

Büro für Bauökonom!e

Anhang 8



Gemeinde Kriens
Alterszentrum Grossfeld

Broschüren Erdbebensicherheit



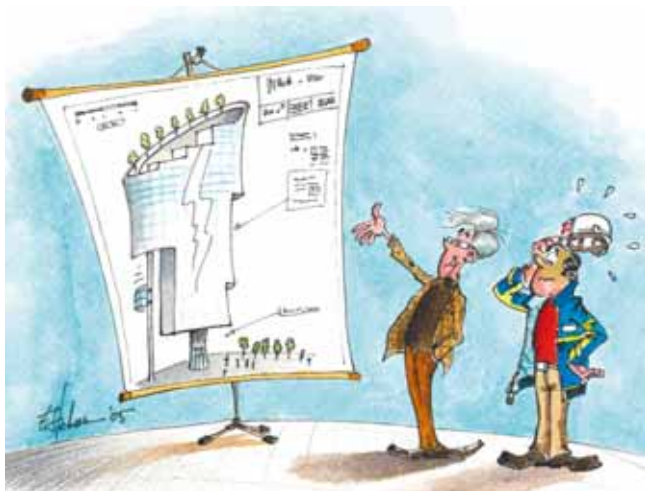
Erdbebensicheres Bauen in der Schweiz

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:

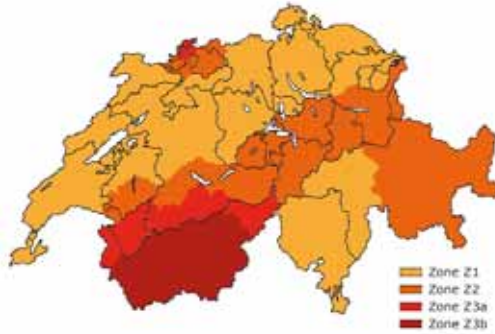
- Der Architekt und der Bauingenieur arbeiten von den ersten Skizzen an eng zusammen und realisieren moderne Grundsätze des erdbebengerechten konzeptionellen Entwurfs.
- Der Bauingenieur verwendet moderne Verfahren zur Berechnung, Bemessung und konstruktiven Gestaltung der Bauteile (Kapazitätsbemessung,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

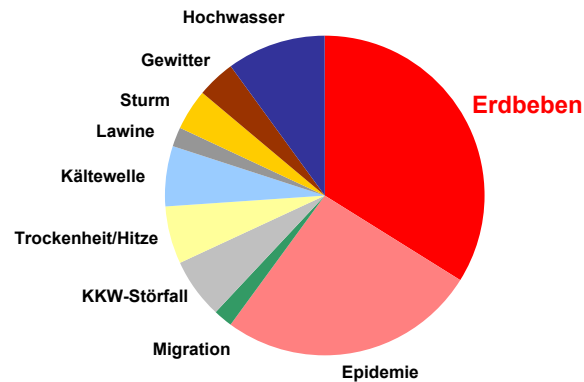
Baugrundklassen [3]	Faktor (bei 1 Hz)
A Fels	1.0
B Kies/Sand dicht gelagert oder zementiert	1.5
C Kies/Sand unzementiert und/oder Moräne	1.7
D Locker gelagerte «weiche» Böden	2.6
E Alluviale Oberflächenschichten	1.7

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.



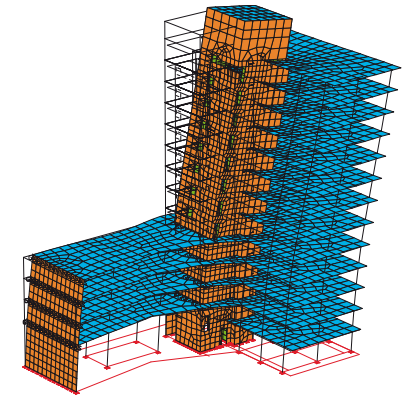
Gebäude mit «weichen» Obergeschossen (Ismit Türkei 1999, aus [5])

Was ist das Erdbebeningenieurwesen?

