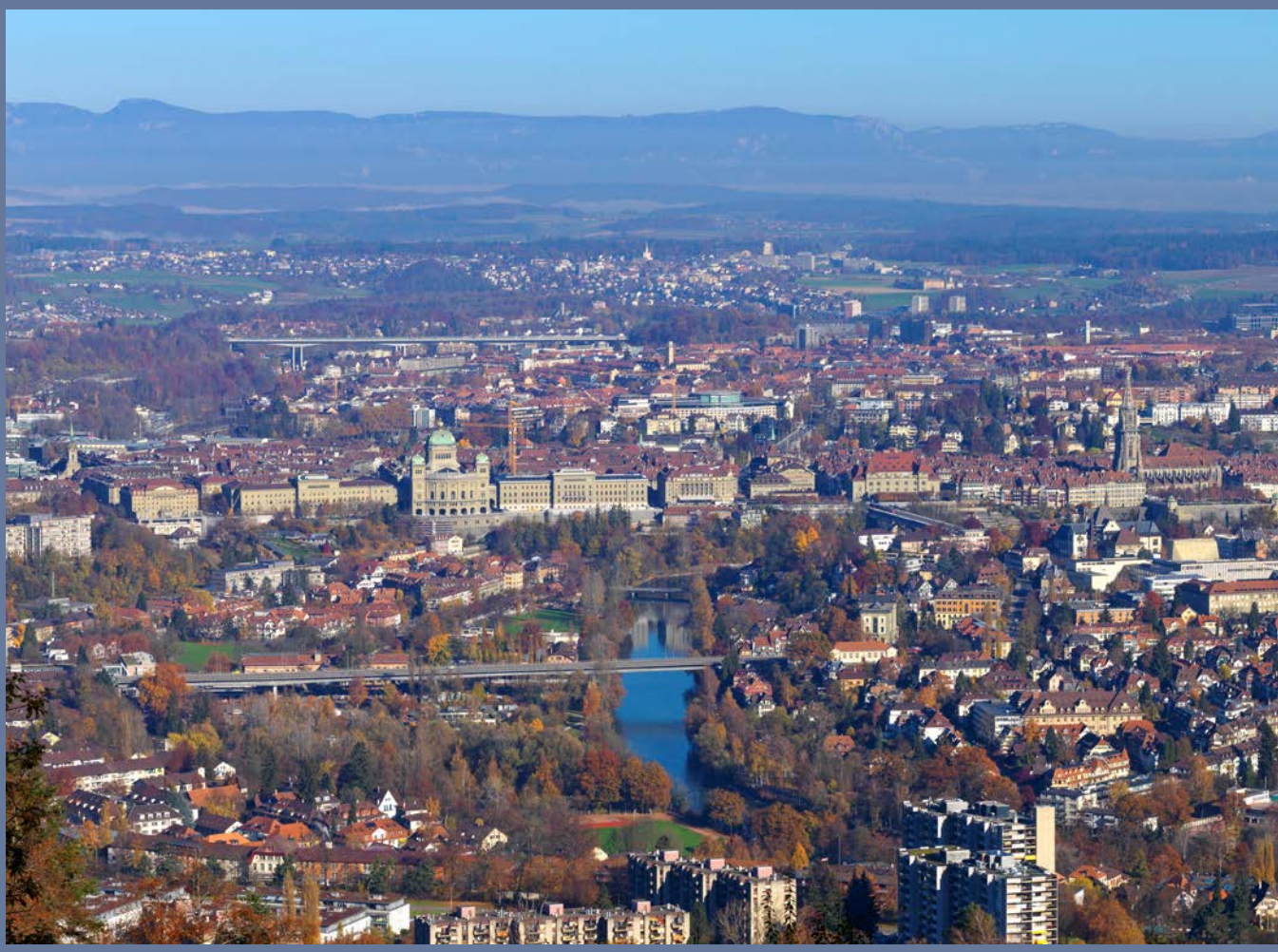
2020 | Umwelt-Wissen



# Erdbebenrisiko grosser Gebäudebestände

Stufenweises Verfahren zur Identifizierung von kritischen Gebäuden



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

**Bundesamt für Umwelt BAFU**

# Erdbebenrisiko grosser Gebäudebestände

Stufenweises Verfahren zur Identifizierung von kritischen Gebäuden

Herausgegeben vom Bundesamt für Umwelt BAFU
Bern, 2020

# Impressum

**Herausgeber**
Bundesamt für Umwelt (BAFU)
Das BAFU ist ein Amt des Eidg. Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK).

**Autoren**
Friederike Braune, Koordinationsstelle für Erdbebenvorsorge, Bundesamt für Umwelt
Ehfried Kölz, Risk&Safety AG

**Begleitung BAFU**
Blaise Duvernay, Sven Heunert

**Zitierung**
BAFU (Hrsg.) 2020: Erdbebenrisiko grosser Gebäudebestände. Stufenweises Verfahren zur Identifizierung von kritischen Gebäuden. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Wissen Nr. 2014: 57 S.

**Gestaltung**
Cavelti AG, Marken. Digital und gedruckt, Gossau

**Titelbild**
Öffentliche und private Gebäudebestände: Blick auf Bern
© Nadja Frey, Bern

**Download PDF**
www.bafu.admin.ch/uw-2014-d
Eine gedruckte Fassung kann nicht bestellt werden.
Diese Publikation ist auch in französischer Sprache verfügbar.
Die Originalsprache ist Deutsch.

© BAFU 2020

# Inhaltsverzeichnis


**Abstracts** **5**

**Vorwort** **6**

**Einführung** **7**

**Inhalt** **8**

**1 Hintergrund** **9**
1.1 Entwicklung der Normen und Konsequenzen für Gebäudebestände 9
1.2 Strategie zur Verringerung des Erdbebenrisikos grosser Gebäudebestände 10
1.3 Rechtlicher Rahmen 10
1.3.1 Bauvorhaben 10
1.3.2 Bestand 11
1.3.3 Überprüfungspflicht 11

**2 Verfahren** **12**
2.1 Risikoorientierter Ansatz 12
2.2 Mehrstufiges, selektives Vorgehen 12
2.3 Anwendungsgrenzen 13
2.4 Beauftragung und Aufwand 14

**3 Stufe Eingrenzung** **15**
3.1 Zielsetzung 15
3.2 Aufgaben des Eigentümers 15
3.2.1 Ansprechperson 15
3.2.2 Freigabe von Informationen 15
3.2.3 Mitwirken bei Entscheiden 15
3.3 Vorgehen bei der Stufe Eingrenzung 16
3.4 Beauftragen eines Bauingenieurs 16
3.5 Übergeordnete Ziele und Randbedingungen des Eigentümers 16
3.6 Festlegung der zu betrachtenden Schutzgüter 16
3.7 Eingrenzung des zu erfassenden Gebäudebestands 17
3.7.1 Triage 17
3.7.2 Filterung 18
3.8 Dokumentation 19
3.9 Weiteres Vorgehen 19

**4 Stufe Bewertung** **20**
4.1 Zielsetzung 20
4.2 Aufgaben des Eigentümers 20
4.2.1 Ansprechperson 20
4.2.2 Entscheide des Eigentümers 20
4.3 Vorgehen bei der Stufe Bewertung 21
4.4 Beauftragen eines Bauingenieurs 21
4.5 Grundlagenbeschaffung 21
4.6 Risikobewertung mithilfe von Kennzahlen 21
4.7 Auswertung der Ergebnisse und Priorisierung für die Überprüfung 22
4.8 Dokumentation 22
4.9 Weiteres Vorgehen 22

**5 Stufe Überprüfung** **23**
5.1 Zielsetzung 23
5.2 Aufgaben des Eigentümers 23
5.3 Vorgehen bei der Stufe Überprüfung 24
5.4 Beauftragen eines Bauingenieurs 24
5.5 Überprüfung der Erdbebensicherheit gemäss der Norm SIA 269/8 24
5.6 Auswertung der Ergebnisse und Massnahmenempfehlung 25
5.7 Planung des weiteren Vorgehens 26

**6 Hinweise zum Umgang mit dem Handlungsbedarf** **27**
6.1 Handlungsbedarf konkretisieren 27
6.2 Erarbeitung von Massnahmenkonzepten 27
6.3 Arten von Erdbebensicherheitsmassnahmen 27

**Anhang A Stufe Eingrenzung: Hinweise zur Filterung** **29**

**Anhang B Stufe Bewertung: Leitfaden** **33**

**Anhang C Stufe Überprüfung: Erläuterungen** **47**

**Literatur** **55**

**Glossar** **56**

# Abstracts

This publication presents a multitier, selective procedure to assess the seismic risk of real estate portfolios. The objective of the procedure is to identify the building objects in the portfolio with the highest risk and for which short term safety measures should be implemented. The publication serves as a methodological and application guideline. The concept is based on the different possible objectives of real estate portfolios owners and is addressed primarily at experienced structural engineers and building managers. The three levels of the procedure – **narrow down, assess and verify** – are presented in the main part of the publication and completed by detailed methodological indications in the annex.

**Keywords:**
*Seismic risk, real estate portfolios, multitier and selective procedure*

Diese Publikation stellt ein mehrstufiges, selektives Verfahren vor, um das Erdbebenrisiko grosser Gebäudebestände zu erfassen. Ziel des Verfahrens ist es, die Gebäudeobjekte mit den grössten Risiken aus dem Bestand zu erkennen bei denen Massnahmen zur Verbesserung der Erdbebensicherheit zeitnah ergriffen werden sollten. Die Publikation dient der Praxis als Verfahrens- und Anwendungshilfe. Ihre Ausrichtung orientiert sich an möglichen Zielsetzungen der Eigentümer grosser Gebäudebestände und richtet sich in der methodischen Umsetzung primär an erfahrene Bauingenieure und Gebäudeverantwortliche. Die drei Stufen des Verfahrens – **Eingrenzung, Bewertung und Überprüfung** – werden in der Publikation erläutert und im Anhang durch detaillierte methodische Hinweise ergänzt.

**Stichwörter:**
*Erdbebenrisiko, grosse Gebäudebestände, mehrstufiges und selektives Verfahren*

La présente publication présente une procédure sélective en plusieurs étapes pour recenser le risque sismique des parcs immobiliers. Le but est de reconnaitre les bâtiments du parc immobilier avec le plus grand risque pour lesquels des mesures de sécurité sismique à court terme devraient être prises. La publication sert d'aide méthodique et d'application. Son concept est orienté selon les différents objectifs possibles des propriétaires de parcs immobiliers et sa méthodologie s'adresse en premier lieu aux ingénieurs en génie civil expérimentés et aux responsables de bâtiments. Les trois étapes de la procédure – **circonscrire, évaluer et vérifier** – sont présentées dans la publication et complétées en annexe par des indications détaillées concernant la méthode.

**Mots-clés :**
*Risque sismique, parcs immobiliers, procédure sélective en plusieurs étapes*

La presente pubblicazione illustra una procedura selettiva a più livelli volta a rilevare il rischio sismico dei grandi edifici. L'obiettivo è individuare quelli a maggior rischio per i quali occorrono misure a breve termine con cui migliorare la sicurezza sismica. La pubblicazione serve alla pratica quale aiuto metodologico e d'applicazione. La sua impostazione è orientata ai diversi obiettivi possibili dei proprietari di grandi edifici e l'applicazione metodologica è rivolta principalmente a ingegneri civili sperimentati e responsabili di immobili. I tre livelli procedurali – **delimitazione, valutazione e verifica** – sono illustrati nella pubblicazione e integrati nell'allegato con indicazioni metodologiche dettagliate.

**Parole chiave:**
*rischio sismico, grandi edifici, procedura selettiva a più livelli*

# Vorwort

Im Rahmen seiner Strategie im Umgang mit Naturgefahren beabsichtigt der Bund, das Erdbebenrisiko in seinem Zuständigkeitsbereich langfristig mit verhältnismässigen Massnahmen zu reduzieren. Bereits mit dem ersten Bundesratsbeschluss zum Massnahmenprogramm des Bundes zur Erdbebenvorsorge vom 11. Dezember 2000 wurden die Eigentümervertreter des Bundes, namentlich die Bau- und Liegenschaftsorgane des Bundes (BLO), beauftragt, eine mehrstufige, selektive Erfassung des Erdbebenrisikos ihres Gebäudebestands durchzuführen. Ziel war die Erkennung der risikoreichsten Gebäude und die Festlegung des Handlungsbedarfs zur Verbesserung ihrer Erdbebensicherheit.

Rund 1000 wichtige bundeseigene Gebäude aus dem Gesamtbestand von rund 10 000 Bauten und Anlagen wurden ausgewählt und stufenweise seit 2002 bezüglich der Dringlichkeit der Verbesserung ihrer Erdbebensicherheit priorisiert. Das dabei verwendete mehrstufige, selektive Verfahren hat rund 200 Gebäude identifiziert, die ein hohes Erdbebenrisiko aufweisen. Für rund 70 Gebäude davon ergab die Überprüfung, dass die minimalen Anforderungen an die Erdbebensicherheit nicht erfüllt sind und zeitnah Massnahmen zu ergreifen sind. Seit 2013 wird die Erdbebensicherheit dieser Gebäude nach Erfordernis und Verhältnismässigkeit im Portfoliomanagement der BLO verbessert.

Entsprechend den Erfahrungen und Erkenntnissen des Bundes und aufgrund der Veröffentlichung der neuen Norm SIA 269/8 «Erhaltung von Tragwerken – Erdbeben» im Jahr 2017 wird mit der vorliegenden Publikation ein vollständig revidiertes und ausgeweitetes Verfahren zur selektiven Erfassung des Erdbebenrisikos grosser Gebäudebestände durch eine stufenweise Priorisierung vorgeschlagen.

Ich bin davon überzeugt, dass damit Eigentümer von grossen Gebäudebeständen mit einer etablierten Arbeitshilfe in ihren Anstrengungen unterstützt werden, das Erdbebenrisiko zu reduzieren.

Paul Steffen
Vizedirektor
Bundesamt für Umwelt (BAFU)

# Einführung

Ab 2002 führte der Bund im Rahmen seines Massnahmenprogramms zur Erdbebenvorsorge eine selektive Erfassung des Erdbebenrisikos durch eine stufenweise Priorisierung seines eigenen Gebäudebestands durch.

Das dazu entwickelte mehrstufige, selektive Verfahren wurde so ausgestaltet, dass die nur beschränkt verfügbaren Mittel optimal eingesetzt werden konnten. Damit wurde eine allmähliche Priorisierung der hochrisikobehafteten Objekte im Gebäudebestand des Bundes erreicht. Parallel dazu wurden Standards für die systematische Überprüfung der Erdbebensicherheit von bestehenden Gebäuden im Rahmen von Bauvorhaben des Bundes implementiert.

Die Erfahrungen und Erkenntnisse des Bundes bei der eigenen Anwendung des mehrstufigen Verfahrens sowie die Veröffentlichung der Norm SIA 269/8 «Erhaltung von Tragwerken – Erdbeben» Ende 2017 verlangten eine Überarbeitung des Verfahrens.

Die vorliegende Publikation ersetzt die drei Richtlinien des BAFU (ehemals Bundesamt für Wasser und Geologie BWG) zur Beurteilung der Erdbebensicherheit bestehender Gebäude von 2005 und 2006, die bisher ebenfalls von Kantonen, Städten und Gemeinden sowie privaten Eigentümern von grossen Gebäudebeständen genutzt wurden. Die wesentlichsten Änderungen in der vorliegenden Verfahrens- und Anwendungshilfe gegenüber den BWG Richtlinien sind neben den neuen Stufenbezeichnungen – **Eingrenzung, Bewertung und Überprüfung** –, der neue Verfahrensbeginn durch die *Stufe Eingrenzung* des Gebäudebestands, die vollständig überarbeitete *Stufe Bewertung* der ausgewählten Gebäude durch Risikokennzahlen (ehemalige Stufe 1) und die Zusammenführung der rechnerischen Untersuchungen der priorisierten Gebäude (ehemalige Stufen 2 und 3) in der *Stufe Überprüfung* der Erdbebensicherheit nach der Norm SIA 269/8.

# Inhalt

Der Haupttext richtet sich primär an Eigentümer und Gebäudeverantwortliche grosser Gebäudebestände und vermittelt die wesentlichsten Aspekte, um eine mehrstufige, selektive Erfassung des Erdbebenrisikos der wichtigen Gebäude des Gebäudebestands durch eine stufenweise Priorisierung anzugehen, zu beauftragen und zu begleiten.

In Kapitel 1 werden die Entwicklung des Schweizer Normenwerks erläutert, Hinweise zur Strategie bei der Verringerung des Erdbebenrisikos gegeben und der rechtliche Rahmen in der Thematik aufgezeigt. Kapitel 2 stellt das mehrstufige, selektive Verfahren vor. In Kapitel 3 wird die *Stufe Eingrenzung* näher erklärt, in der das Verfahren vorbereitet und der Gebäudebstand eingegrenzt wird. Kapitel 4 beschreibt die *Stufe Bewertung,* auf der risikoorientiert innerhalb des eingegrenzten Bestands Gebäude für die Stufe *Überprüfung* priorisiert werden. In Kapitel 5 wird die *Stufe Überprüfung* der Erdbebensicherheit der priorisierten Gebäude gemäss der Norm SIA 269/8 erläutert. Kapitel 6 schliesst mit Hinweisen an den Eigentümer zum Umgang mit den Ergebnissen aus dem Verfahren und zum weiteren Vorgehen bei der Projektierung und Realisierung notwendiger Erdbebensicherheitsmassnahmen ab.

Der Anhang richtet sich primär an die beauftragten Bauingenieure und vertieft das jeweilige Vorgehen in den einzelnen Stufen: Anhang A formuliert methodische Erläuterungen zur *Stufe Eingrenzung.* Anhang B besteht aus einem Leitfaden für die *Stufe Bewertung* und einer Mustervorlage des Erhebungsblatts. Anhang C gibt methodische Erläuterungen zur *Stufe Überprüfung.*

# 1 Hintergrund

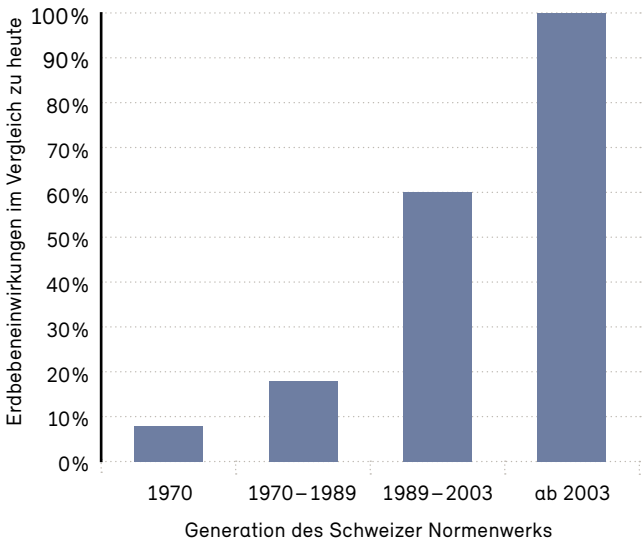
## 1.1 Entwicklung der Normen und Konsequenzen für Gebäudebestände

Bis 1970 gab es keine Erdbebenbestimmungen in den Schweizer Baunormen. Nach der Einführung von ersten Erdbebenbestimmungen 1970 wurden die Anforderungen an die Erdbebensicherheit in den Normengenerationen von 1989 und 2003 sukzessive erweitert und verschärft.

Galten in der Norm SIA 160 von 1970 noch rudimentäre Erdbebenbestimmungen mit sehr kleinen Erdbebeneinwirkungen, so wurden mit der Norm SIA 160 von 1989 moderne Erdbebenbestimmungen mit deutlich höheren Erdbebeneinwirkungen eingeführt. Die Norm SIA 261 «Einwirkungen auf Tragwerke» von 2003 enthielt schliesslich weiterentwickelte Erdbebenbestimmungen, die dem internationalen Stand der Technik entsprachen und durch neue Erkenntnisse im Erdbebeningenieurwesen und in der Seismologie eine erneute Erhöhung der Erdbebeneinwirkungen vorgaben. Die Abbildung 1 verdeutlicht die Entwicklung der Erdbebeneinwirkungen der Schweizer Baunormen für die Bemessung eines vierstöckigen Mehrfamilienhauses aus Mauerwerk im Mittelland (Erdbebenzone Z1 und Baugrundklasse C gemäss der Norm SIA 261 [1] von 2020). Vor 1970 sind die Einwirkungen infolge Wind massgebend.

**Abbildung 1**

**Entwicklung der Erdbebeneinwirkungen in den Baunormen**




Die grosse Mehrheit der bestehenden Gebäude ist folglich mit Baunormen geplant und gebaut worden, die entweder keine oder wesentlich geringere Anforderungen an die Erdbebensicherheit stellten, als die heute geltenden Baunormen. Für Gebäude, die vor 1970 erstellt wurden, fehlten erdbebenspezifische Bauvorschriften gänzlich. Für nach 1970 erstellte Gebäude ist in Fachkreisen heute bekannt, dass die langjährige Unterschätzung des Erdbebenrisikos in der Schweiz zu einer verbreiteten Nichteinhaltung der Vorschriften führte. Seit der Einführung der letzten Baunormen 2003 werden die Erdbebenvorschriften für Neubauten immer systematischer berücksichtigt.

Aus diesen Gründen stellt sich für Eigentümer nicht nur bei alten Gebäuden die Frage des Niveaus der Erdbebensicherheit und deren allfälliger Verbesserung, sondern auch bei Gebäuden jüngeren Datums.

Mit der Veröffentlichung des Merkblatts SIA 2018 «Überprüfung bestehender Gebäude bezüglich Erdbeben» im Jahr 2004 wurde die Frage, wie mit der Erdbebensicherheit ursprünglich nicht für Erdbeben oder nach früheren Baunormen bemessener Gebäude umgegangen werden soll, beantwortet. Seitdem wurden zahlreiche bestehende Gebäude, vor allem im Rahmen von Bauvorhaben, auf ihre Erdbebensicherheit hin überprüft und fallweise verbessert. Das Merkblatt SIA 2018 wurde im Dezember 2017 durch die Norm SIA 269/8 «Erhaltung von Tragwerken – Erdbeben» [2] abgelöst.

