



# **Erdbebensicherheit von nichttragenden Bauteilen, Installationen und Einrichtungen**

Daniel Schuler

Tag der Befestigungstechnik, ETH Zürich, 1. März 2007

# Erdbebensicherheit von nichttragenden Bauteilen, Installationen und Einrichtungen

Daniel Schuler\*

## 1 Ausgangslage

In der Schweiz stellen Erdbeben in Bezug auf die Naturgefahren das vorherrschende Risiko dar [1]. Für ein schweres Erdbeben, wie dasjenige welches 1356 Basel erschütterte, schätzen die Versicherer die Gebäudeschäden auf 50 Milliarden Franken. Betroffen wären bei einem solchen Ereignis aber nicht nur Hochbauten, Brücken und Verkehrswege, sondern insbesondere auch Einbauten, technische Installationen und Einrichtungen, wie beispielsweise Tankanlagen, Leitungen, Apparate, Maschinen oder Computeranlagen. Es ist davon auszugehen, dass die Schäden an den nicht zu den Tragwerken gehörenden Installationen und Einrichtungen gleich gross oder sogar höher wären, wie diejenigen an der eigentlichen Bausubstanz. Die Erdbebensicherung von nichttragenden Bauteilen, Installationen und Einrichtungen hat deshalb eine sehr grosse Bedeutung. In der Praxis stösst man jedoch auf die zwei folgenden hauptsächlichen Probleme [2]:

- Erdbebensicherungen von nichttragenden Bauteilen, Installationen und Einrichtungen werden oftmals vergessen.
- Verstärkungen der Erdbebenanregung durch das Gebäudetragwerk oder auch Schwingungsdämpfer ("Aufschaukelungseffekte") werden nicht berücksichtigt.

Im Vergleich zur sehr grossen möglichen Schadenreduktion sind die Kosten für erdbebensichere Befestigungen von Installationen und Einrichtungen gering. Im Allgemeinen weisen solche Sicherheitsmassnahmen darum ein sehr günstiges Nutzen-Kosten-Verhältnis auf [2].



**Bild 1** Beim Erdbeben von Kobe, 1995 umgestürzte Elemente der Einrichtung in einem Verwaltungsgebäude

## 2 Erdbebengefährdung

### 2.1 Nichttragende Bauteile

Als nicht zum Tragwerk gehörende Bauteile werden u.a. Gebäudeverkleidungen und Fassaden, abgehängte Decken und Doppelböden sowie nichttragende Trennwände bezeichnet. Das Bild 2 zeigt Erdbebenschäden an der Deckenverkleidung in der Eingangshalle des Flughafens von San Francisco nach dem Erdbeben 1989. Neben dem, dass die ungenügende Erdbebensicherheit solcher Bauteile grosse Sachschäden verursacht, werden Personen durch abstürzende Teile gefährdet.

\* Bürkel Baumann Schuler, Ingenieure+Planer AG, Gertrudstrasse 17, 8400 Winterthur, E-mail: daniel.schuler@bbs-ing.ch



**Bild 2** Erdbebenschäden an der Deckenverkleidung in der Eingangshalle eines internationalen Flughafens



**Bild 3** Doppelboden im "Wire-Center" eines grossen Rechenzentrums



**Bild 4** Tankanlagen und Rohrleitungsinstallationen eines Chemiebetriebs auf dem Dach des Gebäudes

## 2.2 Installationen und Einrichtungen

Als Installationen und Einrichtungen können Rohrleitungen und Kanäle, Geräte, Apparate oder Maschinen sowie Anlagen für die Datenverarbeitung, Kommunikation und Telematik bezeichnet werden (Bild 3). Erdbebenschäden bei solchen Anlagen können zu nachhaltigen Betriebsausfällen und damit verbundenen zu grossen Folgeschäden führen. Eine besondere Gefährdung durch Folgeschäden besteht bei chemischen Anlagen (Bild 4). Erdbebenschäden bei solchen Anlagen können die Bevölkerung und die Umwelt in starkem Masse gefährden, wenn beispielsweise gefährliche Stoffe freigesetzt werden.

## 3 Erdbebensicherung

Durch Erdbeben hervorgerufenen Belastungen sind moderat im Vergleich zu andern aussergewöhnlichen dynamischen Einwirkungen wie beispielsweise Explosions- oder Stossbelastungen. Die Erdbebenwiderstandsfähigkeit der Installationen oder Einrichtungen selbst ist deshalb in den meisten Fällen gegeben. Häufig von zentraler Bedeutung ist hingegen die erdbebensichere Befestigung. Sie muss durch die folgenden Massnahmen gewährleistet werden:

- Befestigung mit erdbebensicheren Konstruktionen (Abstützungen, Sicherungen)
- Einsatz geeigneter Anker und Dübel
- Bemessung der Befestigungskonstruktionen und Dübel auf Erdbebeneinwirkungen

