



Conference Paper

SIA 2018 - Überprüfung bestehender Gebäude bezüglich Erdbeben

Author(s):

Wenk, Thomas

Publication Date:

2005

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-006578789> →

Rights / License:

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#) →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

SIA 2018 - Überprüfung bestehender Gebäude bezüglich Erdbeben

Thomas Wenk
Wenk Erdbebeningenieurwesen und Baudynamik GmbH, Zürich

1 EINLEITUNG

In den neuen Tragwerksnormen SIA 260 bis 267, die Anfang 2003 in der Schweiz in Kraft getreten sind, wurden die Erdbebenbestimmungen gegenüber früheren Normengenerationen wesentlich verschärft. Im Allgemeinen sind jedoch bei Neubauten die Mehrkosten, die zur Erzielung der normengemässen Erdbebensicherheit notwendig sind, trotzdem von unbedeutender Grösse, falls die Erdbebeneinwirkung bereits von der frühen Entwurfsphase an berücksichtigt wird. Werden ältere, gemäss früheren Normen bemessene Bauwerke nach den neuen Normen überprüft, können die erforderlichen Nachweise der Erdbebensicherheit oft nicht erbracht werden. Die Ertüchtigung auf das Anforderungsniveau für Neubauten ist meist nur mit

beträchtlichem baulichen Aufwand und betrieblichen Folgekosten möglich. Ohne spezifische Regeln für die Überprüfung bestehender Bauten, besteht die Gefahr, dass erhebliche volkswirtschaftliche Mittel zur Reduktion des Erdbebenrisiko ineffizient im Vergleich mit der Prävention gegen andere Gefahren eingesetzt werden.

Ende 2004 ist als Ergänzung zu den Erdbebenbestimmungen in den SIA-Tragwerksnormen das Merkblatt SIA 2018 Überprüfung bestehender Gebäude bezüglich Erdbeben erschienen. Darin wird ein neuartiges, innovatives Vorgehen zur risikobasierten Überprüfung der Erdbebensicherheit eingeführt. Im ersten Schritt der Überprüfung erfolgt die Zustandserfassung des bestehenden Gebäudes gemäss den Grundsätzen

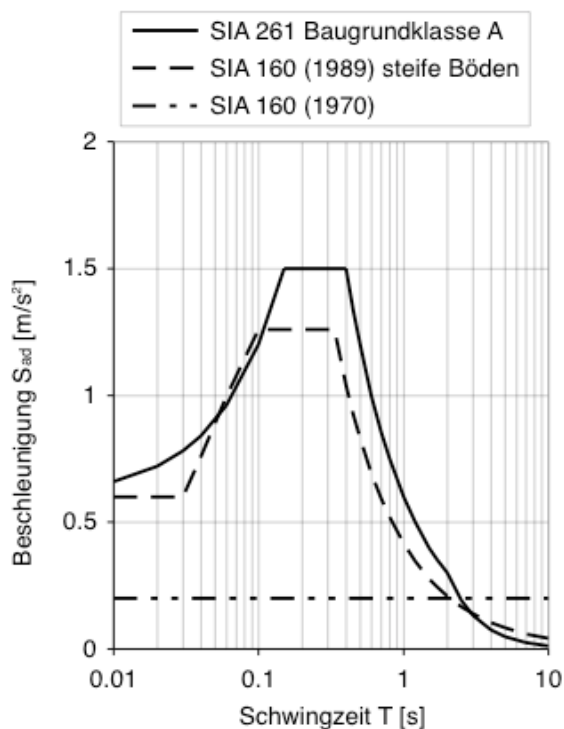


Abb. 1: Vergleich der Antwortspektren der *Beschleunigung* für elastisches Tragwerksverhalten auf Baugrundklasse A (Fels) in der niedrigsten Zone Z1 der bisherigen drei Normengenerationen der Schweiz

