

Erdbebensicherheit bei lebenswichtiger Funktion

Bauwerke der Bauwerksklasse (BWK) III gemäss der Norm SIA 261



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Bundesamt für Umwelt BAFU

Erdbebensicherheit bei lebenswichtiger Funktion

Bauwerke der Bauwerksklasse (BWK) III gemäss der Norm SIA 261

Impressum

Herausgeber

Bundesamt für Umwelt (BAFU)

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

Autoren

Yves Mondet, Bastian Wilding (Basler & Hofmann AG)

Sven Heunert (BAFU)

Begleitung BAFU

Friederike Braune, Blaise Duvernay

Lektorat

Isabell Palkowitsch (Hochbauamt Kanton Basel-Landschaft, Liestal)

Hans Seelhofer (Dr. Lüchinger + Meyer Bauingenieure AG, Zürich)

Roger Trottmann (Metron Architektur AG, Brugg)

Gestaltung

Funke Lettershop AG

Titelbild

Ambulanzgarage, Spital Uster

© Roger Trottmann

PDF-Download

www.bafu.admin.ch/uw-2310-d

Eine gedruckte Fassung kann nicht bestellt werden.

Diese Publikation ist auch in französischer Sprache verfügbar.

Die Originalsprache ist Deutsch.

© BAFU 2023

Inhaltsverzeichnis

Abstracts	5	Literatur	30
Vorwort	6	Anhang A: Beispiel Akutspital	31
1 Einführung	7	Anhang B: Beispiel Feuerwehrstützpunkt	36
1.1 Motivation	7		
1.2 Zweck und Zielpublikum	7	Anhang C: Normvorgaben für BWK III	38
1.3 Abgrenzung	7		
2 Vorschriften	8		
2.1 Rechtliche Grundlagen	8		
2.2 Normative Grundlagen	8		
3 Bauwerksklasse III	9		
3.1 Bedeutung	9		
3.2 Anforderung	9		
3.3 Lebenswichtige Funktionen	9		
4 Bauplanung	10		
4.1 Dokumente im Planungs- und Bauprozess	10		
4.2 Bedürfnisformulierung und Lösungsstrategien	11		
4.3 Projektdefinition und Projektpflichtenheft	11		
4.4 Nutzungsvereinbarung	11		
4.5 Dokument «Erdbebensicherheit SBIE»	13		
5 Tragwerk	16		
5.1 Tragwerkskonzept und Tragwerksverhalten	16		
5.2 Nachweise	16		
6 SBIE	18		
6.1 Aufgabenteilung	18		
6.2 Erdbebengerechter Umgang mit den SBIE	19		
6.3 Erdbebeneinwirkung auf die SBIE	21		
6.4 Nachweise	23		
7 Bestehende Bauwerke	25		
7.1 Bewirtschaftung und Bauplanung	25		
7.2 Überprüfung	25		

Abstracts

Buildings that have a vital function must be operational immediately after an earthquake. The implementation of standard seismic safety requirements in the construction and renovation of such class III buildings is challenging and, in practice, frequently causes confusion. This publication encourages a uniform and standards-compliant handling of such buildings. Of central importance is a coordinated collaboration of all parties involved from the outset and, in addition to earthquake-resistant and robust supporting structures, systematic attention to the relevant installations and facilities that are necessary for maintaining the vital function of class III buildings.

Keywords:

seismic safety, vital function, building class III, coordination

Bauwerke mit einer lebenswichtigen Funktion müssen unmittelbar nach einem Erdbeben ihre Aufgaben erfüllen können. Die Umsetzung der normativen Anforderungen an die Erdbebensicherheit bei der Errichtung und der Instandsetzung solcher Bauwerke der Bauwerksklasse III ist anspruchsvoll und führt in der Praxis immer wieder zu Unklarheiten. Mit der vorliegenden Publikation wird eine einheitliche und normkonforme Behandlung von solchen Bauwerken gefördert. Zentral dabei sind die frühzeitige koordinierte Zusammenarbeit aller Beteiligten sowie – neben einem erdbebengerechten und robusten Tragwerk – die systematische Bearbeitung der relevanten Installationen und Einrichtungen, die zur Aufrechterhaltung der lebenswichtigen Funktion erforderlich sind.

Stichwörter:

Erdbebensicherheit, lebenswichtige Funktion, Bauwerksklasse III, Koordination

Les ouvrages ayant une fonction vitale doivent pouvoir remplir celle-ci immédiatement après un séisme. La mise en œuvre des exigences normatives en matière de sécurité sismique lors de la construction et de la remise en état d'ouvrages de la classe d'ouvrages III est complexe et conduit régulièrement à des incertitudes dans la pratique. La présente publication vise à favoriser une approche uniforme et conforme aux normes. Les éléments centraux de cette approche sont une collaboration anticipée et coordonnée de toutes les parties prenantes ainsi que, outre une structure porteuse robuste et parasismique, une attention systématique portée à tous les équipements et installations nécessaires au maintien de la fonction vitale.

Mots-clés :

sécurité sismique, fonction vitale, classe d'ouvrages III, coordination

Le opere con funzione vitale devono poter garantire il loro scopo anche immediatamente dopo un terremoto. L'attuazione delle esigenze normative di sicurezza sismica al momento della costruzione e della manutenzione di un'opera della classe edilizia III è impegnativa e dà sovente adito a malintesi nella pratica. La presente pubblicazione promuove una gestione uniforme e conforme alla normativa di questo genere di opere. L'aspetto centrale è la collaborazione tempestiva di tutte le parti interessate come pure una struttura parasismica robusta e il trattamento sistematico dei principali impianti e installazioni indispensabili per garantirne la funzione vitale.

Parole chiave:

sicurezza sismica, funzione vitale, classe edilizia III, coordinamento

Vorwort

Im Rahmen seiner Strategie im Umgang mit Naturgefahren beabsichtigt der Bund, das Erdbebenrisiko insbesondere auch bei Bauwerken mit einer lebenswichtigen Funktion langfristig zu reduzieren. Solche Bauwerke, zum Beispiel Gebäude von Blaulichtorganisationen oder Unterwerke der Stromversorgung, sind mehrheitlich in kantonalem, kommunalem oder privatem Besitz. Damit diese Bauwerke ihre Funktion nach einem Erdbeben tatsächlich zu Gunsten unserer Gesellschaft erfüllen können, ist eine praxistaugliche und zielführende Umsetzung der normativen Anforderungen an die Erdbebensicherheit von zentraler Bedeutung. Dies ist insbesondere infolge der vielen Beteiligten eine anspruchsvolle Aufgabe. Neben einem erdbebengerechten und robusten Tragwerk ist speziell denjenigen Installationen und Einrichtungen Beachtung zu schenken, die zur Aufrechterhaltung der lebenswichtigen Funktion erforderlich sind.

Fragestellungen zur korrekten Umsetzung der normativen Anforderungen seitens der diversen Beteiligten – Eigentümer- und Bauherrschaften, Fachplanende und Ausführende – werden regelmässig an die Koordinationsstelle für Erdbebenvorsorge des Bundes beim BAFU herangetragen. Die beobachteten Unklarheiten verlangen eine Auseinandersetzung mit dieser Thematik in Ergänzung zur Normierung. Mit der vorliegenden Publikation werden eine einheitliche, normkonforme und zweckmässige Behandlung von Bauwerken mit einer lebenswichtigen Funktion gefördert sowie offene Fragestellungen geklärt.

Ich bedanke mich bei allen, die bei der Erarbeitung dieser Grundlage mitgewirkt haben und bin sicher, dass diese zu mehr Klarheit für die Praxis und letztendlich zu mehr Sicherheit für unsere Gesellschaft führt.

Paul Steffen, stellvertretender Direktor
Bundesamt für Umwelt (BAFU)

1 Einführung

1.1 Motivation

An Bauwerke mit einer lebenswichtigen Funktion¹, die gemäss der Norm SIA 261 «Einwirkungen auf Tragwerke» [2] in die Bauwerksklasse (BWK) III eingeteilt sind, werden die höchsten Anforderungen bezüglich Erdbebensicherheit in den Schweizer Tragwerksnormen gestellt. Die in Bezug auf ihre Einrichtung meist komplexen Bauwerke müssen im täglichen Betrieb anspruchsvolle Aufgaben erfüllen. Darauf werden die Bauwerke in erster Linie ausgelegt. Diese Aufgaben müssen sie auch unmittelbar nach einem Erdbeben erfüllen können. Die Umsetzung dieser Anforderung bei der Errichtung und der Instandsetzung dieser Bauwerke bedarf der frühzeitigen koordinierten Zusammenarbeit aller im Planungs- und Bauprozess Beteiligten. Diese komplexe Herausforderung führt in der Praxis zu Unklarheiten und uneinheitlichem Vorgehen.

1.2 Zweck und Zielpublikum

Diese Publikation erläutert die normativen Anforderungen an die Erdbebensicherheit von Bauwerken mit einer lebenswichtigen Funktion, um sie in der Praxis korrekt und zielgerichtet umzusetzen. Damit wird eine einheitliche Grundlage für die Auslegung dieser Anforderungen zur Verfügung gestellt. Das Dokument zeigt auf, wie die Erdbebensicherheit von Bauwerken der BWK III inklusive der Zuständigkeiten im Planungs- und Bauprozess zweckmässig und zielführend zu behandeln sind.

Die Publikation richtet sich in erster Linie an die Planenden, die die normativen Anforderungen in der Projektierung umsetzen sowie an die Eigentümer- / Bauherrschaften, die durch die Festlegung der Projektziele und Anforderungen und auch durch das Auswahlverfahren frühzeitig die Weichen stellen. In zweiter Linie spricht sie Betreiber-schaften an, die bei den Projektierungszielen und Anforderungen entscheidend mitwirken.

1.3 Abgrenzung

Für Bauwerke im Geltungsbereich der Störfallverordnung² [15] sind aufgrund von spezifischen Anforderungen weiterführende Abklärungen zu treffen. Für Kernkraftwerke und Stauanlagen gelten spezifische Bestimmungen, u. a. [16], [17], [18], [19]. Bauwerke, die ausschliesslich aufgrund ihrer zentralen Bedeutung für die Eigentümerschaft, z. B. aus Gründen des Betriebskontinuitätsmanagements BKM (Englisch: BCM), von der Eigentümerschaft in die BWK III eingeteilt werden, sind nicht abgedeckt. Die Publikation kann für diese Bauwerke sinngemäss angewendet werden.

¹ Gemäss der Norm SIA 261 ist der korrekte Begriff *Infrastrukturfunktion*. Für eine bessere Lesbarkeit wird im Dokument durchgängig der Begriff *Funktion* verwendet, es sei denn Normvorgaben werden wörtlich wiedergegeben.

² Bauten im Geltungsbereich der Störfallverordnung sind z. B. Industrieanlagen mit Gefährdungspotenzial durch den Austritt gefährlicher Stoffe bei Störfällen.

2 Vorschriften

2.1 Rechtliche Grundlagen

Die Baugesetzgebung liegt im Kompetenzbereich der Kantone. Alle kantonalen Baugesetze halten fest, dass Bauwerke nach den anerkannten Regeln der Baukunde zu erstellen und zu unterhalten sind. In der Schweiz gelten die Normen des Schweizerischen Ingenieur- und Architektenvereins (SIA) als anerkannte Regeln der Baukunde. In diesen sind die Anforderungen an Bauwerke der BWK III festgehalten.

2.2 Normative Grundlagen

Spezifische Anforderungen an Neubauten der BWK III finden sich in der Norm SIA 260 «Grundlagen der Projektierung von Tragwerken» [1], der Norm SIA 261 [2] und der Norm SIA 179 «Befestigungen in Beton und Mauerwerk» [4] sowie im nationalen Anhang des Eurocodes EC2-4 [6]. Die spezifischen Anforderungen an bestehende Bauwerke der BWK III sind in der Norm SIA 269/8 «Erhaltung von Tragwerken - Erdbeben» [3] festgehalten. Zudem enthalten die ESTI Richtlinie Nr. 248 [10] für die elektrische Energieverteilung, die ERI Richtlinie 2003 [11] und das Merkblatt [12] für Rohrleitungsanlagen, die BAV Richtlinie [13] für Eisenbahnanlagen und der BAZL Leitfaden [14] für spezifische Anforderungen an Bauwerke der BWK III. Eine Auflistung der spezifischen Vorgaben an Bauwerke der BWK III in Schweizer Normen und Richtlinien (Stand 2022) findet sich in Anhang C.

3 Bauwerksklasse III

3.1 Bedeutung

Bauwerke mit einer lebenswichtigen Funktion sind nach einem Erdbeben für die Ereignisbewältigung – insbesondere für die Rettung von Menschenleben – und in der unmittelbaren Wiederaufbauphase unverzichtbar. Bei solchen Bauwerken ist die Aufrechterhaltung der lebenswichtigen Funktion nach einem Erdbeben von entscheidender Bedeutung. Sie sind in die Bauwerksklasse (BWK) III gemäss Norm SIA 261 [2] einzuteilen. Bauwerke mit einer weniger bedeutenden Zweckbestimmung sind in die Bauwerksklasse I oder II einzuteilen. Anhand der Bauwerksklasse wird das angestrebte Sicherheitsniveau bei einem Erdbeben hinsichtlich der Schutzziele «Personenschutz, Schadensbegrenzung und Gewährleistung der Funktionstüchtigkeit wichtiger Bauwerke» (Ziffer 16.1.2, Norm SIA 261) festgelegt. Die Gewährleistung der Funktionstüchtigkeit steht bei Bauwerken mit einer lebenswichtigen Funktion im Vordergrund.

