

# Mauerwerk gegen Erdbeben: Entwurf und Bemessung von Mauerwerksbauten für Erdbebeneinwirkung

Autor(en): **Bachmann, Hugo / Lang, Kerstin**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Tec21**

Band (Jahr): **130 (2004)**

Heft 16-17: **Erdbewegungen**

PDF erstellt am: **08.08.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-108385>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

# Mauerwerk gegen Erdbeben

Entwurf und Bemessung von Mauerwerksbauten für Erdbebeneinwirkung

**Mauerwerksbauten sind durch Erdbeben sehr verletzbar. Der Nachweis einer genügenden Erdbebensicherheit anhand der gültigen Mauerwerksnormen ist auch bei relativ geringer Erdbebeneinwirkung meist nicht möglich. Hier wird ein neues Verfahren vorgeschlagen, das bisher vernachlässigte Trag- und Verformungsreserven nutzt. Damit gelingt es in bestimmten Fällen, den Erdbebennachweis zu erbringen. Andernfalls sind bauliche Massnahmen unerlässlich.**

Traditionsgemäss werden in der Schweiz Wohnhäuser und auch kleinere Gewerbebauten oft mit unbewehrten tragenden Mauerwerkswänden aus Backsteinen, Kalksandsteinen oder Zementsteinen ausgeführt. Es gibt solche Mauerwerksbauten mit bis zu 16 Stockwerken. Mauerwerk ist ein in bauphysikalischer Hinsicht – vor allem bezüglich Wärmedämmung und -speicherung sowie Behaglichkeit – sehr geeigneter und bewährter Baustoff. Auch vertikale Kräfte, vor allem aus Schwere-lasten, können relativ gut abgetragen werden. Für die vorwiegend horizontale und zyklische Erdbebeneinwirkung hingegen sind Mauerwerksbauten wenig geeignet. Einerseits sind sie recht steif, sie haben meist eine hohe Eigenfrequenz im Plateaubereich des Bemessungsantwortspektrums der Beschleunigung gemäss SIA 160<sup>1</sup> bzw. SIA 261<sup>2</sup> und sie erfahren entsprechend grosse Erdbebenkräfte. Andererseits sind unbewehrte Mauerwerkswände ziemlich spröde und zeigen eine verhältnismässig geringe Energiedissipation. Deshalb sind Mauerwerksbauten durch Erdbebeneinwirkung im Allgemeinen sehr verletzbar (Bild 1).

In der Schweiz gelten für tragendes Mauerwerk bis 1.7.2004 die Empfehlung SIA V177<sup>3</sup> und ab 1.1.2003 die Norm SIA 266<sup>4</sup>. Sie enthalten ein einfaches Verfahren für die Bemessung von Mauerwerkswänden für die statische Einwirkung von vertikalen Lasten und horizontalen Kräften (Windkräfte, Erdbebenersatzkräfte). Die verwendeten Modelle basieren auf dem unteren Grenzwertsatz der Plastizitätstheorie (Gleichgewichtssatz), und die Bruchkriterien wurden an entsprechenden Versuchen kalibriert<sup>9</sup>.

Erfahrungen haben gezeigt, dass es auf der Grundlage der erwähnten SIA-Normen auch bei relativ geringer Erdbebeneinwirkung – z.B. gemäss dem Bemessungsantwortspektrum Zone 1 der Norm SIA 160 – meist nicht möglich ist, ein genügendes Erdbebenverhalten nachzuweisen. In der Literatur ist ein Beispiel für die

numerische Berechnung und Bemessung eines 4-stöckigen Wohngebäudes dargestellt<sup>6</sup>. Während für die massgebende Wand der Nachweis für Wind problemlos gelingt, ist dies für Erdbeben nicht der Fall, da selbst für das Bemessungsantwortspektrum Zone 1 die Erdbebenkräfte sehr viel grösser sind als die Windkräfte. Die Nachweiskriterien gegen Gleiten und gegen Materialversagen können bei weitem nicht erfüllt werden. Bild 2 zeigt ein ähnliches Gebäude, bei dem dies ebenfalls zutreffen dürfte.

