



Erdbebensicherheit bei Baudenkmalern

Grundsatzdokument vom 22. Juni 2018

Erste Fassung vom 6. September 2001

1. Einleitung

Seit der Publikation des EKD-Grundlagenpapiers «Erdbebensicherheit bei Baudenkmalern» im September 2001 sind auf dem Gebiet des Erdbeben-Ingenieurwesens in Forschung und Praxis grosse Fortschritte erzielt worden, insbesondere bei der Überprüfung der Erdbebensicherheit bestehender Bauwerke und bei der Umsetzung entsprechender Ertüchtigungsmassnahmen.

Weil die Schweiz nicht zu den primären Erdbebengebieten zählt, wird die dennoch vorhandene Gefährdung oftmals unterschätzt. Die Wahrscheinlichkeit, dass starke Beben auftreten, ist in der Schweiz je nach Gebiet unterschiedlich, wobei die Regionen Wallis und Basel zu den gefährdetsten Gebieten zählen. Während bei Neubauten heute SIA-Normen die Erdbebensicherheit regeln, bringt die Ertüchtigung von bestehenden Gebäuden und besonders von Baudenkmalern häufig Schwierigkeiten mit sich, da die Analyse der Erdbebensicherheit in diesen Fällen von teilweise schwer erfassbaren Faktoren abhängig ist (Kapitel 5) und bauliche Massnahmen die Substanz und die Integrität der Bauten grundsätzlich zu wahren haben. Diesem Thema widmet sich das vorliegende Grundsatzdokument, das ebenso Denkmalpflegestellten wie Fachleuten aus den Gebieten Architektur und Ingenieurwesen eine Hilfeleistung bietet. Das Grundsatzdokument wendet sich aber ebenso an die Eigentümerschaften von Baudenkmalern, denn sie sind für deren Erdbebensicherheit verantwortlich.

Normen regeln den Normalfall und somit nicht die in vielen Dingen ausserordentlichen Baudenkmalern und die mit ihnen verbundenen Anforderungen. Deshalb ist es notwendig, in Abwägung technischer Normen und rechtlicher Aspekte zu beachten, dass Ertüchtigungsmassnahmen auch denkmalverträglich sind; Massnahmen zur Erdbebensicherheit dürfen die Denkmalwerte nicht beeinträchtigen. Wichtig ist hierbei die vorbereitende Planung, die noch vor den anzustellenden technischen Überlegungen die organisatorischen Aspekte, verlässliche Verfahren und die Vergabe sorgfältig erarbeiteter Aufträge erfordert. Wichtig ist

sodann, Aspekte der Verhältnismässigkeit und der Plausibilität zu beachten und neben dem Erdbebenwiderstand von Tragwerken auch die Einflüsse auf die Erdbebeneinwirkung zu berücksichtigen, zum Beispiel durch bauliche Massnahmen wie Veränderung von Masse oder Steifigkeit. Aber auch Nutzungsreduktionen oder Teiler-tüchtigungen können die notwendigen Eingriffe zugunsten des Denkmals verringern. Selbstverständlich ist ein genügender Schutz von Personen immer zu gewährleisten.

2. Ausgangslage

Heute bilden die SIA-Norm 269/8 «Erhaltung von Tragwerken – Erdbeben» (2017) zusammen mit der Norm SIA 269 «Grundlagen der Erhaltung von Tragwerken» (2011) die normativen Grundlagen für das Ingenieurwesen, die eine fachgerechte Überprüfung der Erdbebensicherheit bestehender Bauwerke nach dem aktuellen Stand der Baukunde regeln und ermöglichen. In der Norm SIA 269/8 werden zudem Fragen der Verhältnismässigkeit behandelt. Diese normativen Grundlagen werden ergänzt durch verschiedene Publikationen des Bundesamts für Umwelt (BAFU) und der Schweizer Gesellschaft für Erdbebeningenieurwesen und Baudynamik (SGEB).

