

Ist unser Gebäude genügend erdbebensicher?

Wann eine Überprüfung und eine
Verbesserung sinnvoll sind – und warum



Stiftung für Baudynamik und Erdbebeningenieurwesen
Fondation pour la Dynamique des Structures et le Génie Parasismique
Fondazione per la Dinamica Strutturale e l'Ingegneria Sismica



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Bundesamt für Umwelt BAFU

Grundlagen und weiterführende Literatur

- 1 Tragwerksnormen SIA 260 bis 267. Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich
- 2 Erhaltung von Tragwerken – Erdbeben. Norm SIA 269/8, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich 2017, ersetzt [3]
- 3 Überprüfung bestehender Gebäude bezüglich Erdbeben. Merkblatt SIA 2018. Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich 2004
- 4 Erdbebenertüchtigung von Bauwerken – Strategie und Beispielsammlung aus der Schweiz. Umwelt-Wissen Nr. 0832, BAFU, Bern 2008
- 5 Erdbebenrisiko grosser Gebäudebestände – Stufenweises Verfahren zur Identifizierung von kritischen Gebäuden. Umwelt-Wissen Nr. 2014, BAFU, Bern, 2020
- 6 Bachmann H., Duvernay B.: Erdbebenerechte Neubauten in der Schweiz. Faltblatt, Bundesamt für Umwelt BAFU und Stiftung für Baudynamik und Erdbebeningenieurwesen, UI-1064-D, Bern 2021
- 7 Bachmann H.: Erdbebensicherheit von Gebäuden – Rechts- und Haftungsfragen. Faltblatt, Stiftung für Baudynamik und Erdbebeningenieurwesen, Schweizer Gesellschaft für Erdbebeningenieurwesen und Baudynamik SGEB, Institut für Schweizerisches und Internationales Baurecht, Universität Freiburg, 2021

Weitere Informationen

- Bundesamt für Umwelt (BAFU): www.bafu.admin.ch/erdbeben
- Stiftung für Baudynamik und Erdbebeningenieurwesen: www.baudyn.ch
- Schweizer Gesellschaft für Erdbebeningenieurwesen und Baudynamik (SGEB): www.sgeb.ch

Herausgeber

Bundesamt für Umwelt (BAFU)
und Stiftung für Baudynamik
und Erdbebeningenieurwesen.

Konzept und Text

Prof. Hugo Bachmann, Friederike
Braune und Blaise Duvernay (BAFU)
Der Einfachheit halber wird im Text
nur die männliche Bezeichnung der
Beteiligten verwendet. Es sind jedoch
immer beide Geschlechter gemeint.

Titelbild

Verbesserung der Erdbebensicherheit
beim Collège de l'Europe in Monthey
VS, eine gelungene Zusammenarbeit
von Architekt und Bauingenieur mit
zeichenhaft umgesetzten Stahlfach-
werken.

Bild: Philomène Hoël und Eik Frenzel

PDF-Download und Bezug der gedruckten Fassung

www.bafu.admin.ch/ui-1065-d

BBL, Verkauf Bundespublikationen,
CH-3003 Bern
www.bundespublikationen.admin.ch
Art.-Nr.: 810.400.076D

Klimaneutral und VOC-arm gedruckt
auf Recyclingpapier.

Diese Publikation ist auch in
französischer und italienischer
Sprache verfügbar.

© BAFU 2021, 2. Auflage

Gebäudeschäden durch Erdbeben

*Starke Erdbeben, die Gebäudeschäden verursachen,
treten auch in der Schweiz auf. Nicht erdbebengerecht
erstellte Gebäude sind in allen Regionen gefährdet.*

- Starke Erdbeben wie etwa in Siders 1946, in Brig 1855, in Obwalden 1601 und in Basel 1356 treten hierzulande auf, jedoch seltener als in hoch gefährdeten Gebieten wie zum Beispiel Italien.
- Jede Region in der Schweiz kann von einem Erdbeben betroffen werden. Höhergefährdet sind die Regionen Wallis, Basel und Alpiner Nordrand. Hier treten Erdbeben häufiger auf.
- Nicht erdbebengerecht erstellte Gebäude sind potenziell einsturzgefährdet und weisen häufig bereits bei relativ schwachen Erdbeben erhebliche Schäden auf.
- Zahlreiche Gebäude haben eine ungenügende Erdbebensicherheit, gemessen an den heutigen Anforderungen für Neubauten¹. Gründe dafür sind keine Bauvorschriften zur Bauzeit oder eine geringe Beachtung der Normenanforderungen an die Erdbebensicherheit.
- Ein Hinweis auf eine ungenügende Erdbebensicherheit ist zum Beispiel die Unregelmässigkeit im Aufriss («soft storey»).