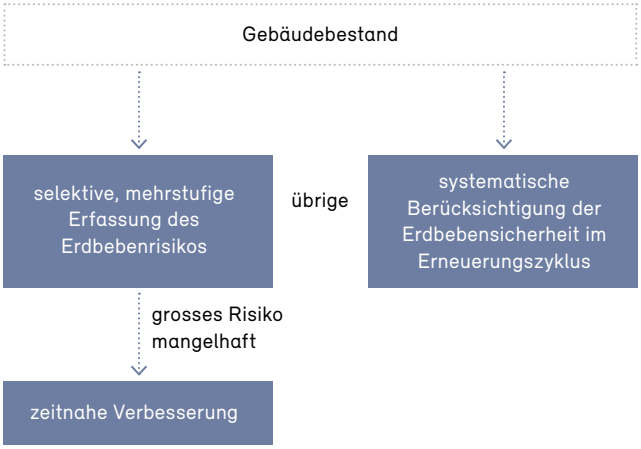
## 1.2 Strategie zur Verringerung des Erdbebenrisikos grosser Gebäudebestände

Da eine rasche Verbesserung der bezüglich Erdbebensicherheit ungenügenden Gebäude in einem grossen Gebäudebestand weder umsetzbar noch finanzierbar ist, kann die Verringerung des Erdbebenrisikos durch zwei sich ergänzende Aktivitäten erreicht werden, wie Abbildung 2 zeigt:

1. Laufend und mit längerfristiger Wirkung durch eine systematische Berücksichtigung der Erdbebensicherheit im Erneuerungszyklus.
2. Einmalig und mit kurz- bis mittelfristiger Wirkung durch eine selektive Erfassung des Erdbebenrisikos der wichtigen Gebäude im Gebäudebestand durch eine stufenweise Priorisierung und die zeitnahe Verbesserung der Objekte mit grossem Erdbebenrisiko und geringer Erdbebensicherheit.

**Abbildung 2**

**Strategie zur Verringerung des Erdbebenrisikos grosser Gebäudebestände**




Die selektive Erfassung des Erdbebenrisikos von wichtigen Gebäuden und zur Identifizierung von kritischen Gebäuden ist Thema dieser Publikation. Dieses hier vorgestellte Verfahren hat zum Ziel, neben dem Erneuerungszyklus, den Handlungsbedarf bei den risikoreichsten Gebäuden zu erfassen und für die Immobilienbewirtschaftung nachvollziehbar und umsetzbar aufzubereiten.

Die Anwender des Verfahrens müssen sich allerdings bewusst sein, dass jene Gebäude die im Rahmen der selektiven, mehrstufigen Erfassung des Erdbebenrisikos nicht priorisiert und im Detail bearbeitet werden, weiterhin eine unbekannte und möglicherweise ungenügende Erdbebensicherheit aufweisen. Diese Gebäude müssen im Erneuerungszyklus, also beim nächsten anstehenden Instandsetzungs- oder Veränderungsvorhaben auf ihre Erdbebensicherheit überprüft und, falls notwendig und verhältnismässig, verbessert werden.

Im Rahmen der vorgeschlagenen Strategie kommt dem Eigentümer die wichtige Rolle zu, bei der *Stufe Eingrenzung* seines Gebäudebestands für die nachfolgenden Stufen zielführende Überlegungen anzustellen und eine sinnvolle für ihn realisierbare Auswahl zu treffen. Damit ist auch die Bereitschaft verknüpft, das Ineinandergreifen der beiden Aktivitäten zuzulassen. Die mehrstufige, selektive Erfassung des Erdbebenrisikos durch eine stufenweise Priorisierung macht nur Sinn, wenn sie mit einer konsequenten Berücksichtigung der Erdbebensicherheit im Erneuerungszyklus gekoppelt ist.

Für Hinweise zur systematischen Berücksichtigung der Erdbebensicherheit im Erneuerungszyklus, also innerhalb von Bauvorhaben zur Instandsetzung oder Veränderung, sei auf die Vollzugshilfen des Bundes verwiesen [3].

## 1.3 Rechtlicher Rahmen

### 1.3.1 Bauvorhaben

Die Baugesetzgebung liegt im Kompetenzbereich der Kantone. Die Kantone regeln die Erdbebensicherheit in ihrer Baugesetzgebung unterschiedlich, in der Regel mit einer Generalklausel mit Verweis auf die Regeln der Baukunde und damit auf die vom Schweizer Ingenieur- und Architektenverein sia publizierten technischen Normen und Merkblätter. Einige Kantone machen darüber hinaus erdbebenspezifische Auflagen im Rahmen der Baubewilligungsverfahren. Damit müssen nach den geltenden Baunormen bei Neubauten und Erweiterungen die Tragwerke gemäss der Norm SIA 261 [1] erdbebengerecht projektiert und bei Instandsetzungen und Veränderungen an bestehenden Bauten die Erdbebensicherheit gemäss der

Norm SIA 269/8 [2] überprüft und, falls erforderlich, verbessert werden.

### 1.3.2 Bestand

Der Eigentümer haftet grundsätzlich für jene Schäden, die durch ein mangelhaftes[1] Werk verursacht werden (OR 58 Werkeigentümerhaftung). Der Werk- bzw. Hauseigentümer hat folglich dafür zu sorgen, dass sein Werk bei bestimmungsgemässem Gebrauch weder Personen noch Güter gefährdet. Verbindend ist die Forderung aller kantonalen Baugesetze, dass Gebäude weder Menschen noch Sachen gefährden dürfen. Der Eigentümer muss der Entwicklung der Technik folgen und allenfalls sein Werk dem neueren Stand der Sicherheitsanforderungen anpassen. Ein ursprünglich normenkonform erstelltes Werk kann im Verlaufe der Zeit zu einem mangelhaften Werk werden, weil die Sicherheitserwartungen gestiegen sind [4]. Allerdings wird nicht verlangt, dass ein vorbestehendes Werk sämtliche Eigenschaften gemäss neuster Technik aufweisen muss. Gemäss der Norm SIA 269/8 [2] ist grundsätzlich eine Erdbebensicherheit von 100 % (= Anforderungen an Neubauten gemäss geltenden Baunormen) anzustreben. Die Notwendigkeit der Behebung des Mangels am Gebäude wird anhand von Mindestanforderungen und Betrachtungen zur Verhältnismässigkeit der Kosten im Vergleich zum Nutzen beurteilt.

Als mangelhaft[2] wird in dieser Dokumentation ein Gebäude betrachtet, das die Mindestanforderungen an die Personensicherheit unter Erdbebeneinwirkungen gemäss geltender Baunormen nicht erfüllt. Als ungenügend[3] wird ein Gebäude bezeichnet, das die Mindestanforderungen an die Personensicherheit erfüllt, aber nicht die Anforderungen an die Erdbebensicherheit von Neubauten gemäss geltenden Baunormen (für Erläuterungen siehe Kapitel 5).

### 1.3.3 Überprüfungspflicht

Gemäss der Norm SIA 269 «Grundlagen der Erhaltung von Tragwerken» [5], besteht grundsätzlich bei einem Umbau, einer Änderung der Nutzung oder der Nutzungsanforderungen oder wenn neue Erkenntnisse über Einwirkungen oder Tragwerkseigenschaften vorliegen, Veranlassung für eine Überprüfung eines bestehenden Tragwerks.

Für Eigentümer grosser Gebäudebestände stellt sich folglich die Frage, inwieweit und in welchem Zeitrahmen sie ihrer Verantwortung gerecht werden können. Bereits die Überprüfung der Erdbebensicherheit aller Gebäude in einer kurzen Frist übersteigt meist die Kapazitäten und Möglichkeiten dieser Eigentümer. Noch schwerer zu bewerkstelligen ist die bauliche Verbesserung der Erdbebensicherheit eines grossen Gebäudebestands innert kurzer Zeit, wenn für die Massnahmen bei mehreren Objekten einerseits kumuliert enorme Kosten anfallen und andererseits ein grosser organisatorischer Aufwand betrieben werden muss (Nutzungseinschränkungen, Ersatzbauten, Steuerung der Umsetzung etc.). Hinzu kommen Kosten aus der Nutzungsunterbrechung wie der Ausfall von Mieteinnahmen, die Reduktion der wirtschaftlichen Leistung oder die Anmietung von Ersatzliegenschaften. Da die Gesamtkosten für die Erdbebensicherheitsmassnahmen an einem Gebäude ohne anderweitige bauliche Aktivitäten erheblich sein können, ist es zweckmässig, Synergien zu nutzen, wenn ein Gebäude infolge Alterung oder aufgrund der Änderung der Nutzungsabsichten ohnehin instandgesetzt oder verändert werden muss.

Die aktuelle Rechtslage der Schweiz rechtfertigt die Auffassung, dass bei Gebäuden ohne erkennbare Mängel[4] (Mindestanforderungen an die Erdbebensicherheit gemäss Norm SIA 269/8 [2] eingehalten) mit Erdbebensicherheitsmassnahmen bis zu einem günstigen Zeitpunkt im Erneuerungszyklus des Gebäudes zugewartet werden darf, bei dem sich diese Massnahmen unter verhältnismässigem Mitteleinsatz umsetzen lassen.

Ausserhalb des Erneuerungszyklus wird der Eigentümer eines Gebäudebestands seiner Verantwortung zumindest teilweise gerecht, wenn er unter den wichtigsten Gebäuden jene mit Mängeln identifiziert und die notwendigen Erdbebensicherheitsmassnahmen einleitet. Die mehrstufige, selektive Erfassung des Erdbebenrisikos ist ein Instrument dazu. [7]

1 Es gibt zwei Arten von Werkmängeln: Fehlerhafte Anlage oder Herstellung und mangelhafter Unterhalt.

2 «mangelhaft» wenn $\alpha_{eff} < a_{min}$

3 «ungenügend» wenn $\alpha_{eff} < 1{,}0$

4 Gemäss Norm SIA 260 «Grundlagen der Projektierung von Tragwerken» [6] definiert als Fehlen einer Eigenschaft, die das Bauwerk nach heute anerkannten Regeln der Baukunde oder gemäss Vereinbarung aufweisen sollte.

# 2 Verfahren

## 2.1 Risikoorientierter Ansatz

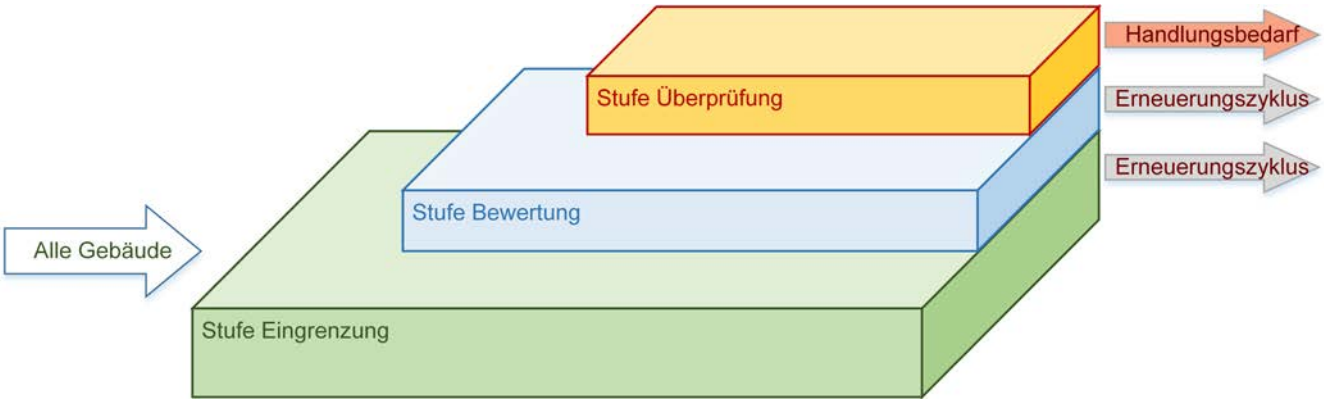
Die vorliegende Verfahrens- und Anwendungshilfe gilt grundsätzlich nur für Gebäude, die in den Geltungsbereich der Normen SIA 261 [1] und SIA 269/8 [2] fallen. Das Verfahren ist risikoorientiert, weil der Eingrenzung und der Priorisierung auf den ersten beiden Stufen sowie der Bestimmung des Handlungsbedarfs auf *Stufe Überprüfung* ein risikobasierter Ansatz zugrunde liegt. Der sogenannte risikobasierte Ansatz zeichnet sich dadurch aus, dass sowohl die Wahrscheinlichkeit eines Gebäudeversagens, als auch die mit dem Versagen einhergehenden Konsequenzen berücksichtigt werden. Mathematisch wird das Risiko in aller Regel als Produkt aus der Wahrscheinlichkeit mit der ein Schaden eintritt und dem daraus folgenden Schadensausmass definiert. Das so definierte Risiko bildet eine wichtige Entscheidungsgrundlage. Folglich werden bei der Priorisierung sowohl die Wahrscheinlichkeit eines Versagens (insbesondere Einsturz) eines Gebäudes, als auch die Ausmasse infolge des Versagens berücksichtigt. Die Wahrscheinlichkeit des Versagens wird durch die lokale Erdbebengefährdung und die Schadensanfälligkeit des Gebäudes in Bezug auf Erdbeben bestimmt. Das Schadensausmass hängt vom Ausmass der betroffenen Werte (Anzahl Personen, Gebäudewert, Sachwerte etc.) ab.

## 2.2 Mehrstufiges, selektives Vorgehen

Die Abbildung 3 zeigt die wesentlichen Zielsetzungen und Inhalte des Verfahrens. Mit jeder Stufe wird die Anzahl der selektierten Gebäude reduziert und die Komplexität des Verfahrens sowie dessen Kosten pro Gebäude steigen.

**Abbildung 3**

**Schematische Darstellung des mehrstufigen Verfahrens**



## 2.3 Anwendungsgrenzen

Je nach Grösse des Gebäudebestands empfiehlt sich eine differenzierte Vorgehensweise. Als Orientierung können folgende Vorgehensweisen und Grenzwerte für die Bestandsgrösse dienen (Tabelle 1).

**Tabelle 1**

**Richtwerte für das Verfahren**

| Anzahl Gebäude | Empfohlenes Vorgehen |
|---|---|
| weniger als 20 Gebäude | Ein mehrstufiges Verfahren ist nicht geeignet. Es ist direkt zu entscheiden, welche Gebäude in welchem Zeitraum zu überprüfen sind. Dieser Entscheid kann/sollte auf einer Priorisierung der Gebäude anhand einer konzeptionellen Beurteilung durch einen im Erdbebeningenieurwesen spezialisierten Bauingenieur basieren. Die Überprüfung der Erdbebensicherheit der nicht priorisierten Gebäude ist im Rahmen des Erneuerungszyklus zu behandeln. |
| 20 bis 500 Gebäude | *Stufe Eingrenzung* durch Triage (siehe Kapitel 3.2.4.1), *Stufe Bewertung, Stufe Überprüfung* |
| mehr als 500 Gebäude | *Stufe Eingrenzung* durch Triage (siehe Abschnitt 3.7.1) und weiterer Filterung (siehe Abschnitt 3.7.2), *Stufe Bewertung, Stufe Überprüfung* |

In grossen Gebäudebeständen können Gruppen von Gebäuden vorhanden sein, die aufgrund ihres hohen Risikopotenzials und/oder der grossen Bedeutung ihrer Funktion umgehend durch einen im Erdbebeningenieurwesen spezialisierten Bauingenieur auf ihre Erdbebensicherheit gemäss der Norm SIA 269/8 [2] überprüft werden sollten. Diese Gebäudegruppen müssen bei der *Stufe Eingrenzung* erkannt werden und sind nicht im Rahmen der *Stufe Bewertung* zu behandeln.

## 2.4 Beauftragung und Aufwand

Grundsätzlich sind für die Umsetzung des mehrstufigen Verfahrens erfahrene Bauingenieure mit vertieften Kenntnissen über bestehende Bausubstanz und einer Spezialisierung im Erdbebeningenieurwesen zu beauftragen, die in der Lage sind realistische Annahmen zu Bauweise, Baustoffen und Tragwerken bestehender Gebäude zu treffen (Tabelle 2). Für die *Stufe Eingrenzung* werden gute Kenntnisse und Erfahrung im Risikodenken und den Eigenheiten von Gebäudebeständen vorausgesetzt. Die *Stufe Bewertung* sollte von einem erfahrenen Bauingenieur mit Kenntnissen im Erdbebeningenieurwesen umgesetzt werden. Die primär quantitative Stufe der Überprüfung der Erdbebensicherheit ist von einem ausgewiesenen im Erdbebeningenieurwesen spezialisierten Bauingenieur zu bearbeiten. Ein Wechsel des beauftragten Bauingenieurs zwischen den Verfahrensstufen *Bewertung* und *Überprüfung* und die Beauftragung von Losen an verschiedene Bauingenieure für diese Stufen werden explizit empfohlen und sind hinsichtlich einer vielseitigeren Betrachtung der Gebäude sinnvoll, wenn entsprechende Meinungsabgleiche unter den Beteiligten durchgeführt werden.

**Tabelle 2**

**Hinweise zur Beauftragung und zum Aufwand**

| Stufe | Erfahrungswerte Aufwand | Erfahrungswerte Aufwand | Einflussfaktoren | Bemerkungen |
|---|---|---|---|---|
| Eingrenzung | 40 – 400 Stunden je nach Menge der zu betrachtenden Gebäude | Erfahrener Bauingenieur | Grösse, Komplexität und Zusammensetzung des Gebäudebestands; Zielsetzung; Verfügbarkeit der Daten über die Gebäude und ihre Nutzung | Bei grossen Gebäudebeständen rechtfertigt sich ein Mehraufwand, um den Gebäudebestand zielführend für die Priorisierung einzugrenzen. |
| Bewertung | 8 Stunden/ Gebäude | Erfahrener Bauingenieur zusammen mit Gebäudeverantwortlichem | Umfang des zu erfassenden Gebäudebestands; Verfügbarkeit der Plangrundlagen resp. anderer Informationsquellen zur Materialisierung der Gebäude; Notwendigkeit von Begehungen | Die Bereitstellung der Plangrundlagen resp. von Informationsträgern bis hin zur Begleitung von Begehungen kann auch auf Seiten des Eigentümers mit erheblichen Kosten verbunden sein. |
| Überprüfung | 4 – 400 Stunden/ Gebäude | Erfahrener im Erdbebeningenieurwesen spezialisierter Bauingenieur | Verfügbarkeit der Plangrundlagen; Vielfältigkeit der Gebäude (Vergleichsbetrachtungen); Komplexität der Gebäude (erforderlicher Detaillierungsgrad der Überprüfung) | Der entscheidende aufwandbestimmende Faktor für die Überprüfung ist die Verfügbarkeit von Plangrundlangen und anderen Informationsquellen zur Materialisierung der Gebäude. Einen grossen Einfluss hat die Notwendigkeit von Bauwerksuntersuchungen und von detaillierten Untersuchungen. |

# 3 Stufe Eingrenzung

*Die Anzahl der zu erfassenden Gebäude ist so einzugrenzen, dass die mit den grössten Risiken behafteten Gebäude möglichst effizient identifiziert und priorisiert werden können.*

## 3.1 Zielsetzung

Diese Stufe dient der Eingrenzung des Gebäudebestands auf eine handhabbare Menge der wichtigsten Gebäude. Dadurch können die Gebäude mit den potenziell grössten Erdbebenrisiken des Gebäudebestands effizient identifiziert werden, um dann stufenweise priorisiert zu werden. Dazu sind die Ziele und Anforderungen des Eigentümers aufzunehmen und im weiteren Verfahrensverlauf zu berücksichtigen.

Die *Stufe Eingrenzung* erfordert einen engen Austausch zwischen dem Eigentümer als Auftraggeber und dem beauftragten Bauingenieur. Die Abbildung 4 zeigt die wesentliche Zielsetzung der *Stufe Eingrenzung.*

## 3.2 Aufgaben des Eigentümers

### 3.2.1 Ansprechperson

Der Eigentümer stellt eine verantwortliche Person für die Durchführung und Begleitung der *Stufe Eingrenzung* zur Verfügung. Es handelt sich vorzugsweise um eine Person, welche den Gebäudebestand gut kennt und in der Lage ist, die Ziele und Rahmenbedingungen des Eigentümers zu vermitteln. Zu den Aufgaben dieser Person gehören unter anderem:

- Beauftragen eines Bauingenieurs
- Zusammenstellung des Gebäudebestands (Auflisten der einzelnen Gebäude)
- Mitwirkung bei der Festlegung der Ziele des Eigentümers
- Unterstützung bei der Grundlagenbeschaffung
- Ermöglichung von Gebäudebegehungen
- Mitwirkung bei der Triage von Gebäuden
- Mitwirkung bei der zusätzlichen Filterung des Gebäudebestands

### 3.2.2 Freigabe von Informationen

Der Eigentümer muss Angaben über die Zusammensetzung seines Gebäudebestands zur Verfügung stellen:

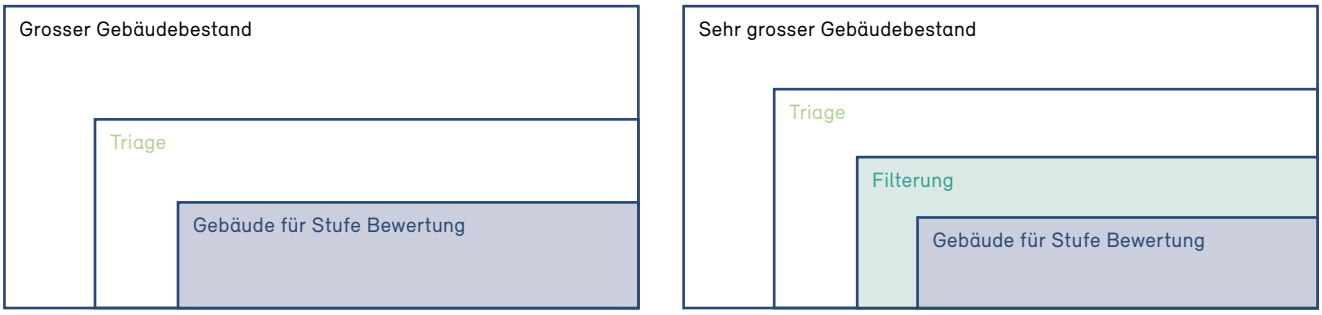
- Umfang der zu erfassenden Gebäude
- weitere Angaben zur Personenbelegung, zum Gebäudewert, zum Wert des Inhalts, zur Nutzung und Funktion, der Bedeutung usw. nach Verfügbarkeit und in Abhängigkeit der betrachteten Schutzgüter
- Angaben zu Plangrundlagen sowie Angaben zur Bauweise, falls verfügbar

### 3.2.3 Mitwirken bei Entscheiden

Der Eigentümer muss sich mit der vom Bauingenieur vorgeschlagenen Liste der Schutzgüter einverstanden erklären und diese fallweise ergänzen oder anpassen. Er muss folglich auch sein Einverständnis geben, dass die benö-

**Abbildung 4**

**Schematische Darstellung der Stufe Eingrenzung mit Triage und allfälliger Filterung**



tigten Informationen für die Erfassung von Kennzahlen zu diesen Schutzgütern eingeholt werden dürfen.

Der Eigentümer muss dem angestrebten Umfang des auf *Stufe Bewertung* zu erfassenden Gebäudebestands zustimmen. Er muss sich weiterhin an der Auswahl jener Gebäude, die für die *Stufe Bewertung* erfasst werden, beteiligen, als auch die Liste jener Gebäude, die zurückgestellt werden, genehmigen.

