Merkblatt

2018

Überprüfung bestehender Gebäude bezüglich Erdbeben

schweizerischer
ingenieur- und
architektenverein

société suisse
des ingénieurs
et des architectes

società svizzera
degli ingegneri
e degli architetti

swiss society
of engineers
and architects

selnaustrasse 16
postfach
ch-8039 zürich
www.sia.ch

SIA-Merkblätter

Zur Erläuterung und ergänzenden Regelung von speziellen Themen gibt der SIA Merkblätter heraus.

Die Merkblätter sind Bestandteil des SIA-Normenwerks.

Merkblätter sind nach ihrer Veröffentlichung drei Jahre gültig. Die Gültigkeit kann wiederholt um jeweils drei Jahre verlängert werden.

Folgende Institutionen haben Beiträge zur Erarbeitung des vorliegenden Merkblatts geleistet:

Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein (SIA), Selnaustrasse 16, 8039 Zürich
Bundesamt für Wasser und Geologie (BWG), Ländtestrasse 20, 2501 Biel
Interessengemeinschaft privater, professioneller Bauherren (IPB), Pelikanplatz 5, 8001 Zürich
Schweizerischer Versicherungsverband, C.F. Meyer-Strasse 14, 8022 Zürich
Verband Schweizerische Ziegelindustrie (VSZ), Elfenstrasse 19, 3000 Bern 16
Schweizer Gesellschaft für Erdbebeningenieurwesen und Baudynamik (SGEB), c/o Institut für Baustatik und Konstruktion, ETH Zürich, 8093 Zürich
Fachgruppe für Erhaltung (FEB) des SIA, Selnaustrasse 16, 8039 Zürich

---

2004-10 1. Auflage

INHALTSVERZEICHNIS

Seite

Vorwort **4**

0 Geltungsbereich **5**
0.1 Abgrenzung 5
0.2 Verweisungen 5
0.3 Ausnahmen 6

1 Verständigung **7**
1.1 Fachausdrücke 7
1.2 Bezeichnungen 10

2 Grundsätze **13**
2.1 Konzept 13
2.2 Verformungsverhalten von Tragwerken 13
2.3 Berechnungsverfahren 13
2.4 Vorgehen 14

3 Baustoffe **15**
3.1 Allgemeines 15
3.2 Eigenschaften nach Bauwerksakten 15
3.3 Eigenschaften aus Sondierungen 15

4 Tragwerksanalyse **16**
4.1 Allgemeines 16
4.2 Kraftbasierte Tragwerksanalyse 16
4.3 Verformungsbasierte Tragwerksanalyse 16

5 Einwirkungen **18**
5.1 Allgemeines 18
5.2 Erdbebeneinwirkungen für das kraftbasierte Verfahren 18
5.3 Erdbebeneinwirkungen für das verformungsbasierte Verfahren 18
5.4 Erdbebeneinwirkungen für die Bestimmung des Gebrauchsverhaltens 19

6 Tragfähigkeit von Betonbauten **20**
6.1 Kräftebasiertes Verfahren 20
6.2 Verformungsbasiertes Verfahren 20

Seite

7 Tragfähigkeit von Mauerwerk **24**
7.1 Grundsätze 24
7.2 Kräftebasiertes Verfahren 24
7.3 Verformungsbasiertes Verfahren 24
7.4 Tragwiderstand senkrecht zur Wandebene 25
7.5 Nur vertikal tragendes Mauerwerk 25
7.6 Nicht tragendes Mauerwerk 25

8 Tragfähigkeit von Stahlbauten und Stahl-Beton-Verbundbauten **26**
8.1 Kräftebasiertes Verfahren 26
8.2 Verformungsbasiertes Verfahren 26

9 Beurteilung der Erdbebensicherheit und Massnahmenempfehlung **27**
9.1 Rechnerische Beurteilung 27
9.2 Konzeptionelle und konstruktive Beurteilung 28
9.3 Massnahmenempfehlung 29

10 Verhältnismässigkeit und Zumutbarkeit **30**
10.1 Grundsätze 30
10.2 Personenrisiko 30
10.3 Akzeptierbarkeit des Individualrisikos 30
10.4 Rettungseffizienz von Erdbebensicherungsmassnahmen 30
10.5 Beurteilungskriterien 32
10.6 Erweiterungen in der Beurteilung der Personenrisiken 32

Anhang A Betonbau (normativ) **33**

Anhang B Mauerwerk (normativ) **35**

Anhang C Stahlbau (normativ) **37**

Anhang D Prioritätensetzung (informativ) **38**

Genehmigung und Inkrafttreten **40**

SIA 2018, Copyright © 2004 by SIA Zurich

VORWORT

Die Gewährleistung einer genügenden Erdbebensicherheit in der Schweiz ist eine anspruchsvolle Aufgabe, die über die Erdbebensicherung des einzelnen Bauwerks hinausgeht. Aufgrund der vielschichtigen wirtschaftlichen Verflechtungen und Abhängigkeiten können über das individuelle Bauwerk hinausgehende Folgen von erheblicher Tragweite entstehen. Bei Bauwerken mit nationaler oder überregionaler Bedeutung können die volkswirtschaftlichen Folgen weit reichend sein. Erdbeben sind vor allem deshalb von Bedeutung, weil bei einem einzelnen Ereignis sehr umfangreiche und damit schwer zu bewältigende Schäden auftreten können. Auch können beim individuellen Bauwerk Schäden entstehen, die im Einzelfall wirtschaftlich verheerende Konsequenzen nach sich ziehen können. Solche Szenarien werden gesellschaftlich immer weniger akzeptiert.

Im Allgemeinen sind bei Neubauten die Mehrkosten, die zur Erzielung der normengemässen Erdbebensicherheit notwendig sind, von unbedeutender Grösse, falls die Erdbebeneinwirkungen bereits beim Tragwerksentwurf berücksichtigt werden. Bei bestehenden Bauwerken ist jedoch eine nachträgliche Erhöhung der Erdbebensicherheit meist nur mit beträchtlichem baulichem Aufwand und betrieblichen Folgekosten möglich. In den Tragwerksnormen SIA 260 bis 267, die auf Entwurf und Bemessung neuer Bauwerke ausgerichtet sind, wurden die Erdbebenbestimmungen gegenüber früheren Normengenerationen wesentlich verschärft. Bauwerke, die konsequent gemäss diesen Vorschriften konzipiert und bemessen sind, weisen ein gutes Erdbebenverhalten und für die in der Schweiz zu erwartenden Erdbebenstärken eine hohe Sicherheit auf.

Ältere, gemäss früheren Normen bemessene Bauwerke weisen in der Regel eine deutlich geringere Erdbebensicherheit auf. Bei einer Überprüfung nach den Normen SIA 260 bis 267 sind diese meist der bezüglich Erdbebenverhalten ungünstigen Kategorie des nicht-duktilen Tragwerksverhaltens zuzuordnen und die erforderlichen Nachweise der Erdbebensicherheit können nicht erbracht werden.

Das vorliegende Merkblatt zeigt auf, wie bestehende Bauten gemäss den Grundsätzen der neuen Tragwerksnormen hinsichtlich ihrer Erdbebensicherheit überprüft und unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Voraussetzungen gegenüber Neubauten beurteilt werden können. Es orientiert sich am Einzelbauwerk und erlaubt mit dem alternativ anwendbaren verformungsbasierten Verfahren eine differenziertere Betrachtung des Verformungsvermögens und damit eine bessere Erfassung des effektiven Erdbebenverhaltens. Das verformungsbasierte Verfahren ist vorerst nur für Betonbauten ausführlich behandelt, da hier weltweit die meisten Erfahrungen vorliegen. Trotzdem ist zur Anwendung eine vertiefte Kenntnis der Grundlagen erforderlich, die über die Festlegungen des Merkblatts hinausgeht.

Das Merkblatt gibt ferner Hinweise für die Entscheidung, ob ein Gebäude bezüglich Erdbebeneinwirkung ertüchtigt werden soll oder ob der vorhandene Zustand weiterhin akzeptiert werden kann. Auf Grund von Kosten-Risiko-Überlegungen ist es nicht angezeigt, alle bestehenden Bauten auf das Sicherheitsniveau der neuen Normen zu ertüchtigen. Im Anhang D werden dazu informativ einige Aussagen zur Prioritätensetzung gemacht.

Bei bestehenden Bauten wird – im Gegensatz zu Neubauten – die Einhaltung des in den Tragwerksnormen SIA 260 bis 267 vorgegebenen Sicherheitsniveaus bezüglich Erdbebeneinwirkung nicht zwingend gefordert, sondern die Verhältnismässigkeit und die Zumutbarkeit der Massnahmenkosten darf beim Entscheid über eine Erdbebenertüchtigung berücksichtigt werden.

Umrahmte und kursiv gesetzte Kommentare haben lediglich erklärenden Charakter. Sie enthalten ergänzende Informationen zum normativen Text des Merkblatts.

SIA 2018, Copyright © 2004 by SIA Zurich

0 GELTUNGSBEREICH

0.1 Abgrenzung

0.1.1 Das vorliegende Merkblatt dient als Grundlage für die Beurteilung der Erdbebensicherheit bestehender Gebäude, die vor Inkrafttreten der Normen SIA 260 bis 267 projektiert wurden.

Für Brücken und andere Kunstbauten könnte das Merkblatt sinngemäss angewendet werden, hingegen wären die Überlegungen zur Verhältnismässigkeit anzupassen.

0.1.2 Das Merkblatt darf nicht für die Bemessung neuer Tragwerke verwendet werden.

0.1.3 Das Merkblatt konzentriert sich auf Beton-, Mauerwerk- und Stahlbauten und deren Kombinationen, z.B. Stahl-Beton-Verbundbauten. Für Holzbauten kann es sinngemäss angewendet werden.

0.1.4 Das Merkblatt orientiert sich am Einzelbauwerk und deckt die Methoden zur Priorisierung von grossen Gebäudebeständen mit Anhang D lediglich informativ ab.

Zur Priorisierung von Bauwerksbeständen eignet sich z.B. die Richtlinie für die Beurteilung der Erdbebensicherheit bestehender Bauten, Stufe 1, des Bundesamt für Wasser und Geologie.

0.1.5 Bei Bauwerken der Bauwerksklasse III, deren Versagen mit erheblichen Folgeschäden verbunden ist, sind über den Inhalt des Merkblatts hinausgehende Überlegungen anzustellen.

0.1.6 Bei Bauwerken, die spezifischen Regelungen unterstellt sind, gilt dieses Merkblatt nicht. Es sind die spezifischen Regelwerke anzuwenden. Dies trifft z.B. zu für
- Bauwerke, die der Störfallverordnung unterstellt sind
- Talsperren und Wehre
- Kernenergieanlagen.

0.1.7 Bei Kulturgütern und anderen unersetzbaren Werten sind über das Merkblatt hinausgehende Überlegungen anzustellen.

0.2 Verweisungen

0.2.1 Das Merkblatt ist in Verbindung mit den Normen SIA 260 bis 267 anzuwenden.

0.2.2 Übergeordnete Aspekte der Erhaltung von Tragwerken sind geregelt in:

– Norm SIA 469 (1997)	Erhaltung von Bauwerken
– Richtlinie SIA 465 (1998)	Sicherheit von Bauten und Anlagen
– Richtlinie SIA 462 (1994)	Beurteilung der Tragsicherheit bestehender Bauwerke
– Empfehlung SIA 162/5 (1997)	Erhaltung von Betontragwerken.

0.2.3 Weitere Grundlagen hinsichtlich der Beurteilung der Erdbebensicherheit bestehender Bauwerke sind zu finden in:
- Normenreihe EN 1998 (Eurocode 8)
  insbesondere prEN 1998-3 Assessment and retrofitting of buildings
- Bundesamt für Wasser und Geologie: Richtlinie für die Beurteilung der Erdbebensicherheit bestehender Bauten, Stufe 1 und Stufe 2
- Bundesamt für Wasser und Geologie: Mikrozonierung.
  www.bwg.admin.ch
- FEMA 310: Handbook for the Seismic Evaluation of Buildings – A Prestandard (Federal Emergency Management Agency, USA)
- Paulay T., Priestley M.J.N.: Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings. ISBN 0-471-54915-0. John Wiley & Sons, New York, 1992.

0.3 Ausnahmen

0.3.1 Ausnahmen vom vorliegenden Merkblatt sind zulässig, wenn sie durch Theorie oder Versuche ausreichend begründet werden oder wenn neue Entwicklungen und Erkenntnisse dies rechtfertigen.

0.3.2 Abweichungen vom Merkblatt sind in den Bauwerksakten nachvollziehbar und mit Begründung zu dokumentieren.

SIA 2018, Copyright © 2004 by SIA Zurich

1 VERSTÄNDIGUNG

1.1 Fachausdrücke

Im vorliegenden Merkblatt werden die nachfolgend definierten Fachausdrücke verwendet. Allgemeine Fachausdrücke werden in den Normen SIA 260 und 261, bauweisenspezifische in den Normen SIA 262 bis 267 definiert.

