

## 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

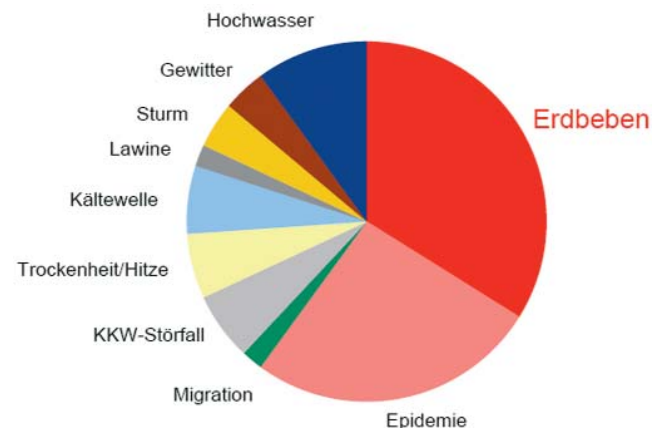


## Viele gefährliche Bauwerke

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

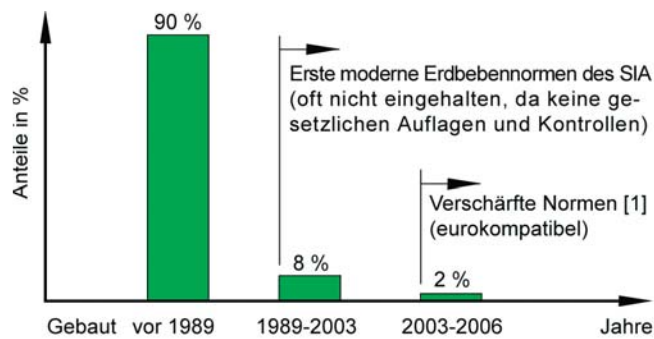
Gebäude mit verlustreichen Betriebsausfällen, z. B.

- 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:

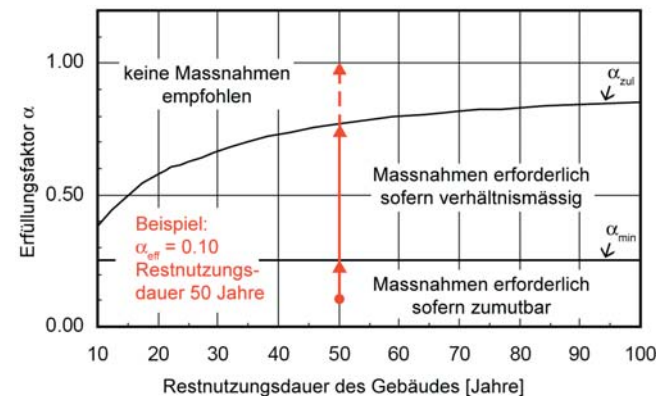
- Vorhandenes Tragwerk vor allem für horizontale Einwirkungen (Kräfte und Verschiebungen)
- Möglichkeiten für bauliche Eingriffe unter Berücksichtigung der weiteren Nutzung
- Bauweise und Baustoffe (Stahlbeton, Mauerwerk usw.)
- Bauwerksklasse, Baugrundklasse, Erdbebenzone
- Mögliche Synergien mit Umbau-/Sanierungsarbeiten

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  $\alpha$  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  $\alpha_{\text{eff}}$  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  $\alpha_{\text{min}}$  beträgt 0.25 für Bauwerksklassen I, II und 0.40 für III.
- Ist  $\alpha_{\text{eff}}$  kleiner als  $\alpha_{\text{min}}$ , ist das individuelle Personenrisiko inakzeptabel und eine Ertüchtigung durchzuführen, sofern deren Kosten «zumutbar» sind. Dies ist meistens der Fall.
- Der «zulässige» Erfüllungsfaktor  $\alpha_{\text{zul}}$  variiert zwischen 0.25 und 1, abhängig von der Restnutzungsdauer.
- Ist  $\alpha_{\text{eff}}$  grösser als  $\alpha_{\text{min}}$  und kleiner als  $\alpha_{\text{zul}}$ , 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 betragen 7 Prozent des Gebäudewertes.



Wohngebäude aus Mauerwerk in Fribourg mit vier aussen an den Fassaden hochgezogenen, schlanke 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 Erdbebensicherheit fest. Der Bauingenieur muss dem Bauherrn die Mehrkosten der nachträglichen baulichen Erdbebensicherung 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 Erdbebensicherung 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 Erdbebeningenieurwesen 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](http://www.umwelt-schweiz.ch/erdbeben) > publikationen
- Schweizer Gesellschaft für Erdbebeningenieurwesen und Baudynamik SGEB, [www.sgeb.ch](http://www.sgeb.ch)
- Institut für Baustatik und Konstruktion IBK, ETH Zürich, Fachbereich Erdbebeningenieurwesen und Baudynamik, [www.ibk.ethz.ch](http://www.ibk.ethz.ch)
- Schweizerischer Erdbebendienst SED, Institut für Geophysik, ETH Zürich, [www.seismo.ethz.ch](http://www.seismo.ethz.ch)

### Impressum

Konzept und Text: Prof. Hugo Bachmann

Bilder: Eric Lateltin, Pierino Lestuzzi, Thomas Wenk

Herausgeber: Stiftung für Baudynamik und Erdbebeningenieurwesen ([www.baudyn.ch](http://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](mailto:docu@bafu.admin.ch), [www.umwelt-schweiz.ch/div-7527-d](http://www.umwelt-schweiz.ch/div-7527-d)

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

© Bern, BAFU 2007, 1. Auflage