Zeitschrift: Schweizer Ingenieur und Architekt

Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine

Band: 117 (1999)

Heft: 9

Artikel: Einsturz der Aussenwand eines Zweischalenmauerwerk: Ermittlung der Einsturzursache

Autor: Maissen, Aluis

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-79701

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 29.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Aluis Maissen, Dübendorf

Einsturz der Aussenwand eines Zweischalenmauerwerks

Ermittlung der Einsturzursache

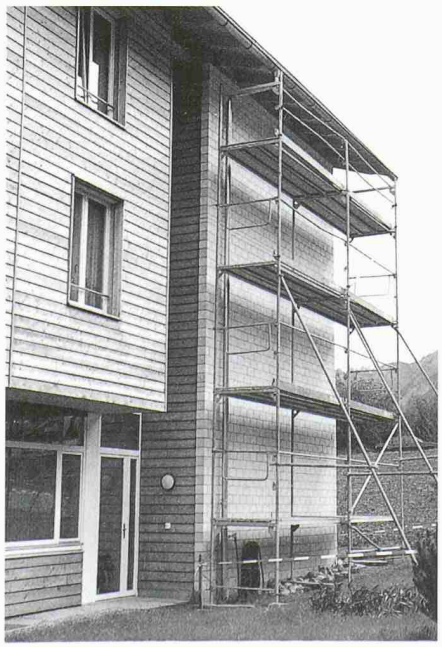
Ende April 1998 stürzte die Aussenwand eines Zweischalenmauerwerks einer Liegenschaft in der Südostschweiz unter Föhneinwirkung ein. Das Mauerwerk aus Kalksandstein war Teil eines grösseren, rund zwei Jahre alten Gebäudes. In der Folge wurde die Empa mit der Erstellung eines Gutachtens beauftragt. Hauptziel war die Ermittlung der Einsturzursache [1].

Bild 1 zeigt eine Teilübersicht der Liegenschaft mit der Ansicht der Kalksandsteinwand an der südöstlichen Front, die in konstruktiver Hinsicht mit der eingestürzten Wand (Bild 2) an der südwestlichen Seite identisch ist.

Konstruktives

Bild 3 zeigt eine Ansicht der Aussenschale und Bild 4 einen Vertikalschnitt durch das Zweischalenmauerwerk mit der inneren Tragwand aus Backstein, der Wärmedämmschicht aus Steinwolle und der Aussenschale aus Kalksandstein. Die Verankerung der Aussenschale an der hinteren Tragkonstruktion geht ebenfalls aus diesen Zeichnungen hervor. Demnach erfolgte die Sicherung der Aussenschale durch drei horizontale Ankerreihen von je 7 Ankern in Geschosshöhe, die jeweils in der hinteren Stahlbetondecke mit Spreizankern (durchschnittlicher Ankerabstand 0,84 m) befestigt waren.

1
Ansicht einer nicht eingestürzten Kalksandsteinwand an der südöstlichen Front. Wie das Bild zeigt, weisen die Aussenschalen keine Aussteifungen oder Ecken an den freien Rändern auf, es sind ebene Gebilde



Für die Beurteilung der Festigkeitseigenschaften der eingestürzten Kalksandsteinwand wurden Stein- und Mörtelproben vor Ort entnommen, und daraus die wichtigsten Kennwerte im Labor ermittelt. Gemäss den Angaben des Baumeisters war für das Aufmauern der KS-Wände ein Kalk-PC-Mauermörtel verwendet worden. Es handelt sich dabei um einen sogenannten verlängerten Mörtel. Die Festigkeitseigenschaften wurden an Mörtelproben aus den Lagerfugen ermittelt. Die Kennwerte der Kleinproben betragen im Mittel:

Rohdichte:	1747 kg/m^3
Biegezugfestigkeit:	3,9 N/mm^2
Würfeldruckfestigkeit:	10,4 N/mm^2

Die Ermittlung der Steinfestigkeit (KS 15) erfolgte an insgesamt fünf Kalksandsteinen. Die entsprechenden Mittelwerte betragen:

Rohdichte:	1595 kg/m^3
Stein-Druckfestigkeit:	16,8 N/mm^2

Beanspruchung der Aussenschale durch Windbelastung

Die primäre Aufgabe einer Aussenschale ist bekanntlich der Witterungsschutz der Wärmedämmschicht. Im Gegensatz zur inneren Tragwand muss sie keine Vertikalkräfte übertragen. Sie wird jedoch durch Windkräfte beansprucht und muss deshalb für die Gewährleistung ihrer Standsicherheit an der hinteren Tragkonstruktion mit genügender Sicherheit verankert werden. Durch die gewählte Ankeranordnung wird die Aussenwand auf Biegung beansprucht, wobei für die theoretische Berechnung der Biegezugspannungen in guter Näherung ein monolithischer Dreifeldträger als statisches System angenommen werden kann. Unter Berücksichtigung der besonderen Verhältnisse wie Lage, Standort und Höhe des Gebäudes wurde für die Ermittlung der Schnittkräfte folgende normkonforme Windbelastung angenommen:

Druck:	1,1 kN/m^2
Sog:	0,8 kN/m^2

In diesen Belastungsannahmen sind die speziellen Windverhältnisse der betroffenen Region gemäss den Angaben der Norm SIA 160 (Karte 2, Anhang 3) bereits berücksichtigt. Mit dem gewählten statischen System und der vorgenannten Windbelastung ergeben sich folgende Biegezugspannungen in der Aussenschale:

Druckeinwirkung:	σ_{fx}=0,31 N/mm^2
Sogeinwirkung:	σ_{fx}=0,22 N/mm^2

Biegezugfestigkeit der Aussenschale

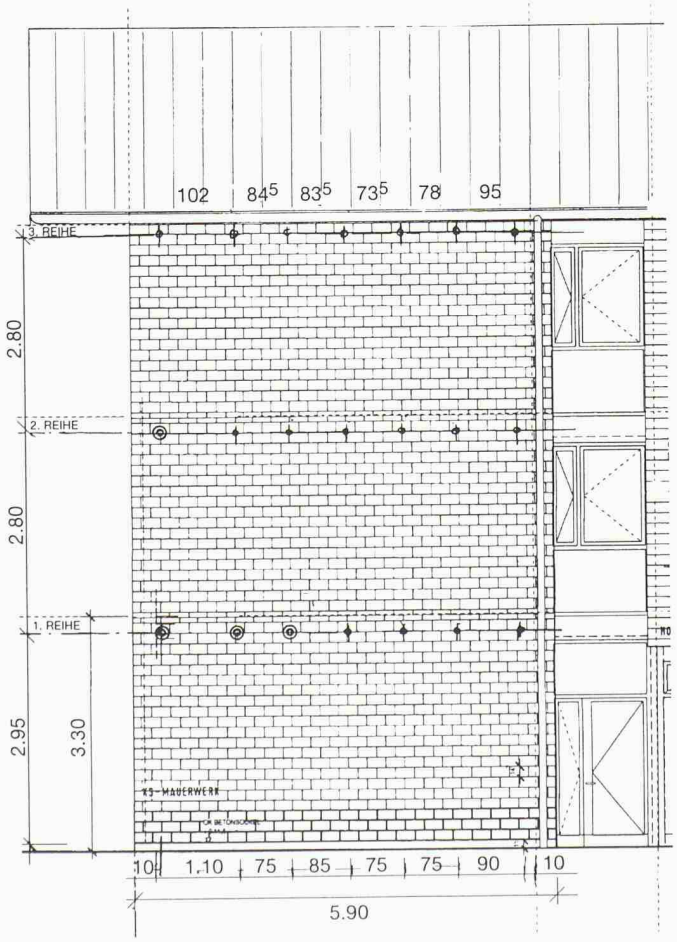
Die Beurteilung der Einsturzursache erfolgt durch einen Vergleich der unter Windbeanspruchung auftretenden Biegezugspannungen mit der vorhandenen Biegezugfestigkeit der eingestürzten Kalksandsteinwand. Die genaue Biegezugfestigkeit kann allerdings nur anhand von repräsentativen Mauerwerksproben ermittelt werden, die vor Ort aus den drei noch bestehenden KS-Wänden hätten entnommen werden müssen. Da diese Methode nicht zerstörungsfrei und zudem sehr aufwendig ist, wurden für die Beurteilung vergleichbare Werte aus der Literatur herangezogen. Es handelt es sich dabei um den Empa-Bericht Nr. 228 aus dem Jahre 1994, in dem über ein umfangreiches Forschungsprojekt der Empa an modernen Mauerwerken berichtet wird [2]. In zahlreichen statischen Versuchen wurden dort Tragsicherheit und Gebrauchstauglichkeit von Mauerwerk untersucht. Für die Herstellung der insgesamt 255 Probekörper wurden vier klassische Steinsorten und fünfzehn neuzeitliche Mauermörtel verwendet. Bild 5 zeigt eine graphische Darstellung von Teilergebnissen, die sich auf die Biegezugfestigkeit von Kalksandsteinmauerwerk beziehen. Im zitierten Forschungsbericht wird u.a. folgendes festgehalten:

«Wenn bei einem Bauwerk aus Kalksandsteinmauerwerk in erster Linie die Biegezugfestigkeit massgebend ist, beispielsweise bei Aussenschalen oder Verkleidungen, müssen Mauersteine und Mörtel unbedingt aufeinander abgestimmt werden. Dies gilt grundsätzlich zwar für

2
Eingestürzte Kalksandsteinwand an der südwestlichen Seite des Gebäudes

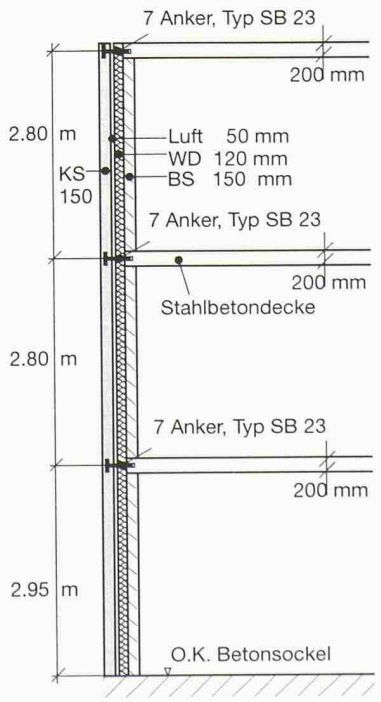
jedes Mauerwerk, für Kalksandsteinwände ist es aber quasi eine Existenzfrage. Wie es aussieht, wenn diese Abstimmung nicht vorhanden ist, zeigt das Versuchsdiagramm in Bild 5. Abgesehen von einem einzigen Wert liegen nämlich sämtliche Versuchspunkte im vorliegenden Fall wesentlich unter 0,3 N/mm² (gestrichelte Linie). Im Durchschnitt beträgt die Biegezugfestigkeit nur gerade 0,10 bis 0,15 N/mm². Solche Verhältnisse stellen die Gebrauchstauglichkeit von Aussenschalen in Frage. Der einzige brauchbare Wert für die Biegezugfestigkeit, der in dieser Versuchsreihe ermittelt wurde, beträgt 0,45 N/mm². Dieser Wert liefert andererseits aber auch den Beweis dafür, dass grössere Biegezugfestigkeiten auch bei Kalksandsteinwänden machbar sind, wenn nur immer der richtige und nicht der billigste Mörtel verwendet wird.»

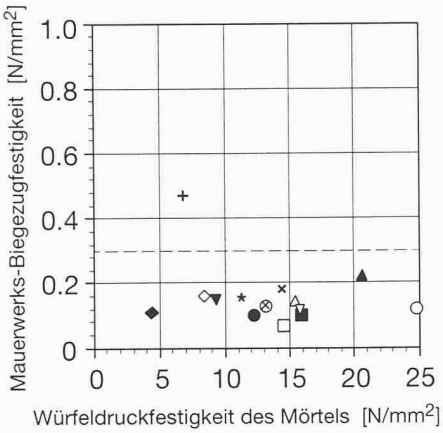
Diese These wurde durch weitere Versuchsergebnisse belegt, die ausserhalb des erwähnten Forschungsprojekts im Rahmen von gezielten Vorversuchen für ein grösseres Bauvorhaben ermittelt wurden. Die entsprechenden Werte für die Biegezugfestigkeit von KS-Wänden, die mit vier verschiedenen Sichtmauermörteln erzielt wurden, betrugen 0,31 bis 0,44 N/mm².



3
Ansicht der Aussenschale aus Kalksandstein mit der Anordnung der Spiralanker. Beim Einsturz der Wand wurden diese vier Anker aus dem Beton gerissen

4
Vertikalschnitt durch das Zweischalenmauerwerk





5
Biegezugfestigkeit von Kalksandsteinmauerwerk in Abhängigkeit von der Würfeldruckfestigkeit des Mörtels. Die verschiedenen Symbole beziehen sich auf die verwendeten Mörtelsorten

An dieser Stelle muss festgehalten werden, dass der bei der eingestürzten KS-Wand verwendete Mauermörtel nicht unter den oben erwähnten Mörteln mit einer besonders hohen Biegezugfestigkeit figuriert. Aufgrund der Graphik in Bild 5 kann daher mit guten Gründen davon ausgegangen werden, dass die Biegezugfestigkeit der eingestürzten KS-Wand 0,10 bis höchstens 0,15 N/mm² betragen hatte.

Beurteilung der Einsturzursache

Ein Vergleich der unter Windbeanspruchung auftretenden Biegezugspannungen mit der effektiven Biegezugfestigkeit der eingestürzten Kalksandsteinwand zeigt folgendes Bild:

Biegezugspannungen unter Windbeanspruchung	
Druckeinwirkung:	$\sigma_{fx} = 0{,}31$ N/mm²
Sogeinwirkung:	$\sigma_{fx} = 0{,}22$ N/mm²
Vorhandene Biegezugfestigkeit:	$f_{fx} = 0{,}10 - 0{,}15$ N/mm²

Der Vergleich zeigt eindeutig, dass die vorhandene Biegezugfestigkeit der Aussenschale wesentlich kleiner war als die unter Windkräften auftretenden Biegezugspannungen. Versagt haben demnach nicht die vorhandenen Anker, sondern die Wand selber. Die vier fehlenden Spiralanker, deren Lage in Bild 3 angegeben ist, wurden nämlich beim Einsturz der Wand aus dem Beton gerissen. Somit kann folgendes festgehalten werden: Mit der Anordnung von nur einer Ankerreihe pro Geschoss wurden die Spannweiten der einzelnen Wandscheiben und damit auch die entsprechenden Biegezugspannungen zu gross. Diese Feststellung deckt sich auch mit den Konstruktionsrichtlinien der KS-Hersteller, die in ihren Unterlagen «Planung von Wandkonstruktionen aus KS-Mauerwerk» je zwei Ankerreihen pro Geschoss bei einer Stockwerkshöhe von 2,70 m empfehlen [3]. Mit der Wahl eines geeigneten Mörtels hätte die Situation hinsichtlich der Gebrauchstauglichkeit eindeutig verbessert werden können (grössere Rissesicherheit). Die Standsicherheit der Wand wäre dadurch jedoch immer noch ungenügend gewesen.

Sanierungsvorschlag

Für den Wiederaufbau der eingestürzten KS-Wand und die Sicherung der übrigen drei noch stehenden Aussenschalen empfahl die Empa je eine zusätzliche horizontale Ankerreihe in Feldmitte der drei Geschosse. Angesichts der Tatsache, dass die Aussenschalen keine Aussteifungen oder Ecken an den freien Rändern aufweisen (Bild 1), regte die EMPA zudem je eine vertikale Ankerreihe an den freien Seitenrändern der KS-Wände an. Für das Aufmauern der neu zu erstellenden Wand sollte im weiteren ein geeigneter, auf die KS-Steine abgestimmter Sichtmauermörtel verwendet werden, der im Empa-Gutachten näher bezeichnet wurde. Mit dem Einsatz dieser Mörtelsorte kann die Biegezugfestigkeit der Aussenschale wesentlich verbessert werden, eine fachkundige Ausführung natürlich vorausgesetzt. Zum Schluss legte die Empa dem Bauherrn nahe, die vorgeschlagenen Sanierungsmassnahmen durch einen ausgewiesenen Bauingenieur projektieren und die Ausführung überwachen zu lassen.

Literatur

[1]
Empa-Untersuchungsbericht Nr. 172 953, 1998

[2]
Maissen A.: Tragsicherheit und Gebrauchstauglichkeit von Mauerwerk. Empa-Bericht Nr. 228, 1994, S. 1 bis 22

[3]
Hard AG, Volketswil: Planung von Wandkonstruktionen aus KS-Mauerwerk

Adresse des Verfassers:
Aluis Maissen, dipl. Ing. ETH SIA, Empa, Überlandstr. 129, 8600 Dübendorf

Arbeitsgruppe SIA 162-4

Festlegung und Bestimmung des Wasserzementwerts

Der Wasserzementwert (WZ-Wert) ist eine der wichtigsten betontechnologischen Grössen. Er hat einen massgebenden Einfluss auf praktisch alle Festbetoneigenschaften. Deshalb wird vielfach ein Maximalwert vorgeschrieben. Er ist definiert als:

$$WZ = \frac{W_o}{Z}$$

Der WZ-Wert kann nur am Frischbeton direkt bestimmt werden. Der Wassergehalt (W_o) wird in einem Darrversuch ermittelt (Norm SIA 162/1, Prüfung Nr. 19). Der Zementgehalt (Z) ergibt sich aus einer Ergiebigkeitsprüfung (Norm SIA 162/1, Prüfung Nr. 18) oder es wird dafür die Zementdosierung nach Rezept eingesetzt. Unter dem Begriff «Zement» sind die gemäss Norm SIA 215.002 definierten Zementarten (CEM I, II usw.) zu verstehen, nicht aber neben dem Zement zugegebene Betonzusatzstoffe wie z.B. Flugasche oder Mikrosilica. Zur Frage der Anrechenbarkeit von Betonzusatzstoffen sei auf die Mitteilung der Begleitkommission SIA 162 «Betonbauten» betreffend «Neue Zementnorm - neue Betonbezeichnungen» verwiesen (z.B. SI+A 30/31 vom 22. Juli 1996 oder IAS 10 vom 16. April 1996).

In letzter Zeit sind zunehmend Probleme entstanden, da die vorgeschriebenen, meist tiefen Werte für WZ nur noch knapp oder nicht mehr erreicht werden konnten, weil gleichzeitig hohe Anforderungen an die Verarbeitbarkeit gestellt