

13 (1986) Neue Forschungsergebnisse, kurz gefaßt

Fraunhofer-Institut für Bauphysik

K. Kießl und U. Möller

## Thermische Eigenspannungen in bewittertem Naturstein-Mauerwerk

### Einleitung

Die bekannten Verwitterungserscheinungen an Natursteinoberflächen, wie z. B. Absanden, Schalen- bzw. Krustenbildungen, Abplatzungen, werden zunächst auf aggressive Umwelteinwirkungen zurückgeführt. Verschmutzung, chemische Umsetzungen im Porenraum des Gesteins führen aber nicht nur zu gewissen Ver- oder Entfestigungen im Gesteinsaufbau, sie verändern auch - tiefenprofilartig - die mechanischen Stoffeigenschaften des Materials. Die Änderungen des E-Moduls und der thermischen und hygrischen Dehnungskoeffizienten, die meist in den oberflächennahen Zonen von wenigen Millimetern oder Zentimetern starke Gradienten aufweisen, führen in Verbindung mit den instationären, zyklischen Temperatur- und Feuchteeinwirkungen aus der natürlichen Umgebung zu Eigenspannungen im Gestein. Geht man davon aus, daß chemisch bedingte Bindemittellösungen im Gestein eine Reduzierung der Materialfestigkeit bewirken, so ist zu vermuten, daß Eigenspannungen, und insbesondere deren Zugkomponenten, zu Zerstörungen im Gesteinsoberflächenbereich führen.

### Eigenspannungsberechnung

Trotz bestehender Unsicherheiten bei den maßgebenden Stoffeigenschaften muß der Versuch einer Abschätzung unternommen werden, um Informationen über Größenordnungen und charakteristische Effekte der Spannungsverteilung im Gesteinsquerschnitt bei einer verwitterten Außenschicht und bei tageszeitlichen Schwankungen der äußeren Klimaeinwirkung zu erhalten. Da über hygrische Volumenänderungen, die vom variablen Wassergehalt des Gesteins abhängen, noch zu wenig Erkenntnisse vorliegen, muß sich die Eigenspannungsberechnung zunächst auf thermische Vorgänge beschränken.

Als Umgebungsbedingungen werden die Tagesgänge der Außenlufttemperatur und der Sonneneinstrahlung auf eine westorientierte Wand zugrundegelegt. Die Innenraumtemperatur und die für die Eigenspannungsberechnung notwendige Bezugstemperatur (spannungsfreier Ausgangszustand) werden konstant mit 20 °C angenommen.

Die daraus resultierende eindimensionale Temperaturverteilung über den Querschnitt des Mauerwerks aus Natursteinblöcken ist numerisch zu ermitteln. Für die Untersuchung des Eigenspannungsfeldes (Finite-Elemente-Methode) ist im mechanischen Sinne von einem mehrschichtigen Körper auszugehen. Bild 1 zeigt das Berechnungsmodell.

Das Produkt aus E-Modul und Wärmedehnungskoeffizient  $\alpha_T$ , die eigenspannungsbestimmende Kenngröße, wird als Tiefenprofil in einem Wertespektrum so variiert, daß praktische Fälle damit abgedeckt sind. Folgende Werte mit kontinuierlichem Übergang innerhalb der Verwitterungsschicht gehen ein:

Verwitterungsschicht, Oberfläche:

Maximal:  $E = 33\ 000\ \text{N/mm}^2$ ,  $\alpha_T = 12 \cdot 10^{-6}\ \text{K}^{-1}$

Minimal:  $E = 11\ 000\ \text{N/mm}^2$ ,  $\alpha_T = 4 \cdot 10^{-6}\ \text{K}^{-1}$

