

Einsatz von Kalksubstituten in der KS-Produktion (1987-1996)

Hintergründe und Beurteilung aufgetretener Schäden

Autoren: T. Schoch, G.A. Scheffler, K. Schmidt und B. Straube

Publiziert in: Deutsches Ingenieur-Blatt (2012/03) 24-27.

1 Allgemeines

Ist eine Produkt-Entwicklung erfolgreich, sind Patente, positive Zeitungsberichte und nicht zuletzt das wirtschaftliche Vorankommen die Folge. Geht etwas schief, tritt meist das Gegenteil ein. Mit diesem Risiko muss jeder Entwickler leben können, egal, ob er nun Fahrzeuge, Brücken oder Baustoffe entwickelt. Werden Mauerwerksteine aus der Perspektive eines möglichen Entwicklungspotentials betrachtet, mag man an Attribute wie „überschaubar“, „vorhersehbar“ und „leicht kalkulierbar“ denken. Fehlanzeige! Die an die Entwicklung von Baustoffen gestellten Herausforderungen sind von besonderem Kaliber: Sie unterliegen Anforderungen, die sich aus dem Wissen und den zumeist allgemein anerkannten Erfahrungen vieler Jahrzehnte speisen und die gleichsam ein hohes Maß an Sicherheit für sehr lange Zeit bieten sollen. Das bedeutet, es reicht mitunter nicht aus, am Ende des Entwicklungsweges ein Produkt in voller Übereinstimmung mit anerkannten Regeln der Technik zu haben, wenn durch diese Regeln noch unbekannte Einflüsse nicht abgedeckt sind. Schließlich müssen die Produkteigenschaften dem Bauwerk eine über die geplante Lebensdauer gleichbleibende Sicherheit geben.

Dieser Artikel stellt die Entwicklung eines Kalksandsteins dar, der schon allein wegen seines von einigen Gazetten kreierten Beinamens „Bröselstein“ sein vorausbestimmtes Ende zu verraten scheint. Um die Hintergründe darzustellen, bedarf es einer Chronologie. Sie mündet in die Fragen, warum eine solche Entwicklung fehlschlagen konnte oder musste und welche tatsächlichen Auswirkungen zu erwarten sind.

1 Hintergründe

In der Baustoffindustrie, die bindemittelhaltige Produkte herstellt, gehören Bemühungen um Rezepturoptimierungen zur einer der wohl wichtigsten Entwicklungsaufgaben.

Bei der Suche nach Alternativen für gebrannten Kalk für die KS-Produktion erweckte Ende der 1980-er Jahre ein kalkhaltiges Abfallprodukt das Interesse des Herstellers „Kalsiton“ (später Haniel Baustoffwerke) mit seinen Werken in Issum, Ratingen und Kalscheuren. Dabei handelte es sich um Kalziumhydroxid (also gelöschten Kalk) aus der Rauchgasentschwefelung des Kraftwerkes Düsseldorf-Flingern. Da Kalziumhydroxid in der KS-Produktion ein Zwischenprodukt darstellt, war die Schlussfolgerung, den gebrannten Kalk durch den schon gelöschten Kalk zu ersetzen, ein durchaus innovativer Ansatz.

Im Februar 1988 hatte der Bundesverband der Kalksandsteinindustrie Hannover in [1] generelle Untersuchungsergebnisse zum Einsatz von Steinkohlen- und Braunkohlenflugaschen bei der Kalksandsteinherstellung veröffentlicht.

Der aus den Stadtwerken Düsseldorf eingesetzte Sprühabsorptionsrückstand kam seiner Zusammensetzung nach einer Braunkohlenflugasche nahe, war aber nicht identisch.

In [1, Pkt. 6 (Schlussfolgerungen für die Praxis)] wurden auch die negativen Aspekte des Einsatzes von Flugasche diskutiert. Als grundlegende Voraussetzung für den Einsatz wird die Volumenstabilität im Autoklavierungsprozess herausgearbeitet. Zusammenfassend wird konstatiert, dass die geprüften Braunkohlenflugaschen diese Voraussetzung nicht erfüllen und deshalb für die Kalksandsteinherstellung ungeeignet sind.

Vorliegende Prüfergebnisse aus der damaligen Zeit und eigene Untersuchungen zeigen, dass in der Produktion von Kalksandsteinen mit dem Sprühabsorptionsrückstand die Volumenstabilität vorhanden war.

