Zeitschrift: Tec21
Herausgeber: Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein
Band: 127 (2001)
Heft: 36: Erdbebensicheres Bauen

Artikel: Erdbebenertüchtigung eines Hochhauses: CFK-Lamellen und -Schubwinkel zur Verstärkung von Mauerwerk

Autor: Borgogno, Walter

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-80205

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

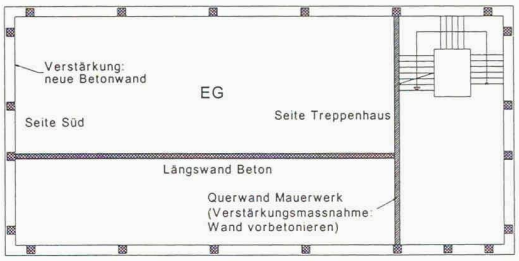
Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on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

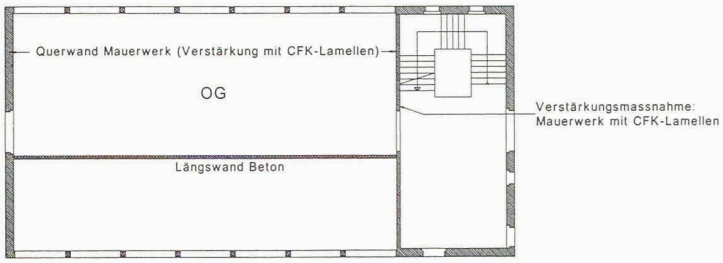
Download PDF: 21.07.2025

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

1
Hochhaus Gymnasium Friedberg

2
Typische Gebäudegrundrisse mit den getroffenen Massnahmen





Walter Borgogno

Erdbebenertüchtigung eines Hochhauses

CFK-Lamellen und -Schubwinkel zur Verstärkung von Mauerwerk

Das 7-stöckige Hochhaus des Internats Gymnasium Friedberg in Gossau SG stammt aus dem Jahr 1961. Im Erdgeschoss war es mit nur zwei Mauerwerkswänden gegen Erdbebeneinwirkung in Querrichtung ungenügend gehalten; im ersten bis sechsten Obergeschoss waren die Tragwiderstände der Mauerwerkswände ebenfalls ungenügend. Mit einer neu entwickelten Anwendung von CFK-Schubwinkeln konnte der notwendige Verankerungswiderstand für die Verstärkung der Mauerwerkswände erreicht werden.

Das Bettenhaus des Internats Gymnasium Friedberg in Gossau (Bild 1) wurde 1999/2000 auf einen modernen Standard umgebaut. In diesem Zusammenhang wurde die Konstruktion bezüglich des Tragverhaltens überprüft. Das Gebäude ist rund 24 m lang, 12 m breit und 22 m hoch (Bilder 2 und 3). Das gesamte Untergeschoss besteht aus bewehrten Betonwänden. Die Wände sind mit Streifen auf einer Moräne mit kiesig-sandigen Zwischenlagerungen fundiert. Das Erdgeschoss ist in Längsrichtung in etwa der Gebäudemitte durch eine bewehrte Betonwand, in Querrichtung jedoch nur durch zwei Mauerwerkswände beim Treppenhaus gehalten. Die Schwerlasten werden neben der Längswand durch Stahlbetonstützen entlang des Gebäuderandes abgetragen. Im ersten bis sechsten Obergeschoss besteht die Längswand auch aus bewehrtem Beton. Aussparungen dienen als Türöffnungen in die einzel-

