

Untersuchungen über das Verhalten von zweischaligem Mauerwerk

(Study about the Behaviour of Double-leaf Masonry)

Dr.-Ing. H. Zumbroich

Institut für Ziegelforschung, Essen, Bundesrepublik Deutschland

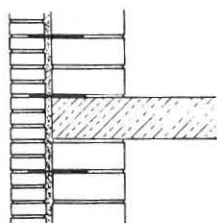
Kurzfassung: Aufgrund erhöhter bauphysikalischer Anforderungen, vor allem bei der Wärmedämmung, gelangen zweischalige Außenwände der verschiedensten Ausführungen zur Anwendung. Für die vertikale Belastbarkeit spielt dabei die Art der Verbindung beider Schalen keine entscheidende Rolle. Bei horizontaler Windbelastung ist jedoch die Lastabtragung entscheidend von der Verankerungsart abhängig. Der Temperaturbelastung kommt eine stärkere Bedeutung zu, da der örtliche und zeitliche Temperaturunterschied im Mauerwerk größer wird. Es kommt zu unterschiedlichen Verformungen und bei deren Behinderung zu Spannungen.

Abstract: Due to the increasing physical requirements in construction in particular with regard of thermal insulation, double-leaf masonry of various constructions are used. For the perpendicular load the way the two leafs are connected is not decisive importance. In case of horizontal wind load the reducing of load is most dependent on the way the leafs are anchored. The temperature load is of greater importance, because the temporal and local differences in walls become greater. This causes deformation of various kinds and, if deformation is hindered, stress.

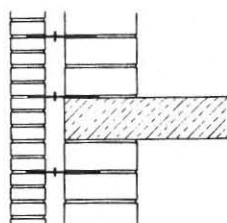
1. Einleitung

Bei Außenwänden aus zweischaligem Mauerwerk wird der Witterschutz von der Vormauerschale übernommen, während die Hintermauerung die statischen Aufgaben zu erfüllen hat. Der Wärmeschutz wird hauptsächlich durch den Wärmedurchlaßwiderstand der Zwischenschicht oder den der Hintermauerschale gewährleistet. Durch die stark erhöhten Anforderungen an den Wärmeschutz hat sich in der Ausführung von zweischaligem Mauerwerk ein Wandel vollzogen, dessen Auswirkungen auf die übrigen Funktionen einer Außenwand jedoch nicht vernachlässigt werden sollten.

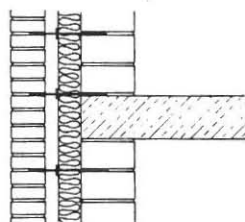
Zweischaliges Mauerwerk ohne Luftschicht (zweischaliges Verblendmauerwerk), wie es in Bild 1 oben links prinzipiell dargestellt ist, sollte nur noch mit hohem Wärmedurchlaßwiderstand der Hintermauerschale zur Anwendung kommen, d.h. größere Dicke und geringere Wärmeleitzahl. Die Vor- und Hintermauerschale müssen also entsprechend ihrer Funktion mit in der Regel unterschiedlicher Festigkeitsklasse ausgeführt werden. Der schubfeste Verbund durch die Mörtelscheibe muß jedoch auch bei der Kombination: "harte" Vormauerschale - "weiche" Hintermauerschale bei Belastung gewährleistet sein.



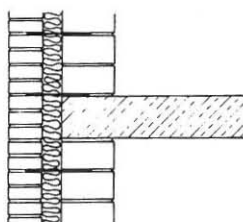
Zweischaliges Mauerwerk
ohne Luftschicht



Zweischaliges Mauerwerk
mit Luftschicht



Zweischaliges Mauerwerk
mit Kerndämmung u. Luftschicht



Zweischaliges Mauerwerk
mit Kerndämmung

Bild 1: Zweischaliges Mauerwerk für Außenwände

Zweischaliges Mauerwerk mit Luftschicht (Luftschichtmauerwerk) wird rechnerisch nur noch bei entsprechender Ausführung der Hintermauerschale den Anforderungen des Wärmeschutzes gerecht. Es bietet sich an, die Luftschicht teilweise oder ganz mit Dämm-Materialien zu ersetzen, wie es bei zweischaligem Mauerwerk mit Kerndämmung mit oder ohne Luftschicht geschieht (s. Bild 1). Durch diese Maßnahmen werden jedoch andere bauphysikalische Eigenschaften und die Temperaturbeanspruchung der gesamten Außenwand verändert.