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

Es umfasst die folgenden hauptsächlichen 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 abgesichert, 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». Deserti-na 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

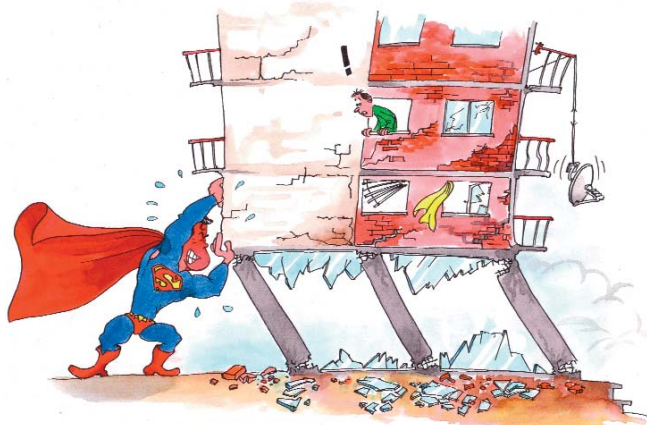
Ist unser Haus erdbebensicher?

Wann eine Überprüfung und allfällige Ertüchtigung zu empfehlen ist – und warum

Eine Kurzinformation für

- Hauseigentümer
- Architekten
- Ingenieure
- Behörden

mit Checkliste und rechtlichen Hinweisen



Verlassen wir uns nicht auf Superman!

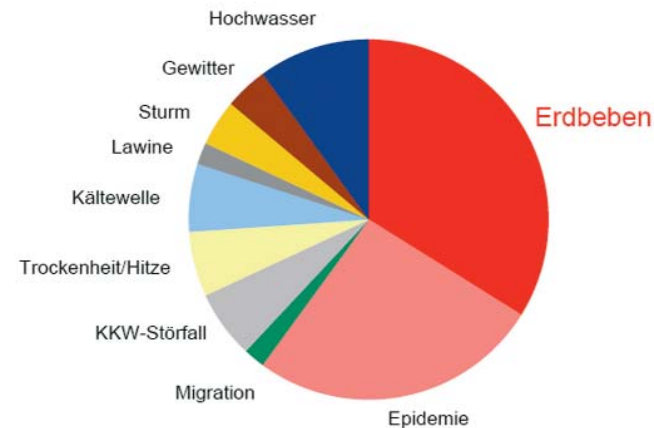
(Zeichnung E. Rosales)

Viele gefährliche Bauwerke

Über 90 Prozent der Bauwerke in der Schweiz weisen eine unbekannte und oft ungenügende Erdbebensicherheit auf.

- Die fachgerechte Anwendung der aktuellen Erdbebenbestimmungen der SIA-Tragwerksnormen [1] durch Architekten und Bauingenieure bewirkt, dass auch bei einem sehr starken Erdbeben kein Einsturz erfolgen sollte und die Schäden erheblich vermindert werden.
- Bei Neubauten sind die Mehrkosten für erdbebensicheres Bauen unbedeutend, sie betragen im Allgemeinen zwischen 0 und 1 Prozent der Baukosten [7].
- Trotzdem wurden und werden die Erdbebenbestimmungen der SIA-Normen oft ignoriert oder nicht vollumfänglich eingehalten. Ausser im Kanton Wallis und teilweise im Kanton Baselstadt gibt es keine wirksamen Kontrollen durch die Behörden.
- Zahlreiche Gebäude haben eine erheblich ungenügende Erdbebensicherheit, gemessen an den heutigen Anforderungen für Neubauten. Dadurch sind bei starken Erdbeben viele Personen an Leib und Leben gefährdet.

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]

Was zu empfehlen ist

Besonders wichtige Bauwerke sollten raschmöglichst überprüft und wenn nötig ertüchtigt werden.