## Ein neues Verfahren

Es ist jedoch offensichtlich, dass das einfache und für vertikale Lasten und für Windkräfte zweckmässige Verfahren nach den SIA-Normen V177 und 266 wesentliche Trag- und Verformungsreserven für horizontale Einwirkungen vernachlässigt, die für den Erdbebennachweis genutzt werden können. Dies wird im Folgenden versucht. Es wird ein Verfahren vorgeschlagen, das auf einer möglichst wirklichkeitsnahen Erfassung des Erdbebenverhaltens von Mauerwerksbauten beruht. Insbesondere wird gewissermassen als Ergänzung zu den in den SIA-Normen V177 und 266 verwendeten Modellen die Koppelung der einzelnen Mauerwerkswände durch Decken und Fassadenriegel erfasst, die einen beträchtlichen Einfluss auf das Verhalten der Gebäude unter Erdbebeneinwirkung haben kann. Zudem wird von der Möglichkeit einer Überlagerung von Spannungsfeldern Gebrauch gemacht. Das Verfahren beruht in wesentlichen Zügen auf einer Methode, die zur Evaluation des Erdbebenverhaltens bestehender Bauten in einer Dissertation<sup>10</sup> und einem Aufsatz<sup>11</sup> entwickelt und dargestellt worden ist. Das neue Verfahren gilt nur für Mauerwerksbauten, die eine regelmässige Gestaltung im Grund- und Aufriss aufweisen.

Mit diesem Verfahren gelingt es in bestimmten Fällen, d.h. je nach der Anzahl Stockwerke, der Konfiguration



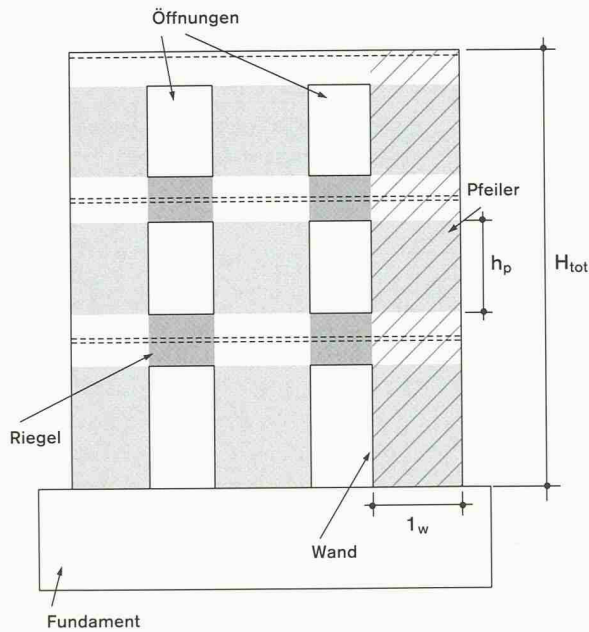
1

Eingestürztes Gebäude aus unbewehrtem Mauerwerk  
(Bilder: H. Bachmann und K. Lang)