3.2 Anforderung

Für Bauwerke der BWK III formulieren die SIA-Tragwerksnormen die höchsten Anforderungen an die drei genannten Schutzziele. Konkret ist neben dem Nachweis der Tragfähigkeit auch der Nachweis der Gebrauchstauglichkeit des Tragwerks sowie der relevanten sekundären Bauteile, Installationen und Einrichtungen (SBIE)³ zu erbringen. Bei einem Erdbeben liegt der Fokus der Gebrauchstauglichkeit auf der Fähigkeit eines Bauwerks, seine Funktion zu gewährleisten. Die Funktionstüchtigkeit des Bauwerks hängt nicht nur von der Erdbebensicherheit des Tragwerks, sondern erheblich von der Erdbebensicherheit der SBIE ab, die für die Gewährleistung der lebenswichtigen Funktion erforderlich sind. Aus diesem Grund kommt der Behandlung der SBIE beim Nachweis der Erdbebensicherheit eines Bauwerks der BWK III eine wesentliche Bedeutung zu.

³ Zu den im Normbegriff *sekundäre Bauteile* (Ziffer 1.1.28, Norm SIA 261) nicht abgedeckten weiteren Installationen und Einrichtungen machen die SIA-Normen bezüglich Erdbebensicherheit keine Aussagen. In der vorliegenden Publikation werden in Kap. 6 weitere relevante Installationen und Einrichtungen analog zu den sekundären Bauteilen behandelt. Daher ist in der Publikation durchgängig von SBIE die Rede. Der Begriff «relevant» SBIE ist in Kap. 6.2.2 definiert.

3.3 Lebenswichtige Funktionen

Folgende Bauwerke mit einer lebenswichtigen Funktion sind gemäss Norm SIA 261 [2] in die BWK III einzuteilen. Die Aufzählung ist nicht abschliessend:

- Spitalbauwerke mit akutmedizinischen Versorgungseinrichtungen wie Ambulanzgaragen, Notfallstationen, Operationssäle, Intensivpflegestationen, Neonatologie, jeweils inklusive Ver- und Entsorgungseinrichtungen,
- Bauwerke der Feuerwehr für Rettung und Bergung sowie zur Brandbekämpfung,
- Bauwerke mit Koordinationseinrichtungen wie Einsatzleitzentralen der Blaulichtorganisationen oder Einrichtungen der Führungsstäbe und zugehörige Telekommunikationseinrichtungen,
- Bauwerke im Bereich von Einsatzachsen und im Bereich von Verkehrswegen mit lebenswichtiger Bedeutung für die Zugänglichkeit eines besiedelten Gebietes oder eines Bauwerks der BWK III,
- Bauwerke zur Lagerung von Rettungs- und Bergungsmaterial⁴,
- Bauwerke sowie Anlagen und Einrichtungen mit einer lebenswichtigen Bedeutung für Versorgung, Entsorgung oder Telekommunikation, z. B. Bauwerke zur Bereitstellung von Trinkwasser (Wasserreservoirs, Grundwasserpumpstationen, etc.) oder Bauwerke zur Stromversorgung (Netzleitstellen, Unterwerke, etc.).

⁴ z. B. entsprechende Bauwerke des Zivilschutzes, der Armee, der Rega oder entsprechender kantonaler und kommunaler Ämter.

4 Bauplanung

4.1 Dokumente im Planungs- und Bauprozess

Die Ziele und Anforderungen an die Erdbebensicherheit von Bauwerken mit lebenswichtiger Funktion sowie die entsprechenden Massnahmen sind phasengerecht in den Planungs- und Ausführungsdokumenten sowie in den Unterlagen der Bauwerksdokumentation festzuhalten. Die Auflistung in Tabelle 1 zeigt den Zeitpunkt und die

zuständigen Verfassenden dieser Dokumente auf. Sie orientiert sich an der Verständigungsnorm SIA 112 «Modell Bauplanung» [5].

Entscheidend für die Planung eines erdbebengerechten Bauwerks der BWK III sind die Dokumente «Bedürfnisformulierung und Lösungsstrategien», «Projektdefinition» und «Projektpflichtenheft», «Nutzungsvereinbarung» und «Erdbebensicherheit SBIE».

Tabelle 1

In Bezug auf die Erdbebensicherheit relevante Dokumente im Planungs- und Bauprozess

Phase	Teilphase	Dokument	Verfassende	Definiert	
1	Strategische Planung				
	11	Bedürfnisformulierung, Lösungsstrategien	Bedürfnisformulierung und Lösungsstrategien	Bauherrschaft	Ziele und Anforderungen
2	Vorstudien				
	21	Definition Bauvorhaben, Machbarkeitsstudie	Projektdefinition Projektpflichtenheft	Bauherrschaft	Ziele und Anforderungen
3	Projektierung				
	31	Vorprojekt	Nutzungsvereinbarung	Bauingenieur / in	Anforderungen
	31	Vorprojekt	Projektbasis	Bauingenieur / in	Massnahmen
	ab 31	Vorprojekt	«Erdbebensicherheit SBIE»	Gesamtleitung	Anforderungen und Planungsmassnahmen
	ab 31	Vorprojekt	Projektierungsdokumente	Fachplanende	Massnahmen
4	Ausschreibung				
			Ausschreibungsunterlagen	Fachplanende	Anforderungen und Massnahmen inkl. Kontrolle
			Offertvergleich Vergabeantrag	Fachplanende	Massnahmen
5	Realisierung				
	51	Ausführungsprojekt	Ausführungsdokumente	Fachplanende, Lieferanten / Hersteller	Massnahmen
	52	Ausführung	Abnahmeprotokolle	Bauleitung, Fachplanende	Massnahmen inkl. Kontrolle
	53	Inbetriebnahme, Abschluss	Bauwerksdokumentation: · Projektdefinition und Projektpflichtenheft · Nutzungsvereinbarung · Projektbasis · Erdbebensicherheit SBIE · Pläne	Bauherrschaft Bauingenieur / in Bauingenieur / in Gesamtleitung Bauingenieur / in, Fachplanende, Lieferant / Hersteller	Ziele, Anforderungen und Massnahmen

4.2 Bedürfnisformulierung und Lösungsstrategien

Zu Projektbeginn definiert die Bauherrschaft in der Teilphase «11 Bedürfnisformulierung» die projektspezifischen Bedürfnisse, Ziele, Rahmenbedingungen, Anforderungen und Lösungsstrategien. Dies umfasst auch die Umschreibung der lebenswichtigen Funktion des Bauwerks.

Bei der Standortwahl für das Bauwerk sollte beachtet werden, dass die umliegende Bebauung bei einem Erdbeben die Zugänglichkeit zum Bauwerk behindern kann. Zudem bestimmt der Baugrund am Standort die Stärke der Bodenbewegung massgeblich und kann das Bauwerk durch erdbebeninduzierte Phänomene⁵ ungünstig beeinflussen. Es ist daher besser zu vermeiden Bauwerke der BWK III auf weichem Baugrund (z.B. Baugrundklassen D oder F gemäss Norm SIA 261) oder auf Baugrund mit Potenzial für induzierte Phänomene zu erstellen.

4.3 Projektdefinition und Projektpflichtenheft

Die «Projektdefinition» und das «Projektpflichtenheft» (SIA Teilphase 21) sind den Anbietenden beim Auswahlverfahren (SIA Teilphase 22) von der Bauherrschaft abzugeben. Für das gesamte Planerteam stellen sie die Grundlage der weiteren Projektierung (SIA Phase 3) dar.

Die Projektdefinition legt die wichtigsten Zielgrössen, Funktionen und Rahmenbedingungen der Bauherrschaft für das Tragwerk und die SBIE fest. Die Projektdefinition bleibt in der Regel während des ganzen Planungs- und Bauprozesses unverändert.

Im Projektpflichtenheft legt die Bauherrschaft die in Bezug auf die Erdbebensicherheit wichtigsten Funktionen, Eigenschaften und Anforderungen basierend auf den übergeordneten Vorgaben der Norm SIA 261 und den Projektzielen fest. Damit ist die Bestellung eines erdbebengerechten Tragwerks und erdbebengerechter SBIE durch die Bauherrschaft bereits in dieser frühen Phase klar festzuhalten. Das Projektpflichtenheft wird in den

weiteren Phasen nachgeführt. Folgende erdbebenspezifische Punkte sind im Projektpflichtenheft zu beschreiben (siehe Beispiel 1):

- lebenswichtige Funktion des Bauwerks,
- lebenswichtige Funktionseinheiten.

Beispiel 1

Erdbebenspezifischer Inhalt im Projektpflichtenheft *Neubau Feuerwehrstützpunkt*

Lebenswichtige Funktion

Der Feuerwehrstützpunkt mit seinem Inventar dient im Erdbebenfall zur Rettung von Menschenleben (Bergung von Verschütteten, Brandbekämpfung, etc.).

Lebenswichtige Funktionseinheiten

Die lebenswichtigen Funktionseinheiten der Feuerwehr befinden sich im EG (Fahrzeughalle, Materiallager, Einsatzräume) und im 1. OG (Büroräume, Schlafräume) sowie in den zugehörigen Gebäudetechnikräumen im UG (siehe Geschosspläne mit entsprechenden Markierungen). In den weiteren OGs befinden sich Büros ohne lebenswichtige Funktionseinheiten.

4.4 Nutzungsvereinbarung

In der Teilphase «31 Vorprojekt» legt der Fachbereich Bauingenieurwesen gemäss der SIA 112 in der «Nutzungsvereinbarung» die Nutzungs- und Schutzziele der Bauherrschaft sowie die grundlegenden Bedingungen, Anforderungen und Vorschriften für die Projektierung, Realisierung und Nutzung des Bauwerks fest. Die «Nutzungsvereinbarung» muss von der Bauherrschaft mit Abschluss der Teilphase «31 Vorprojekt» genehmigt werden. Während dem weiteren Projektverlauf ist die Nutzungsvereinbarung bei Bedarf phasengerecht zu aktualisieren und zu genehmigen. Folgende erdbebenspezifische Punkte sind in der Nutzungsvereinbarung zu beschreiben (siehe Beispiel 2):

- Bauwerksklasse des Bauwerks⁶ mit dem Bedeutungsbeiwert γ_f für Tragsicherheit und dem Bedeutungsbeiwert γ_f für Gebrauchstauglichkeit,
- angestrebte Schutzziele gemäss Norm SIA 261,

⁵ Massenbewegungen, Felsstürze, Hangrutschungen, Seetsunamis, Bodensetzungen, Bodenverflüssigung, etc.

⁶ Gemäss Norm SIA 261 ist ein Bauwerk in eine Bauwerksklasse einzuteilen.

Beispiel 2

Erdbebenspezifischer Inhalt in der Nutzungsvereinbarung

Neubau Feuerwehrstützpunkt

Die lebenswichtige Funktion und die entsprechenden Funktionseinheiten sind im Projektpflichtenheft festgelegt.

Bauwerksklasse

BWK III (infolge der lebenswichtigen Funktion gemäss Projektpflichtenheft), Bedeutungsbeiwert Tragsicherheit $\gamma_f = 1,5$, Bedeutungsbeiwert Gebrauchstauglichkeit $\gamma_f = 1,0$

Schutzziele

Die Funktionstüchtigkeit des Feuerwehrstützpunktes zur Rettung von Menschenleben ist zu gewährleisten und der Personenschutz ist sicherzustellen. Besonders wertvolle Einrichtungen sind nicht vorhanden, eine Schadensbegrenzung wird nicht verlangt. Zudem besteht keine Umweltgefährdung durch das Bauwerk oder seine Inhalte.

Erdbebenzone

Zone Z2 mit $a_{gd} = 1,0 \text{ m/s}^2$

Baugrundklasse

BGK B (gemäss geotechnischem Bericht «BE 04561.1» vom 3.2.2019)

Erdbebengerechtes Tragwerkskonzept

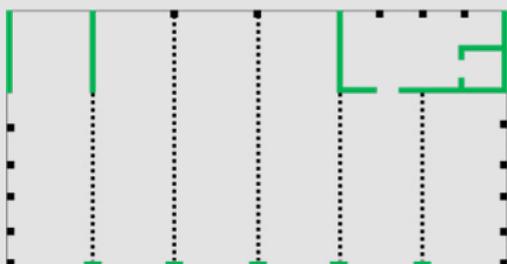
Das Tragwerk besteht aus Stahlbeton (UG, EG) und Holz (OGs). Der vertikale Lastabtrag erfolgt über Stahlbetonstützen, Unterzüge, Stahlbeton- und Brettsperrholzwände, sowie über einen Erschliessungskern. Zur horizontalen Aussteifung sind Wände und Kern durch steife Decken miteinander verbunden.