Die Definition des Produktes Kalksandstein zum Zeitpunkt der beabsichtigten Herstellung lautete nach DIN 106 – 1: 1980 – 09 /2: *Kalksandsteine sind Mauersteine, die aus Kalk und kieselsäurehaltigen Zuschlägen hergestellt, nach innigem Vermischen verdichtet, geformt und unter Dampfdruck gehärtet werden. Die Zuschlagarten sollen DIN 4226 Teil 1 entsprechen. Die Verwendung von Zuschlagarten nach DIN 4226 Teil 2 ist zulässig, soweit hierdurch die Eigenschaften der KS-Steine nicht ungünstig beeinflusst werden.* Auf welche Eigenschaften, die bei Abweichungen von DIN 4226 Teil 2 nicht negativ beeinflusst werden sollen, die Norm dabei abzielte, bleibt unbeantwortet. Sind die in der Norm selbst geforderten Eigenschaften gemeint, so wären das sowohl Druckfestigkeit als auch Rohdichte.

In DIN 4226 Teil 1 sind Zuschläge mit dichtem Gefüge geregelt, während DIN 4226 Teil 2 die Anforderungen an Zuschläge mit porösem Gefüge eingrenzt. Grundsätzlich lässt die DIN

4226 Teil 2 unter Pkt. 4.2 den Einsatz von künstlich hergestellten Zuschlägen zu. Demnach ist die Überlegung, eine flugaschenähnliche Substanz in der KS-Produktion einzusetzen, zulässig, normativ richtig und somit durch die allgemein anerkannten Regeln der Technik abgesichert.

Es galt zu beachten, dass in beiden Normen Schwefelverbindungen in Zuschlagstoffen als *Schädliche Bestandteile* eingeordnet werden. Unter Pkt. 6.4.5 der DIN 4226 Teil 2 wird ausgeführt: *Bei Verdacht auf Sulfat ist der Zuschlag nach DIN 4226 Teil 3 ... zu prüfen. Dabei darf der Gehalt an Sulfat, berechnet als SO₃, 1 Gew.- % nicht überschreiten.* Nach Pkt. 6.1.3 dieser Norm ist bei Überschreitung dieser Grenze des Sulfatgehaltes ... *die Brauchbarkeit des Zuschlages durch ein fachkundiges Prüfinstitut zu beurteilen.*

Für die Feststellung der Brauchbarkeit selbst gab – und gibt – es keine klaren anerkannten Regeln, richten sich diese ja auch ausschließlich nach dem intendierten Einsatz des Produktes. Zeitgleich zu den Überlegungen, den Ersatzkalk in der Produktion zu verwenden, erbat die Haniel Baustoffwerke eine Stellungnahme des Bundesverbandes KS zum Einsatz des Sprühabsorptionsrückstandes. Der Bundesverband sollte als Prüfstelle im Sinne der DIN 4226 agieren, was er aufgrund seiner fachlichen und gerätetechnischen Ausstattung auch konnte.

Dem Bundesverband Kalksandstein wurde eine chemische Analyse des zur Verwendung vorgesehenen Stoffes übergeben.

In Abstimmung mit dem Verband und unter Hinzuziehung weiterer Institute sind unter Beachtung vorgenannter Randbedingungen zahlreiche Tests ausgeführt worden. Entsprechende Prüfzeugnisse liegen vor und zeigen, dass auch nach heutiger Beurteilung kein offensichtliches Argument zu finden war, auf eine Produktion und einen Einsatz der Steine zu verzichten. Mit heutigem Erkenntnisstand wäre wohl eine Wasserlagerung der Steine über einen sehr langen Zeitraum notwendig gewesen, um die im nächsten Abschnitt erläuterten Schadensmechanismen auszulösen. Aber ist es nachvollziehbar, ein Mauerwerk, das nach der Anwendungsnorm vor Feuchtigkeit zu schützen ist, einer solchen Prüfung zu unterziehen? Unabhängig von persönlicher Beurteilung und persönlicher Betroffenheit bleibt hier festzustellen, dass es solche Prüfvorschriften nicht gibt – auch heute nicht.