*«Soft storey»: Unterbruch der aussteifenden Wände im Erdgeschoss.
Diese Schwachstelle kommt in der Schweiz oft vor.*



Bild: P. Lestuzzi

Wann überprüfen?

Ist ein Umbau oder eine Instandsetzung geplant, lohnt es sich, möglichst frühzeitig durch eine generelle Überprüfung abzuklären, ob das Gebäude ausreichend erdbebensicher ist.

Bauvorhaben

Der Eigentümer sollte schon vor einem geplanten Bauvorhaben durch einen Bauingenieur beurteilen lassen, ob eine Überprüfung der Erdbebensicherheit sinnvoll ist. Relevante Faktoren sind Art und Umfang des geplanten Eingriffs, die Investitionssumme, der Gebäudewert sowie die Restnutzungsdauer.

Verdacht auf geringe Erdbebensicherheit

Bei einem berechtigten Verdacht auf eine geringe Erdbebensicherheit (offensichtliche gravierende Schwachstelle) sollte auf jeden Fall eine Überprüfung der Erdbebensicherheit stattfinden.

Wichtige Gebäude

Für funktional wichtige Gebäude oder solche mit grossem Schadenspotenzial ist eine systematische Überprüfung der Erdbebensicherheit ausserhalb von Bauvorhaben sinnvoll. So können allenfalls notwendige Massnahmen zur Verbesserung der Erdbebensicherheit risikogerecht vorausgeplant werden.

Ein- oder Zweifamilienhäuser

Für Wohnbauten konventioneller Bauart (freistehend, bis zweigeschossig) ohne gravierende Schwachstellen ist in der Regel eine Überprüfung der Erdbebensicherheit nicht verhältnismässig.

Priorisierung des Immobilienportfolios

Grössere Gebäudebestände erfordern eine Priorisierung, welche Liegenschaften in welchem Zeitraum überprüft werden sollten. Ein mögliches Vorgehen dazu bietet das stufenweise Verfahren zur Identifizierung kritischer Gebäude innerhalb eines grösseren Gebäudebestands des Bundes in Anlehnung an sein eigenes Inventarverfahren⁵.

Wie überprüfen?

Die Überprüfung der Erdbebensicherheit erfolgt durch einen spezialisierten Erdbebeningenieur in mehreren Arbeitsschritten (SIA 269/8, Ziffer 2.1).

Vorgehen

- Zustandserfassung: Grundlagenbeschaffung, Bauwerksaufnahmen, Bauwerksklasse, Materialeigenschaften.
- Untersuchung der konzeptionellen Gestaltung und konstruktiven Durchbildung.
- Rechnerische Untersuchung: Erdbebeneinwirkung, Tragwerksanalyse, gefährdende sekundäre Bauteile, Erfüllungsfaktor.
- Beurteilung der Erdbebensicherheit: Anhand des Erfüllungsfaktors α_{eff} zusammen mit den konzeptionellen und konstruktiven Merkmalen kann der Istzustand des Gebäudes beurteilt werden.
- Massnahmenempfehlung: Bei ungenügendem Istzustand des Gebäudes sind Empfehlungen für verbessernde Massnahmen als Entscheidungsgrundlage für den Gebäudeeigentümer auszuarbeiten.

Umfang

Der Vertiefungsgrad der Untersuchung hängt stark von der Qualität der zur Verfügung stehenden Informationen über das Gebäude und den Resultaten aus der generellen Überprüfung ab. Bei fehlenden oder ungenügenden Grundlagen werden Bauwerksuntersuchungen notwendig. Im Grundsatz hat eine generelle Überprüfung, in der der Nachweis der Anforderungen an die Erdbebensicherheit nicht erbracht werden kann, eine detaillierte Überprüfung zur Folge. Wenn die detaillierte Überprüfung eine ungenügende Erdbebensicherheit bestätigt, sind Überlegungen zu Lösungsansätzen und allfällige Massnahmenkonzepte einzuleiten. Dabei sind die Schwachstellen am Bauwerk aufzuzeigen deren Behebung durch die Massnahmen angestrebt wird.