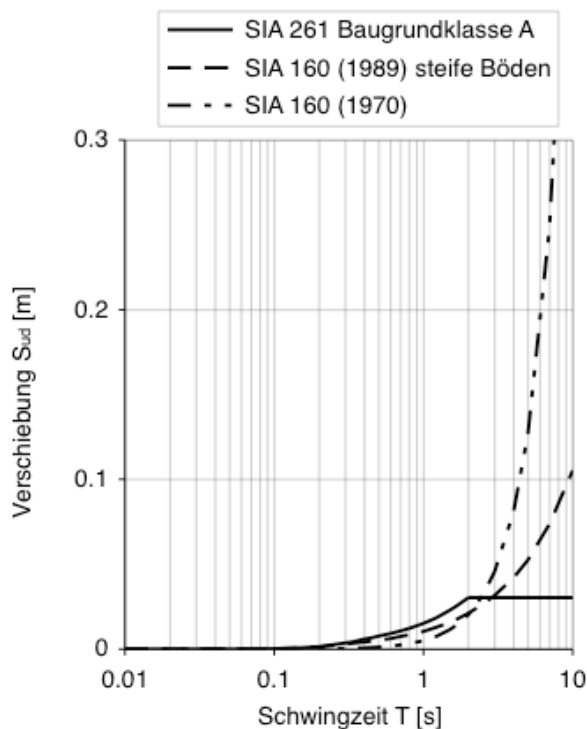


Abb. 2: Vergleich der Antwortspektren der *Verschiebung* für elastisches Tragwerksverhalten auf Baugrundklasse A (Fels) in der niedrigsten Zone Z1 der bisherigen drei Normengenerationen der Schweiz

der Tragwerksnormen für neue Bauten. Anschliessend wird im zweiten Schritt, der Zustandsbeurteilung, die Notwendigkeit und das Ausmass von Ertüchtigungsmassnahmen unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Voraussetzungen gegenüber Neubauten beurteilt. Im letzten Schritt, der sogenannten Massnahmenempfehlung, werden basierend auf den Ergebnissen der Zustandsbeurteilung konkrete Ertüchtigungsmassnahmen empfohlen. In der Regel ist es aufgrund von Kosten-Risiko-Überlegungen nicht sinnvoll, bestehende Bauten auf das Sicherheitsniveau der Normen für neue Bauten zu ertüchtigen. Das komplette Merkblatt SIA 2018 *Überprüfung bestehender Gebäude bezüglich Erdbeben* kann von den Internetseiten des Bundesamts für Wasser und Geologie heruntergeladen werden (BWG 2005).

2 NORMENVERGLEICH

Im Jahre 1970 wurden in der Schweiz erstmals Erdbebenbestimmung eingeführt und seither zweimal revidiert. Je nach Schwingungsverhalten des Bauwerks erreicht die Erdbebeneinwirkung in den Normen heute fast den 10-fachen Wert von 1970. Abbildung 1 zeigt als Vergleichsgrösse die Bemessungsspektren der Beschleunigung für elastisches Tragwerksverhalten der bisherigen drei Normengenerationen mit Erdbebenbestimmungen. Die gleiche Entwicklung als elastische Bemessungsspektren der Verschiebung ist in Abbildung 2 dargestellt. Sie zeigt gerade den umgekehrten Trend. Die Erdbebeneinwirkung ist mit jeder neuen Erdbebengeneration zumindest für die grössten Verschiebungen im Bereich der längeren Schwingzeiten über etwa $T = 2$ s zurückgegangen.

Die maximal zu erwartenden Beschleunigungen wurden früher stark unter- und die Verschiebungen stark überschätzt. Typisch waren völlig unrealistische, gegen unendlich strebende Spektralwerte der Verschiebungen für lange Schwingzeiten. Beispiele für solche Spektren finden sich neben der Norm SIA 160 (1970) z.B. auch in den Vornormen des Eurocodes 8 (1994). Mit dem Aufkommen verformungsbasierter Berechnungsverfahren wurden die Verschiebungen in neueren Normspektren auf realistische Werte reduziert. Der maximale Verschiebungsbedarf erreicht dann nur noch vergleichsweise kleine Werte. Dies trifft insbesondere bei niedriger bis mittlerer Seismizität zu, wie sie in den D-A-CH-Staaten vorherrschend ist. Und dort wo der Verschiebungsbedarf gering ist, wird die Anwendung verformungsbasierter Berechnungsverfahren für bestehende Bauten um so interessanter.