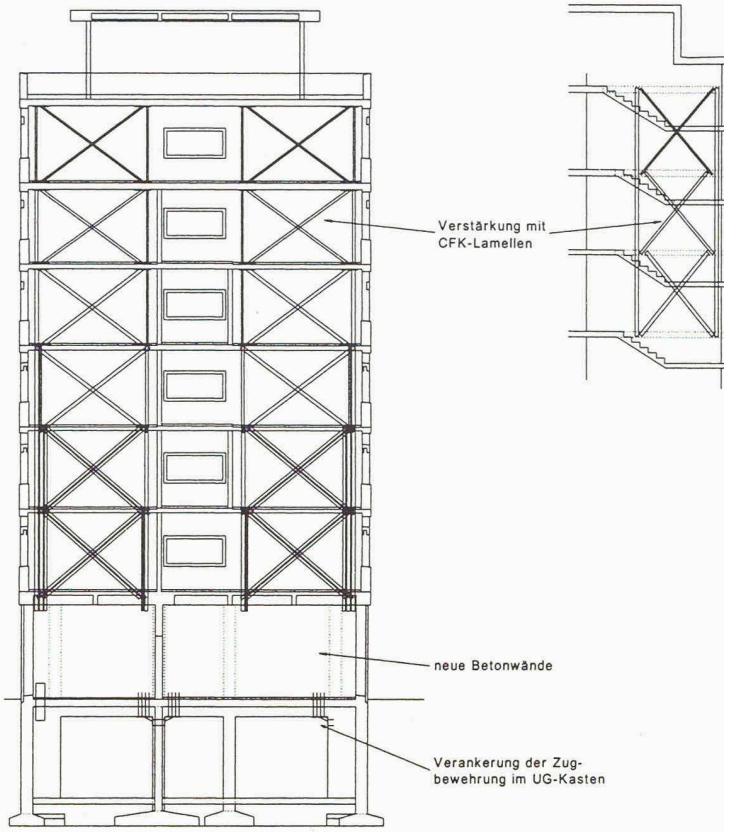
nen Zimmer. Die Decken tragen grundsätzlich in Querrichtung, wobei die Längswand als Zwischenauflager dient. In Querrichtung sind die einzelnen Stockwerke durch Mauerwerkswände auf der Aussenseite (Südseite) und beim Treppenhaus gehalten. Das siebte Obergeschoss wird als Veranda benutzt und ist durch Stahlbetonwände mit dem sechsten verbunden.
Bei der statischen Überprüfung wurde sofort ersichtlich, dass das Gebäude nicht erdbebengerecht konstruiert wurde: In Querrichtung war das Erdgeschoss durch zwei Mauerwerkswände ungenügend gehalten; im ersten bis sechsten Obergeschoss waren die Tragwiderstände der Mauerwerkswände ebenfalls ungenügend. Die projektierenden Ingenieure wurden vom Bauherrn, dem Pallottiner Orden, beauftragt, gegen Erdbeben taugliche Verstärkungsmassnahmen vorzuschlagen. Die Verstärkungen sollten im Zusammenhang mit dem ohnehin geplanten Umbau durchgeführt werden. Nachfolgend werden die einzelnen Phasen beim Erstellen des Massnahmenkatalogs erläutert und im Speziellen eine Anwendung von CFK-Schubwinkeln vorgestellt.

Bemessungskonzept und -grundlagen

Die Tragsicherheitsnachweise wurden elastisch geführt, da das Gebäude als Mischsystem eingestuft werden muss. Trotzdem wurden Prinzipien der Kapazitätsbemessung so weit wie möglich beachtet. Die verstärkten Wände in den Obergeschossen sollen elastisch bleiben. Die Tragsicherheitsnachweise wurden nach [1] geführt: $S_{acc} = S_d \leq S_R / \gamma_R$. Die Einwirkungen wurden nach dem Ersatzkraftverfahren ermittelt. Als Grundlage diente der EC 8 [2]. Für die Ermittlung der Ersatzkräfte wurden folgende Annahmen getroffen: Baugrundklasse B (mitteldicht gelagerte Sande, Kiese), Gefährdungszone Z1, Bauwerksklasse BWK II, Duktilitätsklasse L (da linear elastische Bemessung), Grundwert des Verhaltensbeiwertes $q_0 = 5{,}0$; Beiwert zur Berücksichtigung der Zähigkeitsklasse $k_D = 0{,}50$; Beiwert zur Berücksichtigung der Regelmässigkeit im Aufriss $k_R = 1{,}0$; Beiwert für die Berücksichtigung der vorherrschenden Versagensart bei Tragsystemen mit Wänden $k_W = 0{,}45$ und Eigenfrequenz $f_1 = 4{,}2$ Hz. Die Ordinate des mit g normierten Bemessungsspektrums ergab $S_a = 0{,}1$. Der entsprechende Wert gemäss Norm SIA 160 ($a_h * c_k / g$) beträgt 0,07. Dies ergibt rund 30 % geringere horizontale Ersatzkräfte.
Widerstandsbeiwerte und Sicherheitsfaktoren wurden wie folgt angenommen: Beton $\gamma_{R,c} = 1{,}2$; Mauerwerk $\gamma_{R,m} = 2{,}0$; CFK $\gamma_{R,CFK} = 2{,}0$; Eigenlast Beton $\gamma_G = 1{,}0$; Auflast Boden und Wände verschmiert $\gamma_A = 1{,}0$ und Nutzlasten $\psi_{acc} = 0{,}3$.