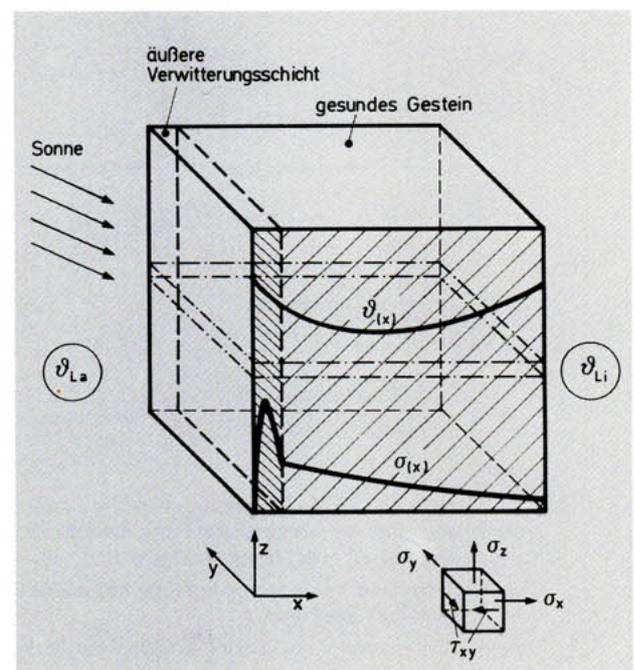
Gesundes Gestein, innen (konstant):

Mittelwerte:  $E = 22\ 000\ \text{N/mm}^2$ ,  $\alpha_T = 8 \cdot 10^{-6}\ \text{K}^{-1}$

Zur Abschätzung der Berechnungsergebnisse können folgende Festigkeitswerte angenommen werden:

Zugfestigkeit Gestein:  $4 - 8\ \text{N/mm}^2$

Haftzugfestigkeit Gestein/Mörtelfuge: ca.  $1\ \text{N/mm}^2$



**Bild 1:** Schematische Darstellung eines außenseitig verwitterten Gesteinsblocks aus einem Natursteinmauerwerk mit Angabe der thermischen Umgebungseinwirkungen, der auftretenden Spannungsponenten und symbolischer Temperatur- und Spannungsverteilung (strichpunktiert: Berechnungsebene).

## Ergebnisse und Bewertung

Aus einer Reihe von Berechnungsvarianten, die in [1] ausführlich behandelt sind, werden in Bild 2 Extremfälle für winterliche Temperaturverhältnisse und für maximales  $E \cdot \alpha_T$  an der Außenoberfläche dargestellt. Unter der Voraussetzung, daß die Mörtelfuge zwischen den Gesteinsblöcken kraftübertragend wirksam ist (Bild 2, oben), sind für die Normal- und Schubspannungskomponenten unter winterlichen Bedingungen (Kontraktion) Spannungsspitzen im Bereich des noch intakten Fugenaußenbereichs und der Übergangszone zwischen Verwitterungsschicht und gesundem Gestein zu erwarten. Die Extremwerte aller Komponenten sind so hoch, daß praktisch mit einer Lösung des Fugenverbundes bei erstmaligem Auftreten winterlicher Temperaturverhältnisse zu rechnen ist. Dies gilt auch für die hier nicht dargestellten Varianten mit geringeren ( $E \cdot \alpha_T$ )-Werten in der verwitterten Schicht, welche prinzipiell gleiche Maximalverläufe mit nur geringfügig niedrigeren Spannungswerten aufweisen.

Bild 2, unten, zeigt die Spannungsmaximaverläufe bei gleichen Umgebungsbedingungen, aber ohne Einfluß des Fugenverbundes. Neben den allgemein wesentlich geringeren Spannungswerten ist zu bemerken, daß bei den  $\sigma_x$ -Komponenten der Extremwert an der Außenoberfläche in Gesteinsblockmitte auftritt und daß der Verlauf der Schubspannungsmaxima von der Randzone weg in das Gesteinsinnere geschoben wird. Bei geringeren ( $E \cdot \alpha_T$ )-Werten in der Verwitterungsschicht ergibt sich ein gleiches Spannungsbild, jedoch mit niedrigeren Spannungswerten.

Bewertend ist zu den dargestellten Ergebnissen folgendes zu sagen:

- Die unter den angegebenen Voraussetzungen ermittelten Spannungswerte können noch keine endgültigen Absolutwerte sein, da z. B. relativierende Feuchteinflüsse oder prak-

tisch zu erwartende Relaxationsprozesse hier noch nicht erfaßt sind. Dies muß künftigen Untersuchungen vorbehalten bleiben.

