

Erdbebensicherheit des SIA-Hauses: das Verhalten des SIA-Hauses unter Erdbebeneinwirkung gemäss den neuen SIA-Normen (Swisscodes)

Autor(en): **Lang, Kerstin / Zwicky, Peter / Badoux, Marc**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Tec21**

Band (Jahr): **129 (2003)**

Heft 29-30: **Zwei Hochhäuser**

PDF erstellt am: **22.05.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-108784>

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.

Erdbebensicherheit des SIA-Hauses

Das Verhalten des SIA-Hauses unter Erdbebeneinwirkung gemäss den neuen SIA-Normen (Swisscodes)

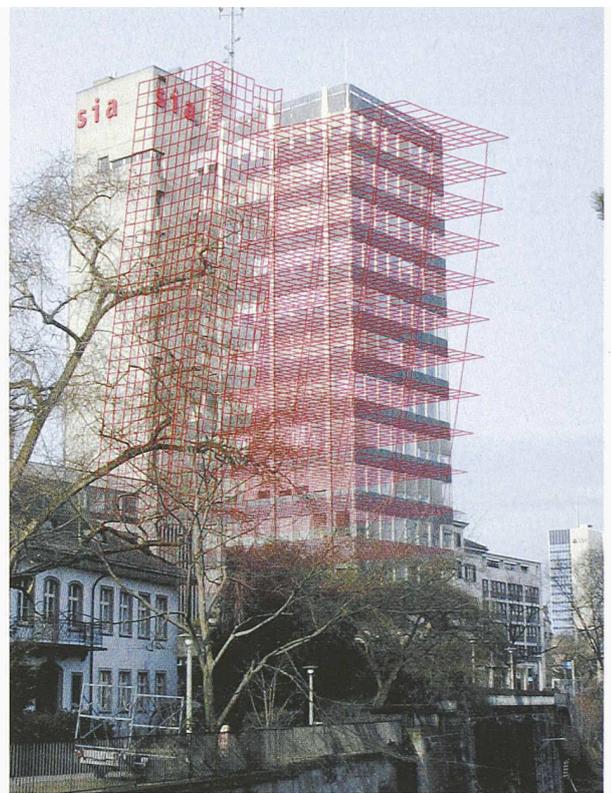
Die neuen Swisscodes stellen höhere Anforderungen an die Erdbebensicherheit von Tragwerken als die bisherige SIA 160. Für die Überprüfung bestehender Gebäude folgen daraus Unsicherheiten bezüglich der Anwendbarkeit der Normen und der Relevanz der Ergebnisse. Am symbolträchtigen Beispiel des SIA-Hauses wurde die Erdbebensicherheit eines älteren Tragwerks gemäss den Anforderungen der Swisscodes detailliert untersucht.

Eine erste Abschätzung zur Erdbebensicherheit des SIA-Hauses in Zürich führte zum Ergebnis, dass das Tragwerk den Anforderungen der neuen Swisscodes¹² wahrscheinlich nicht genügt. Die daraufhin angeordnete detaillierte Überprüfung der Erdbebensicherheit wurde zwischen Dezember 2002 und März 2003 durchgeführt und umfasste im Wesentlichen die folgenden Schritte:

- Schwingungsmessungen am Bauwerk zur Erfassung der dynamischen Eigenschaften des Tragwerks und des Baugrunds unter minimalem Anregungsniveau.
- Dreidimensionale Modellierung des Tragwerks und dynamische Berechnung nach dem Antwortspektren-Verfahren. Die berechneten Eigenfrequenzen und Schwingungsformen wurden dabei durch Vergleich mit den Messungen verifiziert.
- Vergleich der Beanspruchungen aufgrund der Einwirkung mit dem vorhandenen Tragwiderstand.

Gebäudegeometrie und Baugrund

Das 1969 erstellte SIA-Haus weist einen rechteckigen Grundriss von 27,7 m × 12,4 m Kantenlänge mit 12 Obergeschossen auf. Der Treppenhauturm mit 8,1 m × 8,7 m Grundfläche und 14 Obergeschossen liegt teilweise ausserhalb des Gebäudes (Bild 2). Aufgrund dieser Exzentrizität ist mit Torsionseinflüssen zu rechnen.



