

Erdbebenertüchtigung von Empa-Gebäuden

Auch in der Region Zürich sollten wichtige Gebäude auf ihre Erdbebensicherheit überprüft und wenn nötig ertüchtigt werden. Beim Umbau von Gebäuden der Empa Dübendorf erwiesen sich Massnahmen zur Verbesserung der Erdbebensicherheit von Mauerwerkswänden als unumgänglich. Dabei wurde die Gelegenheit ergriffen, im Sinne eines Pilotprojektes Spannglieder aus kohlefaserverstärkten Kunststoffen einzusetzen.

Die Bauwerke in der Schweiz sind insgesamt sehr viel schlechter auf Erdbeben vorbereitet als in Kalifornien, Japan oder Neuseeland. Moderne Erdbeben-Baunormen des Schweizerischen Ingenieur- und Architektenvereins (SIA) sind erst seit 1989 in Kraft, in den genannten Ländern hingegen schon seit vielen Jahrzehnten. Daher weisen über 90 Prozent der Bauwerke in der Schweiz eine unbekannt und oft ungenügende Erdbebensicherheit auf. Die geltenden SIA-Normen fordern, dass zumindest wichtige Bauten bezüglich ihrer Erdbebensicherheit überprüft und wenn nötig ertüchtigt werden, am besten bei einem Umbau.

Zu schwache Mauerwerkswände

Die Empa-Gebäude in Dübendorf an der Überlandstrasse wurden in den späten 1950er-Jahren erbaut. Im Jahr 2007 wurde das Verwaltungs- und das Laborgebäude einer umfassenden Renovation der Fassaden und des Innenausbaus unterzogen. Die Gebäude sind verhältnismässig gross: Das Verwaltungsgebäude ist dreistöckig und etwa 50 Meter lang und 18 Meter breit, das Laborgebäude ist vierstöckig und rund 180 Meter lang und 20 Meter breit.

Bei der Planung von Renovation und Umbauten wurde bei beiden Gebäuden auch die Erdbebensicherheit nach modernsten Methoden überprüft. Das Tragwerk beider Gebäude besteht aus einer Rahmenkonstruktion aus Stahlbeton (Stützen, Balken und Decken), punktuell ergänzt durch aussteifende Stahlbetonwände. Die vier Stirnfassaden an den Gebäudeenden bilden jedoch eine Ausnahme, sie

bestehen aus 38 cm dicken Wänden aus Mauerwerk. Bei Bodenbewegungen in Querrichtung der Gebäude müssen diese Mauerwerkswände einen wesentlichen Teil der induzierten «Erdbebenlasten» aufnehmen und werden stark beansprucht; sie erwiesen sich bei der Erdbebenuntersuchung in drei von vier Fällen als eigentliche Schwachstellen für die Tragwerksicherheit. Bei Bodenbewegungen in Längsrichtung der Gebäude hingegen entstehen zwar grössere Verformungen, die Erdbebensicherheit ist aber gewährleistet.

Künstliche Belastung hilft

Mauerwerk ist ein sehr bewährter und geeigneter Baustoff bezüglich Wärmedämmung, Wärmespeicherung und Behaglichkeit. Für Erdbebenbeanspruchung hingegen sind Mauerwerkswände wenig geeignet. Sie sind verhältnismässig spröde und können schon bei relativ schwachen Erdbeben gefährliche breite Risse bekommen. Sie können dann die Vertikallasten nicht mehr tragen, was zum Einsturz des betreffenden Gebäudes führen kann.

Immerhin gibt es wesentliche Unterschiede: Mauerwerkswände, die in vertikaler Richtung durch die sogenannten Schwerelasten (Gravitationskräfte)

Mauerwerk ist in vielerlei Hinsicht ein bewährter Baustoff – aber für Erdbebenbeanspruchung wenig geeignet.

mittelstark belastet sind, verhalten sich wesentlich besser als solche, die nicht oder nur wenig belastet sind. Die Belastung sorgt dafür, dass die Wände bis zu einer höheren Erdbebenbeanspruchung kompakter bleiben, das heisst als Ganzes auf die Erdbebenschwingungen reagieren und weniger Risse bekommen und in Stücke zerfallen. Fehlt eine genügende vertikale Belastung für die Sicherheit, die für eine bestimmte Erdbebenstärke gefordert wird, so liegt es nahe, diese vertikale Belastung künstlich aufzubringen und so ein besseres Erdbebenverhalten zu bewirken.