Alle anderen Bauwerke sollten bei einem Umbau oder einer allgemeinen Sanierung überprüft und wenn nötig ertüchtigt werden.

Welche Bauten sind vor allem zu überprüfen?

Gebäude mit hoher Bedeutung für die Katastrophenbewältigung, z. B.

- Feuerwehrgebäude und Ambulanzzentralen
- Akutspitäler
- Kommandozentralen der Polizei
- Verwaltungsgebäude

Bauten mit grösseren Menschenansammlungen, z. B.

- Schulen
- Einkaufszentren
- Kinos und Theater

Bauten mit Gefahren für die Umwelt, z. B.

- Chemieanlagen mit grossem Gefahrenpotential
- Tankanlagen mit toxischen oder explosiven Stoffen

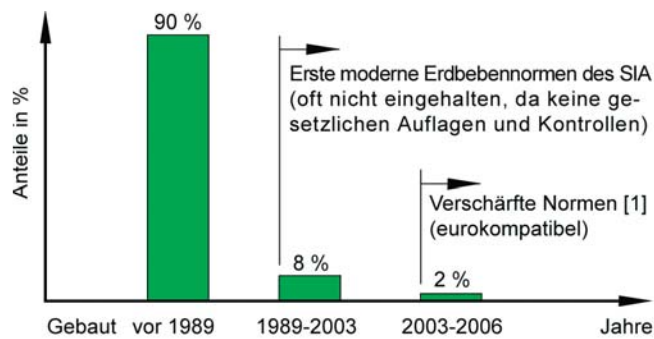
Gebäude mit verlustreichen Betriebsausfällen, z. B.

- Fabrikations- und Industrieanlagen
- Lagerhäuser
- Banken und Versicherungen

Wohn-, Büro- und Gewerbebauten mit tendenziell gefährlicher Konstruktionsweise, z. B.

- Gebäude mit offenem «weichem» Erdgeschoss
- Gebäude mit unsymmetrischer Aussteifung
- Mauerwerksbauten ohne aussteifende Stahlbetonwände

Jedes Gebäude ist ein Einzelfall und erfordert eine situationsgerechte Untersuchung.



Baujahre der Gebäude und Erlass von Erdbebennormen des SIA

Wer soll eine Überprüfung durchführen?

Die Überprüfung der Erdbebensicherheit eines bestehenden Gebäudes ist eine in theoretischer und konstruktiver Hinsicht noch **anspruchsvollere Aufgabe als die Erdbebensicherung von Neubauten**, die am besten durch einen **spezialisierten Erdbebeningenieur** gelöst werden kann. Ein solcher kennt auch neue Ertüchtigungstechniken und -materialien sowie moderne Verfahren zur Berechnung, Bemessung und konstruktiven Gestaltung, die zu minimalen Kosten führen.

Was kostet eine Erdbebenertüchtigung?

Die Kosten können gering bis sehr erheblich sein und **zwischen etwa 1 und 20 Prozent des Gebäudewertes** betragen [8]. Der Aufwand zur Überprüfung sowie für Planung und Ausführung von baulichen Massnahmen hängt von zahlreichen Einflüssen ab:

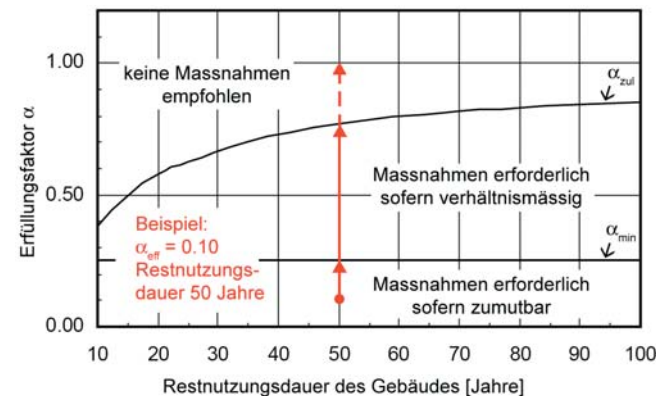
- Vorhandenes Tragwerk vor allem für horizontale Einwirkungen (Kräfte und Verschiebungen)
- Möglichkeiten für bauliche Eingriffe unter Berücksichtigung der weiteren Nutzung
- Bauweise und Baustoffe (Stahlbeton, Mauerwerk usw.)
- Bauwerksklasse, Baugrundklasse, Erdbebenzone
- Mögliche Synergien mit Umbau-/Sanierungsarbeiten

Für eine Kostenschätzung muss das Tragwerk identifiziert und untersucht werden. Weitere Gegebenheiten sind mit einzubeziehen.

Wie sicher ist sicher genug? Wie teuer ist nicht zu teuer?

Die Kriterien der **Verhältnismässigkeit** und der **Zumutbarkeit** gemäss SIA 2018 [2] bilden eine klare, kostenorientierte Entscheidungsgrundlage für Hauseigentümer. Sie sind risikobasiert und nach anerkannten wissenschaftlichen Methoden festgelegt worden.

- Der Erfüllungsfaktor α beschreibt, in welchem Mass das Tragwerk eines Gebäudes die rechnerischen Anforderungen an Neubauten bezüglich Erdbebensicherheit gemäss den geltenden Normen SIA 260 bis 267 [1] erfüllt.
- Der «effektive» Erfüllungsfaktor α_{eff} bei einem bestehenden Gebäude von beispielsweise 0.10 bedeutet, dass der rechnerische Erdbebenwiderstand 10% des Soll-Widerstandes eines analogen Neubaus am gleichen Standort beträgt (s. Beispiel in Figur unten).
- Der «minimal erforderliche» Erfüllungsfaktor α_{min} beträgt 0.25 für Bauwerksklassen I, II und 0.40 für III.
- Ist α_{eff} kleiner als α_{min} , ist das individuelle Personenrisiko inakzeptabel und eine Ertüchtigung durchzuführen, sofern deren Kosten «zumutbar» sind. Dies ist meistens der Fall.
- Der «zulässige» Erfüllungsfaktor α_{zul} variiert zwischen 0.25 und 1, abhängig von der Restnutzungsdauer.
- Ist α_{eff} grösser als α_{min} und kleiner als α_{zul} , ist eine Ertüchtigung durchzuführen, sofern deren Kosten «verhältnismässig», d.h. relativ bescheiden sind, was meistens nicht der Fall ist.



Erfüllungsfaktor & Restnutzungsdauer nach SIA 2018 [2] für BWK I,II

Beispiele für Ertüchtigungen

Wohngebäude aus Mauerwerk

Sechs Wohngebäude in Fribourg mit Mietwohnungen aus den 70er Jahren hatten ein offenes, horizontal «weiches» Erdgeschoss und darüber 7 Stockwerke mit tragenden Wänden aus Mauerwerk. Zur Ertüchtigung wurden aussen an den Fassaden vier schlanke Stahlbetonwände fundiert und hochgezogen und in den Decken verankert. Das hatte den Vorteil, dass die Bewohner während den Arbeiten die Wohnungen nicht räumen mussten. Die Ertüchtigung wurde anlässlich einer allgemeinen Sanierung durchgeführt. Die «erdbebenbedingten» Kosten betrugen 7 Prozent des Gebäudewertes.