Der Eigentümer muss über die zeitnahe Umsetzung der *Stufen Bewertung* und *Überprüfung* entscheiden.

## 3.3 Vorgehen bei der Stufe Eingrenzung

Das Vorgehen bei der *Stufe Eingrenzung* beinhaltet in der Regel:

- Beauftragen eines Bauingenieurs
- Klärung der übergeordneten Ziele und Randbedingungen des Eigentümers
- Festlegung der zu betrachtenden Schutzgüter
- Eingrenzung des zu erfassenden Gebäudebestands durch Triage und allfälliger zusätzlicher Filterung
- Dokumentation
- Weiteres Vorgehen: Vorbereitung der nächsten *Stufe Bewertung*

## 3.4 Beauftragen eines Bauingenieurs

Die *Stufe Eingrenzung* ist durch einen erfahrenen Bauingenieur mit guten Kenntnissen und Erfahrung im Erdbebeningenieurwesen zu bearbeiten. Insbesondere wird die Beherrschung des in dieser Verfahrens- und Anwendungshilfe behandelten Verfahrens vorausgesetzt. Der beauftragte Bauingenieur kann sich im Rahmen der *Stufe Eingrenzung* nicht nur auf sein technisches Knowhow verlassen, sondern muss auch in der Lage sein, dem Eigentümer die möglichen Zielsetzungen, den Nutzen, den Spielraum und die Grenzen bei der Anwendung des Verfahrens aufzuzeigen. Es wird empfohlen, dass der für die *Stufe Eingrenzung* beauftragte Bauingenieur, auch die *Stufe Bewertung* durchführt oder zumindest deren Koordination übernimmt.

## 3.5 Übergeordnete Ziele und Randbedingungen des Eigentümers

Es muss vor Beginn des Auftrags geklärt sein, welche inhaltlichen, zeitlichen und finanziellen Ziele der Eigentümer verfolgt und welche eigenen Ressourcen er zur Verfügung stellen kann. Die Kenntnis dieser Ziele ist relevant für:

- die Festlegung der zu betrachtenden Schutzgüter
- die Festlegung des Umfangs des zu erfassenden Gebäudebestands
- die Festlegung von Kriterien für die Triage und allfällige Filterung des Gebäudebestands
- die Festlegung der vom beauftragten Bauingenieur zu erbringenden Leistungen

Die Ziele des Eigentümers werden vorzugsweise im Rahmen des Dialogs zwischen Eigentümer und zu beauftragendem Bauingenieur in der Phase der Offertstellung aufgenommen.

## 3.6 Festlegung der zu betrachtenden Schutzgüter

Die Normen berücksichtigen die folgenden Kategorien von Schutzgütern:

- Personen
- Bedeutende und lebenswichtige Infrastrukturfunktionen
- Umwelt
- Kulturgut
- Bauwerk
- Sachen
- Betrieb

Neben diesen normativ beschriebenen Schutzgütern kann der Eigentümer weitere, für sich wichtige Schutzgüter festlegen. Ist der Eigentümer nicht selbst Nutzer der Gebäude, ist abzuklären, ob es zusätzliche Anliegen der Nutzer gibt, die abzudecken sind. Die betrachteten Schutzgüter müssen in die Triagekriterien (und allfälligen Filterkriterien) der *Stufe Eingrenzung* einfliessen und in der Erhebung für die *Stufe Bewertung* berücksichtigt werden.

## 3.7 Eingrenzung des zu erfassenden Gebäudebestands

In wieweit der Gebäudebestand eingegrenzt werden kann, hängt von den übergeordneten Zielen und Randbedingungen des Eigentümers und den betrachteten Schutzgütern sowie von der Zusammensetzung des Gebäudebestands ab. Grundsätzlich werden grössere Gebäudebestände stärker eingegrenzt, als kleinere, um einen gut handhabbaren Umfang an Gebäuden zu erreichen. Die mehrstufige, selektive Erfassung des Erdbebenrisikos eines Gebäudebestands sollte innert nützlicher Frist abgeschlossen werden. Ansonsten besteht die Gefahr, dass Wissen auf Vorrat erarbeitet wird, welches im Laufe der Zeit rasch überholt und wertlos zu werden droht. Bei sehr grossen Gebäudebeständen befindet sich ohnehin laufend eine grössere Anzahl der Gebäude in der Phase der Erneuerung und es ist wichtig, dass bei dieser Gelegenheit die Frage der Erdbebensicherheit korrekt behandelt wird.

Die Erfassung von Gebäuden, die nicht wichtig sind, ist zu vermeiden. Es handelt sich dabei in der Regel um Gebäude, welche die folgenden Merkmale aufweisen:

- Geringe Personenbelegung
- Keine besondere Funktion
- Generell geringe Werte

Ebenso sind Gebäude nicht zu erfassen, bei denen eine umgehende Verbesserung der Erdbebensicherheit nicht nötig oder in nächster Zeit nicht realisierbar ist. Kriterien dafür sind:

- eine umfangreiche Instandsetzung des Gebäudes hat unlängst stattgefunden;
- das Gebäude wird demnächst ausser Betrieb gesetzt oder abgebrochen;
- beim Bau des Gebäudes wurden die geltenden Normanforderungen an die Erdbebensicherheit eingehalten;
- das Gebäude wurde überprüft und die Erdbebensicherheit ist bereits bekannt.

Bei der Zusammenstellung der zu erfassenden Gebäude sollten zudem weitere Kriterien berücksichtigt werden, welche auf eigentümerseitigen Kenntnissen der Gebäude beruhen. Dies können folgende Kriterien sein:

- hohe Personenbelegung möglich
- vermuteter Mangel der Erdbebensicherheit
- bevorstehende Instandsetzung, Änderung etc.

Die *Stufe Eingrenzung* des Gebäudebestands erfolgt, gestützt auf die betrachteten Schutzgüter, in der Regel mithilfe einer Triage. Bei sehr grossen Gebäudebeständen und wenn nach einer Triage immer noch im Vergleich zur Zielsetzung des Eigentümers zu viele Gebäude für die *Stufe Bewertung* erfasst werden müssten, wird eine weitere Reduktion des relevanten Gebäudebestands mithilfe einer Filterung empfohlen.

### 3.7.1 Triage

*Als erstes werden die sehr bedeutenden Gebäude identifiziert und die unbedeutenden Gebäude zurückgestellt.*

Als **Triage** wird die Eingrenzung des zu erfassenden Gebäudebestands mithilfe von **qualitativen Kriterien** (primär Gebäudekategorien) verstanden.

Die Triage verfolgt zwei Zielsetzungen:

- Die Identifizierung von sehr bedeutenden Gebäuden, die direkt vertieft untersucht, also einer Überprüfung gemäss der Norm SIA 269/8 [2], unterzogen werden müssen.
- Die Identifizierung von unbedeutenden Gebäudekategorien, die zurückgestellt und nicht auf *Stufe Bewertung* erfasst werden.

Die Gebäude, die weder als sehr bedeutend noch als unbedeutend identifiziert worden sind, werden für die *Stufe Bewertung* selektiert.

Die Normen definieren Bauwerksklassen zur Differenzierung des Schutzgrades basierend auf den Schutzgütern. Diese Bauwerksklassen können als Triagekriterien verwendet werden. Die Tabelle 3 enthält mögliche Triagekriterien und Beispiele für sehr bedeutende Gebäude, die vorrangig zu behandeln und direkt einer Überprüfung der Erdbebensicherheit gemäss der Norm SIA 269/8 [2] unterzogen werden sollten.

**Tabelle 3**

**Mögliche Triagekriterien für sehr bedeutende Gebäude**

| Kategorie | Kriterien/Beispiele | Priorisierung |
|---|---|---|
| Gebäude BWK III gemäss SIA 261 [1] | Für eine lebenswichtige Infrastrukturfunktion unverzichtbare Gebäude:<br>· Akutspital<br>· Feuerwehrstützpunkt<br>· Einsatzzentrale Polizei | Überprüfung gemäss SIA 269/8 [2] |
| Gebäude BWK II-s gemäss SIA 269/8 [2] | Schulen | Überprüfung gemäss SIA 269/8 [2] |
| Gebäude BWK II-i gemäss SIA 269/8 [2] | Für eine bedeutende Infrastrukturfunktion massgebende Gebäude:<br>· Gebäude mit massgebender Funktion für die Verkehrsinfrastruktur, Telekommunikation etc. | Überprüfung gemäss SIA 269/8 [2] |
| Für den Eigentümer besonders wichtige Gebäude | · Rechenzentrum<br>· Hauptsitz eines Unternehmens<br>· Zentrale Produktionsstätte | Überprüfung gemäss SIA 269/8 [2] |

**Tabelle 4**

**Mögliche Triagekriterien für das Zurückstellen unbedeutender Gebäude**

| Kategorie | Kriterien/Beispiele |
|---|---|
| Geringe Personengefährdung | Einfamilienhäuser, kleine Mehrfamilienhäuser oder Gebäude, die die Anforderungen gemäss Norm SIA 269/8 [2], Ziffer 9.4.5, erfüllen, z. B. Garage, Scheune, Schuppen |
| Unbedeutende Gebäude | Gebäude, die in Bezug auf die betrachteten Schutzgüter nicht relevant sind |

Die Tabelle 4 enthält mögliche Triagekriterien für unbedeutende Gebäude, die zurückgestellt und nicht erfasst werden. Diese Gebäude sind im Rahmen des Erneuerungszyklus (Instandsetzung, Erneuerung, Veränderung des Gebäudes oder Teilen davon) zu behandeln.

Wenn sich die Anzahl der für die *Stufe Bewertung* zu erfassenden Gebäude mithilfe der Triage nicht effektiv genug reduzieren lässt, kann eine zusätzliche Filterung empfohlen sein. Die Filterung ist insbesondere bei sehr grossen Gebäudebeständen (> 500 Gebäude) sinnvoll.

### 3.7.2 Filterung

Unter **Filterung** wird die weitere Eingrenzung des Gebäudebestands nach Triage **mithilfe quantitativer Kriterien** verstanden.

Die einfachste Form der Filterung benützt den Gebäudewert als einziges Filterkriterium. Der Gebäudewert liegt meist als Versicherungswert oder als Ersatzwert vor. Der Entscheid über zu erfassende und zurückzustellende Gebäude kann auf der Basis einer nach dem Gebäudewert absteigend sortierten Liste erfolgen. Eine grafische Darstellung dieser Liste kann zusätzlich helfen. Es sollen so viele Gebäude zurückgestellt werden, bis die gewünschte Zahl zu erfassender Gebäude verbleibt.

Bei grösseren Gebäudebeständen und wenn es die betrachteten Schutzgüter erfordern, sollten mehrere Filterkriterien verwendet werden. Das Vorgehen ist dann aber auch aufwändiger und setzt die Verfügbarkeit der benötigten Daten und die finanziellen und personellen Ressourcen für die Filterung voraus. Anhang A beschreibt das methodische Vorgehen in diesem Fall.

Der Eigentümer bespricht die Filterkriterien, das Vorgehen zur Auswahl der Gebäude die auf *Stufe Bewertung* erhoben werden sollen und jener Gebäude, die nicht erho-

ben werden sollen, mit dem beauftragten Bauingenieur. Der Eigentümer sieht die Liste der für die *Stufe Bewertung* ausgewählten Gebäude durch und gibt sein Feedback dazu. Bei der Besprechung des Eigentümers mit dem beauftragten Bauingenieur geht es um folgende wichtige Punkte:

- Sind die Schutzziele des Eigentümers angemessen berücksichtigt?
- Gibt es zusätzlich Gebäude, welche der Eigentümer explizit berücksichtigen möchte?
- Gibt es Gebäude, die der Eigentümer auf alle Fälle zurückstellen möchte?
- Ist dem Eigentümer bewusst, dass die zurückgestellten Gebäude nicht genügend erdbebensicher sein können und folglich im Erneuerungszyklus behandelt werden müssen?

## 3.8 Dokumentation

Die Arbeiten des beauftragen Bauingenieurs sind in einem kurz gehaltenen Bericht zu dokumentieren. Der Bericht hat folgenden Inhalt:

- Ansatz und Vorgehen
- Vorgehen bei der Auswahl der Gebäude für die *Stufe Bewertung* und das Zurückstellen von Gebäuden
- Beschlüsse mit dem Eigentümer
- Weiteres Vorgehen
- Liste von sehr bedeutenden Gebäuden, die direkt einer Überprüfung gemäss der Norm SIA 269/8 unterzogen werden
- Definitive Liste der Gebäude für die *Stufe Bewertung*
- Definitive Liste der zurückgestellten (unbedeutenden) Gebäude für die systematische Berücksichtigung im Erneuerungszyklus

## 3.9 Weiteres Vorgehen

Ein wesentliches Element bei der Vorbereitung der *Stufe Bewertung* ist die Anpassung des Erhebungsblatts (siehe Anhang B) an die betrachteten Schutzgüter. Eine Mustervorlage des Erhebungsblatts kann Anhang B entnommen werden. Das Erhebungsblatt deckt die Schutzgüter Personen, Bauwerkswert, wertvolle Güter und Einrichtungen (Sachwerte) ab. Grundsätzlich sind Erweiterungen oder Anpassungen für die Erhebung netz- oder linienfunktionaler, umweltrelevanter sowie kultureller Indikatoren möglich.

Eine Anpassung des Erhebungsblatts ist dann angezeigt, wenn der Eigentümer weitere relevante Schutzgüter berücksichtigen will. Der Leitfaden zur *Stufe Bewertung* (siehe Anhang B) liefert hierzu verschiedene Ansätze.

# 4 Stufe Bewertung

## 4.1 Zielsetzung

*Die Zielsetzung der risikoorientierten Stufe Bewertung besteht darin, mithilfe von sogenannten Risikokennzahlen die Gebäude mit den mutmasslich grössten Erdbebenrisiken zu identifizieren und für eine Überprüfung der Erdbebensicherheit zu priorisieren.*

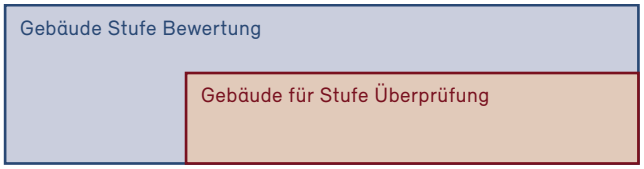
Diese Stufe ermöglicht die risikoorientierte Priorisierung der aufgrund der *Stufe Eingrenzung* zu erfassenden Gebäude (Abbildung 5). Die potenziell mit den grössten Risiken behafteten Gebäude werden identifiziert und für die weitere eingehende Überprüfung priorisiert. Diese grobe Risikobewertung ermöglicht grundsätzlich nur Vergleiche zwischen Gebäuden, jedoch keine absolute Aussage zur Erdbebensicherheit einzelner Gebäude.

Die *Stufe Bewertung* sollte «am Schreibtisch» stattfinden. Begehungen oder detailliertes Planstudium sollten wegen des grossen zeitlichen Aufwands die Ausnahme sein. Die *Stufe Bewertung* stützt sich auf das in Anhang B beschriebene risikobasierte Konzept sowie folgenden Grundgedanken, Vorgaben, Anforderungen und Randbedingungen:

- Die Beurteilung erfolgt grundsätzlich anhand von Architektenplänen.
- Zusätzlich benötigte Informationsquellen sind entweder eine Person, die das Gebäude kennt, falls vorhanden Ingenieurpläne oder ausnahmsweise eine Begehung.
- Die grobe Risikoabschätzung soll zumindest die direkten Personenschäden sowie weitere vom Eigentümer definierte Schutzgüter einbeziehen.

**Abbildung 5**

**Schematische Darstellung der Bewertung**




Der methodische Leitfaden für den beauftragten Bauingenieur sowie eine Mustervorlage des Erhebungsblatts findet sich in Anhang B.

Bei kleinen Gebäudebeständen (≤ 20 Gebäude) ist die *Stufe Bewertung* nicht anzuwenden (siehe Tabelle 1). Die Anwendung der *Stufe Bewertung* für einige wenige oder gar nur ein einzelnes Gebäude ist unsinnig, da sie keine Aussage zur Erdbebensicherheit zulässt.

## 4.2 Aufgaben des Eigentümers

### 4.2.1 Ansprechperson

Die Anforderungen sind analog zu Abschnitt 3.2.1 der *Stufe Eingrenzung.*

### 4.2.2 Entscheide des Eigentümers

Die Prioritätenlisten, das Vorgehen zur Auswahl der Gebäude die überprüft werden sollen und jene die nicht überprüft werden sollen, sind mit dem Eigentümer zu besprechen. Der Eigentümer sieht beide Listen durch und gibt sein Feedback dazu. Es geht bei der Besprechung mit dem Eigentümer um die folgenden wichtigen Punkte:

- Sind die Schutzgüter des Eigentümers angemessen berücksichtigt?
- Gibt es zusätzlich Gebäude, welche der Eigentümer explizit berücksichtigen möchte? Beispielsweise sollten Gebäude berücksichtigt werden bei welchen ein Bauvorhaben geplant ist.
- Ist dem Eigentümer bewusst, dass die zurückgestellten Gebäude nicht genügend erdbebensicher sein können und folglich im Erneuerungszyklus behandelt werden müssen?
- Gibt es Gebäude, die der Eigentümer auf alle Fälle nicht behandeln möchte? Beispielsweise sollten Gebäude zurückgestellt werden, bei welchen in naher Zukunft eine Liquidation geplant ist oder die sich (mittlerweile) bereits in einem laufenden Projekt befinden und in dessen Rahmen überprüft werden.

## 4.3 Vorgehen bei der Stufe Bewertung

Das Vorgehen bei der *Stufe Bewertung* beinhaltet in der Regel:

- Beauftragen eines Bauingenieurs
- Grundlagenbeschaffung
- Risikobewertung mithilfe von Kennzahlen
- Auswertung der Ergebnisse und die Priorisierung für die *Stufe Überprüfung*
- Dokumentation
- Weiteres Vorgehen: Vorbereitung der nächsten *Stufe Überprüfung*

## 4.4 Beauftragen eines Bauingenieurs

Die *Stufe Bewertung* ist durch einen erfahrenen Bauingenieur mit guten Kenntnissen und Erfahrung im Erdbebeningenieurwesen zu bearbeiten. Je nach Verfügbarkeit und Qualität der Grundlagen und allfällig notweniger Begehungen liegen die Erfahrungswerte für den zeitlichen Aufwand bei durchschnittlich einem Tag pro Gebäude.

Das BAFU empfiehlt, dass der Bauingenieur, der die *Stufe Eingrenzung* erarbeitet, auch mit der Durchführung der *Stufe Bewertung* beauftragt wird oder zumindest mit deren Koordination.

Bei einem sehr grossen Gebäudebestand, ist es unter Umständen empfehlenswert mehrere Ingenieurbüros zu beauftragen. Das bedeutet auf der einen Seite in der Regel einen grösseren Koordinationsaufwand und eine Abstimmung der Beurteilung. Auf der anderen Seite entsteht aber ein grosser Nutzen dadurch, dass die vergleichende Bewertung der Gebäude durch Einbezug einer fundierten Zweitmeinung robuster wird.

## 4.5 Grundlagenbeschaffung

Vor allem bei umfangreichen Gebäudebeständen ist die Beschaffung der benötigten Grundlagen durch den Bauingenieur mit einem erheblichen Aufwand verbunden. Die benötigten Angaben für die Risikobewertung müssen grundsätzlich vom Eigentümer zur Verfügung gestellt oder von ihm abgefragt werden können.

## 4.6 Risikobewertung mithilfe von Kennzahlen

Für die grobe Risikobewertung werden sogenannte Kennzahlen erhoben. Mit den Kennzahlen werden die für das Erdbebenverhalten massgebenden Eigenschaften des Gebäudes und die entsprechende Gefährdung von Personen und weiteren Schutzgütern bewertet. Die Risikobewertung erfolgt mithilfe des Erhebungsblatts im Anhang B. Sie basiert auf dem Konzept, wonach das Erdbebenrisiko vereinfacht als Produkt von **Schadenswahrscheinlichkeit und Schadensausmass** verstanden wird. Die für die Risikobewertung erhobenen Risikokennzahlen basieren auf der Multiplikation von **Schadenswahrscheinlichkeitskennzahlen** und **Ausmasskennzahlen.**

Die **Schadenswahrscheinlichkeitskennzahl** bildet die Schadensanfälligkeit (Verletzlichkeit) eines Gebäudes bei einem Erdbeben ab. Sie ist das Produkt aus der Kennzahl für die lokale Erdbebengefährdung und der Kennzahl für die Schadensanfälligkeit des Gebäudes bei einem Erdbeben.

Die **Ausmasskennzahl** erfasst die potenziellen Schäden, die durch einen auf Erdbeben zurückzuführenden Gebäudeschaden hervorgerufen würden. Mit der Kennzahl für das Schadensausmass werden in Abhängigkeit der betrachteten Schutzgüter zum Beispiel die potenziellen Ausmasse an Personenschäden oder Gebäudeschäden erhoben.

Durch Multiplikation der Schadenswahrscheinlichkeitskennzahlen und der Ausmasskennzahlen werden die für die Priorisierung massgebenden **Risikokennzahlen** ermittelt (Abbildung 6).

**Abbildung 6**

**Ermittlung der Risikokennzahlen RZ bei der Priorisierung**

## 4.7 Auswertung der Ergebnisse und Priorisierung für die Überprüfung

Die Kennzahlen der *Stufe Bewertung* dienen lediglich der Priorisierung für die *Stufe Überprüfung.* Die mit Kennzahlen bewerteten Gebäude werden nach ihren Risikokennzahlen in absteigender Reihenfolge sortiert. Das Ergebnis sind Prioritätenlisten. Diese stellen das einem Gebäude zuzuordnende Risiko in Bezug auf die betrachteten Schutzgüter in den Vordergrund. Die Erfahrung aus der Risikobewertung zahlreicher Gebäudebestände zeigt, dass es zu jeder Kennzahl eine Gruppe von Gebäuden gibt, die wesentlich höhere Kennzahlen aufweist, als die Mehrzahl aller Gebäude. Bei diesen Gebäuden ist die Priorisierung anzusetzen. Diese Gebäude sind auf einer separaten Liste festzuhalten und dann ist darüber zu entscheiden, welche Gebäude überprüft werden sollen.

Wenn mit dem Eigentümer bereits festgelegt wurde, wie viele Gebäude überprüft werden sollen, kann die Priorisierung in analoger Weise wie bei der Filterung erfolgen (siehe Anhang A). Das BAFU empfiehlt die Personenrisiken höher zu gewichten. Wenn der Eigentümer noch nicht festgelegt hat, wie viele Gebäude überprüft werden sollen, dann muss der Bauingenieur einen Vorschlag machen. Anhang B gibt hierzu Empfehlungen zur Prioritätensetzung (siehe Kapitel B.5).

## 4.8 Dokumentation

Der beauftrage Bauingenieur dokumentiert die Arbeiten in einem kurz gehaltenen Bericht.