Die Probleme bei Mauerwerkswänden werden erheblich verstärkt, wenn Öffnungen durch Fenster und Türen und somit keine grösseren kom-



Die CFK-Spannglieder (schwarze Stangen in der Bildmitte) beim Empa-Verwaltungsgebäude wurden ausserhalb der Stirnfassade angeordnet, um sie jederzeit inspizieren zu können.

pakten Wandteile vorhanden sind. Fenster und Türen bewirken also eine wesentliche Schwächung der Wände.

Schwächen bei drei von vier Wänden

Genau dieser Fall lag bei drei der vier tragenden Mauerwerkswände der Empa-Gebäude vor. Bei beiden Gebäuden wirken auf die Stirnwände nur die Deckenlasten eines im Grundriss parallel zur Wand verlaufenden etwa 2 Meter breiten Streifens. Die Belastung auf die Mauerwerkswände war also relativ gering. Deshalb wurde eine sogenannte Vorspannung durch vertikal verlaufende Zugglieder angeordnet, welche die Belastung wesentlich erhöhen und somit ein erheblich besseres Erdbebenverhalten der Wand erwarten lassen. Beim Laborgebäude wurde die vertikale Vorspannung in beiden Stirnfassaden durch konventionelle Stahlstangen mit einem Durchmesser von 32 Millimetern und einer Vorspannkraft von 500 Kilonewton (rund 50 Tonnen) aufgebracht.

Beim Verwaltungsgebäude bestehen wesentliche Unterschiede zwischen der südlichen (Seite

Überlandstrasse) und der nördlichen Stirnfassade (Seite Laborgebäude) mit den Mauerwerkswänden. Die südseitige Wand besteht aus zwei kompakten Teilen und hatte deshalb eine genügende Erdbebensicherheit. Die nordseitige Wand hingegen weist erhebliche Schwächungen durch die Türen für die dortige zweistöckige Passerelle und im hinteren Teil auch durch zahlreiche Fenster auf und musste daher ertüchtigt werden. Dafür wurde eine Lösung unter Anwendung modernster Technologie mit CFK-Spanngliedern entwickelt.

Kohlefaserverstärkte Kunststoffe

Die Empa hat unter der Leitung von Professor Urs Meier hervorragende Entwicklungen im Gebiet der durch Kohlefasern verstärkten Kunststoffe – kurz Kohlefaserverstärkte Kunststoffe, auch CFK genannt – durchgeführt. Die Innovationen erfolgten unter anderem im Rahmen von jeweils etwa drei bis vier Jahre dauernden Doktorarbeiten in Zusammenarbeit mit Professoren des Instituts für Baustatik und Konstruktion der ETH Zürich.

10 FORSCHUNG
– SCHWERPUNKT



So wurde beispielsweise ein Verfahren zur Erdbenenertüchtigung von Mauerwerkswänden durch Aufkleben von fachwerkartig angeordneten CFK-Lamellen und ein Verfahren zur nachträglichen Verstärkung von Stahlbetondecken durch vorgespannte CFK-Lamellen entwickelt. Aber auch im Bereich von Zuggliedern aus CFK-Bändern oder CFK-Drähten mit hohen konzentrierten Kräften erfolgten an der Empa wegweisende Entwicklungen, die bereits zu erfolgreichen Anwendungen geführt haben. So kamen bei der Schweizer Segeljacht Alinghi Mastabspannungen aus CFK-Zuggliedern zum Einsatz, die gegenüber konventionellen Drahtseilen den grossen Vorteil hatten, dass sie bei gleicher Festigkeit rund fünfmal leichter sind. Solche Zugglieder können auch vorgespannt werden, das heisst sie stehen dauernd unter einer grossen Zugbelastung. Sie werden deshalb in der Fachsprache Spannglieder genannt.

