

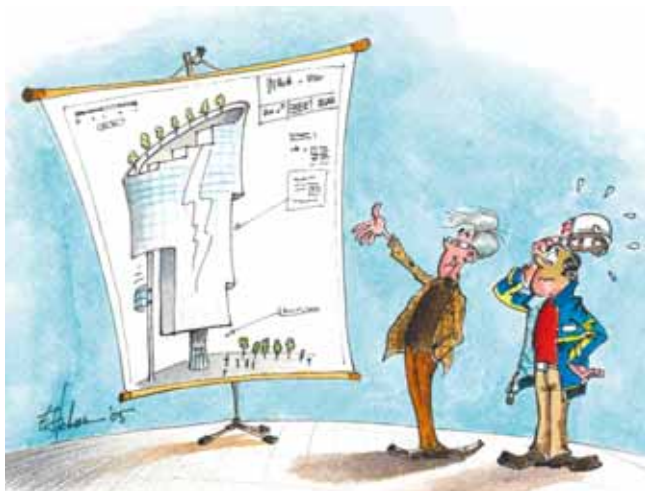
Erdbebensicheres Bauen in der Schweiz

Worauf es ankommt – und warum

Eine Kurzinformation für

- Architekten
- Bauherren
- Behörden
- interessierte Laien

mit Checklisten und wichtigen Grundsätzen



Architekt und Ingenieur: «Nein, so nicht!» (Zeichnung E. Rosales)

Erdbeben und Bauwerke in der Schweiz

Erdbebeningenieure und Seismologen warnen:
**Auch in der Schweiz sind grosse Erdbeben-
Katastrophen möglich!**

- In der Schweiz kann es fast ebenso starke Erdbeben geben wie in Kalifornien, Japan, Neuseeland, Türkei usw., sie sind aber seltener.
- Starke Erdbeben mit Einstürzen und grossen Schäden an den Bauwerken hat es auch hier immer wieder gegeben, zum Beispiel in Kaiseraugst (Augusta Raurica) 250 n.C., in Basel 1356, in Visp (VS) 1855.
- Die Bauwerke in der Schweiz sind sehr viel schlechter vorbereitet als in Kalifornien, Japan, Neuseeland usw.
- Moderne Erdbeben-Baunormen gibt es hier erst seit 1989, in Kalifornien, Japan, Neuseeland usw. hingegen schon seit vielen Jahrzehnten.
- Über 90 Prozent der Bauwerke in der Schweiz weisen eine unbekannte und oft ungenügende Erdbebensicherheit auf.
- Die Erdbebenbestimmungen der SIA-Normen werden oft ignoriert oder nicht vollumfänglich eingehalten.
- Zu den vielen vorhandenen bei Erdbeben gefährlichen Bauwerken kommen deshalb ständig neue gefährliche Bauwerke hinzu.
- Das Erdbebenrisiko in der Schweiz wird daher jeden Tag grösser.

Neue Bauwerke müssen unbedingt gemäss den SIA-Normen erdbebensicher geplant und gebaut werden.

Bestehende Bauwerke sollten bezüglich ihrer Erdbebensicherheit überprüft und wenn nötig ertüchtigt werden, am besten bei einer allgemeinen Sanierung oder einem Umbau.

Was kostet die Erdbebensicherheit?

Die Mehrkosten für erdbebensicheres Bauen hängen entscheidend ab von:

- Vorgehen von Architekt und Bauingenieur beim konzeptionellen Entwurf des Tragwerks und der nichttragenden Bauteile (Fassaden, Zwischenwände, Installationen usw.)
- Angewendeten Verfahren zur Berechnung, Bemessung und konstruktiven Gestaltung der Bauteile.

Einen Einfluss auf die Mehrkosten haben auch:

- Erdbebenzone (Bebenstärke),
- Baugrundklasse (lokale Bodenverhältnisse, z.B. Fels, Kies/Sand, «weicher» Boden),
- Bauwerksklasse (Bedeutung des Bauwerks),
- Bauweise und Baustoffe (Stahlbeton, Stahl, Mauerwerk, usw.).