Der Bericht besteht grob aus den folgenden Elementen:

- Ansatz und Vorgehen
- Kriterien der Priorisierung sowohl für die Überprüfung als auch für die Zurückstellung der Gebäude
- Beschlüsse mit dem Eigentümer
- Weiteres Vorgehen
- Definitive Liste der Gebäude für die *Stufe Überprüfung*
- Definitive Liste der zurückgestellten Gebäude
- Erhebungsblätter der bewerteten Gebäude
- Wesentliche Informationen zur Auswertung der Erhebungsblätter

## 4.9 Weiteres Vorgehen

Die priorisierten Gebäude sind anschliessend der *Stufe Überprüfung* zuzuführen. Der zeitliche Rahmen für die Überprüfungsetappen sollte sich an bekannten Fristvorgaben aus dem Portfoliomanagement orientieren (beispielsweise innert 2 Jahren oder innert 5 Jahren).

Falls zahlreiche Gebäude für die *Stufe Überprüfung* priorisiert worden sind, hat der Eigentümer über zusätzliche Abklärungen zu entscheiden, die eine zeitliche Staffelung der Überprüfungen vereinfachen. Dem mit solchen Abklärungen beauftragten Bauingenieur können zum Beispiel folgende Aufgaben übertragen werden:

- Staffelung anhand der Ergebnisse der Kennzahlen
- Berücksichtigung geplanter Bauvorhaben
- Einfluss durch Budgetrestriktion auf Eigentümerseite
- Grundlagenrecherche
- Grundlagenstudium und bei Bedarf Begehung der Gebäude
- Grobanalyse der Schwachstellen der Gebäude in Bezug auf die Erdbebensicherheit
- Abschätzung des Aufwands für die Überprüfungen
- Priorisierung der Überprüfungen

Ein grösserer Teil der Gebäude wird nicht priorisiert und zurückgestellt. Der Eigentümer sorgt gemäss dem übergeordneten Konzept (siehe Kapitel 1.2) dafür, dass die Erdbebensicherheit dieser Gebäude im Erneuerungszyklus berücksichtigt wird.

*Die Anwendung der Stufe Bewertung liefert keine Aussage zur Erdbebensicherheit eines einzelnen Gebäudes und ist methodisch nicht korrekt.*

# 5 Stufe Überprüfung

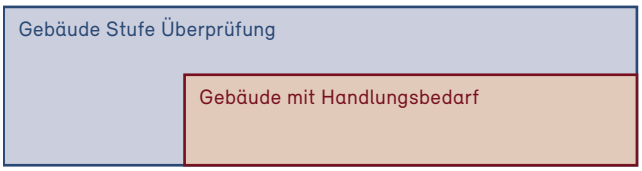
## 5.1 Zielsetzung

*Die auf Stufe Bewertung priorisierten Gebäude werden auf ihre Erdbebensicherheit hin überprüft und Empfehlungen für allfällig notwendige Erdbebensicherheitsmassnahmen erarbeitet. Grundlage bildet die Norm SIA 269/8 [2].*

Auf dieser Stufe wird durch eine Überprüfung die Erdbebensicherheit der priorisierten Gebäude untersucht und eine Massnahmenempfehlung erarbeitet. Die Ergebnisse der Überprüfung münden in eine für den Eigentümer verständliche Formulierung des Handlungsbedarfs, der bei der Erhaltungsplanung zu berücksichtigen ist (Abbildung 7).

**Abbildung 7**

**Schematische Darstellung der Überprüfung**




Die Ausführungen in diesem Kapitel beschränken sich auf besondere Hinweise für die Überprüfung der Erdbebensicherheit mit der Erarbeitung von allfällig notwendigen Massnahmenempfehlungen im Rahmen einer selektiven, mehrstufigen Erfassung des Erdbebenrisikos grosser Gebäudebestände.

Grundsätzlich stehen die normativen Anforderungen an den Schutz von Personen, der Infrastrukturfunktion, der Umwelt sowie des kulturellen Werts im Vordergrund. Diese können durch Anforderungen des Eigentümers hinsichtlich weiterer Schutzgüter ergänzt werden.

## 5.2 Aufgaben des Eigentümers

Bevor mit der Überprüfung der priorisierten Gebäude begonnen wird, sollte sich der Eigentümer abschliessend zu den Parametern äussern, die den wesentlichsten Einfluss auf den weiteren Handlungsbedarf haben werden.

Zunächst ist mit dem beauftragten Bauingenieur definitiv festzulegen, welche Schutzgüter betrachtet und bei der Beurteilung der Verhältnismässigkeit gemäss Anhang E der Norm SIA 269/8 [2] berücksichtigt werden (siehe Anhang C).

Direkt mit den betrachteten Schutzgütern verknüpft ist die Bauwerksklasse, die die grundsätzlichen Anforderungen an das Gebäude festgelegt. Eigentümer grosser Gebäudebestände können aufgrund ihrer Erfahrung die Bauwerksklasse vorgeben. In der Regel wird aber der beauftragte Bauingenieur, gestützt auf seine Kenntnisse der Nutzung und der Funktion eines Gebäudes einen entsprechenden mit den Normen SIA 261 [1] und SIA 269/8 [2] verträglichen Vorschlag machen.

Ein letzter wesentlicher Faktor ist die definitive Festlegung der Restnutzungsdauer, also der Lebensdauer, der zu überprüfenden Gebäude. Diese Zeitdauer ist direkt mit dem Gebäudewert, der Nutzung und den geplanten Investitionen in das Gebäude verbunden.

Alle drei Faktoren sind vom Immobilienmanagement beeinflusst. Bestehen bei einem Gebäude strategische Ziele, die mit einer Funktionsänderung einhergehen, kann das einen erheblichen Einfluss auf die betrachteten Schutzgüter und die Festlegung der Bauwerksklasse haben. Die Tabelle 5 zeigt Beispiele.

**Tabelle 5**
**Anpassung der Bauwerksklasse (BWK) in Abhängigkeit von Nutzungsänderungen**

| Beispiel | Vorher | Nachher |
|---|---|---|
| Beispiel 1 | Funktion: Lagerhalle<br>Schutzgut: Personen<br>BWK I | Hauptproduktionshalle<br>Personen, Betrieb, Bauwerk, Sachen<br>BWK II |
| Beispiel 2 | Funktion: Verwaltungsgebäude<br>Schutzgut: Personen<br>BWK II | Schule<br>Personen<br>BWK II-s |
| Beispiel 3 | Funktion: Wohngebäude<br>Schutzgut: Personen<br>BWK I | Museum<br>Personen, Sachen, kulturelle Werte<br>BWK II |
| Beispiel 4 | Funktion: Spital Administration<br>Schutzgut: Personen<br>BWK I | Spital Krisenintervention<br>Lebenswichtige Infrastrukturfunktion<br>BWK III |
| Beispiel 5 | Funktion: Verwaltungsgebäude Stromversorger<br>Schutzgut: Personen<br>BWK I | Rechenzentrum Stromversorger<br>Bedeutende Infrastrukturfunktion<br>BWK II-i |

## 5.3 Vorgehen bei der Stufe Überprüfung

Das Vorgehen bei der *Stufe Überprüfung* beinhaltet in der Regel:

- Beauftragen eines Bauingenieurs
- Überprüfung der Erdbebensicherheit gemäss der Norm SIA 269/8 [2]
- Auswertung der Ergebnisse und Empfehlungen für das weitere Vorgehen
- Planung des weiteren Vorgehens

## 5.4 Beauftragen eines Bauingenieurs

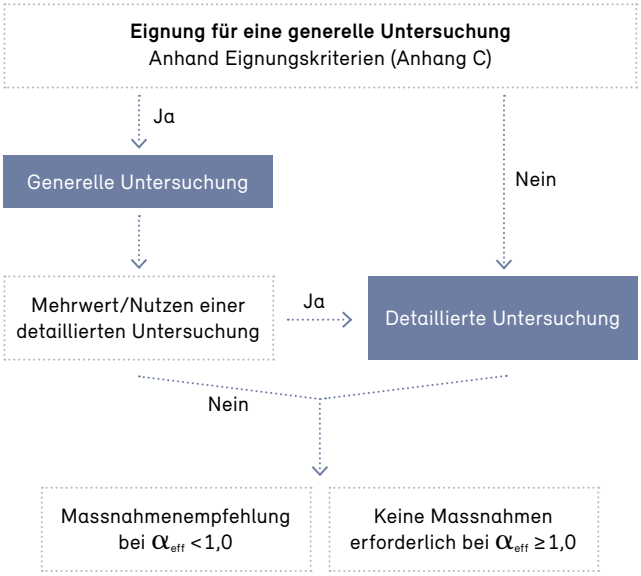
Die *Stufe Überprüfung* ist durch einen im Erdbebeningenieurwesen spezialisierten und erfahrenen Bauingenieur zu bearbeiten. Es wird vorausgesetzt, dass der Beauftragte die Norm SIA 269/8 [2] kennt und sie anzuwenden weiss sowie vertraut ist mit den modernen Methoden der Überprüfung. Nur so können nötige Massnahmen zur Verbesserung der Erdbebensicherheit aufgezeigt und unnötige kostspielige Massnahmen vermieden werden. Je nach Grad der Detaillierung der Untersuchung, der Verfügbarkeit und Qualität der Grundlagen und der allfällig notwendigen Bauwerksuntersuchungen liegen die Erfahrungswerte für den zeitlichen Aufwand bei bis 80 Stunden pro Gebäude. Es wird grundsätzlich davon ausgegangen, dass der Bauingenieur, welcher mit der Überprüfung der Erdbebensicherheit beauftragt ist, auch beim weiteren Vorgehen zumindest beratend beigezogen wird.

## 5.5 Überprüfung der Erdbebensicherheit gemäss der Norm SIA 269/8

Die Überprüfung erfolgt gemäss der Norm SIA 269 [5] grundsätzlich stufenweise mit zunehmender Vertiefung. Sie besteht zunächst aus einer generellen Untersuchung, der bei Bedarf eine oder mehrere detaillierte Untersuchungen mit steigendem Vertiefungsgrad folgen. Die generelle Untersuchung erstreckt sich auf das gesamte Tragwerk einschliesslich aller Bauteile, bei deren Versagen eine Gefährdung der betrachteten Schutzgüter erkennbar ist. Jede Untersuchungsstufe besteht gemäss der Norm SIA 269/8 [2] aus einer Zustandserfassung, einer konzeptionellen und konstruktiven Beurteilung, einer rechnerischen Untersuchung und Beurteilung der Erdbebensicherheit sowie einer Massnahmenempfehlung. Der Vertiefungsgrad ist insbesondere abhängig von den erlangten Resultaten zur Erdbebensicherheit. Ergibt sich aus der generellen Untersuchung ein Niveau der Erdbebensicherheit, dass unter den Minimalanforderungen (Ziffer 9.1.6, Tabelle 1) der SIA 269/8 [2] liegt, sollte der Vertiefungsgrad in Anhängigkeit seines Mehrwerts und Nutzen auf die erlangten Resultate zur Erdbebensicherheit beurteilt werden. Die Abbildung 8 zeigt das Ablaufschema der Überprüfung.

**Abbildung 8**

**Ablaufschema der Überprüfung gemäss Normen SIA 269 [5] und 269/8 [2]**




Das Ergebnis der Überprüfung der Erdbebensicherheit des Ist-Zustands der priorisierten Gebäude ist der sogenannte Erfüllungsfaktor $\alpha_{eff}$. Ist der Erfüllungsfaktor $\alpha_{eff} \geq 1{,}0$, ist die Erdbebensicherheit des überprüften Gebäudes genügend. Ist der Erfüllungsfaktor $\alpha_{eff} < 1{,}0$, ist die Erdbebensicherheit ungenügend. Ist der Erfüllungsfaktor $\alpha_{eff}$ < Mindesterfüllungsfaktor $\alpha_{min}$ (minimal erforderliches Sicherheitsniveau für bestehende Gebäude, Personenrisiko = Sicherheitsansprüche des Individuums = Individualrisiko akzeptierbar), ist die Erdbebensicherheit mangelhaft.

## 5.6 Auswertung der Ergebnisse und Massnahmenempfehlung

Ergibt sich aus der Überprüfung eines Gebäudes eine mangelhafte Erdbebensicherheit ($\alpha_{eff} < \alpha_{min}$), sind Erdbebensicherheitsmassnahmen erforderlich. Ergibt sich ein ungenügendes Niveau für die Erdbebensicherheit ($\alpha_{min} < \alpha_{eff} < 1{,}0$), ist die Verhältnismässigkeit verbessernder Massnahmenkonzepte zu beurteilen. Die Verhältnismässigkeit der Erdbebensicherheitsmassnahmen wird durch die Gegenüberstellung ihres Nutzens und ihrer Kosten beurteilt. Ist die normativ geforderte Erdbebensicherheit gemäss Überprüfung fast oder gänzlich erfüllt ($\alpha_{eff} \sim 1{,}0$), sind keine Massnahmen erforderlich.

Es wird eine über alle untersuchten Gebäude standardisierte Berichterstattung der Überprüfung empfohlen. Die Ergebnisse der Überprüfung sollten dem Eigentümer in Form einer Priorisierung mit Massnahmenempfehlung abgegeben werden (Tabelle 6).

**Tabelle 6**

**Priorisierung und Massnahmenempfehlung**

| Bereich | Nach genereller Untersuchung | Nach detaillierter Untersuchung |
|---|---|---|
| 1. Priorität | $\alpha_{eff} < \alpha_{min}$ | Erforderliche Erdbebensicherheitsmassnahmen zeitnah umsetzen |
| 2. Priorität | $\alpha_{min} < \alpha_{eff} < 1{,}0$ | Verhältnismässige Erdbebensicherheitsmassnahmen spätestens in zukünftigem Instandsetzungs- oder Veränderungsvorhaben umsetzen (allfälliges Synergiepotential mit Ohnehin-Massnahmen) |
| 3. Priorität | $\alpha_{ef} \geq 1{,}0$ | Sicherstellen, dass bei künftigen Instandsetzungs- und Veränderungsvorhaben die Erdbebensicherheit nicht verringert (< 1,0) wird |

## 5.7 Planung des weiteren Vorgehens

Es ist wesentlich, dass die gewonnenen Erkenntnisse vom Eigentümer verarbeitet werden und alle Ergebnisse aus der mehrstufigen, selektiven Erfassung entweder, falls vorhanden, in der Datenbank des Portfolios oder sonst in den Bauwerksakten eingespiesen werden. Dadurch soll die Verknüpfung zwischen Portfolio-/Facility Management und Projektmanagement vollzogen und ein korrekter Umgang in der weiteren Planung am Objekt in Bezug auf die Erdbebensicherheit sichergestellt werden.

Grundsätzlich sind folgende Informationen zu unterscheiden:

- Gebäude wurde nicht erfasst und zurückgestellt: Erdbebensicherheit im Rahmen des Erneuerungszyklus untersuchen;
- Für das Gebäude ist nur die *Stufe Bewertung* vorhanden: Erdbebensicherheit im Rahmen des Erneuerungszyklus untersuchen, oder;
- Das Gebäude wurde überprüft: Überprüfung der Erdbebensicherheit liegt vor; weiteres Vorgehen entsprechend festgestelltem Handlungsbedarf.

# 6 Hinweise zum Umgang mit dem Handlungsbedarf

## 6.1 Handlungsbedarf konkretisieren

Nach der selektiven, mehrstufigen Erfassung ist es für den Eigentümer in der Folge notwendig zu entscheiden, wie er mit dem aufgezeigten Handlungsbedarf umgehen soll. Je nach Grösse des Handlungsbedarfs ist es sinnvoll, die aus der Überprüfung als mangelhaft ($\alpha_{eff} < \alpha_{min}$) identifizierten Gebäude für die Projektierung von Massnahmen anhand folgender Aspekte zu priorisieren:

- Bereits geplante Bauvorhaben an identifizierten Gebäuden im Erneuerungszyklus
- Umfang der erforderlichen Massnahmen (für $\alpha_{eff} < \alpha_{min}$)
- Grössenordnung der Gesamtkosten der Massnahmen (Rohbaukosten plus Folgekosten)
- Schadenspotenzial
- Weitere kostenrelevante Folgen (Nutzungsbeeinträchtigung)
- Vorhandensein weiterer Bedürfnisse (aus Brandschutz, Haustechnik, Schallschutz, etc.) um Synergien mit Erdbebensicherheitsmassnahmen zu nutzen
- Entwicklungspotenzial der Gebäude innerhalb des Bestands
- Mögliche betrieblich-organisatorische Massnahmen

## 6.2 Erarbeitung von Massnahmenkonzepten

Besteht bei einem Gebäude Handlungsbedarf und Erdbebensicherheitsmassnahmen sind erforderlich, ist ein Bauingenieur mit der Erarbeitung eines Massnahmenkonzepts zu beauftragen, das bezüglich Inhalt und Umfang der Projektierungsstufe Vorprojekt entspricht [5] [8] [9]. Diese Erarbeitung geschieht idealerweise innerhalb eines Planerteams bestehend aus Bauingenieur, Architekt und Ingenieuren der Bereiche Gebäudetechnik, Maschinenbau und Elektrotechnik und in Zusammenarbeit mit dem Eigentümer und dem Gebäudenutzer respektive deren Vertretern.

Das Konzept basiert auf der Massnahmenempfehlung aus dem Ingenieurbericht der Überprüfung und ist die Optimierung verschiedener Verbesserungsvarianten. Im Weiteren ist das Konzept auf Stufe Bauprojekt zu einem Massnahmenprojekt auszuarbeiten und zu realisieren. Schliesslich wird eine Dokumentation der ausgeführten Erdbebensicherheitsmassnahmen den Bauwerksakten beigefügt und die Nutzungsvereinbarung erstellt oder aktualisiert.

## 6.3 Arten von Erdbebensicherheitsmassnahmen

Erdbebensicherheitsmassnahmen können betrieblicher-organisatorischer und baulicher Natur sein. Mit betrieblich-organisatorischen Erdbebensicherheitsmassnahmen kann die Risikoreduktion durch eine geringere Personenbelegung oder eine weniger wichtige Funktion des Gebäudes erreicht werden. Mögliche betriebliche Erdbebensicherheitsmassnahmen sind neben einer Nutzungseinschränkung oder einer vollständigen Nutzungsänderung, auch eine Ausserbetriebnahme oder der Rückbau eines Gebäudes. Das primäre Ziel baulicher Erdbebensicherheitsmassnahmen ist die Eliminierung der Schwachstelle(n) des Bauwerks bezüglich Erdbebenverhalten. Dies kann durch verschiedene Interventionsstrategien realisiert werden. Die klassische Strategie ist die Verstärkung des bestehenden Tragwerks durch neue Bauteile oder durch Verstärkung bestehender Bauteile, zum Beispiel durch neue Stahlbetonwände oder Stahlfachwerke. Bauliche Massnahmen können auch die Verformbarkeit spröder Bauteile, wie zum Beispiel Mauerwerkswände, verbessern oder das Tragwerk bewusst schwächen [10].

Erfahrungswerte in der Schweiz für die Verbesserung der Erdbebensicherheit eines einzelnen Gebäudes zeigen einen Kostenanteil von durchschnittlich 5 bis 10 % des Gebäudewertes. Die Kosten für Erdbebensicherheitsmassnahmen hängen grundsätzlich vom angestrebten Sicherheitsziel und den jeweiligen Projektrandbedingungen ab. Des Weiteren hängen sie von der Qualität der

durchgeführten Überprüfungen ab. Oft werden gestützt auf konservativen Annahmen mangels entsprechender Kenntnisse zu tiefe Erfüllungsfaktoren ausgewiesen, die dann aufwendige Erdbebensicherheitsmassnahmen nach sich ziehen.

# Anhang A Stufe Eingrenzung: Hinweise zur Filterung

## A.1 Grundlegendes

Das Ziel der Filterung besteht darin, bei einem sehr grossen Gebäudebestand (> 500 Gebäude), nach einer ersten Triage mit qualitativen Kriterien, die Anzahl der Gebäude für die *Stufe Bewertung* weiter zu reduzieren. Dabei sind die Gebäude herauszufiltern, die im Rahmen der *Stufe Bewertung* höchstwahrscheinlich aufgrund ihrer zu erwartenden Risikokennzahlen nicht priorisiert würden. Die Anwendung der Filterung setzt voraus, dass die zu berücksichtigenden Schutzgüter festgelegt sind und dass das Vorgehen für die Priorisierung in der *Stufe Bewertung* bekannt und insbesondere der Inhalt des Erhebungsblatts definiert ist.

## A.2 Filterkriterien

Als Filterkriterien sollen grundsätzlich solche verwendet werden, welche die betrachteten Schutzgüter des Eigentümers widerspiegeln und welche auch im Erhebungsblatt der *Stufe Bewertung* (siehe Anhang B) berücksichtigt werden. Welche Filterkriterien angewendet werden, hängt aber neben den Zielsetzungen des Eigentümers auch von der Verfügbarkeit der benötigten Daten ab. Es kommen nur Gebäudedaten als Filterkriterium in Frage welche über den gesamten Gebäudebestand vorliegen, leicht verfügbar sind und einer systematischen und automatischen elektronischen Auswertung zugänglich sind. Diese Voraussetzung ist eigentlich nur dann gegeben, wenn die Gebäudedaten systematisch in einer Datenbank erfasst sind.

Das am einfachsten zu handhabende Filterkriterium ist der Gebäudewert:

- der Gebäudewert ist in der Regel leicht zu beschaffen;
- der Gebäudewert korreliert in der Regel gut mit der Personenbelegung und anderen möglichen Filterkriterien.

Da mit der Filterung beabsichtigt wird, Ergebnisse der *Stufe Bewertung* vorwegzunehmen, können als Filterkriterien nur jene Indikatoren (siehe Kapitel B.3) verwendet werden, die bei der *Stufe Bewertung* mittels Kennzahlen erhoben werden.

Die Risikokennzahl (RZ) ist definiert als das Produkt von Schadenswahrscheinlichkeitskennzahl (WZ) x Schadensausmasskennzahl (AZ):

$$\text{WZ} \times \text{AZ} = \text{RZ}$$

Verwendet werden können damit alle Indikatoren für Schadensausmasskennzahlen AZx sowie jene Indikatoren, deren Kennzahlen Wx multiplikativ in WZ eingehen. Diesem Ansatz liegt zu Grunde, dass diese Kennzahlen (AZx oder Wx) direkt proportional zur Risikokennzahl RZx sind. Das heisst eine Verdoppelung einer solchen Kennzahl führt zu einer Verdoppelung der Risikokennzahl RZx.