Die vorgefertigten Stahlbetonbauteile sowie die Tragelemente in Holz werden mit den Ort betonbauteilen kraftschlüssig verbunden. Das Tragwerkskonzept ist in den untenstehenden Grundrisszeichnungen dargestellt mit den aussteifenden Wänden aus Stahlbeton in grün und aus Brettsperrholz in braun.

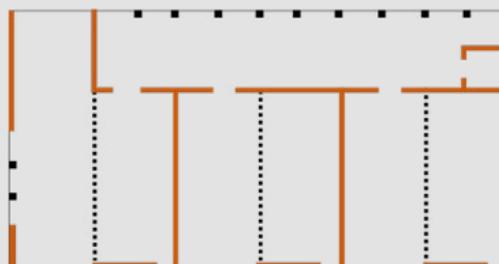
Tragwerksverhalten

Es wird ein nicht-duktiler Tragwerksverhalten mit einem Verhaltensbeiwert $q = 2$ geplant. Grosse irreversible Tragwerksverformungen beim Bemessungserdbeben werden ausgeschlossen.

Erdgeschoss



Obergeschosse



Erdbebensicherheit SBIE

Für die Planung und phasengerechte Behandlung der Erdbebensicherheit der SBIE wird das Dokument «Erdbebensicherheit SBIE» erstellt.

- Erdbebenzone und Baugrundklasse gemäss Norm SIA 261 [2] oder standortspezifische Parameter gemäss spektraler Standort- oder Mikrozonierungsstudie,
- Tragwerkskonzept zur Abtragung der Erdbebeneinwirkungen,
- Tragwerksverhalten (duktil oder nicht duktil) mit der Festlegung des Verhaltensbeiwerts η des Tragwerks,
- Verweis auf das Dokument «Erdbebensicherheit SBIE» zur Sicherstellung der phasengerechten Behandlung der Erdbebensicherheit der relevanten SBIE.

- die Zuständigkeiten in den einzelnen Projektphasen «3 Projektierung», «4 Ausschreibung» und «5 Realisierung».

Drittens wird das Dokument in der Phase «5 Realisierung» mit Abnahmeprotokollen für die relevanten SBIE sowie weiteren Dokumenten zur Qualitätssicherung (QS), wie Zertifikaten und Bestätigungen, ergänzt (siehe Beispiel 3).

4.5 Dokument «Erdbebensicherheit SBIE»

Die Gesamtleitung erstellt das Dokument «Erdbebensicherheit SBIE» unter Mitwirkung der Fachplanenden. Die Erarbeitung des Dokuments beginnt in der Teilphase «31 Vorprojekt». Es wird in den weiteren Projektphasen aktualisiert, entsprechend dem Projektstand weitergeführt und jeweils bei Phasenabschluss von den Beteiligten unterzeichnet.

Das Dokument beschreibt als erstes die Erdbebeneinwirkung auf die SBIE, die durch die Bauingenieurin oder den Bauingenieur zu spezifizieren sind. Dies geschieht in Form von:

- absoluten Beschleunigungen,
- aufgezwungenen Relativverschiebungen (Stockwerkschiefstellungen),
- notwendigen Freiräumen für schwingende SBIE.

Zweitens enthält das Dokument eine im Planungsteam erarbeitete Planungstabelle für die relevanten SBIE. Die folgenden Punkte sind in dieser Tabelle festzulegen:

- relevante SBIE (Auflistung inkl. Standort) und deren Schutzziele,
- Gefährdungsbilder,
- Massnahmen der Planung in der Projektierung und Ausschreibung⁷ zur Beherrschung der Gefährdungsbilder,
- Massnahmen zur Qualitätssicherung wie Prüfungen, Korreferate, Baukontrollen und Abnahmen mitsamt der nötigen Dokumente und Formulare,

Beispiel 3

Planungstabelle des Dokuments «Erdbebensicherheit SBIE»

Neubau Akutspital

Die Planungstabelle des Dokuments «Erdbebensicherheit SBIE» beinhaltet die relevanten SBIE, die Schutzziele, die Gefährdungsbilder, die Massnahmen der Planung sowie die Zuständigkeiten im Planerteam. Die SBIE sollten dabei nach Schutzziel sortiert werden. Die SBIE, deren Beschädigung oder Versagen die lebenswichtige Funktion des Bauwerks beeinträchtigen, sind zuoberst in der Tabelle aufzuführen. Die Massnahmen der Planung sind nach SIA-Phasen zu gliedern. Für jede Massnahme der Planung ist eine Zuständigkeit zu definieren. Auch das Akzeptieren eines Risikos durch die Eigentümerschaft betreffend des Schutzziels Schadensbegrenzung kann einen Planungsentscheid darstellen, was in der Planungstabelle entsprechend festzuhalten ist. Tabelle 2 zeigt beispielhaft einen Auszug einer solchen Planungstabelle auf.

⁷ Die Massnahmen in der SIA Phase «5 Realisierung» sind grundsätzlich in der Zuständigkeit der Fachplanenden. Das in der Zuständigkeit der Gesamtleitung liegende Dokument «Erdbebensicherheit SBIE» beinhaltet nicht die detaillierten Massnahmen der Realisierung (Berechnungen, Ausführungspläne, etc.).

Tabelle 2
Beispiel für eine Planungstabelle im Dokument «Erdbebensicherheit SBIE»

SBIE	Standort	Funktions-einheit	Schutzziel		Gefährdungsbild ¹	SIA-Teilphase	Massnahmen der Planung in den Phasen Projektierung und Ausschreibung und für die Qualitätssicherung	Zuständigkeiten	erfolgt am / durch
			Lebenswichtige Funktion	Personenschutz Schadenbegrenzung ²					
System Notstrom-diesele-generator inkl. Tank und zugehörigen Installati-onen und Einbauten	Raum A7, A8	Intensiv-pflege-station	×		<ul style="list-style-type: none"> • Verrutschen von Komponenten • Absturz von Komponenten • Abreissen von Leitungen zwi-schen Komponen-ten (z. B. Leitung zwischen Die-seltank und Generator) 	32	Anforderungen <i>Einwirkung (Spektralbeschleunigung und Relativverschiebung) im Dokument «Erdbebensicherheit SBIE» festgelegt</i>	Bauingenieurwesen	10.4.2022/ Bauingenieur xy
						41	Funktionale Ausschreibung der Anforderungen an die Erdbebensicherheit und Ausschreibung der vom Lieferanten / Hersteller zu erbringenden Leis-tungen (Konzeption, Analyse, Bemessung, Werkstattpläne, Ausführung, Nachweisdokumente) <i>Dokument «Erdbebensicherheit SBIE» wird Ausschreibungsunterlagen beigelegt</i>	Elektroplanung	1.6.2022/ Elektroplanung xy
						41	Konzeption, Analyse und Bemessung <i>u. a. Verankerung auf Betonsockel und flexible Anschlüsse und Zuleitungen</i>	Lieferant / Hersteller	8.9.2022/ Hersteller xy
						41	Angebote prüfen, Vergabeantrag	Elektroplanung	3.10.2022/ Elektroplanung xy
						51	Werkstattpläne prüfen, Befestigung und flexible Anschlüsse und Zuleitungen	Elektroplanung und ggf. Bauingenieurwesen	15.2.2023/ Elektroplanung xy
						52	Einfordern der Bestätigung der Erfüllung der Anforderungen und des korrek-ten Einbaus durch Lieferant / Hersteller	Elektroplanung	30.4.2023/ Elektroplanung xy
						53	Abnahme	Bauleitung	noch zu erfolgen

1 z. B. Umkippen, Verrutschen, übermässige Verformung, Zusammenstossen, Auseinanderdriften, Abbrechen, Abstürzen, Abreissen etc.

2 Konkret bei Beschädigung des Tragwerks, bei Beeinträchtigung einer bedeutenden Funktion, bei Beschädigung wertvoller Güter und Einrichtungen oder bei Gefährdung der Umwelt.

SBIE	Standort	Funktions-einheit	Schutzziel			Gefährdungsbild ¹	Massnahmen der Planung in den Phasen Projektierung und Ausschreibung und für die Qualitätssicherung	Zuständigkeiten	erfolgt am / durch
			Lebenswichtige Funktion	Personenschutz	Schadenbegrenzung?				
Fassade	West-fassade	x			<ul style="list-style-type: none"> • Bruch / übermässige Verformung der Verankerung und dadurch Absturz von Fassadenelementen 	SIA-Teilphase	Bauingenieurwesen Architektur und Fassadenplanung Architektur und Fassadenplanung Architektur Fassadenplanung und ggf. Bauingenieurwesen Architektur Bauleitung	10.5.2022/ Bauingenieur xy 1.6.2022/ Fassadenplanung xy 8.9.2022/ Fassadenplanung xy 3.10.2022/ Architekt xy 15.12.2023/ Fassadenplanung xy 30.6.2023/ Architekt xy noch zu erfolgen	
						32			Anforderungen <i>massgebende Einwirkung im Dokument «Erdbebensicherheit SBIE» festgelegt</i>
						32			Produktwahl (Fassadenelemente), Entwurf und Dimensionierung der Fassade inkl. Verankerung
						41			Produktbasierte Ausschreibung inkl. der Verankerung und Ausschreibung der vom Lieferanten / Hersteller zu erbringenden Leistungen (Werkstattpläne, Ausführung, Nachweisdokument des korrekten Einbaus)
						41			Angebote prüfen, Vergabeantrag
						51			Werkstattpläne prüfen bzgl. Befestigung
						52			Einfordern der Bestätigung des korrekten Einbaus durch Lieferant / Hersteller
Computertomograph	Raum C4	x		<ul style="list-style-type: none"> • Verrutschen • Absturz • Abreißen von Anschlussleitungen • Zusammenstossen 		Bauleitung Bauleitung Eigentümerschaft Spitalplaner Lieferanten / Hersteller Spitalplaner Spitalplaner Bauleitung	10.5.2022/ Bauingenieur xy 12.12.2022/ Bauherrschaft 15.12.2022/ Spitalplaner 15.1.2023/ Hersteller xy 31.1.2023/ Spitalplaner 3.3.2023/ Spitalplaner noch zu erfolgen		
					32			Anforderungen <i>massgebende Einwirkung im Dokument «Erdbebensicherheit SBIE» festgelegt</i>	
					32			Eigentümerschaft akzeptiert Risiko bzgl. Grenz Zustand der Gebrauchstauglichkeit (Abreißen von Anschlussleitungen) gemäss Sitzung vom 12.2.2022	
					41			Funktionale Ausschreibung der Anforderungen an die Erdbebensicherheit und Ausschreibung der vom Lieferanten / Hersteller zu erbringenden Leistungen (Konzeption, Analyse, Bemessung, Ausführung, Nachweisdokumente) <i>Dokument «Erdbebensicherheit SBIE» wird Ausschreibungsunterlagen beigelegt</i>	
					41			Konzeption, Analyse und Bemessung <i>Verankerung in Geschossdecke</i>	
					41			Prüfen Angebote, Vergabeantrag	
					52			Einfordern der Bestätigung der Erfüllung der Anforderungen und des korrekten Einbaus durch Lieferant / Hersteller	
53	Abnahme								

5 Tragwerk

5.1 Tragwerkskonzept und Tragwerksverhalten

Je günstiger sich das Tragwerk bei einem Erdbeben verhält, desto unwahrscheinlicher sind Schäden am Tragwerk oder an den SBIE und damit eines Funktionsverlusts des Bauwerks als Gesamtes. Anforderungen an die Eigenschaften eines erdbebengerechten Tragwerks eines Bauwerks der BWK III formuliert die Norm SIA 261 in Ziffer 16.4.1. So sind beispielsweise Unstetigkeiten und Asymmetrien des Aussteifungssystems im Grund- und Aufriss zu vermeiden. Die Gründung des Tragwerks hat auf möglichst gleichmässig steifem Baugrund zu erfolgen.

Ein derart konzipiertes Tragwerk weist ein günstiges Verhalten unter Erdbebeneinwirkung auf, sowohl des Tragwerks selbst als auch der mit ihm verbundenen SBIE. Denn aus dem dynamischen Tragwerksverhalten resultieren die Erdbebeneinwirkungen auf die SBIE. Dementsprechend sind ungünstige Schwingformen des Tragwerks, insbesondere Torsionsschwingungen, zu vermeiden. Sie erhöhen die Beschleunigungen und die aufgezwungenen Verformungen auf die SBIE.

Bei Bauwerken der BWK III ist es unabdingbar, dass sich die Fachplanenden der Architektur und des Bauingenieurwesens bereits im Wettbewerb oder spätestens im Vorprojekt (Teilphase 31) auf diese Randbedingungen verständigen und in enger Zusammenarbeit ein erdbebengerechtes Tragwerk entwerfen.