Die Verbindung der Vor- und Hintermauerschale und somit die horizontale Kraftübertragung und gegenseitige, vertikale Verschieblichkeit kann auch bei Einfügung von Wärmedämmschichten wie bisher durch flächig verteilte Drahtanker erfolgen. Eine zeilenhafte oder geschoßweise Verankerung, wie sie seit längerem z.B. in der Schweiz ausgeführt wird, erleichtert das Anbringen der Dämmschichten, hat weniger Wärmebrücken, verändert jedoch das Tragverhalten.

Im Folgenden werden einige Untersuchungsergebnisse, die sich besonders durch den verstärkten Einsatz wärmedämmender Schichten in Hinsicht auf die mechanische Beanspruchung von zweischaligem Mauerwerk ergeben, mitgeteilt.

2. Vertikale Belastung

Die Auflagerung des Daches und der Decken wird in der Regel so gewählt, daß die Vertikallasten in die Hintermauerschale einge-
leitet werden. Die Vormauerschale ist bei Kerndämmung mit oder ohne Luftschicht durch Drahtanker oder Gelenkanker so befestigt, daß sie durch eine vertikale Verformung der Hintermauer nicht zusätzlich belastet wird. Die Hintermauerschale kann wie eine einschalige Wand berechnet werden.

Die Funktionssicherheit von zweischaligem Mauerwerk ohne Luftschicht kann bei Vertikalbelastung nicht so einfach beurteilt werden, da durch den schubfesten Verbund ein Teil der Last auf die Vormauerschale übertragen wird und dadurch eine zusätzliche Belastung hervorgerufen wird. Dies ist besonders bei wärmedämmenden, im Vergleich zur Vormauerschale relativ weichen Hintermauerschalen der Fall. Die Verformung und Belastbarkeit unter zentrischer Belastung der Hintermauerschale wurde am Institut für Ziegelforschung vergleichend an Verblendmauerwerk und der jeweiligen Hintermauerschale, geprüft als Einzelschale, gemessen. Das zweischalige Mauerwerk mit durchgehender Mörtelscheibe und horizontaler Verankerung durch Drahtanker verformt sich wie ein Verbundquerschnitt, d.h. der Querschnitt bleibt eben.

Bild 2 zeigt dies für die Kombination:
Hochlochziegel - Gasbetonsteine.

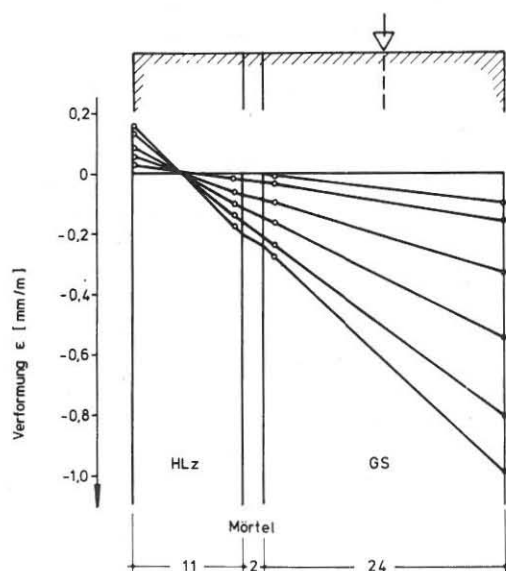


Bild 2: Querschnittsverformung von Verblendmauerwerk in
Abhängigkeit der Last bei zentrischer Belastung
der Hintermauerschale

Die Normalspannungen können unter der Voraussetzung ebener Querschnitte und der Gültigkeit des Hookeschen Gesetzes nach bekannten Formeln [1] berechnet werden. Es zeigt sich, daß die Randspannungen durch den außermittigen Lastangriffspunkt an der Innenseite der Hintermauerschale größer sind als in der vergleichbaren, separaten Hintermauerschale. An der Außenseite der Vormauerschale können geringe Zugspannungen auftreten. Schon an einem einseitig mit dem gleichen Material erweiterten Querschnitt ist dieser Zusammenhang zu erkennen, wie in Bild 3 dargestellt ist. In Bild 4 sind für gebräuchliche Abmessungen in Abhängigkeit vom Verhältnis der E-Moduln die auf den Einzelquerschnitt bezogenen Randspannungen dargestellt. Auch hier zeigt sich, daß die maximale Druckspannung größer ist und außerdem Zugspannungen auftreten.