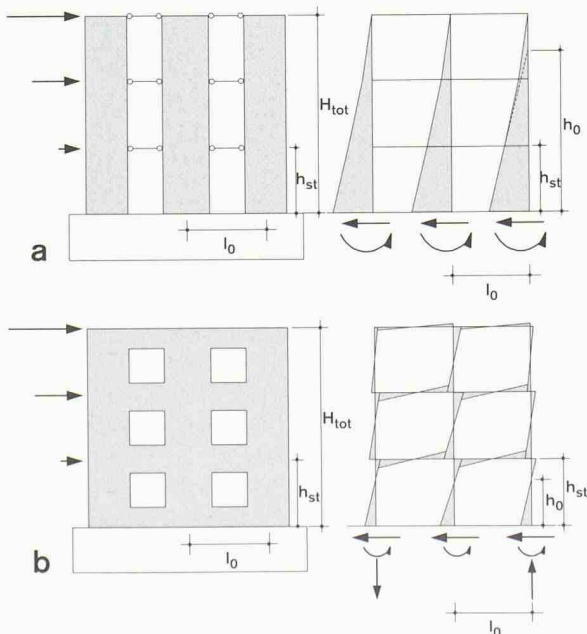
2

**Mauerwerksbau mit problematischem Erdbebennachweis**



3

**Begriffsdefinitionen**



4

**Biegemomentenverlauf für zwei Fälle unterschiedlich gekoppelter Wände**

der Mauerwerkswände usw. und bei eher geringer Stärke der Erdbebeneinwirkung (gemäss dem Bemessungsantwortspektrum für Zone 1 nach den SIA-Normen SIA 160 bzw. SIA 261), den Erdbebennachweis von regelmässigen Bauten zu erbringen. In anderen Fällen, wo dies nicht möglich ist, sind bauliche Massnahmen – z.B. eine Aussteifung durch Stahlbetontragwände, die Anordnung einer vertikalen und horizontalen Bewehrung oder eine vertikale Vorspannung<sup>5</sup> – unerlässlich.

**Regeln für den Entwurf**

Für den konzeptionellen Entwurf von Mauerwerksgebäuden sollen die folgenden grundsätzlichen Regeln beachtet werden:

- Durchgehende Wände über die ganze Gebäudehöhe: Die tragenden Wände sollen grundsätzlich über die ganze Gebäudehöhe laufen und im unteren Bereich des Gebäudes keine Aussparungen aufweisen.
- Symmetrische Anordnung der Tragwände im Grundriss: Um wesentliche Torsionseffekte zu vermeiden, sollen die Wände im Grundriss einigermaßen symmetrisch zu den Hauptachsen angeordnet werden. Vorteilhaft ist eine Anordnung der Wände an der Peripherie des Grundrisses, um Torsionseffekten wirksam begegnen zu können.
- Fundamentkasten für die Wände: Die tragenden Wände sollen auf einem steifen Stahlbetonkasten (Untergeschoss) stehen.

Diese Regeln können durch einen regelmässigen Entwurf im Grund- und Aufriss eingehalten werden. Nur wenn diese Voraussetzung erfüllt ist, kann das vorgeschlagene Verfahren zur Bemessung von Mauerwerksgebäuden angewendet werden.

**Begriffe und Tragwerksmodell**

In Bild 3 sind die grundlegenden Begriffe definiert. Die Wände in einer Ebene sind durch Decken und Riegel miteinander verbunden und bilden eine Wandkombination. Dadurch entsteht ein Koppelungseffekt.

Bild 4 zeigt den Biegemomentenverlauf an einem elastischen Rahmenmodell für zwei Extremfälle unterschiedlich gekoppelter Wände. In Bild 4a sind die Wände nur durch die Decken verbunden; die Koppelung geht daher gegen null und das totale, durch die angreifenden horizontalen Kräfte hervorgerufene Moment wird allein durch die Wände abgetragen (zusammenwirkende Wände). In Bild 4b sind die Wände durch hohe Riegel verbunden; die Koppelung ist daher sehr stark, und ein Teil des totalen Momentes wird durch Normalkräfte, die aus den vertikalen Querkräften in den Riegeln resultieren, abgetragen. In Wirklichkeit liegen die Verhältnisse meist zwischen diesen Extremen.

Für regelmässige Rahmen kann das Ausmass der Koppelung approximativ durch einen einzigen Parameter, die Höhe des Momentennullpunktes  $h_0$ , erfasst werden. In Bild 5 ist der Verlauf von  $h_0/h_{st}$  in Funktion der Steifigkeit der Riegel zur Steifigkeit der Pfeiler  $(EI_R/l_0)/(EI_P/h_{st})$  für den  $3 \times 3$ -Rahmen aus Bild 4 (wobei die erste Zahl der Anzahl Wände und die zweite Zahl der Anzahl Stockwerke entspricht) mit jeweils  $l_0 = h_{st}$  dar-

gestellt. Für andere Rahmen mit unterschiedlicher Anzahl Wände und Anzahl Stockwerke ergeben sich sehr ähnliche Kurven<sup>7</sup>.