3 Ursache und Mechanismen der Schadbildung

Voraussetzung für das Auftreten von Schäden ist der Kontakt der sulfathaltigen Kalksandsteine mit Wasser, das über einen sehr langen Zeitraum einwirken muss. Gemäß Auswertung der Schadensbilder und der vorliegenden Gutachten traten erste Schäden zwei bis

drei Jahre nach Erstellung der Gebäude auf. Die Schäden zeigten sich bevorzugt im Kellerbereich. Bei lang anhaltender Durchfeuchtung kam es zu Abplatzungen und Volumenvergrößerung der Kalksandsteine. Die schadhafte, nassen Steine hatten eine reduzierte Festigkeit und waren zum Teil deformiert. Sulfathaltige Kalksandsteine aus dem genannten Produktionszeitraum, die nicht in Kontakt mit Wasser kamen, zeigten keine Veränderungen und bleiben formstabil. Das belegen Druckfestigkeitsprüfungen an entnommenen Kalksandsteinproben (2 DF und 3 DF) mit erhöhtem SO_3 -Gehalt, die keiner Nässe ausgesetzt waren. Solche Steine wurden daraufhin in Wasser stehend bei 5 bis 10 Grad Celsius über einen langen Zeitraum gelagert. Erst nach 22 Monaten zeigten sich die ersten Veränderungen an den Steinen in Form von Abplatzungen, Volumenvergrößerungen und Ausblühungen (*Abb. 1* und *Abb. 2*).



Bild 1: Originalsteine vor Wasserlagerung



Bild 2: Originalsteine nach 22 Monaten Wasserlagerung bei 5 bis 10 Grad Celsius

Die mit Sprühabsorptionsrückstand hergestellten Steine enthalten in der Rohmischung unter anderem Gips ($\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$). Der Gips wandelt sich während der Autoklavierung der Kalksandsteine in Anhydrit (CaSO_4) bzw. Halbhydrat ($\text{CaSO}_4 \cdot 0,5 \text{H}_2\text{O}$) um. Diese Umwandlung wird seit Mitte der neunziger Jahre großtechnisch für die Erzeugung von Halbhydrat aus REA-Gips genutzt [2].

Die im Kalksandstein entstandenen Sulfatphasen Anhydrit und Halbhydrat wandeln sich nur bei Anwesenheit von Wasser und nur extrem langsam zu Gips um. Diese Reaktion ist mit einer Volumenvergrößerung verbunden und kann die Zerstörung des Gefüges bewirken. Die langsame Reaktionsgeschwindigkeit erklärt das Auftreten der Schäden erst nach frühestens zwei Jahren.

Schadensfälle, die auf Treibreaktionen (Volumenvergrößerung) und Gefügezerstörung zurückzuführen sind, gibt es auch im Betonbereich. Die Schädigung des Betons ist jedoch auf andere Reaktionen zurückzuführen [3-5]. Hier reagieren die in Wasser gelösten Sulfationen mit den Aluminhydraten des erhärteten Zementes. Als Reaktionsprodukte entstehen dabei Ettringit und Thaumasit. Diese sulfathaltigen Phasen üben durch ihre große Wasserbindung beim Kristallwachstum einen starken Druck auf die Porenwandung aus und zerstören das Betongefüge. Da in Kalksandsteinen kein Zement oder andere vergleichbare Aluminatphasen enthalten sind, trifft dieser Reaktionsmechanismus für die Volumenvergrößerung innerhalb der Kalksandsteine nicht zu.

4 Auswirkungen auf Gebäude

Zwingende Voraussetzung für die beschriebenen Prozesse ist dauerhaft durchfeuchtetes Mauerwerk. Kommt es zu einer Sulfatreaktion, zeichnen sich infolge der Volumenvergrößerung langsam die Mauerwerksfugen in Form von treppenförmigen Rissen ab (*Abb. 3*). Bei weiterem Voranschreiten des Prozesses nehmen die Rissbreiten zu. Zusätzlich kann es zu einer Volumenzunahme der Steine in den Kellerraum hinein kommen.

Bei den in Frage kommenden Steinen handelt es sich ausschließlich um Steine der Druckfestigkeitsklasse 12, die unter anderem für Kellermauerwerk eingesetzt wurden. Statisch haben diese Wände die Aufgabe, einerseits die Vertikallasten des Gebäudes und andererseits die Horizontallasten aus anstehendem Erddruck aufzunehmen und in das Fundament abzutragen.



