

Betrachtungen zum feuchtebedingten Verformungspotential von Mauerziegeln

Holger Tebbe
Ing. Büro H. Tebbe, Neuwied

Unter Mitwirkung von:
Simone Schneider, Ing.-Büro H. Tebbe Neuwied

Einleitung

Dem Bauingenieur wird nachgesagt, dass er überwiegend in Festigkeiten denkt.

Überlegungen zum Verformungspotential der Baustoffe werden häufiger nachrangig behandelt. Elastische und plastische lastabhängige Verformungen werden in der Regel vom üblichen Tragwerksplaner bei der Bauwerkskonzeption noch umfassend mit behandelt (z. B. Durchhang von Treppenläufen und Flachdächern, Bemessung von Spannbeton etc.). Die Bemessung dieser Kenngrößen fließt als Berechnungskenngröße in der Regel in die Bemessung ein.

Thermische und hygrische Formänderungen werden häufiger lediglich als Tabellenwerte abgegriffen und vom Tragwerksplaner manchmal nicht weiter hinterfragt oder genauer abgeschätzt. Über Treib- oder Schrumpfprozesse (Volumenveränderung aufgrund chemischer Umwandlung) liegen beim Tragwerksplaner häufig keine näheren Kenntnisse vor. Deren Verhalten wird daher, wenn nicht entsprechende Fachingenieure zusätzlich in die Bauwerkskonzeption eingebunden werden, in der Regel nicht weiter berücksichtigt.

Im nachfolgenden Beitrag soll auf ein wenig bekanntes Randproblem bei der Ziegelherstellung aufmerksam gemacht werden. Während im Mauerwerksbau in der Regel künstliche Steine eingesetzt werden, die üblicherweise formstabil sind oder ein gewisses Schwindpotential aufweisen, neigen die hier vorgestellten Mauerziegel zu deutlichen Quellerscheinungen. Hieraus können erhebliche Zwängungsspannungen entstehen, die im Extremfall ein Bauteilversagen zur Folge haben können.

Quellprozesse müssen jedoch nicht zwangsläufig zu Schäden führen. Sofern das Ausdehnungspotential durch entsprechende Anschlüsse- und Anschlusskonstruktionen zwängungs- und schadensfrei aufgefangen werden kann (analog zum konstruktiven Holzbau), müssen keine Schäden auftreten.

Dieser Artikel ist dazu gedacht, ein vor ca. 20 Jahren bereits erkundetes Randphänomen der Ziegelsteinherstellung einer breiteren Fachöffentlichkeit wieder in Erinnerung zu bringen. Auch soll aufgezeigt werden, dass dieses Phänomenen durchaus in der einschlägigen Normung Spuren hinterlassen hat, die sich jedoch nur einem aufmerksamen Leser erschließen.

Dass (seit Generationen grundsätzlich bekannte) Wirkungszusammenhänge von Baustoffkomponenten hin und wieder sogar von größeren Baustoffherstellern nicht ausreichend berücksichtigt werden, zeigen in spektakulärer Weise die allgemein aus der Presse bekannten Treib- und Zerfallserscheinungen von in Werken des Ruhrgebietes unter bestimmten Fertigungsbedingungen hergestellten Kalksandsteinen.

1. Darstellung der Problematik

Unter dem Begriff Ziegel werden in erster Linie keramische Mauersteine aus gebranntem Ton zusammenge-

fasst. Diese umfassen, vom Feldbrandziegel über Vollziegel und -klinker bis zu porosierten Hoch- oder Langlochziegel, eine Produktpalette, die sich in Zusammen-

setzung, Formgebung und Eigenschaften durchaus stark unterscheiden kann.

Ungebrannte, luftgetrocknete Lehmziegel weisen demgegenüber nochmals völlig andere Eigenschaften auf. Sie sind mit den vorgenannten Produkten kaum vergleichbar und werden im Folgenden nicht weiter behandelt.

Trotz ihrer großen Spannweite von Eigenschaften gelten Mauersteine aus gebranntem Ton als weitgehend formstabil gegenüber hygri-schen Einflüssen.

In den einschlägigen Bemessungsnormen, z. B. DIN 1053-100 <1> ist dementsprechend ein geringes Spektrum vom potentiellen Schwind- und Quellverhalten von Ziegeln angegeben. Als einzige Steinart wird Ziegeln als Rechenwert der Feuchtedehnung der Wert 0 zugeordnet. Für alle anderen Steinarten werden als Rechenwert mehr oder weniger große Schwindraten angegeben, vergleiche Bild 1.

Mauersteinart	Endwert der Feuchtedehnung (Schwinden, chemisches Quellen) ^a	
	$\epsilon_{f\infty}^a$	
	mm/m	
	Rechenwert	Wertebereich
1	2	3
Mauerziegel	0	+ 0,3 bis -0,2
Kalksandsteine ^d	- 0,2	- 0,1 bis -0,3
Leichtbetonsteine	- 0,4	- 0,2 bis -0,5
Betonsteine	- 0,2	- 0,1 bis -0,3
Porenbetonsteine	- 0,2	+ 0,1 bis -0,3

Bild 1: Feuchtedehnung von Mauerstein gemäß DIN 1053-100 <1>

Zu beachten ist jedoch auch, dass mit Ausnahme vom Porenbetonstein Mauerziegel die einzige Steinart sind, für die ein potentielles Quellen aufgewiesen ist. Zum rezepturabhängigen Treibpotential von Porenbetonsteinen wurde in den 80-er und 90-er Jahren des vorigen Jahrhunderts ebenfalls Untersuchungen angestellt.