3 ALTERSSTRUKTUR DES BAUWERKS-BESTANDS

Im Vergleich zur Entwicklung der Erdbebennormen hat sich der Bauwerksbestand in der Schweiz während den letzten 35 Jahren langsam verändert. Aufgeteilt auf die im Kapitel 2 erwähnten Normengenerationen fallen gut 70% der Gebäude auf die Zeit vor 1970 und knapp 20% auf die Zeitspanne zwischen 1970 und 1989. Nur 10% sind seit 1989 nach aus heutiger Sicht modernen Erdbebennormen erstellt worden (Abbildung 3). Der Anteil der nach den neuen Tragwerksnormen von 2003 ausgelegten Bauten ist vorläufig noch vernachlässigbar. Obwohl ältere Gebäude dank konstruktiver Aspekte oder Windbemessung einen gewissen Grundschutz gegen Erdbeben aufweisen, ist davon auszugehen, dass die meisten die Anforderungen der heutigen Normen für Neubauten nicht erfüllen. Dies war der Hauptgrund für die Erarbeitung besonderer Regeln für die Erdbebensicherheit bestehender Gebäude.

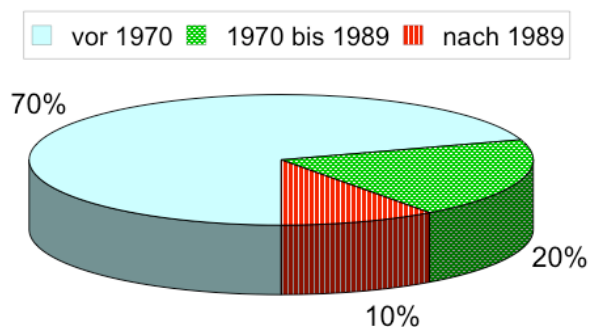


Abb. 3 Altersstruktur des Gebäudebestandes in der Schweiz aufgeteilt auf die Zeitperioden der bisherigen Normengenerationen mit Erdbebenbestimmungen

4 INHALT DES MERKBLATTS SIA 2018

Die wesentlichen Teile des Merkblatts werden in den Kapiteln 4.1 bis 4.7 dieses Beitrags beschrieben. Eine detaillierte Beschreibung befindet sich in der Dokumentation SIA D0211 (2005), die als offizieller Kommentar von den Autoren des Merkblatts erarbeitet worden ist (Bargähr 2005, Dazio 2005, Kölz & Duvernay 2005, Lang & Lestuzzi 2005, Vogel 2005, Vogt 2005, Wenk 2005).

4.1 Erdbebeneinwirkung

Grundsätzlich ist für bestehende Bauten die gleiche Erdbebeneinwirkung wie für neue Bauten zu berücksichtigen. Dementsprechend verweist das Merkblatt als Regelfall auf die Norm SIA 261 für die Bestimmung der Erdbebeneinwirkung.

Bei der Überprüfung eines bestehenden Bauwerkes kann jedoch eine aufwendigere Bestimmung der Erdbebeneinwirkung gerechtfertigt sein, insbesondere dann, wenn damit auf eine kostspielige Ertüchtigung verzichtet werden kann. Praktisch bedeutet dies, dass für Neubauten übliche Vereinfachungen und Schematisierungen, wie z.B. die Einteilung in Erdbebenzonen und Baugrundklassen, durch verfeinerte Untersuchungen im Einzelfall ersetzt werden dürfen. Ferner sieht das Merkblatt als Alternative zu den Antwortspektren der Norm SIA 261 die Bestimmung eines standortspezifischen Antwortspektrums durch eine bodendynamische Untersuchung vor. Die Vorgehensweise dazu wird in BWG 2004 ausführlich beschrieben.

Für das neu eingeführte verformungsbasierte Berechnungsverfahren wird die Erdbebeneinwirkung in der Form von elastischen Bemessungsspektren der Verschiebung und der Beschleunigung im Merkblatt vorgegeben.

4.2 Tragwerksanalyse

Im Merkblatt werden allgemeine Empfehlungen für die Modellbildung und die Steifigkeitsannahmen gegeben mit dem Ziel, ein möglichst wirklichkeitsnahes Tragwerksmodell zu erhalten. Für die Steifigkeit der Bauteile ist ein mittlerer Wert bis zum Fließbeginn in Rechnung zu stellen. Neben der Biegesteifigkeit soll auch die Schubsteifigkeit der Bauteile und die Nachgiebigkeit des Baugrunds berücksichtigt werden. Bei durch Tragwände ausgesteiften Gebäuden darf die Rahmenwirkung durch die Decken angerechnet werden.