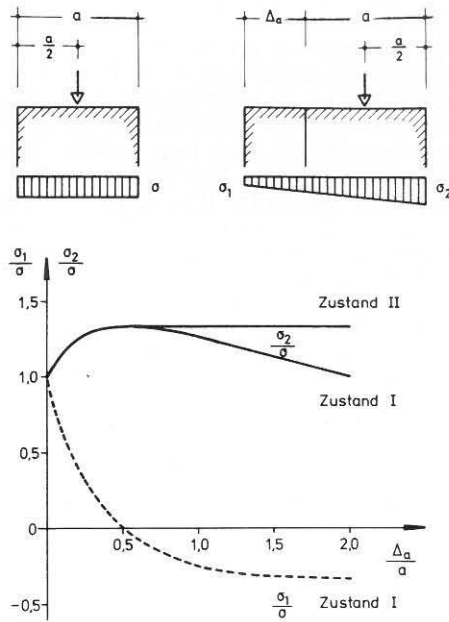


Bild 3: Bezogene Randspannungen bei erweitertem Querschnitt

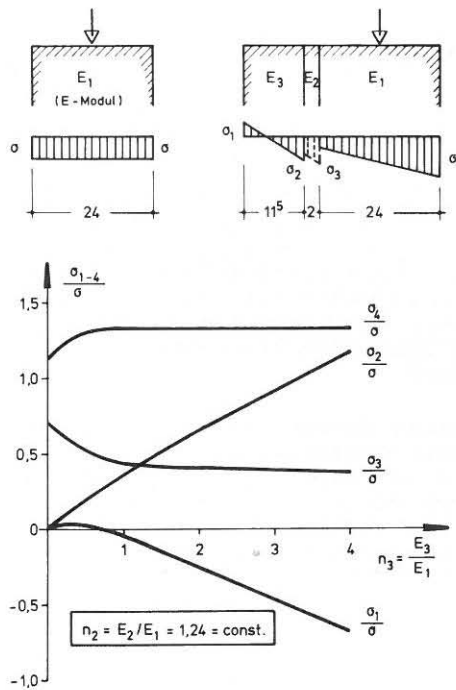


Bild 4: Bezogene Randspannungen in der Vor- und Hintermauerschale in Abhängigkeit vom Verhältnis der E-Moduln

Aus der örtlichen Druckspannungserhöhung am inneren Rand kann nicht unmittelbar auf eine Verringerung der Tragfähigkeit geschlossen werden. Die durch die Querdehnung des Mörtels bedingte Querkzugspannung im Mauerwerk ist bei dreieckförmiger Normalspannungsverteilung geringer als bei einer dem Größtwert am Rand entsprechenden gleichmäßigen Verteilung. Die durchgeführten Versuche zeigten, daß größere Bruchverformungen als im zentrischen Druckversuch aufgenommen werden können. Vorzeitige Risse in der Vormauerschale wurden nicht festgestellt. Eine Ablösung der Innenschalen von der Mörtelscheibe trat auch bei extremen Kombinationen erst oberhalb einer Verformung von 0,2 - 0,25 mm/m in der Grenzschiicht auf. Bei allen Kombinationen aus Ziegelmauerwerksschalen blieb der Verbund bis mindestens 70 % der Bruchlast erhalten. Die Versuche zeigten ferner, daß die aufnehmbare vertikale Last für das zweischalige Mauerwerk und die Hintermauerschale als Einzelschale nahezu gleich ist. Der Grund dafür dürfte sein, daß die ungünstige Biegebeanspruchung beim Verblendmauerwerk durch die höhere Steifigkeit des Gesamtquerschnitts gegen Knicken kompensiert wird.

Die Versuche bestätigten die bisherige Bemessungsvorschrift [2] für den Spannungsnachweis, auch zweischaliges Mauerwerk ohne Luftschicht unter vertikaler Last wie eine Einzelschale, bestehend aus der Hintermauerschale der zweischaligen Wand, zu berechnen. Für den Knicknachweis ist es ebenfalls gerechtfertigt, die halbe Dicke der Vormauerschale mit zu berücksichtigen. Eine Beschränkung in Bezug auf die Kombination stark unterschiedlicher Festigkeiten von Vor- und Hintermauerschale, wie sie durch die Anforderungen an eine verschleißfeste Außenschale und eine leichte, wärmedämmende Innenschale gegeben sein können, ist als zusätzliche Einschränkung nicht notwendig.