Bild 3: Typisches Rissbild: Fugenriss aufgrund von Treiberscheinungen im Stein

Es wurden Steine von Bauvorhaben mit derartigen Schäden entnommen und im Labor untersucht. Die dabei ermittelten Einzelwerte der Steindruckfestigkeiten schwanken zwischen siebzig und 200 Prozent der ursprünglichen Nennfestigkeit. Die ansetzbare Mauerwerksdruckfestigkeit von $1,1 \text{ N/mm}^2$ wird durch den Festigkeitsabfall nur geringfügig beeinflusst, so dass die betroffenen Wände selbst mit verringerter Druckfestigkeit noch auf dem geltenden Sicherheitsniveau nachweisbar sind.

Gleiches gilt für die Aufnahmefähigkeit des Erddruckes. Durch Mauerwerksversuche zum Plattenschub wurden die Reibungsbeiwerte für unterschiedlich geschädigte erste Steinlagen untersucht. Die Ergebnisse zeigten, dass selbst im ungünstigsten Fall die bei der Bemessung ansetzbaren Werte noch deutlich überschritten wurden.

Nach heutigem Wissensstand sind die vorhandenen Resttragfähigkeiten der Steine in jedem Fall ausreichend, um die Lasten sicher abzutragen.

Der Schadmechanismus läuft sehr langsam ab und ist frühzeitig anhand der Symptome (Feuchtigkeit, Risse, etc.) erkennbar. Eine Einsturzgefahr besteht selbst bei weit vorangeschrittenem Schadbild nach heutiger Erkenntnis nicht.

Treten Schäden am Mauerwerk auf, so kann über eine Bohrkernentnahme mit anschließender chemischer Analyse des SO_3 -Gehaltes in einem C/S-Analysator festgestellt werden, ob Steine mit diesem Zuschlag verbaut worden sind. Haben die Treiberscheinungen aufgrund einer Wasserbeaufschlagung bereits eingesetzt, so ist das betroffene Mauerwerk auszutauschen.

5 Zusammenfassung

Ende der achtziger Jahre wurde im Rahmen einer Rezepturoptimierung für Kalksandsteine das Bindemittel Kalk teilweise durch einen Sprühabsorptionsrückstand ersetzt. Dieses Material enthielt neben Kalziumhydroxid schwefelhaltige Verbindungen. Es wurden, basierend auf dem damals geltenden technischen Regelwerk, zahlreiche Prüfungen durchgeführt, die keinen Anlass zu Befürchtungen gaben. Dennoch traten nach einigen Jahren Schäden im Kellerbereich auf, die sich in Form von durchfeuchtetem Mauerwerk und Volumenvergrößerungen der Steine äußerten.

Der Schadensmechanismus wurde untersucht und Betrachtungen zur Resttragfähigkeit sowie zum Versagensrisiko angestellt. Als Ursache wird die Reaktion des während der Autoklavierung in den Kalksandsteinen entstandenen Anhydrits zu Gips bei langzeitigem Kontakt mit Wasser gesehen.

Eigene Untersuchungen zeigen, dass die vorhandenen Resttragfähigkeiten des Mauerwerks ausreichen, um die Lasten sicher abzutragen. Der Schadmechanismus läuft sehr langsam ab und ist anhand der Symptome (Feuchtigkeit, Risse, etc.) gut erkennbar.

Quellen:

- [1] U. Wittneben, Möglichkeiten zur Reduzierung des Kalk- und Energiebedarfes bei der Kalksandsteinherstellung durch den Zusatz von Flugaschen – Forschungsbericht Nr. 68, Bundesverband der Kalksandsteinindustrie Hannover, 1988
- [2] W. Koll, T. Koslowski, W. Osthoff; Alpha-Halbhydrat aus REA-Gips als kostengünstiges Qualitätsbindemittel, V19, VGB/ BVK – Konferenz – Nebenprodukte aus Kohlekraftwerken 1996
- [3] K. Wesche, Baustoffe für tragende Bauteile, Band 2, Beton von 1981
- [4] D. M. Mulenga, Zum Sulfatangriff auf Beton und Mörtel einschließlich Thaumasitbildung, Dissertation Bauhaus-Universität Weimar, 2002
- [5] F. Bellmann, Zur Bildung des Minerals Thaumasit beim Sulfatangriff auf Beton, Dissertation, Bauhaus-Universität Weimar 2005