Äquivalenter Einmassenschwinger *oscillateur simple équivalent* *oscillatore equivalente a un grado di libertà* *equivalent SDOF system*	Einmassenschwinger mit den dynamischen Eigenschaften der ersten Eigenform des Tragwerks.
Bauwerksklasse *classe d'ouvrage* *classe d'opera* *structural class*	Schematische Charakterisierung von Gebäuden gemäss Norm SIA 261, die eine ähnliche Gefährdung von Personen, die Bedeutung des Bauwerkes für die Allgemeinheit und die Gefährdung der Umwelt infolge der Beschädigung des Bauwerkes berücksichtigt.
beschränkt verformungsfähiges Bauteil *élément de structure à déformabilité limité* *elemento strutturale a deformabilità limitata* *limited-deformable structural element*	Bauteil, das die Anforderung an verformungsfähige Bauteile nicht erfüllt.
Bruchkrümmung *courbure ultime* *curvatura a rottura* *ultimate curvature*	Krümmung des Bauteils, bei welcher entweder die Bruchstauchung des Betons oder die Bruchdehnung des Betonstahls erreicht wird.
Duktilität *ductilité* *duttilità* *ductility*	Mass für die Energiedissipation und das plastische Verformungsvermögen eines Bauteils, ausgedrückt für eine Verschiebungs- oder Verformungsgrösse als Quotient von Maximalwert und Wert bei Fliessbeginn.
Einbindungshorizont *niveau d'encastrement* *livello d'incastro* *level of embedment*	Niveau der Einspannung des Tragwerksmodells für die Bestimmung der Erdbebeneinwirkung.
Erfüllungsfaktor *facteur de conformité* *fattore di conformità* *compliance factor*	Numerische Aussage, in welchem Mass ein bestehendes Tragwerk die rechnerischen Anforderungen an Neubauten gemäss geltender Norm erfüllt.
Fliesskrümmung *courbure de plastification* *curvatura di snervamento* *yield curvature*	Krümmung des Bauteils, bei welcher die Längsbewehrung erstmals die Fliessdehnung erreicht.
Fliessmoment *moment de plastification* *momento di snervamento* *yield moment*	Biegemoment des Bauteils, bei welchem die Längsbewehrung erstmals die Fliessdehnung erreicht.
Individualrisiko *risque individuel* *rischio individuale* *individual risk*	Mass für die Gefährdung einer Einzelperson, ausgedrückt als Todesfallwahrscheinlichkeit pro Jahr.

Kapazitätskurve *courbe de capacité* *curva di capacità* *capacity curve*	Verlauf der Rückstellkraft eines äquivalenten Einmassenschwingers in Funktion seiner relativen Verschiebung.
Kraftbasiertes Verfahren *méthode basée sur les forces* *progettazione in forza* *force-based design*	Gegenüberstellung von Auswirkungen in Form von Schnittgrössen und Querschnittswiderständen.
Krümmung *courbure* *curvatura* *curvature*	Mass für die Dehnungsänderung über den Querschnitt eines Biegeelements.
Mischsystem *système mixte* *sistema misto* *hybrid structure*	Tragwerk, das für Horizontalkräfte neben Mauerwerk vertikale Tragelemente aus Beton, Stahl oder Holz aufweist.
Nomineller Biegewiderstand *résistance nominale à la flexion* *resistenza flessionale nominale* *nominal bending strength*	Biegewiderstand des Bauteils bei dem entweder die Betonstauchung oder die Stahldehnung einen nominellen Wert erreicht (siehe Ziffer 6.2.8).
Nominelle Fliesskrümmung *courbure nominale de plastification* *curvatura di snervamento nominale* *nominal yield curvature*	Auf den nominellen Biegewiderstand extrapolierte Fliesskrümmung (siehe Ziffer 6.2.8).
Nomineller Versagenszustand *état limite ultime nominal* *stato limite di collasso nominale* *nominal ultimate limit state*	Idealisierter Zustand, bei welchem angenommen wird, dass das Bauteil oder das Tragwerk seine Aufgabe nicht mehr erfüllen kann, sei es weil sein Tragwiderstand zu stark abgefallen ist, oder weil lokal unzulässige Betonstauchungen bzw. Stahldehnungen aufgetreten sind.
Personenbelegung *occupation* *occupazione* *occupancy*	Anzahl Personen, die sich in einem Bauwerk und in dessen Trümmerbereich aufhalten.
Plastisches Gelenk *rotule plastique* *cerniera plastica* *plastic hinge*	Idealisierter Bereich eines Bauteils, in welchem konzentrierte, äquivalente plastische Verformungen angenommen werden, um das Verformungsvermögen des Bauteils abzuschätzen.
Projektierung *élaboration de projet* *progettazione* *design*	Entwurf, Tragwerksanalyse und Bemessung.
Restnutzungsdauer *durée d'utilisation restante* *durata d'utilizzo rimanente* *planning horizon*	Für die Restnutzung vorgesehene Zeitspanne.
Rettungskosten *coûts de sauvetage* *costi di soccorso* *life saving costs*	Quotient aus den Sicherheitskosten einer Massnahme und der Risikoreduktion ausgedrückt in Franken pro gerettetem Menschenleben.
Risiko *risque* *rischio* *risk*	Produkt aus der auf eine bestimmte Zeiteinheit bezogenen Eintretenswahrscheinlichkeit eines Ereignisses und den quantifizierten Ereignisfolgen. Im Merkblatt werden die Ereignisfolgen in der Regel durch die Todesfälle bei einem Erdbeben quantifiziert.

SIA 2018, Copyright © 2004 by SIA Zurich

Risikofaktor *facteur de risque* *fattore di rischio* *risk factor*	Vom Erfüllungsfaktor abhängige Grösse zur Berechnung des Personenrisikos.
Risikoreduktion *réduction du risque* *riduzione del rischio* *risk reduction*	Auf die Zeiteinheit ein Jahr bezogener Nutzen einer Massnahme ausgedrückt in geretteten Menschenleben (vermiedene Todesopfer).
Schiefstellung *inclinaison* *deformazione interpiano* *drift*	Verhältnis der horizontalen Verschiebungen eines Bauteils infolge Erdbeben zu einer vorgegebenen Höhe (in der Regel ein Stockwerk).
Schubspannweite *portée de cisaillement* *luce di taglio* *shear span*	Distanz zwischen dem Momentennullpunkt und dem Ort des maximalen Moments.
Sehnenverdrehung *rotation de la corde* *rotazione della corda* *chord rotation*	Winkel zwischen der Tangente der Bauteilachse im Fliessgelenk und der Sehne, die dieses und das Ende der Schubspannweite verbindet (vgl. Figur 3 in Ziffer 6.2.1).
Sicherheitskosten *coûts de la sécurité* *costi di sicurezza* *safety cost*	Jährlicher Abschreibungsbedarf der sicherheitsbezogenen Investitionskosten einer Massnahme auf die Restnutzungsdauer.
Sprödes Versagen *rupture fragile* *rottura fragile* *brittle failure*	Versagen, das ohne plastische Verformungen und ohne wesentliche Energiedissipation auftritt.
Verformungsbasiertes Verfahren *méthode basée sur les déformations* *progettazione in deformazione* *displacement-based design*	Gegenüberstellung von Auswirkungen in Form von durch ein Erdbeben erzwungenen Verformungen und des vorhandenen Verformungsvermögens.
verformungsfähiges Bauteil *élément de structure déformable* *elemento strutturale deformabile* *deformable structural element*	Bauteil, das ein zyklisch-plastisches stabiles Verformungsverhalten aufweist, und bei welchem ein sprödes Versagen ausgeschlossen werden kann, so dass das verformungsbasierte Verfahren angewendet werden kann.
Verformungsvermögen *capacité de déformation* *capacità di spostamento* *displacement capacity*	Verformung eines Bauteils oder eines Tragwerks, die in Anspruch genommen werden kann, bevor das Bauteil oder das Tragwerk seinen nominellen Versagenszustand erreicht.
Verhältnismässigkeit *proportionnalité* *proporzionalità* *commensurability*	Gewährleisten eines effizienten Mitteleinsatzes zur Reduktion des Gesamtrisikos mit Beschränkung des Individualrisikos.
Versagensart *mode de rupture* *modalità di collasso* *failure mode*	Klassierung des Versagens durch kinematische und baustoffweise Charakterisierung.
Zielverschiebung *déplacement cible* *spostamento target* *target displacement*	Verschiebungsbedarf aus dem Bemessungsspektrum der Verschiebung.

Zumutbarkeit *exigibilité* *esigibilità* *reasonableness*	Gewährleisten eines effizienten Mitteleinsatzes mit bedingter Beschränkung des Individualrisikos.

1.2 Bezeichnungen

1.2.1 Lateinische Grossbuchstaben

A_d	Bemessungswert einer aussergewöhnlichen Einwirkung
A_R	Erdbebeneinwirkung, die zum Versagen von tragenden Bauteilen führt
B_i	Anzahl Personen einer Belegung *i*
C_d	Bemessungswert einer Gebrauchsgrenze
D	Stützendurchmesser
DF	Diskontierungsfaktor
E_{cm}	Mittelwert des Elastizitätsmoduls von Beton
E_d	Bemessungswert einer Auswirkung
F_d	horizontale Ersatzkraft infolge Erdbebeneinwirkung
L_{pl}	Länge des plastischen Gelenks
L_v	Schubspannweite
M	Biegemoment
M_l	Biegemoment am linken Balkenende
M_n	nomineller Biegewiderstand
M_r	Biegemoment am rechten Balkenende
M'_y	Fliessmoment
PB	Erwartungswert der Personenbelegung bezogen auf ein Jahr
R_d	Bemessungswert des Tragwiderstands
RF	Risikofaktoren
RK_M	Rettungskosten der Massnahme
S	Parameter zur Bestimmung des elastischen Antwortspektrums
S_{ad}	Spektralwert der Beschleunigung des elastischen Bemessungsspektrums
SIK_M	Sicherheitsbezogene Investitionskosten
SK_M	Sicherheitskosten der Massnahme
S_{ud}	Spektralwert der Verschiebung des elastischen Bemessungsspektrums
T	Schwingzeit
T_B	Parameter zur Bestimmung des elastischen Antwortspektrums
T_C	Parameter zur Bestimmung des elastischen Antwortspektrums
T_D	Parameter zur Bestimmung des elastischen Antwortspektrums
V	Querkraft
V_d	Bemessungswert der Querkraft
V_d^+	Erhöhte Querkraft

SIA 2018, Copyright © 2004 by SIA Zurich

V_l Querkraft am linken Balkenende

V_r Querkraft am rechten Balkenende

1.2.2 Lateinische Kleinbuchstaben

a_{gd} Bemessungswert der Bodenbeschleunigung

a_{st} Stahlqualitätsbeiwert

b Gebäudebreite

d_{bl} Durchmesser der Längsbewehrung

d_i Anzahl Tage pro Woche mit der Belegung *i*

e Exzentrizität

$e_{d,inf}$ unterer Wert der Exzentrizität zu resultierenden Ersatzkraft

$e_{d,sup}$ oberer Wert der Exzentrizität zu resultierenden Ersatzkraft

f_{bk} charakteristischer Wert der Steindruckfestigkeit

f_{bm} Mittelwert der Steindruckfestigkeit

f_{cd} Bemessungswert der Betondruckfestigkeit

f_{ck} charakteristischer Wert der Zylinderdruckfestigkeit (5%-Fraktile)

f_s Fliessgrenze von Betonstahl

f_{sd} Bemessungswert der Fliessgrenze von Betonstahl

f_{sk} charakteristischer Wert der Fliessgrenze von Betonstahl

f_{sm} Mittelwert der Fliessgrenze

f_t Zugfestigkeit von Betonstahl

f_{tk} charakteristischer Wert der Zugfestigkeit von Betonstahl

f_{tm} Mittelwert der Zugfestigkeit von Betonstahl

$(f_t / f_s)_k$ charakteristischer Wert des Verhältnisses (f_t / f_s)

f_{xd} Bemessungswert der Mauerwerksdruckfestigkeit senkrecht zu den Lagerfugen

h lichte Höhe einer Wand

h_b Höhe eines rechteckigen Balkens

h_i Anzahl Stunden pro Tag mit der Belegung *i*

i Diskontzinssatz

l_s Länge der Stütze in Beanspruchungsrichtung

l_w Wandlänge

m^* modale Masse

n Restnutzungsdauer

q Verhaltensbeiwert

r Beiwert

t Wanddicke

w erdbebeninduzierte Verschiebung

w_d Zielverschiebung

w_i Anzahl Wochen pro Jahr mit der Belegung *i*

$w_{R,d}$ Verschiebungsvermögen

w_u Verschiebung beim Erreichen des Verformungsvermögens

w_y Fliessverschiebung

1.2.3 Griechische Grossbuchstaben

Γ Partizipationsfaktor

ΔRF Differenz der massgebenden Risikofaktoren

ΔR_{GE} Risiken aus in Geldeinheiten bewertbaren Schadenfolgen

ΔR_M Risikoreduktion

1.2.4 Griechische Kleinbuchstaben

α_{adm} Zulässiger Reduktionsfaktor

α_{eff} Erfüllungsfaktor bei der Überprüfung

α_{int} Erfüllungsfaktor nach Massnahmen zur Erhöhung der Erdbebensicherheit (**int**ervention)

α_{min} Minimaler Reduktionsfaktor

γ_D Partialfaktor für das Verformungsvermögen

γ_f Bedeutungsfaktor

γ_m Partialfaktor für eine Baustoff- oder Baugrundeigenschaft (berücksichtigt ungünstige Abweichungen vom charakteristischen Wert)

γ_M Widerstandsbeiwert (= $\gamma_R \gamma_m$)

γ_R Partialfaktor für den Tragwiderstand (berücksichtigt die Unschärfen im Widerstandsmodell)

ε_c Betonstauchung

ε_{c1d} Bemessungswert der Betonstauchung beim Erreichen von f_{cd}

ε_{cu} Bruchstauchung von Beton

ε_s Stahldehnung

ε_{sk} charakteristischer Wert der Fliessdehnung von Betonstahl

ε_{ud} Bemessungswert der Bruchdehnung von Betonstahl (Gleichmassdehnung)

ε_{uk} charakteristischer Wert der Bruchdehnung von Betonstahl (Gleichmassdehnung)

ζ Verhältnis der Betonstauchungen

θ_{max} maximale Sehnenverdrehung eines Bauteils (Verformungsvermögen)

θ_u Sehnenverdrehung beim Versagen

θ_y Sehnenverdrehung beim Fliessbeginn

κ Vergrösserungsfaktor zur Berücksichtigung höherer Eigenformen

σ_c Betonspannung

τ_{cd} Bemessungswert der Schubspannungsgrenze

ϕ_u Bruchkrümmung

ϕ_y nominelle Fliesskrümmung

ϕ_y' Fliesskrümmung

SIA 2018, Copyright © 2004 by SIA Zurich

2 GRUNDSÄTZE

2.1 Konzept

2.1.1 Der Anlass für eine Überprüfung ist im übergeordneten Normenwerk enthalten:
- Norm SIA 469 (1997) Ziffer 3 21 3
- Richtlinie SIA 462 (1994) Ziffer 2 1
- Empfehlung SIA 162/5 (1997) Ziffer 2 21.