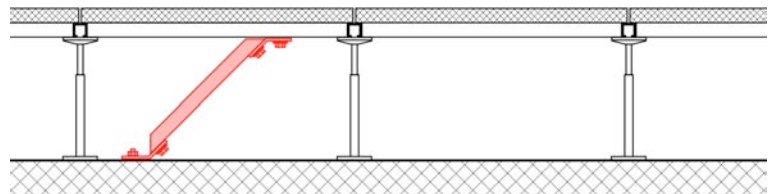
### 3.1 Erdbebensichere Befestigungskonstruktionen

Erdbebensichere Befestigungskonstruktionen sind dadurch gekennzeichnet, dass sie in der Lage sind, neben den Eigenlasten des befestigten Bauteils auch die bei einem Erdbeben auftretenden Horizontalkräfte aufzunehmen. Dazu werden häufig seitliche Abstützungen (sog. "bracings") verwendet. Mit Abstützungen werden beispielsweise abgehängte Decken (Bild 5), Doppelböden (Bild 6) oder Rohrleitungsaufhängungen (Bild 7) gesichert. Für die Praxis existieren diverse Handbücher (z.B. [3] [4] [5]), nach denen erdbebensichere Befestigungskonstruktionen ausgeführt werden können.

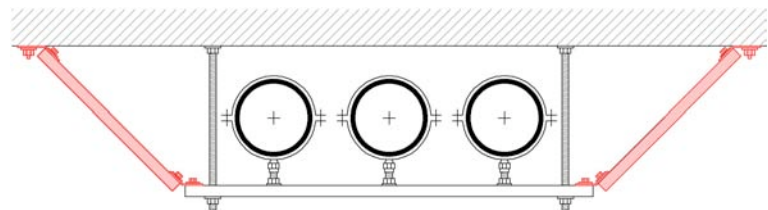
**Bild 5** Erdbebensicherung von abgehängten Decken nach [3]



**Bild 6** Erdbebensicherung von Doppelböden nach [3]



**Bild 7** Erdbebensicherung von Rohrleitungstrassen nach [3]



### 3.2 Einsatz geeigneter Dübel und Anker

Neben den Befestigungskonstruktionen werden bei einem Erdbeben auch die Dübel dynamisch beansprucht. Im Allgemeinen führen schwellenden oder wechselnden Belastungen bei Metallspreizdübeln zu einem Abfall der Vorspannkraft. Diese kann vollständig verloren gehen, wenn der Untergrund im Bereich des Bohrlochs reißt. Geeignete Dübel müssen bei einem Abfall der Vorspannung tragfähig bleiben. Zudem sollte die Verschiebung der Dübel bei einer Erdbebenbeanspruchung nicht zu gross sein. Um das Tragverhalten von Dübeln bei seismischen Belastungen zu überprüfen, werden üblicherweise Versuche durchgeführt. Die Versuchsdurchführung solcher seismischen Qualifikationstests ist normativ festgelegt (z.B. [6]).

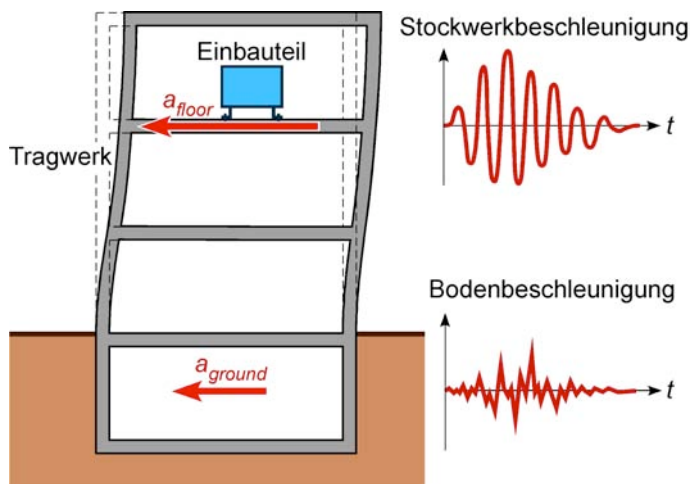
**Bild 8** Mit dynamischen Lasten und in gerissenem Beton durchgeführte Tests geben Aufschluss über die Eignung von Metalldübeln für erdbebensichere Befestigungen



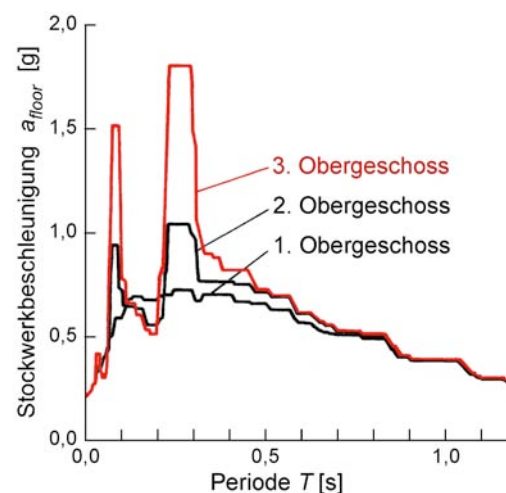
### 3.3 Bemessung auf Erdbebeneinwirkungen