Wohngebäude aus Mauerwerk in Fribourg mit vier aussen an den Fassaden hochgezogenen, schlanken Stahlbetonwänden

Hörsaalgebäude

Das Hörsaalgebäude der ETH Zürich auf dem Höggerberg war nur hinten mit Stahlbetonwänden exzentrisch ausgesteift und wies vorne ein horizontal «weiches» Erdgeschoss auf. Bei einem starken Erdbeben hätte sich der obere Teil des Gebäudes im Grundriss verdreht und die Stützen wären eingeknickt. Zur Ertüchtigung wurden auf drei Seiten ausserhalb der Fassade Stahlstützen in Form eines schräggestellten Fachwerkes angeordnet. Dafür konnten die bestehenden Fundamente ohne wesentliche Verstärkungen benützt werden. Mit dieser Massnahme wurde gleichzeitig auch die erforderliche Sanierung der Auskragungen für Schwerelasten vollzogen. Die Schrägstellung und die sorgfältige Gestaltung der Fachwerke führten zu einer auch ästhetisch befriedigenden Lösung.



Hörsaalgebäude der ETH Zürich mit aussen angebrachten Fachwerk-Stahlstützen

Elektrizitäts-Unterwerk

Das Unterwerk mit Transformatorstation Wasgenring in Basel der Bauwerksklasse III wies ein horizontal «weiches» Stockwerk und somit eine erheblich ungenügende Erdbebensicherheit auf (Erfüllungsfaktor $\alpha_{\text{eff}} = 0.30 < \alpha_{\text{min}} = 0.40$ für BWK III). Zur Ertüchtigung wurden unter anderem ein Stahlfachwerk in A-Form und drei Stahlbetonwände eingezogen. Diese «erdbebenbedingten» neuen Tragelemente wurden gelb angemalt, sodass sie sich vom ursprünglichen Gebäude bewusst abheben und ästhetisch klare Effekte erzeugen (siehe Bild auf der Rückseite).

Checkliste für Hauseigentümer

- Beauftragen Sie einen ausgewiesenen Erdbebeningenieur mit der Überprüfung Ihres Gebäudes.
- Stellen Sie ihm alle vorhandenen Pläne zur Verfügung (ohne Pläne sind aufwändige Sondierungen zur Identifizierung des Tragwerks erforderlich).
- Veranlassen Sie auf Vorschlag des Ingenieurs wenn nötig material- und baugrundspezifische Untersuchungen (Festigkeiten, Verformbarkeit, usw.).
- Lassen Sie sich die Vorgehensweise und die Resultate der Überprüfung (effektiver Erfüllungsfaktor usw.) durch den Ingenieur erklären.
- Wird eine Ertüchtigung geplant, erarbeitet der Erdbebeningenieur ein entsprechendes Konzept, das in enger Zusammenarbeit mit Ihnen auf die betrieblichen Bedingungen abzustimmen ist.
- Wird eine Ertüchtigung beschlossen, so überzeugen Sie sich, dass im Baugesuch die wichtigsten Eckdaten zur Erdbebensicherung angegeben sind:
 - Erdbebenzone, Baugrundklasse, Bauwerksklasse
 - Tragwerk und neue Tragelemente für Erdbeben
 - Erfüllungsfaktor vor und nach der Ertüchtigung
 - Geplante konstruktive Massnahmen bei den nichttragenden Bauteilen (Fassaden, Zwischenwände, usw.)
- Während der Ausführungsplanung nehmen Sie davon Kenntnis und besprechen Sie mit dem Ingenieur die Konkretisierung der vorgesehenen baulichen Massnahmen zur Erdbebensicherung.
- Sorgen Sie dafür, dass die Massnahmen bei den zu archivierenden Bauakten gut dokumentiert sind.



Gebäude mit «weichem» Erdgeschoss (Izmit Türkei 1999)

Rechtliche Folgen einer ungenügenden Erdbebensicherheit

Die ungenügende Erdbebensicherheit eines Gebäudes kann erhebliche **privatrechtliche und strafrechtliche Folgen** haben [5].