WZ setzt sich aus der Kennzahl für die Standortgefährdung und der Kennzahl für die Schadensanfälligkeit des Bauwerks zusammen. Aus diesen Gründen kann bei WZ in aller Regel nur die Kennzahl für die Erdbebenzone (WE) als Filterkriterium verwendet werden, weil einerseits die Erdbebenzonen flächendeckend bekannt sind und diese mit Standortangaben wie Postleitzahl und Kanton verknüpft werden können. In Ausnahmefällen (Baugrundklassen bekannt und Lage der Gebäude mittels Geoinformationssystem beschrieben GIS) könnte die Kennzahl für den Baugrund (WB) erhoben werden. Die Kennzahl für die Schadenanfälligkeit des Bauwerks (WBAU) kann nicht verwendet werden, da sich diese Kennzahl aus mehreren Summanden zusammensetzt, die a priori nicht verfügbar sind. Das Vorgehen zur Festlegung von Filterkriterien wird im Folgenden an einem Beispiel aufgezeigt.

## A.3 Beispiel: Festlegen von Filterkriterien

Das Beispiel besteht aus einem Gebäudebestand, der 3800 Gebäude umfasst. Die Gebäude sind mit A1 bis A3800 bezeichnet. Sie sind in der gesamten Schweiz verteilt und es liegen zusammenhängend folgende Daten vor:

- Angaben zur Nutzung und entsprechende Nutzflächen
- Gebäudeversicherungswerte
- Adressen

Aus dieser Datenbasis lassen sich die in der Tabelle A1 enthaltenen Indikatoren für die Ableitung von Filterkriterien gewinnen.

Die Tabelle A2 zeigt und begründet die verwendeten Filterkriterien.

Die Abbildung A1 zeigt beispielhaft für das Filterkriterium AZPB ein Diagramm in welchem die Filterwerte absteigend geordnet sind und welches Segment dieser geordneten Filterwerte als relevant betrachtet werden kann.

**Tabelle A1**

**Indikatoren für die Festlegung von Filterkriterien**

| Indikatoren für die Ableitung von Filterkriterien | Erfassung als Kennzahl gemäss Stufe Bewertung | Umsetzung |
|---|---|---|
| Personenbelegung PB gemäss SIA 269/8 [2] | Kennzahl für das Ausmass der Personenschäden<br>AZPB = 0,1 × PB | · Abschätzung mithilfe SIA 269/8 [2], Tabelle 2, und den Angaben zur Nutzung und den Nutzflächen<br>· Die Abschätzung kann mit entsprechenden Formeln in einer Datenbank oder einer EXCEL-Tabelle erfolgen |
| Bauwerkswert BW gemäss SIA 269/8 [2] | Kennzahl für das Ausmass an Bauwerksschäden<br>AZBW = BW in Mio. CHF gemäss Stufe Bewertung | · Erfassung mittels Gebäudeversicherungswert<br>· Die Wahl der Einheit Mio. CHF erfolgt, damit die Kennzahlen AZBW nicht zu gross werden und bei der Erhebung grob auf 1 Million CHF genau geschätzt wird und keine Scheingenauigkeit erfasst wird. |
| Erdbebenzone gemäss SIA 261 [1] | WE gemäss Stufe Bewertung | · Erfassung mithilfe Zuordnungskriterien gemäss SIA 261 [1]<br>· Zuordnung Postleitzahl zu Erdbebenzone in einer Datenbank mit entsprechenden Bedingungen |

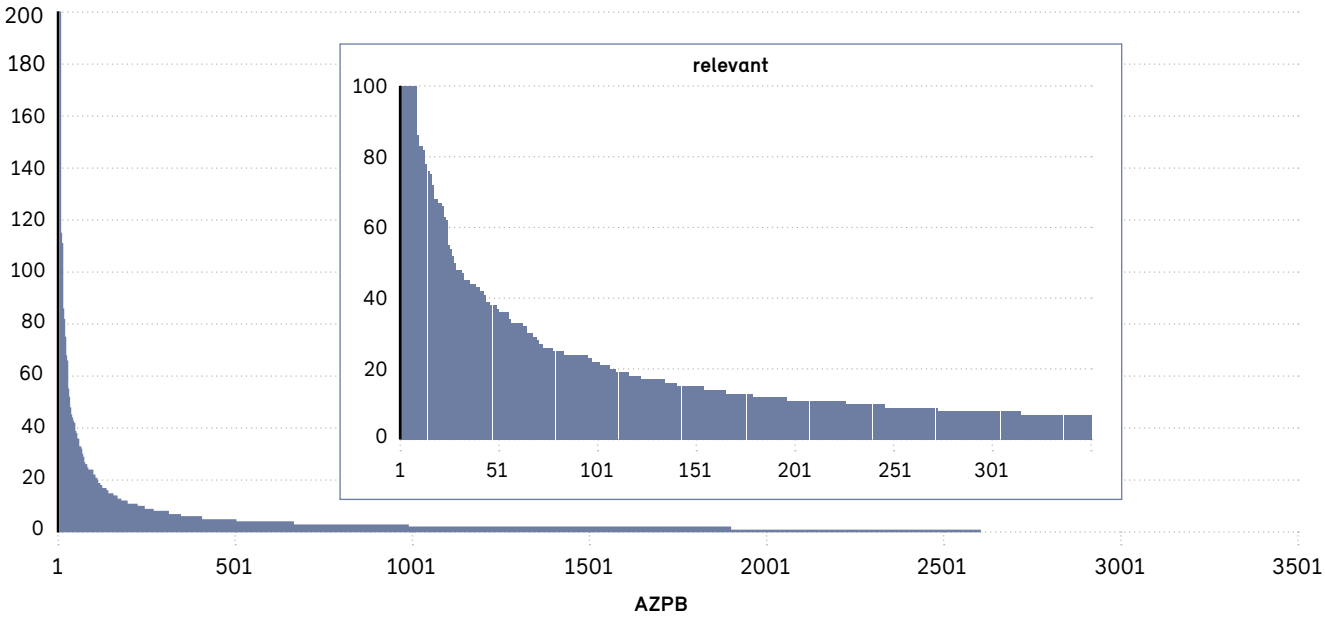
**Tabelle A2**

**Aus den Indikatoren abgeleitete Filterkriterien**

| Filterkriterien | Begründung |
|---|---|
| AZPB | · Die Kennzahl für das Ausmass der Personenschäden ist ein wichtiges Filterkriterium, weil damit direkt das wichtigste Ziel des Erdbebenschutzes angesprochen wird |
| AZBW | · Die Kennzahl für das Ausmass der Bauwerksschäden korreliert in der Regel mit AZPB; sie ist bei geringer Belegung und neben dem Gebäudewert selbst, ein Kriterium für weitere Gebäudeeigenschaften (z. B. funktionale Bedeutung) |
| WE x AZPB | · Die Kennzahl für die Erdbebenzone WE alleine macht als Filterkriterium keinen Sinn, weil damit keine Eigenschaft des betroffenen Gebäudes angesprochen wird<br>· WE wird multipliziert mit AZPB und das Produkt wird als risikoorientiertes Filterkriterium verwendet<br>· Die Berücksichtigung von WE macht nur Sinn, wenn Gebäude in mehreren Erdbebenzonen stehen |
| WE x AZBW | Dito WE × AZPB |

**Abbildung A1**

**Absteigend geordnetes Filterkriterium AZPB**




## A.4 Auswahl der Gebäude für die Stufe Bewertung

Das Vorgehen zur Auswahl der Gebäude bei mehreren Filterkriterien umfasst die folgenden Schritte:

- Erstellen einer absteigend geordneten Rangliste pro Filterkriterium
- Zuweisen der Rangierung pro Filterkriterium. Das Gebäude mit dem höchsten Filterwert erhält den Rang 1, jenes mit dem zweithöchsten Wert erhält den Rang 2 usw. (Tabelle A3).

**Tabelle A3**

**Beispiel für rangierte Gebäudeliste aus der Filterung**

| Rang | AZPB | AZBW | WE × AZPB | WE × AZBW |
|---|---|---|---|---|
| 1 | A1 | A2 | A7 | A11 |
| 2 | A2 | A3 | A27 | A24 |
| 3 | A3 | A17 | A11 | A1096 |
| ... | ... | ... | ... | ... |

- Erstellen der Auswahl für die die *Stufe Bewertung:* Aufnahme von Gebäuden der rangierten Liste folgend, bis die angestrebte Zahl der Gebäude erreicht ist (Tabelle A4). Beispielhaft sind die ersten acht Gebäude der Liste dargestellt.

**Tabelle A4**

**Beispiel Prioritätsliste für die Stufe Bewertung**

| Anzahl | Filter 1 |
|---|---|
| 1 | A1 |
| 2 | A2 |
| 3 | A7 |
| 4 | A11 |
| 5 | A3 |
| 6 | A27 |
| 7 | A24 |
| 8 | A17 |
| 9 | A1096 |
| ... | .... |

Falls die Liste der Gebäude vorgängig nicht festgelegt wurde, kann die Auswahl auch aufgrund der Diagramme erfolgen. Dann können z. B. alle Gebäude ausgewählt werden, deren Filterwerte deutlich über dem Durchschnitt liegen. Erfahrungsgemäss kommt man auch zu brauchbaren Resultaten, wenn man jene Gebäude auswählt, deren Filterwert grösser ist als der Mittelwert plus eine Standardabweichung.

Oft ist es sinnvoll, das Schutzgut Personen höher zu gewichten, als die anderen Schutzgüter. In diesem Fall kann man sich damit behelfen, in dem man z. B. anteilsmässig doppelt so viele Gebäude mit Filtergrenzen berücksichtigt, in welchen die Personenbelegung vorkommt. Das kann z. B. dadurch erreicht werden, dass man jeweils zwei Gebäude mit Bezug zur Personenbelegung auswählt, bevor man ein weiteres Gebäude mit Bezug zu einem anderen Schutzgut auswählt.

## A.5 Besondere Hinweise

Das exemplarische Beispiel zeigt, dass das gleiche Gebäude in mehreren Filtern hängen bleiben kann. Dies entspricht der Erwartung, da die verschiedenen Filter oft miteinander korreliert sind. Beispielsweise nehmen mit der Grösse eines Gebäudes in der Regel sowohl die Personenbelegung als auch der Gebäudewert zu. Hierin zeigt sich auch ein wünschenswerter Nebeneffekt der Filterung mit mehreren Filterkriterien: Falls die Daten eines Filterkriteriums nicht zuverlässig sind, kann eine Kompensation durch ein anderes Filterkriterium erfolgen.

# Anhang B Stufe Bewertung: Leitfaden

## B.1 Bezeichnungen

| | |
|---|---|
| **RZx** | **Risikokennzahl** |
| RZP | Kennzahl für die Personenrisiken |
| RZB | Kennzahl für das Bauwerkrisiko |
| RZS | Kennzahl für das Sachenrisiko |
| | |
| **AZx** | **Schadensausmasskennzahl** |
| AZPB | Kennzahl für das Ausmass an Personenschäden |
| PB | Personenbelegung gemäss SIA 269/8 [2] |
| AZBW | Kennzahl für das Ausmass an Bauwerksschäden |
| BW | Gebäudewert (Wert des Bauwerks gemäss SIA 269/8 [2]) |
| AZS | Kennzahl für das Ausmass an Sachschäden |
| SW | Wert der Sachen gemäss SIA 269/8 [2] |
| | |
| **WZx** | **Schadenswahrscheinlichkeitskennzahl** |
| WEB | Kennzahl für die Standortgefährdung |
| WE | Kennzahl für die Erdbebenzone |
| WB | Kennzahl für den Baugrund |
| WBAU | Kennzahl für die Schadensanfälligkeit des Bauwerks |
| WG | Kennzahl für die Aussteifung im Grundriss |
| WA | Kennzahl für die Aussteifung im Aufriss |
| WW | Kennzahl für die Aussteifungsweise |
| WK | Kennzahl für das Grundrisskonzept |
| WD | Kennzahl für die Duktilität |
| WH | Kennzahl für die Gebäudehöhe |
| WF | Kennzahl für die Fundation |
| WL | Kennzahl für die Gebäudelage |

## B.2 Grundlagenbeschaffung

Die Tabelle B1 gibt allgemeine Hinweise zur Beschaffung der benötigten Informationen.

**Tabelle B1**

**Hinweise auf Informationsquellen**

| Aspekt | Wichtige Informationen | Informationsquellen |
|---|---|---|
| Erdbebengefährdung | · Standortortgefährdung | · SIA 261 [1]<br>· Baugrundklassenkarte<br>· Seismische Mikrozonierung<br>· Geotechnische/geologische Grundlagen<br>· Erfahrung lokal ansässiger Ingenieure/Geologen |
| Schadensanfälligkeit (Verletzlichkeit) | · Belege dafür, dass Erdbeben zum Planungszeitpunkt adäquat berücksichtigt wurde | · Pläne/Fotos<br>· Nutzungsvereinbarung (ehemals Nutzungs- und Sicherheitsplan)<br>· Statik<br>· Überprüfungsberichte |
| Werte | · Personenbelegung<br>· Funktion<br>· Gebäudewert<br>· Sachwerte<br>· Betriebliche Leistung | · Eigentümer<br>· Nutzung/Nutzfläche<br>· Ersatz-/Versicherungswert<br>· Lohnkosten<br>· Rendite |

Die Tabelle B2 enthält spezifische Hinweise und Bemerkungen für die Ermittlung der Kennzahl für die Schadensanfälligkeit des Bauwerks.

**Tabelle B2**

**Grundlagen für die Bewertung des Bauwerks mit Kennzahlen**

| Grundlage | Bemerkung |
|---|---|
| Architektenpläne[1)] | · Wenn Materialisierung ersichtlich, genügende Grundlage<br>· Ergänzend ist jemand mit Kenntnis der Materialisierung erforderlich<br>· Vorherige Veränderungen sind nicht immer abgedeckt |
| Ingenieurpläne[1)] | · Geeignet für spezifische Details<br>· Überblick (Architektenpläne, Bewirtschaftungspläne) erforderlich<br>· Hoher Aufwand für die Suche und Bereitstellung der tatsächlich benötigten Pläne |
| Bewirtschaftungspläne | · Dienen lediglich der Orientierung und können so z. B. eine allenfalls nötige Begehung unterstützen |
| Fotos, Google Maps | · Ergänzende Informationsquellen |
| Begehung | · Materialisierung und Details oft nicht erkennbar<br>· Zumindest Bewirtschaftungspläne als Grundlage wünschenswert<br>· In der Regel aufwändig wegen des höheren Stundenaufwandes und weil eine Begleitperson, welche den Zugang zu den relevanten Räumen gewährleisten kann, aufgeboten werden muss |
| Bauwerksuntersuchungen | · Auf Bauwerksuntersuchungen ist bei der *Stufe Bewertung* zu verzichten. |

1) Pläne können durch Instandsetzungen oder Veränderungen überholt sein

## B.3 Schadensausmasskennzahl AZ

Die Erhebung der Schadensausmasse der Schutzgüter erfolgt mithilfe von Indikatoren und entsprechenden Kennzahlen. Jedem Schutzgut ist ein Indikator zugewiesen, der durch eine entsprechende Kennzahl erhoben wird. Die Kennzahlen der verschiedenen Merkmale sind so festgelegt, dass sie das Gewicht des jeweiligen Merkmals und seiner Ausprägung widerspiegeln. Die Kennzahlen sind mit zwei oder mehr fett gedruckten Buchstaben bezeichnet. Der erste Buchstabe ist **A** für Ausmass, der zweite und allenfalls weitere spezifizieren die Kennzahl. Die Wahl der Buchstaben orientiert sich an den Festlegungen der Norm SIA 269/8 [2]. So ist zum Beispiel die Personenbelegung ein Indikator für das Schutzgut Personen und die Personenbelegung PB gemäss der Norm SIA 269/8 [2] multipliziert mit 0,1 ist die Kennzahl AZPB für dieses Schutzgut.

Die Tabelle B3 enthält eine Auflistung der im Kapitel 3.2.3 besprochenen Schutzgüter sowie Ansatzpunkte für die Festlegung der Indikatoren und deren Bewertung mit Kennzahlen. Die Kennzahlen für die Personenschäden und für den Gebäudewert sind bereits im Erhebungsblatt festgehalten. Die weiteren Kennzahlen können bei Bedarf hinzugefügt werden. Zu verschiedenen Schutzgütern wurden keine Kennzahlen festgelegt, weil die Wahl eines geeigneten Indikators und möglicher Kennzahlen von den jeweiligen Zielen des Eigentümers abhängen. Ob diese Schutzgüter überhaupt mithilfe von Kennzahlen erhoben werden können und sollen, muss der beauftragte Bauingenieur zusammen mit dem Eigentümer beurteilen.

**Tabelle B3**

**Schutzgüter, Indikatoren und Kennzahlen**

| Schutzgut | Indikatoren für die Erhebung von Kennzahlen | Kennzahl | Bemerkung und Anhaltspunkte für die Festlegung von Indikatoren und Kennzahlen |
|---|---|---|---|
| Personen | Personenbelegung PB gemäss SIA 269/8 [2] | AZPB = 0,1 × PB | · Bei Bedarf sind der Nutzung entsprechend mehrere Personenbelegungen zu berücksichtigen und zu addieren.<br>· Die Multiplikation mit 0,1 erfolgt, damit die Kennzahlen AZPB nicht zu gross werden und damit bei der Erhebung grob auf 10 Personen genau geschätzt und keine Scheingenauigkeit erfasst wird. |
| Funktion | Bauwerksklasse BWK gemäss SIA 261 [1] und SIA 269/8 [2] | – | · BWK I und BWK II sind grundsätzlich durch das Schutzgut Personen und, falls erhoben, durch den Gebäudewert gut abgedeckt.<br>· Gebäude der Bauwerksklassen BWK II-s, II-i und III sind grundsätzlich bereits durch die Triage zu identifizieren (siehe Kapitel 2, Abschnitt 3.2.4.1). Falls Gebäude dieser BWK erst auf Stufe Bewertung erhoben werden, sind die betroffenen Gebäude separat auszuweisen und die Erhebung dient lediglich der zeitlichen Priorisierung innerhalb dieser Bauwerksklassen. |
| Umwelt | Beeinträchtigung der Umwelt | – | · Bei Bedarf könnten der Störfallverordnung entsprechende Indikatoren entnommen werden. |
| Kultureller Wert | Höhe des kulturellen Werts | – | · Besteht der Denkmalschutz als wichtiges Schutzziel des Eigentümers, sollten Gebäude mit kulturellem Wert separat erhoben und beurteilt werden. |
| Gebäudewert | Bauwerkswert BW gemäss SIA 269/8 [2] | AZBW = BW in Mio. CHF | · Es kann der Versicherungswert verwendet werden, wenn dieser einen Ersatzwert darstellt.<br>· Wichtig ist, dass ein einheitlicher Wert verwendet wird. |
| Sachwert | Wert der Sachen SW gemäss SIA 269/8 [2] | AZSW = SW in Mio. CHF | · Es kann der Versicherungswert der Sachen verwendet werden, wenn dieser einen Ersatzwert darstellt.<br>· Zu berücksichtigen sind jene Sachen, die durch Versagen des Tragwerks oder von Teilen desselben beschädigt werden.<br>· Diese Sachen sind zu berücksichtigen, wenn ihr Wert mindestens in der Höhe des Werts des Gebäudes liegt.<br>· Die Wahl der Einheit Mio. CHF erfolgt mit analogen Argumenten wie die Wahl des Faktors 0,1 bei AZPB. |
| Betrieb | Rendite<br>Mieteinnahmen<br>Umsatz<br>etc. | Wert in Mio. CHF | · Es geht darum Indikatoren festzulegen, die eine Kenngrösse für den Verlust bei Ausfall des betrachteten Gebäudes sind (Betriebsunterbruch).<br>· Zu berücksichtigen sind Folgen des Unterbruchs, die nicht nur auf das betrachtete Gebäude beschränkt sind (z. B. Abhängigkeit eines Unternehmens von der Funktionstüchtigkeit eines Zentrallagers).<br>· Wichtig ist, dass die gewählten Kenngrössen vergleichbar sind und auf den gleichen Bezugszeitraum bezogen werden (i. d. R. ein Jahr).<br>· Die Wahl der Einheit Mio. CHF erfolgt mit analogen Argumenten wie die Wahl des Faktors 0,1 bei AZPB. |
| Legalität | Zum Teil abgedeckt durch die Berücksichtigung der anderen Schutzgüter | – | · Der Eigentümer kann zum Schluss kommen, dass besonders schwerwiegende juristische Konsequenzen mit einer besonderen Nutzung verbunden sind oder solche an einem besonderen Standort vorliegen.<br>· Solche Situationen können mit entsprechendem Vermerk auf dem Erhebungsblatt priorisiert werden, wenn die betroffenen Gebäude nicht schon direkt für eine Überprüfung (durch die Triage) selektiert wurden. |
| Image | Zum Teil abgedeckt durch die Berücksichtigung der anderen Schutzgüter | – | · Der Eigentümer kann zum Schluss kommen, dass bei einem Gebäude ein besonders schwerer Imageschaden zu erwarten ist.<br>· Solche Situationen können analog Legalität priorisiert werden. |

## B.4 Schadenswahrscheinlichkeitskennzahl WZ

Die Schadenswahrscheinlichkeit für das Gebäude wird als Kennzahl WZ ermittelt. Die Erhebung der Schadenswahrscheinlichkeit geschieht über Indikatoren, denen entsprechende Kennzahlen zugeordnet sind. Diese Kennzahlen quantifizieren die Schadenswahrscheinlichkeit nicht in absoluter Weise, sondern sind aufeinander abgestimmte Hilfsgrössen, die der Klassierung dienen. Die Kennzahlen sind mit zwei (oder mehreren) fett gedruckten Buchstaben bezeichnet. Der erste Buchstabe ist **W** für Wahrscheinlichkeit, der zweite und allenfalls weitere spezifizieren die Kennzahl. Sie werden im jeweiligen Text erwähnt und ebenfalls fett geschrieben.

Die Schadenswahrscheinlichkeitskennzahl WZ fasst schliesslich alle im Folgenden erwähnten Merkmale zusammen. Sie ergibt sich, indem die für den Standort und das Bauwerk ermittelten Kennzahlen nach der folgenden Formel verarbeitet werden:

$$WZ = WEB \times WBAU = (WE \times WB) \times (1+WG+WA+WW+WK+WD+WF+WH+WL)$$

Die Schadenswahrscheinlichkeitskennzahl WZ gibt einen Hinweis auf die Wahrscheinlichkeit eines Einsturzes des Gebäudes und damit verbunden auf das individuelle Risiko von Personen, die sich in diesem Gebäude aufhalten sowie auf die Wahrscheinlichkeit, dass weitere Schutzgüter zu Schaden kommen. Anhand WZ können Gebäude miteinander verglichen werden. Es ist bei der späteren Interpretation dieser Kennzahl innerhalb der betrachteten Gebäude zu berücksichtigen, dass die Kennzahlen für die Schadensanfälligkeit des Bauwerks WBAU aufgrund der groben Erhebungsmethode mit erheblichen Unschärfen behaftet sind.