Die Hauptursache der Schwindneigung der nichtkeramischen künstlichen Mauersteine ist darin zu sehen, dass ihrer Herstellung Wasser über chemische Umwandlungsprozesse in die Steinstruktur eingebunden wird.

Diese Umwandlungsprozesse sind zum Teil bei der Auslieferung noch nicht abgeschlossen, zudem entweicht nicht gebundenes Überschusswasser aus diesen Baustoffen. Dies führt zu den in der Norm, siehe

Bild 1, ausgewiesenen Richtwerten hinsichtlich des Schwindpotentials.

Allerdings ist auch hierbei zu beachten, dass diese Richtwerte zum Teil bei nur sachgerecht vorgelagerten (ausreichend abgetrockneten) Steinen gelten. Die Norm weist ausdrücklich darauf hin. Wörtlich wird im Abschnitt 8.6 „Grundlagen für die Berechnung der Formänderung“ darauf hingewiesen, dass die *Verformungseigenschaften der Mauerwerksarten stark streuen können*. Weiterhin wird ausdrücklich darauf hingewiesen, dass der angegebenen Grenzen des Wertebereich im Einzelfall überschritten werden könnten.

Während die Endschwindwerte in der Regel bei der Bemessung im Mauerwerksbau berücksichtigt werden (z. B. über entsprechend dimensionierte Bauteil- und Bauwerksfugen, Einlegen konstruktiver Bewehrung zur Rissesicherung, etc.) wird ein Quellen von künstlichen Mauersteinen bei der Planung in der Regel nicht in Erwägung gezogen.

Treten im Mauerwerksbau dennoch größere Volumenzunahmen auf, kann dies zu erheblichen Schäden führen, siehe Abschn. 4.

2. Abriss zur Ziegelherstellung

2.1 Herstellungsablauf

Die Ziegelherstellung lässt sich vereinfacht durch die Produktionsprozesse

- Rohstoffgewinnung
- Rohstoffaufbereitung (Mischen, Mahlen, Walzen, Mauken)
- Grünlinge im Extruderverfahren herstellen
- Trocknen der Grünlinge
- Brennen
- Nachbehandlung (z. B. Schleifen)
- Qualitätskontrolle
- Verpacken und für den Versand zwischenlagern

charakterisieren.

Ein vereinfachtes Ablaufschema der Mauersteinproduktion gebrannter Ziegel ist in Bild 2 dargestellt.

Ziegeleibetriebe sind in der Regel innerhalb eines eigenen Rohstoffvorkommen ansässig, dass als Hauptbestandteil der eigenen Produktion ausgebeutet wird.

Im Zuge der Rohstoffaufbereitung erfolgt ggf. die Zumischung weiterer Rohstoffkomponenten, die ggf. auch zugekauft werden.

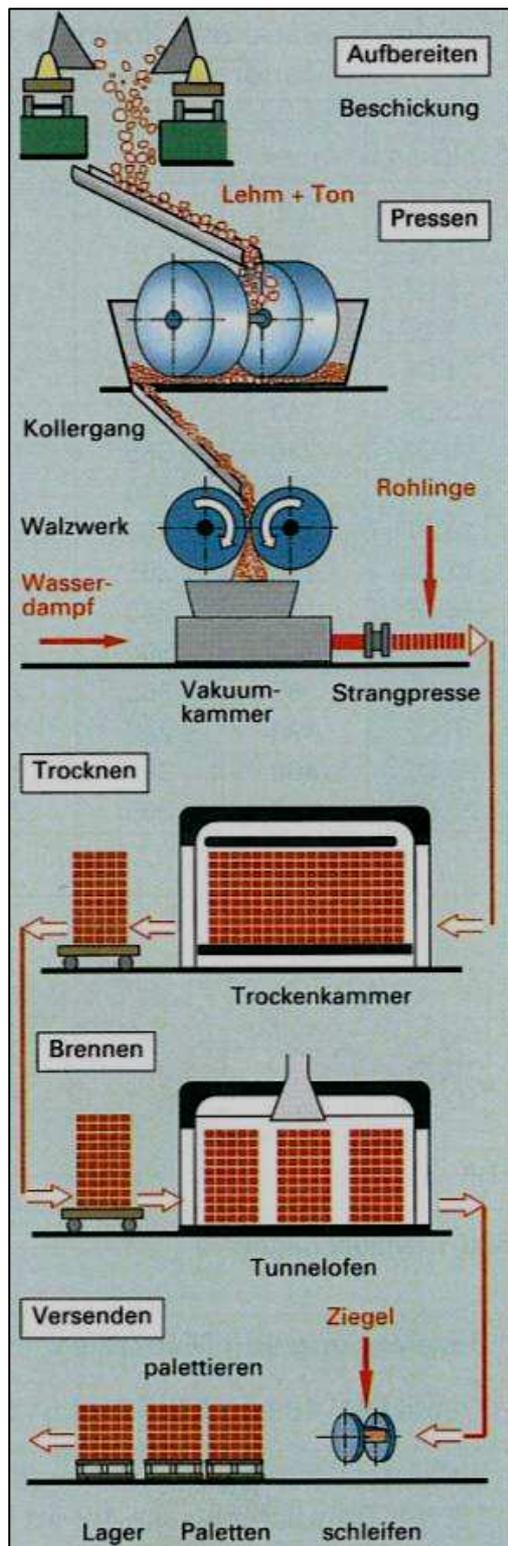


Bild 2: Schema zur Ziegelherstellung nach <2>

2.2 Rohstoffkomponenten

Mauerziegel werden in der Regel aus Lehmen, Lössböden oder Tonvorkommen mit Nebenbestandteilen hergestellt. Reine Tonvorkommen z. B. aus Kaolin- oder Montmorillonitvorkommen sind in der Regel für die Mauersteinherstellung zu wertvoll. Sie werden vor-

zugsweise für andere Anwendungsgebiete wie z.B. Porzellan und Feuerfestprodukte (Kaolin) oder Bentonit (Montmorillonit) aufbereitet.