Neben dem Tragwerkskonzept bestimmen die Baustoffe und die konstruktive Durchbildung des Tragwerks massgeblich das Tragwerksverhalten unter Erdbebeneinwirkung. Gemäss den Tragwerksnormen kann des Weiteren abhängig vom gewollten Tragwerksverhalten eine duktile⁸ oder eine nicht-duktiler⁹ Bemessung des Tragwerks erfolgen. Bei Bauwerken der BWK III ist von einer duktilen Bemessung des Tragwerks, d. h. einer Bemessung mit einem höheren Verhaltensbeiwert q , abzusehen. Diese Bemessung führt zu vergleichsweise grossen lokalen Verformungen des Tragwerks im Erdbebenfall und dadurch zu schädlichen Interaktionen zwischen dem

Tragwerk und den SBIE. Im Falle einer nicht-duktilen Bemessung ist es in jedem Fall sinnvoll Massnahmen hinsichtlich einer erdbebengerechten konstruktiven Durchbildung umzusetzen. Dies um ein duktiler Verhalten zu begünstigen und spröde Versagensmechanismen zu vermeiden, mit dem Ziel die Robustheit des Tragwerks zu erhöhen.

Spezifische technische Elemente zur Energiedissipation wie seismische Isolatoren oder Dämpfer stellen eine wirkungsvolle Möglichkeit dar, um die Auswirkungen von Erdbebeneinwirkungen auf ein Bauwerk zu begrenzen. Dadurch werden sowohl das Tragwerk als auch die SBIE vor relevanten Verformungen und grossen Beschleunigungen geschützt, was insbesondere für die Gewährleistung der Funktionstüchtigkeit des Bauwerks und damit bei Bauwerken der BWK III von grossem Vorteil ist. Wie effizient solche aufwendigen Methoden gegenüber einer klassischen Tragwerksbemessung sind, um die Erdbebensicherheit des Bauwerks sicherzustellen, ist im Einzelfall zu prüfen.

5.2 Nachweise

Zur Ermittlung der Erdbebeneinwirkung, die in der Tragwerksanalyse und -bemessung anzusetzen ist, definiert die Norm einen Bedeutungsbeiwert γ_f . Dieser Beiwert erhöht die Erdbebeneinwirkung bei Bauwerken von übergeordneter Bedeutung, d. h. BWK II und III, im Vergleich zur Erdbebeneinwirkung bei Bauwerken der BWK I. Der Nachweis der Tragsicherheit ist für Bauwerke der BWK III mit einem Bedeutungsbeiwert $\gamma_f = 1,5$ zu erbringen. Der Nachweis der Tragsicherheit des Tragwerks wird analog zu Bauwerken der BWK I und II geführt.

Der Nachweis der Gebrauchstauglichkeit ist nur bei Bauwerken der BWK III zu erbringen (Ziffer 16.1.5, Norm SIA 261). Dabei gilt ein Bedeutungsbeiwert von $\gamma_f = 1,0$. Für den Nachweis sind Grenzwerte für die horizontale Auslenkung pro Stockwerk definiert: 1/500 der Stockwerkhöhe für Bauwerke mit spröden¹⁰ Einbauten¹¹ und 1/200 der Stockwerkhöhe für

⁸ im Allgemeinen durch die Verwendung von Verhaltensbeiwerten q grösser gleich 2.5

⁹ im Allgemeinen durch die Verwendung von Verhaltensbeiwerten q im Bereich von 2

¹⁰ Sich spröde verhaltende Einbauten, d. h. das Versagensverhalten des sekundären Bauteils inkl. seiner Einbauweise und Verankerung ist plötzlich und unangekündigt ohne grosse vorhergehende Verformungen.

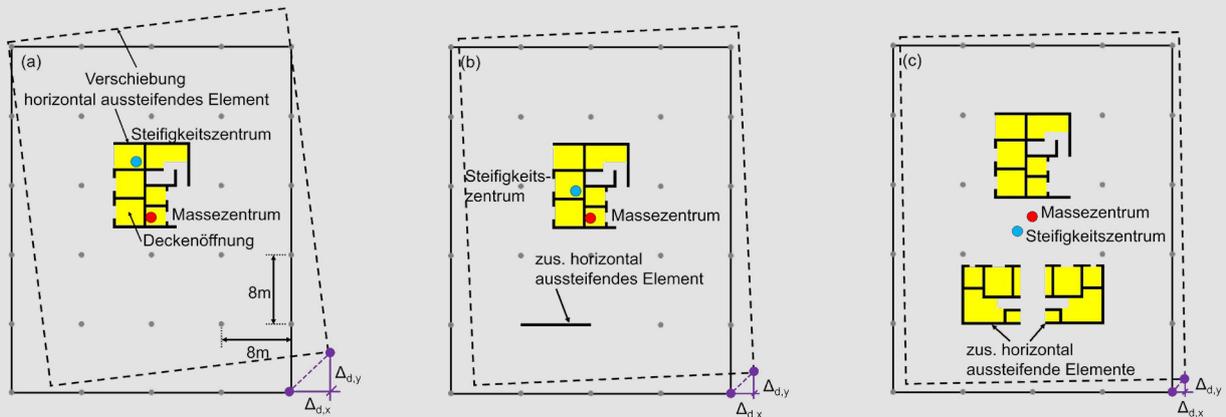
¹¹ bzw. sekundären Bauteilen.

Beispiel 4
Nachweis der Gebrauchstauglichkeit des Bauwerks
Akutspital

8 Stockwerke, Stockwerkshöhe $h = 3,5 \text{ m}$, 3 unterschiedliche Grundrissentwürfe (Details, siehe Anhang A)

Nachweis für spröde Einbauten: $\Delta_{d,x} \leq h/500$ und $\Delta_{d,y} \leq h/500$

Nachweis für duktile Einbauten: $\Delta_{d,x} \leq h/200$ und $\Delta_{d,y} \leq h/200$



Entwurf a

- Geringe Translations- und Rotationssteifigkeit sowie beträchtliche Exzentrizität zwischen Masse- und Steifigkeitszentrum
- → hohe Translations- und Torsionsverschiebungen
- Nachweis für duktile Einbauten: **nicht erfüllt**
- Nachweis für spröde Einbauten: **nicht erfüllt**

Entwurf b

- Translationssteifigkeit in x-Richtung und Rotationssteifigkeit erhöht, Exzentrizität zwischen Masse- und Steifigkeitszentrum reduziert
- → geringere Translations- und deutlich geringere Torsionsverschiebungen
- Nachweis für duktile Einbauten: **erfüllt**
- Nachweis für spröde Einbauten: **nicht erfüllt**

Entwurf c

- Translations- und Rotationssteifigkeit deutlich erhöht, Exzentrizität zwischen Masse- und Steifigkeitszentrum weiter reduziert
- → deutlich geringere Translations- und Torsionsverschiebungen
- Nachweis für duktile Einbauten: **erfüllt**
- Nachweis für spröde Einbauten: **erfüllt**

Bauwerke mit duktilen Einbauten. Werden die Grenzwerte eingehalten, wird eine schädliche Interaktion zwischen dem Tragwerk und den relevanten SBIE verhindert.

Die im Nachweis anzusetzende Auslenkung pro Stockwerk entspricht der maximalen Relativverschiebung der beiden Geschossdecken über und unter dem jeweiligen Stockwerk. Der Bemessungswert der Auslenkung ist pro Hauptrichtung und gemäss Norm SIA 261, Ziffer 16.5.5 zu ermitteln.¹²

Vorhandene Torsionsauswirkungen sind zu berücksichtigen. Zur Kombination der horizontalen Komponenten der Erdbebeneinwirkung macht die Norm SIA 261 keine Angaben. Dementsprechend wird empfohlen für Bauwerke der BWK III eine Kombination der horizontalen Komponenten der Erdbebeneinwirkung gemäss Eurocode 8 «Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben» [7] vorzunehmen.¹³ Das Beispiel 4 (Details, siehe Anhang A) illustriert den Nachweis der Gebrauchstauglichkeit.

¹² Kraftbasierte Analyse: Der Bemessungswert der Relativverschiebung pro Hauptrichtung ermittelt sich aus der Multiplikation zwischen dem Verhaltensbeiwert q und dem aufgrund des Bemessungsspektrums ermittelten elastischen Anteils der Verschiebung. Hierbei sind eine mittlere Steifigkeit bis zum Fließbeginn in Rechnung zu stellen und die Torsionsauswirkungen zu berücksichtigen.

¹³ Hierbei sollte die «100-30-Regel», siehe Abschnitt 4.3.3.5.1(3) bzw. 4.3.3.5.2(4) des EC8-1:2004, der SRSS (Square Root of Sum of Squares) Regel, siehe Abschnitt 4.3.3.5.1(2b) des EC8-1:2004, vorgezogen werden.

6 SBIE

6.1 Aufgabenteilung

6.1.1 Zuständigkeiten

Die Bauherrschaft ist für die Erdbebensicherheit des Bauwerks verantwortlich und somit für deren Berücksichtigung in den Projektvorgaben und im Auswahlverfahren zuständig. Die Gesamtleitung¹⁴ ist übergeordnet für die erdbebengerechte Auslegung und Ausführung der SBIE zuständig. Die Gesamtleitung koordiniert und überwacht die Bearbeitung der SBIE und stellt sicher, dass die Aufgaben und Zuständigkeiten auf das Projekt abgestimmt sind und zweckmässig zugeordnet sind. Die einzelnen Fachplanenden sind für die erdbebengerechte Planung der SBIE in ihrem Fachbereich inkl. der Qualitätssicherung in der Ausführung zuständig.

Falls die Gesamtleitung oder die Fachplanenden in ihren Funktionen und Aufgaben Unterstützung brauchen, bietet es sich an, dass sie im Erdbebeningenieurwesen spezialisierte Fachplanende beiziehen. Dies muss in ihren Angeboten berücksichtigt werden, da sie einen Teil ihrer Leistungen abgeben. Der planerseitige Entscheid zur Beauftragung einer SBIE-Koordination muss frühzeitig erfolgen. Je nach Bedürfnissen, entsprechender Leistungsdefinition und Beauftragung kann die SBIE-Koordination

- die Gesamtleitung in der Erstellung des Dokuments «Erdbebensicherheit SBIE»,
- die Fachplanenden in der Projektierung und Ausschreibung und
- die Gesamtleitung und/oder die Fachplanenden in der Qualitätssicherung und Dokumentation in der Realisierung unterstützen.

Der Fachbereich Bauingenieurwesen ist als Fachplanender für das Tragwerk und damit auch für dessen Erdbebensicherheit zuständig. Hinsichtlich der erdbebengerechten Planung der SBIE gibt er die Grundlagen für die Erdbebeeinwirkungen auf die SBIE im Dokument «Erdbebensicherheit SBIE» an (siehe Kap. 6.3).

6.1.2 Aufgaben und Leistungen

Strategische Planung und Vorstudien (SIA Phasen 1 und 2)

Die Bauherrschaft berücksichtigt die Erdbebensicherheit in der Bedürfnisformulierung, in der Projektdefinition und im Projektpflichtenheft.

Im Auswahlverfahren (z. B. im Wettbewerb) und später in der Ausschreibung der Planungsleistungen stellt die Bauherrschaft sicher, dass sowohl die Planungsleistungen (Honorare) als auch die Realisierungsleistungen (Baukosten) für die Erdbebensicherheit der SBIE als eigene Preispositionen erfasst werden. Dies ermöglicht die einzelnen Angebote zu vergleichen und zu gewährleisten, dass diese Leistungen von den Anbietenden explizit offeriert sind.

Die Bauherrschaft hat die Gesamtleitung für die SBIE-Koordination in den Phasen 2 bis 5 inkl. der übergeordneten Überwachung und Dokumentation frühzeitig, explizit¹⁵ zu beauftragen und separat zu vergüten. Weiter hat die Bauherrschaft dafür zu sorgen, dass die Planung von erdbebengerechten SBIE, die Ausschreibung, die Dokumentation und die Qualitätssicherung (Baukontrolle, Abnahme, etc.) explizit in den Ausschreibungen der Leistungen der Fachplanenden enthalten sind und diese dafür beauftragt und separat vergütet werden. Dies hat durch entsprechende Beauftragung und Führung der Gesamtleitung oder beim Modell Einzelplaner direkt durch die Bauherrschaft zu erfolgen.

Projektierung und Ausschreibung (SIA Phasen 3 und 4)

Die Gesamtleitung erstellt unter Mitwirkung der Fachplanenden das Dokument «Erdbebensicherheit SBIE». Zuständig für die erdbebengerechte Projektierung und Ausschreibung sind die Fachplanenden der verschiedenen Gewerke oder direkt die Lieferanten / Hersteller der SBIE. Die Qualitätssicherung und Dokumentation der Projektierung und Ausschreibung haben gemäss ihrem Qualitätsmanagement-System intern zu erfolgen.

¹⁴ Die Funktion Gesamtleitung wird bei Hochbauprojekten i. d. R. von der Generalplanung oder der Architektur wahrgenommen.

¹⁵ Die Ausschreibung der Leistungen der Gesamtleitung hat frühzeitig, d. h. ab SIA Phase «21 Definition Bauvorhaben und Machbarkeitsstudie» bzw. spätestens ab SIA Phase «31 Vorprojekt», zu erfolgen und explizit die Koordination der Erdbebensicherheit der SBIE zu beinhalten.

Realisierung (SIA Phase 5)

In der Realisierung erfolgt die Plankontrolle sowie die Baukontrolle und Abnahme relevanter SBIE bezüglich Erdbebensicherheit durch die Fachplanenden bzw. durch die entsprechenden Fachbauleitungen.