Von entscheidender Bedeutung ist:

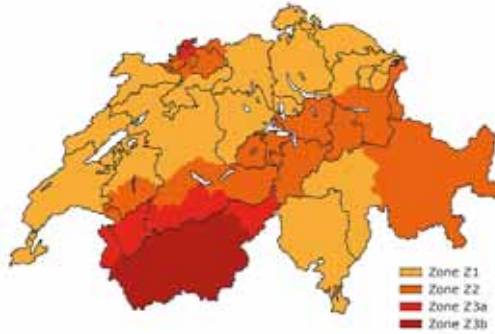
- Der Architekt und der Bauingenieur arbeiten von den ersten Skizzen an eng zusammen und realisieren moderne Grundsätze des erdbebengerechten konzeptionellen Entwurfs.
- Der Bauingenieur verwendet moderne Verfahren zur Berechnung, Bemessung und konstruktiven Gestaltung der Bauteile (Kapazitätsbemessung, verformungsorientierte Verfahren).

Unter diesen Voraussetzungen betragen die Mehrkosten für das erdbebensichere Bauen im Allgemeinen **zwischen 0 und 1 Prozent der Baukosten**.

Wird hingegen im Entwurfs- und Planungsprozess der Bauingenieur erst später beigezogen und verwendet ältere Verfahren, können die Mehrkosten 2 bis 3 Prozent der Baukosten betragen, und die Erdbebensicherheit kann trotzdem ungenügend sein.

Die Anwendung moderner Verfahren zur Berechnung, Bemessung und konstruktiven Gestaltung stellt hohe Anforderungen an die Ausbildung und Erfahrung des Bauingenieurs im erdbebensicheren Bauen. Der Mehraufwand des Ingenieurs wird durch Einsparungen bei den Baukosten meist mehr als kompensiert.

Erdbebenzonen, Baugrundklassen und Bauwerksklassen nach SIA 261



Zonenkarte nach der SIA-Norm 261 [2]

Grundlage ist stets ein Erdbeben mit einer statistischen Wiederkehrperiode von rund 500 Jahren. Die folgenden Multiplikations-Faktoren zeigen Einflüsse auf die Stärke des Bemessungsbebens:

Erdbebenzonen	Faktor
1 Starke Erdbeben selten	0.6
2 Starke Erdbeben weniger selten	1.0
3a Starke Erdbeben häufiger	1.3
3b Starke Erdbeben ziemlich häufig	1.6

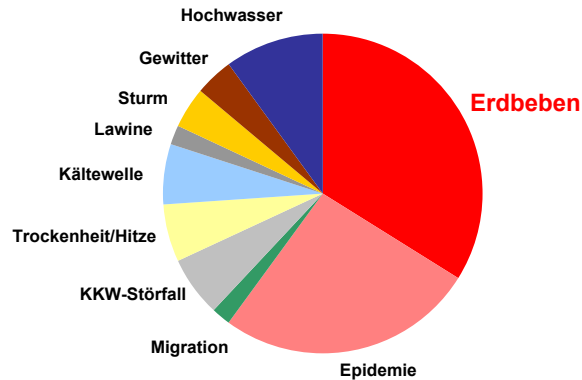
Baugrundklassen [3]	Faktor (bei 1 Hz)
A Fels	1.0
B Kies/Sand dicht gelagert oder zementiert	1.5
C Kies/Sand unzementiert und/oder Moräne	1.7
D Locker gelagerte «weiche» Böden	2.6
E Alluviale Oberflächenschichten	1.7

Bauwerksklassen	Faktor
I «Gewöhnliche» Bauten	1.0
II Mit grösseren Menschenansammlungen	1.2
III Mit lebenswichtiger Infrastrukturfunktion	1.4

Die Bauwerke müssen für die an ihrem Standort massgebende Gefährdung (Erdbebenzone, Baugrundklasse) und entsprechend ihrer Bedeutung (Bauwerksklasse) entworfen und durch den Bauingenieur berechnet, bemessen und konstruktiv gestaltet werden.

Was uns zu wenig bewusst ist

In der Schweiz ist das Erdbebenrisiko das bedeutendste Risiko aus Naturgefahren!



Anteile der verschiedenen Naturgefahren am gesamten Risiko (mit Aversion) aus Naturgefahren nach der Katarisk-Studie [4]

Das Risiko ist die Summe der erwarteten Schäden in einem Zeitraum von zum Beispiel 100 Jahren:

Risiko = Gefährdung x Verletzbarkeit x Wert

Die Gefährdung erfasst die Stärke und die Auftretenswahrscheinlichkeit von Ereignissen. Die Verletzbarkeit der Bauwerke ist abhängig von der Bauweise und den für die Erdbebensicherung getroffenen baulichen Massnahmen.



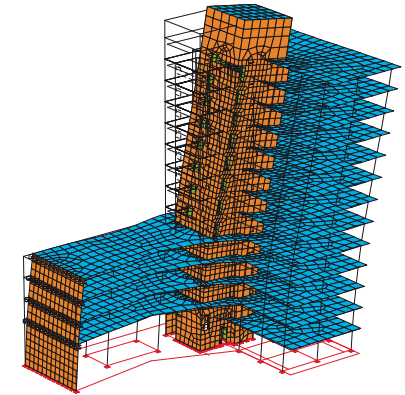
Gebäude mit «weichen» Obergeschossen (Ismit Türkei 1999, aus [5])

Was ist das Erdbebeningenieurwesen?

Das Erdbebeningenieurwesen ist die **Wissenschaft und Praxis vom erdbebensicheren Bauen**.

Es umfasst die folgenden hauptsächlich Bereiche:

- **Baudynamik** = Schwingungstheorie der Bau- und Tragwerke.



Computersimulation der Erdbebenschwingungen eines Gebäudes [8]

- **Materialverhalten** bei zyklischer Hin- und Herbewegung: Elastisches und elastisch-plastisches Verhalten der Bauteile mit Energiedissipation.
- **Bemessungsverfahren** für verschiedene Bauweisen: Festlegung von Form und Abmessungen auf der Grundlage der Festigkeiten und des Verformungsvermögens bei zyklischer Beanspruchung.
- **Konstruktive Gestaltung** des Tragwerks und der nichttragenden Bauteile wie Fassaden, Zwischenwände und Installationen im Hinblick auf das physikalische Verhalten unter Erdbeben sowie auf die Ausführbarkeit auf der Baustelle.

Das Erdbebeningenieurwesen ist ein sehr anspruchsvolles Teilgebiet des Bauingenieurwesens. Es erfordert eine qualifizierte Ausbildung des Ingenieurs.

Checkliste für Architekten

- Machen Sie den Bauherrn darauf aufmerksam, dass die Mehrkosten für erdbebensicheres Bauen minimal sind und die einfachste und wirksamste Lösung resultiert, wenn der Bauingenieur bereits bei Ihren ersten Skizzen beigezogen wird.
- Sorgen Sie dafür, dass in der Nutzungsvereinbarung gemäss SIA 260 [1] die Thematik Erdbeben ausdrücklich behandelt wird.
- Erarbeiten Sie zusammen mit dem Bauingenieur – unter Realisierung der Grundsätze für den erdbebengerechten konzeptionellen Entwurf – die technisch, betrieblich und ästhetisch optimale Lösung für die Erdbebensicherung des Tragwerks und der nichttragenden Bauteile (Fassaden, Zwischenwände, Installationen usw.).
- Erklären Sie – zusammen mit dem Bauingenieur – dem Bauherrn die für die Erdbebensicherung vorgesehenen baulichen Massnahmen.
- Geben Sie im Baugesuch mindestens die folgenden Eckdaten zur Erdbebensicherung an:
 - Erdbebenzone
 - Baugrundklasse
 - Bauwerksklasse
 - Tragwerk und Tragelemente für Erdbeben
 - Gewählte Duktilität (Verhaltensbeiwert q)
 - Geplante konstruktive Massnahmen bei den nichttragenden Bauteilen
- Während der Ausführungsplanung nehmen Sie davon Kenntnis und diskutieren Sie mit dem Bauingenieur die Konkretisierung der vorgesehenen baulichen Massnahmen zur Erdbebensicherung.
- Bei Planänderungen und insbesondere bei der Festlegung von Aussparungen im Tragwerk (Heizung, Lüftung, Klima) sorgen Sie dafür, dass diese immer mit dem Bauingenieur abgesprochen werden.
- Zu Beginn der Bauausführung stellen Sie sicher, dass die Bauleitung über die baulichen Massnahmen zur Erdbebensicherung orientiert ist, und – zusammen mit dem Bauingenieur – dass die erforderlichen Kontrollen durchgeführt werden.
- Sorgen Sie dafür, dass die baulichen Massnahmen zur Erdbebensicherung bei den zu archivierenden Bauakten angemessen dokumentiert sind.

Checkliste für Bauherren

- Legen Sie fest, dass der erdbebengerechte Entwurf und die Einhaltung der relevanten SIA-Normen zur Leistung von Architekt und Bauingenieur gehören.
- Überzeugen Sie sich, dass in der Nutzungsvereinbarung gemäss SIA 260 [1] die Thematik Erdbeben ausdrücklich behandelt wird.
- Sorgen Sie dafür, dass der Bauingenieur bereits zu den ersten Skizzen des Architekten beigezogen wird.
- Bevor die Pläne für das Baugesuch endgültig erstellt werden, lassen Sie sich die für die Erdbebensicherung vorgesehenen baulichen Massnahmen an einer gemeinsamen Sitzung durch den Bauingenieur und den Architekten erklären.
- Überzeugen Sie sich, dass im Baugesuch die wichtigsten Eckdaten zur Erdbebensicherung (siehe Checkliste für Architekten) angegeben sind.
- Während der Ausführungsplanung lassen Sie sich orientieren über die erdbebensichere Gestaltung des Tragwerks und der nichttragenden Bauteile (Fassaden, Zwischenwände, Installationen usw.) und verfolgen Sie deren Realisierung auf der Baustelle.