Gemäss dem vor dem Bau des SIA-Hauses erstellten geologischen Bericht besteht der Baugrund aus einer bis 5 m starken Deckschicht über einer Moräne von grosser Mächtigkeit.³ Diese ist Teil der Zürcher Endmoräne und weist eine dichte Lagerung auf, was nach der neuen Norm SIA 261¹ der Baugrundklasse C entspricht.

Schwingungsmessungen

Aufgrund der natürlichen Unruhe (Anregung des Gebäudes durch Wind, Strassenverkehr, Tram etc.) kann die horizontale Schwinggeschwindigkeit des Gebäudes gemessen werden. Die Schwingungsmessungen wurden im 12. Obergeschoss des SIA-Hauses, wo die Schwinggeschwindigkeiten am grössten sind, durchgeführt. Dazu wurden 3 horizontale Geschwindigkeits-Messensoren eingesetzt. In der ersten Messkonfiguration wurden mit zwei Sensoren beide horizontalen Richtungen im Zentrum des Treppenhauturms abgedeckt (rote Pfeile in Bild 2), und mit dem dritten wurde nacheinander die Schwinggeschwindigkeit in beide Richtungen in den vier Gebäudeecken aufgenommen (blaue Pfeile in Bild 2). In der zweiten Messkonfiguration wurde je eine Messung pro Gebäudehauptrichtung mit allen drei Sensoren gleichgerichtet durchgeführt. Bild 3 zeigt einen typischen Zeitverlauf der horizontalen Schwingungen. Das dazugehörige Fourier-Amplitudenspektrum ist in Bild 4 dargestellt. Deutlich zu erkennen sind die ersten beiden Eigenfrequenzen bei 1,0 und 1,47 Hz. Die Auswertung aller gemessenen Signale zeigt, dass es sich beide Male um kombinierte Biege-Torsionsschwingungen handelt (Bild 5).

Dynamische Berechnung

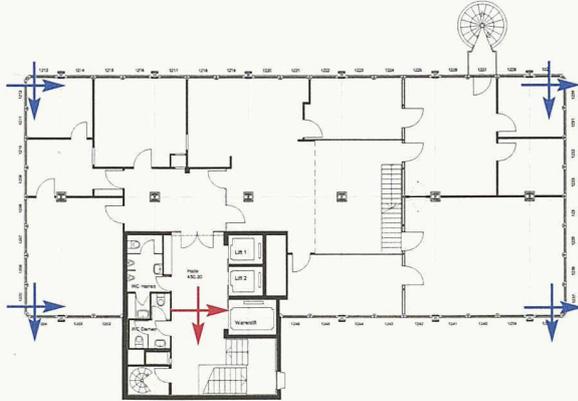
Die dynamische Berechnung basiert auf einem dreidimensionalen Gebäudemodell, das sich aus Schalenelementen für die Decken und Wände sowie Stabelementen für die Stahlstützen und Balkenelementen für die

1

SIA-Haus in Zürich Selnau mit dreidimensionalem Tragwerksmodell in verformter Lage des 2. Eigenmodes. Ansicht vom Park «zur Katz» aus (Bilder: Basler & Hofmann)

2

Grundriss des 12. Obergeschosses und Anordnung der Messsensoren, Mst. ca. 1:400



Riegel zusammensetzt. Da die Untergeschosse sehr viel steifer sind, wird das Tragwerk als im Untergeschoss eingespannt betrachtet.

Zuerst wurden die ersten neun Eigenmodes (Eigenfrequenzen und Eigenformen) des Tragwerks berechnet (Bild 6). Unter der Annahme einer ungerissenen Steifigkeit ergeben sich die ersten beiden Eigenfrequenzen zu 0,61 und 0,91 Hz und liegen damit knapp 40% unter den gemessenen Werten. Der Grund dafür liegt in der Aussteifung durch die nichttragenden Elemente (Fenster, Fassaden, nichttragende Innenwände), die bei sehr kleinen Anregungen (Wind und Verkehr) wirkt, bei grossen Anregungen wie bei Erdbeben jedoch zerstört wird. Im Gebäudemodell ist daher nur die Steifigkeit des Tragwerks berücksichtigt worden.