Die für die Mauersteinproduktion eingesetzten Tone werden üblicherweise in die drei Gruppen

- Kaolinminerale
- Smektite
- Illit-Tone

unterschieden.

Aus vorgenannten Gründen besitzt für die Ziegelherstellung die drittgenannte Gruppe, die Illit-Tone, eine größere Bedeutung.

Neben natürlichen Rohstoffen werden den Rohstoffmischungen der Ziegeleiprodukten, neben natürlichen und industriell hergestellten Magerungsmitteln und Reduktionsstoffen, teilweise auch industrielle Nebenprodukte, z. B. Filterkuchen von Kammerfilterpressen, zugegeben.

Neben Tonen, Tonsandgemischen und Lehmen spielen für den keramischen Brennprozess auch Flussmittel als mengenmäßig größere Zugabekomponente eine Rolle.

Als Flussmittel werden Stoffe bezeichnet, die die Schmelzpunktemperatur beim keramischen Brand verringern. Übliche Flussmittel, die z.B. bereits natürlicher Bestandteil von Tonnebenbestandteilen, Lehmen und Löss sein können, sind Kalzium- und Magnesiumcarbonate.

Sofern erdalkaliarme Rohstoffmischungen gebrannt werden sollen oder müssen, kann der Rohmischung während der Aufbereitung ggf. Kalk als Flussmitteln zugegeben werden.

Insbesondere für die porosierten wärmedämmenden Hoch- und Langlochziegel sind als weitere wichtige Rohstoffkomponenten Porosierungsmittel zu nennen.

Einige der in diesem Abschnitt behandelten Rohstoffkomponenten sind nachfolgend in Bild 3 nochmals zusammengefasst.

- Rohtone und Böden, z.B.
 - Kaolinminerale (z.B. Porzellanherstellung)
 - Smektite (Montmorillonit, z.B. im Bentonit)
 - Illit-Tone
 - Lehme, Lösslehme, Tonschiefer
 - industrielle Nebenprodukte (z.B. Filterkuchen)
- Flussmittel (z.B. Calcium- u. Magnesiumcarbonate)
- Porosierungsmittel (Polystyrol, Sägemehl etc.)

Bild 3: ausgewählte Rohstoffkomponenten zur Ziegelherstellung

2.3 Hygrische Eigenschaften von Tonmineralien

Tonmineralien bilden sich als Verwitterungsprodukte von (glasartigen bzw. silikatischen) Gesteinen und Mineralien. Sie sind daher als Sediment (Ablagerungsgestein) anzusehen.

Je nach Verfestigungsgrad (Diagenese) der Lockersedimente kommt es zu Ordnungs- und Ausrichtungsprozessen der Einzelpartikel, aber auch im Kristallgitter der einzelnen Tonmineralien.

Je nach Umgebungsbedingungen (z.B. übersättigte Bodenlösungen oder Hydrothermalwässer) können auch weitergehende Umwandlungsprozesse bis hin zur Bildung von Tonschiefer auftreten. Tonschiefer ist nicht mehr als Sediment sondern eher als Metamorphit (Umwandlungsgestein) anzusprechen.

Reine Tone sind aufgrund ihrer Genese äußerst feinkörnige (Korngröße kleiner $2\ \mu\text{m}$) Schichtsilikate, vergleiche Bild 4.

Diese Schichtsilikate können an ihren Außenseiten physikalisch Wasser binden. Tonmineralien lassen sich daher je nach Wassergehalt sowohl als Dispersion (z.B. Schlicker) als auch als relativ steifer Feststoff (luftgetrocknete Lehmziegel) aufbereiten.

Je nach Aufbau wird zwischen Zweischicht und Dreischichtsilikaten (z.B. Montmorillonit) unterschieden, siehe Bild 4. Das Quellpotential sowie mechanische Eigenschaften verschiedener Tonmineralien differieren auch in Abhängigkeit ihrer inneren Struktur daher stärker.

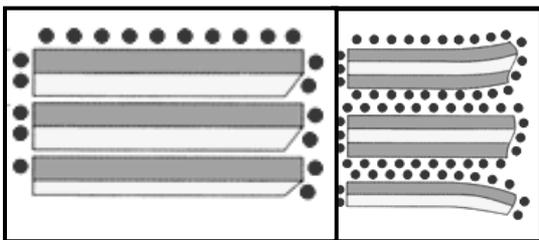


Bild 4: schematische Darstellung der Wasseranlagerung an Zweischichtsilikaten (links) und Dreischichtsilikaten (rechts)

2.4 Brennvorgang

Durch den Brennvorgang werden die Schichtsilikate des Ziegelrohstoffes an- oder aufgeschmolzen.

In Abhängigkeit von der Brenntemperatur und der Dauer der Haltezeit, kann der Grad der Aufschmelzung beeinflusst werden. Die Untergrenze, bei der ein Aufschmelzen beginnt, kann durch Flussmittel beeinflusst werden. Erdalkalienteile (Kalzium- oder Magnesiumverbindungen) in der Rohmasse senken die für die

Auflösung der Kristallstruktur notwendige Mindesttemperatur herab.

