ETH zürich

ETH Library

Grundsätze der Norm SIA 269/8

Conference Paper

Author(s):
Wenk, Thomas

Publication date:
2019-06-13

Permanent link:
https://doi.org/10.3929/ethz-b-000379043

Rights / license:
In Copyright - Non-Commercial Use Permitted

This page was generated automatically upon download from the ETH Zurich Research Collection.
For more information, please consult the Terms of use.

Grundsätze der Norm SIA 269/8

Thomas Wenk
Wenk Erdbebeningenieurwesen und Baudynamik GmbH, Zürich

1 EINLEITUNG

Die Norm SIA 269/8 „Erhaltung von Tragwerken – Erdbeben“ ersetzt seit dem 1. Dezember 2017 das Merkblatt SIA 2018 (2004) „Überprüfung bestehender Gebäude bezüglich Erdbeben“. Das Merkblatt SIA 2018 war das erste normative Dokument des SIA, das spezifisch auf die Besonderheiten bestehender Bauten ausgerichtet war. Gerade bei der Erdbebensicherung ist eine differenzierte Betrachtung von Neu- und Altbauten besonders wichtig, da dort die Kostendifferenz zur Erreichung des gleichen Schutzniveaus bei Neu- und Altbauten in der Regel besonders gross ist. Das damals mit dem Merkblatt SIA 2018 neu eingeführte, risikobasierte Konzept der Verhältnismässigkeit zur Beurteilung der Notwendigkeit von Erdbebenertüchtigungsmassnahmen wurde weiterentwickelt und in die Norm SIA 269/8 übergeführt. Die Norm SIA 269/8 ist heute die Grundlage für die Überprüfung der Erdbebensicherheit von bestehenden Bauten.

1.1 Erarbeitung

Zur Erarbeitung der Norm SIA 269/8 wurde eine SIA-Arbeitsgruppe der Normenkommission SIA 261 gebildet, die aus folgenden Mitgliedern bestand:

- Dr. Thomas Wenk, dipl. Ing. ETH, Zürich (Vorsitz)
- Friederike Braune, Dipl.-Ing. RWTH, BAFU, Bern
- Dr. Alessandro Dazio, dipl. Ing. ETH, Cadenazzo
- Blaise Duvernay, dipl. Ing. ETH, BAFU, Bern
- Dr. Martin G. Koller, dipl. Ing. ETH, Carouge
- Ehrfried Kölz, dipl. Ing. ETH, Gipf-Oberfrick
- Xavier Mittaz, dipl. Ing. ETH, Sion
- Dr. Rudolf Vogt, dipl. Ing. ETH, Zürich
- Prof. Dr. Katrin Beyer, dipl. Ing. ETH, EPFL, Lausanne (Sachbearbeitung)

Aufbauend auf den Erfahrungen von über 10 Jahren erfolgreichem Einsatz in der Praxis wurde das Merkblatt SIA 2018 (2004) von der SIA-Arbeitsgruppe 269/8 vollständig überarbeitet und als Erhaltungsnorm SIA 269/8 in die Normenreihe SIA 269 „Erhaltung von Tragwerken“ eingegliedert. Zu Beginn der Arbeiten erfolgte eine enge gegenseitige Abstimmung zwischen der Norm SIA 269/8 und der Grundlagen-Norm der Erhaltung SIA 269 (2011), die sich damals gerade in der Schlussphase vor der Veröffentlichung befand. Dies betraf insbesondere die Beurteilung der Verhältnismässigkeit von Erdbebensicherheitsmassnahmen.

1.2 Genehmigungsprozess

Die öffentliche Vernehmlassung der Norm prSIA 269/8 fand im Jahre 2014 statt (Wenk, 2014). Die enorme Anzahl von 715 Vernehmlassungskommentaren von insgesamt 42 Institutionen, Firmen oder Einzelpersonen belegt das grosse Interesse an der Erdbebensicherung der bestehenden Bauten in der Schweiz. Im Gegensatz dazu war das Echo auf die Vernehmlassung des Merkblatts SIA 2018 im Jahre 2004 mit 201 Vernehmlassungskommentaren von 25 Personen geradezu bescheiden.

Im Anschluss an die Vernehmlassung erfolgte eine weitgehende Überarbeitung des Vernehmlassungsentwurfs. In der nächsten Runde, dem Einspracheverfahren, wurde der überarbeitete Entwurf, den Teilnehmer der Vernehmlassung vorgelegt. Darauf antworteten noch 10 Einsprecher mit 183 Kommentaren. In der dritten Runde, der sogenannten Anhörung, nahmen noch fünf Personen an der Diskussion eines weiteren Entwurfs teil. Den anschliessenden Rekurs einer Einzelperson wurde vom Vorstand des Schweizerischen Ingenieur- und Architekten-Vereins (SIA) am 3. Oktober 2017 vollständig abgewiesen.

Parallel dazu fand jeweils ein drei- bis vierstufiger Genehmigungsprozess der Normentwürfe statt, der ausgehend von der Arbeitsgruppe SIA 269/8 über die Normenkommission SIA 261 bis hinauf zur Koordinationskommission für Tragwerksnormen (KTN) oder sogar bis zur Zentralkommission für Normen (ZN) entlang der vielen Hierarchiestufen des SIA-Normenwesens führte. In diesen Gremien wurden einige wenige Änderungen der Norm SIA 269/8 von untergeordneter Bedeutung beschlossen.

2 NEUERUNGEN IN DER NORM SIA 269/8

Die Gliederung der Norm SIA 269/8 folgt weitgehend dem Merkblatt SIA 2018 (2004). Die allgemeinen Kapitel „Geltungsbereich“, „Verständigung“ und „Grundsätze“ wurden gestrafft und an die Grundlagen-Norm SIA 269 (2011) angepasst. Die wesentlichen Neuerungen in den weiteren Kapiteln der Norm SIA 269/8 werden im Folgenden kurz beschrieben. Eine vertiefende Beschreibung der Kapitel befindet sich in den entsprechenden Beiträgen in diesem Tagungsband.

2.1 Betonbauten

Die Bestimmungen des kraftbasierten Verfahrens wurden ergänzt durch Angaben zur Bestimmung der Biege- und Schubsteifigkeit von Stahlbetonbauteilen. Das verformungsbasierte Verfahren wurde erweitert mit Regeln zur Bestimmung der Bruchkrümmung im Falle von Überlappungsstössen der Längsbewehrung im plastischen Bereich (Dazio, 2019).

2.2 Mauerwerk

Das Kapitel „Mauerwerk“ wurde komplett neu erarbeitet mit Regeln für Modellbildung, Steifigkeit, Widerstände und Verformungsvermögen von Bauteilen aus Mauerwerk sowohl für das kraftbasierte als auch für das verformungsbasierte Verfahren. Ferner wurden die Bestimmungen für den Nachweis quer zur Wandebene verfeinert (Beyer, 2019).

2.3 Geotechnik

Mit dem neuen Kapitel „Geotechnik“ abgestimmt auf die revidierte Norm SIA 267 (2013) wurde die bestehende Lücke im Merkblatt SIA 2018 (2004) im Bereich Grundbau geschlossen. Hilfreich sind insbesondere die Abgrenzungskriterien, bei welchen Erd- und Stützbauwerken auf eine Überprüfung der Erdbebensicherheit verzichtet werden darf. Zu erwähnen sind ferner die neuen Überprüfungsdiagramme, mit denen festgestellt werden kann, ob der Einfluss einer Verflüssigung oder Scherfestigkeitsverminderung des Baugrunds genauer untersucht werden muss (Duvernay, 2019).

2.4 Bauwerksklassen

Die Einteilung in drei Bauwerksklassen (BWK) I, II und III in der Norm SIA 261 (2014) für Neubauten wurden für die Überprüfung bestehender Bauten auf fünf Bauwerksklassen erweitert. Die bisherige Bauwerksklasse II wurde in drei Bauwerksklassen verfeinert aufgeteilt:

- BWK II-s umfasst Schulen und Kindergärten;
- BWK II-i umfasst Bauwerke mit bedeutender Infrastrukturfunktion;
- BWK II umfasst die übrigen Bauwerke der BWK II gemäss Norm SIA 261, soweit sie nicht in die BWK II-s oder BWK II-i fallen.

Die Verfeinerung der Bauwerksklasseneinteilung erlaubt, für BWK II-s und II-i einen erhöhten Mindesterfüllungsfaktor α_{min} vorzusehen. Damit können einerseits Kinder in Schulen und Kindergärten besser geschützt werden und andererseits kann die minimale Verfügbarkeit von bedeutender Infrastruktur nach einem Erdbeben verbessert werden.

Für die Bauwerksklassen BWK II-s und II-i gilt neu ein Mindesterfüllungsfaktor von $\alpha_{min} = 0{,}4$ gleich wie für BWK III. Für BWK I und II beträgt der Mindesterfüllungsfaktor $\alpha_{min} = 0{,}25$. Der Mindesterfüllungsfaktor muss unabhängig von den Kosten erreicht werden (Kölz, 2019).

2.5 Bauten mit sehr kleiner Personenbelegung

Die bisherige Regelung in Ziffer 9.3.3.5 des Merkblatts SIA 2018, dass das Individualrisiko mit betrieblichen Massnahmen zu beschränken ist, wenn ein akzeptierbares Individualrisiko mit zumutbaren Massnahmen nicht zu erreichen ist, wurde durch eine präzisere Ausnahmeregel für Bauten mit einem sehr kleinen Personenrisiko ersetzt. Gemäss der neuen Ziffer 9.4.5 der Norm SIA 269/8 darf ein Erfüllungsfaktor $\alpha_{eff} < \alpha_{min} = 0{,}25$ ohne Ertüchtigungsmassnahmen akzeptiert werden, wenn folgende vier Bedingungen erfüllt sind:

- die mittlere Personenbelegung *PB* muss kleiner als 0,2 Personen sein;
- die maximale Personenbelegung PB_{max} darf nicht grösser als 10 Personen sein;
- durch organisatorische Massnahmen muss sichergestellt sein, dass $PB < 0{,}2$ Personen und $PB_{max} \leq 10$ Personen im vom Versagen gefährdeten Bereich eingehalten wird;
- die Bedrohung weiterer Schutzgüter durch ein Versagen ist unerheblich.

Die in der letzten Bedingung erwähnten „weiteren Schutzgüter“ umfassen primär Infrastrukturfunktion, Umwelt und Kulturgut gemäss Kapitel 10 „Verhältnismässigkeit von Erdbebensicherheitsmassnahmen“ sowie Bauwerk, Sachen, Betrieb gemäss Anhang E.

Als neues Kriterium der Personenbelegung wurde die maximale Personenbelegung PB_{max} eingeführt, die nun ebenfalls neben der mittleren Personenbelegung *PB* als zusätzliches quantitatives Abgrenzungskriterium zwischen Bauwerksklassen I und II in der Vernehmlassungsversion der Norm prSIA 261 (2019) übernommen worden ist.

2.6 Verhältnismässigkeit und Zumutbarkeit

Das bisherige Kriterium der Zumutbarkeit des Merkblatts SIA 2018 (2004) wurde gestrichen. Es handelte sich um ein verschärftes Kriterium der Verhältnismässigkeit von Erdbebensicherheitsmassnahmen mit von 10 Mio. auf 100 Mio. CHF erhöhten Grenzkosten *GK* pro gerettetes Menschenleben, das auf eine Anregung in der Vernehmlassung im 2003 eingeführt wurde und sich jedoch in der Praxis nicht bewährt hat. Die Berechnung der noch zumutbaren Kosten einer Massnahme, um den Mindesterfüllungsfaktor α_{min} zu erreichen, führte in der Regel zu einem enorm hohen Wert. Deshalb erfolgte in der Norm SIA 269/8 eine Vereinfachung mit der Forderung, dass der Mindesterfüllungsfaktor unabhängig von den Kosten erreicht werden muss.

Abgesehen von der Streichung des Kriteriums der Zumutbarkeit wurden die bisherigen risikobasierten Kriterien des Merkblatts SIA 2018 (2004) übernommen und ergänzt. Neu stehen unter anderem auch Risikofaktoren für Schäden am Tragwerk oder an sekundären Bauteilen zur Verfügung, so dass Sachschäden relativ einfach in die Risikoberechnung einbezogen werden können, wie von Kölz (2019) anhand eines praktischen Beispiels aufgezeigt.

2.7 Infrastrukturbauten

Bei den bisherigen risikobasierten Kriterien des Merkblatts SIA 2018 (2004) waren die Personenrisiken dominant, was oft dazu führte, dass bei Infrastrukturbauten nur der Mindesterfüllungsfaktor zu erreichen war, falls die Personenbelegung klein war. Z.B. liegt bei Brücken oder Feuerwehrdepots ohne Mannschaftsräume die mittlere Personenbelegung oft nahe bei null, so dass auch vergleichsweise günstige Ertüchtigungsmassnahmen über den Mindesterfüllungsfaktor hinaus als unverhältnismässig einzustufen waren.

Neu werden bei Bauten mit lebenswichtiger (BWK III) oder bedeutender Infrastrukturfunktion (BWK II-i) Ertüchtigungskosten bis zu einem gewissen Prozentsatz (Infrastruktursatz) des Wertes des Bauwerks und der direkt betroffenen Sachen unabhängig von der Personenbelegung als verhältnismässig betrachtet (Kölz, 2019).

2.8 Mechanische Eigenschaften

Die bisherigen Anhänge A bis C des Merkblatts SIA 2018 (2004) mit den aktualisierten mechanischen Eigenschaften von Stahlbeton, Stahl und Mauerwerk von früheren Normengenerationen seit 1935 wurden in die baustoffspezifischen Erhaltungsnormen SIA 269/2, 269/3 und 269/6 transferiert. Eine Vervollständigung der entsprechenden Tabellen ist am neuen Ort noch nicht erfolgt und sollte bei der nächsten Teilrevision der drei Normen erfolgen. In der Norm SIA 269/8 sind diese mechanischen Eigenschaften nicht mehr aufgeführt.

3 ÜBERPRÜFUNG

3.1 Anlass

Die Norm SIA 269/8 äusserst sich nicht zum Anlass für eine Überprüfung, da es sich dabei um eine grundsätzliche Problematik handelt, die alle Einwirkungen betrifft und bereits in der Grundlagennorm SIA 269 (2011) in Ziffer 6.1.2 „Veranlassung“ geregelt ist. Dort heisst es unter anderem, es „... besteht Grund für eine Überprüfung, wenn neue Erkenntnisse über Einwirkungen oder Tragwerkseigenschaften vorliegen.“

Aufgrund der mehrmaligen, erheblichen Verschärfung der Erdbebenbestimmungen in den SIA-Tragwerksnormen seit 1970 sollten bestehende Bauten unabhängig von geplanten Instandsetzungen und Umbauten bezüglich Erdbeben überprüft werden. Bei einem grösseren Bauwerksbestand empfiehlt sich eine risikogerechte Prioritätensetzung für die optimale Reihenfolge der einzelnen Überprüfungen (Wenk, 2008). Auf jeden Fall wird eine Überprüfung zusammen mit Gesamtinstandsetzungen und Umbauten erforderlich, falls das Bauwerk vor 2003 projektiert wurde.

Das Bundesgericht bestätigte die Unterhaltspflicht im Falle einer Schadenersatzklage für ein Geländer, das nicht den neusten SIA-Normen entsprach, wie folgt (BGE, 2013): „Dass eine Baute im Zeitpunkt ihrer Erstellung den Regeln der Baukunst entspricht, ist für die Frage, ob die Baute mangelhaft ist, nicht ausschlaggebend. Denn es kann einen Mangel im Unterhalt darstellen, wenn die durch den technischen Fortschritt indizierten Massnahmen zur Reduktion der von einem Werk ausgehenden Gefahren nicht ergriffen werden, sofern die entsprechenden Kosten in einem vernünftigen Verhältnis zum Schutzinteresse der Benützer und dem Zweck des Werks stehen.“

Obwohl es in diesem Bundesgerichtsentscheid um eine Frage der Geländerhöhe ging, sind die grundsätzlichen Überlegungen zur Unterhaltspflicht auch auf die Erdbebenbestimmungen übertragbar. Die erwähnte Bedingung, dass Massnahmen „in einem vernünftigen Verhältnis zum Schutzinteresse der Benützer und dem Zweck des Werks stehen“ müssen, wird in der Norm SIA 269/8 in den Kapiteln 9 und 10 sowie im Anhang E bezüglich Erdbebensicherheitsmassnahmen detailliert quantitativ umgesetzt (Kölz, 2019).

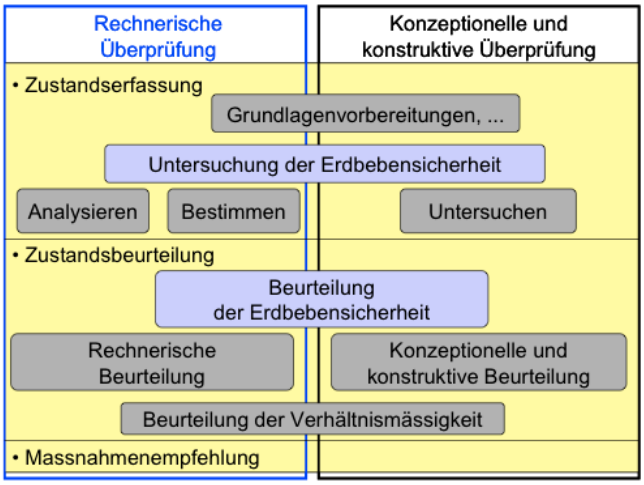

Abb. 1: Begriffe und Arbeitsschritte der Überprüfung der Erdbebensicherheit (Vogel, 2005)

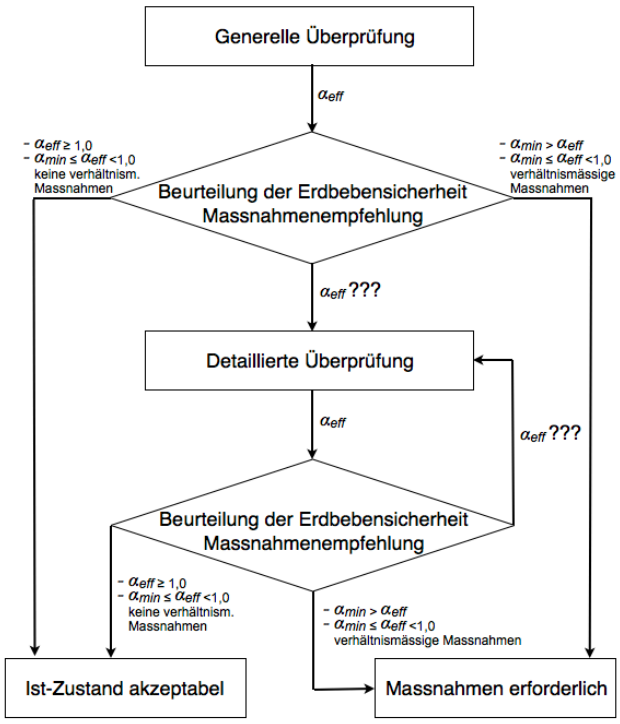

Abb. 2: Ablaufschema des schrittweisen Vorgehens bei der Überprüfung der Erdbebensicherheit.

3.2 Vorgehen

Das grundsätzliche Vorgehen bei der Überprüfung bezüglich Erdbeben ist bereits von Vogel (2005) bei der Einführung des Merkblatts SIA 2018 (2004) aufgezeigt worden. Abb. 1 zeigt die entsprechenden Begriffe und die Gliederung in einzelne Arbeitsschritte bezüglich rechnerischer sowie konzeptioneller und konstruktiver Überprüfung. In der Norm SIA 269 (2011) ist die Unterscheidung in generelle und detaillierte Überprüfung hinzugekommen, wobei die detaillierte Überprüfung mehrere Überprüfungsschritte mit zunehmendem Detaillierungsgrad umfassen kann. Die Norm SIA 269/8 übernimmt das Vorgehen aus der Norm SIA 269 (2011) spezifisch abgestimmt auf die Erdbebensicherheit.
Die einzelnen Arbeitsschritte der Überprüfung der Erdbebensicherheit sind in Ziffer 2.1.1 der Norm SIA 269/8 zusammengefasst mit Verweisen auf die entsprechenden Kapitel:

– Zustandserfassung umfassend die Untersuchung der konzeptionellen Gestaltung und konstruktiven Durchbildung sowie rechnerische Untersuchungen der Erdbebensicherheit gemäss Kapiteln 3 bis 9 inkl. Berechnung des Erfüllungsfaktors α_{eff} gemäss Kapitel 9.1;
– Beurteilung der Erdbebensicherheit gemäss Kapitel 9;
– Massnahmenempfehlung gemäss Kapitel 9.4 und allenfalls Beurteilung der Verhältnismässigkeit gemäss Kapitel 10.

In der Regel ist ein schrittweises Vorgehen zweckmässig beginnend mit einer generellen Überprüfung (Abb. 2). Nach jedem Überprüfungsschritt ist der resultierende Erfüllungsfaktor α_{eff} bezüglich Genauigkeit und Vereinfachungen des Berechnungsmodells und der Berechnung zu beurteilen, insbesondere im Hinblick darauf, ob eine zusätzliche, detailliertere Untersuchung zu einer günstigeren Beurteilung führen könnte.

Nach jedem Überprüfungsschritt können bezüglich Massnahmenempfehlung und der Notwendigkeit weiterer Schritte folgende drei Fälle unterschieden werden (Abb.2):

– Der erhaltene Erfüllungsfaktor α_{eff} ist fraglich. Eine detailliertere Überprüfung ist angezeigt. Dieser Fall ist in Abb. 2 mit „α_{eff} ???“ gekennzeichnet.
– Der erhaltene Erfüllungsfaktor α_{eff} erlaubt eine definitive Beurteilung. Er ist entweder grösser als der Mindesterfüllungsfaktor α_{min} oder, falls er zwischen α_{min} und 1,0 liegt, konnten keine verhältnismässigen Massnahmen gefunden werden. In diesem Fall ist der Ist-Zustand ohne Massnahmen akzeptabel.
– Der erhaltene Erfüllungsfaktor α_{eff} erlaubt eine definitive Beurteilung. Er ist entweder kleiner als der Mindesterfüllungsfaktor α_{min} oder, falls er zwischen α_{min} und 1,0 liegt, konnte mindestens eine verhältnismässige Massnahme gefunden werden. In diesem Fall müssen verhältnismässige Massnahmen umgesetzt werden.

Dieses Vorgehen ergibt allenfalls mehrere detaillierte Überprüfungen, die nacheinander mit zunehmendem Detaillierungsgrad durchgeführt werden müssen. Das

Ziel ist eine möglichst effiziente Massnahmenempfehlung im Sinne der Risikokriterien in der Norm SIA 269/8 zu erlangen (Kölz, 2019).

3.3 Plausibilitätskontrolle

Erfahrungsgemäss wird eine Plausibilitätskontrolle der Berechnungsresultate umso wichtiger je anspruchsvoller die Tragwerksanalyse ist, d.h. gerade bei der Erdbebenbemessung und -überprüfung ist sie besonders wichtig. Hinzu kommt, dass es bei den neueren verformungsbasierten Berechnungsverfahren schwierig ist, aufgrund der noch fehlenden Erfahrungen die zu erwartende Grössenordnung der Resultate abzuschätzen.

In den SIA-Tragwerksnormen wird die Plausibilitätskontrolle in mehreren Ziffern explizit vorgeschrieben:

- SIA 260 (2013) Ziffer 3.1.4: „Die Ergebnisse der Tragwerksanalyse sind auf ihre Plausibilität zu prüfen."
- SIA 260 (2013) Ziffer 4.1.6: „Die Bemessungsergebnisse sind auf ihre Plausibilität zu prüfen."
- SIA 269 (2011) Ziffer 6.1.1.3: „Die Ergebnisse der Überprüfung müssen einer Plausibilitätskontrolle standhalten und dem beobachteten Tragwerkszustand und -verhalten entsprechen."

Als Plausibilitätskontrolle von Erdbebenberechnungen empfiehlt es sich, das Ersatzkraftverfahren mit vereinfachten Annahmen von Hand auszuführen. Als Ersatzstab genügt der unten eingespannte Kragarm mit wenigen Massenpunkten oder sogar nur mit einem Massenpunkt. Die Grundschwingzeiten in den beiden horizontalen Hauptrichtungen des Ersatzstabs sollen mit Gleichung (40) der Norm SIA 261 (2014), d.h. beruhend auf einer vereinfachten Rayleigh-Methode, abgeschätzt werden.

Die alternative Abschätzung der Grundschwingzeiten von Gebäuden mit Gleichung (39) der Norm SIA 261 (2014), sollte nicht verwendet werden, da diese bei bestehenden Bauten viel zu ungenau ist und die Plausibilitätskontrolle entwertet.

Wichtig ist, dass die Plausibilitätskontrolle neben der Kontrolle der Kraftgrössen auch die Kontrolle der horizontalen Verschiebungen umfasst.

3.4 Bagatellfall

Strengere Auflagen im Baubewilligungsverfahren von Sanierungen und Umbauten bedingen eine Abgrenzung nach unten, dem sogenannten Bagatellfall, damit das Prinzip der Verhältnismässigkeit staatlichen Handelns nicht verletzt wird. Bei kleinen Bauten oder bei geringfügen baulichen Eingriffen könnte jegliche Ertüchtigung oder sogar die Überprüfung der Erdbebensicherheit unverhältnismässig sein.

Zur Abgrenzung des Bagatellfalls führte der Kanton Basel-Stadt vor kurzem eine grosszügige Regelung in der ABPV (2018) ein, die auch als Richtwert für Kantone ohne eine entsprechende Regelung verwendet werden kann. Gemäss ABPV (2018) liegt ein Bagatellfall vor:

- wenn die baulichen Eingriffe nicht mehr als 10% des Gebäudeversicherungswertes ausmachen oder die Gesamtsanierungskosten von 1 Mio. CHF nicht überstiegen werden;
- bei Dachgeschossausbauten zu Wohnzwecken;
- bei Umbauten von Einfamilienhäusern.

Bei Bagatellfällen sind die Ertüchtigungsmassnahmen gemäss Norm SIA 269/8 nicht umzusetzen. Trotzdem sollte der mit dem baulichen Eingriff Beauftragte – zumindest mit einer Grobabschätzung – die möglicherweise problematische Erdbebensicherheit beurteilen und dem Eigentümer unter Hinweis auf dessen Eigenverantwortung mitteilen.

4 BERECHNUNGSVERFAHREN

Die korrekte Auswahl des geeigneten Berechnungsverfahrens und des zugehörigen Tragwerksmodells mit ausreichendem Detaillierungsgrad ist bei der Tragwerksanalyse von bestehenden Bauten von wesentlich grösserer Bedeutung als bei Neubauten. Ein wichtiger Unterschied zwischen bestehenden Bauten und Neubauten ist ferner, dass bei bestehenden Bauten ein schrittweises Vorgehen mit unterschiedlichen Berechnungsverfahren erforderlich werden kann.

4.1 Kraftbasierte Berechnungsverfahren

Die kraftbasierten Berechnungsverfahren für bestehende Bauten umfassen das Ersatzkraftverfahren und das Antwortspektrumverfahren, wie sie in der Norm SIA 261 (2014) festgelegt sind. Für bestehende Bauten wird empfohlen das Antwortspektrumverfahren anzuwenden, auch wenn aufgrund der erfüllten Bedingungen für die Regularitätskriterien auch das Ersatzkraftverfahren zulässig wäre (Vogt, 2019).

4.2 Verformungsbasierte Berechnungsverfahren

Die verformungsbasierten Berechnungsverfahren sind besonders für die Tragwerksanalyse von bestehenden Bauten entwickelt worden. Sie erlauben, das nicht-lineare Verformungsvermögen unter Erdbebenbeanspruchung wirklichkeitsnäher zu erfassen. Im Merkblatt SIA 2018 (2004) wurden verformungsbasierte Berechnungsfahren für Stahlbeton detailliert eingeführt (Dazio, 2005), während es beim Mauerwerk noch bei allgemeinen Verweisen auf den Eurocode 8 blieb (SN EN 1998-3, 2005).

In der Norm SIA 269/8 wurden die verformungsbasierten Verfahren inkl. den entsprechenden Verformungsgrenzen auf die Tragwerksanalyse von Mauerwerksbauten (Beyer, 2019) sowie auf Erd- und Stützbauwerke (Duvernay, 2019) erweitert.

5 ERFÜLLUNGSGRAD – ERFÜLLUNGSFAKTOR

Der Erfüllungsfaktor α_{eff} gemäss Norm SIA 269/8 darf nicht mit dem Erfüllungsgrad n gemäss Norm SIA 269 (2011) verwechselt werden. Zwar wurden bei der Erarbeitung der Norm SIA 269 (2011) einheitliche Regelungen für alle Überprüfungssituationen intensiv diskutiert. Es zeigte sich jedoch, dass für aussergewöhnliche Überprüfungssituationen, wie Erdbeben oder Anprall, nicht einfach die gleiche Betrachtungsweise wie für andauernde oder vorübergehende Überprüfungssituationen angewandt werden kann.

5.1 Erfüllungsgrad

Die Norm SIA 269 (2011) definiert den Erfüllungsgrad n in der Ziffer 5.2.1 für die Grenzzustände der Typen 2 bis 4 als Quotienten aus dem Überprüfungswert des Tragwiderstand $R_{d,act}$ bezogen auf den entsprechenden Überprüfungswert einer Auswirkung $E_{d,act}$:

$$n = R_{d,act} / E_{d,act}$$

Falls der Erfüllungsgrad $n \geq 1{,}0$ beträgt, ist der entsprechende Nachweis erfüllt und es sind keine Erhaltungsmassnahmen erforderlich.

Falls der Erfüllungsgrad $n < 1{,}0$ beträgt, ist das weitere Vorgehen in der Norm SIA 269 (2011) nicht eindeutig geregelt. Gemäss Ziffer 6.3.2.3 soll abgeschätzt werden, ob eine zusätzliche, detaillierte Überprüfung „neue Erkenntnisse“ liefern kann. Andernfalls sind sichernde Sofortmassnahmen oder ergänzende Sicherheitsmassnahmen umzusetzen.

Klarer ist die Regelung in der SIA 269 (2011) für den Grenzzustand des Typs 4 (Ermüdung). Gemäss Ziffer 6.4.3 sind für den Fall, dass der Nachweis der Tragsicherheit nicht erbracht werden kann ($n < 1{,}0$), vorerst ergänzende Sicherheitsmassnahmen in Betracht zu ziehen. Sollten sich diese als ungenügend erweisen, wird eine sogenannte Veränderung, d.h. eine Ertüchtigung, erforderlich.

Bezüglich der Verhältnismässigkeit von sicherheitsbezogenen Erhaltungsmassnahmen in Ziffer 5.4 der Norm SIA 269 (2011) bleibt offen, ob eine verhältnismässige Erhaltungsmassnahme immer oder nur wenn $n < 1{,}0$ umzusetzen ist. Ebenfalls bleibt unklar, wie vorzugehen ist, wenn $n < 1{,}0$ und keine verhältnismässige Erhaltungsmassnahme gefunden werden konnte. Vermutlich ist implizit davon auszugehen, dass im Falle eines Erfüllungsgrads $n < 1$ Massnahmen zu ergreifen sind.

5.2 Erfüllungsfaktor

Die Norm SIA 269/8 definiert den Erfüllungsfaktor α_{eff} in der Ziffer 9.1.3 als Quotienten aus der Erdbebeneinwirkung A_R, die zum nominellen Versagen eines Bauteils führt, d.h. dass der Überprüfungswert des Tragwiderstands gerade erreicht wird, bezogen auf den Überprüfungswert der Erdbebeneinwirkung $A_{d,act}$:

$$\alpha_{eff} = A_R / A_{d,act}$$

Im Ergebnis handelt es sich um die gleiche Festlegung des Erfüllungsfaktors, wie sie bereits in Korrigenda C1 (SIA 2018, 2009) erfolgt ist, doch ist die neue Formulierung in der Norm SIA 269/8 einfacher zu verstehen.

Die bis 2009 verwendete frühere Festlegung des Erfüllungsfaktors α_{eff} entspricht dem heutigen Erfüllungsgrad n gemäss Norm SIA 269 (2011) $n = R_{d,act} / E_{d,act}$. Dagegen ist die heutige Festlegung stärker auf die Erdbebeneinwirkung fokussiert. Unterschiedliche Resultate aus den beiden Festlegungen ergeben sich insbesondere, wenn der Anteil der Nicht-Erdbeben-Auswirkungen im Überprüfungswert der Auswirkung $E_{d,act}$ gross ist und wenn der Erfüllungsfaktor klein ist.

Für die Überprüfung bestehender Bauwerke bezüglich der aussergewöhnlichen Einwirkung Anprall von Strassenfahrzeugen wird ebenfalls ein Erfüllungsfaktor α_{eff} verwendet, der gleich wie im Merkblatt SIA 2018 (2004) festgelegt ist (Schuler, 2005).

5.3 Fazit

Für aussergewöhnliche Überprüfungssituationen wie Erdbeben kann die Forderungen, dass immer ein Erfüllungsfaktor $\alpha_{eff} \geq 1{,}0$ zu erreichen ist, zu unverhältnismässigen Sicherheitsmassnahmen führen (Kölz, 2019). Umgekehrt kann für andauernde oder vorübergehende Überprüfungssituationen, wie z.B. Eigen- und Auflasten, ein Mindesterfüllungsgrad $n = 0{,}25$ sicher nicht akzeptiert werden. Deshalb braucht es eine unterschiedliche Betrachtung von aussergewöhnlichen Überprüfungssituationen im Gegensatz zu andauernden oder vorübergehenden Überprüfungssituationen.

Zusammenfassend bedingt die unterschiedliche Risikobeurteilung eines Erfüllungsgrads bzw. Erfüllungsfaktors kleiner als 1,0 eine differenzierte Betrachtung. Mit den unterschiedlichen Bezeichnungen n bzw. α_{eff} in den Normen soll auf die wichtigen Unterschiede bezüglich Definitionen sowie Konsequenzen bei der Massnahmenempfehlung, falls der Wert 1,0 nicht erreicht wird, aufmerksam gemacht werden.

6 ERDBEBENERTÜCHTIGUNG

6.1 Tragwerksnormen für die Ertüchtigung

Für bestehende Bauwerke gelten grundsätzlich die Norm SIA 269 sowie die Normen SIA 269/1 bis 269/8, während Neubauten gemäss den Normen SIA 260 bis 267 zu projektieren sind. Für Ertüchtigungen sind gemäss Ziffer 0.1.5 der Norm SIA 269: „in der Regel neue Tragwerksteile gemäss den Normen SIA 260 bis 267 und bestehende Tragwerksteile gemäss der Norm SIA 269 sowie den Normen SIA 269/1 bis 269/8 zu behandeln“. Aus diesem einfachen Grundsatz ergeben sich bei praktischen Anwendungen meist Abgrenzungsprobleme zwischen den beiden Normenreihen, die pragmatisch gelöst werden müssen. Bei der Ertüchtigung ist ferner das generelle Verschlechterungsverbot des Tragwerks zu beachten, auf das im folgenden Abschnitt näher eingegangen wird.

6.2 Verschlechterungsverbot

Die im Merkblatt SIA 2018 (2004) eingeführte risikobasierte Beurteilung der Erdbebensicherheit führte vereinzelt in der Praxis zu Fehlanwendungen, indem die Kriterien der Verhältnismässigkeit von Erdbebensicherheitsmassnahmen ausgehend von einem Bauwerkszustand nach Entfernen von gewissen Teilen des Tragwerks, d.h. ausgehend von $\alpha_{int} < \alpha_{eff}$ nach Verschlechterung der Erdbebensicherheit, statt ausgehend vom Ist-Zustands α_{eff} angewandt wurden mit dem Ziel, Massnahmen zur Verbesserung der Erdbebensicherheit anschliessend als unverhältnismässig deklarieren zu können.

Dieses Vorgehen widerspricht rechtlich betrachtet der allgemeinen Unterhaltspflicht, wie sie in den Baugesetzen verankert ist. Ein sogenanntes Verschlechterungsverbot muss nicht zwingend in den Baugesetzen vorgeschrieben sein. Als allgemeiner Rechtssatz gilt nämlich, dass sich nur der Gutgläubige auf das Prinzip der Verhältnismässigkeit berufen darf (BGE, 2011). Die verkehrte Anwendung der Kriterien der Verhältnismässigkeit der Norm SIA 269/8 geniesst folglich keinen Rechtsschutz.

Der Bund verbietet die Verschlechterung explizit im Instrumentarium des BAFU (2018): „Eine Verschlechterung der Erdbebensicherheit ist nicht zulässig. Mindestens bauliche Massnahmen zur Wiederherstellung des vorherigen Zustands sind zu projektieren und umzusetzen.“ Auch der Kanton Basel-Stadt kennt ein explizites Verschlechterungsverbot in der ABPV (2018): „Falls bei Umbauten die Kriterien der Norm SIA 269/8 keine verhältnismässige Ertüchtigungsmassnahme belegen, darf keine Verschlechterung des bisherigen Sicherheitsniveaus erfolgen.“

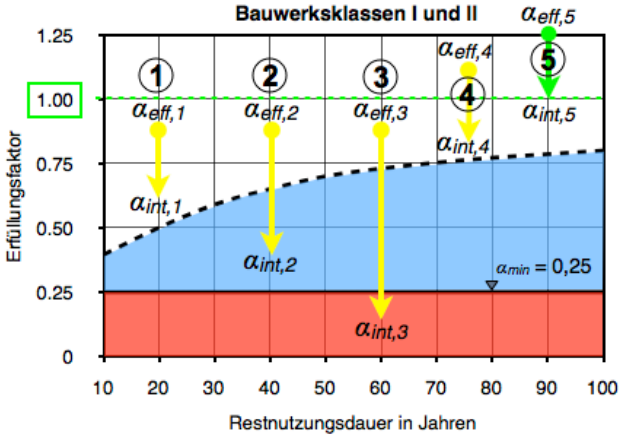

Abb. 3: Massnahmen zur Verschlechterung des Erfüllungsfaktors auf $\alpha_{int} < 1{,}0$ (gelbe Pfeile 1 bis 4) sind nicht erlaubt im Gegensatz zu Massnahmen zur Verschlechterung des Erfüllungsfaktors auf $\alpha_{int} \geq 1{,}0$ (grüner Pfeil 5).

Abb 3. zeigt für die Bauwerksklassen I und II fünf Beispiele der Absenkung des Erfüllungsfaktors von α_{eff} auf α_{int}. Das Verschlechterungsverbot verbietet eine Absenkung des Erfüllungsfaktors auf $\alpha_{int} < 1{,}0$ unabhängig von der Grösse des Erfüllungsfaktors α_{eff} im Ist-Zustand (gelbe Pfeile 1 bis 4 in Abb.3). Erlaubt ist hingegen eine Absenkung des Erfüllungsfaktors auf $\alpha_{int} \geq 1{,}0$ (grüner Pfeil 5 in Abb. 3), da dann die Anforderungen an die Erdbebensicherheit von Neubauten immer noch erfüllt oder sogar übererfüllt sind.

Rein technisch überlegt kann aus den Kriterien der Verhältnismässigkeit der Ziffer 9.4.3 der Norm SIA 269/8 indirekt ein Verschlechterungsverbot abgeleitet werden, da die Massnahme „Beibehaltung des Ist-Zustands“ nichts kostet und deshalb immer verhältnismässig ist. Sie gehört folglich zu denjenigen Massnahmen, die immer umgesetzt werden müssen.

6.3 Zeitrahmen der Umsetzung von Ertüchtigungsmassnahmen

Die Norm SIA 269/8 lässt den Zeitrahmen der Umsetzung von Ertüchtigungsmassnahmen bewusst offen, da es sich primär um eine rechtliche Fragestellung handelt, die durch die Baugesetzgebung und Rechtssprechung zu regeln ist. Die Norm SIA 269 (2011) äussert sich nur zur Umsetzung von Sofortmassnahmen, die bezüglich Erdbebensicherheit nicht im Vordergrund stehen.

Das Bundesgericht führte im Fall eines Geländers (BGE, 2013), dessen Höhe nicht den neusten SIA-Normen entsprach, aus, dass „... für einen hinreichenden Unterhalt nicht verlangt werde, das Geländer hätte ausserhalb von Renovationsarbeiten binnen 9 Jahren dem neuen Standard angepasst werden müssen.“

Generell ist zu empfehlen, den Erfüllungsfaktor α_{eff} im Ist-Zustand als Beurteilungskriterium für den Zeitrahmen der Umsetzung heranzuziehen. Je tiefer α_{eff} zu liegen kommt, desto schneller sollte die Massnahmenempfehlung umgesetzt werden. Wenn möglich sollte die Erdbebenertüchtigung mit einer anstehenden Gesamtinstandsetzung koordiniert werden, um Synergien zu nutzen. Insbesondere die betrieblichen Folgekosten einer Tragwerksanpassung müssen dann nicht einzig der Erdbebenertüchtigung angelastet werden (SIA 2018, 2004).

7 LITERATUR

ABPV (2018), 730.115 – Ausführungsbestimmungen zur Bau- und Planungsverordnung, Systematische Gesetzessammlung des Kantons Basel-Stadt, Stand 1. Mai 2018, Basel, 21 pp.

BAFU (2018), Erdbebenschutz bei Bauvorhaben des Bundes, BAFU Instrumentarium: Instrument #2, Bestehende Bauten: Instandsetzungen und Veränderungen, Technischer Bericht und Erdbeben-Korreferat, Fassung Juli 2018, Bundesamt für Umwelt, Bern, 27 pp.

Beyer, K. (2019), Mauerwerk, in: SGEB-Tagungsband zum Einführungskurs in die Norm SIA 269/8, 13.6.2019, ETH Zürich, 8 pp.

BGE (2011), Bundesgerichtsentscheid der Ersten öffentlichrechtlichen Abteilung, Urteil vom 18. April 2014, 1C_446/2010, Lausanne.

BGE (2013), Bundesgerichtsentscheid der Ersten zivilrechtlichen Abteilung, Urteil vom 9. April 2014, 4A_521/2013, Lausanne.

Dazio, A. (2005), Tragfähigkeit von Betonbauten, SIA-Dokumentation D0211, Überprüfung bestehender Gebäude bezüglich Erdbeben – Einführung in das Merkblatt SIA 2018, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich, 14 pp.

Dazio, A. (2019), Stahlbeton, in: SGEB-Tagungsband zum Einführungskurs in die Norm SIA 269/8, 13.6.2019, ETH Zürich, 8 pp.

Duvernay, B. (2019), Geotechnik, in: SGEB-Tagungsband zum Einführungskurs in die Norm SIA 269/8, 13.6.2019, ETH Zürich, 8 pp.

SN EN 1998-3 (2005), Eurocode 8 - Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben - Teil 3: Beurteilung und Ertüchtigung von Gebäuden, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich, 85 pp.

Kölz, E. (2019), Verhältnismässigkeit von Erdbebensicherheitsmassnahmen, in: SGEB-Tagungsband zum Einführungskurs in die Norm SIA 269/8, 13.6.2019, ETH Zürich, 8 pp.

Schuler, D. (2005), Anprall von Strassenfahrzeugen auf Bauwerksteile von Kunstbauten – Ergänzungen zur Norm SIA 261 Einwirkungen auf Tragwerke, Richtlinie, Bundesamt für Strassen ASTRA, Bern, 54 pp.

SIA 160 (1970), Norm für die Belastungsannahmen, die Inbetriebnahme und die Überwachung der Bauten, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich, 38 pp.

SIA 260 (2013), Grundlagen der Projektierung von Tragwerken, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich, 44 pp.

SIA 160 (1989), Einwirkungen auf Tragwerke, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich, 104 pp.

SIA 261 (2014), Einwirkung auf Tragwerke, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich, 132 pp.

SIA 267 (2013), Geotechnik, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich, 110 pp.

SIA 269 (2011), Grundlagen der Erhaltung von Tragwerken, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich, 28 pp.

SIA 269/8 (2017), Erhaltung von Tragwerken – Erdbeben, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich, 52 pp.

SIA 2018 (2004), Überprüfung bestehender Gebäude bezüglich Erdbeben, Merkblatt, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich, 40 pp.

SIA 2018 (2009), Überprüfung bestehender Gebäude bezüglich Erdbeben – Korrigenda C1, Merkblatt, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich, 4 pp.

prSIA 261 (2019), Einwirkung auf Tragwerke, Vernehmlassungsentwurf des Kapitels 16 Erdbeben, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich, 15 pp.

Vogel T. (2005), Einführung, Grundsätze und Massnahmenempfehlung, SIA-Dokumentation D0211, Überprüfung bestehender Gebäude bezüglich Erdbeben – Einführung in das Merkblatt SIA 2018, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich, 8 pp.

Vogt, R. (2019), Einwirkungen und Tragwerksanalyse, in: SGEB-Tagungsband zum Einführungskurs in die Norm SIA 269/8, 13.6.2019, ETH Zürich, 8 pp.

Wenk T. (2008), Erdbebenertüchtigung von Bauwerken. Strategie- und Beispielsammlung aus der Schweiz. Umwelt-Wissen Nr. 0832. Bundesamt für Umwelt, Bern, 84 pp.

Wenk, T. (2014), Die neue Norm SIA 269/8 Erhaltung von Tragwerken – Erdbeben. In: Bauingenieur 89, Heft 4, 2 pp.