Vergleiche mit Resultaten von Versuchen an Modellgebäuden aus unbewehrtem Mauerwerk von D. Benedetti<sup>8</sup> und G. Magenes et al<sup>12</sup> zeigen, dass die Vernachlässigung der Koppelung zu einer Unterschätzung der Kapazität führen kann<sup>10</sup>. Es sei jedoch darauf hingewiesen, dass nur die Koppelung in einer Wandkombination berücksichtigt wird. Die Koppelung paralleler Wandkombinationen durch die Decken wird vernachlässigt. Dies erscheint eine zweckmässige Vereinfachung im Rahmen des vorgeschlagenen Verfahrens, da eine vollständige Betrachtung dieser Problematik nur mit einem 3-D-Modell erfolgen könnte. Der dadurch begangene Fehler ist akzeptabel im Rahmen der hier gerechtfertigten Genauigkeiten.

### Kapazitätskurve eines Gebäudes

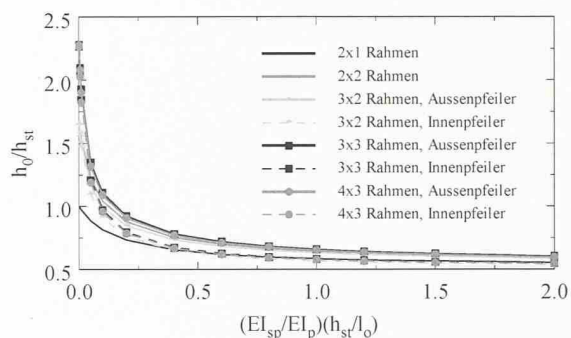
Die einzelnen Wände werden als auf einem steifen Stahlbetonkasten (Untergeschoss) stehend angenommen. Eine Wand kann Querkräfte nur in Richtung ihrer Ebene abtragen; die Querkräfte, die quer zur Ebene abgetragen werden, werden vernachlässigt. Die Decken werden als in ihrer Ebene starr, senkrecht dazu jedoch vollkommen biegeweich angenommen. Die Kapazitätskurve des Gebäudes in einer Richtung – definiert als Beziehung zwischen der horizontalen Einwirkung  $V$  und der Verschiebung  $\Delta$  am Kopf des Gebäudes – kann durch Überlagerung der Kapazitätskurven der in dieser Richtung tragenden Wände bestimmt werden. Dies ist erlaubt, solange die Geometrie des Gebäudes regelmässig ist und Torsionseffekte vernachlässigt werden können.

Die Kapazitätskurve einer Mauerwerkswand wird bilinear mit einem linear elastischen Bereich bis zum Erreichen des horizontalen Widerstands der Wand  $V_m$  und einem anschliessenden ideal plastischen Bereich modelliert (dünn gezeichnet im Bild 7). Der horizontale Widerstand  $V_m$  kann gemäss den SIA-Normen V177 und 266 bestimmt werden unter Anwendung des unteren Grenzwertsatzes der Plastizitätstheorie und den Bruchkriterien nach H.R. Ganz<sup>9</sup>. Das plastische Verformungsvermögen  $\Delta_u$  wird mit Hilfe einer empirischen Beziehung abgeschätzt. Näheres hierzu sowie zur nominellen Fließverschiebung  $\Delta_y$  und zur effektiven Steifigkeit  $k_{eff}$  ist in<sup>7</sup> beschrieben.

Bild 6 zeigt den Grundriss eines einfachen, fiktiven Beispielgebäudes. In x-Richtung gibt es vier tragende Wände. Die Kapazitätskurve des Gebäudes in x-Richtung ist in Bild 7 gezeigt. Die maximal zulässige Verschiebung des Gebäudes,  $\Delta_{bu}$ , ist definiert durch das Versagen der ersten Wand (Wand 4). An diesem Punkt fällt der theoretische Schubwiderstand des Gebäudes ab, und die Abtragung der Schwerelasten ist unter Umständen nicht mehr gewährleistet (vgl. die graue idealisierte Kurve in Bild 7).