Kosten

Die Überprüfungskosten variieren stark in Abhängigkeit von der Komplexität des Gebäudes und dem Aufwand für die Erarbeitung zweckmässiger Massnahmenvorschläge. Bei Beauftragung eines spezialisierten Erdbebeningenieurs fallen meist geringere Überprüfungskosten an.

Wasumsetzen?

Die Mindestanforderungen an bestehende Gebäude sowie die Kosten-Nutzen-Kriterien für verhältnismässige Massnahmen sind in der Norm SIA 269/8² definiert. Die Norm SIA 269/8 ersetzt seit 2017 das Merkblatt SIA 2018³ von 2004.*

- Die angestrebten Schutzziele für Neubauten bestehen gemäss Norm SIA 261 im Personenschutz, in der Schadensbegrenzung und in der Gewährleistung der Funktionstüchtigkeit wichtiger Bauwerke. Ein Gebäudeeinsturz ist auszuschliessen.
- Der Erfüllungsfaktor α_{eff} eines bestehenden Gebäudes beschreibt, in welchem Mass das bestehende Tragwerk den rechnerischen Anforderungen an einen Neubau bezüglich Erdbebensicherheit entspricht. Erreicht der Erfüllungsfaktor den Wert 1,0, so erfüllt das bestehende Gebäude die Anforderungen zu 100 Prozent. Ist $\alpha_{\text{eff}} < 1,0$, sind die Anforderungen nur teilweise erfüllt.
- Mindestanforderungen: Bestehende Gebäude müssen einen Erfüllungsfaktor von mindestens 0,25 (0,40 für Gebäude der Bauwerksklassen II-s, II-i und III) aufweisen.
- Weiterführende Massnahmen: Bei Erfüllung der Mindestanforderungen sind weiterführende Massnahmen umzusetzen, wenn sie verhältnismässig sind – gemäss der Gegenüberstellung von ihren Kosten und ihrem Nutzen.
- Die Kosten der erforderlichen Massnahmen sind situationsabhängig und variieren stark, je nach Schwere und Umfang der Schwachstellen. Nutzbare Synergien mit anderen Massnahmen in einem geplanten Bauvorhaben beeinflussen diese Kosten entscheidend.

* Die Grundprinzipien des Merkblatts SIA 2018 sind in der Norm SIA 269/8 beibehalten.

Beispiel 1 – Gymnasium Neufeld, Bern

Lokale Massnahme

Das 1965 erstellte Gebäude besteht aus Untergeschoss, Erdgeschoss und vier Obergeschossen. Stahlbetonstützen und zwei Stahlbetonliftkerne bilden das Tragwerk⁴. Ursprünglich wurde das Gebäude durch eine Trennfuge in zwei Hälften unterteilt (über alle Geschosse). Jede Hälfte war exzentrisch mit einem Liftkern ausgesteift. Die starke Exzentrizität ergab bereits für geringe Erdbebeneinwirkungen eine Absturzgefahr an der Trennfuge.

Die Trennfuge der Geschossdecken in der Gebäudemitte wurde geschlossen. So entstand ein symmetrisch ausgesteiftes Gesamtsystem, das Erdbebeneinwirkungen viel besser widerstehen kann. Damit werden 50 Prozent der heutigen Anforderungen für Neubauten erfüllt. Eine Verbesserung der Erdbbensicherheit darüber hinaus wäre mit unverhältnismässigen Kosten verbunden gewesen. Die Erdbebenmassnahmen fanden im Rahmen einer Gesamtanierung des Gebäudes nach 40 Jahren Nutzung statt. Die «erdbebenbedingten» Kosten betragen 0,3 Millionen Franken oder **0,7 Prozent des Gebäudewerts**.

Ansicht der Längsfassade (unten) mit Grundriss im Istzustand mit zwei Gebäudehälften (oben links) sowie Grundriss im verbesserten Zustand als symmetrisch ausgesteiftes Gebäude (oben rechts).

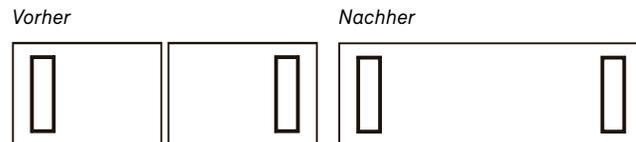


Bild: Wikipedia, R. Frey

Beispiel 2 – Wohngebäude, Freiburg i.Ü.