Dies bedeutet, dass zur Erreichung des gleichen Aufschmelzungsgrades erdalkaliarme Rohmischungen tendenziell höhere Brenntemperaturen benötigen werden als bei erdalkalireicheren Mischungen.

Je höher der Anteil der glasigen Masse in der Keramikstruktur ist, desto dichter wird das keramische Gefüge, die Wasseraufnahme sinkt und die Witterungsangriffsmöglichkeiten nehmen ab.

Je niedriger die Temperatur ist, desto höher der verbleibende Anteil an kristallinen Strukturen. Diese kristallisierenden Strukturen weisen dann ggf. nach wie vor das Potential auf, Wasser physikalisch analog den in Abschnitt 2.3 beschriebenen Prozessen anzulagern.

Bei Klinkern werden die Kristalle bei Brenntemperaturen von ca. $1150 - 1300\ ^\circ\text{C}$ durchgehend glasartig aufgeschmolzen.

Vormauerziegel werden üblicherweise bei ca. $1000\ ^\circ\text{C}$ gebrannt, Porosierte Hochlochziegel bei noch niedrigeren Temperaturen (in der Regel ab $950\ ^\circ\text{C}$).

3. Vorliegende Untersuchung zum Quellverhalten

3.1 Einleitung

Aufgrund verschiedener Schadensfälle wurde das Feuchtedehnverhalten von Ziegeln in den 80er und 90er Jahren näher untersucht. Wesentliche Teile dieser Untersuchungsergebnisse sind in einem Artikel <3> in einem Journal der (west)deutschen Ziegelindustrie veröffentlicht worden.

Die in diesem Abschnitt dargelegten Zusammenhänge und Bilddokumentationen beziehen sich nahezu ausschließlich auf diesen Artikel.

In diesen Versuchen wurden aus drei Tonmischungen (A, B und C), siehe Tabellen A und B, bei unterschiedlichen Brenntemperaturen und Haltezeiten Versuchskörper gebrannt. Bei jeder der drei Ausgangsmischungen wurde zusätzlich durch Zugabe unterschiedlicher Porosierungsmittel und verschieden hoher Dosierung von Kalkmehlzugaben, jeweils insgesamt 6 Mischungsvarianten, hergestellt, siehe Tabellen C und D.

Nach Herstellung unter kontrollierten labortechnischen Bedingungen wurden die Prüfkörper einem Langzeitest zur Untersuchung des Feuchtedehnverhaltens unterzogen.

Für das hierzu allgemein übliche Konditionierungsverfahren werden die gebrannten Probekörper zunächst auf $650\ ^\circ\text{C}$ bei einer Haltezeit von 4 Stunden aufgeheizt. Durch diesen Vorgang wird das physikalisch gebundene Wasser ausgetrieben, sodass in der Folge das Ge-

samtdehnungspotential der Prüfkörper erfasst werden kann.

Als Prüfklima wurde anschließend eine Temperatur von 20°C bei 80% relativer Luftfeuchte (Normklima 20/80) gewählt. Die Längenänderung der Prüfstäbe erfolgte in Strangrichtung. Die veröffentlichte Untersuchungszeit betrug 200 Tage.

Als Rohtongemisch A wurde ein erdalkaliarmer Schiefer-ton mit Steinzeugton Zugabe ausgewählt. Dieser Rohton besaß angabegemäß ein hohes Quellpotential.

Als Rohtongemisch B wurde ein Lösslehm mit Mergel-tonzugabe gewählt. Dieser Ton besitzt einen höheren Anteil an quellfähigen Tonmineralien (Montmorillonit).

Als Rohtongemisch C wurde ein Lias-Schiefer-ton ausgewählt. Analog zur Rohtonmischung B besitzt er im Gegensatz zur Rohtonmischung A einen deutlich höheren Anteil an Erdalkalien.

Mineralbestand und chemische Analyse dieser Grundmischung sind in den Tabellen A und B des Anhangs wiedergegeben.

3.2 Untersuchte Einflussgrößen des Quellverhaltens

Aus den in Abschnitt 3.1 beschriebenen Versuchen lässt sich ableiten, dass erdalkaliarme Mischungen bei Brenntemperaturen bis rund 1040°Grad, bei einer Haltezeit von 4 Stunden ein erhöhtes Quellpotential aufweisen. Durch Veränderung der Haltezeit auf 16 Stunden wird das Quellpotential nur mäßig verringert, siehe Tabellen C und D.

Verschiedene Porosierungsmittel, die naturgemäß unter anderem Einfluss auf Gefügestruktur und somit Wasseraufnahme und Festigkeit nehmen, sind nahezu ohne Einfluss auf das Quellverhalten.

Wird die erdalkaliarme Tonmischung A mit einem Flussmittel (hier Kalksteinmehl) angereichert, sinkt das Feuchtedehnpotential erheblich.

Aus den in Abschnitt 2.4 dargelegten Zusammenhängen kann daher abgeleitet werden, dass durch die Kalkzugabe die Temperatur, bei der der Aufschmelzvorgang der Schichtsilikate beginnt, soweit abgesenkt werden kann, dass auch bei dieser Grundmischung bereits bei einer Brenntemperatur von 960°Grad nur noch eine geringe Quellneigung auftritt.