2.1.2 Die Überprüfung eines bestehenden Bauwerks bezüglich Erdbeben wird in drei Schritten durchgeführt.
- Im Rahmen der Zustandserfassung wird das Verhalten des Bauwerks unter Erdbebeneinwirkung untersucht.
- Im Rahmen der Zustandsbeurteilung wird – allenfalls unter Berücksichtigung der Verhältnismässigkeit und der Zumutbarkeit – beurteilt, ob das Bauwerk eine akzeptierbare Sicherheit aufweist.
- Basierend auf den Ergebnissen der Zustandsbeurteilung werden anschliessend Massnahmen empfohlen.

2.2 Verformungsverhalten von Tragwerken

2.2.1 Sowohl bei Tragwerken als auch bei Bauteilen und Verbindungen wird zwischen verformungsfähigen und beschränkt verformungsfähigen unterschieden.

2.2.2 Ein Tragwerk ist, pro Hauptrichtung, nur dann verformungsfähig, wenn alle seine tragenden Bauteile und Verbindungen dies sind.

2.2.3 Ein Bauteil ist verformungsfähig, wenn es ein zyklisch-plastisches stabiles Verformungsverhalten aufweist, und ein sprödes Versagen ausgeschlossen werden kann. Mögliche spröde Versagensmechanismen werden pro Bauweise in den entsprechenden Ziffern aufgelistet.

2.2.4 Tragwerke, welche die Bestimmungen für das duktile Tragverhalten gemäss den Normen SIA 262 bis 266 einhalten, gelten als verformungsfähig.

2.3 Berechnungsverfahren

2.3.1 Es wird zwischen kräftebasierten und verformungsbasierten Berechnungsverfahren unterschieden. Das kräftebasierte Verfahren entspricht dem Verfahren gemäss Ziffer 16.5 der Norm SIA 261. Das verformungsbasierte Verfahren wird zur Beurteilung bestehender Bauten in diesem Merkblatt eingeführt.

2.3.2 Die Tragsicherheit und, wo notwendig, die Gebrauchstauglichkeit von verformungsfähigen Tragwerken können sowohl anhand des kräftebasierten Verfahrens als auch anhand des verformungsbasierten Verfahrens untersucht werden.

2.3.3 Die Tragsicherheit und, wo notwendig, die Gebrauchstauglichkeit von beschränkt verformungsfähigen Tragwerken sind anhand des kräftebasierten Verfahrens zu untersuchen.

2.3.4 Die Untersuchung der Gebrauchstauglichkeit ist gemäss Ziffer 4.4.4 der Norm SIA 260 zu führen. Dabei ist die Steifigkeitsreduktion infolge Schädigung des Tragwerks, zum Beispiel infolge Rissbildung, zu berücksichtigen.

2.3.5 Bezüglich konzeptioneller und konstruktiver Mängel ist das Bauwerk hinsichtlich der Bedingungen der Tabelle 27 der Norm SIA 261 zu überprüfen.

SIA 2018, Copyright © 2004 by SIA Zurich

2.4 Vorgehen

2.4.1 Die Beurteilung der Erdbebensicherheit ist Gegenstand oder Bestandteil einer Überprüfung gemäss Norm SIA 260 Figur 1 bzw. Norm SIA 469. Die übergeordneten Abläufe sind in diesen Dokumenten geregelt.

2.4.2 Die Überprüfung der Erdbebensicherheit erfolgt in den nachstehend aufgeführten drei Arbeitsschritten.

2.4.2.1 Zustandserfassung

- Grundlagenvorbereitung mit Hilfe der Bauwerksakten und Aufnahmen am Objekt
- Zuordnung des Bauwerks zu einer Bauwerksklasse gemäss Norm SIA 261 Ziffer 16.3
- Untersuchung der konzeptionellen und konstruktiven Durchbildung des Bauwerks gemäss Ziffer 2.3.5
- Bestimmen der relevanten Materialkennwerte der vorhandenen Baustoffe gemäss Ziffer 3
- Untersuchung der Erdbebensicherheit
  - Analyse des Tragwerks (kräftebasiert oder verformungsbasiert) gemäss Ziffer 4
  - Bestimmung der Erdbebeneinwirkung gemäss Ziffer 5 sowie der im Gefährdungsbild Erdbeben zu berücksichtigenden Begleiteinwirkungen
  - Bestimmung der Tragfähigkeit gemäss Ziffer 6 für Betonbauten, Ziffer 7 für Mauerwerk und Ziffer 8 für Stahl- und Stahl-Beton-Verbundbauten
  - Für BWK III: Bestimmung des Gebrauchsverhaltens
  - Untersuchung des Verhaltens von nicht tragenden Bauteilen gemäss Ziffer 7.5
  - Berechnung des Erfüllungsfaktors α_{eff} aller Bauteile gemäss Ziffer 9.1.

2.4.2.2 Beurteilung der Erdbebensicherheit

- Rechnerische Beurteilung gemäss Ziffer 9.1 durch Vergleich des Erfüllungsfaktors α_{eff} mit den Reduktionsfaktoren α_{adm} und α_{min}
- Beurteilung der Erdbebensicherheit nicht tragender Bauteile
- Allenfalls Beurteilung der Verhältnismässigkeit und der Zumutbarkeit gemäss Ziffer 10.

2.4.2.3 Massnahmenempfehlung

- Vorschläge für den Grundsatzentscheid über das weitere Vorgehen gemäss Ziffer 9.3.

SIA 2018, Copyright © 2004 by SIA Zurich

3 BAUSTOFFE

3.1 Allgemeines

3.1.1 Die Qualität der verwendeten Baustoffe kann in der Regel den Bauakten entnommen werden.

3.1.2 Allfällige Veränderungen von Baustoffeigenschaften oder geometrischen Grössen seit der Herstellung (Umbauten, Schädigungsprozesse, usw.) sind zu berücksichtigen.

3.2 Eigenschaften nach Bauwerksakten

3.2.1 Beton

3.2.1.1 Enthalten die Bauwerksakten Angaben zum verwendeten Beton und sind keine Hinweise vorhanden, dass diese Anforderungen nicht eingehalten wurden, dürfen charakteristische Werte und Bemessungswerte der Betondruckfestigkeit und der Schubspannungsgrenze für ein Betonalter von 28 Tagen gemäss Tabelle 5 im Anhang A verwendet werden.

3.2.1.2 Sind Resultate der damaligen Produktionskontrolle dokumentiert, die zeigen, dass die Anforderungen einer höheren als der verlangten Betonsorte erreicht wurden, darf dies berücksichtigt werden.

3.2.1.3 Die Erhöhung der Betondruckfestigkeit mit zunehmenden Betonalter ist zu berücksichtigen. Liegen keine spezifischen Daten vor, kann Figur 1 aus Norm SIA 262 verwendet werden.

3.2.2 Betonstahl und Spannstahl

3.2.2.1 Ist der Betonstahl eindeutig identifizierbar, dürfen Duktilitätsklasse, charakteristische Werte und Bemessungswerte der mechanischen Eigenschaften gemäss Tabelle 6 im Anhang A verwendet werden.

3.2.2.2 Für Spannstahl sind die charakteristischen Werte und Bemessungswerte der mechanischen Eigenschaften aus den damals gültigen Produktespezifikationen zu ermitteln.

3.2.3 Mauerwerk

Enthalten die Bauwerksakten Angaben zum verwendeten Mauerwerk, dürfen die Bemessungswerte der Steinfestigkeit und der Mauerwerksdruckfestigkeit gemäss Tabelle 7 und Tabelle 8 im Anhang B verwendet werden.

3.2.4 Baustahl

Enthalten die Bauwerksakten Angaben zum verwendeten Baustahl, dürfen die mechanischen Eigenschaften des entsprechenden Baustahls nach Norm SIA 263 gemäss Tabelle 9 im Anhang C verwendet werden.

3.3 Eigenschaften aus Sondierungen

3.3.1 Werden mechanische Kennwerte der Eigenschaften von Beton, Betonstahl und Spannstahl mittels Sondierungen erhoben, ist gemäss Empfehlung SIA 162/5 Ziffer 3 4 vorzugehen.

3.3.2 Aus den gemessenen Festigkeitswerten sind die aktualisierten charakteristischen Werte und Bemessungswerte für Beton, Betonstahl und Spannstahl im Sinne der Norm SIA 262 Ziffern 2.3.2 und 4.2 zu bestimmen.

SIA 2018, Copyright © 2004 by SIA Zurich

4 TRAGWERKSANALYSE

4.1 Allgemeines

4.1.1 Für die Steifigkeit der Bauteile ist ein mittlerer Wert bis zum Fliessbeginn in Rechnung zu stellen. Hinweise für die Steifigkeit finden sich in Ziffer 6 für Betonbauten und in Ziffer 7 für Mauerwerksbauten.

4.1.2 Neben der Biegesteifigkeit soll auch die Schubsteifigkeit der Bauteile und die Nachgiebigkeit des Baugrunds berücksichtigt werden.

4.1.3 Werden die Eigenfrequenzen durch Schwingungsmessungen bestimmt, ist die für die Erdbebeneinwirkung massgebende Steifigkeit gemäss Ziffer 4.1.1 unter Berücksichtigung der Steifigkeitsreduktion bis zum Fliessbeginn abzuschätzen.

4.1.4 Bei gemischten Tragsystemen ist eine realistische Steifigkeit entsprechend der verschiedenen Bauteile anzusetzen.

4.1.5 Bei durch Tragwände ausgesteiften Gebäuden darf die Rahmenwirkung durch die Decken berücksichtigt werden.

4.1.6 Bei Gebäuden mit steifen Untergeschossen darf für die Bestimmung der Erdbebeneinwirkung der Einbindungshorizont in der Bodenebene des Erdgeschosses angenommen werden. Die Auswirkungen sind bis in den Baugrund nachzuweisen.

4.2 Kraftbasierte Tragwerksanalyse

4.2.1 Die kraftbasierte Tragwerksanalyse erfolgt analog zum Vorgehen in Norm SIA 261 Ziffer 16.5. Der anzusetzende Verhaltensbeiwert q ist gemäss Ziffer 6 für Betonbauten und den Normen SIA 263 bis 266 für alle übrigen Bauten festzulegen. Bei gemischten Tragsystemen ist als Verhaltensbeiwert der kleinste Beiwert der einzelnen Bauteile anzunehmen.

4.2.2 Auch wenn die Bedingungen für das Ersatzkraftverfahren gemäss SIA 261 Ziffer 16.5.2.1 erfüllt sind, empfiehlt es sich, das Antwortspektrenverfahren anzuwenden, wobei die höheren Eigenschwingungsformen in der Regel vernachlässigt werden können.

4.2.3 Die kraftbasierte Untersuchung der Tragsicherheit erfolgt gemäss Norm SIA 260 auf dem Bemessungsniveau.

4.2.4 Die Bemessungswerte der Baustoffeigenschaften sind gemäss Ziffer 3.2 zu wählen oder gemäss Ziffer 3.3 zu bestimmen.

4.2.5 Der Tragwiderstand der Bauteile und Querschnitte wird gemäss der jeweils anwendbaren Normen SIA 262 bis 266 bestimmt.

4.3 Verformungsbasierte Tragwerksanalyse

4.3.1 Bei der verformungsbasierten Tragwerksanalyse erfolgt die Berechnung der Auswirkungen an einem nichtlinearen statischen Tragwerksmodell.