Bei der *kräftebasierten* Tragwerksanalyse wird empfohlen, das Antwortspektrenverfahren anstelle des Ersatzkraftverfahrens anzuwenden und zwar auch dann, wenn die Regularitätskriterien erfüllt sind. Mit diesen Regeln soll vermieden werden, dass sich durch eine strikte Anwendung der Normen für Neubauten eine Überlagerung von Annahmen, die für bestehende Bauten zu stark auf der sicheren Seite liegen, ergeben würde.

Die im Rahmen des Merkblatts SIA 2018 in der Schweiz neu eingeführte *verformungsbasierte* Tragwerksanalyse wird ausführlich beschrieben zumindest für einfache Tragwerke. Die Beurteilung der Erdbebensicherheit besteht bei dieser Methode aus dem Vergleich des Verformungsvermögens des Tragwerks in der Form einer Kapazitätskurve für horizontale Einwirkung mit der Erdbebenauswirkung in der Form einer Zielverschiebung entsprechend dem elastischen Bemessungsspektrum. Die verformungsbasierten Berechnungen erfolgen mit charakteristischen Baustoffeigenschaften, um das wirkliche nicht-lineare Ver-

formungsverhalten des Tragwerks besser zu erfassen. Diese im Vergleich zu den Baustoffeigenschaften auf Bemessungsniveau günstige Annahme wird anschließend durch einen Partialfaktor $\gamma_D = 1,3$ kompensiert. Die verformungsbasierte Berechnung ist besonders geeignet für die Überprüfung bestehender Bauten, da das plastische Verformungsvermögens, anstelle einer Abschätzung mit einem pauschalen Verhaltensbeiwert, aufgrund einer detaillierten Tragwerksanalyse mit nicht-linearen Baustoffeigenschaften berechnet wird.

4.3 Tragfähigkeit von Betonbauten

Die Tragfähigkeit von Betonbauten kann entweder kräftebasiert oder verformungsbasiert berechnet werden. Voraussetzung für das verformungsbasierte Verfahren ist, dass das Tragwerk sogenannt *verformungsfähig* ist. Als verformungsfähig gilt ein Tragwerk, wenn alle seine tragenden Bauteile ein stabiles zyklisch-plastisches Verformungsverhalten aufweisen und spröde Versagensmechanismen, wie z.B. Schubzug- oder Schubdruckversagen, Biegeversagen mit Betonbruch vor Stahlfließen und Biegeversagen infolge Reißen der Längsbewehrung bei kleiner plastischer Dehnung, ausgeschlossen sind. Tragwerke gelten als *beschränkt verformungsfähig*, wenn sie die Anforderungen an verformungsfähige Tragwerke nicht erfüllen.

Beim kräftebasierten Verfahren erfolgt die Berechnung mit dem Verhaltensbeiwert q , der gleich wie bei Neubauten aufgrund der Betonstahleigenschaften und der konstruktiven Gestaltung der Bewehrung angenommen wird. Das kräftebasierte Verfahren darf bei allen Tragwerken angewandt werden.

Beim verformungsbasierten Verfahren wird die maximale Sehnendrehung der Stahlbetonbauteile mit Hilfe der Spannungs-Dehnungs-Diagramme für Beton und Stahl bestimmt. Dazu werden einfache Formeln zur Abschätzung der nominellen Fließkrümmung und der Länge der plastischen Gelenke nach Paulay & Priestley (1992) vorgegeben. Aus den Sehnendrehungen der Bauteile wird die horizontale Kraft-Verformungs-Beziehung des Tragwerks (Kapazitätskurve) berechnet und mit dem Verschiebungsbedarf verglichen. Das verformungsbasierte Verfahren darf nur bei verformungsfähigen Tragwerken angewandt werden.

4.4 Tragfähigkeit von Mauerwerksbauten

Die Beurteilung von Mauerwerksbauten erfolgt in der Regel nach dem kräftebasierten Verfahren mit dem gleichen Verhaltensbeiwert $q = 1,5$ wie für unbewehrtes Mauerwerk bei Neubauten. Auf die Normierung

des verformungsbasierten Verfahrens wurde vorläufig verzichtet, da die in der Literatur beschriebenen Vorgehensweisen zu stark vom bewährten kräftebasierten Verfahren gemäss Norm SIA 266 abweichen. Im Sinne einer Ausnahmeregelung wird auf den Teil 3 des Eurocodes 8 verwiesen (Eurocode 8 2004). Dort erfolgt der Vergleich zwischen Erdbebenauswirkungen und Verformungsvermögen auf der Basis von Stockwerkschiefeinstellungen.