Gebäude mit unsymmetrischer Aussteifung (Kobe Japan 1995) [5]

Wichtige Grundsätze für den erdbebengerechten Entwurf von Hochbauten

Beim konzeptionellen Entwurf und der konstruktiven Gestaltung des Tragwerks und der nichttragenden Bauteile (Fassaden, Zwischenwände, Installationen usw.) werden entscheidende Weichen gestellt für die Erdbebensicherheit (Versagensverhalten) und die Erdbebenverletzbarkeit (Schadenanfälligkeit) eines Hochbaus.

«Erdbebenmässige» Fehler und Mängel des konzeptionellen Entwurfs können durch eine auch noch so ausgeklügelte Berechnung und Bemessung durch den Bauingenieur nicht kompensiert werden.

Mit einem erdbebengerechten Entwurf kann ein guter Erdbebenschutz ohne oder mit nur geringen Mehrkosten erreicht werden.

Eine ausführliche Fassung der folgenden Grundsätze mit zahlreichen Beispielen und Bildern ist in [5] enthalten.

«Weiche» Erdgeschosse vermeiden!

Gefährlich ist es, wenn z.B. alle in horizontaler Richtung aussteifenden Wände, die in den Obergeschossen vorhanden sind, im Erdgeschoss weggelassen werden, weil dort Eingangshallen, Verkaufsläden oder Parkgeschosse angeordnet werden. Im Erdgeschoss gibt es dann lediglich Stützen. Dadurch entsteht ein für horizontale Kräfte «weiches», also sehr nachgiebiges, Erdgeschoss. Wenn sich dann bei einem Erdbeben der Boden hin und her bewegt, können die Stützen die Schwingungen nicht auffangen, und sie knicken ein.

Unsymmetrische Aussteifungen vermeiden!

Wände oder andere Aussteifungen (z.B. Fachwerke), die im Grundriss unsymmetrisch zur Mitte angeordnet sind, bewirken eine Verdrehung des Bauwerks. In Bereichen ohne Wände können die Stützen einknicken, was meist zum Kollaps des Tragwerks führt.

Zwei schlanke Stahlbetonwände pro Hauptrichtung!

Die Aussteifung von Skelettbauten erfolgt am besten durch Stahlbetonwände. Diese können in horizontaler

Richtung relativ kurz sein – zum Beispiel 3 bis 6 m bzw. etwa 1/5 bis 1/3 der Gebäudehöhe –, sie müssen aber über die ganze Gebäudehöhe laufen. Meist genügen zwei Wände pro Hauptrichtung. Sie sollen im Grundriss möglichst gegen die Gebäuderänder (Fassaden) hin angeordnet werden.

Mischsysteme mit Stützen und tragenden Mauerwerkswänden vermeiden!

Mischsysteme verhalten sich bei Erdbeben sehr ungünstig. Die Erdbebenkräfte werden primär durch die relativ steifen Mauerwerkswände aufgenommen, wofür sie aber ungeeignet sind. Die Wände werden bald beschädigt und versagen auch für vertikale Lasten.

«Ausfachen» von Rahmen durch Mauerwerk vermeiden!

Rahmen (z.B. aus Stahlbetondecken und Stützen) mit eingefügtem Mauerwerk sind eine ungünstige Kombination von zwei sehr verschiedenen Bauweisen. Bei starken Stützen wird das Mauerwerk zerstört und die «Ausfachung» fällt aus. Dünnere Stützen werden durch das Mauerwerk abgeschert, was oft zum Einsturz führt.

Mauerwerksbauten durch Stahlbetonwände aussteifen!

Bei «reinen» Mauerwerksbauten ist auch in Zone Z1 meist kein Nachweis der Erdbebensicherheit möglich. Eine geeignete Massnahme ist die Aussteifung durch zwei schlanke Stahlbetonwände pro Hauptrichtung (ähnlich wie bei Skelettbauten).



Wohnblock als Mauerwerksbau, ausgesteift mit Stahlbetonwänden [5]

Tragwerk und nichttragende Bauteile aufeinander abstimmen!