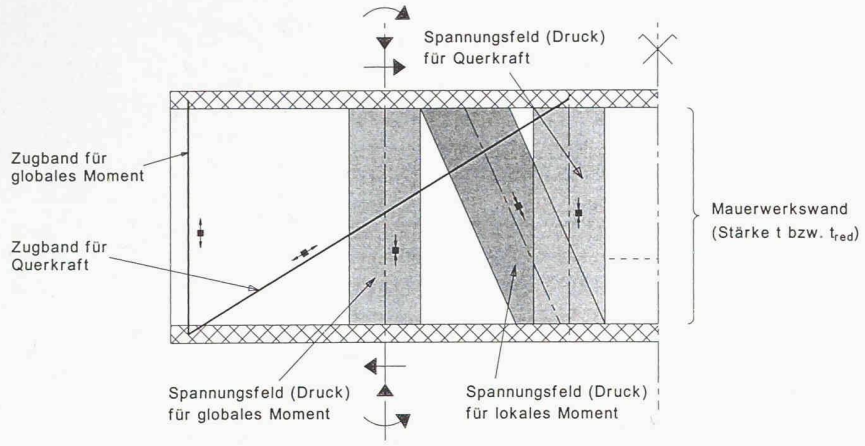
Verstärkungskonzept und Modellbildung

Längsrichtung und Querrichtung konnten aufgrund der regelmässigen Struktur getrennt betrachtet werden. In Längsrichtung mussten keine Verstärkungen vorgenommen werden. In Querrichtung zeigte sich, dass infolge der geringen Normalkraft sämtliche tragenden Wandscheiben aus Mauerwerk verstärkt werden mussten. Im Wesentlichen wurden die Verstärkungen so vorgenommen, dass vorhandene bzw. neue Wandscheiben die errechneten Horizontalkräfte abtragen können. Auf der Südseite wurden die Mauerwerkswände vom ersten bis sechsten OG mit CFK- bzw. Stahl-Klebebewehrung versehen, damit zusätzliche Schubkräfte und Momente aufgenommen werden können. Dabei konnten wie bei bereits ausgeführten Beispielen [8,9] gekreuzte Lamellen gewählt werden. Auf der Treppenhausseite wurde auf die Mauerwerkswände vom vierten bis sechsten OG ebenfalls CFK-Klebebewehrung aufgebracht. Vom ersten bis dritten OG konnten Betonwände vorbetoniert werden. Im EG wurden in Querrichtung neue Stahlbetonwände eingebaut (Bild 3).