Die Gesamtleitung aktualisiert das Dokument «Erdbebensicherheit SBIE» für die Bauwerksdokumentation. Sie ergänzt es während der Realisierung mit den Abnahmeprotokollen der Fachplanenden, der Bauleitung und der Fachbauleitungen. Ausserdem fügt sie dem Dokument weitere QS-Dokumente wie Zertifikate und Bestätigungen seitens Lieferant / Hersteller und dem Unternehmer hinzu. Sie fordert diese QS-Dokumente bei den jeweiligen Zuständigen ein. Damit kontrolliert sie die Qualitätssicherung der Fachplanenden und der Bauleitung(en).

Bewirtschaftung (SIA Phase 6)

Die Bauherrschaft stellt sicher, dass die Bauwerksdokumentation, insbesondere das Projektpflichtenheft, die Nutzungsvereinbarung und das Dokument «Erdbebensicherheit SBIE» mit der Liste der relevanten SBIE, der Eigentümer- und Betreiberschaft bekannt ist. Die Eigentümerschaft stellt sicher, dass der Erdbebensicherheit bei Umbauten und Instandsetzungen Rechnung getragen wird. Die Betreiber- bzw. die Nutzerschaft stellt sicher, dass bei der Beschaffung oder dem Ersatz von bezüglich Erdbebensicherheit relevanten SBIE im laufenden Betrieb die Anforderungen an die Erdbebensicherheit berücksichtigt werden.

6.2 Erdbebengerechter Umgang mit den SBIE

6.2.1 Erdbebengerechtes Konzept für die SBIE

Ob ausschliesslich duktile oder auch spröde SBIE im Bauwerk eingesetzt werden, hat einen wesentlichen Einfluss auf die Anforderungen an das Tragwerk und damit an das Tragwerkskonzept (siehe Kapitel 5). Die frühzeitige Ausarbeitung eines SBIE Konzepts ermöglicht eine Planung und Auswahl von SBIE, die zu erdbebengerechten, effizienten, wirtschaftlichen und vorteilhaften Lösungen führen:

- Für besonders gefährdete SBIE unter Erdbebeneinwirkung sind Alternativen zu suchen. Zum Beispiel können anstelle von spröden sekundären Mauerwerkswänden duktile Leichtbauwände eingebaut werden.

- Besonders beschleunigungsanfällige SBIE sind in den Untergeschossen des Bauwerks zu platzieren.
- Einfache, konzeptionelle Massnahmen, die keine Berechnungen und Nachweise erfordern, sind zu favorisieren. Für Schränke können beispielsweise standardisierte, erdbebengerechte Kopfhalterungen vorgesehen werden.
- Einheitliche Systemlösungen sowie Auflager- und Befestigungssysteme sind für möglichst viele SBIE zu verwenden. So können beispielsweise gleiche Systeme für Trennwände, gleiche Befestigungssysteme für die Steuerschranke oder ein koordiniertes System (Unterkonstruktion) für die Montage der Leitungen verschiedener Gewerke gewählt werden.

6.2.2 Relevante SBIE

Die relevanten SBIE werden in der Teilphase «31 Vorprojekt» erhoben. Dies erfolgt basierend auf den übergeordneten Vorgaben der Norm SIA 261 und den projektspezifischen Vorgaben der Bauherrschaft in der Projektdefinition und dem Projektpflichtenheft. Bei Bauwerken der BWK III sind jene SBIE relevant, die bei Beschädigung oder Versagen im Erdbebenfall folgende Schutzziele beeinträchtigen oder gefährden (Ziffer 16.1.2, Norm SIA 261)

- die lebenswichtige Infrastrukturfunktion,
- den Personenschutz,¹⁶
- die Schadensbegrenzung.¹⁷

Für nicht relevante SBIE gelten gemäss den in der Schweiz gültigen Normen (Stand 2022) keine Anforderungen an die Erdbebensicherheit mit Ausnahme ihrer Befestigung in Stahlbeton.¹⁸

6.2.3 Gefährdungsbilder

Für jedes relevante SBIE ist das Schutzziel zu bestimmen, das durch die Beschädigung des SBIE gefährdet ist. Bei Bauwerken der BWK III sind alle Gefährdungsbilder zu bestimmen, die die Gewährleistung der Funktionstüchtigkeit im Erdbebenfall und den Personenschutz betreffen. Diesen Gefährdungsbildern ist mit entsprechender Auslegung zu begegnen. In Bezug auf die Schadensbegrenzung entscheidet die Eigentümerschaft über die

¹⁶ Gemäss Ziffer 16.7.1 der Norm SIA 261: SBIE, die Personen gefährden oder das Tragwerk beschädigen können.

¹⁷ Gemäss Ziffer 16.7.1 der Norm SIA 261: SBIE, die eine bedeutende (nicht lebenswichtige) Infrastrukturfunktion beeinträchtigen, wertvolle Güter und Einrichtungen beschädigen oder die Umwelt gefährden können.

¹⁸ Sie müssen gemäss Norm SIA 179:2019 und Norm SN EN 1992-4/NA, Ziffer C.2(2) mit Befestigungsmitteln der seismischen Leistungskategorie C1 befestigt werden.

projektspezifische Auslegung. Wird dabei ein Risiko durch die Eigentümerschaft akzeptiert, ist dies in der Planungstabelle entsprechend festzuhalten.

6.2.4 Projektierung und Ausschreibung

SBIE werden, im Gegensatz zum Tragwerk, nicht in jedem Projekt neu entworfen und projektiert. Meist werden handelsübliche Produkte und Systemlösungen verwendet. Im Vorprojekt ermitteln die jeweiligen Fachplanenden die verschiedenen Anforderungen an die SBIE, die aus der Nutzung, der Sicherheit (inkl. Erdbebensicherheit) oder der Wirtschaftlichkeit resultieren. Sobald alle Anforderungen und die damit erforderlichen Eigenschaften definiert sind, gibt es abhängig von den Gewerken, der Art des jeweiligen SBIE und den Vorgaben der Bauherrschaft / Gesamtleitung unterschiedliche Ausschreibungsarten (siehe Tabelle 3).

6.2.5 Realisierung

Um die Funktionstüchtigkeit von Bauwerken der BWK III im Erdbebenfall gewährleisten zu können, sind während der Realisierung Massnahmen zur Qualitätssicherung von entscheidender Bedeutung.

- Kontrolle der Werkstatt- bzw. Befestigungspläne der relevanten SBIE hinsichtlich einer erdbebengerechten Ausführung.
- Kontrolle am Bau und Abnahme derjenigen relevanten SBIE, die zur Aufrechterhaltung der lebenswichtigen Funktion des Bauwerks erforderlich sind. Die erdbebengerechte Ausführung bzw. Installation ist durch den Unternehmer und den Lieferanten / Hersteller schriftlich zu bestätigen. Es wird dabei ein Abnahmeprotokoll zur Erdbebensicherheit inkl. des Bestätigungsschreibens erstellt. Das Bestätigungsschreiben hat darzulegen, dass das eingebaute SBIE die Anforderungen bezüglich Erdbebensicherheit vollständig gemäss Ausschreibung erfüllt und entsprechend eingebaut und gesichert wurde.
- Stichprobenartige Kontrolle am Bau und Abnahme aller anderen relevanten SBIE. Auch dazu ist ein Abnahmeprotokoll zu erstellen.

6.3 Erdbebeneinwirkung auf die SBIE

SBIE, die mit dem Tragwerk verbunden sind, erfahren durch die Tragwerksbewegungen und -verschiebungen im Erdbebenfall Einwirkungen in Form von absoluten Beschleunigungen und aufgezwungene Relativverschiebungen.

Absolute Beschleunigungen

Auf konservativen Annahmen basierende Richtwerte für horizontale Beschleunigungen auf SBIE sind in Abhängigkeit der Höhenlage des SBIE im Tragwerk, der Erdbebenzone und Baugrundklasse in [9] angegeben. Zur genaueren Berechnung können horizontale Beschleunigungen direkt mittels

- Verstärkungsfunktionen, beispielsweise Gleichung (49) der Norm SIA 261,
- Etagenantwortspektren, beispielsweise gemäss NTC18 [8] oder zukünftig EC8¹⁹, und
- expliziten Modellberechnungen, beispielsweise mit dem Antwortspektrenverfahren,²⁰ ermittelt werden.

Aufgezwungene Relativverschiebungen

In [9] sind ebenfalls Richtwerte für die zu erwartenden Stockwerksschiefstellungen abhängig von der Höhenlage des SBIE im Tragwerk, der Erdbebenzone und der Baugrundklasse angegeben. Diese Werte basieren auf sehr konservativen Annahmen und sind dementsprechend hoch. Besonders für Bauwerke der BWK III wird empfohlen, die berechneten Verschiebungen aus dem jeweiligen in der Planung verwendeten Berechnungsmodell des Tragwerks anzusetzen.

Notwendige Freiräume

Auch für Freiräume, die nicht steif mit dem Tragwerk verbundene SBIE benötigen, um frei schwingen zu können, gibt [9] konservative Richtwerte abhängig von der Höhenlage des SBIE im Tragwerk, der Erdbebenzone und der Baugrundklasse an. Nötige Freiräume können aus einem Etagenantwortspektrum oder bei expliziter Modellierung des SBIE ebenfalls aus dem verwendeten Berechnungsmodell ausgelesen werden.²⁰

¹⁹ Gemäss aktuellem Entwurf der neuen Fassung des Eurocode 8 Teil 1 (EN 1998-1) wird der EC8 zukünftig eine Vorgabe zur vereinfachten Bestimmung von Etagenantwortspektren machen.

²⁰ Die konkrete Modellierung der SBIE als Einmassenschwinger und deren Einbindung ins Tragwerksmodell hat überlegt zu erfolgen (Netzgrösse, Auflagerbedingungen, Massenverhältnisse, Verhaltensbeiwert, Dämpfung, etc.) und bedarf einer sorgfältigen Plausibilisierung durch Sensitivitätsanalysen.

Tabelle 3

Vorgehen in Projektierung und Ausschreibung aufgrund der Ausschreibungsart

Akteur / in	Vorgehen bei: Vollständig produktbasierter Ausschreibung	Vorgehen bei: Teilweise produktbasierter Ausschreibung	Vorgehen bei: Vollständig funktionaler Ausschreibung
Ausschreibende: Jeweilige Fachplanende	<ul style="list-style-type: none"> Wahl eines spezifischen Produkts Kontrolle / Nachweis, ob alle Anforderungen <i>inkl.</i> Erdbebensicherheit mit diesem Produkt erfüllt sind. Projektierung (Entwurf inkl. Dimensionierung) der Befestigung, falls Hersteller die erdbebengerechte Befestigungslösung nicht bereits mit dem Produkt anbietet. Ausschreibung spezifisches Produkt (oder gleichwertig) inkl. projektierte erdbebengerechte Befestigungslösung (falls erforderlich) und erforderliche Nachweise / Belege. 	<ul style="list-style-type: none"> Wahl eines spezifischen Produkts Kontrolle / Nachweis, ob alle Anforderungen <i>exkl.</i> Erdbebensicherheit mit diesem Produkt erfüllt sind. Ausschreibung spezifisches Produkt (oder gleichwertig) und erforderliche Nachweise / Belege. Funktionale Ausschreibung bzgl. Erdbebensicherheit → Anforderungen werden durch das Dokument «Erdbebensicherheit SBIE» vorgegeben. Dieses ist Bestandteil der Ausschreibungsunterlagen. 	<ul style="list-style-type: none"> Ausschreibung aller Anforderungen an das Produkt <i>inkl.</i> Erdbebensicherheit und erforderliche Nachweise / Belege. → Anforderungen an die Erdbebensicherheit werden durch das Dokument «Erdbebensicherheit SBIE» vorgegeben. Dieses ist Bestandteil der Ausschreibungsunterlagen.
Anbietende: Lieferanten, Hersteller, Unternehmer	<ul style="list-style-type: none"> Angebot für spezifisches <i>oder gleichwertiges</i> Produkt inkl. spezifizierte Befestigung 	<ul style="list-style-type: none"> Kontrolle / Nachweis, ob und ggf. mit welchen Anpassungen die Anforderungen bzgl. Erdbebensicherheit mit einem spezifischen <i>oder einem gleichwertigen</i> Produkt erfüllt werden können. Projektierung (Entwurf inkl. Dimensionierung) der Befestigung Angebot für spezifisches <i>oder gleichwertiges</i> Produkt und Befestigung 	<ul style="list-style-type: none"> Kontrolle / Nachweis, mit welchem Produkt alle Anforderungen erfüllt werden können. Projektierung (Entwurf inkl. Dimensionierung) der Befestigung Angebot für Produkt inkl. Befestigung, sodass die Anforderungen erfüllt werden.
Beispiele	Sekundäre Mauerwerkswand mit Kopfhalterung durch Winkel, Geländer, Vordach. Ausschreibung durch Architekten / in ggf. unterstützt durch Bauingenieur / in.	Haustechnikrohre (Lüftung, Sprinkler, etc.) inkl. Halterungen	Generator, Schaltanlage, Operations- und Analysegeräte
Bemerkungen	<p>Im Idealfall lassen sich Produkte auf dem Markt finden, für die vom Lieferanten / Hersteller, einem Prüfinstitut oder einer staatlichen Stelle spezifiziert ist, dass sie die entsprechenden Anforderungen hinsichtlich Erdbebensicherheit erfüllen. Falls sich keine Produkte mit allen erforderlichen Eigenschaften finden lassen, haben die jeweiligen Fachplanenden in der Projektierung und Ausschreibung mit den Anbietern der SBIE bzw. von entsprechenden Produkten Lösungen zu entwickeln und diese nachzuweisen.</p> <p>Die Anbieter offerieren das definierte Produkt oder haben die Möglichkeit gleichwertige Produkte anderer Lieferanten / Hersteller als Unternehmervariante anzubieten. In letzterem Fall müssen die jeweiligen Fachplanenden prüfen, welche Produkte für die Bauherrschaft die vorteilhaftesten Angebote darstellen und entsprechende Vergabeanträge formulieren.</p>	In diesem Fall hat der Anbieter (Unternehmer, Lieferant / Hersteller) die Einhaltung der Anforderungen an die Erdbebensicherheit durch die im Angebot vorgeschlagene Lösung resp. das Produkt zu belegen (Nachweis, Zertifikat, ...). Dies ist mit den Ausschreibungsunterlagen einzufordern.	Der Hersteller der angebotenen Produkte hat die Lösung zu projektieren und die Erfüllung aller Anforderungen im Angebot darzulegen. Dies ist mit den Ausschreibungsunterlagen einzufordern.