- Die Größenordnung der ermittelten Spannungen und der qualitative Verlauf der Extremwerte entsprechen durchaus praktischen Verhältnissen.
- Eine Lösung des Stein-/Mörtel-Verbundes erscheint bei üblichen winterlichen Kontraktionsbedingungen als wahrscheinlich.
- Der "eckenabschneidende" Verlauf der Schubspannungsmaxima tritt generell auf. Auch werden Schubspannungen unter - hier nicht dargestellt - sommerlichen Bedingungen am Rand und im Inneren der Verwitterungsschicht dominant. Diese Effekte können mit hoher Wahrscheinlichkeit als eine Ursache für die praktisch häufig zu beobachtenden Randabplatzungen bzw. Schalenablösungen bei verwitterten Natursteinoberflächen gelten.

Aus den Ergebnissen dieser noch relativ groben Eigenspannungsanalyse zeichnen sich deutlich die Möglichkeiten für eine Beurteilung von Schadensrisiken an originalen, aber auch an sanierten Natursteinoberflächen ab, wenn es gelingt, verbesserte Methoden zur Bestimmung notwendiger Stoffeigenschaften und deren Tiefenprofile an möglichst kleinen Gesteinsproben zu entwickeln.

## Literatur

- [1] Kießl, K. und Möller, U.: Klimabedingte Eigenspannungsverteilungen über den Querschnitt bewitterter Natursteinmauern. Tagungsband des II. Internationalen Kolloquiums "Werkstoffwissenschaften und Bausanierung", Technische Akademie Esslingen (1986).

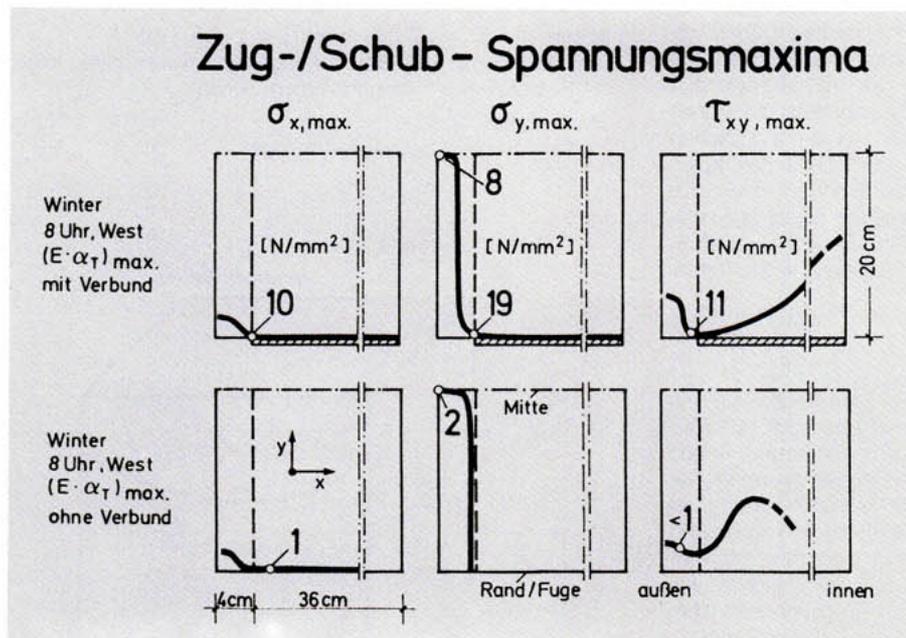


Bild 2: Örtliche Verläufe der Maximalwerte einzelner Spannungskomponenten (zweidimensional) mit Angabe des Extremwertes für jeden Spannungsmaxima-Kurvenverlauf im ebenen Berechnungsfeld.

Oben: Winterbedingungen mit kraftübertragendem Fugenverbund zwischen einzelnen Steinen.

Unten: Winterbedingungen ohne kraftübertragenden Fugenverbund.



FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR BAUPHYSIK

7000 Stuttgart 80, Nobelstraße 12, Tel. (0711) 6868-00  
8150 Holzkirchen (OBB), Postf. 1180, Tel. (08024) 643-0

Herstellung und Druck:  
IRB Verlag, Informationszentrum RAUM und BAU  
der Fraunhofer-Gesellschaft, Stuttgart

Nachdruck nur mit schriftlicher Genehmigung des  
Fraunhofer-Instituts für Bauphysik