Um Schäden bereits bei schwachen Erdbeben zu vermeiden, müssen die horizontale Steifigkeit des Tragwerks und die Verformungsempfindlichkeit der nichttragenden Zwischenwände und Fassadenbauteile aufeinander abgestimmt werden.

Duktilen Bewehrungsstahl verwenden!

Damit sich in Stahlbetontragwerken genügend grosse plastische Bereiche als verformungsfähige «Knautsch-zonen» entwickeln können, muss duktiler Bewehrungsstahl (entsprechend B450C nach SIA 262) verwendet werden.

Keine Aussparungen und Öffnungen in plastischen Bereichen!

Plastische Bereiche – z.B. im Erdgeschoss von Stahlbetonwänden in Skelettbauten – müssen sehr verformungsfähig sein. Dazu ist ein kontinuierlicher Kräftefluss und eine stetige Dehnungsverteilung erforderlich. Deshalb dürfen dort keine Aussparungen und Öffnungen für Installationen, Klimakanäle usw. vorhanden sein.

Fassadenbauteile auch für horizontale Kräfte verankern!

Fassadenbauteile dürfen nicht einfach nur auf Konsolen oder andere Unterlagen gestellt und leicht fixiert werden, sondern sie müssen rund herum auch für horizontale Kräfte auf solide Weise verankert werden.

Unterdecken und Beleuchtungskörper gut befestigen!

Herabfallende Unterdecken, Beleuchtungskörper, usw. können Personen erheblich gefährden. Die Befestigungen müssen deshalb nicht nur das Eigengewicht, sondern auch zusätzliche vertikale und horizontale Kräfte und entsprechende Vibrationen ertragen können.

Installationen und Einrichtungen sichern!

Bei Bauten, die nach einem Erdbeben funktionstüchtig bleiben sollen (vor allem Bauwerksklasse III), müssen Rohrleitungen, Sprinkleranlagen, Laborgeräte, Behälter, Schränke, Lagergestelle usw. und gegebenenfalls auch Produktionseinrichtungen durch Befestigungen, Aussteifungen usw. wirksam gesichert werden.

Literatur und Referenzen

- [1] «Grundlagen der Projektierung von Tragwerken». Norm SIA 260, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich 2003
- [2] «Einwirkungen auf Tragwerke». Norm SIA 261, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich 2003
- [3] «Karte der Baugrundklassen» in «Verfahren zur Erstellung von Mikrozonierungsstudien in der Schweiz». Richtlinien des BWG, Bern 2004
- [4] «Katarisk – Katastrophen und Notlagen in der Schweiz». Bundesamt für Bevölkerungsschutz, Bern 2003
- [5] Bachmann H.: «Erdbebengerechter Entwurf von Hochbauten – Grundsätze für Ingenieure, Architekten, Bauherren und Behörden». Richtlinien des BWG, Bern 2002
- [6] Weidmann M.: «Erdbeben in der Schweiz». Desertina Verlag, Chur 2002
- [7] Bachmann H.: «Erdbebensicherung von Bauwerken». 2. Auflage, Birkhäuser Verlag Basel Boston Berlin 2002
- [8] Lüchinger P., Meyer D.: «Dynamische Berechnungen SIA-Haus». Zürich 2005

Kontakte

- Koordinationsstelle des Bundes für Erdbebenvorsorge, Bundesamt für Umwelt (BAFU). Sämtliche Richtlinien des BAFU können heruntergeladen werden unter www.umwelt-schweiz.ch/erdbeben
- Schweizer Gesellschaft für Erdbebeningenieurwesen und Baudynamik SGEB, www.sgeb.ch
- Institut für Baustatik und Konstruktion IBK, ETH Zürich, Fachbereich Erdbebeningenieurwesen und Baudynamik, www.ibk.ethz.ch
- Schweizerischer Erdbebendienst SED, Institut für Geophysik, ETH Zürich, www.seismo.ethz.ch

Impressum

Konzept und Text: Prof. Hugo Bachmann

Herausgeber: Stiftung für Baudynamik und Erdbebeningenieurwesen (www.baudyn.ch) und Bundesamt für Umwelt (BAFU).
Das BAFU ist ein Amt des Eidg. Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK).

Bezug: BAFU, Dokumentation, CH-3003 Bern; Fax 031 324 02 16, docu@bafu.admin.ch, <http://www.umwelt-schweiz.ch/publikationen>

2. Auflage, Bern 2006. Bestellnummern: DIV-7523-D / DIV-7523-F

© BAFU 2006