Beispiel 5

Vergleich von Ansätzen zur Ermittlung der Erdbebeneinwirkungen auf ein SBIE

Aktuspital (Tragwerksentwurf c gemäss Anhang A)

Bemessungserdbeben gemäss SIA 261 definiert durch:

- $a_{gd} = 1,0 \text{ m/s}^2$ Erdbebenzone Z2
- $S = 1,45$ Baugrundklasse C
- $\gamma_f = 1,5$ BWK III für Nachweise der Tragsicherheit
- $q = 1,5$ Verhaltensbeiwert des Tragwerks
- $\xi = 5 \%$ viskoses Dämpfungsmass

Für ein SBIE einer definierten Eigenperiode (T_a) und Position im Tragwerk (z_a/h) werden die Erdbebeneinwirkungen mit verschiedenen Ermittlungsansätzen verglichen:

- BAFU Publikation SBIE [9]
- Formel (49) der Norm SIA 261, nur für Ermittlung der Beschleunigung
- Etagenantwortspektrum gemäss Abschnitt C7.2.3 des NTC18 [8], Ermittlung der Beschleunigung und des notwendigen Freiraums
- Berechnungsmodell: linear-elastisches 3D finite Elemente Schalenmodell des Tragwerks mit dem Antwortspektrumenverfahren. Zur Ermittlung der Beschleunigung und des notwendigen seitlichen Freiraums des SBIE: explizite Modellierung des SBIE im Tragwerksmodell als mit dem Tragwerk verbundener Einmassenschwinger (EMS).

Wichtige Parameter zur Ermittlung der Einwirkungen:

- $z_a = 17,5 \text{ m}$ Höhenlage des SBIE im Tragwerk
- $h = 28 \text{ m}$ Gesamthöhe des Tragwerks
- $T_a = 1,0 \text{ s}$ Eigenperiode des SBIE
- $T_1 = 0,6 \text{ s}$ massgebende Eigenperiode des Tragwerks
- $q_a = 1,5$ Verhaltensbeiwert des SBIE
- $\xi_a = 5 \%$ viskoses Dämpfungsmass des SBIE

Horizontale absolute Beschleunigung des SBIE				Relative horizontale Stockwerksverschiebung		Notwendiger seitlicher Freiraum damit SBIE frei schwingen kann		
BAFU Publikation SBIE [9]	Formel (49) der SIA 261 unter Annahme $T_a = 1,0\text{s}$ mit $T_1 = 0,6\text{s}$	Abschnitt C7.2.3 des NTC18 [8]	explizite Modellierung SBIE als EMS mit $T_a = 1,0\text{s}$ im Berechnungsmodell des Tragwerks	BAFU Publikation SBIE [9]	Berechnungsmodell des Tragwerks	BAFU Publikation SBIE [9]	Abschnitt C7.2.3 des NTC18 [8]	explizite Modellierung SBIE als EMS mit $T_a = 1,0\text{s}$ im Berechnungsmodell des Tragwerks
[m/s ²]	[m/s ²]	[m/s ²]	[m/s ²]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
6,8 *	4,2	3,2	2,6	39 *	9	300 *	122	59

* Die Werte gemäss BAFU Publikation sind bewusst hinsichtlich vieler Situationen abdeckend (z. B. volle Resonanz, $T_a = T_1$), sodass sich im vorliegenden Fall deutlich höhere Werte ergeben.

6.4 Nachweise

6.4.1 Nachweis der Tragsicherheit

Für Bauwerke der BWK III ist der Nachweis der Tragsicherheit für die relevanten sekundären Bauteile²¹ und ihre Verbindungen, Befestigungen und Verankerungen mit dem Bedeutungsbeiwert $\gamma_f = 1,5$ zu erbringen (Ziffer 16.7.1, Norm SIA 261). Die Bestimmung der Erdbebeneinwirkung, der zugehörigen Auswirkungen, des Tragwiderstands und die Nachweisführung erfolgen analog zu Bauwerken der BWK I und BWK II. Falls die Bestimmung der Auswirkungen oder die Bestimmung des Tragwiderstands und damit die Nachweisführung nicht rechnerisch erfolgen können, besteht die Möglichkeit, auf Versuchsergebnisse zurückzugreifen oder den Nachweis indirekt auf Basis des Vergleichs mit ähnlichen SBIE, deren Tragfähigkeitsgrenzen bekannt sind, zu erbringen.

6.4.2 Nachweis der Gebrauchstauglichkeit

Der spezifische Nachweis der Gebrauchstauglichkeit eines relevanten SBIE ist mit einem Bedeutungsbeiwert $\gamma_f = 1,0$ zu führen. Die Bestimmung der Gebrauchsgrenzen der relevanten SBIE für den spezifischen Nachweis erfolgt auf Basis von Spannungen, Dehnungen, Verschiebungen

oder Beschleunigungen. In gewissen Fällen können die Gebrauchsgrenzen direkt basierend auf Normvorgaben rechnerisch bestimmt werden. In anderen Fällen können Gebrauchsgrenzen vom Hersteller bezogen werden. Diese basieren in der Regel auf Versuchen, die produktspezifisch durch den jeweiligen Hersteller erfolgen und mittels Zertifikat belegt werden. Ausserdem können Gebrauchsgrenzen ähnlicher sekundärer Bauteile herangezogen werden, sodass ein indirekter Nachweis geführt werden kann.

Für die Mehrheit der relevanten SBIE ist der Nachweis der Gebrauchstauglichkeit nicht massgebend. Ist der allgemeine Nachweis der Gebrauchstauglichkeit (Ziffer 16.5.5.1, Norm SIA 261) und der Nachweis der Tragsicherheit der relevanten SBIE (Ziffer 16.7.1, Norm SIA 261) erbracht, sind meist auch die Anforderungen an die Gebrauchstauglichkeit der relevanten SBIE und deren Verbindungen, Befestigungen und Verankerungen erfüllt. Steht dies für ein betrachtetes SBIE durch einen Vergleich der Auswirkungen und Anforderungen der beiden Grenzzustände Tragsicherheit und Gebrauchstauglichkeit fest, erübrigt sich der spezifische Nachweis der Gebrauchstauglichkeit für dieses SBIE (Ziffer 4.4.1.2, Norm SIA 260).

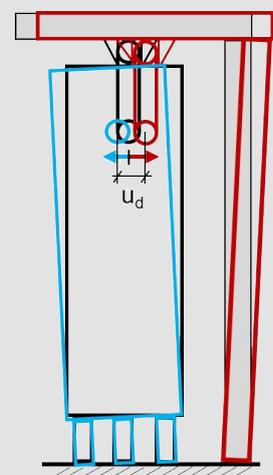
Beispiel 6

Nachweis der Gebrauchstauglichkeit eines Sauerstofftanks bzw. dessen Rohranschlusses Akutspital (Details, siehe Anhang A)

Infolge der Rohrführung und -befestigung am Tank und an der Geschossdecke muss der Rohranschluss die auftretende horizontale Stockwerksverschiebung (rot in der Skizze) plus die als gleichzeitig angenommene gegenläufige horizontale Tankbewegung (blau in der Skizze) aufnehmen können. Der Grenzwert der Horizontalverschiebung zwischen Rohr und Tank am Rohranschluss (Verschiebekapazität des Leitungsanschlusses) ist vom Hersteller als 15 mm gegeben.

Nachweis: $u_d \leq 15 \text{ mm}$

$u_d = 12 \text{ mm}$ (siehe Anhang A) → Nachweis **erfüllt**



²¹ Dies beinhaltet architektonische Elemente und die Verbindung, Befestigung und Verankerung ortsfester Installationen. Die vorliegende Publikation empfiehlt die weiteren Installationen und Einrichtungen analog zu den sekundären Bauteilen zu behandeln und spricht durchgängig von SBIE.

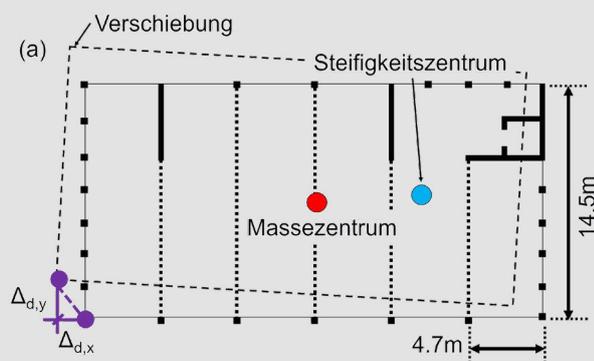
Beispiel 7**Nachweis der Gebrauchstauglichkeit von Ausfahrtstoren**

Feuerwehrstützpunkt (Details, siehe Anhang B)

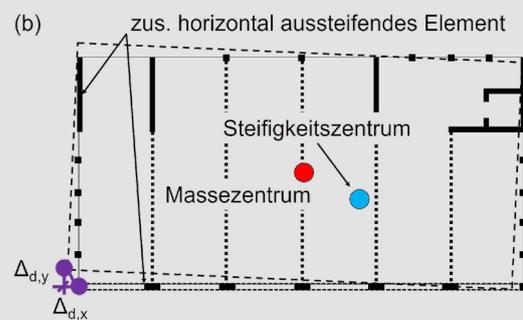
Die Tore eines Feuerwehrstützpunktes müssen auch im Erdbebenfall funktionstüchtig bleiben, um den Einsatzfahrzeugen die Ausfahrt zu ermöglichen. Es werden zwei Grundrissentwürfe untersucht.

Der Grenzwert der resultierenden Relativverschiebungen über die Höhe der Tore ist vom Hersteller als 10 mm gegeben.

Nachweis: $\sqrt{(\Delta_{d,x}^2 + \Delta_{d,y}^2)} \leq 10 \text{ mm}$

**Entwurf a**

- Geringe Translationssteifigkeit in Längsrichtung sowie Exzentrizität zwischen Masse- und Steifigkeitszentrum
- → hohe Translations- und Torsionsverschiebungen
- Nachweis **nicht erfüllt**

**Entwurf b**

- Erhöhte Translations- und Rotationssteifigkeit sowie reduzierte Exzentrizität zwischen Masse- und Steifigkeitszentrum
- → geringere Translations- und Torsionsverschiebungen
- Nachweis **erfüllt**

7 Bestehende Bauwerke

7.1 Bewirtschaftung und Bauplanung

Aufgrund der hohen Bedeutung im Ereignisfall muss die Erdbebensicherheit bestehender Bauwerke der BWK III bekannt sein. Diese Information muss in der aktuellen Nutzungsvereinbarung mit den Erfüllungsfaktoren α_{eff} gemäss Norm SIA 269/8 für Tragsicherheit und Gebrauchstauglichkeit für das Tragwerk und die relevanten SBIE festgehalten sein. Dies hilft der Eigentümerschaft strategische Entscheide zum Bauwerk im Rahmen der Immobilienstrategie zu treffen. Somit muss ein Bericht zur Überprüfung der Erdbebensicherheit gemäss gültiger Erhaltungsnorm (momentan Norm SIA 269/8) vorliegen bzw. durch im Erdbebeningenieurwesen spezialisierte Bauingenieure / innen erstellt werden. Bei Änderungen der Nutzungsanforderungen oder bei neuen Erkenntnissen über die Erdbeeinwirkung (Ziffer 6.1.2, Norm SIA 269) ist eine solche Überprüfung zu aktualisieren.

Bei Bauvorhaben an bestehenden Bauwerken der BWK III ist der aktuelle Bericht der Überprüfung der Erdbebensicherheit gemäss der Norm SIA 269/8 inkl. Massnahmenempfehlung dem Dossier der Bauwerksakten beizulegen. Ausserdem sind in der aktuellen Nutzungsvereinbarung die Erfüllungsfaktoren für Tragsicherheit und Gebrauchstauglichkeit (für das Tragwerk und die relevanten SBIE) zu ergänzen. Dabei sind auch die Mindesterfüllungsfaktoren α_{min} und die Erfüllungsfaktoren α_{int} nach Umsetzung von Massnahmen aufzuführen. Der erdbebenspezifische Inhalt des Projektpflichtenheftes bzw. der Nutzungsvereinbarung eines bestehenden Bauwerkes der BWK III ist im Folgenden beispielhaft für eine Brücke auf einer Einsatzachse aufgeführt.