3. Horizontale Belastung

Die Lastabtragung und Beanspruchung infolge horizontaler Windlasten ist von der Art der Verankerung und nicht - außer bei einer schubfesten Verankerung - von der Ausbildung der Zwischenschicht abhängig. Da jedoch die zunehmende Dicke der Kerndämmschichten auch die Wahl der Verankerung - z.B. zu größeren Abständen der Anker hin - beeinflußt, soll hier kurz auf dieses Problem eingegangen werden, das in laufenden Forschungsvorhaben noch einer genaueren Klärung bedarf.

Grundsätzlich kann gesagt werden, daß eine schubfeste Verbindung zweier Schalen die größte Gesamtsteifigkeit gegenüber Biegebeanspruchung ergibt. Eine flächige, vertikal verschiebbliche Verankerung, z.B. durch dünne Drahtanker gewährleistet im Prinzip - unter Ausschaltung des Schlupfes der Anker - eine gleichmäßige Beanspruchung beider Schalen.

Bei zeilenhafter Verankerung wird die Vormauerschale stärker beansprucht, bei geschoßweiser Verankerung nimmt sie die gesamte Belastung auf. In Bild 5 ist dieser Zusammenhang prinzipiell dargestellt.

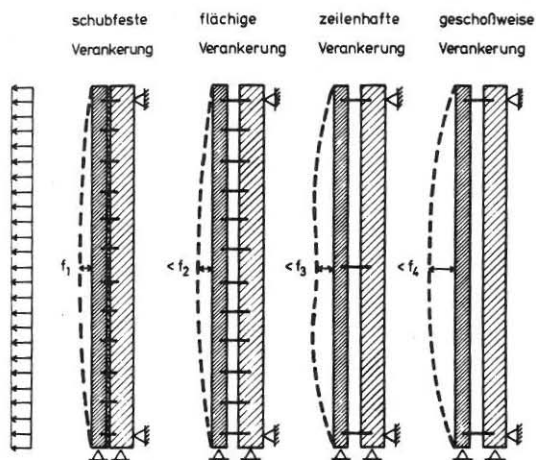


Bild 5: Durchbiegung (Beanspruchung) der Vormauerschalen zweischaliger Wände bei horizontaler Belastung.

Prinzipielle Darstellung für eine Geschoßhöhe bei gleichen Einzelsteifigkeiten der jeweiligen Vor- und Hintermauerschalen.

Der gezeigten Beanspruchung aus Wind steht die aus einer Ausbiegung der Hintermauerschale, z.B. durch die Durchbiegung der Decken verursacht, entgegen. In diesem Fall wird die Vormauerschale um so mehr mitbelastet, je inniger die Verankerung ist.

Eine zeilenhafte oder geschoßweise Verankerung setzt eine gewisse Zugfestigkeit, die jedoch bei entsprechender Ausführung vorhanden ist - $0,3 \text{ N/mm}^2$ senkrecht zu den Lagerfugen bei Zementmörtel, nach [3] - oder eine ausreichende Überdrückung der Vormauerschale voraus.

4. Temperaturbelastung

4.1. Stationäre Temperaturen

Extreme, stationäre Temperaturen, wie sie im Winter bei länger anhaltender Kälte oder im Sommer bei hoher Lufttemperatur und gleichzeitiger Sonneneinstrahlung näherungsweise in zweischaligen Außenwänden auftreten können, sind für die möglichen Längenänderungen und somit für den Abstand der Dehnungsfugen maßgebend.