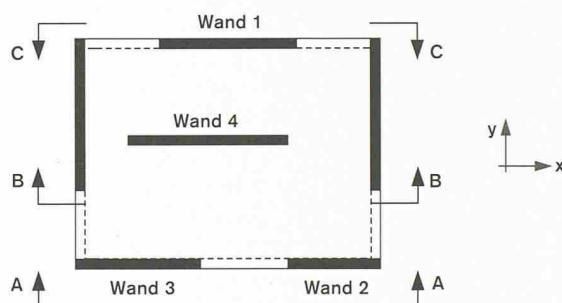
### Kapazitätsbedarf eines Gebäudes

Der Kapazitätsbedarf wird durch ein Verschiebungswertantwortspektrum bestimmt. Als Beispiel zeigt Bild 8



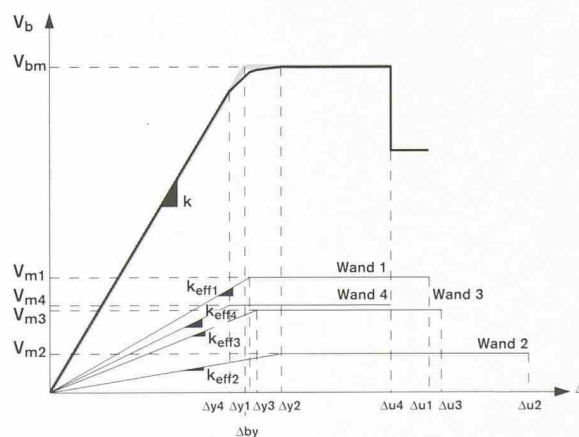
5

Verlauf der Höhe des Momentennullpunktes  $h_0$  (bezogen auf die Stockwerkshöhe  $h_{st}$ ) in Funktion der relativen Steifigkeit der Riegel zur Steifigkeit der Pfeiler



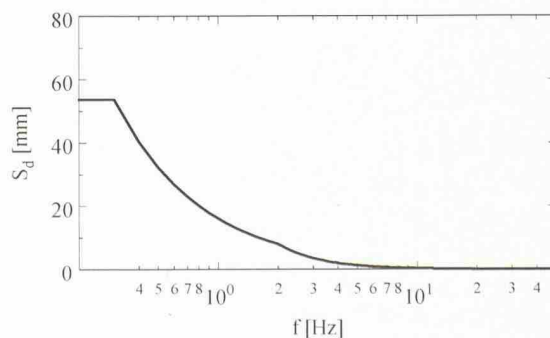
6

Fiktives Beispielgebäude



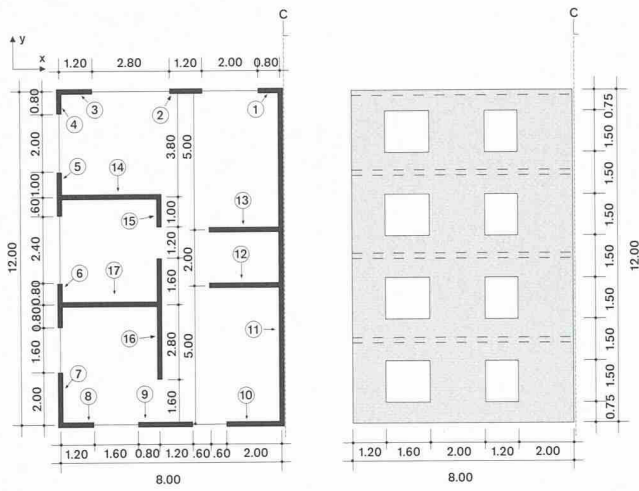
7

Kapazitätskurve des fiktiven Beispielgebäudes



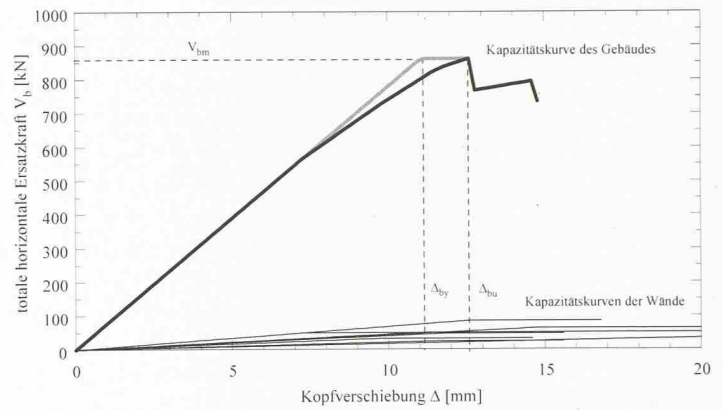
8

Elastisches Verschiebungswertantwortspektrum Zone 1 (Mittelwerte für 5% Dämpfung) für mittelsteife Böden gemäss SIA 160