Die Versuchskörper der Tonmischungen B und C wiesen von Hause aus in nahezu allen Versuchsparametern ein Quellpotential auf, welches den Wertebereich der DIN 1053-100 maximal nur geringfügig übersteigt.

Gemäß den vorliegenden Ergebnissen lassen sich also eindeutig quellfähige erdalkaliarme Tone als tendenzi-

ell gefährdet erkennen. Erdalkalireiche Mischungen sind bei den unter den Versuchsbedingungen eingehaltenen Randbedingungen ab 960°C, Haltezeit 4 Stunden, als unproblematisch anzusehen.

In wie weit bei diesen Rohtongemischen bei noch niedrigeren Brenntemperaturen, also Brenntemperaturen ohne wesentliche Aufschmelzung, auch deren Feuchtedehnpotenzial deutlich steigt, wurde nicht weiter untersucht.

In wie weit das Quellpotential unterschiedlicher Schichtsilikatsorten im Rohton unter sonst gleichen Randbedingungen (insbesondere bei möglichst gleicher spezifischer Schmelztemperatur) Auswirkungen auf die Größenordnung des Feuchtedehnverhalten haben, wurde in der Veröffentlichung nicht näher ausgeführt.

3.3 Festgestelltes Quellpotential

Das in der Versuchsreihe maximal festgestellte Quellpotential des Rohtons A betrug nach 200 Tagen 1,7 mm pro Meter, siehe Tab C und Diagramm E.

Über die Versuchsdauer von 200 Tagen wurde zwar ein asymptotischer Verlauf verzeichnet, die Kurve weist aber nach wie vor eine Steigung auf, sodass die 1,7 mm/m nicht als Endquellwert angesehen werden dürften.

Untersuchungen des Instituts für Bauforschung, Aachen, hierzu, die der Autor Mitte der 90er Jahre dort durchgeführt hat, wiesen sogar noch nach einem Jahr Beobachtungsdauer eine deutliche Steigerungsrate auf.

Wenn man von einem Quellpotential von mindestens 1 - 2 mm/m der Steine ausgeht, ist klar, dass erhebliche Zwängungsdrücke auftreten können.

Dies gilt insbesondere auch, da durch die Quellvorgänge, gemäß den hier zitierten Untersuchungen, nur beschränkt Gefügestörungen auftreten. Diese Steine können daher also potentiell nennenswerte Spannungen aufbauen.

Die maximalen Festigkeitsverluste wurden in den zitierten Versuchen zu rund 10-15% festgestellt. Diese traten erwartungsgemäß an den Prüfkörpern mit dem höchsten Feuchtedehnungspotential auf, siehe Tabelle F.

4. Schadensbeispiel

Eine Untersuchung an der Vorschale eines siebenstöckigen Wohn- und Geschäftshauses, siehe Bild 5, errichtet Anfang der 80er Jahre des vorherigen Jahrhunderts, wies bei einer Untersuchung im Jahre 2009 so starke Schäden auf, dass seitens des Autors der Abriss der Vorschale empfohlen wurde.



Bild 5: Außenansicht des Untersuchungsobjektes

Die Eigentümer des Objektes, Kath. Kirchengemeinde, St. Dionysius, Essen, haben freundlicherweise einer Veröffentlichung der Ergebnisse zugestimmt

An entnommenen Steinen dieser Ziegelvorschale wurde ein Feuchtedehnpotential von durchschnittlich 0,9 mm pro Meter im Kurzzeitversuch ermittelt, siehe Bild 6.

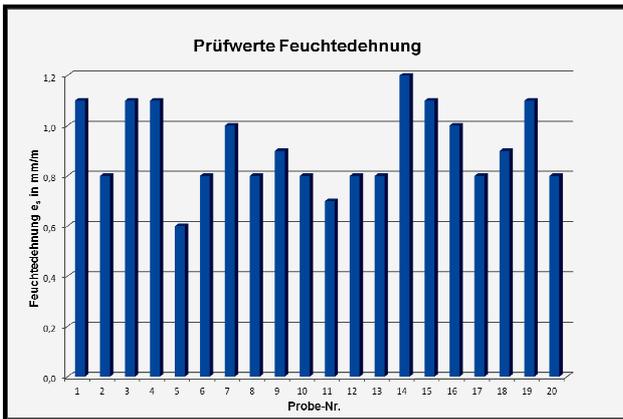


Bild 6: Labortechnisch ermittelte Feuchtedehnwerte im Kurzzeitversuch an 20 Vormauersteinen des Untersuchungsobjektes, vergleiche Bild 5

Als Folge dieser Volumenzunahme hatte sich die Ziegelvorschale zwischen Aufstandsfläche und Zwischenkonsole derart verspannt, dass die Ziegelschale nach außen ausknickte, siehe Bild 7.



Bild 7: Ausknicken der Vorschale aufgrund Quelldehnung der verarbeiteten Vormauersteine

Im Fußpunkt durchgehender Ziegelwandflächen (also an Wandflächen ohne nennenswerte Öffnungen) waren darüber hinaus im engen Abstand senkrechte Spannungsrisse festzustellen, die als Folge lastbedingter Querkzugspannung der Ziegel zu werten sind, siehe Bild 8.



Bild 8: Spannungsrisse am Fuß der Mauerschale

Alle freigelegten und untersuchten Auflagerkonsolen hatten sich im Langloch nach oben gegen den im Mauerwerk eingelassenen Ankerdorn gedrückt. Die Aufstandsfläche war zudem nach oben verbogen, siehe Bild 9.