Gewappnet für das Erdbeben

Bei der Nordfassade des Verwaltungsgebäudes der Empa wurden im Juni 2007 erstmals CFK-Spannglieder zur Erdbenenertüchtigung einer tragenden Mauerwerkswand eines Gebäudes verwendet. Die fünf 13 Meter langen Spannglieder wurden durch eine Spin-off-Firma der Empa im Zürcher Oberland nach einem modernen patentierten Verfahren hergestellt. Dabei wurden 50 Millimeter breite und 0,2 Millimeter dicke CFK-Bänder in zahlreichen Schlaufen um zwei provisorische Ankerbolzen herum gelegt und auf 100 Prozent der späteren Spannkraft vorgespannt. Danach wurden die Bänder mit einem Polyesterband umwickelt und schliesslich thermisch ausgehärtet und wieder entspannt.

Die Spannglieder sind 34 Millimeter dick und haben eine Bruchlast von 1050 Kilonewton (rund 100 Tonnen). Sie sind ausserhalb der Fassade angeordnet, wo sie sich jederzeit inspizieren lassen. Oben auf dem Dach und unten in der Stahlbetonwand des Kellergeschosses mussten die Spannglieder verankert werden, damit die Mauerwerkswand «unter Druck ge-

← Die CFK-Spannglieder wurden oben auf dem Dach und unten in der Stahlbetonwand des Kellergeschosses verankert, um die Mauerwerkswand «unter Druck» setzen zu können. Die Spannglieder wurden mit einer hydraulischen Presse auf eine Dauerlast von 360 Kilonewton (36 Tonnen) gespannt.

Die wegweisenden Entwicklungen im Bereich Kohlenfaser-Kunststoffe an der Empa führten bereits zu zahlreichen Anwendungen.

setzt» werden konnte. Jedes der fünf Spannglieder wurde auf eine Dauerlast von 360 Kilonewton vorgespannt. Zur Einleitung der exzentrischen Kräfte in die Mauerwerkswand mussten auf dem Dach auskragende Stahlträger angeordnet werden, die mit einem Gegengewicht aus Beton versehen und in der dortigen Stahlbetondecke verankert sind. Schliesslich wurden die Spannglieder unten im Bereich des Gehweges mit einem rostfreien Stahlrohr gegen mechanische Einwirkungen geschützt und die Ankerstellen oben auf dem Dach durch einen Witterungsschutz abgedeckt. So können nun die ertüchtigten Empa-Gebäude getrost auf ein einmal kommendes, starkes Erdbeben warten.

Das bedeutendste Schadenrisiko

In der Schweiz ist das Erdbebenrisiko das bedeutendste Schadenrisiko aus Naturgefahren; es ist grösser als das Hochwasserrisiko. Schwere Erdbeben sind zwar selten, aber wenn sie auftreten, sind die Schäden 10 bis 100 Mal grösser als bei den grössten Überschwemmungen. Deshalb müssen alle neuen Bauten gemäss den SIA-Normen erdbebensicher geplant und gebaut werden. Die Mehrkosten betragen im Allgemeinen nur zwischen 0 und 1 Prozent der Baukosten und sind somit unwesentlich.

Hugo Bachmann

Der Autor ist emeritierter Professor für Baudynamik und Erdbebeningenieurwesen und war früher am Institut für Baustatik und Konstruktion der ETH Zürich tätig.

Gekürzte und aktualisierte Fassung eines im Heimatbuch Dübendorf 2007 erschienenen Artikels. Der Originalartikel findet sich auf der Webseite der NGZH: www.ngzh.ch

WEITERFÜHRENDE INFORMATIONEN

Wichtige Hinweise für Gebäudeeigentümerinnen und -eigentümer finden sich auf der Webseite des Bundesamts für Umwelt www.bafu.admin.ch/erdbeben. Die Faltblätter «Erdbebenerechte Neubauten in der Schweiz» und «Ist unser Gebäude genügend erdbebensicher?» der Stiftung für Baudynamik und Erdbebeningenieurwesen können dort kostenlos heruntergeladen werden.