9

Grundriss und Ansicht des vierstöckigen Beispielgebäudes, Abmessungen in m



10

Kapazitätskurve des vierstöckigen Beispielgebäudes in x-Richtung

das Verschiebungsantwortspektrum, das zum elastischen Bemessungs-Antwortspektrum der Beschleunigung Zone 1 (Mittelwerte für 5% Dämpfung) für mittelsteife Böden gemäss SIA 160 gehört.

Die Benutzung eines Antwortspektrums setzt voraus, dass das Gebäude durch einen Einmassenschwinger (EMS) ersetzt werden kann, der durch eine äquivalente Masse  $m_E$  und eine äquivalente Steifigkeit  $k_E$  bestimmt ist und dessen Frequenz mit der Grundfrequenz des Gebäudes übereinstimmt:

$$f_1 = \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{k_E}{m_E}} \quad (1)$$

Wird die äquivalente Steifigkeit  $k_E$  des EMS mit der Steifigkeit  $k$  des Gebäudes aus der bilinearen Approximation der Kapazitätskurve gleichgesetzt

$$k_E = k = \frac{V_{bm}}{\Delta_{by}} \quad (2)$$

ist die äquivalente Masse zu

$$m_E = \sum m_i \phi_i \quad (3)$$

bestimmt. Hierbei ist  $m_i$  die konzentrierte Masse und  $\phi_i$  die Verschiebung der ersten Eigenform auf der Höhe der  $i$ -ten Geschossdecke. Letztere ist so normiert, dass  $\phi_n = 1$ . Daraus folgt der Verschiebebedarf der obersten Geschossdecke  $\Delta_D$  (=  $n$ -tes Geschoss):

$$\Delta_D = c \cdot \Gamma \cdot \phi_n \cdot S_d \quad (4)$$

$\Gamma$  ist der modale Partizipationsfaktor, und  $c$  ist ein Koeffizient, der das nichtlineare Verhalten berücksichtigt.

### Beispiel 4-stöckiges Wohngebäude

Im Folgenden wird das vorgeschlagene Bemessungsverfahren auf ein Beispielgebäude<sup>6</sup> angewandt. Der Entwurf dieses Gebäudes entspricht den am Anfang gegebenen Regeln. Bild 9 zeigt einen Grundriss und eine Ansicht des Gebäudes. Es handelt sich um einen vier-

stöckigen Wohnbau mit Stahlbetondecken und Flachdach. Gezeigt ist nur eine Hälfte des Gebäudes, die andere Hälfte ist symmetrisch dazu. Die beiden Hälften sind durch eine Zweischalen-Mauerwerkswand (Wände 11) getrennt, die Stahlbetondecken sind jedoch durchgehend und weisen keine Fuge auf. Es wird angenommen, dass die Wände auf einem steifen Stahlbetonkasten (Untergeschoss) stehen. Im Folgenden wird der Erdbebennachweis des Gebäudes in  $x$ -Richtung angestrebt. Der Erdbebennachweis des Gebäudes in  $y$ -Richtung ist in analoger Weise anzugehen.

In  $x$ -Richtung gibt es 20 tragende Wände, je zweimal die Wände 1, 2, 3, 8, 9, 10, 12, 13, 14 und 17. Alle Wände haben eine einheitliche Wanddicke von  $t = 0,2$  m. Weitere geometrische Daten sind in einem Forschungsbericht<sup>7</sup> zusammengefasst, und die Normalkräfte werden aus Lehrbeispielen übernommen.