3
Ansicht Wand Südseite und Wand Treppenhausseite mit den getroffenen Verstärkungsmassnahmen

Das statische System in Querrichtung besteht für die Südseite und die Treppenhausseite aus je einem Kragarm (Ersatzstab), der im UG eingespannt ist. Der Kragarm auf der Südseite setzt sich wiederum aus zwei zusammenwirkenden Wandscheiben zusammen, die durch die Decken mit Brüstung und Sturz verbunden sind. Auf der Treppenhausseite besteht der Kragarm nur bis zum dritten OG aus zwei zusammenwirkenden Wandscheiben.
Die gesamte angreifende Horizontalkraft wurde über die Gebäudehöhen proportional zur Relativverschiebung des Gebäudes verteilt. Die so ermittelte Stockwerksquerkraft wurde im Grundriss auf die tragenden Wandscheiben aufgeteilt [5]. Mit dem Computer

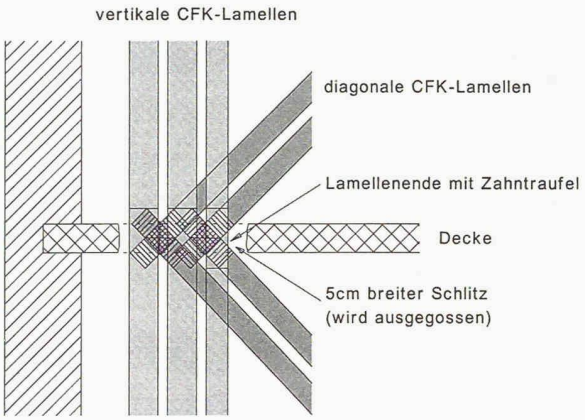


4
Bemessungsmodell mit Spannungsfeldern für die verstärkten Mauerwerksabschnitte

5
CFK-Lamellen Südwand

6
Knotenpunkt Südwand

Ansicht



konnten somit die Schnittkräfte der Kragarme berechnet werden.

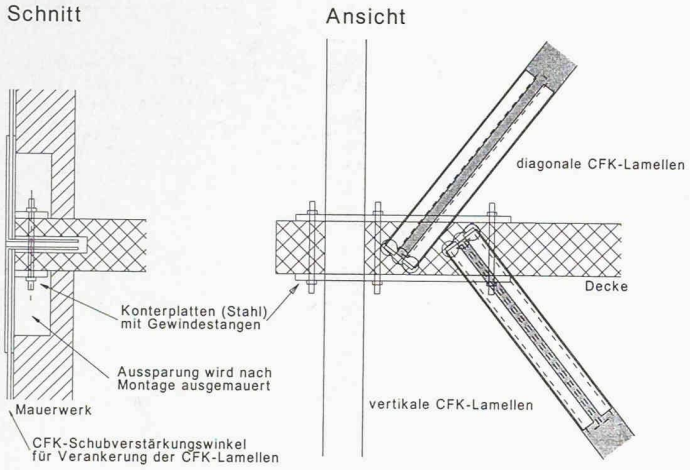
Die Stahlbetonwände sind für kombinierte Beanspruchung mit üblichen Modellen bemessen worden. Die Mauerwerkswände sind mit einem der Verstärkungsmassnahme entsprechenden Spannungsfeld-Modell (Bild 4) bemessen worden, das auf Grundlage von [3, 4] entwickelt wurde.

Jeder Wandabschnitt, getrennt durch die Betondecken, wurde einzeln betrachtet. Für diese Modellbildung ist es zentral, dass die Zugkräfte voll in der Betondecke verankert werden können. Die auf die Mauerwerkswand wirkenden Schnittkräfte setzen sich aus Normalkraft, Schubkraft und Biegemoment zusammen. Mit der Normalkraft werden globale Biegemomente aus der Zusammenwirkung der beiden Wandscheiben aufgenommen [10]. Lokale Biegemomente (in einem einzelnen Wandabschnitt) werden durch Schiefstellung eines exzentrischen Druckspannungsfeldes bzw. durch ein Zugband und ein Druckfeld aufgenommen. Die Querkraft wird durch ein diagonales Zugband abgetragen, was aus Gleichgewichtsgründen eine Druckkraft in der Wand hervorruft. Sämtliche Zugkräfte werden durch CFK- oder Stahl-Lamellen übernommen, Druckkräfte über das Mauerwerk abgetragen. Die Wandstärke für das Berechnungsmodell wurde auf der Südseite auf t_{red} vermindert und auf der Treppenhausseite auf t belassen.