Gesamtverstärkung

Die drei Wohngebäude in Freiburg mit Mietwohnungen aus den 1970er-Jahren hatten ein offenes Erdgeschoss mit Stützen ohne aussteifende Wände und darüber sieben Geschosse mit tragenden Wänden aus Mauerwerk⁴. Zur Verbesserung der Erdbbensicherheit wurden aussen an den Fassaden vier schlanke Stahlbetonwände fundiert, hochgezogen und in den Decken verankert. So mussten die Bewohnerinnen und Bewohner ihre Wohnung während der Arbeiten nicht räumen. Mit diesen Massnahmen werden 50 Prozent der heutigen Anforderungen für Neubauten erfüllt. Die Erdbebenmassnahmen wurden anlässlich einer allgemeinen Sanierung durchgeführt, und deren Kosten betragen 1,7 Millionen Franken oder **7,4 Prozent des Gebäudewerts**.

Wohngebäude in Freiburg mit vier aussen an den Fassaden hochgezogenen schlanken Stahlbetonwänden.



Bild: E. Lohlein

Beispiel 3 – Berufsfeuerwehr Basel-Stadt

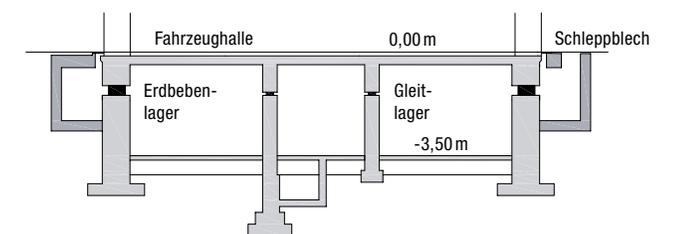
Speziallösung

Das Hauptgebäude der Berufsfeuerwehr Basel-Stadt, der Lützelhof, wurde während des Zweiten Weltkriegs als Stahlbetonbau errichtet⁴. Im Erdgeschoss befindet sich eine Einstellhalle mit schlanken Stützen zwischen den Toren, die schon bei einem relativ schwachen Erdbeben einsturzgefährdet gewesen wären. Dieses Gebäude erfuhr eine Verbesserung durch eine seismische Isolation. Unterhalb der Decke des Erdgeschosses wurde es mittels eines horizontalen Schnitts vom Kellergeschoss abgetrennt und auf Erdbebenlager gestellt. Damit sich das Gebäude bei einem Erdbeben horizontal frei bewegen kann, schuf man rundherum einen entsprechenden Spielraum von etwa 20 cm. Diese Lösung ermöglichte eine minimale Nutzungseinschränkung während und nach den Bauarbeiten. Die Anforderungen für Neubauten werden zu 100 Prozent erfüllt, und die Funktionstüchtigkeit nach einem starken Erdbeben ist gewährleistet. Die Verbesserung der Erdbbensicherheit erfolgte aufgrund einer Risikoanalyse der wichtigen kantonalen Gebäude und kostete 3 Millionen Franken oder **23 Prozent des Gebäudewerts**.

Fahrzeughalle, Schleppblech, Erdbebenlager, Gleitlager. Ansicht der Längsfassade (oben) und Querschnitt durch das Untergeschoss mit den neuen Erdbebenlagern.



Bild: A. Zechmann, Basel



Fehlinterpretationen aus der Praxis

Vor einem geplanten Umbau oder einer Instandsetzung kann anhand der sogenannten «Stufe 1» des ehemaligen, dreistufigen Inventarverfahrens des Bundes beurteilt werden, ob ein Erdbebenrisiko des Gebäudes vorliegt und eine Überprüfung notwendig ist.

Richtigstellung:

Die Anwendung der ehemaligen «Stufe 1» für ein einzelnes Gebäude liefert keine Aussage zur Erdbebensicherheit und ist methodisch nicht korrekt. Das dreistufige Vorgehen zum Inventar der Erdbebensicherheit der bundeseigenen Bauten wurde als kostengünstiges Verfahren zur Priorisierung der kritischen Objekte aus dem Gebäudebestand des Bundes entwickelt. Bundesgebäude, die aus der Stufe 1 «herausgefallen» sind, waren nicht unbedingt erdbebensicher, sondern nur weniger kritisch als andere, also mit einem geringeren Risiko behaftet. Ihre Überprüfung erfolgt längerfristig, systematisch im Erneuerungszyklus im Rahmen von Bauvorhaben.