- **Allgemeine Sorgfaltspflicht:** Aufgrund der allgemeinen Sorgfaltspflicht sind Architekt, Bauingenieur und Unternehmer als Ersteller eines Werkes verpflichtet, die anerkannten Regeln der Baukunde einzuhalten.
- **Verbindlichkeit der SIA-Normen:** Der Verbindlichkeitsgrad der SIA-Normen ist umstritten [5,6]. Es muss aber damit gerechnet werden, dass im Streitfall ein Gericht die Bestimmungen der SIA-Normen zur Erdbebensicherheit [1,2] als anerkannte Regeln der Baukunde betrachten wird, und zwar auch dann, wenn die Normen nicht ausdrücklich zum Bestandteil von Verträgen erhoben oder gar wegbedungen wurden.
- **Erstellerhaftung:** Architekt, Bauingenieur und Unternehmer können sich daher haftbar machen, wenn sie bei Planung und Ausführung die Erdbebenbestimmungen der SIA-Normen nicht vollumfänglich einhalten.
- **Werkeigentümerhaftung:** Eine ungenügende Erdbebensicherheit kann als fehlerhafte Anlage (neueres Gebäude) oder als mangelhafte Unterhaltung (älteres Gebäude) erachtet werden und eine entsprechende Werkeigentümerhaftung gemäss Art. 58 OR auslösen.
- **Anlass einer Überprüfung:** Gemäss einschlägigen SIA-Normen [3] muss insbesondere bei Umbau oder Änderung der Nutzung eines bestehenden Gebäudes die Erdbebensicherheit überprüft und wenn nötig verbessert werden.

Minderwert

Die ungenügende Erdbebensicherheit vor allem eines neueren oder eines umgebauten bzw. umgenutzten Gebäudes kann zum Beispiel bei einem Verkauf einen erheblichen Minderwert infolge Mängelhaftung gemäss Art. 199 OR bewirken (etwa die Kosten einer nachträglichen Erdbebenertüchtigung, im Allgemeinen zwischen 1 und 20 Prozent des Gebäudewertes).

- **Übernahme des Risikos.** Weigert sich der Hauseigentümer, eine Erdbebenertüchtigung durchzuführen, sollte er schriftlich bestätigen, dass er vom Ingenieur ausreichend informiert worden ist und Bedeutung und Tragweite seines Entschlusses (mögliche privat- und strafrechtliche Folgen) verstanden hat.
- **Rückgabe des Auftrages.** Kommt eine solche Erklärung nicht zustande, sollten Architekt, Bauingenieur und Unternehmer den Auftrag zurückgeben. Sonst sind Verstösse gegen die Regeln der Baukunde und zudem Regressansprüche des Hauseigentümers nicht ausgeschlossen. Zumindest sollten sie schriftlich abmahnen.

Abmahnung

Eine Abmahnung verhindert nicht in jedem Fall privatrechtliche und strafrechtliche Folgen für die Ersteller des Werkes, kann sie aber mindern.

Mögliche Rechtsfälle

Bei möglichen künftigen Rechtsfällen können folgende Verläufe erwartet werden:

- 1) Bei einem Neubau werden die Erdbebenbestimmungen der gültigen SIA-Normen [1] durch den Bauingenieur (Tragwerksplaner) ganz oder teilweise ignoriert, ohne dass der Bauherr dies weiss und gebilligt hat. Zwei Jahre später stellt ein unabhängiger Experte eine ungenügende Erdbbensicherheit fest. Der Bauingenieur muss dem Bauherrn die Mehrkosten der nachträglichen baulichen Erdbbensicherung plus Folgekosten wie zum Beispiel für die Ausquartierung der Mieter für die Dauer der Bauarbeiten, Expertisenkosten usw. vergüten.
- 2) Anlässlich eines Umbaus weigert sich der Hauseigentümer, eine Erdbebenertüchtigung durchzuführen. Der Bauingenieur schickt ihm eine schriftliche Abmahnung. Nach einem späteren Verkauf fordert der über den Mangel ursprünglich nicht orientierte Käufer die Rückerstattung des Minderwertes von der Höhe der Mehrkosten einer nachträglichen Erdbebenertüchtigung, was durch ein Gerichtsurteil sanktioniert wird. Der Verkäufer nimmt Regress auf Architekt, Bauingenieur und Unternehmer. Im Falle des Bauingenieurs wird der Regress gemildert, da er beweiskräftig abgemahnt hat.