Der Tragwiderstand einer Mauerwerkswand senkrecht zur Wandebene ist ebenfalls zu untersuchen. Er wird nicht formal berechnet, sondern durch Vergleich mit einer minimalen Wandschlankheit überprüft. In Abhängigkeit von Erdbebenzone, Bauwerksklasse und Lage des betrachteten Stockwerks im Gebäude darf die Wandschlankheit höchstens 1/20 bis 1/17 betragen, um ein Versagen senkrecht zur Wandebene auszuschliessen.

4.5 Tragfähigkeit von Stahl- und Holzbauten

Für Stahlbauten, Stahl-Beton-Verbundbauten und Holzbauten stehen vorläufig im Merkblatt noch keine baustoffspezifischen Regelung zur Verfügung. Die Beurteilung erfolgt in der Regel nach dem kräftebasierten Verfahren.

4.6 Zustandsbeurteilung

Der zentrale Begriff für die Zustandsbeurteilung ist der Erfüllungsfaktor α_{eff} . Er wird aus dem Vergleich des normgemässen Widerstands bzw. Verformungsvermögen R_d mit den normgemässen Auswirkungen E_d der Bemessungssituation Erdbeben bestimmt:

$$\alpha_{eff} = R_d / E_d \quad (1)$$

Bei einem Erfüllungsfaktor $\alpha_{eff} = 1$ werden die normgemässen Anforderungen für Neubauten voll erfüllt.

Für die Beurteilung des vorhandenen Erdbebenwiderstandes wird der Erfüllungsfaktor α_{eff} mit den Reduktionsfaktoren α_{min} und α_{adm} verglichen. Je nach Lage des Erfüllungsfaktors werden bezüglich der Notwendigkeit von Ertüchtigungsmassnahmen drei Bereiche unterschieden: zumutbare Massnahmen erforderlich, verhältnismässige Massnahmen erforderlich oder keine Massnahmen empfohlen, wie in den Abbildungen 4 und 5 dargestellt.

Der Reduktionsfaktor α_{min} stellt das minimal erforderliche Sicherheitsniveau unabhängig von der Restnutzungsdauer dar. Es entspricht einer Begrenzung des Individualrisikos auf 10^{-5} pro Jahr. Das Individualrisiko entspricht der Wahrscheinlichkeit, dass eine Einzelperson infolge Erdbeben in einer Zeitspanne von einem Jahr zu Tode kommt. Für Bauwerksklasse I (normale Wohn- und Geschäftsgebäude) und Bau-

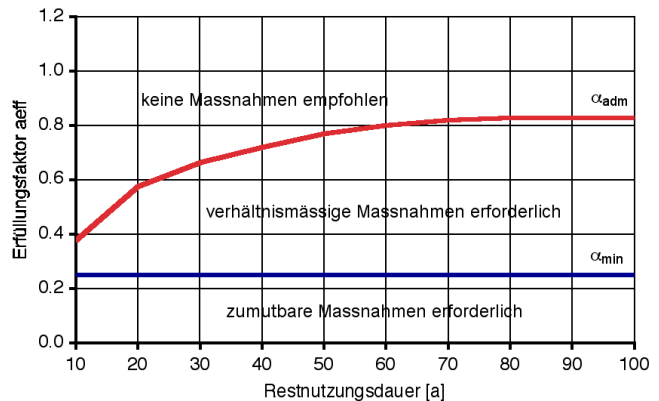


Abb. 4: Beurteilung der Erdbebensicherheit in Funktion des Erfüllungsfaktors und der Restnutzungsdauer bei Bauwerksklassen I und II (SIA 2018 2004)

werksklasse II (Schulen, Theater, Einkaufszentren usw.) wurde ein Reduktionsfaktor $\alpha_{min} = 0,25$ festgelegt (Abbildung 4). Für Bauwerksklasse III (Notfallzentralen, Feuerwehrgebäude, Ambulanzgaragen, usw.) wurde der Reduktionsfaktor auf $\alpha_{min} = 0,4$ erhöht, um der bei diesen Bauwerken grossen Bedeutung der Funktionstüchtigkeit nach einem Ereignis Rechnung zu tragen (Abbildung 5).