Detailausbildung

Entscheidend für die Wirksamkeit der Verstärkungsmassnahmen ist die Erhaltung des Kräfteflusses [6]. Bei den Stahlbetonwänden können Zugkräfte über Bewehrungsstahl, der durch Löcher in den Decken geführt wird, und Druckkräfte über Kontakt übertragen werden. Die Löcher für die Durchführung der Bewehrung dienten zugleich dem Einfüllen des Betons vom oberen Stockwerk aus. Bei der Verstärkung von Mauerwerk mit CFK-Lamellen ist jedoch der Verankerung in den einzelnen Decken spezielle Beachtung zu schenken. Die Zugbewehrung wurde im UG-Kasten so verankert, dass der Kräftefluss bis zum Fundament möglich ist.

Das Mauerwerk auf der Südseite wurde auf der Innenseite mit CFK-Lamellen versehen (Bild 5). Die Diagonalen kreuzen die vertikalen Lamellen zentrisch in Deckenmitte. Somit entstehen keine Exzentrizitäten. Die vertikalen Lamellen konnten am Stück über die Decken hinaufgeführt werden. Eine genügende Verbundlänge gewährleistet eine einwandfreie Verankerung. Die Enden der diagonalen CFK-Lamellen wurden vor dem Einbau mittels Zahntraufel auf einer Länge von rund 25 cm mit Bewehrungskleber beschichtet. Nach dem Verkleben wurden diese Enden mit Epoxy-Mörtel in den Deckenaussparungen eingegossen (Bilder 5 und 6). Als Grundlage für dieses Verankerungssystem dienten Versuche an der Empa [7].



7 und 8
Knotenpunkt Treppenhaus

Die Mauerwerkswände auf der Treppenhausseite vom vierten bis sechsten OG wurden auch mit CFK-Lamellen verklebt. Doch die Stirn der begrenzenden Betondecken liegt gegen das Treppenhaus frei. Die vertikalen Lamellen konnten auch wieder über eine genügende Verbundlänge in den darüber bzw. darunter liegenden Wänden verankert werden. Zur Verankerung der CFK-Diagonalen wurden die CFK-Schubwinkel in nebeneinander plazierten Bohrlöchern (D = 50 mm, Tiefe rund 22 cm) in die Betondecke geklebt. Auf dem frei liegenden Schenkel des Winkels konnten die Diagonalen über eine genügende Verbundlänge verankert werden. Da jedoch ein oder zwei nebeneinander liegende Winkel einen zu kleinen Tragwiderstand ergeben, wurde analog dazu eine zweite Lage Winkel über die erste Lage und die Lamellendiagonalen gesetzt. Die aufgrund der Lage der Bohrlöcher entstehenden Exzentrizitäten und die Querzugkräfte wurden mit Gewindestangen und Konterplatten aus Stahl aufgenommen (Bilder 7 und 8). Vor der Sanierung waren die zu verstärkenden Mauerwerkswände lediglich mit einem Verputz verkleidet. Zum Aufkleben der Lamellen wurden Schlitze im Verputz ausgefräst. Um Fugenrisse zwischen neuem und altem Verputz zu verhindern und um eine allfällige Beschädigung der Lamellen durch Aufhängen von Bildern usw. zu entschärfen, wurden über den Verputz und die Lamellen neue Gipskartonplatten vorgehängt. Der Platzverlust ist damit nur sehr gering, und genannte Nachteile konnten günstig eliminiert werden.

Kosten

In dieser Sanierungsetappe wurden auf der Architekturseite nur das erste bis dritte und das sechste OG erneuert. Für die Erdbebenertüchtigung waren alle Geschosse betroffen, d.h. UG bis sechstes OG. Die Kosten für die architektonische Sanierung waren auf total Fr. 1455 000.– voranschlagt. Für die Erdbebenertüchtigung wurde mit total Fr. 370 000.– gerechnet. Der indexierte amtliche Gebäudewert betrug vor der Sanierung Fr. 3 680 000.–. Somit belaufen sich die Kosten für die Erdbebenertüchtigung auf rund 10 % des Gebäudewertes.