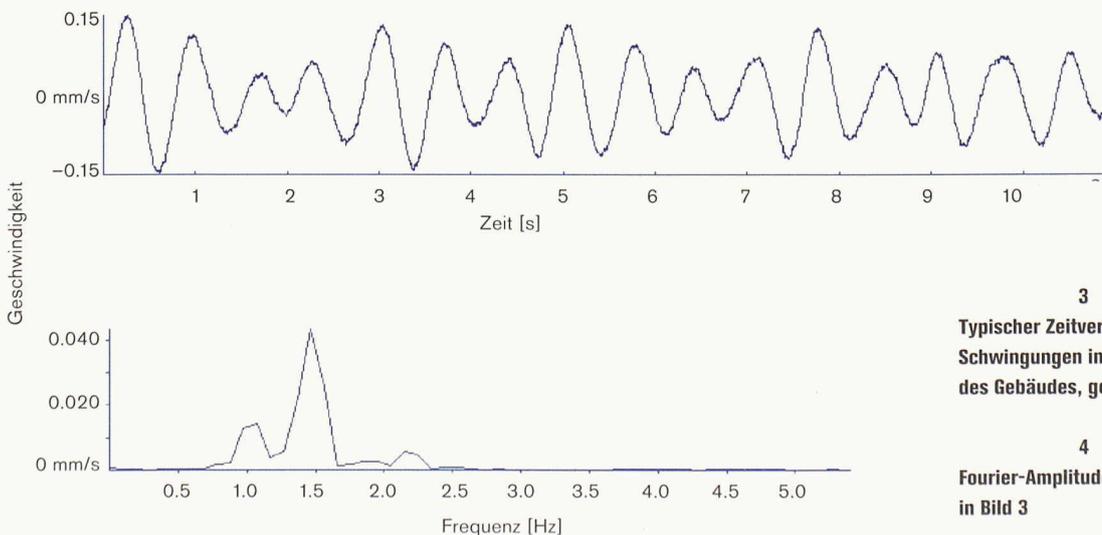
Mit zunehmender Erdbebeneinwirkung treten Risse in den Tragwänden auf. Dadurch fällt die Steifigkeit ab,

und die Eigenfrequenzen werden kleiner. Dieses Phänomen wird im Modell zusätzlich durch eine «gerissene» Steifigkeit berücksichtigt, wobei bei gleich bleibenden Querschnitten der E-Modul der Wände und der Riegel auf 30% abgemindert wird. Die ersten beiden Eigenfrequenzen des Tragwerks mit gerissener Steifigkeit liegen bei 0,40 und 0,60 Hz, die neunte Eigenfrequenz liegt bei 3,68 Hz.

Als Grundlage für die Überprüfung der Erdbebensicherheit des SIA-Hauses gelten die Anfang 2003 in Kraft getretenen Swisscodes¹². Der Hauptunterschied zur bis anhin gültigen Norm SIA 160⁴ liegt diesbezüglich in den neuen Spektrformen und in den Verhaltensbeiwerten q , mit denen die elastischen Spektralwerte abgemindert werden dürfen.

Das SIA-Haus steht nach SIA 261 in der Erdbebenzone 1 mit einer maximalen horizontalen Bodenbeschleunigung von $a_{gd} = 0,6 \text{ m/s}^2$. Das Bemessungsspektrum für die Baugrundklasse C wurde entsprechend SIA 262 mit einem Verhaltensbeiwert $q = 2,0$ abgemindert (Bild 7). Dies entspricht dem Verhaltensbeiwert q für Tragwerke mit nicht-dissipativem Verhalten (die konstruktive Durchbildung des Tragwerks entspricht nicht den Regeln der Kapazitätsbemessung) unter der Annahme einer mittleren Qualität des Betonstahls (Duktilitätsklasse B). Die beiden ersten Eigenfrequenzen des Tragwerks liegen deutlich unter dem Plateauwert.