7.2 Überprüfung

Der Fokus der Überprüfung der Erdbebensicherheit liegt bei bestehenden Bauwerken der BWK III neben dem Tragwerk insbesondere auf denjenigen SBIE und den entsprechenden Gebäudebereichen, die zur Gewährleistung der Funktionstüchtigkeit des Bauwerks im Erdbebenfall erforderlich sind.

7.2.1 Zustandserfassung

Die Zustandserfassung bei bestehenden Bauwerken der BWK III muss vertieft erfolgen. Wo Plangrundlagen fehlen bzw. nicht ausfindig gemacht und beschafft werden können, sind Sondierungen und vertiefte Aufnahmen durchzuführen, um fehlende Informationen zum Tragwerk und den relevanten SBIE zu erhalten. Es ist zu prüfen, ob eine spektrale Standortstudie zur Ermittlung der Erdbeeinwirkung angebracht ist. Dies trifft insbesondere dann zu, wenn relevante Unsicherheiten zum Baugrund und dessen Aufbau vorliegen oder der Aufbau des Baugrunds nicht zu den von der Norm SIA 261 vorgegebenen Baugrundklassen passt.

7.2.2 Untersuchung der konzeptionellen Gestaltung und konstruktiven Durchbildung des Bauwerks

Die konzeptionelle Gestaltung und konstruktive Durchbildung ist für das Erdbebenverhalten des Bauwerks entscheidend. Darauf abgestützt kann der Entscheid für einen Neubau anstelle von Erdbebensicherheitsmassnahmen erfolgen. Potenzielle konzeptionelle und konstruktive Schwachstellen des Tragwerks und der Foundation sind bereits im Tragwerksstudium zu erkennen, damit sie in der folgenden rechnerischen Untersuchung entsprechend berücksichtigt werden können.

7.2.3 Qualitative Beurteilung der Erdbebensicherheit der SBIE

Die relevanten SBIE werden mitsamt Ort, Funktionseinheit und Restnutzungsdauer erfasst, die Schutzziele festgelegt und die Gefährdungsbilder ermittelt sowie die qualitative Beurteilung für Tragsicherheit und für Gebrauchstauglichkeit vorgenommen (siehe Beispiel in Tabelle 4). Wird die Übersicht der SBIE erarbeitet, ist es notwendig, sich mit

Beispiel 8**Erdbebenspezifischer Inhalt des Projektpflichtenhefts bzw. der Nutzungsvereinbarung**

Stahlbetonbalkenbrücke auf kantonaler Einsatzsachse

Projektpflichtenheft

Lebenswichtige Funktion

Die über die Brücke verlaufende Einsatzachse dient im Erdbebenfall zur Rettung von Menschenleben (Transport von Verletzten in Krankenhäuser, Transport von Hilfsgütern in Krisengebiet).

Lebenswichtige Funktionseinheiten

Das gesamte Bauwerk erfüllt eine lebenswichtige Funktion und bildet somit eine ganzheitliche lebenswichtige Funktionseinheit.

Nutzungsvereinbarung

Die lebenswichtige Funktion und die entsprechende Funktionseinheiten sind im Projektpflichtenheft festgelegt.

Bauwerksklasse

BWK III (infolge der lebenswichtigen Funktion gemäss Projektpflichtenheft), Bedeutungsbeiwert Tragsicherheit $\gamma_f = 1,5$, Bedeutungsbeiwert Gebrauchstauglichkeit $\gamma_f = 1,0$

Schutzziele

Die Funktionstüchtigkeit der Brücke ist zu gewährleisten und der Personenschutz ist sicherzustellen. Darüber hinausgehende besonders wertvolle Einrichtungen sind nicht vorhanden und es besteht keine Umweltgefährdung durch das Bauwerk.

Standortspezifische Erdbebenparameter

Standortspezifisches Antwortspektrum basierend auf spektraler Standortstudie mit:

$$\alpha_{gd} = 1,6 \text{ m/s}^2 \text{ sowie } S = 1,0, T_B = 0,12 \text{ s}, T_C = 0,63 \text{ s}, T_D = 1,5 \text{ s}$$

(Diese Werte sind bei der Anwendung der in Ziffern 16.2.3 und 16.2.4 der Norm SIA 261 definierten Formulierungen zur Ermittlung der Antwortspektren zu verwenden.)

Erdbebengerechtes Tragwerkskonzept

Es handelt sich um eine als Durchlaufträger konzipierte vierfeldrige Stahlbetonbalkenbrücke. Der vertikale Lastabtrag erfolgt von den Balkenelementen (Hohlkasten) über Auflagerelemente (Lager) in die Brückenpfeiler und von dort weiter in den Baugrund.

Die horizontale Aussteifung in Brückenlängsrichtung erfolgt im IST-Zustand über einen der Pfeiler. Auf den anderen Pfeilern und bei den beiden Widerlagern ist der Brückenträger längs verschieblich gelagert. Die horizontale Aussteifung in Brückenquerrichtung erfolgt durch alle Pfeiler sowie die beiden Widerlager.

Tragwerksverhalten

Die konstruktive Durchbildung der vorhandenen Bewehrung hat ein nicht-duktilen Verhalten des Tragwerks bei Erdbebeneinwirkung zur Folge. Bei der Planung der Verstärkungsmassnahmen wird ein Verhaltensbeiwert $q = 2$ verwendet.

Erdbebensicherheit Ist-Zustand

$\alpha_{\text{eff}} = 0,5$ (Tragwerk), $\alpha_{\text{eff}} > 1,0$ (SBIE)

Schwachstellen: Querkrafttragfähigkeit des aussteifenden Brückenpfeilers und Grundbruch der Pfeilerfundation unter Erdbebeneinwirkung in Brückenlängsrichtung, vertikaler Versatz bei Fahrbahnübergang. (siehe Bericht der Erdbebenüberprüfung des Bauwerks BE_0888.0-01 vom 31.3.2022)

Erdbebensicherheit Soll-Zustand

$\alpha_{\text{int}} = 1,0$ (Tragwerk), $\alpha_{\text{int}} > 1,0$ (SBIE)

für die vorgesehenen Massnahmen zu Verbesserung der Erdbebensicherheit, siehe nächsten Punkt.

Erdbebensicherheitsmassnahmen

Als Erdbebensicherheitsmassnahmen werden die längs verschieblichen Auflagerelemente (Lager) auf den Brückenpfeilern durch feste Lager ersetzt, damit die Erdbebeneinwirkung von allen Pfeilern abgetragen wird. Zusätzlich werden die bestehenden Pfeiler und deren Foundation punktuell verstärkt, um ihre Robustheit aufgrund der Veränderung des statischen Systems zu erhöhen (siehe Konzeptpläne im Anhang).

Erdbebensicherheit SBIE

Für die Planung und phasengerechte Behandlung der Erdbebensicherheit der SBIE wird das Dokument «Erdbebensicherheit SBIE» erstellt. Die vorhandenen SBIE (Beleuchtung, Geländer, etc.) werden im Zuge der Instandsetzung und Verstärkung des Bauwerks ersetzt.

der Eigentümer- und Betreiberschaft darüber abzustimmen, welche SBIE im Bauwerk vorhanden sind, wo sie sich befinden (Funktionseinheit) und ob sie relevant sind, die lebenswichtige Funktion des Bauwerks zu erhalten. Die qualitative Beurteilung durch im Erdbebeningenieurwesen spezialisierte Bauingenieure / innen teilt die relevanten SBIE in eine der vier Kategorien ein, (siehe Abbildung 1):

- ausreichend sicher,
- einfache / kleinere Massnahmen erforderlich,
- weitere vertiefte quantitative Untersuchung erforderlich,
- Aufwand zur Beurteilung unverhältnismässig gross.

7.2.4 Rechnerische Untersuchung der Erdbebensicherheit

Die rechnerische Untersuchung ist für das Tragwerk und für die SBIE, für die eine weitere vertiefte Untersuchung erforderlich ist, durchzuführen. Beim Tragwerk ist meist eine detaillierte Untersuchung mit entsprechenden vertieften Berechnungsverfahren erforderlich. Als vertieftes Verfahren kann das Antwortspektrenverfahren oder ein verformungsbasiertes Verfahren, wie z. B. die Push-Over Analyse, angewendet werden. Eine generelle rechnerische Untersuchung des Tragwerks kann nur zur frühzeitigen Entscheidungshilfe, ob das bestehende Bauwerk durch

einen Neubau ersetzt werden soll, herangezogen werden oder bei einer a priori vermuteten ausreichenden Erdbebensicherheit einen effizienten Nachweis darstellen. Bei den SBIE ist der Detaillierungsgrad der rechnerischen Untersuchung grundlagen- und situationsbedingt SBIE-spezifisch festzulegen. Die Erfahrung zeigt, dass nur eine geringe Menge der relevanten SBIE sinnvollerweise rechnerisch untersucht werden können oder müssen.

Die Nachweise der Tragsicherheit und der Gebrauchstauglichkeit des Tragwerks und der SBIE sind analog wie für Neubauten zu führen.

7.2.5 Beurteilung der Erdbebensicherheit

Für bestehende Bauwerke der BWK III ist sowohl für das Tragwerk als auch für die relevanten SBIE ein minimaler Erfüllungsfaktor von $\alpha_{\text{min}} = 0,4$ für den Nachweis der Tragsicherheit resp. von $\alpha_{\text{min}} = 0,7$ für den Nachweis der Gebrauchstauglichkeit festgelegt (Ziffer 9.1.5 und 9.2.4, Norm SIA 269/8).

7.2.6 Massnahmenempfehlung

Wann immer möglich hat ein bestehendes Bauwerk der BWK III aufgrund seiner hohen Bedeutung im Ereignisfall die Normanforderungen sowohl für das Tragwerk als auch für die relevanten SBIE vollständig zu erfüllen ($\alpha_{eff} \geq 1,0$). Ein bestehendes Bauwerk der BWK III mit einem Sicherheitsdefizit ($\alpha_{eff} < 1,0$) sollte auf $\alpha_{int} \geq 1,0$ verbessert oder durch einen Neubau ersetzt werden. Die gemäss Norm SIA 269/8 erhöhte Zahlungsbereitschaft für die Sicherstellung der Infrastrukturfunktion bei Bauwerken der BWK III verdeutlicht die Notwendigkeit von allfälligen Erdbebensicherheitsmassnahmen.

Aus der Überprüfung der relevanten SBIE ergeben sich folgende vier grundsätzliche Massnahmenempfehlungen, (siehe Abbildung 1):

- keine Massnahme erforderlich ($\alpha_{eff} \geq 1,0$),
- einfache / kleinere Massnahme erforderlich, i. d. R. umsetzbar im laufenden Betrieb, z. B. Erstellen von einfachen Halterungen / Verankerungen von nicht (ausreichend) befestigten SBIE,
- umfangreichere Massnahme zu erarbeiten und im Rahmen eines Instandsetzungsprojekts umzusetzen,
- Ersatz im ordentlichen bzw. vorgezogenen Erneuerungszyklus.

Weisen bestehende relevante SBIE ein Sicherheitsdefizit ($\alpha_{eff} < 1,0$) auf und sind keine einfachen / kleineren Massnahmen zur Verbesserung der Erdbebensicherheit möglich, ist häufig deren Ersatz zweckmässiger als umfangreiche Untersuchungen und darauf abgestützte aufwendige Erdbebensicherheitsmassnahmen. Dies trifft auch zu, wenn der Aufwand zur Beurteilung unverhältnismässig gross ist.

Sofern Massnahmen für eine Verbesserung der Erdbebensicherheit des Bauwerks gemäss Norm SIA 269/8, Ziffer 10, nicht verhältnismässig sind, kann für bestehende Bauwerke der BWK III ein bestehendes oder nach den Massnahmen verbleibendes Sicherheitsdefizit ($0,4 < \alpha_{eff}$ oder $\alpha_{int} < 1,0$) akzeptiert werden. Es ist immer eine Massnahmenempfehlung auf $\alpha_{int} = 1,0$ auszuarbeiten (Ziffer 9.4, Norm SIA 269/8) . Die Eigentümerschaft ist in diesem Fall frei, nicht verhältnismässige Massnahmen nicht oder erst später umzusetzen. Die Begründung dafür und die Strategie zur zukünftigen Behebung des verbleibenden Sicherheitsdefizit (zukünftige Massnahmen oder Ersatzneubau), sind in der Nutzungsvereinbarung festzuhalten.