### B.4.1 Kennzahl für die Standortgefährdung WEB

Die Auftretenswahrscheinlichkeit eines Erdbebens einer bestimmten Stärke ist ortsabhängig. Die Norm SIA 261 [1] teilt die Schweiz flächendeckend in Erdbebenzonen ein. Den Erdbebenzonen **E** sind die zu erwartenden Erdbebenbeschleunigungen zugeordnet. Diese können auch als Auftretenswahrscheinlichkeiten eines Erdbebens bestimmter Intensität interpretiert werden. Angaben dazu findet man in [11]. Die genaue örtliche Abgrenzung der verschiedenen Zonen ist *http://map.geo.admin.ch* zu entnehmen.

**Tabelle B4**

**Kennzahl WE für die Standortgefährdung**

| Erdbebenzone[5] | WE |
|---|---|
| Z1a | 1 |
| Z1b | 2 |
| Z2 | 3 |
| Z3a | 6 |
| Z3b | 10 |

Neben der Erdbebenzone spielt der Baugrund **B**, auf welchem das Bauwerk ruht, eine wichtige Rolle. In Abhängigkeit des Baugrunds können die Erdbebeneinwirkungen wesentlich verstärkt werden. Weiter können Erdbeben die Baugrundeigenschaften bei entsprechend empfindlichen Böden bis hin zur Bodenverflüssigung verschlechtern. In Bezug auf Bodenverflüssigung sind meist feinkörnige, wenig kompakte Böden empfindlich. Negativ können sich auch Hanglagen, Gleithänge und künstliche Auffüllungen auswirken. Die relevanten Eigenschaften des Bodens sind nicht flächendeckend vorhanden, sondern in jedem Einzelfall einzuschätzen. Die Kennzahl **WB** erhebt diese Standortabhängigkeit der Eigenschaften der Böden unter Erdbebeneinwirkung. Falls die Baugrundklasse (BGK) gemäss der Norm SIA 261 [1] bekannt ist (Abbildung B1), enthält die Tabelle B5 entsprechende Zuordnungen.

5 Erdbebenzone Z1a entspricht Z1 der Norm SIA 261 (2014). Erdbebenzone Z1b gilt ab Inkrafttreten der Revision der Norm SIA 261 (voraussichtlich 2020) mit $a_{gd} = 0{,}8\,m/s^2$.

**Tabelle B5**

**Kennzahl WB für den Baugrund**

| Baugrund | WB | Hinweise |
|---|---|---|
| Gut (BGK A oder B) | 1 | · Fels oder sehr kompakte Lockergesteine |
| Durchschnittlich (BGK C und BGK E) | 2 | · Andere Situationen als «gut» und «schlecht» |
| Schlecht (BGK D und BGK F) | 4 | · lockere und weiche Lockergesteine<br>· oder Potenzial für Bodenverflüssigung oder Massenbewegung<br>· oder Potenzial für sehr starke Amplifikationen der seismischen Wellen (z. B. alpine Täler) |

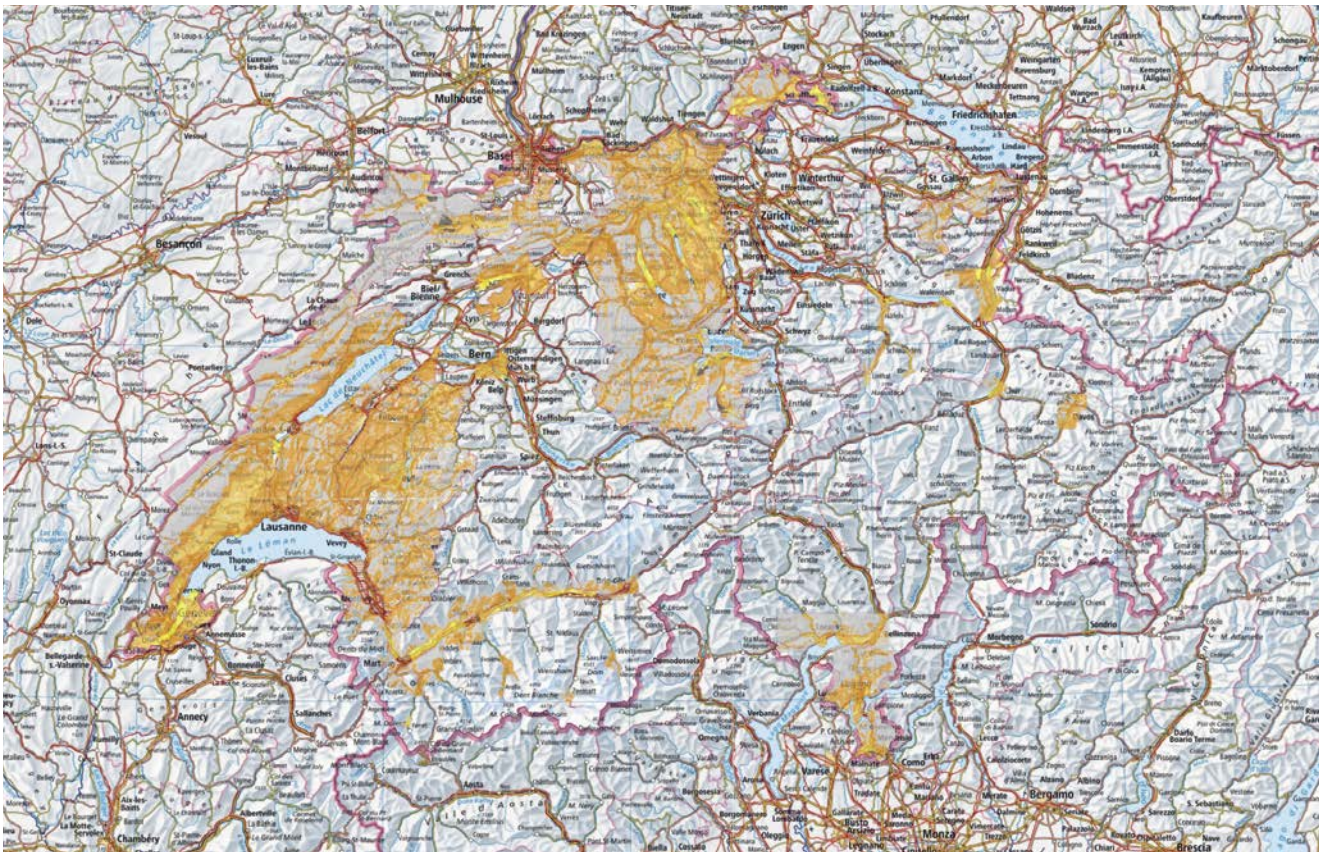
### B.4.2 Kennzahlen für die Schadensanfälligkeit des Bauwerks

Das Bauwerksverhalten unter Erdbebeneinwirkung ist äusserst komplex. Im Rahmen dieser Grobbeurteilung können nur einige wenige Merkmale, welche durch das Studium der Bauwerksakten und allenfalls bei einer Begehung erhoben werden können, herangezogen werden. Anhand dieser Merkmale, die ebenfalls mit Kennzahlen erhoben werden, ist es möglich das Bauwerk in Bezug auf dessen Verhalten und damit Schadensanfälligkeit bei einem Erdbeben zu charakterisieren. Für weitergehende Ausführungen sei an dieser Stelle auf [12] verwiesen.

Eine besonders wichtige Rolle bei der Beurteilung der Erdbebensicherheit von Tragwerken spielt die Aussteifung, welche die bei Erdbeben auftretenden Horizontalkräfte aufzunehmen hat. Dieser Problematik sind hier drei Merkmale zugeordnet. Unterschieden werden die Aussteifung

**Abbildung B1**

**Überblick über die Gebiete, für die eine Karte der Baugrundklassen oder eine spektrale seismische Mikrozonierung existiert**




Quelle: www.map.geo.admin.ch, Stand 2018

im Grundriss, die Aussteifung im Aufriss und schliesslich die Art der Aussteifung.

Unter der Aussteifung im Grundriss (Kennzahl für die Berücksichtigung der Aussteifung im Grundriss **WG**) wird hier die Anordnung der Tragelemente zur Abtragung der horizontalen Erdbebenkräfte verstanden. Die Anordnung der Aussteifung ist in der Regel optimal, wenn das Steifigkeitszentrum S (der Schubmittelpunkt) nahe beim Massenzentrum M (dem Angriffspunkt der Summe der Trägheitskräfte) liegt. Damit können übermässige Beanspruchungen aus Torsion vermieden werden. Günstig sind auch redundante Aussteifungssysteme, die den Ausfall eines Tragelements durch andere Elemente kompensieren können. Da Erdbebeneinwirkungen aus allen Richtungen zu erwarten sind, ist die Aussteifung in der schlechteren Richtung massgebend. Die Zuordnung der Kennzahlen soll in diesem Sinne erfolgen (Abbildungen B2 und B3). Leider findet man gelegentlich auch Gebäude, wo die Aussteifung in einer der beiden Richtungen von oben nach unten durchgehend äusserst schwach ist oder gar fehlt. Für diese Fälle ist **WG** hoch angesetzt und sollte dafür sorgen, dass solche Gebäude relativ weit oben auf der Prioritätenliste landen.

**Tabelle B6**

**Kennzahl WG für die Berücksichtigung der Aussteifung im Grundriss**

| Aussteifung Grundriss | WG |
|---|---|
| Günstig | 0 |
| Ungünstig | 2 |
| Keine/wenig Aussteifung | 5 |

Die Aussteifung und die Gebäudeform im Aufriss (Kennzahl für die Berücksichtigung der Aussteifung im Aufriss **WA**) beeinflussen das Schwingungsverhalten bei einem Erdbeben. Die Kennzahlen unterscheiden zwischen einer stetigen und einer unstetigen Aussteifung (Abbildungen B4 und B5). Unstetig ist eine Aussteifung mit vertikalen Versetzungen von Geschossdecken und horizontalen Versetzungen der Aussteifungselemente. Dieser Einteilung liegen unter anderem die Erkenntnisse aus den Erdbebenereignissen der letzten Jahre zu Grunde, die gezeigt

**Abbildung B2**

**Beispiele für eine ungünstige Anordnung der Aussteifung im Grundriss (Steifigkeitszentrum S, Massenzentrum M)**

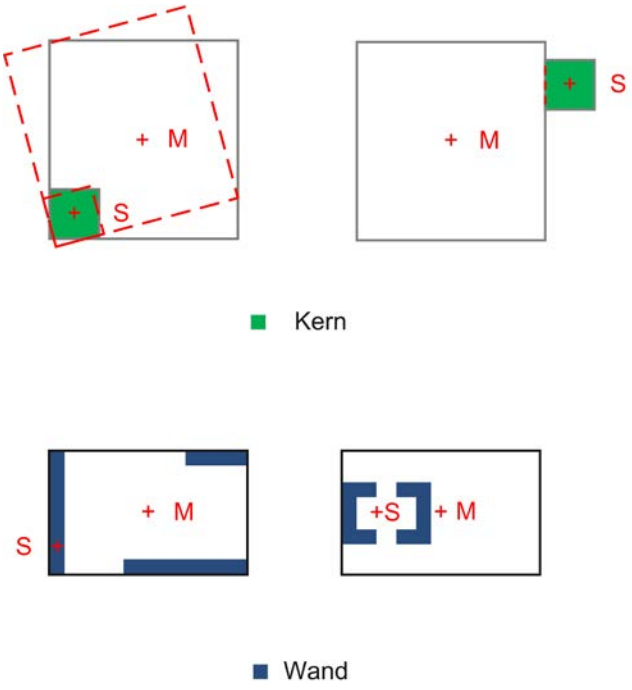
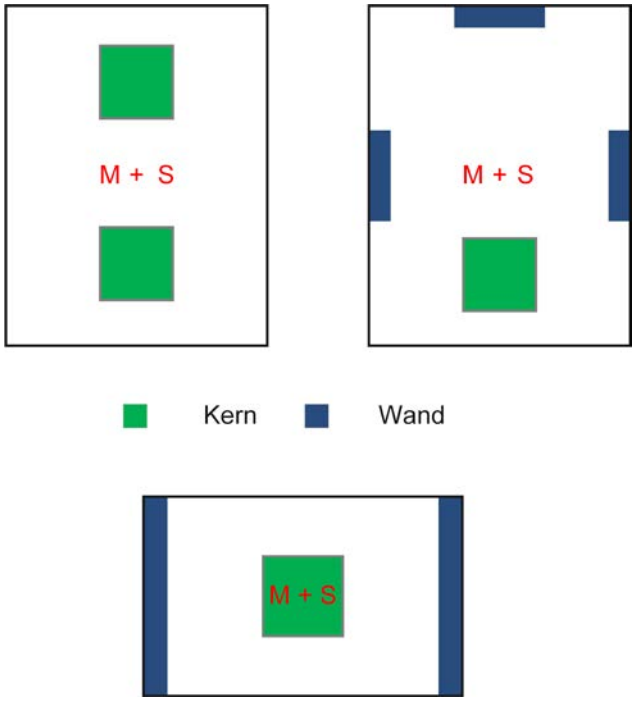



**Abbildung B3**

**Beispiele für eine günstige Anordnung der Aussteifung im Grundriss (Steifigkeitszentrum S, Massenzentrum M)**



haben, dass die Steifigkeit über alle Stockwerke möglichst gleich sein sollte. Besonders heikel sind unterschiedliche Steifigkeiten in unmittelbar übereinanderliegenden Stockwerken. Ungünstig sind zudem horizontal versetzte Stützen. Besonders kritisch ist ein sogenanntes «Soft Storey», ein im Vergleich mit den übrigen Geschossen «weiches Geschoss», das nur durch die Biegesteifigkeit der Stützen gehalten ist und im Erdbebenfall oft früh versagt (Tabelle B7).

**Tabelle B7**

**Kennzahl WA für die die Berücksichtigung der Aussteifung im Aufriss**

| Aussteifung Aufriss | WA |
|---|---|
| Stetig | 0 |
| Unstetig | 2 |
| «Soft Storey» | 5 |

Die Güte der Aussteifung hängt neben ihrer Anordnung im Grundriss auch von der Art und Weise (Kennzahl für die Berücksichtigung der Aussteifungsweise **WW**) ihrer Ausbildung ab (Abbildung B6). Dabei sind Kerne und Wände am besten. Rahmen sind meist etwas weicher, was viel eher zu Schäden, nicht zwingend zu früherem Einsturz führt. Wenig geeignet für die Aufnahme von Erdbebeneinwirkungen sind zentrisch angeschlossene Fachwerke, wie sie in der Schweiz oft verwendet wurden. Ebenso ungeeignet sind die Tragwerke mit weichen Decken (u.a. Holzbalkendecken), wo Mauerwerkswände quer zu ihrer Ebene (out-of-plane) beansprucht werden. Am ungünstigsten verhalten sich jedoch Rahmenkonstruktionen mit nicht vollflächig gefüllten Füllwänden aus Mauerwerk, die grosse zusätzliche und ungünstig wirkende Querkräfte in die Stützen des Rahmens eintragen können. Systeme mit gemischten Aussteifungsweisen sind erfahrungsgemäss ebenfalls problematisch (Tabelle B8).

**Tabelle B8**

**Kennzahl WW für die Berücksichtigung der Aussteifungsweise**

| Aussteifungsweise | WW |
|---|---|
| Kern, Wände mit steifen Decken | 0 |
| Verschiebliche Rahmen | 1 |
| Wände mit weichen Decken, Fachwerke | 2 |
| Rahmen mit Füllwänden (vollflächig: WW =2; vollflächig mit Öffnungen (Fenster/Türen): WW = 3; nicht vollflächig: WW = 4) | 2 – 4 |
| Gemischte Systeme | 3 |

**Abbildung B4**

**Beispiele für eine ungünstige Anordnung der Aussteifung im Aufriss**

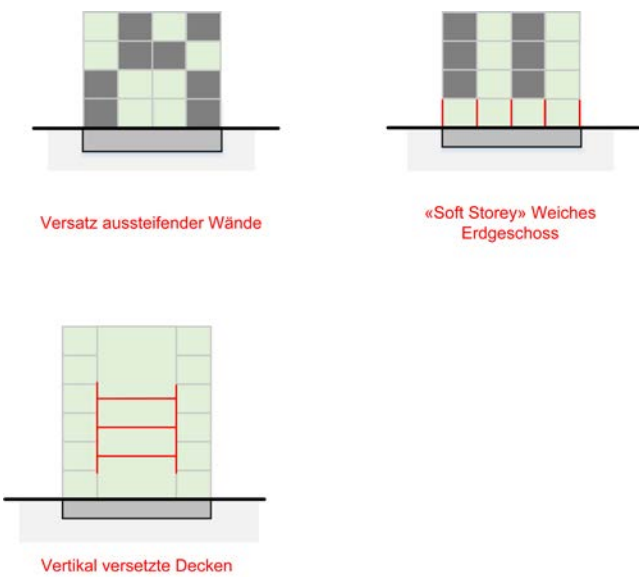



**Abbildung B5**

**Beispiele für eine günstige Anordnung der Aussteifung im Aufriss**

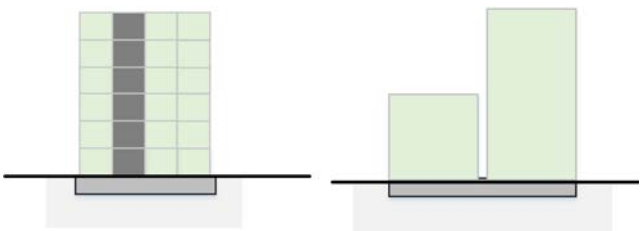
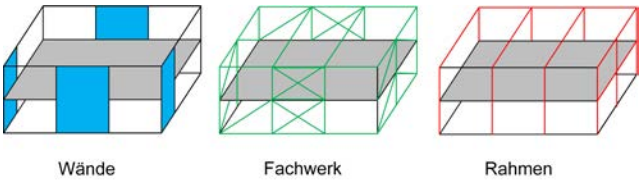


**Abbildung B6**

**Beispiele für Aussteifungsweisen**




Neben der Aussteifung trägt ein günstiges Grundrisskonzept (Kennzahl für die Berücksichtigung des Grundrisskonzepts **WK**) zur Erdbebenresistenz bei (Abbildungen B7 und B8). Ungünstig sind verwinkelte Grundrissformen mit einspringenden Ecken. Ebenso heikel können Gebäude mit länglichem, d. h. langer und schmaler Gebäudeseite sein, da in Längsrichtung die in der Regel vernünftige Auslegung des Tragwerks auf Windkräfte für die Erdbebenkräfte ungenügend sein kann (Tabelle B9).

**Tabelle B9**

**Kennzahl WK für die Berücksichtigung des Grundrisskonzepts**

| Konzept im Grundriss | WK |
|---|---|
| Kompakt | 0 |
| Verwinkelt oder länglich | 2 |

Das Erdbebenverhalten eines Tragwerks hängt sowohl vom Tragwiderstand als auch von der Duktilität (Kennzahl für die die Berücksichtigung von Bauweise und Duktilität **WD**), also dem Verformungsvermögen, ab. Der Einsturz eines Gebäudes, dessen Tragwerk eine hohe Duktilität hat, ist recht unwahrscheinlich, auch wenn der Widerstand der Aussteifung vergleichsweise klein ist. Eine umfassende Beurteilung des Verformungsvermögens setzt detaillierte Kenntnisse über das Tragwerk voraus und sprengt deshalb die Möglichkeiten auf der ersten Stufe der Beurteilung.

Die Duktilität kann vereinfacht über die Bauweise und den verwendeten Baustoff der Tragelemente abgeschätzt werden. Reine Mauerwerksgebäude und solche aus unbewehrtem Beton schliesslich sind besonders kritisch, und dies insbesondere, wenn sie hoch sind und starre Deckenscheiben fehlen. Der Grad der Duktilität des Tragwerks wird in der Kennzahl **WD** berücksichtigt (Tabelle B10).

**Tabelle B10**

**Kennzahl WD für die die Berücksichtigung von Bauweise und Duktilität**

| Bauweise, Duktilität | WD |
|---|---|
| Stahlbeton stark bewehrt, Stahl mit starken Verbindungen | 0 |
| Stahlbeton schwach bewehrt, Stahl mit schwachen Verbindungen, Verbund, Bewehrtes Mauerwerk | 1 |
| Holz | 2 |
| Vorfabrikation | 3 |
| Mauerwerk ($t_w > 60$ cm) | 1 |
| Mauerwerk ($60$ cm $\geq t_w > 20$ cm) | 2 |
| Mauerwerk ($t_w < 20$ cm) | 4 |

**Abbildung B7**

**Beispiele für ungünstige Konzepte von Grundrissformen**

**Abbildung B8**

**Beispiele für günstige Konzepte von Grundrissformen**

Je höher das Gebäude, desto höher ist die Beanspruchung bei einem Erdbeben (Kennzahl für die Berücksichtigung der Gebäudehöhe **WH** [Tabelle B11]).

**Tabelle B11**

**Kennzahl WH für die die Berücksichtigung der Gebäudehöhe**

| Gebäudehöhe (Anzahl Geschosse n) | WH |
|---|---|
| n ≤ 2 | 0 |
| 2 < n ≤ 4 | 2 |
| 4 < n ≤ 6 | 3 |
| 6 < n | 4 |

Relative Verschiebungen können im Falle eines Erdbebens auch in den Untergeschossen und zwischen Fundamenten auftreten (Kennzahl für die Berücksichtigung der Fundation **WF**). Solche Effekte können zu lokalen Überbeanspruchungen und somit zu Einstürzen führen. Besonders ungünstig verhalten sich Gebäude, die in unterschiedlichem Baugrund fundiert sind, unregelmässige Fundationstiefen aufweisen oder deren Fundamente Relativverschiebungen zulassen. Gefährdet sind deshalb insbesondere Gebäude mit Einzelfundamenten und Streifenfundamenten, die nicht durch Riegel miteinander verbunden sind. Eine zusammenhängende flächenhafte Gründung wird in diesem Zusammenhang besser bewertet. Am günstigsten ist der Fall des steifen Kastens (z. B. Bodenplatte, Umfassungswände und Decke aus Stahlbeton). Eine solche Konstruktion ist weitgehend unempfindlich gegen die vorstehend erwähnten Einflüsse (Tabelle B12).

**Tabelle B12**

**Kennzahl WF für die Berücksichtigung der Fundation**

| Fundation | WF |
|---|---|
| Steifer Kasten | 0 |
| Flächenhaft oder mit Verbindungsriegeln | 1 |
| Einzelgründung | 2 |

Aus der Erfahrung ist bekannt, dass die Lage eines Gebäudes (Kennzahl für die Berücksichtigung der Lage des Gebäudes im Vergleich zu anderen Gebäuden **WL**) im Vergleich zu anderen Gebäuden einen wesentlichen Einfluss auf die Einsturzwahrscheinlichkeit hat (Tabelle B13 und Abbildung B9).