Die Berechnung der Kapazitätskurven der Wände folgt dem oben beschriebenen Vorgehen. Tabelle 1 gibt eine Zusammenfassung der Eckdaten der Kapazitätskurven der einzelnen Wände. Die Kapazitätskurve des Gebäudes entsprechend der Überlagerung der Kapazitätskurven der einzelnen Wände ist in Bild 10 gezeigt. Die maximal zulässige Verschiebung des Gebäudes ist durch das Versagen der ersten Wand definiert, in diesem Fall durch das Versagen der Wand 10 bei  $\Delta = 12,7$  mm. Der äquivalente EMS ist bestimmt durch die äquivalente Steifigkeit

$$k_E = 2 \cdot \sum k_{eff} = 77748 \text{ kN/m}$$

und durch die äquivalente Masse (Gleichung (3)):

$$m_E = 2 \cdot \sum m_i \phi_i = 522444 \text{ kg}$$

Somit kann die Frequenz des Gebäudes in  $x$ -Richtung berechnet werden (Gleichung (1)):

$$f_1 = \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{k_E}{m_E}} = \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{77748 \cdot 10^3}{522444}} = 1.94 \text{ Hz}$$

Wand	1	2	3	8	9	10	12	13	14	17
$h_{op}/h_p$	0.7	0.8	0.9	0.8	1.2	1.2	3.0	3.0	3.0	3.0
$V_m$ [kN]	24	51	46	32	85	49	34	34	63	51
$k_{eff}$ [kN/m]	2047	4429	3942	3255	6706	6706	1652	1652	4239	4239
$\Delta_y$ [mm]	11.6	11.4	11.6	9.7	12.6	7.2	20.4	20.4	14.8	11.9
$\Delta_u$ [mm]	15.7	14.9	15.7	14.8	16.8	12.7	27.4	27.4	23.2	21.5

**Tabelle 1**  
Eckdaten der Kapazitätskurven der Wände des vierstöckigen Beispielgebäudes

Mit Gleichung (4) kann der Verschiebebedarf berechnet werden:

$$\Delta_D = 11.2 \text{ mm}$$

Vergleicht man den Verschiebebedarf mit der maximal zulässigen Verschiebung des Gebäudes  $\Delta_{bu}$  so sieht man, dass  $\Delta_D = 11,2 \text{ mm} < 12,7 \text{ mm} = \Delta_{bu}$ , der Erdbebennachweis in x-Richtung ist somit erbracht.

### Forschungsbedarf

Die vorstehenden Darlegungen basieren auf dem heutigen Stand der Kenntnisse über das Erdbebenverhalten von unbewehrten tragenden Mauerwerkswänden. Dieser Stand ist noch beschränkt, es gibt wichtige offene Fragen. Vor allem bestehen Wissenslücken beim Verformungsvermögen von einzelnen Mauerwerkswänden und von Wandkombinationen (gekoppelte Wände) unter zyklischer Einwirkung und ebenso bezüglich des Querkraftverhaltens der Riegel. Entsprechende Forschungsprojekte sind dringend und im Hinblick auf die stark verbreitete Mauerwerksbauweise von grosser Bedeutung bezüglich Sicherheit und Wirtschaftlichkeit.

### Folgerungen

Anders als mit den «klassischen» Verfahren gemäss den SIA-Normen 160, 261, V177 und 266 ist es mit dem hier vorgeschlagenen Verfahren zur Bemessung von Mauerwerksgebäuden möglich, den Erdbebennachweis für das Beispielgebäude in x-Richtung für Zone 1 zu erbringen. Die Hauptgründe hierfür sind:

- Im klassischen Verfahren gemäss Elastizitätstheorie wird die totale horizontale Ersatzkraft auf die Wände proportional zu deren Trägheitsmoment verteilt. Dabei werden nur die längeren Wände im Innern des Gebäudes berücksichtigt, während die kürzeren Fassadenwände vernachlässigt werden. So muss die Wand 17 des Beispielgebäudes 21% der totalen Ersatzkraft abtragen<sup>6</sup>. Da jedoch die Fassadenwände durch die Riegel gekoppelt sind, ist ihre Steifigkeit nicht vernachlässigbar, wie man aus Tabelle 1 entnehmen kann. Der Anteil an der Ersatzkraft, der von Wand 17 getragen werden muss, reduziert sich daher auf 6%.
- Im Gegensatz zum Ersatzkraftverfahren nach SIA 160 wird der Einspannhorizont des Gebäudes nicht auf der Bodenebene des ersten Untergeschosses angenommen, sondern auf der Bodenebene des Erdgeschosses, d.h. dort, wo die Wände in die Fundation münden. Das Gebäude wird also als n-Massenschwinger betrachtet, mit  $n = \text{Anzahl Stockwerke}$ ,