4.3.2 Wenn die Kriterien für die Regelmässigkeit im Grundriss gemäss Norm SIA 261 Ziffer 16.5.1.3 erfüllt sind, darf je ein ebenes Tragwerksmodell für die beiden Hauptrichtungen betrachtet werden. Andernfalls ist ein räumliches Tragwerksmodell anzunehmen.

4.3.3 Wenn die Voraussetzungen für zwei ebene Tragwerksmodelle erfüllt sind, darf die Torsionswirkung vernachlässigt werden.

SIA 2018, Copyright © 2004 by SIA Zurich

4.3.4 Beim räumlichen Tragwerksmodell ist zur Berücksichtigung der Torsionswirkung infolge zufälliger Exzentrizität die Lage der Massenschwerpunkte der einzelnen Geschosse in beiden Hauptrichtungen wie folgt anzusetzen:

$$e_{d,sup} = e + 0{,}05\, b \quad (1)$$

$$e_{d,inf} = e - 0{,}05\, b \quad (2)$$

Dabei bezeichnet e die tatsächliche Exzentrizität des Massenschwerpunkts gegenüber dem Steifigkeitszentrum des Geschosses und b steht für die Gebäudebreite senkrecht zur Erdbebeneinwirkung.

4.3.5 Die Auswirkungen infolge Torsion dürfen an einem linearen Tragwerksmodell unter Berücksichtigung der Rotationsträgheit berechnet werden.

Hinweise und Bemessungshilfen zur Berücksichtigung der Torsion finden sich in der Dokumentation SIA D 0171 Erdbebengerechter Entwurf und Kapazitätsbemessung eines Gebäudes mit Stahlbetontragwänden.

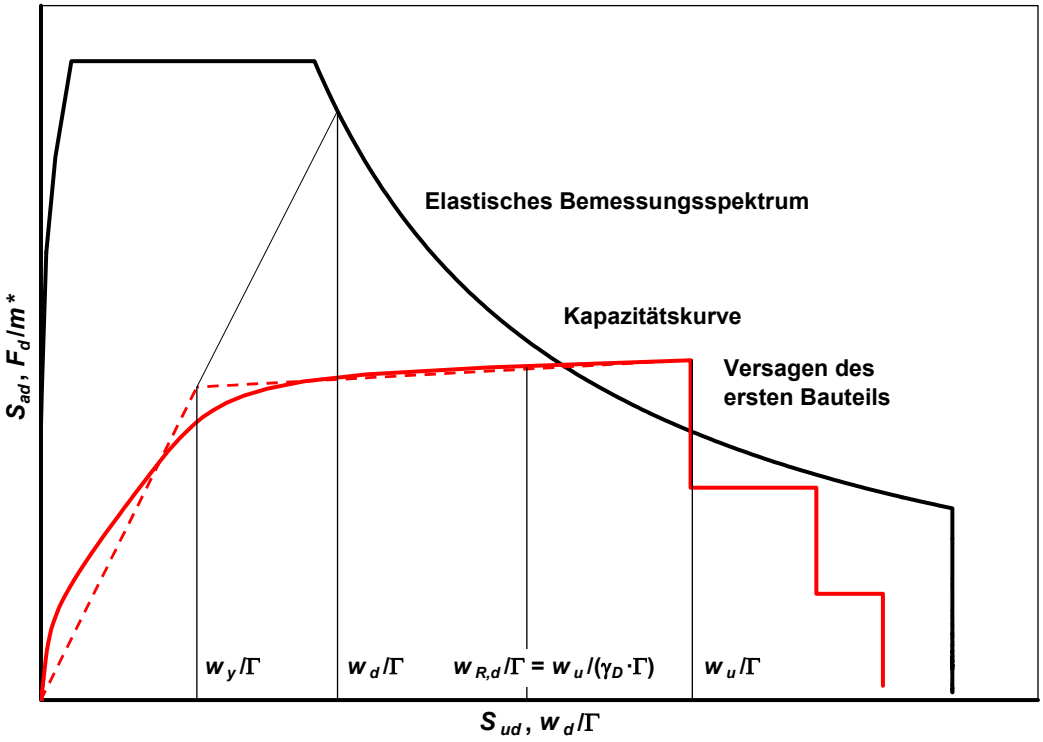
4.3.6 Für die Baustoffeigenschaften darf ein linear-elastisches, ideal-plastisches Verhalten angenommen werden. Für die Steifigkeit im linear-elastischen Bereich sind die Ziffern 4.1.1 und 4.1.2 zu beachten. Als Widerstand im ideal-plastischen Bereich ist der Tragwiderstand gemäss Ziffer 6 für Betonbauten und Ziffer 7 für Mauerwerksbauten einzusetzen.

4.3.7 Die verformungsbasierte Untersuchung des Tragvermögens erfolgt unter Annahme von charakteristischen Materialeigenschaften, um eine nähere Erfassung des wirklichen Verformungsverhaltens der Bauteile zu ermöglichen. Diese günstigere Annahme wird kompensiert, indem das Verformungsvermögen des Bauteils mit einem entsprechenden Partialfaktor γ_D reduziert wird.

4.3.8 Die Berechnung der Kapazitätskurve erfolgt an einem zur Grundschwingungsform äquivalenten Einmassenschwinger.

4.3.9 Zur Berechnung der Kapazitätskurve ist die horizontale Ersatzkraft F_d unter konstanten Schwerelasten schrittweise zu steigern bis der entsprechende Spektralwert der Horizontalverschiebung aus dem elastischen Bemessungsspektrum der Verschiebung (Zielverschiebung w_d/Γ) erreicht wird.

Figur 1 Elastisches Bemessungsspektrum mit Kapazitätskurve, normiert auf die modalen Grössen m^* und Γ, zur Bestimmung der Zielverschiebung w_d.
Die eingezeichnete Bestimmungsprozedur für w_d gilt nur für den Periodenbereich $T > 0{,}7$ s in dem das Prinzip der gleichen Verschiebung anwendbar ist.



4.3.10 Die Zielverschiebung w_d wird für den massgebenden Punkt aus den Verformungen der einzelnen Tragelemente berechnet.

Weitere Hinweise enthält prEN1998-1 Kapitel 4 und Anhang B.

5 EINWIRKUNGEN

5.1 Allgemeines

5.1.1 Bei einem bestehenden Bauwerk wird der Schutzgrad durch die Einteilung in eine Bauwerksklasse mit zugehörigem Bedeutungsfaktor γ_f gemäss Ziffer 16.3 der Norm SIA 261 wie bei Neubauten festgelegt.

5.1.2 Im Allgemeinen sind der Bemessungswert der horizontalen Bodenbeschleunigung a_{gd}, die Baugrundklasse und die Parameterwerte der Antwortspektren gemäss Ziffer 16.2 der Norm SIA 261 zu bestimmen.

5.1.3 Alternativ kann ein standortspezifisches Antwortspektrum durch eine bodendynamische Untersuchung bestimmt werden.

Eine standortspezifische bodendynamische Untersuchung führt häufig auf niedrigere Spektralwerte der Erdbebeneinwirkung im relevanten Schwingzeitenbereich für das betrachtete Bauwerk. Die Antwortspektren der Norm SIA 261 decken eine gewisse Variation der lokalen Baugrundeigenschaften innerhalb einer Baugrundklasse ab. Das Bundesamt für Wasser und Geologie lässt auf Basis der Landeskarte 1:25'000 die lokale Verteilung der Baugrundklassen kartieren (Bearbeitungspriorität: Zonen 3a und 3b, Zone 2, Zone 1) und stellt sie auf dem Internet zur Verfügung.

5.2 Erdbebeneinwirkungen für das kraftbasierte Verfahren

5.2.1 Für das kraftbasierte Verfahren ist das elastische Antwortspektrum der Beschleunigung durch Ziffer 16.2.3 der Norm SIA 261 gegeben, falls kein standortspezifisches Antwortspektrum gemäss Ziffer 5.1.3 vorliegt.

5.2.2 Die Bemessungsspektren der horizontalen und der vertikalen Beschleunigung sind gemäss Ziffer 16.2.4 der Norm SIA 261 zu bestimmen. Der Verhaltensbeiwert *q* für bestehende Stahlbetongebäude ist gemäss Ziffer 6.1 zu bestimmen. Für andere Baustoffe ist der Verhaltensbeiwert *q* gemäss den Angaben der Normen SIA 263 bis 266 zu wählen.

5.3 Erdbebeneinwirkungen für das verformungsbasierte Verfahren

5.3.1 Für das verformungsbasierte Verfahren wird die Erdbebeneinwirkung durch elastische Bemessungsspektren der Verschiebung und der Beschleunigung dargestellt.

5.3.2 Falls kein standortspezifisches Antwortspektrum gemäss Ziffer 5.1.3 vorliegt, wird das elastische Bemessungsspektrum der horizontalen Bodenverschiebung für 5% viskose Dämpfung und unter Berücksichtigung des Bedeutungsfaktors γ_f wie folgt bestimmt:

$$S_{ud} = 0{,}025 \cdot \gamma_f \cdot a_{gd} \cdot S\left(1 + \frac{1{,}5 \cdot T}{T_B}\right)T^2 \qquad \left(0 \le T \le T_B\right) \tag{3}$$

$$S_{ud} = 0{,}063 \cdot \gamma_f \cdot a_{gd} \cdot S \cdot T^2 \qquad \left(T_B \le T \le T_C\right) \tag{4}$$

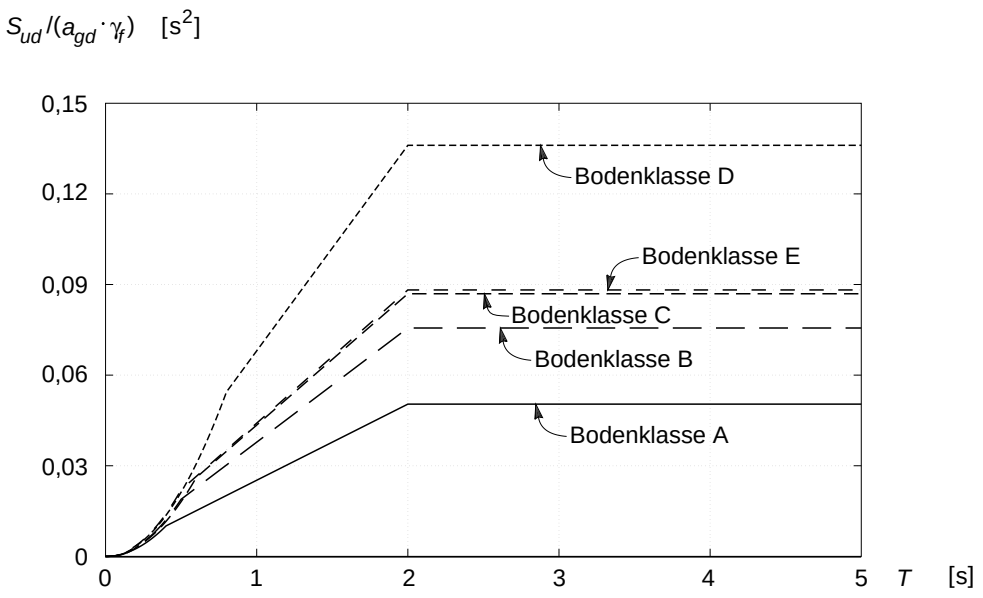
$$S_{ud} = 0{,}063 \cdot \gamma_f \cdot a_{gd} \cdot S \cdot T_C \cdot T \qquad \left(T_C \le T \le T_D\right) \tag{5}$$

$$S_{ud} = 0{,}063 \cdot \gamma_f \cdot a_{gd} \cdot S \cdot T_C \cdot T_D \qquad \left(T \ge T_D\right) \tag{6}$$

Die Parameter *S, T_B, T_C und T_D* sind Tabelle 25 der Norm SIA 261 zu entnehmen.

SIA 2018, Copyright © 2004 by SIA Zurich

Figur 2 Elastische Bemessungsspektren der Verschiebung normiert auf $a_{gd} \cdot \gamma_f$



5.3.3 Das elastische Bemessungsspektrum der Beschleunigung S_{ad} wird mit Gleichung (7) bestimmt.

$$S_{ad} = \frac{4\pi^2}{T^2} S_{ud} \qquad (7)$$

5.4 Erdbebeneinwirkungen für die Bestimmung des Gebrauchsverhaltens

Für die Bestimmung des Gebrauchsverhaltens bei Bauwerksklasse III ist ein im Vergleich zur Bestimmung der Tragfähigkeit auf 50% reduzierter Wert der Erdbebeneinwirkung anzusetzen.

Unter Berücksichtigung des Bedeutungsfaktor von γ_f = 1,4 ergibt sich gesamthaft gesehen für die Beurteilung der Gebrauchstauglichkeit bei Bauwerksklasse III eine Reduktion der Erdbebeneinwirkung auf 70% des Wertes für die Beurteilung der Tragsicherheit bei Bauwerksklasse I.

6 TRAGFÄHIGKEIT VON BETONBAUTEN

6.1 Kräftebasiertes Verfahren

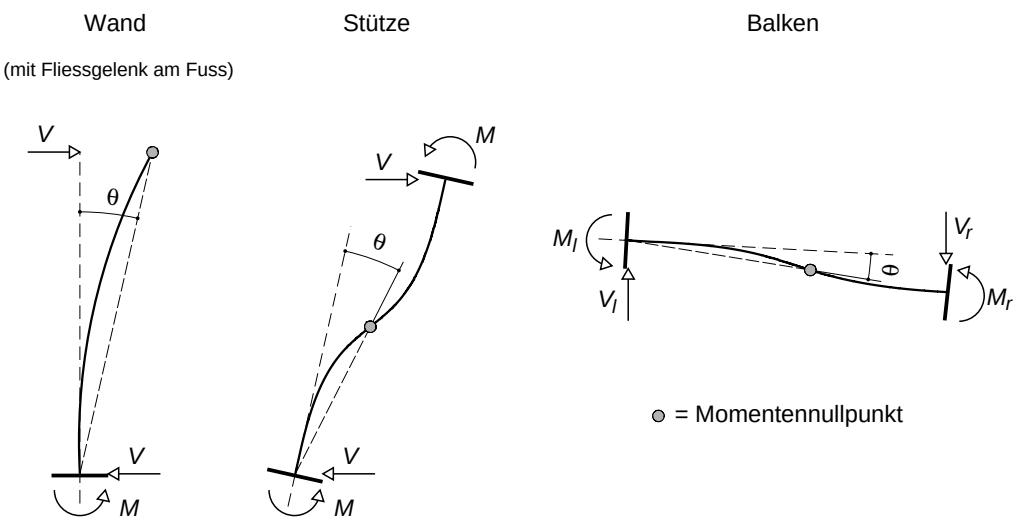
Beim kräftebasierten Verfahren ist der Verhaltensbeiwert q gemäss Ziffer 4.3.9.2.2 der Norm SIA 262 anzunehmen. Falls bei allen wesentlichen tragenden Bauteilen duktilitätsfördernde konstruktive Massnahmen vorhanden sind, kann ein höherer Verhaltensbeiwert q angenommen werden, jedoch nicht höher als gemäss Ziffer 4.3.9.3.5 der Norm SIA 262.

6.2 Verformungsbasiertes Verfahren

6.2.1 Beim verformungsbasierten Verfahren besteht die Untersuchung der vorhandenen Erdbebensicherheit eines Bauteils aus dem Vergleich der Auswirkung (Verformung) infolge normgemässer Erdbebeneinwirkung mit dem Verformungsvermögen gemäss Ziffer 6.2.13.

Im Stahlbeton werden Sehnenverdrehungen auf Bauteilniveau verglichen.

Figur 3 Darstellung der Sehnenverdrehung



6.2.2 Spröde Versagensmechanismen, die die Anwendung des verformungsbasierten Verfahrens nicht erlauben, sind u.a.:
- Schubzugversagen
- Schubdruckversagen
- Biegeversagen mit Betonbruch vor Stahlfliessen
- Biegeversagen infolge Reissen der Längsbewehrung bei kleiner plastischer Dehnung.

Ohne spezielle Untersuchungen kann angenommen werden, dass Reissen der Längsbewehrung bei kleiner plastischer Dehnung bei Bewehrungsstählen mit $(f_t / f_s)_k < 1{,}08$ immer auftritt.

6.2.3 Bauteile, die nur zur Übertragung von Schwerelasten beitragen, müssen diese Funktion auch unter erdbeben-induzierten Verformungen wahrnehmen können.

6.2.4 Zur Bestimmung des Verformungsvermögens von Bauteilen werden die charakteristischen Werte der Zylinderdruckfestigkeit des Betons sowie der Fliessgrenze und der Zugfestigkeit des Betonstahls gemäss Ziffer 3.2 gewählt oder gemäss Ziffer 3.3 bestimmt.

SIA 2018, Copyright © 2004 by SIA Zurich

6.2.5 Die maximale Dehnung des Betonstahls, die bei der Bestimmung des lokalen Verformungsvermögens eines Bauteils angenommen werden kann, beträgt ε_{uk}. Der Bemessungswert der Bruchdehnung ε_{uk} ist gemäss Tabelle 6 zu wählen oder gemäss Tabelle 4 der Norm SIA 262/1 zu bestimmen.

Bei Querschnitten mit einem nominellen Biegewiderstand kleiner als das doppelte Rissmoment ist die maximale Dehnung des Betonstahls auf 0,5 ε_{uk} zu reduzieren.

6.2.6 Die Bruchstauchung ε_{cu} des Betons wird unter Berücksichtigung der tatsächlich vorhandenen Umschnürungsbewehrung festgelegt. Ohne genauere Untersuchung kann ε_{cu} = 0,004 angenommen werden. Das dabei anzunehmende Spannungs-Dehnungs-Diagramm wird mit (8) bestimmt und ist in Figur 4 qualitativ dargestellt.

$$\frac{\sigma_c}{f_{ck}} = \frac{r \cdot \zeta}{r - 1 + \zeta^r} \tag{8}$$

σ_c Betonspannung

f_{ck} charakteristischer Wert der Zylinderdruckfestigkeit (5%-Fraktile)

r Beiwert zur rechnerischen Bestimmung $r = \dfrac{E_{cm}}{E_{cm} - \left(\dfrac{f_{ck}}{\varepsilon_{c1d}}\right)}$

des Spannungs-Dehnungs-Diagramms von Beton:

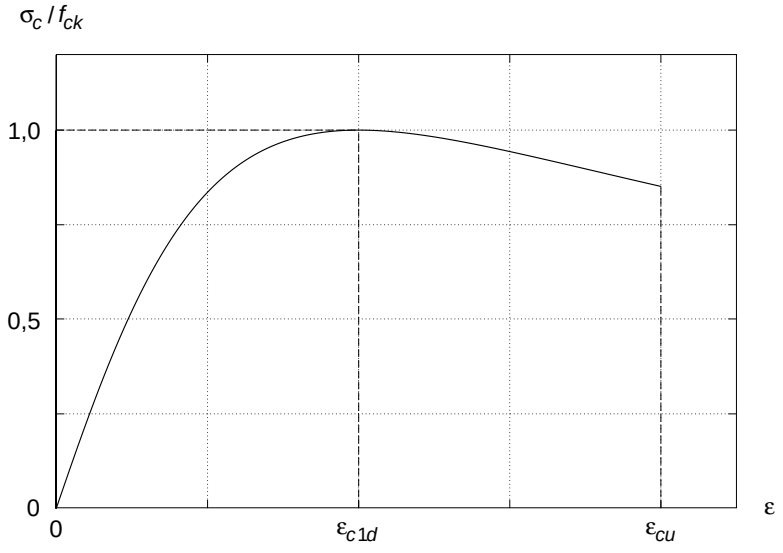
E_{cm} Mittelwert des Elastizitätsmoduls von Beton gemäss Norm SIA 262 Ziffer 3.1.2.3.3

ε_{c1d} Bemessungswert der Betonstauchung beim Erreichen von f_{cd} gemäss Norm SIA 262 Tabelle 8

ζ Verhältnis der Betonstauchungen: $\zeta = \dfrac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{c1d}}$

ε_c Betonstauchung

Figur 4 Idealisiertes Spannungs-Dehnungs-Diagramm für die verformungsbasierte Untersuchung von Betonbauten



6.2.7 Die Sehnenverdrehung θ_y bei Fliessbeginn des Bauteils beträgt:

$$\theta_y = \phi_y \cdot \frac{L_v}{3} \tag{9}$$

ϕ_y nominelle Fliesskrümmung des Bauteils

L_v Schubspannweite ($L_v = M/V$)

6.2.8 Im allgemeinen Fall kann die nominelle Fliesskrümmung ϕ_y gemäss Figur 5 wie folgt bestimmt werden:

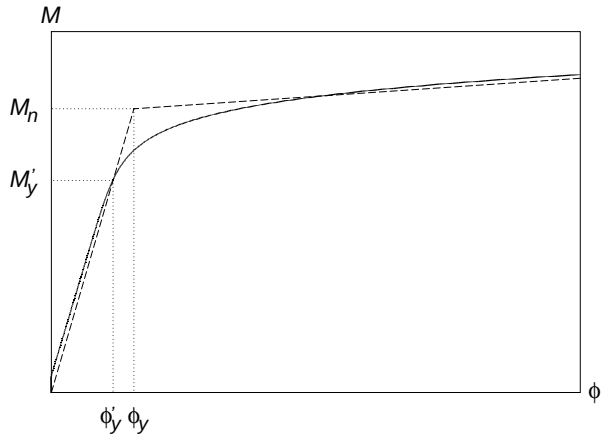
$$\phi_y = \phi'_y \cdot \frac{M_n}{M'_y} \tag{10}$$

ϕ'_y Fliesskrümmung des Bauteils

M_n nomineller Biegewiderstand, wenn entweder eine Betonstauchung ε_c = 0,004 oder ein Stahldehnung ε_s = 0,015 erreicht wird

M'_y Fliessmoment

Figur 5 Bestimmung der nominellen Fliesskrümmung



6.2.9 Für einfache Bauteile kann die nominelle Fliesskrümmung ϕ_y wie folgt abgeschätzt werden:

Runde Stütze: $$\phi_y = 2{,}25 \cdot \frac{\varepsilon_{sk}}{D} \tag{11}$$

Rechteckige Stütze und Balken: $$\phi_y = 2{,}1 \cdot \frac{\varepsilon_{sk}}{l_s} \quad \text{bzw.} \quad \phi_y = 2{,}1 \cdot \frac{\varepsilon_{sk}}{h_b} \tag{12}$$

Rechteckige Wände: $$\phi_y = 2{,}0 \cdot \frac{\varepsilon_{sk}}{l_w} \tag{13}$$

ε_{sk} charakteristischer Wert der Fliessdehnung der Längsbewehrung

D Stützendurchmesser

l_s Länge der Stütze in Beanspruchungsrichtung

h_b Höhe eines rechteckigen Balkens

l_w Wandlänge

6.2.10 Die Sehnenverdrehung θ_u beim Versagen des Bauteils beträgt:

$$\theta_u = \theta_y + \left(\phi_u - \phi_y\right) L_{pl} \left(1 - \frac{0{,}5 \cdot L_{pl}}{L_v}\right) \tag{14}$$

θ_y Sehnenverdrehung beim Fliessbeginn

ϕ_u Bruchkrümmung des Bauteils

ϕ_y nominelle Fliesskrümmung des Bauteils

L_{pl} Länge des plastischen Gelenks

L_v Schubspannweite ($L_v = M/V$)

6.2.11 Die Bruchkrümmung von Bauteilen ϕ_u wird unter Verwendung der Bruchstauchung des Betons ε_{cu} gemäss Ziffer 6.2.6 und der Bruchdehnung des Betonstahls ε_{uk} gemäss Ziffer 6.2.5 berechnet.

SIA 2018, Copyright © 2004 by SIA Zurich

6.2.12 Die Länge des plastischen Gelenks L_{pl} kann wie folgt abgeschätzt werden:

$$L_{pl} = a_{st}\left(0{,}08 \cdot L_v + 0{,}022 \cdot f_s \cdot d_{bl}\right) \text{ [mm]} \quad (15)$$

a_{st} Stahlqualitätsbeiwert. a_{st} = 0,8 für Bewehrungsstähle mit $\left(f_t / f_s\right)_k < 1{,}15$ und a_{st} = 1,0 für Bewehrungsstähle mit $\left(f_t / f_s\right)_k \geq 1{,}15$

L_v Schubspannweite ($L_v = M/V$) [mm]

f_s Fliessgrenze der Längsbewehrung in [N/mm^2]

d_{bl} Durchmesser der Längsbewehrung in [mm]

6.2.13 Das maximale Verformungsvermögen θ_{max} eines Bauteils beträgt:

$$\theta_{\max} = \frac{\theta_u}{\gamma_D} \quad (16)$$

θ_u Sehnenverdrehung beim Versagen gemäss Ziffer 6.2.10

γ_D Partialfaktor für das Verformungsvermögen: für Stahlbeton γ_D = 1,3

6.2.14 Falls die Bestimmungen zur konstruktiven Durchbildung von Bauteilen unter Erdbebeneinwirkung gemäss Ziffer 5.7 der Norm SIA 262 nicht eingehalten sind, ist das gemäss Ziffer 6.2.13 bestimmte maximale Verformungsvermögen θ_{max} auf $3 \cdot \theta_y$ zu begrenzen.

6.2.15 Untersuchung der Querkraft beim verformungsbasierten Verfahren

6.2.15.1 Beim verformungsbasierten Verfahren sind die massgebenden Bauteile für eine erhöhte Querkraft V_d^+ nachzuweisen, um ein frühzeitiges sprödes Querkraftversagen zu vermeiden. Kann dieser Nachweis nicht erbracht werden, so ist das Bauteil als beschränkt verformungsfähig zu betrachten und das Tragwerk mit dem kräftebasierten Verfahren zu untersuchen.

6.2.15.2 Für Wände beträgt die erhöhte Querkraft V_d^+:

$$V_d^+ = \kappa \cdot V_d \quad (17)$$

κ Vergrösserungsfaktor gemäss Ziffer 4.3.9.4.4 der Norm SIA 262

V_d Bemessungswert der Querkraft. Entspricht hier der Querkraft, die mit der Sehnenverdrehung beim Versagen auftritt.

6.2.15.3 Stützen und Riegel von Rahmentragwerken sind für eine erhöhte Querkraft V_d^+ gemäss Ziffer 4.3.9.5.2 der Norm SIA 262 zu untersuchen.

6.2.15.4 Der Querkraftwiderstand eines Bauteils wird nach Norm SIA 262 unter Berücksichtigung der Bemessungswerte der Materialeigenschaften berechnet.

7 TRAGFÄHIGKEIT VON MAUERWERK

7.1 Grundsätze

7.1.1 Die Berechnungen für Mauerwerksbauteile sind sowohl parallel als auch senkrecht zur Wandebene zu führen. Die Beurteilung senkrecht zur Wandebene erfolgt durch die Einhaltung von Grenzschlankheiten gemäss Ziffer 7.4.2.

7.1.2 Das vorliegende Merkblatt gilt für Schubwände aus Mauerwerk. Im Falle von Mischsystemen wird auf die Normenreihe EN 1998 verwiesen.

7.1.3 Das vorliegende Merkblatt gilt für unbewehrtes Mauerwerk. Für bewehrtes Mauerwerk sind die Vorschriften der Ziffer 6 sinngemäss anzuwenden.

7.1.4 Die Beurteilung nichttragender Mauerwerksteile erfolgt durch die Einhaltung des Grenzwerts für die Schiefstellung gemäss Ziffer 7.5.

7.2 Kräftebasiertes Verfahren

Die rechnerische Beurteilung von Mauerwerk erfolgt in der Regel nach dem kräftebasierten Verfahren.

7.3 Verformungsbasiertes Verfahren

7.3.1 Beim verformungsbasierten Verfahren besteht die Untersuchung der vorhandenen Erdbebensicherheit eines Bauteils aus dem Vergleich der Auswirkungen (Verformung) infolge normgemässer Erdbebeneinwirkung mit dem Verformungsvermögen.

Im Mauerwerk werden Stockwerkschiefstellungen verglichen.

7.3.2 Die zu treffenden Annahmen bezüglich Verformungsverhalten und -vermögen sind einem konsistenten Normenwerk zu entnehmen oder durch Versuche, die den tatsächlichen Verhältnissen entsprechen, zu belegen.

Als konsistentes Normenwerk kommen in Frage:
- Norm SIA 266
- Entwurf Eurocode 8 Teil 3 (prEN 1998-3 insbesondere Anhang C)

7.3.3 Spröde Versagensmechanismen, die die Anwendung des verformungsbasierten Verfahrens nicht erlauben sind u.a.:
- Festigkeits- oder Stabilitätsversagen durch Biegung aus der Ebene.

SIA 2018, Copyright © 2004 by SIA Zurich

7.4 Tragwiderstand senkrecht zur Wandebene

7.4.1 Der Tragwiderstand senkrecht zur Wandebene wird normalerweise nicht formal ausgedrückt, sondern die Wandschlankheit wird mit Grenzwerten verglichen.

7.4.2 Um ein Versagen senkrecht zur Wandebene ausschliessen zu können, muss die Wandschlankheit als Verhältnis lichte Höhe *h* zu Wanddicke *t* einer unbewehrten Mauerwerkswand kleiner sein als die Werte gemäss Tabelle 1.

Tabelle 1 Anforderungen an die Wandschlankheit *h*/*t* für α_{min}

	Erdbebenzone/Bauwerksklasse		
	Z 1 / BWK I Z 1 / BWK II	Z 2 / BWK I Z 2 / BWK II	Z 3 / BWK I Z3 /BWK II BWK III
Oberstes Stockwerk eines mehrstöckigen Gebäudes	≤18	≤17	≤17
Unterstes Stockwerk eines mehrstöckigen Gebäudes	≤20	≤19	≤18
Alle übrigen Fälle	≤19	≤18	≤17

Ist diese Bedingung nicht erfüllt oder soll ein höherer Erfüllungsfaktor α_{eff} belegt werden, ist die Tragsicherheit der Wand unter Querbelastung nach Norm SIA 266 zu beurteilen.

Eine alternative Methode ist das "rocking model" der gerissenen Wand gemäss Kapitel 7.8.2 von Paulay/Priestley 1992.

7.4.3 Aussenwände auf denen keine Decken aufliegen, haben bei jedem Stockwerk (Decke) eine Sicherung gegen Beanspruchungen senkrecht zur Wandebene aufzuweisen.

7.5 Nur vertikal tragendes Mauerwerk

7.5.1 Mauerwerksteile, die als nur vertikal tragend modelliert werden, sollen die erdbebeninduzierten Verformungen ohne Verlust ihrer Integrität ertragen.

7.5.2 Um ein Versagen von nicht abgefugten Zwischenwänden aus unbewehrtem Mauerwerk in der Ebene ausschliessen zu können, ist die Schiefstellung in Wandebene auf 0,5% zu begrenzen.

7.6 Nicht tragendes Mauerwerk

7.6.1 Für nicht tragende Bauteile, die im Falle des Versagens Personen gefährden, das Tragwerk beschädigen oder den Betrieb wichtiger Anlagen beeinträchtigen können, sind sowohl das nicht tragende Bauteil selbst als auch dessen Verbindungen und Befestigungen oder Verankerungen zu überprüfen.

7.6.2 Nicht tragende Bauteile sind für Erdbebeneinwirkungen aus der Ebene gemäss Ziffer 16.7 der Norm SIA 261 zu untersuchen. Zu bestimmen sind dabei die Erdbebeneinwirkung gemäss Gleichung (48) und der vorhandene Widerstand der Bauteile und deren Verbindungen zum Tragwerk unter Berücksichtigung von Materialeigenschaften auf dem Bemessungsniveau. Daraus wird analog zu den tragenden Bauteilen der Erfüllungsfaktor α_{eff} bestimmt (vgl. Ziffer 9).

8 TRAGFÄHIGKEIT VON STAHLBAUTEN UND STAHL-BETON-VERBUND-BAUTEN

8.1 Kräftebasiertes Verfahren

Die rechnerische Beurteilung von Stahl- und von Stahl-Beton-Verbundbauten erfolgt in der Regel nach dem kräftebasierten Verfahren.

8.2 Verformungsbasiertes Verfahren

8.2.1 Beim verformungsbasierten Verfahren besteht die Untersuchung der vorhandenen Erdbebensicherheit eines Bauteils aus dem Vergleich der Auswirkung (Verformung) infolge normgemässer Erdbebeneinwirkung mit dem Verformungsvermögen gemäss Entwurf Eurocode 8 Teil 3 (prEN 1998-3 Anhang B).

8.2.2 Versagensmechanismen, die die Anwendung des verformungsbasierten Verfahrens nicht erlauben sind u. a.:
- lokales Stabilitätsversagen
- Zugversagen von nicht vorgespannten Schrauben
- Zugversagen von Schrauben der Festigkeitsklassen 4.6 bis 6.8.

SIA 2018, Copyright © 2004 by SIA Zurich

9 BEURTEILUNG DER ERDBEBENSICHERHEIT UND MASSNAHMEN-EMPFEHLUNG

9.1 Rechnerische Beurteilung

9.1.1 Für die rechnerische Beurteilung der Erdbebensicherheit bestehender Bauten für das Gefährdungsbild Erdbeben wird der Erfüllungsfaktor α_{eff} mit Schwellenwerten α_{min} und α_{adm} verglichen. Diese weisen Werte kleiner als 1 auf, da sie folgende Aspekte berücksichtigen:
- Akzeptanz eines höheren Schadensausmasses für bestehende Bauten gegenüber Neubauten infolge der höheren Massnahmenkosten
- reduzierte Restnutzungsdauer.

9.1.2 Der Erfüllungsfaktor α_{eff} bestimmt sich aus einem Vergleich der normengemässen Auswirkungen mit dem normengemässen Widerstand bzw. dem normengemässen Verformungsvermögen (Tragfähigkeit bzw. Gebrauchsverhalten).

Beurteilung der Tragsicherheit

kraftbasiertes Verfahren: $$\alpha_{eff} = \frac{R_d}{E_d} \quad (18)$$

verformungsbasiertes Verfahren: $$\alpha_{eff} = \frac{w_{R,d}}{w_d} \quad (19)$$

Beurteilung der Gebrauchstauglichkeit: $$\alpha_{eff} = \frac{C_d}{w_d (0{,}5 \cdot A_d)} \quad (20)$$

Für die Beurteilung des vorhandenen Erdbebenwiderstandes wird der ermittelte Erfüllungsfaktor α_{eff} mit den Reduktionsfaktoren α_{adm} und α_{min} gemäss Tabelle 2 bzw. Figur 6 verglichen.

α_{min} beschreibt eine Beschränkung des Individualrisikos und ist damit unabhängig von der Restnutzungsdauer.
α_{adm} grenzt die Bereiche ab, in welchen die Verhältnismässigkeit immer/nicht immer massgebend ist.

9.1.3 Eine rechnerische Beurteilung der Tragsicherheit ist für alle Bauwerksklassen erforderlich.

$\alpha_{eff} < \alpha_{min}$	Massnahmen erforderlich.
$\alpha_{min} \le \alpha_{eff} < \alpha_{adm}$	Beurteilung der Verhältnismässigkeit gemäss Kapitel 10. Massnahmen erforderlich, falls die Verhältnismässigkeit gegeben ist.
$\alpha_{adm} \le \alpha_{eff}$	Keine Massnahmen empfohlen, weil in der Regel nicht verhältnismässig.

9.1.4 Eine rechnerische Beurteilung der Gebrauchstauglichkeit ist nur für Bauwerksklasse III erforderlich.

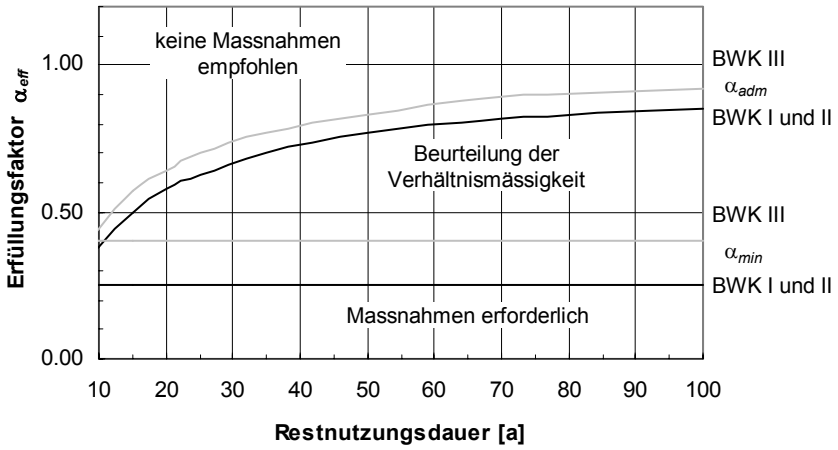
$\alpha_{eff} < \alpha_{min}$	Massnahmen erforderlich.
$\alpha_{min} \le \alpha_{eff}$	Falls Massnahmen für die Gewährleistung der Tragsicherheit verhältnismässig sind, sind auch Massnahmen für die Gewährleistung der Gebrauchstauglichkeit unter Einbezug objektübergreifender Aspekte zu erwägen.

9.1.4.1 Die Überprüfung der Verhältnismässigkeit einer allfälligen Ertüchtigung des nichttragenden Mauerwerks hat getrennt von jener für das Tragwerk zu erfolgen.

Tabelle 2 Schwellenwerte α_{min} und α_{adm}

Restnutzungsdauer	Bauwerksklasse I und II		Bauwerksklasse III	
	α_{adm}	α_{min}	α_{adm}	α_{min}
≥ 80 Jahre	0,83	0,25	0,90	0,40
60 Jahre	0,80	0,25	0,86	0,40
40 Jahre	0,72	0,25	0,79	0,40
20 Jahre	0,58	0,25	0,64	0,40
10 Jahre	0,38	0,25	0,44	0,40

Figur 6 Schwellenwerte α_{min} und α_{adm}



9.2 Konzeptionelle und konstruktive Beurteilung

9.2.1 Eine konzeptionelle und konstruktive Beurteilung ist erforderlich, wenn zwingende Bedingungen von Tabelle 27 der Norm SIA 261 nicht eingehalten sind.

9.2.2 Falls einzelne zwingende Bedingungen nicht eingehalten sind, ist ein verfeinertes Berechnungsmodell zu wählen, welches das dynamische Verhalten des Bauwerks und die Auswirkungen des Nichteinhaltens der konzeptionellen und konstruktiven Bedingungen von Tabelle 27 der Norm SIA 261 ausreichend genau berücksichtigt (je nach Verhältnis z.B. räumliches Tragwerksmodell, Boden-Bauwerks-Interaktion, höhere Eigenschwingungsformen, Flexibilität der Deckenscheiben etc.).

9.2.3 In einfachen Fällen kann ein Erfüllungsfaktor α_{eff} bestimmt werden als Vergleich der Erdbebeneinwirkung A_R, die infolge des betrachteten Mangels zum Versagen von tragenden Bauteilen führt, mit der Erdbebeneinwirkung A_d nach Ziffer 5.

Konzeptionelle und konstruktive Beurteilung: $\alpha_{eff} = \frac{A_R}{A_d}$ (21)

In komplexeren Fällen erfolgt die Beurteilung qualitativ.

SIA 2018, Copyright © 2004 by SIA Zurich

9.3 Massnahmenempfehlung

9.3.1 Allgemeines

9.3.1.1 Die Massnahmenempfehlung richtet sich nach den Grundsätzen der Empfehlung SIA 162/5.

Kapitel 5 "Massnahmenempfehlung" der Empfehlung SIA 162/5 ist weitgehend materialunabhängig formuliert, so dass es für alle Bauweisen angewendet werden kann.

9.3.1.2 Bauliche Massnahmen stehen im Vordergrund und haben das Ziel, die Tragsicherheit und Gebrauchstauglichkeit auf ein angemessenes Niveau zu erhöhen.

9.3.1.3 Mit betrieblichen Massnahmen kann das Personenrisiko reduziert werden, so dass sich u.a. die Verhältnismässigkeit von baulichen Massnahmen verändert.

9.3.1.4 Die Verhältnismässigkeit von Massnahmen kann wesentlich verbessert werden, wenn nicht alle Aufwendungen den sicherheitsbezogenen Investitionskosten SIK_M angelastet werden müssen.

9.3.2 Massnahmen zur Erreichung des normengemässen Zustandes

9.3.2.1 Grundsätzlich ist ein normengemässer Zustand für Neubauten nach den Tragwerksnormen SIA 260 bis 266 anzustreben ($\alpha_{int} \geq 1{,}0$).

9.3.2.2 Wenn die Verhältnismässigkeit von Massnahmen zur Erreichung des normengemässen Zustandes gegeben ist, sind solche zu ergreifen.

9.3.3 Massnahmen zur Annäherung an den normengemässen Zustand

9.3.3.1 Teilmassnahmen sind solche, die den Erfüllungsfaktor α_{int} erhöhen, ohne $\alpha_{int} = 1{,}0$ zu erreichen.

9.3.3.2 Bei Teilmassnahmen steht das Beheben von groben konzeptionellen und konstruktiven Mängeln und das Anheben der kleinsten Erfüllungsfaktoren α_{eff} im Vordergrund.

9.3.3.3 Wenn auf Grund der Verhältnismässigkeit das Erreichen eines normengemässen Zustandes als nicht effizient betrachtet wird, sind zumindest die am weitesten gehenden Teilmassnahmen, die noch verhältnismässig sind, zu ergreifen ($\alpha_{int} < 1{,}0$).

9.3.3.4 Ist das Individualrisiko nicht akzeptierbar ($\alpha_{eff} < \alpha_{min}$), so sind zumutbare Teilmassnahmen zu treffen, um zumindest $\alpha_{int} = \alpha_{min}$ zu erreichen.

9.3.3.5 Ist das Erreichen eines akzeptierbaren Individualrisikos nicht zumutbar, so ist dieses mit betrieblichen Massnahmen zu beschränken.

10 VERHÄLTNISMÄSSIGKEIT UND ZUMUTBARKEIT

10.1 Grundsätze

10.1.1 Die Verhältnismässigkeit wird beurteilt durch die Gegenüberstellung von Kosten und Nutzen einer Erdbebensicherungsmassnahme unter Berücksichtigung der Sicherheitsansprüche des Individuums. Diese werden beurteilt in Bezug auf die Akzeptierbarkeit des Individualrisikos.

10.1.2 Für die Bauwerksklasse III fliessen zusätzlich die Ansprüche an die Verfügbarkeit der Bauten und Anlagen in die Beurteilung ein.

10.1.3 Bei den Kosten werden lediglich die sicherheitsbezogenen Massnahmenkosten erfasst. Beim Nutzen wird lediglich die Reduktion der Personenrisiken in Form von vermiedenen Todesopfern betrachtet. Die Beurteilung erfolgt durch die Gegenüberstellung von Kosten und Nutzen in Form der so genannten Rettungskosten.

10.2 Personenrisiko

10.2.1 Zur Bestimmung des Personenrisikos werden die in der Schweiz massgebenden Erdbebenszenarien betrachtet. Für jedes Szenario wird das Risiko als Produkt seiner Eintretenswahrscheinlichkeit und der Anzahl der durch das Versagen des betrachteten Bauwerks zu erwartenden Todesfälle bestimmt. Das so genannte kollektive Personenrisiko ergibt sich schliesslich durch Aufsummieren über alle Szenarien.

10.2.2 Vom kollektiven Personenrisiko zu unterscheiden ist das Individualrisiko. Das Individualrisiko entspricht der Wahrscheinlichkeit in einem bestimmten Bauwerk infolge eines Erdbebens den Tod zu erleiden.

10.3 Akzeptierbarkeit des Individualrisikos

Das Individualrisiko ist akzeptierbar, wenn die Todesfallwahrscheinlichkeit den Wert von 10^{-5} pro Jahr nicht übersteigt. Dies ist der Fall, wenn der Nachweis einer genügenden Tragsicherheit für einen mit dem Faktor α_{min} multiplizierten Einwirkung erbracht werden kann. Dieser Faktor ist unabhängig von der Restnutzungsdauer.

10.4 Rettungseffizienz von Erdbebensicherungsmassnahmen

10.4.1 Die Rettungseffizienz einer Erdbebensicherungsmassnahme ist über die ihr zugeordneten Rettungskosten RK_M zu beurteilen:

$$RK_M = \frac{SK_M}{\Delta R_M} \qquad \text{[Franken/gerettetes Menschenleben]} \tag{22}$$

SK_M Sicherheitskosten der Massnahme in [Franken/Jahr] (siehe Ziffer 10.4.2)

ΔR_M Risikoreduktion [gerettete Menschenleben/Jahr] (siehe Ziffer 10.4.5).

10.4.2 Die Sicherheitskosten SK_M errechnen sich zu:

$$SK_M = DF \cdot SIK_M \qquad \text{[Franken/Jahr]} \tag{23}$$

DF Diskontierungsfaktor [1/Jahr]

SIK_M Sicherheitsbezogene Investitionskosten [Franken] (siehe Ziffer 10.4.4).

SIA 2018, Copyright © 2004 by SIA Zurich

10.4.3 Der Diskontierungsfaktor *DF* errechnet sich aus der vorgesehenen Restnutzungsdauer *n* und dem Diskontzinssatz *i* mit:

$$DF = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \qquad \text{[1/Jahr]} \tag{24}$$

i Diskontzinssatz [-]

n Restnutzungsdauer [Anzahl Jahre]

Der Diskontzinssatz *i* ist mit 2% pro Jahr anzusetzen.

Tabelle 3 enthält entsprechende Werte.

Tabelle 3 Diskontierungsfaktoren DF für *i* = 2% pro Jahr

Restnutzungsdauer n [Jahre]	5	10	20	30	40	50	60	80	100
Diskontierungsfaktor DF [1/Jahr]	0,212	0,111	0,061	0,045	0,037	0,032	0,029	0,025	0,023

10.4.4 Die sicherheitsbezogenen Investitionskosten SIK_M umfassen alle Kosten, die der eigentlichen Erdbebensicherung angelastet werden müssen und nicht auf andere Anforderungen (ohnehin nötige Instandsetzungen und Veränderungen) abgewälzt werden können.

10.4.5 Die Risikoreduktion ΔR_M errechnet sich aus der Differenz des kollektiven Personenrisikos zwischen Ausgangszustand und gedachter Umsetzung von Erdbebensicherungsmassnahmen. Sie kann wie folgt abgeschätzt werden:

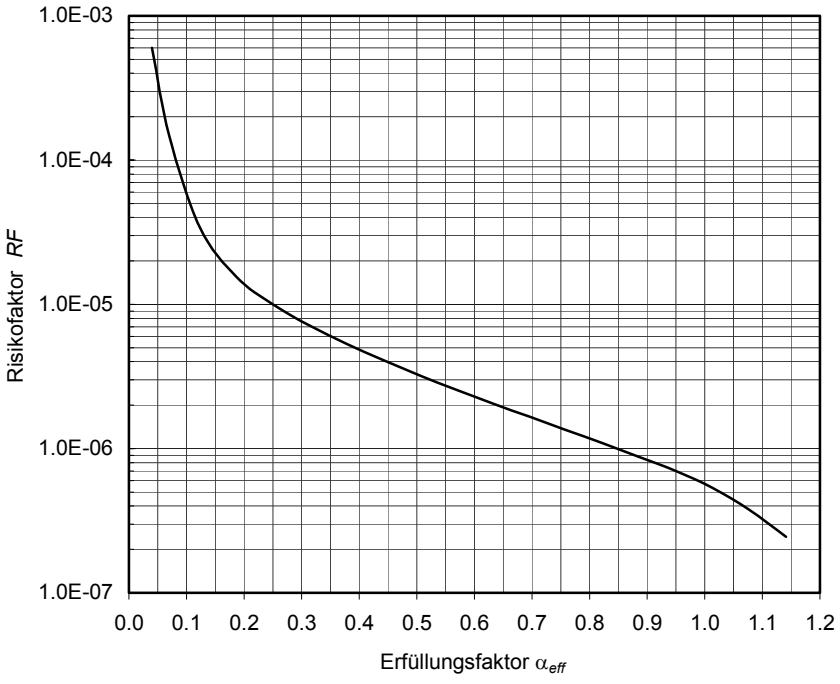
$$\Delta R_M = \Delta RF \cdot PB \qquad \text{[gerettete Menschenleben/Jahr]} \tag{25}$$

ΔRF Differenz der massgebenden Risikofaktoren [-] (siehe Ziffer 10.4.6)

PB Erwartungswert der Personenbelegung bezogen auf ein Jahr (siehe Ziffer 10.4.7)

10.4.6 In der Figur 7 sind Risikofaktoren *RF* in Abhängigkeit des massgebenden Erfüllungsfaktors α_{eff} angegeben. ΔRF errechnet sich aus der Differenz des Risikofaktors für den aktuellen Erfüllungsfaktor und desjenigen, der nach Umsetzung der Erdbebensicherungsmassnahme belegt werden kann.

Figur 7 Risikofaktoren *RF* zur Berechnung der Risikoreduktion



10.4.7 Der Erwartungswert der Personenbelegung *PB* im Jahresschnitt kann mit (26) bestimmt werden. Miteinzurechnen sind jene Personen, die im Umfeld des Bauwerks durch dessen Versagen gefährdet sind.

$$PB = \frac{1}{8736} \sum_i B_i \cdot h_i \cdot d_i \cdot w_i \quad \text{[Personen/Jahr]} \tag{26}$$

B_i Anzahl Personen einer Belegung *i* [Personen]

h_i Anzahl Stunden pro Tag mit der Belegung *i* [Stunden/Tag]

d_i Anzahl Tage pro Woche mit der Belegung *i* [Tage/Woche]

w_i Anzahl Wochen pro Jahr mit der Belegung *i* [Wochen/Jahr].

10.4.8 Für häufige Fälle gibt Tabelle 4 Richtwerte für spezifische mittlere Personenbelegungen, die mit der entsprechenden Gebäudekennzahl zu multiplizieren sind. Für Gebäude mit gemischter Nutzung kann die Personenbelegung aus den Einzelnutzungen akkumuliert werden.

Tabelle 4 Richtwerte für spezifische mittlere Personenbelegungen

Gebäudetyp	Spezifische mittlere Personenbelegung [Personen/Jahr·Einheit]	Gebäudekennzahl [Einheit]
Wohnhaus	0,2 – 0,6	Anzahl Zimmer gem. Definition Mietrecht
Schulhaus	1 – 5	Anzahl Klassenzimmer
Bürogebäude	0,5 – 3	100 m^2 Nettogeschossfläche
Versammlungsraum	0,003 – 0,3	Anzahl Sitzplätze
Spital	1,5 – 2,5	Anzahl Betten
Einkaufszentrum	7 – 18	100 m^2 Bruttoverkaufsfläche

10.5 Beurteilungskriterien

10.5.1 Eine Erdbebensicherungsmassnahme gilt als verhältnismässig, wenn die Rettungskosten RK_M unter 10 Mio. Franken pro gerettetes Menschenleben liegen.

10.5.2 Eine Erdbebensicherungsmassnahme gilt als zumutbar, wenn die Rettungskosten RK_M unter 100 Mio. Franken pro gerettetes Menschenleben liegen.

10.6 Erweiterungen in der Beurteilung der Personenrisiken

10.6.1 Personenschäden aus Folgeereignissen können abgeschätzt und bei der Ermittlung der Risikoreduktion ΔR berücksichtigt werden.

10.6.2 In Fällen, in welchen neben den Personenschäden auch die in Geldeinheiten bewertbaren Schäden eine nicht zu vernachlässigende Dimension annehmen, kann die erweiterte Rettungskostenformel (27) zur Anwendung kommen:

$$RK_M = \frac{SK_M - \Delta R_{GE}}{\Delta R_M} \quad \text{[Franken/gerettetes Menschenleben]} \tag{27}$$

ΔR_{GE} Risiken aus in Geldeinheiten bewertbaren Schadenfolgen [Franken/Jahr].

SIA 2018, Copyright © 2004 by SIA Zurich

ANHANG A BETONBAU (normativ)

Tabelle 5 Betondruckfestigkeit und Schubspannungsgrenze abhängig von der verwendeten Norm

Norm Richtlinie SIA	Betonsorte	bewehrt/ unbewehrt	Zementgehalt	charakteristische Werte (5%-Fraktile)	Bemessungswerte	
			[kg/m^3]	f_{ck} [N/mm^2]	f_{cd} [N/mm^2]	τ_{cd} [N/mm^2]
262[1] (2003)	...			...	...	...
	C30/37			30,0	20,0	1,10
	...			...	...	...
162 (1989)	B20/10			9,6	6,4	0,63
	B25/15			13,6	9,1	0,74
	B30/20			17,6	11,7	0,84
	B35/25			21,6	14,4	0,93
	B40/30			25,6	17,1	1,01
	B45/35			29,6	19,7	1,09
	B50/40			33,6	21,6	1,16
	B55/45			37,6	23,3	1,23
162/34 (1976) und 162 (1968)	BN	unbewehrt	150	6,4	4,3	0,51
			200	9,6	6,4	0,62
			≥250	12,8	8,5	0,72
	BH		≥250	19,2	12,8	0,88
	BN	bewehrt	300	12,8	8,5	0,72
	BH		≥300	19,2	12,8	0,88
	BS		≥300	24,0	16,0	0,98
162 (1956) und 115 (1935)	normaler Beton B.N.		150	3,4	2,2	0,37
			200	5,3	3,5	0,46
			250	7,7	5,1	0,55
			300	10,6	7,0	0,65
			350	13,4	9,0	0,73
	hochwertiger Beton B.H.		250 [2]	12,0	8,0	0,69
			300	16,3	10,9	0,81
			350	20,7	13,8	0,91

[1] nur zum Vergleich angegeben
[2] nur in Norm SIA 115 (1935)

Tabelle 6 Mechanische Eigenschaften von Betonstahl abhängig von der verwendeten Norm

Norm SIA	Stahlsorte / Produkt	Duktilitätsklasse	Mittelwerte		charakteristische Werte (5%-Fraktile)			Bemessungswerte	
			f_{sm} [N/mm^2]	f_{tm} [N/mm^2]	f_{sk} [N/mm^2]	f_{tk} [N/mm^2]	ε_{uk} [‰]	f_{sd} [N/mm^2]	ε_{ud} [‰]
262[1] (2003)	B500A	A	545	600	500	525	25	435	20
	B500B	B	550	710	500	540	50	435	45
	B450C	C			450 - 550	520 - 610 635 - 745	75	≥ 390	65
	Topar-S 500C	C	535	640	500	675	75	435	65
162 (1989)	S 235	B			235	360		205	
	S 500 a	B	550	710	500	600	50	435	45
	S 500 b	A	550		500	550		435	
	S 500 c	B	550	630	500	580	50	435	45
	S 500 d	A	545	600	500	550	25	435	20
	S 550	A	610	640	550	580		480	
162 (1968)	I	B	330		235	360		205	
	III a	B	550	580	450	550	50	390	
	Box-Ultra	C		730					
	topar	C		630					
	III b	A	550	580-630	450	470		390	
	IV	A			530	560		460	
162 (1956)	I	B			235	355		205	
	II a	B	440 - 530	530	345	410		300	
	Caron-Stahl	C	530	680					
	II b	B	440	610	345	510		300	
112 (1935)	normaler Stahl	B	300 - 330		240	360 - 450			
	hochwertiger Stahl	B	400 - 480	500	350	520 - 620			
	Stahl 52	B		590					

[1] nur zum Vergleich angegeben

SIA 2018, Copyright © 2004 by SIA Zurich

ANHANG B MAUERWERK (normativ)

Tabelle 7 Mauerwerksdruckfestigkeit abhängig von der verwendeten Norm SIA 113 (1965) bis SIA 266 (2003)

Norm Empfehlung SIA	Mauerwerk	Steinfestigkeit		Bemessungswerte	
				Einsteinmauerwerk	Verbandmauerwerk
		f_{bk} [N/mm^2]	f_{bm} [N/mm^2]	f_{xd} [N/mm^2]	f_{xd} [N/mm^2]
266[1)] (2003)	...	...		...	...
	MB	28,0		3,5	2,98
	...	...		...	...
V177 (1995)	MB	28,0		4,00	3,40
	MBL	14,0		2,00	1,70
	MC	14,0		4,00	3,40
	MCL	5,0		1,00	0,85
	MK	22,0		3,50	2,98
	MP	5,0		1,60	1,36
	MPL	2,5		0,90	0,77
177/2 (1992)	MBNV		≥ 20,0	2,50	2,00
	MBNC		≥ 20,0	3,50	2,50
	MBHC		≥ 25,0...35,0	4,00	3,00
	MBSC		≥ 40,0	5,50	4,00
	MKNV		≥ 15,0	2,50	2,00
	MKNC		≥ 15,0	3,50	3,00
	MKHC		≥ 25,0	4,50	4,00
	MCNC		≥ 12,0	3,50	2,50
	MGNK		≥ 3,0	0,70	-
	MGHK		≥ 5,0	1,20	-
177 (1980)	MBNV		≥ 20,0	2,29	2,08
	MBNC		≥ 20,0	3,75	2,92
	MBHC		≥ 25,0...35,0	5,42	3,54
	MBSC		≥ 40,0	8,75	6,46
	MKNV		≥ 15,0	2,92	2,50
	MKHV		≥ 25,0	4,17	3,75
	MKHC		≥ 25,0	5,42	4,58
	MKSC		≥ 35,0	6,67	5,63
	MCNC		≥ 12,0	3,75	-
	MGLK		≥ 2,0	0,58	-
	MGNK		≥ 3,0	0,83	-
	MGHK		≥ 5,0	1,33	-
113 (1965)	MBNV		≥ 15,0	2,29	2,08
	MBHV		≥ 25,0...35,0	3,54	2,92
	MBHC		≥ 25,0...35,0	5,21	3,54
	MBSC		≥ 40,0	8,75	6,46
	MKNV		≥ 15,0	2,29	1,92
	MKHV		≥ 25,0	2,71	2,29
	MKHC		≥ 25,0	5,00	4,17
	MKTC		≥ 35,0	6,67	5,63
	MZV		-	1,58	-
	MZC		-	3,33	-
	MZLV		-	0,83	-
	MGV		-	0,83	-

[1)] nur zum Vergleich angegeben

Tabelle 8 Mauerwerksdruckfestigkeit nach Norm SIA 113 (1943)

Norm SIA	Mauerwerk	Mörteltyp	Steinfestigkeit		Bemessungswerte Einsteinmauerwerk	
			f_{bm} [N/mm^2]		f_{xd} [N/mm^2]	
			Normal	Hochwertig	Normal	Hochwertig
113 (1943)	Backsteine: gelocht, Normalformate	Portlandzementmörtel	22,0	35,0	3,50	5,50
		Verlängerter P.C.			2,25	3,25
		Hydr. Kalkmörtel			1,50	2,00
	Kalksandsteine: voll mit flachen Mulden	Portlandzementmörtel	16,0	25,0	3,50	5,50
		Verlängerter P.C.			2,25	3,25
		Hydr. Kalkmörtel			1,50	2,00
	Backsteine: Grossformate	Portlandzementmörtel	-		1,50	
		Verlängerter P.C.			1,00	
		Hydr. Kalkmörtel			0,50	
	Zementsteine: gelocht	Portlandzementmörtel	22,0		4,00	
		Verlängerter P.C.			2,50	
		Hydr. Kalkmörtel			1,75	
	Zementsteine: voll	Portlandzementmörtel	25,0		5,00	
		Verlängerter P.C.			3,00	
		Hydr. Kalkmörtel			2,00	
	Tunnelsteine	Portlandzementmörtel	35,0		7,50	
		Verlängerter P.C.			5,00	
		Hydr. Kalkmörtel			-	

SIA 2018, Copyright © 2004 by SIA Zurich

ANHANG C STAHLBAU (normativ)

Tabelle 9 Bezeichnungen der Baustähle abhängig von der verwendeten Norm

Norm SIA 263 (2003)	Norm SIA 161/1 (1994)	Norm SIA 161 SIA 161/1 (1990)	Norm SIA 161 (1979)	Norm SIA 161 (1974)	Norm SIA 161 (1956)	Norm SIA 112 (1935)
S 235	S235	Fe E 235	Fe 360	St 24/37	Flussstahl, Stahlguss	Flussstahl, Stahlguss
S 275	S275	Fe E 275	Fe 430	-		
S 355	S355	Fe E 355	Fe 510	St 36/52		
S 460	S460	Fe E 460	Fe E 460	-		

ANHANG D PRIORITÄTENSETZUNG (informativ)

Allgemeines

Der weitaus grösste Teil der Bauwerke in der Schweiz ist im Rahmen früherer Normengenerationen gebaut worden – der grösste Teil wiederum ohne jegliche spezifische Erdbebenvorkehrungen. Der Aufwand für die Überprüfung eines Bauwerks gemäss dem vorliegenden Merkblatt ist nicht unerheblich – bereits ohne Aufwendungen für die Planung und Umsetzung einer Ertüchtigungsmassnahme.

Überprüfung

Bedingt durch den grossen Umfang wird sich deshalb eine Überprüfung des bestehenden Gebäudebestandes über einen ausgedehnten Zeitraum hinziehen. Eine Verbesserung der Risikosituation ergibt sich aber erst, wenn die als ungenügend beurteilten Bauwerke in Stand gesetzt worden sind. Aus einer volkswirtschaftlichen Perspektive müssen die vorhandenen Mittel schwergewichtig für Ertüchtigungsmassnahmen gefährdeter Bauwerke eingesetzt werden und nur sekundär für die Überprüfung des Gesamtbestandes.

Es ist daher sinnvoll und – im Sinne einer Prioritätensetzung - unabdingbar, die kritischsten Bauwerke aus der Masse herauszufiltern. Verschiedene Kriterien bieten sich dazu an und werden verschiedentlich bereits eingesetzt:

- Priorisierung der Bauwerke, die der Bauwerkslassen II und III angehören und die in den Gefährdungszonen 2 und 3 liegen.
- Priorisierung der Bauwerke, die auch aus anderen Gründen zur Instandsetzung anstehen.
- Anwendung von gröberen Beurteilungsverfahren, die in wenigen Stunden zu einer ersten Beurteilung führen (siehe Ziffer 0.2.3)
- Identifikation anhand eines Typenkatalogs von überdurchschnittlich schlecht ausgebildeten Bauten. Die Erfahrungen aus der Anwendung des vorliegenden Merkblatts können gezielt gesammelt und in einen Typenkatalog von gefährdeten Gebäudetypen umgelegt werden.

Ertüchtigung

Um die vorhandenen Mittel aus volkswirtschaftlicher Sicht effizient zu nutzen, sind auch bei der Umsetzung von Ertüchtigungsmassnahmen Überlegungen zur Prioritätensetzung angebracht. So ist es sinnvoll, die Massnahmen am Tragwerk mit einer anstehenden Instandsetzung zu bündeln. Die beträchtlichen betrieblichen Folgekosten bei einer Tragwerksanpassung müssen dann nicht einzig der Erdbebenertüchtigung angelastet werden.

SIA 2018, Copyright © 2004 by SIA Zurich

Arbeitsgruppe SIA 261-1 *Erdbeben bei bestehenden Bauwerken*

Vorsitz	Prof. Thomas Vogel, dipl. Ing. ETH, Zürich	ETH Zürich
Mitglieder	Thierry Berset, dipl. Ing. ETH, Freiburg	Kant. Gebäudeversicherung
	Prof. Dr. Alessandro Dazio, dipl. Ing. ETH, Zürich	ETH Zürich
	Blaise Duvernay, dipl. Ing. ETH, Biel	Bundesamt für Wasser und Geologie
	Ehrfried Kölz, dipl. Ing. ETH, Gipf-Oberfrick	Projektierung
	Dr. Pierino Lestuzzi, dipl. Ing. ETH, Lausanne	EPF Lausanne
	Dr. Rudolf Vogt, dipl. Ing. ETH, Zürich	Projektierung
	Dr. Thomas Wenk, dipl. Ing. ETH, Zürich	Projektierung
Protokoll	Reto Bargähr, dipl. Ing. ETH, Zürich	ETH Zürich

Genehmigung und Inkrafttreten

Die Zentralkommission für Normen und Ordnungen (ZNO) des SIA hat das vorliegende Merkblatt SIA 2018, *Überprüfung bestehender Gebäude bezüglich Erdbeben*, am 26. August 2004 genehmigt.

Es tritt am 1. November 2004 in Kraft.

Es ersetzt bezüglich Erdbeben die Ziffern 4 3, 5 31 und 5 32 der Richtlinie SIA 462 *Beurteilung der Tragsicherheit bestehender Bauwerke*, Ausgabe 1994.

SIA 2018, Copyright © 2004 by SIA Zurich

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe (Fotokopie, Mikrokopie, CD-ROM usw.), der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und das der Übersetzung, sind vorbehalten.