Bild 9: Hochgedrückte Konsole in der Vorschale

In Einzelfällen war sogar der Ankerdorn nach oben hin ausgebrochen. An verschiedenen aus der Wand genommenen Ankerdornen konnten zudem Verformungen

aufgrund dieser Lasteintragung festgestellt werden, vergleiche Bild 10.



Bild 10: oben: Ausbruch über Ankerdorn der Konsole
unten: entnommener Ankerdorn mit sichtbarer Verformung

Da die Vorschale weitgehend aus ihrer Lage ausgeknickt war und das Restdehnungspotential der Ziegel zu diesem Zeitpunkt noch unbekannt war, musste die Fassade zurückgebaut werden.



Bild 11: deutlich sichtbare Ausmitte der Vorschale

Aufgrund der teilweise enormen Ausmitte der ausknickenden Ziegelvorschale (bis zu 4 cm bei einer Schalendicke von 10,5 cm, vergleiche Bild 11) wurde direkt nach der Erstbegehung eine Notsicherung angeordnet. Kurzfristig danach wurden zunächst die Vorschalenbereiche mit den erkennbar stärksten Ausmitten rückgebaut.

5. Zusammenfassung

Im vorgelegten Schadensbeispiel wurde für den Bauherrn und Eigentümer des Objektes ein enormer wirtschaftlicher Schaden durch ein in der Baubranche kaum bekanntes, selten auftretendes Phänomen (Quellempfindlichkeit) von bestimmten (zumindest in der Vergangenheit produzierten) Ziegeleiprodukten aufgezeigt.

Anhand älterer Forschungs- und Versuchsergebnisse wurde zudem versucht, einige Zusammenhänge und Einflußfaktoren auf das Formänderungspotentials derartiger Mauersteine näher zu beleuchten.

Quellenangaben

- <1> DIN 1053-100, Ausgabe 2007-09:
Mauerwerk- Teil 100: Berechnung auf der Grundlage des semiprobabilistischen Sicherheitskonzepts
- <2> Frey, H. (Hrsg.)
**Bautechnik
Fachkunde Bau**
Verlag Europa-Lehrmittel Haan-Gruiten,
12 Auflage 2007
- <3> Hauck, D.; Hilker, E.; Hesse, E.:
Zum Feuchtedehnverhalten von Ziegeln
Bauverlag, Wiesbaden 1989 – In Ziegeleitechnisches Jahrbuch 1989, S. 47-68

Tagungsbeitrag zu:

3. Kolloquium
Erhaltung von Bauwerken
Technische Akademie Esslingen 22. u. 23.01.13
(10 Seiten gesamt)

Komponenten	Schiefer-ton mit ca. 15% Steinzeug-ton	Mischung aus 65% Lößlehm und 35% Mergel-ton	Lias-Schiefer-ton
Components	Shaly clay with approx. 15% stoneware clay	Mixture of 65% loess-loam and 35% marl clay	Lias-shaly clay
	A 1	B 1	C 1
Quarz/Quartz	37	24	28
Feldspat/Feldspar	ca./appr. 2	ca./appr. 4	ca./appr. 3
Glimmer (Illit + Serizit)/Mica (illite + sericite)	ca./appr. 30	ca./appr. 35	ca./appr. 30
Chlorit/Chlorite	ca./appr. 16	ca./appr. 3	ca./appr. 5
Kaolinit/Kaolinite	ca./appr. 10	?	ca./appr. 27
Quellbare Tonminerale (Chlorit-Montmorillonit) Expansible clay minerals (chlorite-montmorillonite)	–	ca./appr. 18	–
Calcit/Calcite	–	6	2.5
Dolomit/Dolomite	–	4	0.5
Eisenhydroxid (krist.)/Iron hydroxide (crystal.)	ca./appr. 3	ca./appr. 5	–
Gips/Gypsum	–	–	3
Gehalt an krist. Substanz Content of crystalline substances	ca./appr. 98	ca./appr. 99	ca./appr. 99

Tabelle A: Mineralbestand der Versuchsmischungen A, B und C in M.-% der in <3> beschriebenen Untersuchungen

Hauptkomponenten	Schiefer-ton mit ca. 15% Steinzeug-ton	Gemisch aus 65% Lößlehm und 35% Mergel-ton	Lias-Schiefer-ton
Main components	Shaly clay with appr. 15% stoneware clay	Mixture of 65% loess-loam and 35% marl clay	Lias-shaly clay
	A 1	B 1	C 1
SiO ₂	62.76	56.01	55.17
Al ₂ O ₃	17.16	12.15	15.64
Fe ₂ O ₃	5.76	4.73	5.39
MgO	1.64	5.21	1.80
CaO	0.25	5.38	3.17
Na ₂ O	0.06	0.16	0.06
K ₂ O	3.42	3.05	2.64

Tabelle B: Chemische Analyse der Versuchsmischungen A, B und C in M.-% der in <3> beschriebenen Untersuchungen