Zusammenfassung und Ausblick

Das 7-stöckige Hochhaus wurde im Zuge einer Renovation erdbebenertüchtigt. Die Schnittkräfte wurden nach dem Ersatzkraftverfahren ermittelt, und die Bauteile wurden elastisch bemessen. Die Ideen der Kapazitätsbemessung wurden – wo möglich – dennoch verfolgt. Für die Verstärkungen der Mauerwerkswände wurden CFK-Lamellen verwendet. Die einwandfreie Verankerung gelang dank einer neuartigen Anwendung von CFK-Schubwinkeln. Durch die konsequente Detailausbildung wird der Kräftefluss bis in die Fundation gewährleistet. Die Kosten für die Erdbebenertüchtigung beliefen sich auf etwa 10 % des Gebäudewertes. Durch weitere Anstrengungen beim System der Verankerung von CFK-Lamellen kann deren Anwendungsbereich beim Verstärken von Mauerwerk vergrössert werden.

Walter Borgogno, Dr. sc. techn., Fürer Bergflödt Köppel AG, Bahnhofstrasse 12, 9200 Gossau

AM BAU BETEILIGTE

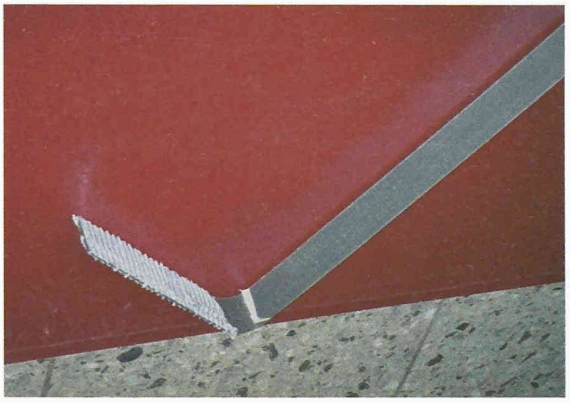
INGENIEUR
Fürer Bergflödt Köppel AG, Bahnhofstrasse 12, 9200 Gossau
ARCHITEKT
Engler und Lehmann, Grüneggstrasse 1, 9200 Gossau
CFK-VERSTÄRKUNGEN
Sika Bau AG, Rehetobelstrasse 60, 9006 St. Gallen

Literatur

1 Norm SIA 160: Einwirkungen auf Tragwerke. Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein, Zürich, 1989.
2 ENV 1998: Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben – Sammelband Gebäude. Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein, Zürich, 1997.
3 Norm SIA 177: Mauerwerk. Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein, Zürich, 1995.
4 Zimmerli B., Schwartz J., Schwegler G.: Mauerwerk– Bemessung und Konstruktion. Birkhäuser-Verlag, Basel, 1998.
5 Bachmann H.: Erdbebensicherung von Bauwerken. Birkhäuser-Verlag, Basel, 1995.
6 Bachmann H.: Kurzgutachten zum Ingenieurprojekt Erdbebensanierung Hochhaus Gymnasium Friedberg Gossau. 27. Juli 2000, ETH Zürich.
7 Meier H.: CFK-Schubverstärkungselemente. Schweizer Ingenieur und Architekt SI+A, Nr. 43/1998.
8 Meier H.: Verstärkte Tragwerke mit Faserverbundwerkstoffen: Anwendungsbeispiele. Tagungsband «Faserverbundwerkstoffe für Ingenieurbauwerke: Umnutzungen und Neubauten», TFB, Wildegg, 2000.
9 Schwegler G.: Verstärkung von Mauerwerksbauten mit CFK-Lamellen. Schweizer Ingenieur und Architekt SI+A, Nr. 44/1996.
10 Bachmann H.: Hochbau für Ingenieure – Eine Einführung. VDF Verlag der Fachvereine, Zürich, 1994