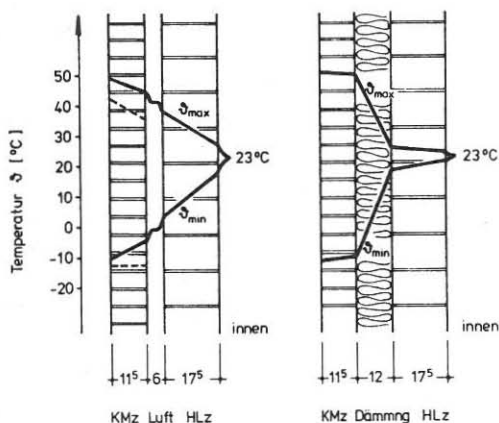


Bild 6: Extreme (stationäre) Temperaturen in zweischaligem Mauerwerk bei gleichen äußeren Randbedingungen

links: mit Luftschicht

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

$$\text{----- } \vartheta_{\text{Luftschicht}} = \vartheta_{\text{Außenluft}}$$

rechts: mit Kerndämmung

Die in Abhängigkeit vom konstruktiven Aufbau bei gleichen äußeren Bedingungen leicht zu berechnenden Temperaturverteilungen, wie sie in Bild 6 beispielhaft dargestellt sind, zeigen folgendes:

1. Die Minimal- und Maximaltemperatur der Vormauerschale sind nur in geringem Maße vom konstruktiven Aufbau abhängig. Die Maximaltemperatur bei Sonneneinstrahlung ist von deren Intensität, der Einstrahlungsdauer, den Wärmeübergangsverhältnissen und der Absorptionszahl, d.h. in erster Linie der Farbe, abhängig.
2. Der Temperaturunterschied zwischen Vor- und Hintermauerschale wächst mit zunehmendem Wärmedurchlaßwiderstand der Zwischenschicht. Bei Kerndämmschichten vollzieht sich dort beinahe der gesamte Temperaturabfall. Die Dicke der Dämmschicht spielt für das Temperaturprofil, wie es zur Verformungs- und Spannungsberechnung benötigt wird, eine untergeordnete Rolle.

Näherungsweise kann davon ausgegangen werden, daß bei Kerndämmung die Vormauerschale die Temperatur der Luft - bei Sonneneinstrahlung ersatzweise die "Sonnenlufttemperatur" [4] - annimmt, während die Hintermauertemperatur der Innenlufttemperatur entspricht. Unter Berücksichtigung der baulichen und klimatischen Gegebenheiten sollte bei Kerndämmung mit und ohne Belüftung mit einem Temperaturunterschied von ± 35 K gerechnet werden, dem entspricht eine Ausdehnungsdifferenz von $+ 0,2 - 0,3$ mm/m in Abhängigkeit vom Material. Bei reinem Luftschichtmauerwerk ist im Gegensatz dazu etwa ein Wert von ± 20 K anzusetzen.

4.2. Instationäre Temperaturen

Die in zweischaligem Mauerwerk entstehenden Temperaturprofile sind durch die wechselnden äußeren und inneren Bedingungen in Wirklichkeit zeitabhängig. Bei kontinuierlicher Änderung der Sonneneinstrahlung und der Lufttemperatur entstehen "quasi stationäre" Temperaturprofile mit schichtweise nahezu konstantem Temperaturgradient. Dieser "Lastfall" wird durch die Annahme extremer, stationärer Temperaturen abgedeckt.

Bei plötzlicher Änderung der Temperaturbelastung [5] durch wechselnde Sonneneinstrahlung oder Niederschlag entstehen besonders in den Vormauerschalen Temperaturspannungen durch innere Unverträglichkeiten in der Ausdehnung. Diese können nach einem in [6] angegebenen Verfahren numerisch berechnet werden.

Im bauphysikalischen Versuchsstand des Instituts für Ziegelforschung wurden Temperaturprofile und Verformungen bei relativ plötzlicher, einseitiger Erwärmung von Vormauerschalen gemessen. Die Bilder 7 und 8 zeigen, daß die Längsverformung in vertikaler Richtung bei zunächst instationären Verhältnissen der jeweiligen Temperatur nachläuft.

Bild 9 zeigt den gleichen Sachverhalt für die Durchbiegung in Bezug auf die Temperaturdifferenz. Es entstehen auch bei statisch bestimmter Lagerung Eigenspannungen, die jedoch nur in gewissem Maße von der Ausführung der Kerndämmung abhängig sind, sondern von zahlreichen anderen Parametern, wie bauphysikalischen und mechanischen Eigenschaften des Materials. Zwängungsspannungen entstehen, wenn die freie Ausdehnung der einzelnen Schalen z.B. durch unverschiebbliche Anker behindert wird.