3) Ein Kanton will seine Polizei-Kommandozentrale zur Katastrophenbewältigung in ein Gebäude einbauen, dessen Erdbebenwiderstand nur rund 10 % des Sollwertes gemäss gültiger SIA-Norm [1] beträgt. Obwohl die Kriterien der Verhältnismässigkeit und Zumutbarkeit gemäss SIA 2018 [2] für dieses Gebäude der Bauwerksklasse III klar erfüllt sind, weigert sich der Kanton, eine Erdbebenertüchtigung durchzuführen. Der für den Umbau beauftragte Bauingenieur hatte zwar eine Erdbebenverstärkung geplant, gibt nun aber den Auftrag nicht zurück und schreibt auch keinen Abmahnungsbrief. Am Tragwerk werden verschiedene, durch den Ingenieur geplante Eingriffe im Zusammenhang mit der Abtragung von Schwerelasten durchgeführt. Nach ein paar Jahren ereignet sich ein Erdbeben, wobei das Gebäude teilweise einstürzt und einige Personen getötet oder verletzt werden. Im nachfolgenden Strafprozess werden der zuständige Regierungsrat (Departementsvorsteher), der Kantonsarchitekt (Chefbeamter), der Bauingenieur und der mit dem Umbau betraute Architekt zu Gefängnisstrafen bzw. Bussen verurteilt und nachfolgend – ebenso der Kanton als juristische Person – von den Familien der Opfer mit privatrechtlichen Forderungen belangt.



Elektrizitäts-Unterwerk mit «erdbebenbedingten», gelb angemalten neuen Tragelementen (siehe Text «Elektrizitäts-Unterwerk»)

Literatur und Referenzen

- [1] «Tragwerksnormen» SIA 260 bis 267. Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich 2003
- [2] «Überprüfung bestehender Gebäude bezüglich Erdbeben» SIA 2018. Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich 2003
- [3] «Erhaltung von Bauwerken» SIA 469, «Beurteilung der Tragfähigkeit bestehender Bauwerke» SIA 462, «Erhaltung von Betontragwerken» SIA 162/5. Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich 1994/97
- [4] «Katarisk – Katastrophen und Notlagen in der Schweiz». Bundesamt für Bevölkerungsschutz, Bern 2003
- [5] Schumacher R.: «Zur rechtlichen Verantwortung für die Erdbbensicherung von Bauwerken». In Dokumentation D 0162, Schweizer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich 2000
- [6] «Erdbebenvorsorge – Massnahmen des Bundes». Detailbericht BWG/BAFU, Januar 2005
- [7] Bachmann H.: «Erdbebensicheres Bauen in der Schweiz – worauf es ankommt und warum». Faltblatt, 2. Auflage, Stiftung für Baudynamik und Erdbbeningenieurwesen und Bundesamt für Umwelt (BAFU), Bern 2006
- [8] Wenk T.: «Erdbebenertüchtigung von Bauwerken – Strategie und Beispielsammlung aus der Schweiz». Umwelt-Wissen, BAFU, Bern 2007 (in Vorbereitung)

Kontakte

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

Impressum

Konzept und Text: Prof. Hugo Bachmann

Bilder: Eric Lateltin, Pierino Lestuzzi, Thomas Wenk

Herausgeber: Stiftung für Baudynamik und Erdbbeningenieurwesen (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, www.umwelt-schweiz.ch/div-7527-d

Bestellnummer: DIV-7527-D (französische Version DIV-7527-F)

© Bern, BAFU 2007, 1. Auflage