STANDPUNKT

Katharina Möschinger



Dem Leben beikommen

Seit etwa zwei, drei Jahren thematisieren diverse Medien die Erdbebensicherheit von Gebäuden in der Schweiz, wie mir als Nichtfachfrau im Baubereich irgendwann auffiel: aha, es gibt bei uns ein Erdbebenrisiko!? Und während real Hochwasser und Lawinenniedergänge Schäden und Leid verursachten, wurde das Thema in ganz und gar unschweizerischer Eile auch auf eidgenössischer Ebene aufgegriffen: das Eidgenössische Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (Uvek) erkennt Handlungsbedarf, im Bundesamt für Wasser und Geologie (BWG) wird eine Koordinationsstelle Erdbebenvorsorge geschaffen, das Parlament doppelt nach, und der Bundesrat lanciert entsprechende Massnahmen (Seite 7 ff: «Die unterschätzte Gefahr»).

Es herrscht ganz offensichtlich ein Konsens über die absolute Notwendigkeit, Gebäude Erdbeben zu ertüchtigen (zu erdbebenertüchtigen?), und in der Fachwelt sind die entsprechenden Kenntnisse auch vorhanden (Seite 13 ff: «Erdbebenertüchtigung eines Hochhauses»).

In Zukunft werden anlässlich der eventuell bzw. maximal ein- bis zweimal pro Jahrhundert stattfindenden mässigen bis mittelschweren schweizerischen Erderschütterungen weniger Schäden wenigstens an wichtigen Gebäulichkeiten auftreten, und die Versicherungen sind auch dankbar, weil Erdbebenschäden nicht mehr durch höhere Gewalt verursacht werden und mithin ein Geschäft darstellen.

Kein vernünftiger Mensch kann etwas gegen Vorsorge haben, zumal die Mittel in diesem Fall ja vorhanden sind, Schäden zu verhindern oder wenigstens zu mindern. Woher also kommt mein Bedürfnis, dieses Thema mit leichtem Spott zu behandeln – und der Verdacht, dass wir es hier irgendwie mit einer «Ersatzaktivität» zu tun haben? Diese Zeit stellt uns Menschen vor hoch komplexe Probleme, für deren Lösung wir als Einzelne bzw. als Laien sehr häufig keineswegs qualifiziert sind, nicht qualifiziert sein können, weil es unmöglich geworden ist, sich die Menge an benötigtem Wissen anzueignen. Darum geht beispielsweise die Schere zwischen der Forschung und ihrer Rezeption durch die Gesellschaft immer weiter auf, und darum sind wir dankbar für jedes Problem, das wir in der Lage sind zu lösen – technisch zu lösen, denn das ist die Voraussetzung dafür, dass wir uns einig sein können. Es gibt uns das Gefühl, trotzdem noch Einfluss zu haben, nicht ganz so ohnmächtig zu sein, etwas «Vernünftiges» zu tun, uns (bzw. im vorliegenden Fall die Gebäude) «ertüchtigt» zu haben. Mitten in der grossen Verunsicherung trotzen wir dem Leben ein kleines Zipfelchen mehr Sicherheit ab …

Derweil steigen die Gesundheitskosten weiterhin, die neue Armut nimmt zu und die AHV-Reserven ab, der Leerwohnungsbestand ist knapp und die Mieten sind entsprechend hoch, die Umwelt wird nicht gerade sauberer und die Migrationsproblematik nicht kleiner – das Leben als ein einziges Risiko, dem wir nicht beikommen mit technologischen Lösungen und nicht auf die Schnelle. Vielleicht sollten wir es ja auch gar nicht versuchen …

7 Martin Wieland
Die unterschätzte Gefahr
Erdbebensicheres Bauen ist dringend notwendig

13 Walter Borgogno
Erdbebenertüchtigung eines Hochhauses
CFK-Lamellen und -Schubwinkel zur Verstärkung von Mauerwerk

28 **Debatte**