Die räumliche Erdbebenanregung entspricht einer Überlagerung der Anregungen in den beiden horizontalen Richtungen und in der vertikalen Richtung. Für die vertikale Komponente wurden die Ordinaten des Bemessungsspektrums gemäss SIA 261 auf 70% reduziert und ein Verhaltensbeiwert $q = 1,5$ angesetzt. Die räumliche Erdbebenanregung wurde mit den vertikalen Lasten bestehend aus Eigengewicht, Nutz- und Auflasten überlagert. Die maximale horizontale Verschiebung des Tragwerks unter der kombinierten räumlichen Anregung beträgt 5,2 cm auf Deckenniveau des 12. Obergeschosses.

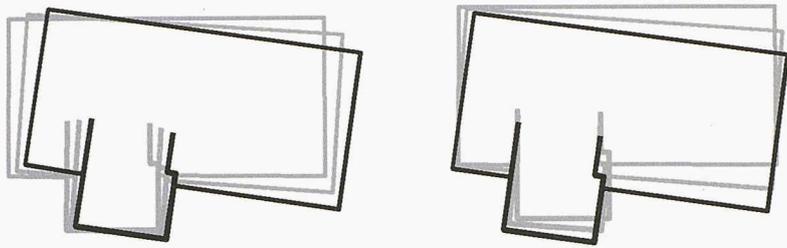


3

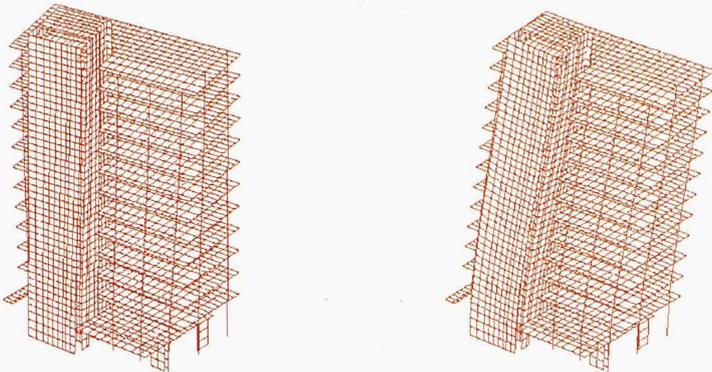
Typischer Zeitverlauf der horizontalen Schwingungen in Längsrichtung (x-Richtung) des Gebäudes, gemessen im 12. OG