Für die Thematisierung der Erdbebensicherheit bei einem bestehenden Gebäude ist der Bauingenieur verantwortlich. Ist kein Bauingenieur involviert muss die Erdbebensicherheit nicht berücksichtigt werden.

Richtigstellung:

Einzig der Gebäudeeigentümer ist für die Erdbebensicherheit verantwortlich (Werkeigentümerhaftung). Er haftet für Personen- und Sachschäden, die durch ein Erdbeben verursacht werden. Ihm obliegt die Überprüfung seines Gebäudes. Spätestens bei einem grösseren Bauvorhaben muss sich der Eigentümer Kenntnis über die Erdbebensicherheit verschaffen. Dafür kann er Fachpersonen beauftragen, die ihm eine sorgfältige Beratung, Bearbeitung und Ausführung schulden (Sorgfaltspflicht). Im Rahmen eines Bauvorhabens ist zunächst der Architekt als Bauherrenvertreter und in seiner Rolle als Gesamtleiter zuständig die Erdbebensicherheit im Projekt planerisch einzubeziehen und damit die Frage der Notwendigkeit oder der Zweckmässigkeit einer Überprüfung der Erdbebensicherheit abzuklären.

Jeder Bauingenieur kann mit der Erdbebenüberprüfung eines bestehenden Gebäudes und der Erarbeitung von Massnahmen beauftragt werden.

Richtigstellung:

Das Erdbebeningenieurwesen ist ein anspruchsvolles Spezialgebiet innerhalb des Bauingenieurwesens. Zustandsanalyse, rechnerische Beurteilung der Erdbebensicherheit und Ausarbeitung zielführender Massnahmen verlangen Erfahrung und ein vertieftes Verständnis des Erdbebenverhaltens eines Gebäudes.

Wohnhaus von 1960 in Kriessern SG: Die Erdbebensicherheit wurde im Rahmen der Planung von Erhaltungsmaßnahmen durch einen spezialisierten Erdbebeningenieur überprüft und als genügend bewertet.



Diese Kurzinformation richtet sich vor allem an Gebäudeeigentümerinnen und -eigentümer bzw. Auftraggebenden eines Bauvorhabens sowie an Architektinnen und Architekten.

Bei einem Bauvorhaben ohne Eingriff in die Tragstruktur, kann kurz vor der Realisierung durch eine Überprüfung abgeklärt werden, ob Erdbebensicherheitsmassnahmen erforderlich sind. Ist dies der Fall, kann der Bauingenieur diese Eingriffe unabhängig von den anderen Arbeiten planen und umsetzen.

Richtigstellung:

Die Überprüfung sollte als Voruntersuchung vorausgestellt oder in den frühen Phasen eines grösseren Bauvorhabens ausgelöst werden. So können dem Bauherrn allfällige Schwachstellen frühzeitig aufgezeigt und Synergien mit den weiteren Arbeiten genutzt werden. Dies ermöglicht es erforderliche Massnahmen im Kontext des Bauvorhabens kostengünstiger und damit verhältnismässiger umzusetzen.

Massnahmen zur Verbesserung der Erdbebensicherheit sind immer kostspielige, massive bauliche Eingriffe.

Richtigstellung:

Erheblichen Einfluss auf die Kosten haben die konstruktiven Randbedingungen der Massnahmen. Objekte mit günstigen Kosten zeichnen sich durch lokal begrenzte bauliche Eingriffe aus, wie zum Beispiel ein Fugenschluss oder eine Verstärkung in nur einem Geschoss. Wenn neue Aussteifungselemente über die ganze Höhe notwendig werden, steigen die Kosten an, insbesondere bei einer erforderlichen zusätzlichen Verstärkung der Foundation. Wesentlich ist eine frühzeitige Zusammenarbeit zwischen Architekt und Bauingenieur. Sie ermöglicht eine gemeinsame Erarbeitung kostengünstiger Massnahmen. Eine spätere Überprüfung kann kostspielige Projektänderungen zur Folge haben. Der Entscheid über die Realisierung von Erdbebensicherheitsmassnahmen hängt für den Bereich über die Mindestanforderungen an die Erdbebensicherheit von deren Verhältnismässigkeit ab. Dabei wird der Aufwand der Massnahmen der damit erzielten Risikoreduktion gegenübergestellt.