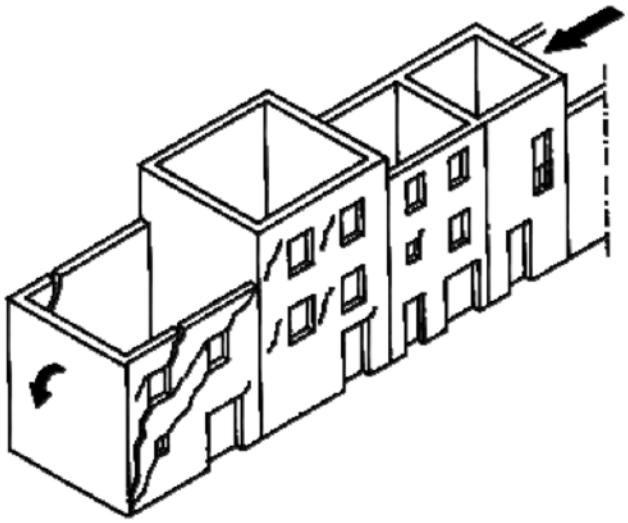
**Tabelle B13**

**Kennzahl WL für die Berücksichtigung der Lage des Gebäudes im Vergleich zu anderen Gebäuden**

| Lage des Gebäudes | WL | Hinweise |
|---|---|---|
| Günstig | 0 | · Freistehend<br>· Zwei Gebäude mit Geschossdecken auf gleichem Niveau<br>· in der Mitte mit Geschossdecken auf gleichem Niveau |
| Ungünstig | 2 | · In der Mitte mit Geschossdecken auf unterschiedlichem Niveau |
| Ende oder Ecke | 4 | · Gebäude am Ende oder an der Ecke von Gebäudezeilen |

**Abbildung B9**

**Skizze einer Gebäudezeile mit typischem Rissbild durch die Beanspruchung des Eckhauses [13]**



## B.5 Prioritätensetzung

Die für die Priorisierung in Betracht zu ziehenden Kennzahlen umfassen die Schadenswahrscheinlichkeitskennzahlen WZ und die Risikokennzahlen RZx für die einzelnen betrachteten Schutzgüter.

Aus den Kennzahlen für die Schadenswahrscheinlichkeit WZ und das Schadensausmass AZx kann für jedes Schutzgut die Risikokennzahl RZx gewonnen werden:

$$WZ \times AZx = RZx$$

Die Risikokennzahlen geben einen Hinweis auf das mit dem jeweiligen Schutzgut verbundene Risiko.

Aus den Kennzahlen können Prioritätenlisten gewonnen werden. Eine nach der Schadenswahrscheinlichkeitskennzahl WZ in absteigender Reihenfolge geordnete Liste weist beispielsweise auf jene Gebäude hin, die am ehesten im Fall eines Erdbebens von einem Einsturz betroffen sein könnten. Eine nach Risikokennzahlen RZx in absteigender Reihenfolge geordnete Liste weist auf die grössten Risiken bezüglich des betrachteten Schutzguts x hin.

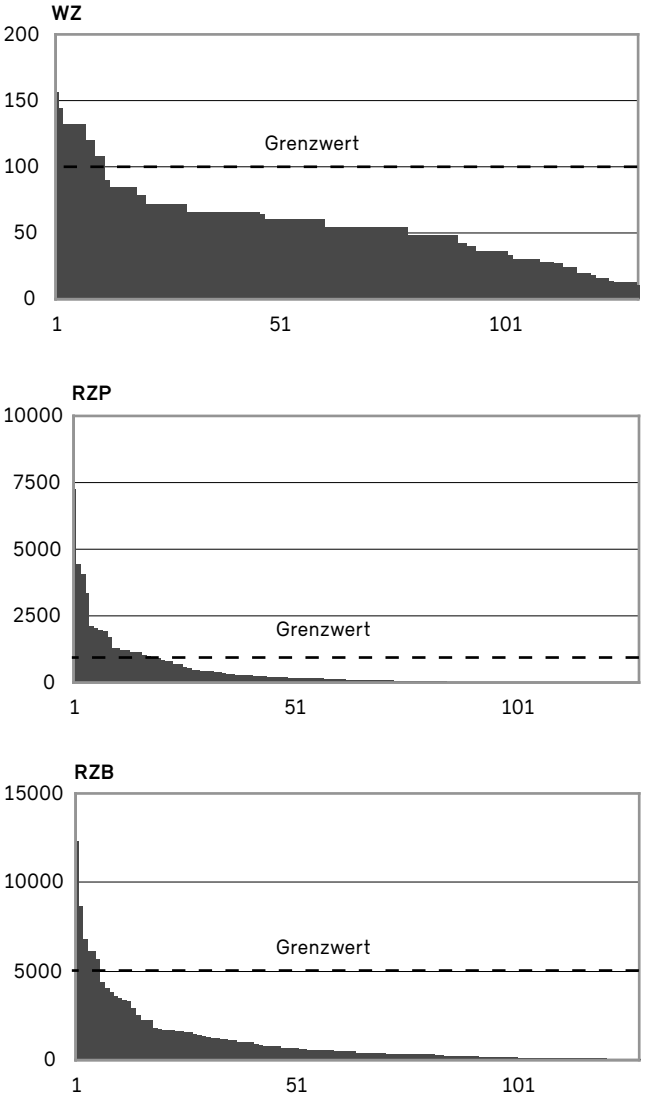
Auf Basis der so gewonnenen Prioritätenlisten sollen die Grenzwerte bestimmt werden. Es wird empfohlen, entsprechende Grenzwerte mit Hilfe von Diagrammen festzulegen, welche die Kennzahlen absteigend abbilden (Abbildung B10). In einem solchen Diagramm können die Kennzahlen zu einer Kurve verbunden werden. Die Grenzwerte sollten dann in dem Bereich fixiert werden, wo die Steigung der Kurve abflacht (irgendwo zwischen 45° und 30°).

Die Auswahl der für die Überprüfung zu priorisierenden Gebäude richtet sich damit primär nach der Verteilung der erhobenen Kennzahlen. Es wird in diesem Zusammenhang das folgende Vorgehen vorgeschlagen:

- Grafische Darstellung der einzelnen Kennzahlen (siehe Abbildung A1);
- Festlegung eines Schwellenwertes in jenem Bereich in dem die Kurve abzuflachen beginnt;
- Markierung jener Kennzahlen, die grösser als der jeweilige Schwellenwert sind;
- Erstellung einer absteigend nach Personenrisikokennzahlen geordneten Liste, welche zudem die Kennzahlen WZ und die allenfalls weiteren erhobener Risikokennzahlen RZx umfasst;
- Diskussion mit dem Eigentümer, welche Gebäude priorisiert und welche Gebäude zurückgestellt werden entlang absteigender Risikokennzahlen RZx und zumindest soweit, bis alle markierten Gebäude besprochen sind.

**Abbildung B10**

**Grafische Darstellung der Prioritätenlisten für Schadenswahrscheinlichkeitskennzahl, Kennzahl für die Personenrisiken und Kennzahl für das Bauwerkschadenrisiko (Abszisse: Gebäude geordnet nach Kennzahl; Ordinate Kennzahl)**



Darüber hinaus kann es ratsam sein, einzelne Gebäude nochmals separat hinsichtlich der Notwendigkeit einer vertieften Untersuchung zu beurteilen. Es sind dies:

- Gebäude mit einem vermuteten «Soft Storey» (WA = 5)
- Gebäude mit vermuteter fehlender Aussteifung (WG = 5)

Das Addieren von Risikokennzahlen verschiedener Schutzgüter zu einer einzigen Risikokennzahl ist abzulehnen, da die einzelnen Ausmasskennzahlen nicht unbedingt aufeinander abgestimmt sind. Das gilt insbesondere für die Addition der Ausmasskennzahl für Personenschäden und andere Ausmasskennzahlen.

Es bestehen keine festgelegten Grenzwerte für die Risikokennzahlen RZx. Die nummerische Grenze für die Priorisierung ist abhängig von der Grösse und der Zusammensetzung des Gebäudebestands und den verfügbaren Mitteln des Eigentümers für die Überprüfung sowie die Bewältigung des allfälligen Handlungsbedarfs festzulegen.

## B.6 Erhebungsblatt

Erdbebenrisiko grosser Gebäudebestände
**Stufe Bewertung**
**Erhebungsblatt : Risikokennzahlen**

| | |
|---|---|
| **Gebäude-ID** | A1 |
| **Strasse/Nr.** | Strasse 1 |
| **PLZ** | 9999 |
| **Ort** | Ort |
| **Kanton** | Kanton |
| **Baujahr** | 1999 |

**Kontaktdaten**

| | | | |
|---|---|---|---|
| **Gebäudeverantwortlicher** | Thomas Muster | **Telefon** | 099 999 99 99 |
| **E-Mail** | muster@stadt.ch | | |

**Beurteilung auf Grund von**

- ○ Architektenplänen
- ○ Ingenieurplänen
- ○ Bewirtschaftungsplänen
- ○ Fotos, Google Maps
- ○ Begehung

**Für die Aufnahme**

Ingenieurbüro

**Datum**

**Aufnahme durch**

**Kennzahlen für die Prioritätensetzung** (Details siehe Rückseite)

**WZ = WEB · WBAU =** ☐

**RZP = AZPB · WZ =** ☐

**RZB = AZBW · WZ =** ☐

**RZS = AZSW · WZ =** ☐

**Empfehlung/Bemerkungen**

.....
.....
.....
.....
.....
.....

Erdbebenrisiko grosser Gebäudebestände
**Stufe Bewertung**
**Erhebungsblatt : Risikokennzahlen**

**Ausmass**

**AZPB = 0,1 · PB (nach SIA269/8, Tab. 2) =**

**AZBW = 1,0 · BW (Mio. CHF) =**

**AZSW = 1,0 · SW (Mio. CHF) =**

**Standortgefährdung**

| Erdbebenzone | WE |
|---|---|
| Z1a | 1 |
| Z1b | 2 |
| Z2 | 3 |
| Z3a | 6 |
| Z3b | 10 |

| Baugrund | WB |
|---|---|
| Gut (BGK A und BGK B) | 1 |
| Durchschnittlich (BGK C und BGK E) | 2 |
| Schlecht (BGK D und BGK F) | 4 |

**WEB = WE · WB =**

**Tragwerk**

| Aussteifung Grundriss | WG |
|---|---|
| Günstig | 0 |
| Ungünstig | 2 |
| Keine/wenig Aussteifung | 5 |

| Aussteifung Aufriss | WA |
|---|---|
| Stetig | 0 |
| Unstetig | 2 |
| "Soft Storey" | 5 |

| Konzept im Grundriss | WK |
|---|---|
| Kompakt | 0 |
| Verwinkelt oder länglich | 2 |

| Aussteifungsweise | WW |
|---|---|
| Kerne, Wände mit steifen Decken) | 0 |
| Verschiebliche Rahmen | 1 |
| Wände mit weichen Decken, Fachwerke | 2 |
| Rahmen mit Füllwänden (vollflächig: WW = 2; vollflächig mit Öffnungen: WW = 3; nicht vollflächig: WW = 4) | 2 - 4 |
| Gemischte Systeme | 3 |

| Fundation | WF |
|---|---|
| Steifer Kasten | 0 |
| Flächenhaft oder mit Verbindungs-riegeln | 1 |
| Einzelgründung | 2 |

| Bauweise, Duktilität | WD |
|---|---|
| Stahlbeton, stark bewehrt, Stahl mit starken Verbindungen | 0 |
| Stahlbeton schwach bewehrt, Stahl mit schwachen Verbindungen, Verbund, bewehrtes Mauerwerk | 1 |
| Holz | 2 |
| Vorfabrikation | 3 |
| Mauerwerk ($t_w$ > 60cm/60 ≥ $t_w$ > 20cm/$t_w$ < 20cm) | 1/2/4 |

| Gebäudehöhe | WH |
|---|---|
| n ≤ 2 | 0 |
| 2 < n ≤ 4 | 2 |
| 4 < n ≤ 6 | 3 |
| 6 < n | 4 |

| Lage des Gebäudes | WL |
|---|---|
| Günstig | 0 |
| Ungünstig | 2 |
| Ende oder Ecke | 4 |

**WBAU = (1 + WG + WA + WW + WK + WF + WD + WH + WL) =**

# Anhang C Stufe Überprüfung: Erläuterungen

## C.1 Zustandserfassung

Durch die Zustandserfassung können nach der Grundlagenvorbereitung genauere Aussagen zum Tragwerkskonzept gemacht und die vorhandenen Baustoffe sowie der Baugrund identifiziert werden. Die Bauwerksklasse des Gebäudes wird festgelegt. Die Planbeschaffung aus der *Stufe Bewertung* wird vervollständigt. Dies beinhaltet allenfalls die Beschaffung weitere Baudokumente (Statik, Baugrundgutachten). Bei der Einsichtnahme in die Pläne ist deren Tauglichkeit und Vollständigkeit in Hinblick auf die Überprüfung zu beurteilen. Die Zustandserfassung wird durch eine Begehung/Inspektion des Gebäudes ergänzt. Es können einfache, in der Regel zerstörungsfreie Bauwerksuntersuchungen nötig werden. Eine Grobanalyse der Baustoffe anhand der Bauwerksakten oder eine vorsichtige Schätzung der mechanischen Eigenschaften der Baustoffe ist möglich. Falls keine oder nur wenige aussagekräftige Grundlagen gefunden werden, ist zu beurteilen, ob die benötigten Informationen mithilfe von Bauwerkuntersuchungen in ausreichender Qualität beschafft werden können. Vertiefte Bauwerksuntersuchungen an relevanten Bauteilen (beispielsweise messtechnische Untersuchungen und Laborprüfungen) können notwendig werden. Die mechanischen Eigenschaften der Baustoffe werden anhand der Bezeichnung aus früheren Normen und/oder Materialprüfungen bestimmt.

## C.2 Generelle Untersuchung

Gemäss der Norm SIA 269/8 [2], Ziffer 2.1.2, ist es zweckmässig, zuerst eine generelle Untersuchung durchzuführen. Ergibt sich daraus ein Erfüllungsfaktor, der Massnahmen erfordert, so sind gegebenenfalls detaillierte Untersuchungen angezeigt (z. B. verfeinerte Tragwerksmodelle, verformungsbasierte Verfahren, nichtlineare Berechnungen), die eine genauere, unter Umständen günstigere Beurteilung ermöglichen.

In der generellen Untersuchung stehen die Beurteilung des Tragwerkskonzepts sowie die Mechanismen und Art des möglichen Tragwerksversagens im Vordergrund. Die massgebenden Schwachstellen des Tragwerks sollen identifiziert und beurteilt werden. Die überschlägige Untersuchung erfolgt anhand von einfachen, konservativen Berechnungen beispielsweise anhand des Ersatzkraftverfahrens (EKV). Sie liefert approximative Resultate, die das Niveau der Erdbebensicherheit in der Regel konservativ einschätzen.

### C.2.1 Eignung für eine generelle Untersuchung

Anhand der folgenden Eignungskriterien (Tabelle C1), denen die Grundsätze für die Regelmässigkeit der Ziffern 16.5.1.3 und 16.5.1.4 für ein erdbebengerechtes Tragwerkskonzepts der Norm SIA 261 [1] zugrunde liegen, kann über die Anwendbarkeit einfacher, konservativer Berechnungsverfahren entschieden werden.

## Checkliste C1 Eignung für eine generelle Untersuchung

| Kriterium | Beschreibung | Erfüllt | Nicht erfüllt |
|---|---|---|---|
| K1 | Die verfügbaren Grundlagen lassen ein zur Abtragung der horizontalen Kräfte bis in den Baugrund geeignetes Tragsystem erkennen.[6] | ☐ | ☐ |
| Begründung/Bemerkungen: | | | |
| K2 | Alle wesentlichen Bauteile dieses Tragsystems verlaufen ohne Unterbrechung vom Fundament bis zu ihrer Oberkante. | ☐ | ☐ |
| Begründung/Bemerkungen: | | | |
| K3 | Der Torsionswiderstand dieses Tragsystems ist ausreichend gross. | ☐ | ☐ |
| Begründung/Bemerkungen: | | | |
| K4 | Der Tragwiderstand für Horizontalkräfte der einzelnen Geschosse verändert sich über die Höhe des Gebäudes nicht sprunghaft.[7] | ☐ | ☐ |
| Begründung/Bemerkungen: | | | |
| K5 | Die Decken weisen in ihrer Ebene eine nennenswerte Tragfähigkeit für Zug- und Druckbeanspruchung in zwei orthogonalen Richtungen auf und können die Kräfte in die vertikalen Bauteile des Tragsystems zur Abtragung der horizontalen Kräfte übertragen. | ☐ | ☐ |
| Begründung/Bemerkungen: | | | |
| K6 | Eine ausreichende Schubkraftübertragung zwischen Decke und Tragwand ist sichergestellt. | ☐ | ☐ |
| Begründung/Bemerkungen: | | | |
| K7 | Alle Wände sind in den Decken auf Zug und Druck quer zur Wand verankert, oder erfüllen das folgende Schlankheitskriterium[8]: $h/t \leq 19$ (Z1); $h/t \leq 11$ (Z2); $h/t \leq 9$ (Z3a); $h/t \leq 7$ (Z3b). | ☐ | ☐ |
| Begründung/Bemerkungen: | | | |

6 Ist das Gebäude durch Trennfugen unterteilt, ist für jeden Gebäudeteil ein geeignetes Tragsystem erforderlich.

7 Ausnahme bildet der Übergang in die Untergeschosse bzw. in das Einspann- sowie in das Attikageschoss.

8 Ohne Berücksichtigung einer Quer-Auflagerung bei den Decken

### C.2.2 Hinweise

Für ein für die generelle Untersuchung als geeignet beurteiltes Gebäude wird die Scheibenwirkung der bestehenden Decken bestimmt und es wird rechnerisch wie folgt vorgegangen.

**In ihrer Ebene steife Decken (gute Scheibenwirkung)**

- Die Ersatzkräfte werden für beide Hauptrichtungen bestimmt (SIA 261 [1], Ziffer 16.5.2.4 und 16.5.2.5)
- Die Torsionswirkung infolge tatsächlicher und zufälliger Exzentrizität der Massenschwerpunkte der einzelnen Geschosse wird näherungsweise berücksichtigt. Falls das Eignungskriterium K3 (Tabelle C1) erfüllt ist, kann die Torsionswirkung infolge zufälliger Exzentrizität vernachlässigt werden.
- Der Verhaltensbeiwert q wird nach den Normen SIA 262 bis 266 für nicht-duktiles Verhalten angesetzt. Bei gemischten Tragwerken sollte q = 1,5 angesetzt werden.
- Zur Ermittlung der Grundschwingzeit wird ein einfaches Stab-Massen-Modell für das Tragwerksmodell oder die Methode Rayleigh verwendet. Die Steifigkeitsreduktion infolge Rissbildung ist möglichst realistisch zu berücksichtigen.
- Die geschossweise Verteilung der Ersatzkräfte auf die einzelnen Wände kann unter Annahme elastischen Verhaltens erfolgen [11].
- Die Krafteinleitung aus den Decken in die Wände ist zu prüfen. In Zweifelsfällen wird ein rechnerischer Nachweis empfohlen.

**In ihrer Ebene «weiche» Decken (keine oder geringe Scheibenwirkung)**

- Um die Ersatzkräfte zu bestimmen, wird die gesamte Deckenfläche auf die Tragwände aufgeteilt ohne einen Ausgleich zu Gunsten schwächerer Wände zu berücksichtigen. Für jede Tragwand muss die Masse jedes Stockwerks x als Masse der Wand vom Niveau x+½ bis x–½ und der Masse aus den zugehörigen Deckenflächen bestimmt werden. Die Ersatzkräfte werden für jede Tragwand nach dem Prinzip der Ziffern 16.5.2.4 und 16.5.2.5 der Norm SIA 261 [1] mit dem Plateauwert des Bemessungsspektrums $S_d$ bestimmt.
- Der Verhaltensbeiwert q wird nach den Normen SIA 262 ff für nicht-duktiles Verhalten angesetzt. Bei gemischten Tragwerken gilt q = 1,5.
- Die Krafteinleitung aus den Decken in die Wände ist zu prüfen. In Zweifelsfällen wird ein rechnerischer Nachweis empfohlen.

**Weitere Hinweise**

Die Ermittlung der Tragwiderstände in der Wandebene von Mauerwerkswänden sollte in der Regel auf Basis der Spannungsfeldtheorie erfolgen. Dazu stehen in der Norm SIA 266 (2015) [14] Bemessungsdiagramme für den Fall der Schubbeanspruchung mit zentrischer Normalkraft zur Verfügung. Alternative geeignete Modelle dürfen in ihrem Gültigkeitsbereich angewendet werden [15]. Bei der Ermittlung der Tragwiderstände von Stahlbetonbauteilen ist von der damals üblicherweise angeordneten Mindestbewehrung auszugehen, wenn keine detaillierten Angaben zur vorhandenen Bewehrung verfügbar sind. In der Regel kann der Schubtragwiderstand von Stahlbetonwänden unter Annahme einer Druckfeldneigung von 25° nach Norm SIA 262 [16] bestimmt werden. Die Erhaltungsnormen (SIA 269/2, SIA 269/3, SIA 269/5, SIA 269/6-1 und SIA 269/6-2) enthalten Angaben zu früher verwendeten Baustoffen und deren Kennwerten.

## C.3 Checkliste zur konzeptionellen und konstruktiven Beurteilung

Gemäss Ziffer 9.3 der Norm SIA 269/8 [2] ist eine konzeptionelle und konstruktive Beurteilung ergänzend zur rechnerischen Beurteilung erforderlich. Die Norm SIA 261 [1] formuliert für Neubauten, gemäss Ziffer 16.1.6, die Einhaltung konzeptioneller und konstruktiver Massnahmen, die das Erdbebenverhalten begünstigen. Diese Kriterien können bei einem bestehenden Gebäude für eine konzeptionelle und konstruktive Beurteilung verwendet werden. Die folgende Tabelle C2 soll eine Hilfestellung geben um das Gebäudeverhalten unter Erdbebeneinwirkungen als eher günstig oder eher ungünstig beurteilen zu können.