Bezeichnung der Massen Description of the clay bodies	960 °C (mm/m)	1000 °C (mm/m)	1040 °C (mm/m)	1080 °C (mm/m)
A 1 ohne/without** Zusatz/additive	1.71	1.49	0.68	0.22
A 2 mit/with 15 % Sägemehl/sawdust	1.58	1.50	0.90	0.46
A 3 mit/with 1.2% Polystyrol/polystyrene	1.65	1.57	0.76	0.21
A 4 mit/with 5 % Kalkmehl/powd. lime	0.72	0.36	0.27	0.20
A 5 mit/with 10 % Kalkmehl/powd. lime	0.41	0.34	0.29	0.29
A 6 mit/with 20 % Kalkmehl/powd. lime	0.30	0.20	0.18	0.18
B 1 ohne/without Zusatz/additive	0.40	0.31	0.29	0.19
B 2 mit/with 15 % Sägemehl/sawdust	0.42	0.36	0.31	0.26
B 3 mit/with 1.2% Polystyrol/polystyrene	0.41	0.30	0.26	0.18
B 4 mit/with 5 % Kalkmehl/powd. lime	0.40	0.34	0.31	0.27
B 5 mit/with 10 % Kalkmehl/powd. lime	0.35	0.30	0.29	0.24
B 6 mit/with 20 % Kalkmehl/powd. lime	0.31	0.20	0.17	0.16
C 1 ohne/without Zusatz/additive	0.38	0.17	0.13	0.06
C 2 mit/with 15 % Sägemehl/sawdust	0.34	0.18	0.15	0.13
C 3 mit/with 1.2% Polystyrol/polystyrene	0.36	0.20	0.15	0.09
C 4 mit/with 5 % Kalkmehl/powd. lime	0.18	0.22	0.20	0.22
C 5 mit/with 10 % Kalkmehl/powd. lime	0.22	0.26	0.25	0.23
C 6 mit/with 20 % Kalkmehl/powd. lime	0.25	0.22	0.19	0.13

***) Angaben in Massen-%
***) Amounts are given in % by mass

Tabelle C: Maximale Feuchtedehnung in mm/m der Versuchsmischungenvarianten A, B und C bei einer Spitztemperaturhaltezeit von 4 h gemäß der in <3> beschriebenen Untersuchungen

Bezeichnung der Massen Description of clay bodies		960 °C (mm/m)	1000 °C (mm/m)	1040 °C (mm/m)
A 1 ohne/without***) Zusatz/additive		1.60	1.20	0.43
A 2 mit/with 15 % Sägemehl/sawdust		1.51	1.26	0.62
A 3 mit/with 1.2 % Polystyrol/polystyrene		1.52	1.26	0.48
A 4 mit/with 5 % Kalkmehl/powd. lime		0.48	0.31	0.25
A 5 mit/with 10 % Kalkmehl/powd. lime		0.35	0.32	0.27
A 6 mit/with 20 % Kalkmehl/powd. lime		0.21	0.18	0.17
B 1 ohne/without Zusatz/additive		0.39	0.30	0.27
B 2 mit/with 15 % Sägemehl/sawdust		0.40	0.34	0.27
B 3 mit/with 1.2 % Polystyrol/polystyrene		0.40	0.30	0.25
B 4 mit/with 5 % Kalkmehl/powd. lime		0.36	0.29	0.23
B 5 mit/with 10 % Kalkmehl/powd. lime		0.28	0.26	0.22
B 6 mit/with 20 % Kalkmehl/powd. lime		0.26	0.19	0.17
C 1 ohne/without Zusatz/additive		0.24	0.19	0.15
C 2 mit/with 15 % Sägemehl/sawdust		0.28	0.23	0.16
C 3 mit/with 1.2 % Polystyrol/polystyrene		0.24	0.23	0.20
C 4 mit/with 5 % Kalkmehl/powd. lime		0.22	0.28	0.23
C 5 mit/with 10 % Kalkmehl/powd. lime		0.26	0.31	0.26
C 6 mit/with 20 % Kalkmehl/powd. lime		0.21	0.12	0.12

*) Angaben in Massen-%
*) Amounts given in % by mass

Tabelle D: Maximale Feuchtedehnung in mm/m der Versuchsmischungenvarianten A, B und C bei einer Spitzentemperaturhaltezeit von 16 h gemäß der in <3> beschriebenen Untersuchungen