Der Reduktionsfaktor α_{adm} grenzt denjenigen Bereich ab, oberhalb dessen keine Ertüchtigungsmassnahmen mehr empfohlen werden. Er ist abhängig von der Restnutzungsdauer des Bauwerks und entspricht ungefähr einer konstanten Überschreitungswahrscheinlichkeit des Bemessungserdbebens innerhalb der Zeitspanne der angenommenen Restnutzungsdauer (Abbildungen 4 und 5).

Die Beurteilung der Tragsicherheit erfolgt bei allen drei Bauwerksklassen aufgrund des Erfüllungsfaktor α_{eff} . Bei der Bauwerksklasse III erfolgt zusätzlich die Beurteilung der Gebrauchstauglichkeit (SIA 260) da dort die Verfügbarkeit von grosser Bedeutung ist.



Abb. 5: Beurteilung der Erdbebensicherheit in Funktion des Erfüllungsfaktors und der Restnutzungsdauer bei Bauwerksklasse III (SIA 2018 2004)

Obwohl der Erfüllungsfaktors primär für die Beurteilung rechnerischer Nachweise konzipiert wurde, kann die Einhaltung der konzeptionellen und konstruktiven Massnahmen gemäss der Norm SIA 261 sinngemäss mit einem Erfüllungsfaktor beurteilt werden.

4.7 Massnahmenempfehlung

Grundsätzlich ist der normgemässe Zustand für Neubauten anzustreben. Wenn die Verhältnismässigkeit solcher Massnahmen gegeben ist, müssen diese ausgeführt werden. Wenn das Erreichen des normgemässen Zustands unverhältnismässige Kosten verursachen würde, sind Massnahmen nur soweit zu ergreifen, als sie noch verhältnismässig sind.

Solange der Erfüllungsfaktor unter dem Reduktionsfaktor α_{min} liegt, sind Massnahmen zu ergreifen, deren Kosten zumutbar sind. Wenn mit zumutbaren Ertüchtigungsmassnahmen der Erfüllungsfaktor nicht mindestens auf den Reduktionsfaktor α_{min} erhöht werden kann, muss das Individualrisiko mit betrieblichen Massnahmen begrenzt werden.

5 VERHÄLTNISSMÄSSIGKEIT UND ZUMUTBARKEIT

Die Beurteilung der Verhältnismässigkeit und der Zumutbarkeit einer Erdbebenertüchtigungsmassnahme erfolgt über die sogenannte Rettungseffizienz. Als verhältnismässig gilt eine Massnahme, wenn die Rettungskosten kleiner als CHF 10 Mio. und als zumutbar, wenn sie kleiner als CHF 100 Mio. pro gerettetes Menschenleben sind.

5.1 Rettungskosten

Die Rettungskosten sind definiert als Verhältnis der zu einer Massnahme gehörenden Sicherheitskosten SK_M und der durch die Massnahme erzielbaren Risikoreduktion ΔR_M . Die Sicherheitskosten SK_M in Franken pro Jahr berechnen sich als Produkt aus den anfänglichen sicherheitsbezogenen Investitionskosten für die betrachtete Massnahme und einem Diskontierungsfaktor in Funktion der angenommenen Restnutzungsdauer. Der anzunehmende Diskontzinssatz wurde auf 2% festgelegt. Die resultierenden Diskontierungsfaktoren sind im Merkblatt in Funktion der Restnutzungsdauer tabelliert.

Zu den Investitionskosten einer Massnahme gehören sowohl die Baukosten inklusive Honorare als auch allfällige Kosten der eingeschränkten Nutzung während des Umbaus. Die Verhältnismässigkeit einer Ertüchtigungsmassnahme wird meist wesentlich verbessert, wenn sie zusammen mit einem sowieso geplanten Umbau oder einer Instandsetzung erfolgt

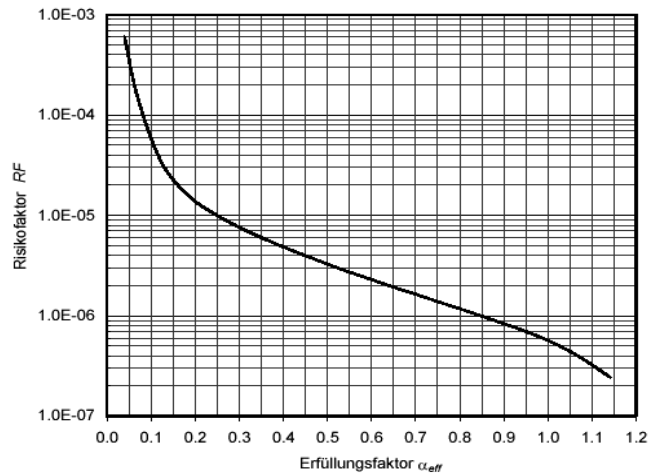


Abb. 6: Risikofaktoren RF zur Berechnung der Risikoreduktion in Funktion des Erfüllungsfaktors aus SIA 2018 (2004)

und nicht alle Aufwendungen den sicherheitsbezogenen Investitionskosten angerechnet werden müssen.