#### *Etagenschwingung und Stockwerkbeschleunigung*

Für die Bemessung erdbebensicherer Befestigungen von Einbauten in Gebäuden ist nicht die Bewegung des Erdbodens, sondern diejenige des Gebäudetragwerks bzw. der Etagen massgebend. Die Etagenschwingung ist abhängig von der Gebäudestruktur, welche die Bodenschwingungen überträgt. Das Tragwerk wirkt dabei als Frequenzfilter, welches die Bodenschwingungen bei den Gebäudeeigenfrequenzen verstärkt. Aus der einen breiten Frequenzbereich umfassenden Bodenschwingung wird mit zunehmender Gebäudehöhe eine schmalbandige Etagenschwingung [7]. Durch die Verstärkung der Erdbebenbewegung im Bereich der Eigenfrequenzen des Gebäudes kann die maximale Stockwerkbeschleunigung mehr als das Doppelte der maximalen Bodenbeschleunigung betragen. Bild 10 zeigt die Stockwerkbeschleunigungen im 1., im 2. und im 3. Geschoss eines Gebäudes. Im Beispiel werden die Bodenbewegungen bei den Gebäudeeigenfrequenzen von 3,5 Hz ( $T \approx 0,3$  s) und 10 Hz ( $T \approx 0,1$  s) ausgeprägt verstärkt, was zu den hohen Stockwerkbeschleunigungen bei diesen Frequenzen führt.



**Bild 9** Etagenschwingung infolge Filterung und Verstärkung der Bodenschwingung [7]



**Bild 10** Beispiel eines Stockwerkantwortspektrums [8]

Die exakte Berechnung von Stockwerkantwortspektralen ist im Allgemeinen aufwändig und komplex, weil dazu eine dynamische Analyse des Gebäudetragwerks durchgeführt werden muss. In der Praxis ist es in vielen Fällen ausreichend, die Stockwerkbeschleunigungen mit einem vereinfachten Verfahren zu bestimmen. Dabei wird von einer linearen Zunahme der Beschleunigung mit der Gebäudehöhe bzw. der Geschosshöhe ausgegangen [8]. In dem von Hilti herausgegebenen Handbuch [3] wird ebenfalls eine lineare Zunahme der Beschleunigungsverstärkung mit einem Verstärkungsfaktor von  $A_n = 1,5$  im 4. Obergeschoss angegeben.

#### *Geräteschwingung und Einbauteilbeschleunigung*

Bei Einbauten, welche nicht starr befestigt sind, beispielsweise bei auf Schwingungsdämpfern montierten Geräten, kann die bei einem Erdbeben auf das Gerät wirkende Beschleunigung massgeblich über der Stockwerkbeschleunigung liegen. Auch hier ist in der Literatur [8] ein vereinfachtes Rechenverfahren angegeben, mit dem das "Aufschaukeln" der Erdbebenbewegung berücksichtigt wird. In [3] wird für elastisch montierte Einbauten mit einer Eigenfrequenz von weniger als 15 Hz ein Verstärkungsfaktor von  $A_{equip} = 2,0$  angegeben.

## Literatur

- [1] KATARISK - Katastrophen und Notlagen in der Schweiz - Eine Risikobeurteilung aus der Sicht des Bevölkerungsschutzes, Bundesamt für Bevölkerungsschutz, Bern, 2003
- [2] Bachmann, H. et al.: Handlungsbedarf von Behörden, Hochschulen, Industrie und Privaten zur Erdbebensicherung der Bauwerke in der Schweiz, SIA-Dokumentation D 0150, Zürich, 1998
- [3] Marxer, G., Kunz, J., Schoch, M., Schuler, D.: Earthquake Resistant Installations - Guideline for earthquake resistant design of installations and nonstructural elements, Hilti Corp., Schaan, December 2003  
Deutschsprachige Ausgabe: Richtlinien für die erdbebensichere Ausführung von nichttragenden Bauteilen und Installationen, Adobe Acrobat Datei in [www.hilti.ch](http://www.hilti.ch)
- [4] Hilti Corp.: Seismic Restraint System Manual for Bracing of Pipes and Conduit, Hilti Corp., Tulsa, First Edition 2001
- [5] Tauby, R. T. et al.: A Practical Guide to Seismic Restraint, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., Atlanta, 1999
- [6] ASTM E 488-96, Standard Test Methods for Strength of Anchors in Concrete and Masonry Elements
- [7] Schuler, D.: Befestigung gebäudetechnischer und industrieller Installationen, SIA-Dokumentation D 055, Zürich, 1990
- [8] Goldberg, A., Rukos, E. A.: Nonstructural Elements, in Rosenblueth E. (Ed.): Design of earthquake resistant structures, Pentech Press, London, 1980