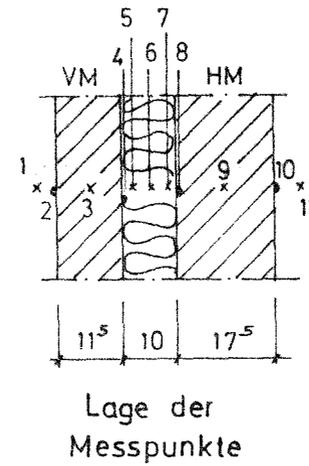
Temperaturanstieg der Versuchswand VII, zweischaliges Mauerwerk mit Luftschicht, infolge Aufheizung mit Infrarotstrahlern; Vormauerschale aus Kalksandsteinen.

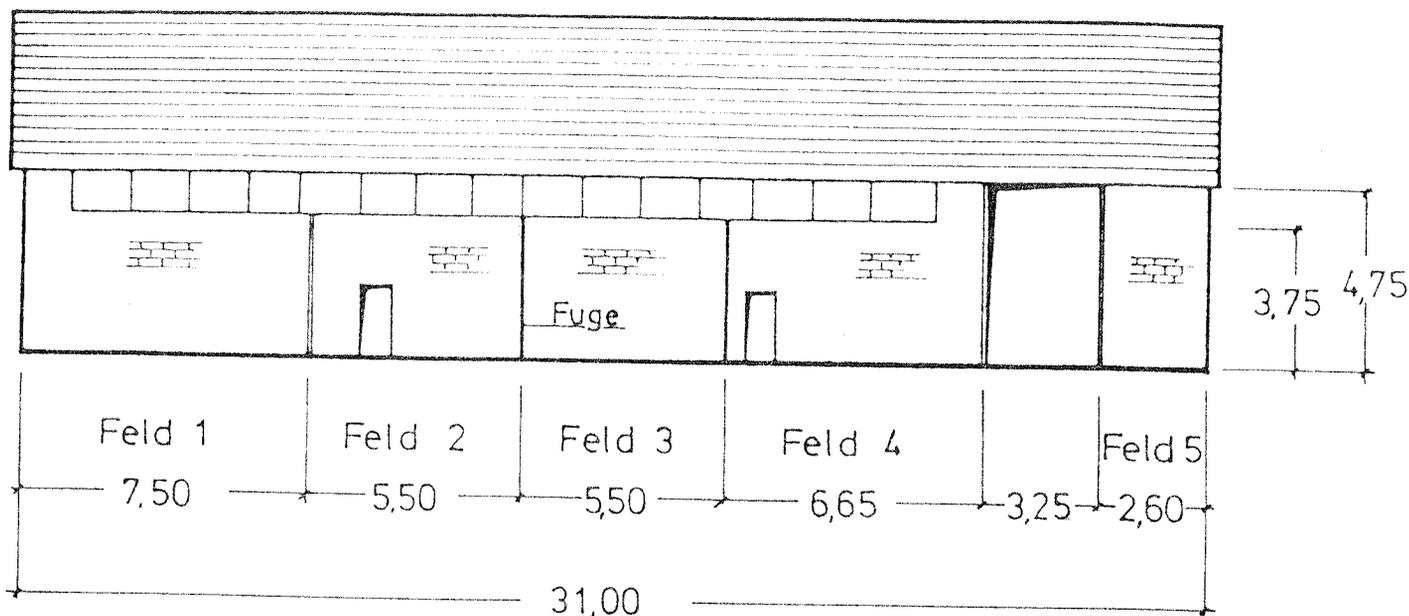
Temperaturprofil (2) 20.4.81  
gemessen in Wittmund