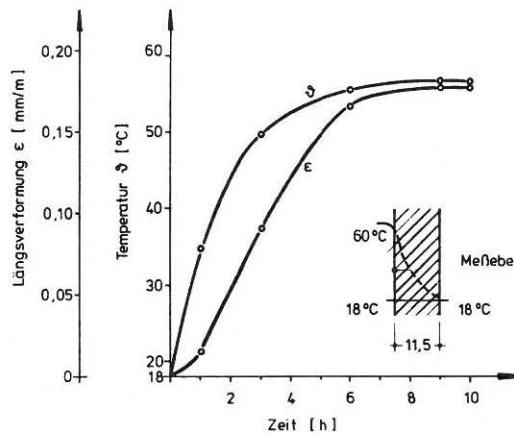


Bild 7: Temperaturanstieg ϑ und Längsverformung ϵ der erwärmten Oberfläche einer Vormauerschale (Vollziegel) ohne äußere Verformungsbehinderung

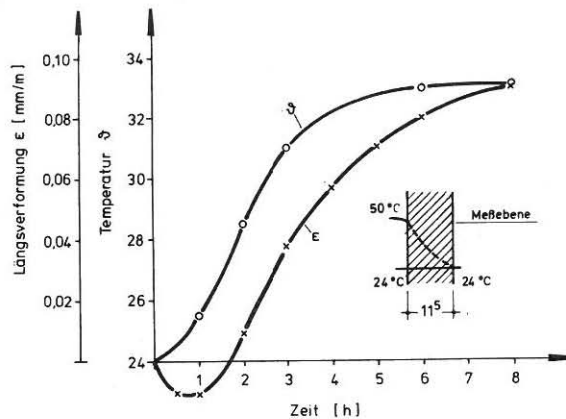


Bild 8: Temperatur ϑ und Längsverformung ϵ der Rückseite einer Wand bei Erwärmung der Vorderseite

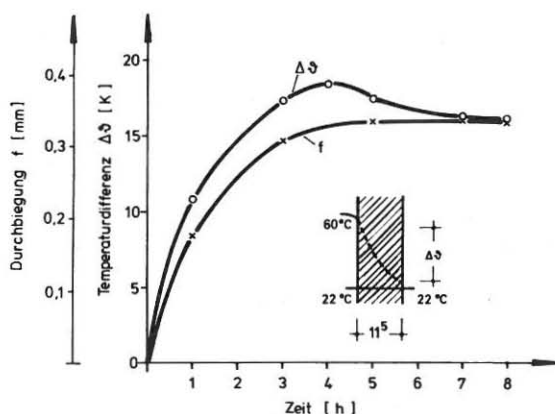


Bild 9: Temperaturdifferenz der Oberflächentemperaturen $\Delta\theta$ und Durchbiegung f einer einseitig erwärmten Wand (1,5x1,5 m) aus Vollziegeln in Abhängigkeit der Zeit

Neben den hier behandelten Auswirkungen einer erhöhten Wärmedämmung sind besonders die Dampfdiffusion, die Schlagregensicherheit und die Frostbeanspruchung zu beachten, um durch eine wichtige Anforderung nicht die anderen notwendigen Funktionen von zweischaligem Mauerwerk für Außenwände zu gefährden.

Literatur:

- [1] Forschungsbericht des Instituts für Ziegelforschung:
Funktionssicherheit bei zweischaligem Mauerwerk ohne
Luftschicht.
-erscheint demnächst als Bauforschungsbericht-
- [2] DIN 1053, Blatt 1, November 1974:
Mauerwerk - Berechnung und Ausführung
- [3] Schweizerische Ziegelindustrie, Informationsstelle:
Backstein-Zweischalenmauerwerk, Element 24 (1981)
- [4] Gertis, K.; Hauser, G.:
Instationäre Berechnungsverfahren für den sommer-
lichen Wärmeschutz im Hochbau
Bericht aus der Bauforschung, Heft 103, S. 25-53
- [5] Zumbroich, H.:
Neues Temperaturbelastungsmodell zur Berechnung von
Wärmeeigenstressungen in Außenbauteilen
Bauphysik 3 (1981), H. 6, S. 201-206
- [6] Zumbroich, H.:
Maximale Wärmeeigenstressungen in Mehrschichtkonstruk-
tion - Neues, einfaches Berechnungsverfahren
Die Bautechnik 59 (1982) H.1, S. 15-21