5.2 Risikoreduktion

Die Risikoreduktion ΔR_M , ausgedrückt in geretteten Menschenleben pro Jahr, errechnet sich aus der Differenz des kollektiven Personenrisikos vor und nach der Umsetzung einer Ertüchtigungsmassnahme. Das Merkblatt ermöglicht eine einfache Abschätzung der Risikoreduktion ΔR_M als Produkt aus der mittleren Personenbelegung PB in Personen pro Jahr und der Differenz der Risikofaktoren ΔRF vor und nach Umsetzung einer Massnahme:

$$\Delta R_M = \Delta RF \cdot PB \quad (2)$$

Die dimensionslosen Risikofaktoren RF sind im Merkblatt in Funktion des Erfüllungsfaktors α_{eff} gegeben (Abbildung 6). Zur Bestimmung der Differenz ΔRF werden die Risikofaktoren RF entsprechend dem Erfüllungsfaktor vor und nach der Realisierung einer Massnahme aus Abbildung 6 herausgelesen.

Für PB ist der Erwartungswert der Personenbelegung im Jahresdurchschnitt anzunehmen. Miteinzurechnen sind jene Personen, die im Umfeld des Bauwerks durch dessen Versagen gefährdet sind. Für die Abschätzung der Personenbelegung PB gibt das Merkblatt Richtwerte für die spezifische Personenbelegung von üblichen Gebäudetypen.

Im Allgemeinen genügt es, einzig die Risikoreduktion bezüglich geretteter Menschenleben zu betrachten. Die Risikoreduktion bei den Verletzten ist darin eingerechnet. Wenn Sachschäden eine gegenüber Personenschäden nicht zu vernachlässigende Grösse annehmen z.B. bei besonders wertvollen Gebäudeinhalten, sollte die Risikoreduktion bei den Sachschäden

ebenfalls berücksichtigt werden. Sie kann direkt bei den Sicherheitskosten SK_M abgezogen werden.

Die Risikofaktoren RF wurden auf der Grundlage der Verletzbarkeitsklassen und der Schadensgrade der EMS-98-Intensitätsskala für das Erdbebengefährdungsniveau in der Schweiz berechnet (Kölz & Duvernay 2005). Charakteristisch für den Kurvenverlauf in Abbildung 6 ist der starke Anstieg des Risikofaktors RF unterhalb eines Erfüllungsfaktors α_{eff} von etwa 0,3.

5.3 Fallbeispiel

Zur Veranschaulichung der Grössenordnungen von verhältnismässigen Sicherheitsinvestitionen werden diese in einem fiktiven Beispiel pro Person und für eine Restnutzungsdauer von 40 Jahren berechnet. Dies entspricht einem Diskontierungsfaktor von 0,037 pro Jahr. Ausgehend von einem relativ niedrigen Erfüllungsfaktor $\alpha_{eff} = 0,1$ im Istzustand, werden für eine Ertüchtigung bis zu einem Erfüllungsfaktor von 0,3 Investitionskosten bis zu CHF 14'000.-- bei einer mittleren Personenbelegung von einer Person verhältnismässig. Für eine weitergehende Ertüchtigung bis zu einem Erfüllungsgrad von 1,0 betragen die verhältnismässigen Investitionskosten CHF 16'000.-- pro Person. Für die Ertüchtigung über 0,3 hinaus bis 1,0 steht also nur die Differenz zwischen CHF 16'000.-- und CHF 14'000.-- oder CHF 2'000.-- pro Person als verhältnismässig zur Verfügung.

Mit dem Kriterium der Zumutbarkeit ergeben sich im gleichen Beispiel immerhin CHF 135'000.-- pro Person, um ausgehend vom Erfüllungsfaktor $\alpha_{eff} = 0,1$ aus den minimalen Reduktionsfaktor $\alpha_{min} = 0,25$ zu erreichen.