was der Wirklichkeit im Allgemeinen näher kommt. Dadurch ist die totale Gebäudemasse kleiner als im Verfahren nach SIA 160.

- Im Weiteren wird der Kapazitätsbedarf an das Gebäude nicht wie im Ersatzkraftverfahren nach SIA 160 bzw. SIA 261 mit der totalen Masse berechnet, sondern mit der modalen Masse, was dynamisch betrachtet richtiger ist. Dadurch wird der Kapazitätsbedarf auf 62% reduziert.

Doch auch mit dem hier vorgeschlagenen Verfahren ist es im Allgemeinen nicht möglich, den Erdbebennachweis für das Beispielgebäude für eine etwas stärkere Erdbebeneinwirkung zu erbringen. In solchen Fällen sind bauliche Massnahmen – beispielsweise eine Aussteifung durch Stahlbetontragwände<sup>7</sup> – unerlässlich.

Prof. em. Dr. Dr. h.c. Hugo Bachmann, dipl. Bauing. ETH Institut für Baustatik und Konstruktion IBK, ETH Zürich  
h.bachmann@ibk.baug.ethz.ch  
Dr. sc. techn. Kerstin Lang, dipl. Bauing. ETH, Basler & Hofmann, Ingenieure und Planer AG, Zürich  
klang@bh.ch

### Literatur

- 1 SIA 160 (Norm): Einwirkungen auf Tragwerke. Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein, Zürich 1989.
- 2 SIA 261 (Norm): Einwirkungen auf Tragwerke. Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein, Zürich 2003.
- 3 SIA V177 (Empfehlung): Mauerwerk. Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein, Zürich, 1995.
- 4 SIA 266 (Norm): Mauerwerk. Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein, Zürich, 2003.
- 5 Bachmann H.: Erdbebegerechter Entwurf von Hochbauten – Grundsätze für Ingenieure, Architekten, Bauherren und Behörden. Bundesamt für Wasser und Geologie (BWG), Biel, 2002.
- 6 Bachmann H.: Hochbau für Ingenieure. vdf-Hochschulverlag Zürich und Teubner-Verlag Stuttgart, 1997.
- 7 Bachmann H., Lang K.: Zur Erdbebensicherung von Mauerwerksbauten. Institut für Baustatik und Konstruktion (IBK), ETH Zürich, Bericht Nr. 274, vdf-Hochschulverlag Zürich, 2002.
- 8 Benedetti D., Pezzoli P.: Shaking table tests on masonry buildings – Results and comments. ISMES, Seriate Bergamo Italien, 1996.
- 9 Ganz H.R.: Mauerwerksscheiben unter Normkraft und Schub. Institut für Baustatik und Konstruktion (IBK), ETH Zürich, Bericht Nr. 148, Birkhäuser Verlag, Basel, 1985.
- 10 Lang K.: Seismic Vulnerability of Existing Buildings. Institut für Baustatik und Konstruktion (IBK), ETH Zürich, Bericht Nr. 273, vdf-Hochschulverlag Zürich, 2002.
- 11 Lang K., Bachmann H.: Erdbebenverletzbarkeit bestehender Gebäude aus unbewehrtem Mauerwerk. SGEB-Tagung 7./8.09.2000 Erdbebenvorsorge in der Schweiz – Massnahmen bei neuen und bestehenden Bauwerken SIA-Dokumentation D 0162, Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein, Zürich, 2000.
- 12 Magenes G., Kingsley G.R., Calvi G.M.: Static testing of a full-scale, two-story masonry building: Test procedure and measured experimental response. Università degli Studi di Pavia, 1995.