Um die spezifischen Anforderungen im Zusammenhang mit Denkmälern darzustellen, erarbeitet die interdisziplinäre Arbeitsgruppe BAFU/BAK/BABS zusammen mit Experten einen Leitfaden unter dem Titel: «Erdbebensicherheit von Baudenkmalern – idealtypischer Prozess im Rahmen von Bauvorhaben. Interdisziplinärer Leitfaden für die Praxis» (Entwurf 23. Februar 2018). Dieser Leitfaden behandelt den interdisziplinären Prozess bei der Überprüfung und Verbesserung der Erdbebensicherheit von Baudenkmalern im Rahmen von Bauvorhaben und erläutert anhand von Beispielen die Grundlagen und Rahmenbedingungen, um die Erdbebensicherheit von Baudenkmalern sicherzustellen.

Entscheidend für eine gute Lösung ist die Auftragsvergabe. Entsprechend hat dieses Grundsatzdokument auch zum Ziel, eine differenzierte Herangehensweise bei der Überprüfung der Erdbebensicherheit von Denkmälern aufzuzeigen, damit bei einem Denkmal die qualitativ hochwertigste Überprüfung der Erdbebensicherheit erfolgen und die beste Lösung aus Sicht des Denkmals gefunden werden kann.

Die Überprüfung durch den Ingenieur muss dabei über die dogmatische Anwendung der Normen mittels einfacher Berechnungen hinausgehen. Wie bei anderen Disziplinen bietet sich dazu auch im Ingenieurwesen das stufenweise Vorgehen an, wie es in der Norm SIA 269 gefordert und geregelt wird.

3. Auftragsvergabe und -durchführung

Die Qualität einer Überprüfung der Erdbebensicherheit eines Denkmals hängt direkt von der hierfür eingesetzten Fachkompetenz ab. Dabei besteht das generelle Ziel darin, Massnahmen aufzuzeigen und umzusetzen, die keinen oder einen möglichst geringen Eingriff in seine Bausubstanz erforderlich machen. Der Nachweis der Verhältnismässigkeit der Erhaltungsmassnahmen generell und der sicherheitsbezogenen Erhaltungsmassnahmen im Speziellen ist gemäss der Norm SIA 269 (Ziffern 3.4 und 5.4) immer explizit zu verlangen.

Die EKD empfiehlt, für die Formulierung und Durchführung von Ingenieur-Mandaten zur Überprüfung der Erdbebensicherheit von Denkmälern folgende Schritte einzuhalten:

Grundsätzlich ist eine stufenweise Ausschreibung und Vergabe im Sinne der Regeln der Norm SIA 269 anzustreben:

1. Generelle Überprüfung;
2. detaillierte Überprüfung;
3. wenn nötig detaillierte Überprüfung unter Beizug von Experten;
4. wenn nötig weitere detaillierte Überprüfungen.

Zur Qualitätssicherung eignen sich auch Varianzverfahren.

Jede Stufe ist dabei eindeutig zu definieren und mit einer Folgerung und Empfehlungen für das weitere Vorgehen abzuschliessen, wobei stets die Bauwerkseigentümerschaft und die Denkmalpflege einzubeziehen sind. Der Umfang dieses Verfahrens ist der Bedeutung des Bauwerks anzupassen. Bei der Formulierung von Aufträgen für die Überprüfung empfiehlt es sich somit, die Aufgabenstellung (Beschrieb der Tätigkeiten) in Etappen zu unterteilen und die Aufträge in Etappen auszulösen und abzuwickeln. In der Regel ist mindestens die Stufe 2 «Detaillierte Überprüfung» erforderlich.

Bei Aufgabenstellungen, die spezielle Kenntnisse erfordern oder weitreichende Konsequenzen nach sich ziehen, wird die Bestellung eines Expertenkollegiums empfohlen. Als weitreichende Konsequenzen sind invasive Eingriffe in die Bausubstanz und die Veränderung des Aussehens des Denkmals zu verstehen. Auch Studienaufträge an ausgewählte Ingenieurbüros, die eine vergleichende Beurteilung des weiteren Vorgehens ermöglichen, sind zu begrüssen. Bei besonderen Aufgabenstellungen kann spezifisches Fachwissen auch durch ein inter- oder transdisziplinäres Kolloquium erarbeitet werden.

4. Grundsätze und Handlungsstrategien

Baudenkmalern entsprechen nie dem Normalfall und erfordern deshalb einen besonderen Umgang mit ihren spezifischen Eigenheiten.

Die Beurteilung der Erdbebensicherheit eines Baudenkmals ist nicht nur eine Frage der notwendigerweise vereinfachenden Normen, sondern erfordert differenzierte Kenntnisse der Grundlagen dieser Normen.

Voraussetzung der Beurteilung eines Bauwerks ist eine ausreichend genaue und zumindest in Teilbereichen detaillierte Zustandsaufnahme. Oft erlaubt sie Rückschlüsse auf die Eigenschaften nicht sichtbarer Bauelemente. Meist sind verschiedene Teile des Tragwerks eines Baudenkmals nicht sichtbar und ihre Eigenschaften können nicht zerstörungsfrei erfasst werden. Hier besteht ein Ermessensspielraum, der dargelegt und mit Sensitivitätsbeurteilungen eingegrenzt werden muss.

Bei der Beurteilung der bestehenden Erdbebensicherheit und allfälliger erdbebenertüchtigenden Massnahmen ist es sinnvoll, zwischen Einwirkungen und Widerständen zu unterscheiden. Das Verhältnis von Widerstand zu Einwirkung definiert den Erfüllungsfaktor.

Die Beurteilung der Erdbebensicherheit beruht in der Regel auf einer quantitativen und auf einer empirischen Analyse. Insbesondere wenn der quantitative Nachweis der Tragsicherheit nicht erbracht werden kann, ist eine empirische Analyse gemäss der Norm SIA 269 (Art. 6.3.3) vorzunehmen. Dabei kann ein Vergleich mit Schadensmechanismen an ähnlichen Bautypen in seismisch aktiveren Gebieten sinnvoll sein.

Ein anschauliches Verfahren, die Erdbebensicherheit einzuschätzen, besteht darin, die dem Bauwerk während eines Erdbebens aufgezwungenen Verschiebungen (die Einwirkungen) mit den Verformungskapazitäten eines Bauwerks (dem «Widerstand» oder der möglichen Nachgiebigkeit) zu vergleichen.

Im Gegensatz zur Gefährdung von Personen können gewisse Schäden am Denkmal und an Kulturgütern akzeptiert werden, wenn dadurch invasive Massnahmen zur Erdbebenertüchtigung vermieden werden. Teilertüchtigungen und eine Verringerung der Nutzungsintensität können zur Reduktion der Eingriffe beitragen.

5. Möglichkeiten der Analyse und Ertüchtigung

Wichtige Einflussgrössen auf der Erdbebeneinwirkung sind:

- die Erdbebenzone;
- der Baugrund (durch Mikrozonierung in Baugrundklassen in der Schweiz teilweise bereits erfasst);

- das schwingungsabhängige Antwortspektrum (in gewissen Fällen kann das Erarbeiten eines standortspezifischen Antwortspektrums sinnvoll sein. Dabei sind nahe der Grenzen zweier Zonen auch Zwischenwerte der Zonenwerte denkbar);
- die Eigenschwingungen (evtl. experimentelle Bestimmung der Schwingungsdauer);
- die Gebäudekategorie und, damit verbunden, die Gefährdung von Personen.

Massnahmen zur günstigen Beeinflussung der Erdbebeneinwirkung können sein:

- Veränderung von Gebäudemasse (z.B. durch Entfernen später hinzugefügter schwerer Bauteile, etwa Unterlagsböden);
- Schliessen oder öffnen von Bewegungsfugen, die ein Schwingen des gesamten Gebäudes (oder ein unabhängiges Schwingen des Gebäudeteils) im Erdbebenfall ermöglichen;
- Schwingungsisolation des Gebäudes (durch Erdbebenlager oder Schwingungstilger bei hohen Gebäuden);
- Beeinflussen der Schwingungsdämpfung.

Wichtige Einflussgrössen des Tragwerkswiderstands sind:

- das elastische Verhalten der Baustoffe und des Bauwerks als Ganzes;
- die Festigkeiten der Baustoffe und der Bauteile;
- das Verformungsvermögen (Duktilität) der Baustoffe und der Bauteile;
- der Verlauf einer möglichen Rissbildung und das Verhalten der dadurch entstehenden Körper.

Massnahmen zur günstigen Beeinflussung des Tragwerkswiderstands können sein:

- Verändern der Eigenschaften von Baustoffen und einzelner Bauteile;
- Vorspannen von einzelnen Bauteilen oder des ganzen Tragwerks;
- Ansetzen neuer stabilisierender Bauteile;
- Auswechseln bestehender Bauteile.

6. Hinweise zu einzelnen Konstruktionsarten

Nachstehend werden einige charakteristische Eigenschaften von Bauten mit Natursteinmauerwerk sowie von Beton- und Holzbauten erwähnt, die es besonders zu beachten gilt.

Viele Baudenkmalern, die auf ihre Erdbebensicherheit überprüft werden müssen, bestehen im Wesentlichen aus Natursteinmauerwerk. Bei der Modellierung eines Gebäudes aus Natursteinmauerwerk

stellt sich die Frage, inwiefern die Gebäudestruktur als kontinuierliches, zusammenhängendes Tragwerk oder als Zusammenschluss mehr oder weniger loser Einzelteile betrachtet werden soll. Meist ist nicht zerstörungsfrei festzustellen, inwieweit innenliegende Wände mit den Fassaden im Verbund stehen oder wie hölzerne Decken an ihren Auflagern mit den Wänden verbunden sind.

Natursteinmauern wurden häufig zweihäufig und im Innern mit minderwertigem Material hochgeführt. In solchen Fällen besteht die Gefahr der Separation der äusseren Mauerschichten: die Mauer «platzt». Auch hier ist eine Einschätzung des Zustands ohne zerstörende Untersuchungen schwierig. Immerhin liefert das genaue Betrachten von Art und Zustand des Mauerwerks Indizien über seine innere Qualität: So können das sichtbare Fugenbild der Steine und der Zustand der Fugen sowie allfällig vorhandene Risse Aufschlüsse über die Qualität des Mauerwerks im Innern geben. Je nach Festigkeit der Steine und Ausbildung des Steinverbands können Zugkräfte in der Mauerebene über Reibung in den Lagerfugen übertragen werden. Das Mauerwerk ist auf ausgebauchte Stellen, die eine Schwächung des Mauerwerks im Innern anzeigen, zu überprüfen. Auch ist die Bindekraft des Mörtels zu beurteilen.

Die Angaben für das Mass der Elastizität eines Mauerwerks schwanken stark. Hier ist ein Vergleich mit ähnlich konstruierten Bauten, deren Eigenschaften bekannt sind, angezeigt.

Heikel ist oft die Krafteinleitung in eine Natursteinmauer. Zu prüfen gilt deshalb, ob stark exzentrische Krafteinleitungen möglich sind (z.B. unter sich durchbiegenden Betondecken), da diese eine Aufspaltung der Wände (in oder aus der Ebene) begünstigen.

Zusätzlich zu den oben erwähnten Massnahmen können Mauerwerksbauten wie folgt ertüchtigt werden:

- «Vernadeln» der Wand (rechtwinklig zu ihrer Ebene) mit relativ dicht verteilten dünnen Zugstäben. Für die Krafteinleitung kommen sichtbare Befestigungen mit Muttern und Ankerplatten, verdeckte Ausführungen oder ein Einkleben ohne Ankerplatten in Frage.
- Zusammenziehen der Fassaden auf Deckenebene mit Zugstangen. Damit wird beim Erdbeben ein Kippen der Fassade aus ihrer Ebene vermieden. Derartige Zugstangen sind bei historischen Gebäuden oder Brücken oft bereits vorhanden.
- Vertikale Vorspannungen (z. B. in bestehenden Schächten) bilden vergleichsweise kleine Eingriffe.

Betonbauten der Moderne und der Nachkriegszeit können oft dadurch ertüchtigt werden, dass man Dilatationsfugen kraftschlüssig schliesst. Die Schwind- und Kriechvorgänge im Beton sind längst abgeklungen, sodass die Fugen heute keine Funktion mehr haben. Häufig sind diese Tragwerke Skelettbauten, die durch Kerne oder einzelne Scheiben ausgesteift werden. Bei ungenügendem Widerstand dieser aussteifenden Teile hilft oft eine aussenliegende Bewehrung mit Lamellen aus Stahl- oder Faserverbundwerkstoffen. Auch eine vertikale Vorspannung ist in der Regel eine wenig invasive Massnahme.

Vorgehängte Fassadenelemente sind häufig nicht erdbebensicher befestigt. Ein Ersatz der Befestigungen ist meist mit grossem Aufwand verbunden. Alternativ dazu sind die Anordnung zusätzlicher Haltevorrichtungen und/oder ein Verbinden der Elemente untereinander mit konzentrierter Befestigung denkbar.

Holzbauten bieten in der Regel vielfältige Möglichkeiten der Erdbebenertüchtigung. Allgemein gültige Aussagen sind hier nicht möglich. Es empfiehlt sich ein systematisches Vorgehen im Einzelfall, das in einem ersten Schritt sämtliche Möglichkeiten auflistet und bewertet.

Bern, 22. Juni 2018

Eidgenössische Kommission für Denkmalpflege

Der Präsident
Prof. Dr. Nott Caviezel

Die Kommissionssekretärin
Irène Bruneau

Eidgenössische Kommission für Denkmalpflege EKD c/o BAK
Hallwylstrasse 15, 3003 Bern
+41 58 462 92 84, ekd@bak.admin.ch

Weiterführende Informationen und Literatur

Hugo Bachmann, *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, 2010.

Hugo Bachmann, Friederike Braune und Blaise Duvernay, *Ist unser Gebäude genügend erdbebensicher? Wann eine Überprüfung und eine Verbesserung sinnvoll sind – und warum*. Faltblatt, Bundesamt für Umwelt (BAFU) und Schweizer Gesellschaft für Erdbebeningenieurwesen und Baudynamik (SGEB), 2013.

Hugo Bachmann, Blaise Duvernay, *Erdbebengerechte Neubauten in der Schweiz*, Faltblatt, Bundesamt für Umwelt (BAFU) und Schweizer Gesellschaft für Erdbebeningenieurwesen und Baudynamik (SGEB), 2013.

Bundesamt für Umwelt BAFU, *Richtlinien zum Inventar der Erdbebensicherheit bestehender Bundesbauten*, www.bafu.admin.ch/erdbeben.

Leitsätze zur Denkmalpflege in der Schweiz, hrsg. von der Eidgenössischen Kommission für Denkmalpflege, Zürich 2007, [<http://vdf.ch/leitsatze-zur-denkmalpflege-in-der-schweiz-1597068686.html>].

SIA Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein: Merkblatt SIA 2018: *Überprüfung bestehender Gebäude bezüglich Erdbeben*, Zürich 2004.

SIA Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein: Dokumentation SIA D 0211 *Einführung in das Merkblatt SIA 2018: Überprüfung bestehender Gebäude bezüglich Erdbeben*, Zürich 2005.

Thomas Wenk, «Erdbebenertüchtigung von Bauwerken. Strategie- und Beispielsammlung aus der Schweiz», in: *Umwelt-Wissen*, Nr. 0832, Bundesamt für Umwelt, Bern 2008.