6 ERSTE ERFAHRUNGEN

Das Merkblatt SIA 2018 ist erst Ende 2004 erschienen, so dass noch wenige praktische Erfahrungen vorliegen. Im Allgemeinen zeigt es sich, dass Ertüchtigungsmassnahmen über einen Erfüllungsfaktor von etwa 0,3 hinaus oft unverhältnismässig sind. Andererseits stehen aufgrund des Kriteriums der Zumutbarkeit meist genügend Mittel zur Verfügung, um den Minimalwert des Erfüllungsfaktors von 0,25 zu erreichen. Es ist vorgesehen, das Merkblatt drei Jahre nach Erscheinen durch eine aufgrund der Erfahrungen überarbeitete Fassung zu ersetzen.

7 LITERATUR

BWG (2004), *Verfahren zu Erstellung und Verwendung von Mikrozonierungsstudien in der Schweiz*, Richtlinien des Bundesamts für Wasser und Geologie, Biel.

BWG (2005), *Beurteilung der Erdbebensicherheit bestehender Gebäude*, Konzept und Richtlinien für die Stufe 3, Weg-

leitungen des BWG. Bundesamt für Wasser und Geologie, www.bwg.admin.ch/themen/natur/d/pdf/ebvgs_3d.pdf, Biel.

Dazio A. (2005), *Tragfähigkeit von Betonbauten*, in: Überprüfung bestehender Gebäude bezüglich Erdbeben, Einführung in das Merkblatt SIA 2018, Dokumentation SIA D 0211, Schweizer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich.

Eurocode 8 (1994), *Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben - Teil 1-1: Grundlagen, Erdbebeneinwirkungen und allgemeine Anforderungen an Bauwerke*, Europäische Vornorm ENV 1998-1-1, Europäisches Komitee für Normung (CEN), Brüssel.

Eurocode 8 (2004), *Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben - Teil 3: Beurteilung und Ertüchtigung von Gebäuden*, Europäische Norm prEN 1998-3, Schlussentwurf, Europäisches Komitee für Normung (CEN), Brüssel.

Kölz E. & Duvernay B. (2005), *Verhältnismässigkeit und Zumutbarkeit*, in: Überprüfung bestehender Gebäude bezüglich Erdbeben, Einführung in das Merkblatt SIA 2018, Dokumentation SIA D 0211, Schweizer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich.

Lang K. & Lestuzzi P. (2005), *Mauerwerk*, in: Überprüfung bestehender Gebäude bezüglich Erdbeben, Einführung in das Merkblatt SIA 2018, Dokumentation SIA D 0211, Schweizer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich.

Paulay T., Priestley M.J.N. (1992) *Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings*. John Wiley & Sons, New York.

SIA 160 (1970) *Normen für die Belastungsannahmen, die Inbetriebnahme und die Überwachung der Bauten*, Schweizer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich.

SIA 160 (1989) *Einwirkungen auf Tragwerke*, Schweizer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich.

SIA 260 (2003) *Grundlagen der Projektierung von Tragwerken*, Schweizer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich.

SIA 261 (2003) *Einwirkungen auf Tragwerke*, Schweizer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich.

SIA 2018 (2004) *Überprüfung bestehender Gebäude bezüglich Erdbeben*, Merkblatt, Schweizer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich.

SIA D0211 (2005), *Überprüfung bestehender Gebäude bezüglich Erdbeben*, Einführung in das Merkblatt SIA 2018, Dokumentation SIA D 0211, Schweizer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich.

Vogt, R. (2005), *Tragwerksanalyse*, in: Überprüfung bestehender Gebäude bezüglich Erdbeben, Einführung in das Merkblatt SIA 2018, Dokumentation SIA D 0211, Schweizer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich.

Vogel, T. (2005), *Einführung, Grundsätze, Massnahmenempfehlung*, in: Überprüfung bestehender Gebäude bezüglich Erdbeben, Einführung in das Merkblatt SIA 2018, Dokumentation SIA D 0211, Schweizer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich.

Wenk T. (2005), *Erdbebeneinwirkung*, in: Überprüfung bestehender Gebäude bezüglich Erdbeben, Einführung in das Merkblatt SIA 2018, Dokumentation SIA D 0211, Schweizer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich.