# Erdbebensicherung bestehender Bauwerke nach verschiedenen Normen

Thomas Wenk, Zürich

## 1 Einleitung

In den letzten 30 Jahren haben sich die Erdbebenbestimmungen verglichen mit der Lebensdauer üblicher Bauwerke rasch entwickelt, so dass ein Nachholbedarf bei der Erdbebensicherung bestehender Bauwerke entstanden ist. Im Zusammenhang mit der Normenanwendung auf bestehende Bauwerke sind einige besondere Aspekte zu beachten, die im Folgenden in erster Linie für rechnerische Nachweise nach den SIA-Normen und den Eurocodes dargestellt sind. Den Abschluss bilden einige Überlegungen zur rechtlichen Verpflichtung, nachträglich eine Erdbebensanierung auf das heutige Sicherheitsniveau durchzuführen.

## 2 Geschichtliche Entwicklung der Erdbebennormen in der Schweiz

Vor dem Jahre 1970 gab es in der Schweiz noch keine Erdbebenbestimmungen. Zum ersten Mal sind in der Ausgabe 1970 der Norm SIA 160 “Belastungsannahmen” Erdbebenersatzkräfte vorgeschrieben worden und zwar unabhängig von Grundfrequenz, Tragsystem und Baustoff des Bauwerkes. Die heute gültige Ausgabe 1989 der Norm SIA 160 brachte eine generelle Anhebung des Erdbebeneinwirkungsniveau verbunden mit der Einführung von Bemessungsspektren und einer relativ pauschalen Abminderung der elastischen Ersatzkräfte dank Duktilität. Der Eurocode 8 wird modernere Bemessungskonzepte (Kapazitätsbemessung) mit Duktilitätsklassen und entsprechenden konstruktiven Regeln bringen, zusammen mit einer weiteren Anhebung der Erdbebeneinwirkung.

Zur Illustration der geschichtlichen Entwicklung werden die anzusetzenden Erdbebenersatzkräfte bei einem regelmässigen Gebäude, ausgesteift durch folgende vier Tragsysteme, miteinander verglichen:

- Stahlrahmen mit hoher Duktilität
- Stahlbetontragwände mit hoher Duktilität
- Stahlbetontragwände mit niedriger Duktilität (konstruktive Durchbildung nach Norm SIA 162)
- Tragwände aus unbewehrtem Mauerwerk.

Bilder 1 und 2 zeigen den Ersatzkraftindex eines Gebäudes der Bauwerksklasse I (Bedeutungskategorie III nach EC 8) in Funktion der Normengeneration für die Erdbebengefährdungszonen 1 bzw. 2 der Schweiz. Zusätzlich zu den am Anfang erwähnten Normengenerationen ist der Vernehmlassungsentwurf SIA E160 aus dem Jahre 1987 als separater Zeitabschnitt eingefügt.

Der Ersatzkraftindex ist hier das Verhältnis der totalen horizontalen Erdbebenersatzkraft auf Bemessungsniveau zum massgebenden Gewicht (Dauerlasten plus einem Anteil der Nutzlasten) in Prozent. Vereinfachend wurde angenommen, dass sich die

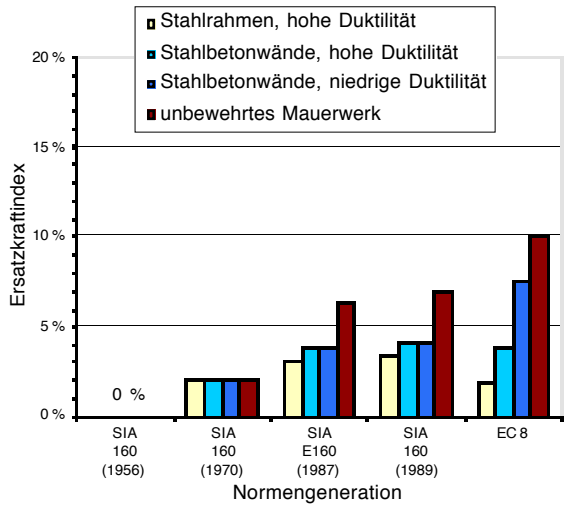



*Bild 1: Geschichtliche Entwicklung des Ersatzkraftindexes eines Gebäudes der Bauwerksklasse I in der Gefährdungszone 1*

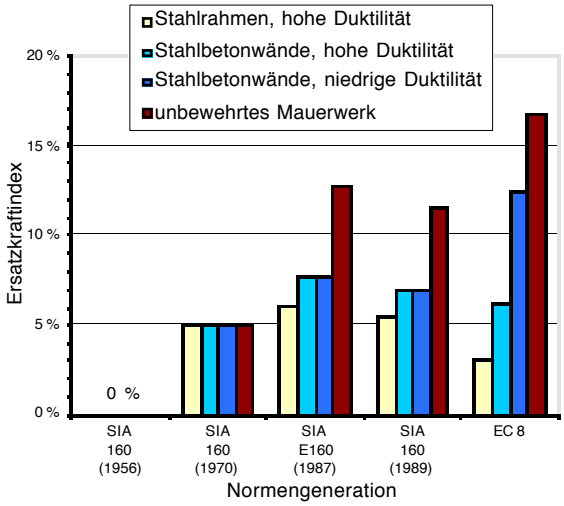



*Bild 2: Geschichtliche Entwicklung des Ersatzkraftindexes eines Gebäudes der Bauwerksklasse I in der Gefährdungszone 2 (Basel)*

Grundfrequenz des Gebäudes im Bereich der maximalen Spektralbeschleunigung der Bemessungsspektren befindet. D.h. die Berechnungsannahmen sind gültig für etwa ein- bis viergeschossige Gebäude mit Tragwänden aus Stahlbeton oder Mauerwerk, bzw. für ein- bis dreigeschossige Gebäude mit Stahlrahmen als Aussteifungssystem. Bei höheren Gebäuden ist die Grundfrequenz im allgemeinen kleiner, und folglich wird auch der Ersatzkraftindex ab Normengeneration “SIA E160 (1987)” kleiner.

Auffallend ist die starke Zunahme des Ersatzkraftindex bei den nicht duktilen Bauweisen. Andererseits hat ein bereits 1970 sehr duktil konstruiertes Stahlrahmentragwerk auch unter dem zukünftigen Eurocode 8 eine genügende Erdbebensicherheit.

Bei der Bauwerksklasse III (Bedeutungskategorie I nach EC 8) verhält sich die geschichtliche Entwicklung des Ersatzkraftindexes etwa gleich wie bei Bauwerksklasse I. Bei der Bauwerksklasse II ist die Zunahme gegenüber 1970 etwas kleiner als bei Bauwerksklasse I.

Nach dem Erdbeben in Kobe im Jahre 1995 waren als typisches Schadenbild ältere eingestürzte Gebäude neben unversehrten neuen zu beobachten (Bild 3). Umfassende statistische Auswertungen bestätigen diesen Trend. Sie zeigen immer wieder einen grossen Einfluss des Baujahres auf das Schadensausmass (Bild 4). Da in Japan die Erdbebennormen praktisch jedes Jahrzehnt verschärft, andererseits aber fast keine Bauten nachträglich verstärkt worden sind, kann das Baujahr, nach Normengeneration gegliedert, als Indikator für die Güte der Erdbebensicherung betrachtet werden. Bauwerke, die nach den modernen japanischen Erdbebennormen mit duktilen Konzepten bemessen und



*Bild 3: Nach neuen Normen bemessenes, unbeschädigtes Hochhaus (links); älteres, eingestürztes Gebäude (rechts) in Kobe.*

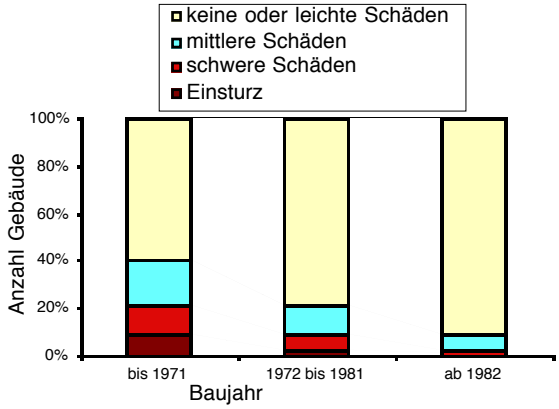



*Bild 4: Einfluss des Baujahres, nach Generation der japanischen Erdbebennormen gegliedert, auf das Schadensausmass von 2000 Gebäuden im Stadtteil Chuo von Kobe [Inu 96]*

konstruiert worden waren, überlebten das Erdbeben erstaunlich gut.

Ohne besondere Anstrengungen bei der Erdbebensicherung bestehender Bauwerke ist auch bei uns nach dem nächsten grösseren Erdbeben mit einem Schadenbild abgestuft nach Normengeneration zu rechnen.

## 3 SIA-Normen

Seit 1989 steht eine neue Generation der Tragwerksnormen zur Verfügung, die grundsätzlich sowohl für neue Bauwerke, als auch für bestehende Bauwerke bei Umbauten, Erweiterungen und Instandsetzungen gelten. Für die Besonderheiten bei bestehenden Bauwerken wurden 1994 die Tragwerksnormen durch die Richtlinie SIA 462 ergänzt. Das Vorgehen gemäss dieser Richtlinie im Falle der Erdbebeneinwirkung wird in den folgenden Abschnitten 3.1 bis 3.4 erläutert.

### 3.1 Vorgehen nach Richtlinie SIA 462

Aufgrund der Zustandsaufnahme werden alle Informationen über das bestehende Bauwerk (Einwirkungen, Abmessungen, Baustoffe) aktualisiert. Nutzungs- und Sicherheitsplan werden im Hinblick auf die festgelegte Restnutzungsdauer angepasst. Als Grundlage für den Nachweis der Tragsicherheit des bestehenden Bauwerkes dienen die auf die Restnutzungsdauer abgestimmten Gefährdungsbilder. Von den Normen abweichende Einwirkungs- und Widerstandsmodelle dürfen angewandt werden, sofern dies durch Theorie oder Versuche begründet werden kann.

Für das Gefährdungsbild Erdbeben lautet die aktualisierte allgemeine Bemessungsgleichung:

$$S_d \leq \frac{R}{\gamma_R}$$

$S_d$: aktualisierter Bemessungswert der Beanspruchung

$R$: aktualisierter Tragwiderstand

$\gamma_R$: aktualisierter Widerstandsbeiwert

Wie sich diese Aktualisierung im einzelnen auswirkt, zeigen die folgenden Abschnitte 3.2 bis 3.4.

Versehentlich wird im Abschnitt "Nachweis der Tragsicherheit für aussergewöhnliche Einwirkungen" der Richtlinie 462 direkt auf die entsprechenden Ziffern der Norm SIA 160 verwiesen im Gegensatz zum Abschnitt über statische Einwirkungen, wo ausführlich auf die Aktualisierung hingewiesen wird. Streng wörtlich genommen dürfte folglich bei aussergewöhnlichen Einwirkungen, darunter Erdbeben, eigentlich keine Aktualisierung vorgenommen werden. Die Bestimmungen für aussergewöhnliche Einwirkungen sind jedoch sinngemäss so auszulegen, dass auch hier eine Aktualisierung unter Einbezug des besonders erwähnten Verformungsbeiwertes K vorzunehmen ist.

### 3.2 Aktualisierung der Einwirkung

Bei der Aktualisierung der Erdbebeneinwirkungen stehen folgende Problemkreise im Vordergrund:

- Reduktion der Wiederkehrperiode des Bemessungsbebens in Funktion der Restnutzungsdauer
- Standortspezifisches Bemessungsspektrum
- Verfeinertes Berechnungsmodell und aufwendigere Berechnungsmethode
- Abschätzung der vorhandenen Duktilität.

Die Richtlinie SIA 462 enthält keine Hinweise, wie bei der Bestimmung der Erdbebeneinwirkung die gegenüber der üblichen Nutzungsdauer eines neuen Bauwerkes verkürzte Restnutzungsdauer eines bestehenden Bauwerke zu berücksichtigen ist. Die in Abschnitt 4.2 vorgestellte Methodik des EC 8 kann jedoch auch bei der Erdbebeneinwirkung nach der Norm SIA 160 angewandt werden, da sie für die gleiche Wiederkehrperiode des Bemessungsbebens von 400 Jahren aufgestellt worden ist. Bild 5 stellt die mögliche Reduktion der Erdbebeneinwirkung in Funktion der Restnutzungsdauer graphisch dar.

Bei besonders wichtigen Bauwerken (Bauwerksklasse III) kann eine spezielle Untersuchung zur Bestimmung eines standortspezifischen Bemessungsspektrums auch bei steifen oder mittelsteifen Böden angezeigt sein [Kol 97]. Die Norm SIA 160 schreibt dies nur für gewisse weiche Böden jedoch für alle Bauwerksklassen vor.

Eine genauere Erfassung des dynamischen Verhaltens durch eine aufwendigere Berechnungsmethode (z.B. Antwortspektrenverfahren statt Ersatzkraftverfahren) mit einem verfeinerten Berechnungsmodell kann bei der Nachrechnung eines bestehenden Bauwerkes gerechtfertigt sein. Die Berücksichtigung der Nachgiebigkeit des Baugrundes führt zu kleineren Grundfrequenzen und damit häufig auch zu geringeren Spektralwerten des Bemessungsspektrums, aber zu grösseren Verformungen.

Die Abschätzung der vorhandenen Duktilität in einem bestehenden Bauwerk ist eine schwierige Aufgabe. Die Richtlinie SIA 462 lässt ausdrücklich, höhere Verformungsbeiwerte als in der Norm SIA 160 angegeben zu, falls das entsprechende plastische Verformungsvermögen durch besondere duktilitätsfördernde Massnahmen (z.B. Ummantelung von Stahlbetonstützen mit ursprünglich zu grossem Bügelabstand) gewährleistet ist. Andererseits muss eine Reduktion der in der Norm SIA 160 angegebenen Verformungsbeiwerte vorgenommen werden, wenn z.B. die Baustoffversuche eine ungenügende Duktilität aufzeigen.

### 3.3 Aktualisierung des Tragwiderstandes

Bei einem bestehenden Bauwerk sind die Baustoffeigenschaften (Festigkeiten und Verformungsvermögen) aufgrund von aus dem Bauwerk entnommenen Proben zu bestimmen. Die massgebenden Abmessungen sind am Tragwerk zu kontrollieren und, falls Abweichungen festgestellt wurden, planmässige Werte durch gemessene Werte zu ersetzen. Die besseren Kenntnisse im Beurteilungszeitpunkt gegenüber dem Planungszeitpunkt erlauben es, gewisse Sicherheitsvorhalte abzubauen [IP Bau 94]. Aus den aktualisierten Baustoffeigenschaften und Abmessungen kann der aktualisierte Tragwiderstand R bestimmt werden. Gleichzeitig sollte auch der Bemessungsbeiwert $C_d$ nach Norm SIA 160 aufgrund der effektiven Überfestigkeit der Baustoffe aktualisiert werden.

Anstatt den Tragwiderstand und den Bemessungsbeiwert separat zu aktualisieren, bietet sich ein eleganterer Weg an, der direkt am zugrundeliegenden Konzept der Normschadenbilder der Erdbebenbemessung nach der Norm SIA 160 anknüpft [Bac+ 89]. Die wirklichen Beanspruchungen aus dem Gefährdungsbild Erdbeben werden dem aktualisierten Widerstand bei Überfestigkeit $R_o$ gegenübergestellt. Der Widerstand bei Überfestigkeit $R_o$ wird mit den Baustofffestigkeiten, die den effektiv auftretenden Dehnungen unter Erdbebeneinwirkung entsprechen, bestimmt [Bac 95]. Z.B. wird bei Stahlbeton $R_o$ mit der effektiven Fliessgrenze der Bewehrung ermittelt.

Die allgemeine Bemessungsgleichung:

$$S(G_m, Q_{acc}, \sum(\psi_{acc} \cdot Q_r)) = S_d \le \frac{R}{\gamma_R}$$

wird mit Vorteil durch folgende Bedingung ersetzt:

$$S(G_m, Q_{acc}/C_d, \sum(\psi_{acc} \cdot Q_r)) \le R_o$$

Auf der linken Seite wird der nach Norm SIA 160 in den Ersatzkräften $Q_{acc}$ bereits berücksichtigte Bemessungsbeiwert $C_d = 0,65$ durch Division durch denselben $C_d$ - Wert wieder rückgängig gemacht. Damit steht links die wirkliche Beanspruchung infolge Erdbeben und Schwerelasten dem Widerstand bei Überfestigkeit $R_o$ auf der rechten Seite gegenüber. Dieses Vorgehen erlaubt auch eine präzisere Berücksichtigung der Interaktion der

Schnittkräfte infolge Erdbeben und Schwerelasten.

In der Richtlinie SIA 462 finden sich weder Angaben zur Bemessung der Kraftübertragung zwischen neuen und bestehenden Bauteilen noch sonstige baustoffspezifische Regeln. Für die Bemessung muss auf entsprechende Fachliteratur zurückgegriffen werden [CEB 97]. Im Zusammenhang mit der auf der Einwirkungsseite berücksichtigten globalen Verschiebeduktilität (Verformungsbeiwert) ist es wichtig sicherzustellen, dass die vorhanden Baustoffe das entsprechende plastische Verformungsvermögen unter zyklischer Beanspruchung auch effektiv aufweisen.

### 3.4 Aktualisierung des Widerstandsbeiwertes

Hier ist zu beachten, dass der Widerstandsbeiwert $\gamma_R$ bei der Bestimmung der totalen Ersatzkraft infolge Erdbebeneinwirkung bereits durch den Bemessungsbeiwert $C_d$ kompensiert wird [Bac 95]. Der Widerstandsbeiwert $\gamma_R$ darf deshalb nicht verkleinert werden. Im Gegenteil, die aktuelle Zustandsaufnahme könnte sogar eine Erhöhung des Widerstandsbeiwertes erfordern.

## 4 Eurocodes

Im Rahmen der Eurocodes-Tragwerksnormen ist dem Erdbeben ein eigener Eurocode gewidmet: der Eurocode 8 (EC 8) “Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben”, der insgesamt acht Teile umfasst (siehe Tabelle 1). Gegen Ende dieses Jahres werden diejenigen die Hochbauten betreffenden Teile 1-1, 1-2, 1-3 und 5 des EC 8 zusammen mit dem Nationalen Anwendungsdokument (NAD) auf deutsch und französisch als Vornormen (ENV) zur probeweise Anwendung vom SIA herausgegeben. Alle Teile des EC 8 sind bereits auf englisch als Vornormen erschienen.

Ein besonderer Teil des EC 8, der Teil 1-4, befasst sich ausschliesslich mit der Verstärkung und Instandsetzung von Hochbauten, wobei darin die Reparatur von Erdbebenschäden im Vordergrund steht. Der Teil 1-4 hat nicht den üblichen Stil einer Norm in unserem Sinne, sondern es handelt sich eher um ein Lehrbuch, das mögliche Strategien der Erdbebensicherung bespricht. Die folgenden Abschnitte beschränken sich auf die Aspekte der Verstärkung des Teiles 1-4.

| Nr. | Titel |
|---|---|
| ENV 1998-1-1 | Grundlagen - Erdbebeneinwirkung und allgemeine Anforderungen an Bauwerke |
| ENV 1998-1-2 | Grundlagen - Allgemeine Regeln für Hochbauten |
| ENV 1998-1-3 | Grundlagen - Baustoffspezifische Regeln für Hochbauten |
| ENV 1998-1-4 | Grundlagen - Verstärkung und Instandsetzung von Hochbauten |
| ENV 1998-2 | Brücken |
| ENV 1998-3 | Türme, Maste und Schornsteine |
| ENV 1998-4 | Silos, Tanks und Rohrleitungen |
| ENV 1998-5 | Gründungen, Stützbauwerke |

*Tabelle 1: Gliederung des Eurocode 8 - “Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben”*

### 4.1 Vorgehen nach Eurocode 8 Teil 1-4

Die rechnerischen Nachweise werden ähnlich wie bei der Richtlinie SIA 462 nach dem Prinzip der aktualisierten allgemeinen Bemessungsgleichung durchgeführt, jedoch mit zusätzlichen Sicherheitsfaktoren, die Unsicherheiten bei beschädigten Bauteilen abdecken sollen:

$$\gamma_{Sd} E_d^{akt} \le \frac{R_d^{akt}}{\gamma_{Rd}}$$

$E_d^{akt}$: aktualisierter Bemessungswert der Beanspruchung

$R_d^{akt}$: aktualisierter Bemessungswert des Tragwiderstandes, entspricht ungefähr $R/\gamma_R$ bei [SIA 462].

$\gamma_{Sd}$: Beiwert zur Berücksichtigung von zusätzlichen Unsicherheiten des Berechnungsmodells bei beschädigten Bauwerken

$\gamma_{Rd}$: Beiwert zur Berücksichtigung von zusätzlichen Unsicherheiten des Widerstandsmodells bei beschädigten Bauteilen, bzw. zur Berücksichtigung der geringeren Duktilität von Konstruktionsdetails bestehender Bauwerke.

Konkrete Zahlenwerte für $\gamma_{Sd}$ fehlen, für $\gamma_{Rd}$ wird einzig für Stahlbetontragwerke ein Bereich von 1,00 bis 1,30 abhängig von der Bedeutungskategorie (Bauwerksklasse) angegeben, also ähnlich wie der Bedeutungsbeiwert. Setzt man für den Fall der Verstärkung die beiden etwas diffusen Beiwerte $\gamma_{Sd}$ und $\gamma_{Rd}$ gleich eins, so erhält man praktisch die gleiche aktualisierte Bemessungsgleichung wie in [SIA 462].

### 4.2 Aktualisierung der Einwirkung

In Annex C des EC 8 Teil 1-4 wird das generelle Vorgehen zur Bestimmung eines reduzierten Bemessungsbebens für bestehende Bauwerke beschrieben. Im Folgenden wird gezeigt, wie stark die Erdbebeneinwirkung bei üblichen Verhältnissen reduziert werden könnte.

Die Grösse des Bemessungsbebens für neue Bauwerke wird im Schweizer NAD zum EC 8 [SIA 460] einer Wiederkehrperiode $T_m$ von 400 Jahren entsprechend festgelegt, d.h. im Mittel ist etwa alle 400 Jahre ein Erdbeben zu erwarten, dass das Bemessungsbeben erreicht oder überschreitet. Unter Annahme einer Poisson-Verteilung beträgt dann die Wahrscheinlichkeit p , dass das Bemessungsbeben im Zeitraum von t Jahren erreicht oder überschritten wird:

$$p = 1 - \left(1 - \frac{1}{T_m}\right)^t$$

Für den Fall eines Bauwerkes mit einer Nutzungsdauer von 50 Jahren beträgt folglich die Wahrscheinlichkeit, dass das Bemessungsbeben während seiner Nutzungsdauer erreicht oder überschritten wird:

$$p = 1 - \left(1 - \frac{1}{400}\right)^{50} = 12\,\%$$

Analog wird bei einer Lebensdauer von 80 Jahren:

$$p = 1 - \left(1 - \frac{1}{400}\right)^{80} = 18\%$$

Die der Norm zugrundeliegende Wiederkehrperiode führt, wie gezeigt, zu Auftretenswahrscheinlichkeiten des Bemessungsbebens von etwa 10% bis 20% während der üblichen Nutzungsdauer neuer Bauwerke.

Die Aktualisierung des Bemessungsbebens für ein bestehendes Bauwerk basiert nun darauf, die Wiederkehrperiode $T_m$ so zu reduzieren, dass die Auftretenswahrscheinlichkeit p während der vorgesehenen Restnutzungsdauer $t_{rest}$ gleich gross wird wie bei einem neuen Bauwerk während dessen Referenznutzungsdauer $t_{ref}$ :

$$p = 1 - \left(1 - \frac{1}{T_m}\right)^{t_{ref}} = 1 - \left(1 - \frac{1}{T_{akt}}\right)^{t_{rest}}$$

Diese Gleichung wird nach der aktualisierten Wiederkehrperiode $T_{akt}$ aufgelöst, wobei der resultierende Ausdruck für $T_{akt}$ etwas umständlich wird. Er kann anschliessend durch die ersten beiden Gliedern einer Potenzreihe wie folgt approximiert werden:

$$T_{akt} = \frac{t_{rest}}{t_{ref}} T_m$$

Mit dem Verhältnis der Wiederkehrperioden können die Erdbebeneinwirkungen nicht einfach linear interpoliert werden. Im Nationalen Anwendungsdokument zum [EC 8-2], Annex A, wird die folgende, empirische Beziehung zwischen Wiederkehrperiode und Bodenbeschleunigung gegeben [SIA 460]:

$$a_{akt} = a_s \left(\frac{T_{akt}}{T_m}\right)^{0,35}$$

Durch Einsetzen der oben hergeleiteten Beziehung zwischen Restnutzungsdauer und Wiederkehrperioden erhält man schliesslich:

$$a_{akt} = a_s \left(\frac{t_{rest}}{t_{ref}}\right)^{0,35}$$

$a_{akt}$: auf die Restnutzungsdauer $t_{rest}$ aktualisierter, effektiver Spitzenwert der Bodenbeschleunigung

$a_s$: effektiver Spitzenwert der Bodenbeschleunigung

$t_{rest}$: Restnutzungsdauer des bestehenden Bauwerkes

$t_{ref}$: Referenznutzungsdauer (implizite Nutzungsdauer neuer Bauwerke nach EC 8)

$T_m$: Wiederkehrperiode des Bemessungsbeben (Für die Schweiz: 400 Jahre)

Die mögliche Reduktion der Erdbebeneinwirkung in Funktion der Restnutzungsdauer eines bestehenden Bauwerkes gegenüber einem neuen Bauwerk ist in Bild 5 für zwei unterschiedliche Werte der Referenznutzungsdauer graphisch dargestellt. Im einen Fall wird angenommen, die Referenznutzungsdauer des entsprechenden neuen Bauwerkes betrage 50 Jahre (obere Begrenzungslinie des schraffierten Bereiches in Bild 5), im anderen 80 Jahre (untere Begrenzungslinie des schraffierten Bereiches in Bild 5). Die anzunehmende Erdbebeneinwirkung für bestehende Bauwerke mit einer Restnutzungsdauer von 20 bis 30 Jahren beträgt etwa zwei Drittel des Normwertes für neue Bauwerke. Bei längerer Restnutzungsdauer ist eine Reduktion nicht mehr sinnvoll.

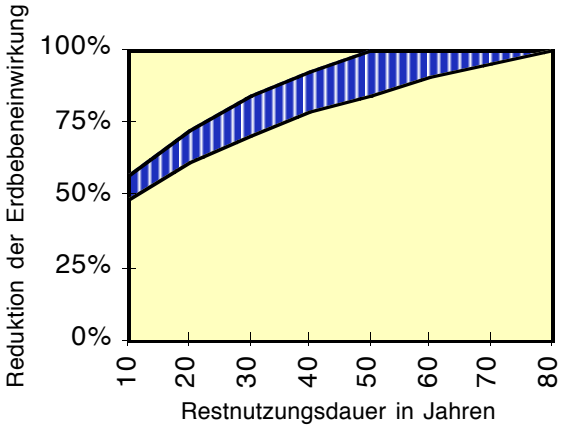



*Bild 5: Reduktion der Erdbebeneinwirkung ($a_{akt}$ / $a_s$) in Funktion der Restnutzungsdauer eines bestehenden Bauwerkes bei Annahme einer Referenznutzungsdauer von 50 Jahren (obere Grenze des schraffierten Bereiches) bzw. 80 Jahren (untere Grenze des schraffierten Bereiches)*

Grundsätzlich sollte eine Reduktion der Erdbebeneinwirkung nur in Betracht gezogen werden, wenn die Verstärkung für volle Erdbebeneinwirkung unverhältnismässig hohe Kosten verursachen würde. Ferner lässt sich diese Reduktion bei bestehenden Bauten der Bedeutungskategorien I und II nach EC 8 (Bauwerksklassen II und III nach Norm SIA 160) nicht rechtfertigen, da primär die Erhaltung der Funktionstüchtigkeit nach dem Erdbeben, der Schutz des Gebäudeinhaltes (z.B. grosse Menschenansammlungen) oder der Umweltschutz Ziele der Erdbebenbemessung sind. Der Zeitwert des bestehenden Bauwerkes selbst spielt in diesen Fällen bei der gesamten Risikobetrachtung nur eine untergeordnete Rolle.

### 4.3 Aktualisierung des Tragwiderstandes

Einzig im Abschnitt über Stahlbeton (Annex G) des EC 8 Teil 1-4 befinden sich einige quantitative Angaben zur Bemessung. Die baustoffspezifischen Teilsicherheitsbeiwerte dürfen reduziert werden. Damit nähert man sich im Prinzip dem Nachweiskonzept der Richtlinie SIA 462 an.

## 5 Wann muss verstärkt werden?

Für den Eigentümer eines bestehenden Bauwerkes stellt sich die Frage, wann er sein Bauwerk für die heute gültigen Erdbebenbestimmungen der Norm SIA 160 verstärken muss. Da sogar bei Neubauten die Einhaltung der SIA-Normen in der Schweiz gesetzlich nicht direkt vorgeschrieben ist (mit Ausnahme des Kantons Basel-Stadt), lässt sich keine präzise Antwort auf diese Frage finden.

Zwar wird der Eigentümer über die in den meisten kantonalen Baugesetzen und im Obligationenrecht statuierte allgemeine Unterhaltspflicht (Art. 58 OR) verpflichtet, die anerkannten Regeln der Baukunde einzuhalten. Andererseits sind die Tragwerksnormen des SIA als Regeln der Baukunde allgemein anerkannt. Es besteht daher für jeden Eigentümer wenigstens eine indirekte Verpflichtung, die Erdbebenbestimmung der Norm SIA 160, als Teil dieser Tragwerksnormen, zu beachten.

Ob ein bestehendes Bauwerk mangelhaft ist, bestimmt sich nicht nach dem damaligen Stand der Technik beim Bau sondern nach dem aktuellen Stand der Technik. Fortschritte der Technik sind zu berücksichtigen, jedoch ohne dass technische Vollkommenheit verlangt werden darf. Bei sich wandelnden technischen Regeln, wie im Falle der Erdbebenbestimmungen, die es früher nicht oder nicht im gleichen Ausmass gab, ist ein bestehendes Bauwerk innert angemessener Frist zu sanieren.

Der Eigentümer kann sich nicht einfach darauf berufen, dass sein Bauwerk seinerzeit nach den Regeln der Baukunde erstellt worden ist und somit als mängelfrei zu gelten hat. Er muss der Entwicklung der Technik folgen und allenfalls sein Bauwerk dem neueren Stand der Sicherheitsmassnahmen anpassen [Bre 90]. Das Bundesgericht entschied, dass bereits bei einem 19-jährigen Gebäude Verbesserungen erforderlich gewesen wären, solange der Sanierungsaufwand nicht unverhältnismässig im Vergleich zum bestehenden Sicherheitsrisiko ist [BGE 29]. Somit kann ein Bauwerk, das in früheren Zeiten mängelfrei war, weil es den Sicherheitserwartungen zu jener Zeit entsprochen hatte, nicht nur durch mangelhaften Unterhalt im engeren Sinne, sondern auch deshalb mangelhaft werden, weil die berechtigten Sicherheitserwartungen der Gesellschaft gestiegen sind [GS 97].

Weder in Normen noch in gesetzlichen Bestimmungen lässt sich eine genaue Erdbebensanierungsfrist finden, im Gegensatz etwa zur Gesetzgebung im Umweltbereich, wo Sanierungsfristen explizit vorgeschrieben sind (Energie, Lärm, Abwasser). Aufgrund der Rechtsprechung in juristisch gesehen ähnlich gelagerten Fällen ist festzuhalten, dass nach bald 10 Jahren seit Inkrafttreten der Ausgabe 1989 der Norm SIA 160, jeder Eigentümer verpflichtet ist, bestehende Bauwerke nun umgehend zu sanieren, soweit damit nicht unverhältnismässig hohe Kosten verbunden sind.

## 6 Literatur


[Bac+ 89] Bachmann H. et al.: Die Erdbebenbestimmungen der Norm SIA 160. Dokumentation D 044. Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein, Zürich 1989.

[Bac 95] Bachmann H.: Erdbebensicherung von Bauwerken. Birkhäuser Verlag, Basel 1995.

[BGE 29] BGE 55 II 80/89: Entscheidungen des Schweizerischen Bundesgerichtes, Teil 2 Zivilrecht, Lausanne 1929.

[Bre 90] Brehm R.: Das Obligationenrecht, Kommentar zu Art. 41-61 OR. Berner Kommentar zum schweizerischen Privatrecht, Band VI/1, Teilband 3/1, Verlag Stämpfli, Bern 1990.

[CEB 97] Fastenings for seismic retrofitting: State of the art report on design and application. Bulletin Comité Euro-International du Béton 232, Telford, London 1997.

[EC 8-1-1] Eurocode 8 - Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben Teil 1-1: Grundlagen - Erdbebeneinwirkung und allgemeine Anforderungen an Bauwerke. Europäische Vornorm ENV 1998-1-1, CEN, Brüssel 1994.

[EC 8-1-4] Eurocode 8 - Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben Teil 1-4: Grundlagen - Verstärkung und Instandsetzung von Hochbauten. Europäische Vornorm ENV 1998-1-4, CEN, Brüssel 1994.

[EC 8-2] Eurocode 8 - Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben Teil 2 Brücken. Europäische Vornorm ENV 1998-2, CEN, Brüssel 1994.

[GS 97] Gauch P., Sinniger R.: Vom Nozon, der über die Ufer trat, und wie das Bundesgericht die Haftungsfrage entschied. Baurecht 2/97. Institut für Schweizerisches und Internationales Baurecht, Universität Freiburg 1997.

[Inu 96] Inukai M.: Investigation of building damages by the 1995 Hyogken Nanbu Earthquake. Structural Dynamics - Eurodyn'96, Augusti, Borri & Spinelli (eds), Balkema, Rotterdam 1996.

[IP Bau 94] Impulsprogramm IP Bau, Bundesamt für Konjunkturfragen: Beurteilung und Verstärkung von Tragwerken, Bern 1994.

[Kol 97] Koller M.: Strategien zur Erdbebensicherung bestehender Bauwerke unter Berücksichtigung der Standorteinflüsse. Tagungsband der Tagung "Erdbebensicherung bestehender Bauwerke und aktuelle Fragen der Baudynamik". Dokumentation D 0145, Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein, Zürich 1997.

[SIA 160] Norm SIA 160: Einwirkungen auf Tragwerke, Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein, Zürich 1989.

[SIA 460] Norm SIA 460.000: Nationale Anwendungsdokumente zu den Europäischen Vornormen für den Konstruktiven Ingenieurbau (Eurocodes). Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein, Zürich 1997.

[SIA 462] Richtlinie SIA 462: Beurteilung der Tragsicherheit bestehender Bauwerke. Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein, Zürich 1994.