Legende

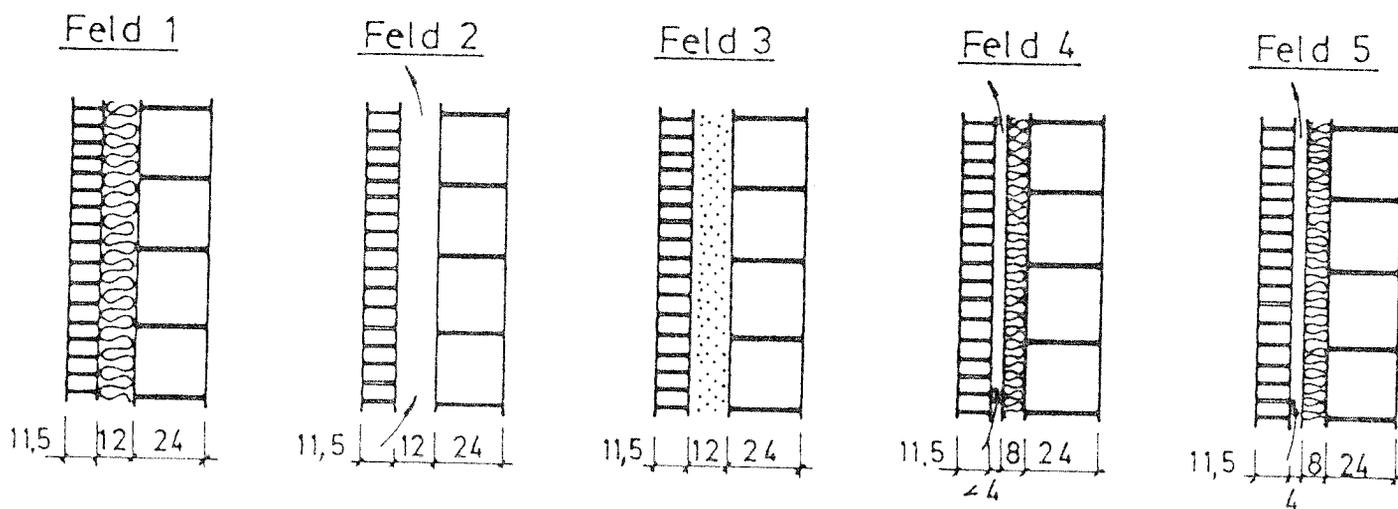
- 1 — □ — □
- 2 — ▲ — ▲
- 3 — × — ×
- 4 — + — +
- 5 — γ — γ
- 6 — ○ — ○
- 7 — △ — △
- 8 — \* — \*
- 9 — + — +
- 10 — γ — γ
- 11 — □ — □





Ansicht : Maße in m

Schnitte : Maße in cm

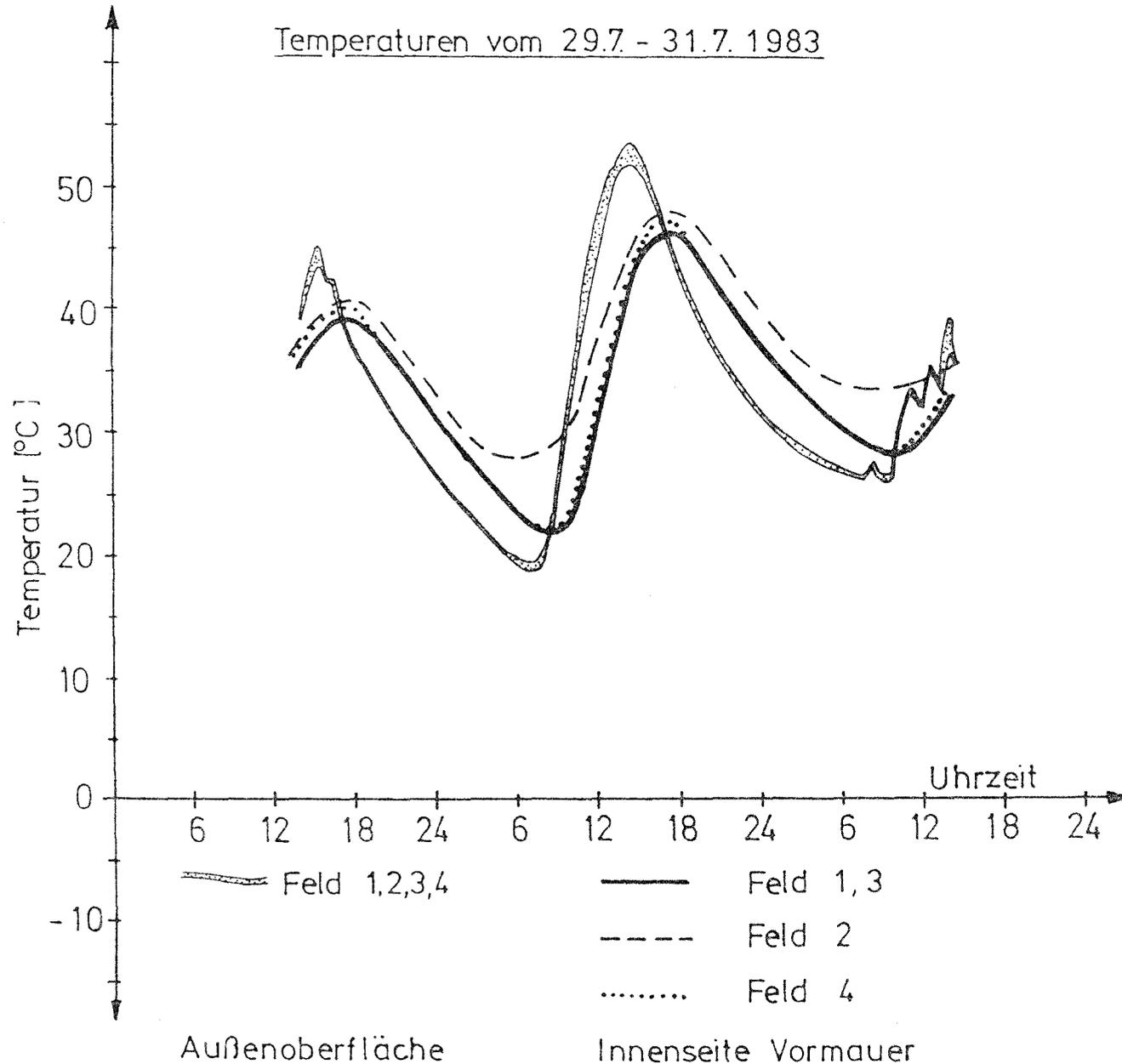


rechnerischer k - Wert in  $W/(m^2 \cdot K)$

0,23                      0,93                      0,32                      0,30                      0,30

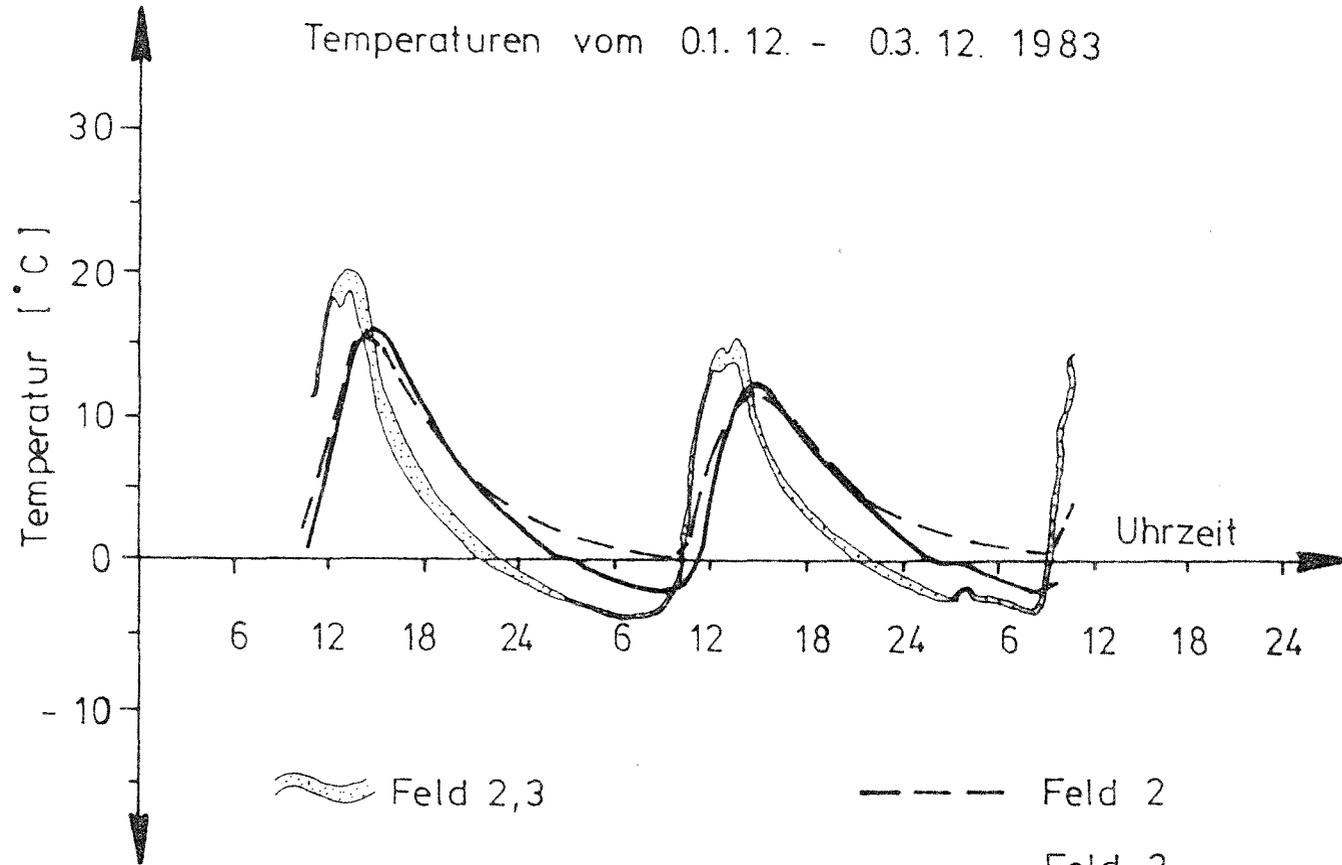
Skizze der Meßwand-Südwand Halle Plankenziegel-mit Anordnung und Ausführung der unterschiedlich gedämmten Felder.

Temperaturen vom 29.7. - 31.7. 1983



Oberflächentemperaturen der Verblendziegel während eines warmen strahlungsreichen Zeitraums im Sommer 1983

Temperaturen vom 01.12. - 03.12. 1983



Feld 2,3

Feld 2

Feld 3

Außenoberfläche

Innenseite Vormauer

Oberflächentemperaturen der Verblendziegel während eines strahlungsreichen Zeitraumes im Winter 1983/1984.

Meßstelle	Maximale Temperaturen [°C]			
	Abstand d. Meßstellen v. d. äußeren Oberfläche			
	0 cm	1 cm	6 cm	11,5 cm
	Zeitraum: 19. 05. - 01. 06. 1983			
Feld 1	40,0	37,9	36,2	34,7
Feld 2	39,8	—	—	38,5
Feld 3	40,1	—	—	36,2
Feld 4	41,4	38,6	37,0	35,6
	Zeitraum: 01. 06. - 07. 07. 1983			
Feld 1	48,5	46,4	44,6	43,5
Feld 2	48,1	—	—	45,5
Feld 3	48,1	—	—	43,8
Feld 4	49,8	47,3	46,0	44,3
	Zeitraum: 07. 07. - 25. 08. 1983			
Feld 1	51,8	49,6	47,2	46,1
Feld 2	51,4	—	—	48,5
Feld 3	51,6	—	—	46,6
Feld 4	53,4	50,7	48,9	46,9

Maximale Temperaturen in den Verblendern zu verschiedenen Zeiträumen des Jahres 1983

Meßstelle	Maximale Temperaturen [ °C ]			
	Abstand d. Meßstellen v.d. äußeren Oberfläche			
	0 cm	1 cm	6 cm	11,5 cm
	Zeitraum : 14.01. - 23.01. 1984			
Feld 1	12,5	11,9	10,8	10,3
Feld 2	15,9	—	—	15,4
Feld 3	15,7	—	—	11,7
Feld 4	18,0	15,1	12,2	11,6
	Zeitraum : 24.01. - 02.02. 1984			
Feld 1	17,5	16,7	13,2	12,8
Feld 2	18,5	—	—	16,8
Feld 3	18,7	—	—	14,9
Feld 4	16,6	15,5	15,0	14,4
	Zeitraum : 03.02. - 12.02. 1984			
Feld 1	28,3	27,4	24,9	22,6
Feld 2	28,2	—	—	23,8
Feld 3	28,9	—	—	23,7
Feld 4	27,0	25,8	23,9	27,2
	Zeitraum : 13.02. - 02.03. 1984			
Feld 1	28,9	27,7	25,3	24,2
Feld 2	29,4	—	—	22,0
Feld 3	29,7	—	—	25,6
Feld 4	27,6	26,8	25,0	23,7

Maximale Temperaturen in den Verblendern zu Beginn des Jahres 1984

Meßstelle	Minimale Temperaturen [°C]			
	Abstand d. Meßstellen v.d. äußeren Oberfläche			
	0 cm	1 cm	6 cm	11,5 cm
	Zeitraum *) : 15.02 - 03.03. 1983			
Feld 1	-5,3	-4,7	-4,2	-4,2
Feld 2	-5,1	—	—	-3,5
Feld 3	—	—	—	—
Feld 4	-5,8	-5,3	-5,0	-4,7
	Zeitraum : 04.10. - 05.12. 1983			
Feld 1	-5,0	-4,8	-4,0	-3,8
Feld 2	-4,4	—	—	+0,1
Feld 3	-4,8	—	—	-2,7
Feld 4	-5,1	-4,7	-3,8	-3,3
	Zeitraum : 05.12. - 13.01. 1984			
Feld 1	-5,4	-5,3	-4,9	-4,7
Feld 2	-4,4	—	—	+0,8
Feld 3	-4,8	—	—	-3,4
Feld 4	-5,0	-4,9	-4,4	-3,8
	Zeitraum : 14.01. - 02.03. 1984			
Feld 1	-5,3	-5,0	-4,3	-4,2
Feld 2	-4,8	—	—	-0,2
Feld 3	-4,1	—	—	-1,8
Feld 4	-4,6	-4,6	-3,7	-3,1

\*) Halle noch unfertig

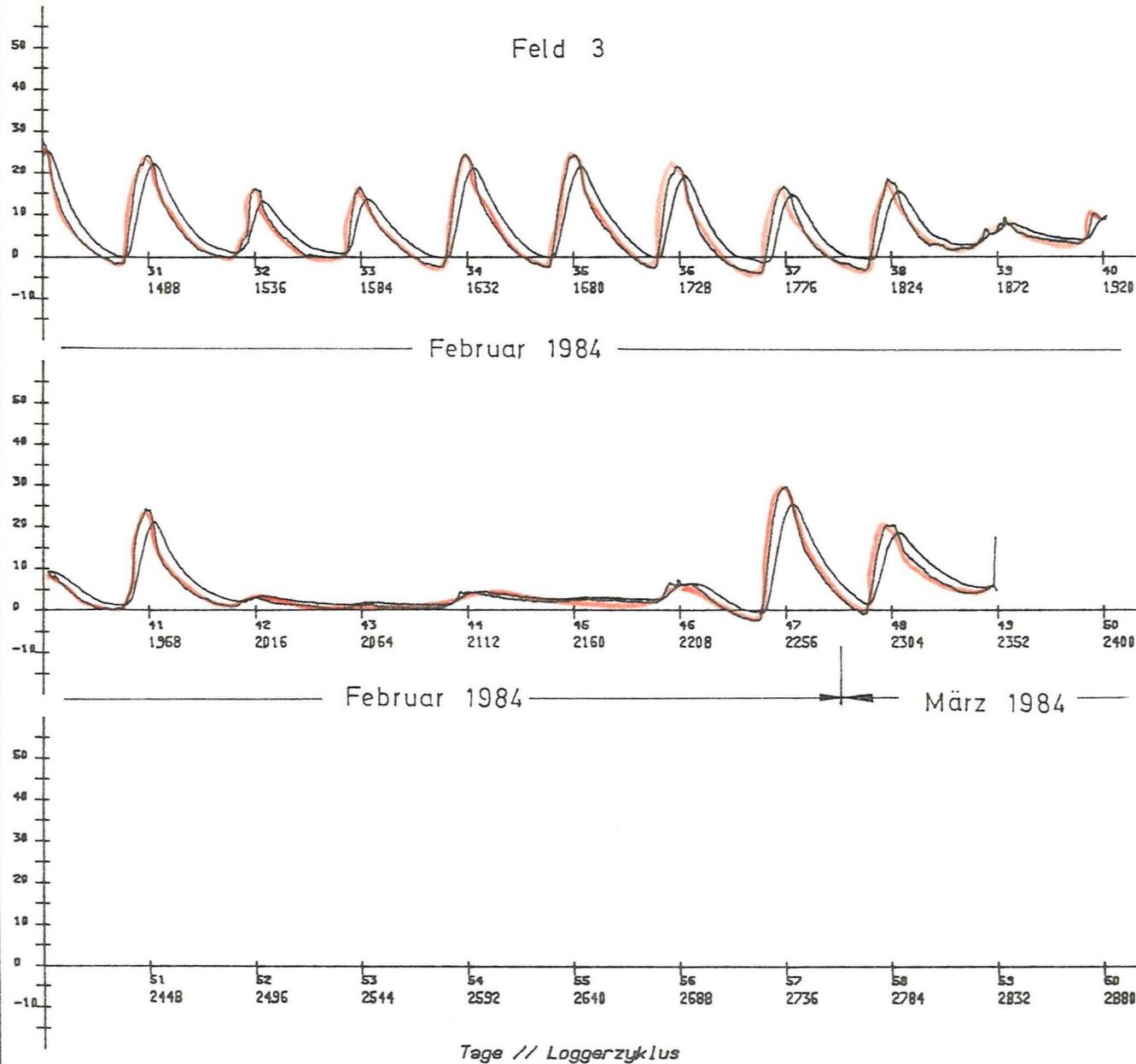
Minimale Temperaturen in den Verblendern zu Beginn des Jahres 1983 und im Winter 83/84.

Maximale Temperaturunterschiede $\Delta \vartheta$ [K] zwischen Vorderseite (außen) und Rückseite (innen) der Vormauerziegel zum gleichen Zeitpunkt				
	Feld 1	Feld 2	Feld 3	Feld 4
Zeitraum 15.02. - 05.03. 1983				
max $\Delta \vartheta$ [K]	15,2	–	–	17,8
Zeitraum 08.03. - 16.05. 1983				
max $\Delta \vartheta$ [K]	16,3	–	13,9	18,7
Zeitraum 19.05 - 01.06. 1983				
max $\Delta \vartheta$ [K]	14,3	13,0	13,1	16,9
Zeitraum 01.06. - 06.07. 1983				
max $\Delta \vartheta$ [K]	14,4	11,8	12,5	15,7
Zeitraum 07.07. - 23.08. 1983				
max $\Delta \vartheta$ [K]	16,0	11,4	14,0	17,6
Zeitraum 31.08 - 27.09. 1983				
max $\Delta \vartheta$ [K]	17,1	12,6	16,3	18,1
Zeitraum 04.10 - 23.11. 1983				
max $\Delta \vartheta$ [K]	18,3	13,4	17,9	19,6
Zeitraum 05.12.83- 13.01. 1984				
max $\Delta \vartheta$ [K]	9,9	7,4	10,3	14,1
Zeitraum 13.01. - 02.03. 1984				
max $\Delta \vartheta$ [K]	15,8	10,2	14,5	14,2
Zeitraum 01.06 - 12.06. 1984				
max $\Delta \vartheta$ [K]	14,4	11,5	13,0	11,3

Maximale Temperaturunterschiede  $\Delta \vartheta$  bei instationären (gekrümmten) Temperaturprofilen .

TEMPERATURÜBERSICHT (2)

Feld 3



Text :

11. MESSUNG

ZEITRAUM: 13. 01. 84 (14. 30) - 02. 03. 84 (13. 30)

GESPITZZYKLEN NACH ANGABE : 2351

Bemerkungen :

Temperaturen

— Vormauer aussen

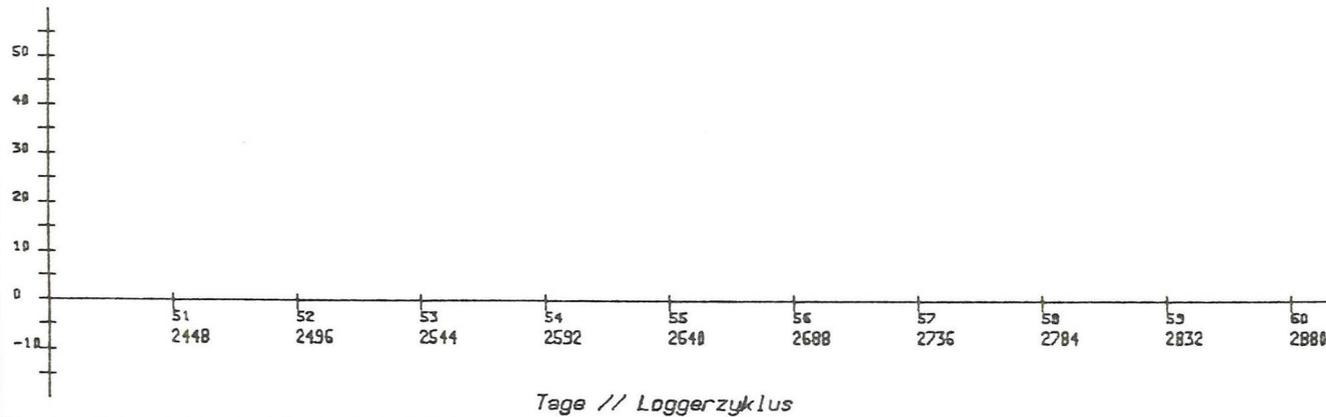
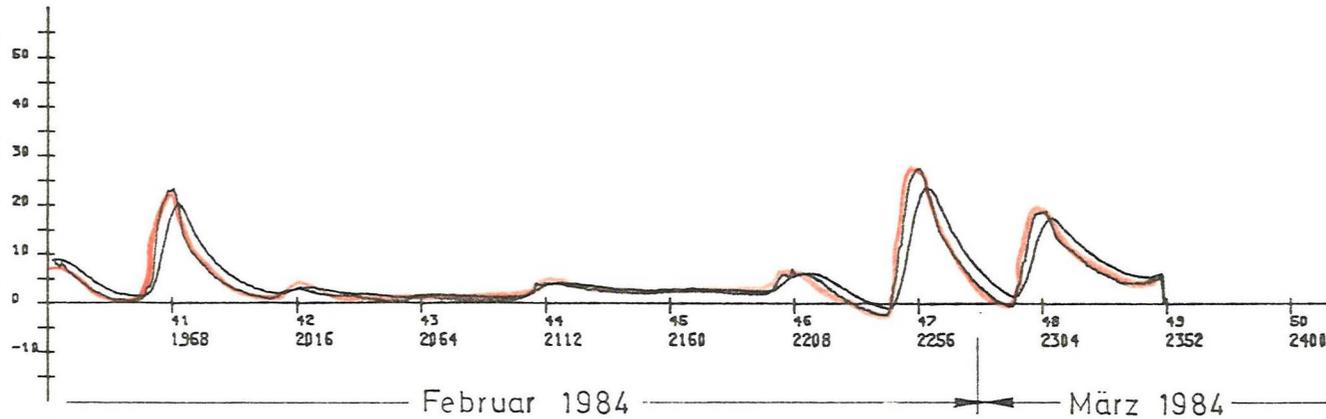
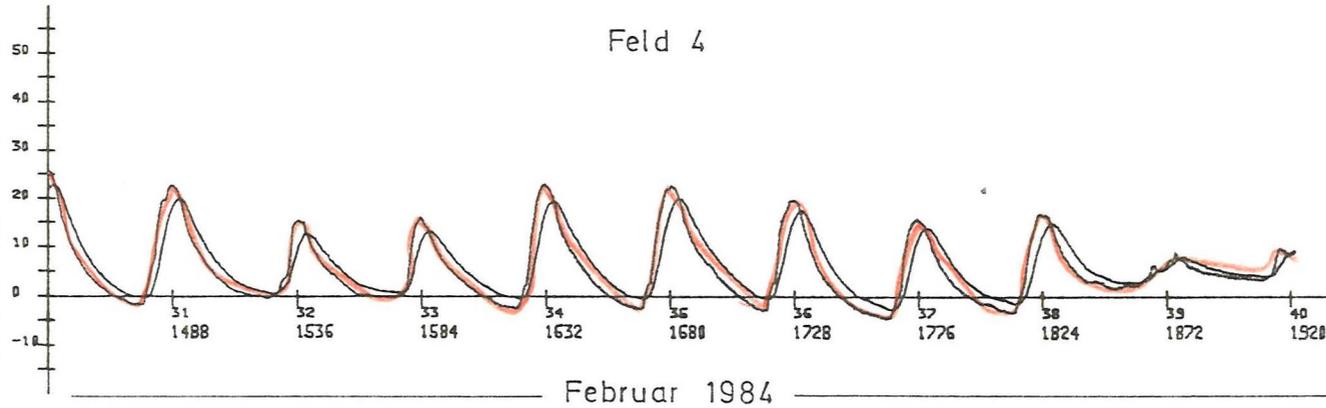
— Vormauer innen

1488...2880 Datenloggerzyklus

Auswertung: 26. 11. 1984

TEMPERATURÜBERSICHT (2)

Feld 4



Text :

11. MESSUNG

ZEITRAUM 13.01.84(14.30)-02.03.84(13.30)

GESAMTZYKLEN NACH ANGABE : 2351

Bemerkungen :

Temperaturen

— Vormauer aussen

— Vormauer Innen

1488...2880 Datenloggerzyklus

Auswertung: 26.11.1984