## Checkliste C2 zur konzeptionellen und konstruktiven Beurteilung

| Kriterium | Beschreibung | Erfüllt | Nicht erfüllt |
|---|---|---|---|
| | **Grundriss, bauliche Ausbildung** | | |
| K1 | Tragelemente zur Abtragung der horizontalen Kräfte (Rahmen, Tragwände inkl. Kerne, Fachwerke usw.) sind symmetrisch über den Grundriss verteilt und mit ähnlichen Verformungseigenschaften versehen. Ihr Zusammenwirken ist durch entsprechend ausgebildete Deckenscheiben, Verbände usw. sichergestellt. | ☐ | ☐ |
| Begründung/Bemerkungen: | | | |
| K2 | Es bestehen keine Unstetigkeiten von Steifigkeiten und Widerständen gegen Biegung, Schub und Torsion bei Tragelementen zur Abtragung der horizontalen Kräfte (in vertikaler Richtung). Ausnahme: Übergang in Untergeschosse. | ☐ | ☐ |
| Begründung/Bemerkungen: | | | |
| K3 | Untergeschosse sind als steifer Kasten ausgebildet. | ☐ | ☐ |
| Begründung/Bemerkungen: | | | |
| | **Gebäudesystem** | | |
| K4 | Der Abstand zu den angrenzenden Gebäuden ist ausreichend gross. Falls dies nicht zutrifft liegen die Geschossdecken auf der gleichen Höhe wie die des angrenzenden Gebäudes und die Gebäudehöhen sind etwa gleich gross. | ☐ | ☐ |
| Begründung/Bemerkungen: | | | |
| K5 | Interne Zwischengeschosse sind entweder unabhängig vom Haupttragwerk in beiden horizontalen Richtungen ausgesteift oder fest mit dem Aussteifungssystem für horizontale Kräfte des Haupttragwerks verbunden. | ☐ | ☐ |
| Begründung/Bemerkungen: | | | |
| K6 | Decken aus vorgefertigten Betonelementen haben eine durchgehende, bewehrte Überbetonschicht, die die Betonelemente untereinander verbindet. | ☐ | ☐ |
| Begründung/Bemerkungen: | | | |
| K7 | Die Bewehrungsdetails erfüllen näherungsweise die Mindestanforderungen an die nicht-duktile Bauweise gemäss SIA 262 [16]. | ☐ | ☐ |
| Begründung/Bemerkungen: | | | |
| K8 | In keinem Geschoss finden sich Stützen mit einem Verhältnis von Stützenhöhe zu Stützenstärke < ⅔ (typische Stütze im betrachteten Geschoss). | ☐ | ☐ |
| Begründung/Bemerkungen: | | | |

| | | | |
|---|---|---|---|
| | **Konstruktion** | | |
| K9 | Vorfabrizierte Elemente sind mit anderen Bauteilen verbunden. | ☐ | ☐ |
| Begründung/Bemerkungen: | | | |
| K10 | Vorfabrizierte Elemente mit verschiebbaren Auflagern haben eine Auflagerlänge von $1/70$ der Spannweite bzw. mindestens 150 mm. | ☐ | ☐ |
| Begründung/Bemerkungen: | | | |
| | **Verbindungen** | | |
| K11 | Decken und im Besonderen deren Bewehrung, sind im Anschlussbereich an Tragwände derart ausgelegt, dass die horizontalen Kräfte in die Tragwände übertragen werden können. | ☐ | ☐ |
| Begründung/Bemerkungen: | | | |
| K12 | Die Decken sind derart mit den Stahlrahmen verbunden, dass die horizontalen Kräfte in die Rahmen übertragen werden können. | ☐ | ☐ |
| Begründung/Bemerkungen: | | | |
| K13 | Überbetonschichten bei vorgefertigten Betondecken sind anhand von Dübeln mit den Tragwänden bzw. den Rahmen verbunden. | ☐ | ☐ |
| Begründung/Bemerkungen: | | | |
| | **Fundation** | | |
| K14 | Das Tragwerk ist nicht auf stark unterschiedlich steifem Baugrund gegründet. | ☐ | ☐ |
| Begründung/Bemerkungen: | | | |
| K15 | Zur Gewährleistung gleicher Verschiebungen sind im Lockergestein keine Einzelfundamente vorhanden ausser sie sind untereinander durch Fundamentriegel usw. verbunden. | ☐ | ☐ |
| Begründung/Bemerkungen: | | | |
| | **Zustand** | | |
| K16 | Es gibt keine Anzeichen von erheblichen Bewegungen der Fundation (Setzungen oder Hebungen), welche die Integrität oder die Festigkeit des Tragwerks beeinträchtigen könnten. | ☐ | ☐ |
| Begründung/Bemerkungen: | | | |
| K17 | Es sind am gesamten Tragwerk keine Anzeichen erkennbar, die auf Schäden oder Mängel an der Bewehrung schliessen lassen. | ☐ | ☐ |
| Begründung/Bemerkungen: | | | |
| K18 | Bei Vorspannungen sind keine Anzeichen von Korrosion oder Abplatzungen des Betons erkennbar. | ☐ | ☐ |
| Begründung/Bemerkungen: | | | |

| | | | |
|---|---|---|---|
| K19 | Allfällige diagonale Rissbreiten in Betonwänden oder -stützen sind nicht > 1 mm und treten nicht lokal konzentriert auf. | ☐ | ☐ |
| Begründung/Bemerkungen: | | | |
| K20 | Es sind am ganzen Tragwerk keine Anzeichen von Korrosion erkennbar. | ☐ | ☐ |
| Begründung/Bemerkungen: | | | |
| K21 | Es sind keine Schäden der Mauerwerksteine erkennbar. | ☐ | ☐ |
| Begründung/Bemerkungen: | | | |
| K22 | Der Mörtel kann nicht mühelos von Hand mit Hilfe eines Metallwerkzeugs herausgekratzt werden und es sind keine Fugenbereiche mit fehlendem Mörtel vorhanden. | ☐ | ☐ |
| Begründung/Bemerkungen: | | | |
| K23 | Die Rissbreite von diagonalen Rissen in Mauerwerkswänden ist nicht grösser als 1 mm. In den Lagerfugen tritt kein Versatz quer zur Wandebene > 3 mm auf. | ☐ | ☐ |
| Begründung/Bemerkungen: | | | |
| K24 | Am ganzen Bauwerk sind keine beschädigten Fassadenelemente vorhanden. | ☐ | ☐ |
| Begründung/Bemerkungen: | | | |
| | **Sekundäre Bauteile** | | |
| K25 | Mauerwerksausfachungen in Rahmen sind von der Hauptstruktur abgefugt oder sie sind durchlaufend bis zur Unterkante des Rahmenriegels. Ihre Festigkeit (als Scheibe) ist im Vergleich zum Widerstand der Rahmenstützen gering. | ☐ | ☐ |
| Begründung/Bemerkungen: | | | |
| K26 | Sekundäre Bauteile aus Mauerwerk, inklusive Ausfachungen in Rahmen, sind ausreichend gegen Kräfte quer zur Wandebene gehalten. | ☐ | ☐ |
| Begründung/Bemerkungen: | | | |
| K27 | Deckenbekleidungen sind in beiden horizontalen Richtungen an darüber liegenden Tragelementen ausreichend gehalten. | ☐ | ☐ |
| Begründung/Bemerkungen: | | | |
| K28 | Deckenbekleidungen werden nicht zur seitlichen Abstützung sekundärer Bauteile verwendet. | ☐ | ☐ |
| Begründung/Bemerkungen: | | | |
| K29 | Dachelemente aus Metall, Fiberglas oder Zement sind fest mit dem Tragsystem des Dachs verbunden. | ☐ | ☐ |
| Begründung/Bemerkungen: | | | |

| | | | |
|---|---|---|---|
| K30 | Fassaden sind am Tragwerk des Gebäudes für Kräfte in allen Richtungen ausreichend gehalten.<br>Pro Fassadenelement sind mindestens zwei Befestigungen vorhanden. | ☐ | ☐ |
| Begründung/Bemerkungen: | | | |
| K31 | Die Aussenschale von Zweischalen-Mauerwerk ist quer zur Wandebene ausreichend gehalten. | ☐ | ☐ |
| Begründung/Bemerkungen: | | | |
| K32 | Auf Dachniveau gibt es keine Brüstungen aus Mauerwerk mit Schlankheiten > 2.5. | ☐ | ☐ |
| Begründung/Bemerkungen: | | | |
| K33 | Kamine aus Mauerwerk haben Schlankheiten von ≤ 5 (ab der obersten Verankerungsstelle gerechnet, wobei auf Höhe der Dachdurchdringung in der Regel keine Verankerung vorliegt) und sind am Tragwerk ausreichend verankert. | ☐ | ☐ |
| Begründung/Bemerkungen: | | | |
| K34 | Kaminhüte sind am Kamin ausreichend verankert. | ☐ | ☐ |
| Begründung/Bemerkungen: | | | |

Anhand der Checkliste können grundsätzliche Mängel erkannt werden, die das Erdbebenverhalten des Gebäudes eher günstig oder eher ungünstig beeinflussen können und bei der rechnerischen Untersuchung und/oder der Massnahmenempfehlung berücksichtigt werden müssen. Ist die Mehrheit der konzeptionelle und konstruktive Massnahmen nicht eingehalten, ist über die Zweckmässigkeit einer vereinfachten Analyse des Gebäudes im Rahmen einer generellen Untersuchung zu entscheiden. Falls schwerwiegende konzeptionelle und konstruktive Mängel vorliegen und ein Erfüllungsfaktor weit unter dem Mindesterfüllungsfaktor erwartet werden muss (beispielsweise „Soft Storey“), ist der Sinn einer rechnerischen Untersuchung der Erdbebensicherheit grundsätzlich zu hinterfragen. In einem solchen Fall sollte mit dem Eigentümer über das weitere Vorgehen, zum Beispiel über eine Untersuchung der Gesamtstabilität des Gebäudes oder eine direkte Massnahmenplanung entschieden werden.

## C.4 Kurzerläuterung zum Anhang E der SIA 269/8

Erdbebensicherheitsmassnahmen umfassen gemäss der Norm SIA 269/8 [2] Massnahmen zur Verbesserung des Schutzes von Personen, Sachwerten, kulturellen Werten und der Umwelt vor den Folgen eines Erdbebens sowie zur Vermeidung von Infrastruktur- oder Betriebsunterbrüchen infolge von Erdbeben. Personen und bedeutende oder lebenswichtige Infrastrukturen sind als Schutzgut immer zu berücksichtigen.

Für die Schutzgüter Bauwerk, Sachen und Betrieb wird empfohlen, sie zusätzlich zu berücksichtigen, wenn sie von hohem Wert sind oder, wenn grössere Investitionen geplant sind. Hier gilt der informative Anhang E der Norm SIA 269/8 [2]. Anhang E gibt konkrete Hinweise wie diese Schutzgüter quantitativ zu bewerten sind.

Die Reduktion des Risikos von Bauwerksschäden wird anhand des sogenannten Bauwerkrisikofaktors abgeschätzt, wobei hier grundsätzlich zwischen Bauwerken mit einem bedeutenden Anteil an sekundären Bauteilen (z. B. übliche Hochbauten wie Wohn- und Geschäftsbauten, Verwaltungsgebäude, Schulen und Museen) und Bauwerken mit einem unbedeutenden Anteil an sekundären Bauteilen (z. B. Brücken, Stützmauern, Reservoirs) unterschieden wird. Für den Wert des Bauwerks kann der Versicherungswert oder Ersatzwert angesetzt werden.

Die Reduktion des Risikos von Sachschäden wird anhand des sogenannten Sachenrisikofaktors abgeschätzt wobei hier grundsätzlich nur Sachwerte zu berücksichtigen sind, deren Wert in derselben Grössenordnung wie der Wert des Bauwerks liegt.

Die Reduktion des Risikos von Betriebsunterbrechungen wird anhand des sogenannten Unterbrechungsrisikofaktors abgeschätzt, wobei hier grundsätzlich nur entstehende Ertragseinbussen bzw. Kosten zur Aufrechterhaltung des Betriebs zu berücksichtigen sind, wenn sie mehr als 20 % des Bauwerkswerts betragen.

## C.5 Massnahmenempfehlung

Sind Massnahmen erforderlich, sind die Massnahmenkonzepte soweit auszuarbeiten, dass ihre Machbarkeit belegt ist und ihre Wirkung und ihre Kosten abgeschätzt werden können. Die Erarbeitung von baulichen Massnahmenkonzepten ohne Hinweise auf zukünftig mögliche Interventionen am untersuchten Bauwerk kann nur skizzenhaft erfolgen. Die Kostenschätzung reduziert sich folglich auf die groben Rohbaukosten. Die Realisierbarkeit, Effizienz sowie die tatsächlichen Kosten unter Berücksichtigung allfälliger Synergien mit Ohnehin-Massnahmen können erst im Rahmen eines Bauvorhabens unter Beteiligung eines Architekten sowie Fachplanern der Bereiche Gebäudetechnik, Maschinenbau und Elektrotechnik entwickelt werden, da erst zu diesem Zeitpunkt eine detaillierte Projektierung der baulichen Erdbebensicherheitsmassnahmen erfolgen kann.

# Literatur


[1] Norm SIA 261 (2020): Einwirkungen auf Tragwerke, Schweizer Ingenieur- und Architektenverein sia, Zürich.

[2] Norm SIA 269/8 (2017): Erhaltung von Tragwerken – Erdbeben, Schweizer Ingenieur- und Architektenverein sia, Zürich.

[3] BAFU Instrumentarium (2020): Erdbebenschutz bei Bauvorhaben des Bundes, Bundesamt für Umwelt, Bern. www.bafu.admin.ch/erdbeben

[4] Dokumentation D0227 (2008): Erdbebensicherheit von Gebäuden – Rechts- und Haftungsfragen, Schweizer Ingenieur- und Architektenverein sia, Zürich.

[5] Norm SIA 269 (2011): Grundlagen der Erhaltung von Tragwerken, Schweizer Ingenieur- und Architektenverein sia, Zürich.

[6] Norm SIA 260 (2013): Grundlagen der Projektierung von Tragwerken, Norm Schweizer Ingenieur- und Architektenverein sia, Zürich.

[7] Hansjörg Seiler (2000): Risikobasiertes Recht – Wieviel Sicherheit wollen wir?, Bern.

[8] Ordnung SIA 103 (2014): Ordnung für Leistungen und Honorare der Bauingenieurinnen und Bauingenieure, Schweizer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich.

[9] Verständigungsnorm SIA 112 (2014): Modell Bauplanung, Schweizer Ingenieur- und Architektenverein sia, Zürich.

[10] Thomas Wenk (2008): Erdbebenertüchtigung von Bauwerken. Strategie- und Beispielsammlung aus der Schweiz. Umwelt-Wissen Nr. 0832. Bundesamt für Umwelt, Bern.

[11] Hugo Bachmann (1995): Erdbebensicherung von Bauwerken. Birkhäuser Verlag, Zürich.

[12] Hugo Bachmann (2002): Erdbebensicherung von Bauwerken, 2., überarbeitete Auflage, Birkhäuser Verlag, Zürich

[13] Gurrieri F. (1999). Regione dell'Umbria – Manuale per la riabilitazione e la ricostruzione postsismica degli edifici. DEI Tipografia del Genio Civile, Rome, Italy.

[14] Norm SIA 266 (2015): Mauerwerk, Schweizer Ingenieur- und Architektenverein sia, Zürich.

[15] EPFL/CREALP/BAFU (2006): Mauerwerk: Schubbeanspruchung mit zentrischer Normalkraft, Tragwiderstand parallel zur Wandebene.

[16] Norm SIA 262 (2013): Betonbau, Schweizer Ingenieur- und Architektenverein sia, Zürich.

# Glossar

**Bauwerksklasse**
Die Einteilung des Bauwerks in eine Bauwerksklasse (BWK) legt gemäss der Norm SIA 261 [1] den Schutzgrad fest. Kriterien für die Einteilung in eine Bauwerksklasse sind gemäss der Norm SIA 261 die mittlere Personenbelegung, das Schadenspotenzial und die Gefährdung der Umwelt infolge eines Versagens und die Bedeutung des Bauwerks für die Katastrophenbewältigung unmittelbar nach einem Erdbeben.

**Bemessung**
Festlegen der Abmessungen, der Baustoffe und der konstruktiven Durchbildung eines Tragwerks auf der Basis von konstruktiven oder ausführungstechnischen Betrachtungen und in der Regel von rechnerischen Nachweisen. [6]

**Erdbebeneinwirkungen**
Die zu berücksichtigenden Erdbebeneinwirkungen sind entweder Beschleunigungen oder Verschiebungen. Die Grösse der auf ein Bauwerk wirkenden Erdbebeneinwirkungen hängt von der Erdbebenzone (Gefährdung), der Baugrundklasse (lokaler Baugrund) und der Bauwerksklasse (BWK) ab.

**Erdbebeningenieurwesen**
Das Erdbebeningenieurwesen ist ein anspruchsvolles Spezialgebiet innerhalb des Fachbereichs Bauingenieurwesen und eine fakultative Vertiefungsrichtung innerhalb des Bauingenieurstudiums. Durch eine Vorbildung im Rahmen des Bauingenieurstudiums oder eine berufliche Weiterbildung eignet sich der Bauingenieur spezielles baudynamisches Wissen und Kenntnisse über spezifische Modellierungs- und Berechnungsmethoden an. Die Überprüfung der Erdbebensicherheit von bestehenden Bauten verlangt vertiefte Kenntnisse über früher gebräuchliche Baustoffe und Konstruktionstechniken.

**Erdbebensicherheit**
Erdbebensicheres oder besser erdbebengerechtes Bauen heisst Menschen vor einstürzenden Bauwerken schützen, Schäden an Bauwerken begrenzen, die Funktionstüchtigkeit wichtiger Bauwerke im Ereignisfall aufrechterhalten und Folgeschäden von Erdbeben (z. B. durch Feuer, Produktionsausfall etc.) begrenzen.
(Quelle: *www.bafu.admin.ch/erdbeben,* Stand 2018)

**Erdbebenrisiko**
Das Erdbebenrisiko ermittelt sich aus der Verknüpfung von vier Faktoren: Erdbebengefährdung, lokaler Untergrund, Wertekonzentration und Schadensanfälligkeit (Verletzlichkeit) der Gebäude.
(Quelle: *www.seismo.ethz.ch/de/home,* Stand 2018)

Heute weist die Mehrzahl der bestehenden Bauten und Anlagen in der Schweiz eine unbekannte und zum Teil zu geringe Erdbebensicherheit auf. Die relativ hohe Verletzlichkeit der bestehenden Bauten führt dazu, dass im Ereignisfall erhebliche Schäden zu erwarten sind. Aufgrund der hohen Bebauungsdichte konzentriert sich das Erdbebenrisiko vor allem auf die Ballungszentren. Besonders hoch ist das Risiko, wenn diese auf schlechtem geologischem Baugrund liegen, wo die Bodenerschütterungen am meisten verstärkt werden.
(Quelle: *www.bafu.admin.ch/erdbeben,* Stand 2018)

**Gebäude**
Gebäude sind auf Dauer angelegte, mit dem Boden fest verbundene Bauten, die Wohnzwecken oder Zwecken der Arbeit, der Ausbildung, der Kultur oder des Sportes dienen (Quelle: Verordnung über das eidgenössische Gebäude- und Wohnungsregister (VGWR), SR 431.841). Eine Überprüfung der Erdbebensicherheit gemäss der Norm SIA 269/8 [2] bezieht sich auf das Tragwerk und die sekundären Bauteile gemäss der Norm SIA 261 [1], Ziffer 16.7.

**Eigentümer**
Wenn im Kontext dieser Richtlinie vom Eigentümer gesprochen wird, so wird davon ausgegangen, dass es sich um jene Person oder Organisation handelt, die für die Erdbebensicherheit des Gebäudes verantwortlich ist.

**Schadensausmass**
Das Schadensausmass bestimmt sich durch die Anzahl Personen und die Sachwerte, die einem gefährlichen Ereignis zum Zeitpunkt seines tatsächlichen Eintrittes ausgesetzt sind sowie durch die Schadensempfindlichkeit der betroffenen Personen und Werte. Dabei können die-

se Werte ökonomische, ökologische oder soziale Dimensionen haben. (Quelle: *www.planat.ch)*

Das Schadensausmass beschreibt die Höhe der bei einem Ereignis voraussichtlich eintretenden Schäden anhand von Schadensindikatoren.
(Quelle: *www.babs.admin.ch,* Glossar der Risikobegriffe, 2013)

**Schadenspotenzial**
Begrifflich nahe beim Schadensausmass liegt das Schadenspotenzial. Es handelt sich dabei um einen möglichen Schaden, der bei einem Ereignis auftreten könnte. Das Schadenspotenzial hängt von den gefährdeten Schutzgütern ab, die potentiell bei einem Ereignis betroffen sein könnten.
(Quelle: *www.babs.admin.ch,* Glossar der Risikobegriffe, 2013)

**Verhältnismässigkeit**
Gewährleisten eines effizienten Mitteleinsatzes zur Reduktion des Gesamtrisikos mit Beschränkung des Individualrisikos. (Quelle: Merkblatt SIA 2018 «Überprüfung bestehender Gebäude bezüglich Erdbeben», 2004).

Gegenüberstellung von Aufwand und Nutzen von Erhaltungsmassnahmen mit dem Ziel eines effizienten Mitteleinsatzes. [5]

**Verletzlichkeit**
Die Verletzlichkeit beschreibt die Anfälligkeit eines Systems, einer Organisation oder einer Gesellschaft, bei Einwirkungen einen Schaden zu erleiden und/oder die Funktionsfähigkeit zu verlieren. Der Begriff der Verletzlichkeit ist eng verknüpft mit dem Begriff der Resilienz. Ein verletzliches System ist nicht robust oder resistent. Synonym zur Verletzlichkeit wird auch der Begriff der Verwundbarkeit verwendet.
(Quelle: *www.babs.admin.ch,* Glossar der Risikobegriffe, 2013)

**Wahrscheinlichkeit**
Der Begriff der Wahrscheinlichkeit entstammt der Statistik und Wahrscheinlichkeitstheorie. Er wird hier als subjektiver Wahrscheinlichkeitsbegriff verwendet und definiert sich als Grad der Gewissheit, dass eine Aussage eintrifft.

**Schutzgut**
Als Schutzgut gilt alles, was aufgrund seines ideellen oder materiellen Wertes vor Schaden bewahrt werden soll. Als Schutzgüter sind insbesondere die Bevölkerung und ihre Lebensgrundlagen zu bezeichnen.
(Quelle: *www.babs.admin.ch,* Glossar der Risikobegriffe, 2013)

**Schutzziel**
Gemäss der Norm SIA 261 [1] besteht das mit der erdbebengerechten Projektierung angestrebte Schutzziel im Personenschutz, der Schadensbegrenzung und der Gewährleistung der Funktionstüchtigkeit wichtiger Bauwerke unter der Einwirkung des Bemessungsbebens.

Das Schutzziel beschreibt den angestrebten Sicherheitszustand. Damit wird die Grenze zwischen akzeptierbaren und nicht akzeptierbaren Risiken bezeichnet. Schutzziele können sehr allgemein gehalten sein («keine Person darf übermässig gefährdet sein») oder auch für die operative Umsetzung sehr konkret formuliert werden («das individuelle Risiko einer Person darf $10^{-5}$ pro Jahr nicht übersteigen»). Die Formulierung von Schutzzielen bildet eine Grundlage für die Risikobewertung in einem konkreten Anwendungsfall. Die Schutzzielformulierung ist daher ein Wertungsprozess in den die gesellschaftlichen Wertvorstellungen einfliessen. Schutzziele sind Bestandteil bzw. eine Grundlage für die Risikobewertung.
(Quelle: *www.babs.admin.ch,* Glossar der Risikobegriffe, 2013)