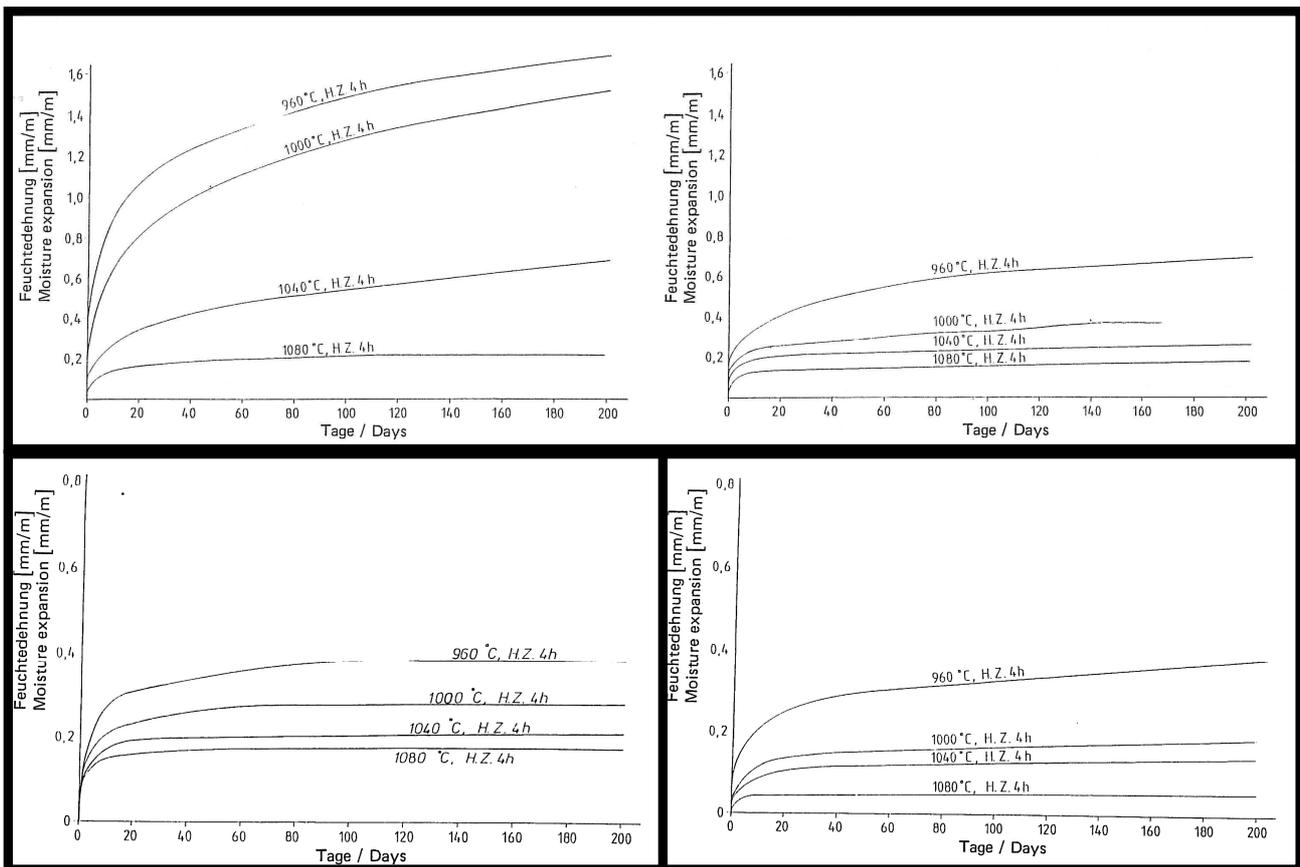


Diagramm E: Feuchtedehnung in mm/m der Versuchsmischungen A - C gemäß der in <3> beschriebenen Untersuchungen; Beobachtungszeitraum 200 d

- oben links:** Versuchsmischung A ohne Zusätze
- oben rechts:** Versuchsmischung A mit 5M.-% Kalksteinmehlzugabe
- unten links:** Versuchsmischung B ohne Zusätze
- oben rechts:** Versuchsmischung C ohne Zusätze

Bezeichnung der Massen Description of clay bodies	960 °C		1000 °C		1040 °C		1080 °C		
	vor before	nach after	vor before	nach after	vor before	nach after	vor before	nach after	
A 1 ohne/without**)	Zusatz/additive	21.3	18.6	25.9	23.6	32.7	33.0	36.8	36.1
A 2 mit/with 15	% Sägemehl/sawdust	4.1	4.0	5.2	5.7	6.6	6.7	8.5	8.5
A 3 mit/with 1.2	% Polystyrol/polystyrene	9.1	8.4	9.7	9.0	12.0	12.6	14.5	15.3
A 4 mit/with 5	% Kalkmehl/powd. lime	26.2	25.8	26.7	26.3	27.0	26.9	29.3	28.9
A 5 mit/with 10	% Kalkmehl/powd. lime	23.5	23.6	25.2	25.0	22.1	21.1	21.3	19.6
A 6 mit/with 20	% Kalkmehl/powd. lime	23.8	23.0	23.7	22.6	21.7	18.6	20.2	20.1
B 1 ohne/without	Zusatz/additive	18.6	19.5	19.3	19.8	21.9	21.7	23.6	23.9
B 2 mit/with 15	% Sägemehl/sawdust	4.9	5.7	5.7	6.2	6.1	6.6	7.0	7.4
B 3 mit/with 1.2	% Polystyrol/polystyrene	7.0	8.9	8.5	9.1	9.6	9.7	10.9	11.5
B 4 mit/with 5	% Kalkmehl/powd. lime	17.0	17.4	19.2	18.0	19.2	18.4	20.4	21.3
B 5 mit/with 10	% Kalkmehl/powd. lime	16.8	17.8	18.0	17.5	19.5	19.8	19.9	19.3
B 6 mit/with 20	% Kalkmehl/powd. lime	16.2	16.5	16.8	16.7	18.4	18.8	20.8	21.2
C 1 ohne/without	Zusatz/additive	11.7	11.5	12.4	12.9	13.9	13.5	15.2	15.1
C 2 mit/with 15	% Sägemehl/sawdust	4.7	n. b.*)	5.1	n. b.*)	6.0	n. b.*)	6.5	n. b.*)
C 3 mit/with 1.2	% Polystyrol/polystyrene	6.6	6.4	8.1	7.8	8.1	8.0	7.9	7.6
C 4 mit/with 5	% Kalkmehl/powd. lime	14.0	n. b.*)	14.0	n. b.*)	14.1	n. b.*)	13.8	n. b.*)
C 5 mit/with 10	% Kalkmehl/powd. lime	14.5	"	14.0	"	13.9	"	13.5	"
C 6 mit/with 20	% Kalkmehl/powd. lime	15.3	"	15.1	"	13.8	"	13.0	"

*) Angaben in Massen-%
*) Amounts are given in % by mass
) n. b. = not determined

**Tabelle F: Vergleich der Biegezugfestigkeit in N/mm^2 an Probekörpern der Versuchsmischungsvarianten A - C gemäß der in <3> beschriebenen Untersuchungen vor und nach Quellversuch
Probekörper gebrannt mit 4 h Spitztemperaturhaltezeit**