4

Fourier-Amplitudenspektrum des Signals in Bild 3



5
Verschiebung der Decke des 12. Obergeschosses in der 1. (links) und 2. Eigenform



6
1. (links) und 2. Eigenform des Tragwerks

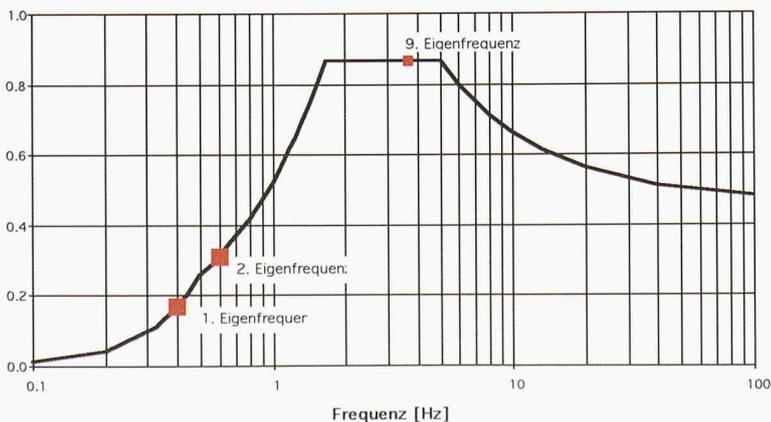
Nachweis der Tragsicherheit

Zur Beurteilung der Beanspruchung des Tragwerks wurden die Scheibenspannungen in den Tragwänden unter der räumlichen Erdbebenanregung betrachtet. Daraus wurden die erforderlichen Bewehrungskräfte in vertikaler und horizontaler Richtung in den Tragwänden bestimmt (Bilder 8 und 9). Diese wurden mit den durch die vorhandene Bewehrung bestimmten zulässigen Bewehrungskräften in den Tragwänden verglichen. Bis auf einige lokale Überschreitungen sind die Widerstände der vorhandenen Stahlbetonwände ausreichend. Die vereinzelt Überschreitungen befinden sich entweder in nichtkritischen Bereichen (13. und 14. Obergeschoss des Treppenhausturms) oder können, wie weiterführende Berechnungen gezeigt haben, mit Spannungsumlagerungen aufgenommen werden. Ertüchtigungsmassnahmen sind daher nicht erforderlich.

Folgerungen

Die Berechnungen basieren auf den Swisscodes. Deren Anforderungen sind jedoch nicht zuletzt aufgrund der neuen Spektrenformen um bis zu einem Faktor 2.5 höher als die der SIA 160. Dies bedeutet, dass das Verhalten des Tragwerks des SIA-Hauses, das die Anforderungen der Swisscodes knapp erfüllt, nach SIA 160 mehr als ausreichend ist.

Dass die neuen Swisscodes, die eigentlich nur für Neubauten gedacht sind, wesentlich strenger sind als die bisherige Norm SIA 160, wirft Fragen bei der Überprüfung bestehender Gebäude auf. Die SGEB (Schweizer Gesellschaft für Erdbebeningenieurwesen und Baudynamik), eine Fachgesellschaft des SIA, wird demnächst eine Empfehlung zur Überprüfung bestehender Gebäude auf Basis der Swisscodes veröffentlichen.



7
Bemessungsspektrum für die Baugrundklasse C und einen Verhaltensbeiwert von $q = 2.0$ bei einer maximalen Bodenbeschleunigung von $a_{gd} = 0.6 \text{ m/s}^2$

Ausblick: Erdbeben-Sensoren

Für das SIA-Haus liegt damit eine sehr detaillierte dynamische Erdbebenberechnung vor. Sie nutzt dabei die Ergebnisse der Schwingungsmessungen im Bereich von minimaler Umgebungsanregung. Wertvoll sind aber auch Messungen der Schwingungen, welche von tatsächlichen Erdbeben angeregt werden. Die Eigentümerin hat deshalb das oberste und das unterste Geschoss mit Erdbeben-Sensoren ausgerüstet. Damit können zukünftige Erdbebenereignisse, ähnlich wie das in Zürich gut wahrgenommene Erdbeben bei Strassburg vom 22. Februar 2003, registriert und ausgewertet werden. Vergleiche von Erdbebenaufzeichnungen mit der Modellrechnung für ein Hochhaus sind in der Schweiz bisher nicht vorhanden und werden deshalb bei Bauherrschaften und Fachleuten auf grosses Interesse stossen.

Kerstin Lang, Dr. sc. techn. ETH,
Peter Zwicky, dipl. Bauing. ETH
Basler & Hofmann, Ingenieure und Planer AG,
Forchstrasse 395, 8029 Zürich
klang@bhz.ch
pzwicky@bhz.ch
Marc Badoux, Prof. Dr., 1028 Prévèrenge

Literatur

- 1 Norm SIA 261 «Einwirkungen auf Tragwerke», Ausgabe 2003.
- 2 Norm SIA 262 «Betonbau», Ausgabe 2003.
- 3 Geologischer Bericht: Versuchsanstalt für Wasserbau und Erdbau an der ETH, Erdbauabteilung, Zürich, 28.9.1964.
- 4 Norm SIA 160 «Einwirkungen auf Tragwerke», Ausgabe 1989.

AN DER UNTERSUCHUNG BETEILIGTE

EIGENTÜMERIN

SIA-Haus AG, Zürich

BAUINGENIEUR

Basler & Hofmann, Ingenieure und Planer AG, Zürich

WEITERE INFORMATIONEN

www.sia.ch/referenzdetail.cfm

8

Vertikale Zugbewehrungskraft in den Tragwänden in N/m (links)

9

Horizontale Zugbewehrungskraft in den Tragwänden in N/m (rechts)