Abbildung 1
Massnahmenempfehlung auf Basis der Beurteilung

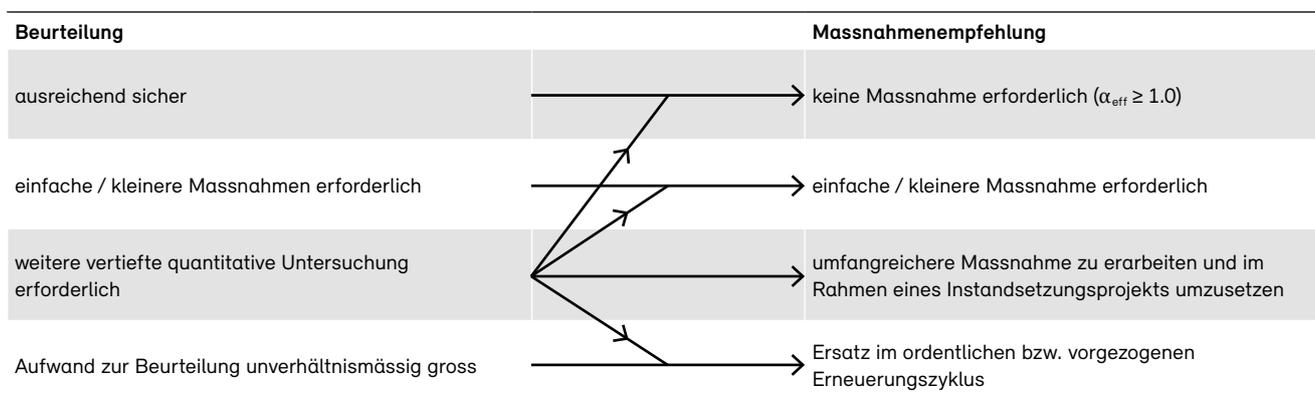


Tabelle 4

Beispiel für Aufnahme- und Beurteilungstabelle der relevanten SBIE in einem bestehenden Bauwerk

SBIE	Standort	Funktionseinheit	Anzahl / Länge	Schutzziel			Gefährdungsbild	Restnutzungsdauer	Beurteilung			Bemerkungen zur Beurteilung	Massnahmenempfehlung *				Bemerkungen zur Massnahmenempfehlung
				Lebenswichtige Funktion	Personenschutz	Schadensbegrenzung			ausreichend sicher	einfache, kleinere Massnahmen erforderlich	weitere Untersuchungen erforderlich		nicht beurteilbar	keine Massnahme erforderlich	einfache, kleinere Massnahmen erforderlich	umfangreichere Massnahme erforderlich	
Sekundäre Mauerwerkswand, Backstein, t = 12 cm	EG, 1.OG	Eingangsbereich, Bürotrakt	15 m	x	x	x	umkippen	30 Jahre	ausreichend sicher	x	x	Untersuchung der Tragsicherheit nötig → Ergebnis: Erdbebensicherheit nicht ausreichend	x			Anbringung von horizontalen Wandkopfhaltungen	
	EG – 3.OG	Fassade	div.	x	x	x	herabstürzen von Teilen	10 Jahre	x	x	Untersuchung der Tragsicherheit nötig → Ergebnis: Erdbebensicherheit ausreichend	x			Tragsicherheit ausreichend		
Schaltschränke	1.UG	Einsatzzeitzentrale	4	x	x	x	umkippen verrutschen	5 Jahre	x	x	gegen Gleiten und Kippen sichern		x			Kopfhaltung anbringen, Fusspunkte anschrauben	
Abgehängte Decke	1.UG – 1.OG	u. a. Einsatzzeitzentrale	800 m ²	x	x	x	abstürzen von Deckenelementen	10 Jahre	x	x	Decke horizontal nicht ausgesteift, Deckenelemente nur eingesetzt, nicht gegen herunterfallen gehalten	x	x	x		Deckenelemente in BWK III Funktionseinheiten gegen Herunterfallen sichern (z. B. mittels Seilen), Decke nach Ablauf der Restnutzungsdauer durch eine erdbebengerechte Decke ersetzen	

* direkt als Folge der qualitativen Beurteilung oder nach, d.h. als Folge der weiteren Untersuchung

Literatur

- [1] SIA 260, Grundlagen der Projektierung von Tragwerken, 2013
- [2] SIA 261, Einwirkungen auf Tragwerke, 2020
- [3] SIA 269/8, Erhaltung von Tragwerken – Erdbeben, 2017
- [4] SIA 179, Befestigungen in Beton und Mauerwerk, 2019
- [5] SIA 112, Modell Bauplanung, 2014
- [6] EN 1992-4/NA, Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Teil 4: Bemessung von Befestigungen in Beton – Nationaler Anhang NA zu SN EN 1992-4:2018, 2019
- [7] EN 1998-1, Eurocode 8: Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben – Teil1: Grundlagen, Erdbeneinwirkung und Regeln für Hochbauten, 2004
- [8] NTC18: Norme Tecniche per le Costruzioni NTC, D.M. 17.1.2018, Suppl. ordinario n. 8 alla Gazzeta Ufficiale, Serie generale Nr. 42 (Italienisch), 2018.
- [9] BAFU (Hrsg.) 2016 Erdbebensicherheit sekundärer Bauteile und weiterer Installationen und Einrichtungen. Empfehlungen und Hinweise für die Praxis. Stand 2023. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Wissen, Nr. UW-1643-D.
- [10] ESTI Nr. 248, Richtlinie, Erdbebensicherheit der elektrischen Energieverteilung in der Schweiz, 2020
- [11] ERI Richtlinie 2003 – Revision 2.1, Planung, Bau und Betrieb von Rohrleitungsanlagen über 5 bar, Eidgenössisches Rohrleitungsinspektorat, 2009
- [12] BAFU, Merkblatt, Nachweis der Erdbebensicherheit bei Gebäuden von Nebenanlagen von Rohrleitungsanlagen unter Bundesaufsicht, 2019
- [13] BAV Richtlinie, Aktenzeichen BAV-511.5-26/3/10/3, Erdbebensicherheit vom Eisenbahnanlagen, 2020
- [14] BAZL, Leitfaden, Beurteilung der Erdbebensicherheit bei der Genehmigung von Bauvorhaben der Zivilluftfahrt, 2020
- [15] 814.12 Verordnung vom 27. Februar 1991 über den Schutz vor Störfällen (Störfallverordnung, StFV), Schweizer Bundesrat, Stand vom 1.8.2019
- [16] 732.1 Kernenergiegesetz (KEG) vom 21. März 2003, Bundesversammlung der Schweizerischen Eidgenossenschaft, Stand vom 1.1.2022
- [17] 732.11 Kernenergieverordnung (KEV) vom 10. Dezember 2004, Schweizerischer Bundesrat, Stand vom 1.2.2019
- [18] 721.101 Bundesgesetz über die Stauanlagen (Stauanlagengesetz StAG) vom 01. Oktober 2010, Bundesversammlung der Schweizerischen Eidgenossenschaft, Stand vom 1.1.2013
- [19] 721.101.1 Stauanlagenverordnung (StAV) vom 17. Oktober 2012, Schweizerischer Bundesrat, Stand vom 1.8.2018

Anhang A: Beispiel Akutspital

Ausgangslage:

- Lebenswichtige Funktion: Akutspital, BWK III
- Erdbebeneinwirkung: Erdbebenzone Z2, Baugrundklasse BGK C
- Tragsicherheit des Tragwerks und der SBIE: bereits nachgewiesen
- Gebrauchstauglichkeit des Bauwerks: *wird anhand von drei Tragwerksentwürfen nachgewiesen*
- Gebrauchstauglichkeit eines Sauerstofftanks: *wird nachgewiesen*
- Bedeutungsbeiwert für Nachweise der Gebrauchstauglichkeit $\gamma_f = 1,0$
- Berechnung: Antwortspektrenverfahren (kraftbasiert) mit linear-elastischem 3D finite Elemente Schalenmodell
- Zufällige Exzentrizität berücksichtigt (Ziffer 16.5.2.7, Norm SIA 261)
- Richtungsüberlagerung der horizontalen Komponenten der Erdbebeneinwirkung gemäss EC8 (1.0 betrachtete Richtung + 0,3 orthogonale Richtung)
- Tragwerk: Stahlbetontragwerk, 8 Geschosse
- Steifigkeitsreduktion aufgrund Rissbildung: Decken auf 30 %, Stahlbetonwände auf 50 % der ungerissenen Steifigkeit
- Tragwerksverhalten: nicht-duktiler Bemessung mit Verhaltensbeiwert $q = 2$

1) Nachweis der Gebrauchstauglichkeit des Bauwerks

Einleitung:

- Gebrauchstauglichkeit des Bauwerks: Nachweis für duktile und spröde Einbauten (Ziffer 16.5.5.3, Norm SIA 261)
- Gebrauchsgrenze: horizontale Auslenkung pro Stockwerk von 1/200 der Stockwerkshöhe für duktile und 1/500 der Stockwerkshöhe für spröde Einbauten
- Rechnerische Nachweisführung in Tabelle 5

Verschiebebedarf

Für die betrachtete horizontale Auslenkung pro Stockwerk ist die grösste im Grundriss in eine Hauptrichtung auftretende Auslenkung zu verwenden.²² Im vorliegenden Beispiel ist die Position der massgebenden Auslenkungen in Abb. 2 markiert. Bei der verwendeten kraftbasierten Analyse werden die Auslenkungen als die bei der Bemessungseinwirkung

auftretenden linear-elastischen Verschiebungen multipliziert mit dem Verhaltensbeiwert q ermittelt. Die zufällige Exzentrizität wird gemäss der Norm 261, Ziffer 16.5.2.7 berücksichtigt. Weil physikalisch während eines Erdbebens ein gleichzeitiges Wirken der Komponenten der Erdbebeneinwirkung in die Hauptrichtungen, nicht zu jeweils 100 %, vorliegt, werden im Beispiel die Resultate mit Richtungsüberlagerung der Einwirkung gem. EC8-1:2004 Abschnitt 4.3.3.5.1(3) [7] berücksichtigt.²³

Tragwerksentwurf (a)

Das Gebäude (Abb. 2a) hat einen innenliegenden aussteifenden Erschliessungskern und Pendelstützen ohne Beitrag zur Horizontalaussteifung. Der aussteifende Erschliessungskern ist leicht exzentrisch angeordnet und unregelmässig ausgebildet. Dies führt zu einer grossen Exzentrizität zwischen Steifigkeitsmittelpunkt und Massenzentrum und in Kombination mit einer verhältnismässig geringen Torsionssteifigkeit im Grundriss zu starker Torsion mit relevanten Torsionsverformungen im Erdbebenfall. Ausserdem weist der Erschliessungskern eine geringe Horizontalsteifigkeit auf, was grosse Translationsverschiebungen verursacht. Der Entwurf ist in dieser Form nicht erdbebengerecht. Dies wird durch den Nachweis der Gebrauchstauglichkeit verdeutlicht, denn weder der Grenzwert für spröde noch jener für duktile Einbauten kann eingehalten werden.

Tragwerksentwurf (b)

Der zweite Entwurf (Abb. 2b) hat eine zusätzliche aussteifende Wand in x-Richtung. Diese ist im Grundriss so angeordnet, dass der Steifigkeitsmittelpunkt und das Massenzentrum weniger Abstand aufweisen und die Torsionssteifigkeit des Tragwerks höher ist, sodass weniger Torsion auftritt. Weiter ist die Translationssteifigkeit des Tragwerks in x-Richtung höher. In diesem Entwurf ist der Nachweis der Gebrauchstauglichkeit für duktile Einbauten erfüllt. Um den Nachweis für spröde Einbauten ebenfalls zu erfüllen, sind zusätzliche aussteifende Elemente notwendig.

²² sofern es sich nicht um lokale Werte handelt, die weder für das Tragwerksverhalten noch für das Verhalten relevanter SBIE massgebend sind.

²³ Richtungsüberlagerung der horizontalen Komponenten der Erdbebeneinwirkung gem. EC8-1:2004 Abschnitt 4.3.3.5.1(3): 1,0 betrachtete Richtung + 0,3 orthogonale Richtung.

Tragwerksentwurf (c)

Im dritten Entwurf (Abb. 2c) ist der ursprüngliche Kern verschoben und zwei weitere Kerne steifen das Tragwerk aus. Der Steifigkeitsmittelpunkt und das Massenzentrum liegen nahe beieinander und die Torsionssteifigkeit des Tragwerks ist sehr hoch. Es tritt wenig Torsionsverformung im Erdbebenfall auf. Weiter ist die Translationssteifigkeit des Tragwerks in beide Richtungen wesentlich grösser als in den ersten beiden Entwürfen. Somit sind die resultierenden Verschiebungen signifikant kleiner. In dieser Konfiguration ist der Nachweis der Gebrauchstauglichkeit für duktile Einbauten klar erfüllt. Der Nachweis für spröde Einbauten ist ebenfalls erfüllt.

Fazit

Um den Gebrauchstauglichkeitsnachweis für spröde Einbauten erfüllen zu können ist ein Gebäude dieser Höhe wie im Entwurf (c) auszusteifen. Weitere Möglichkeiten zur Aussteifung des Tragwerks, ohne dem Hinzufügen von zwei zusätzlichen Kernen, wären in der Fassadenebene angebrachte Wandscheiben oder ein verändertes statisches System. So könnten die Pendelstützen der Fassade durchgehend durch in massiven Riegeln eingespannte Pfeiler ersetzt werden, was die Fassaden in biegesteife Rahmen überführen würde.

Abbildung 2

Grundriss des Bauwerks inkl. massgebende Verschiebefigur und Stockwerksverschiebung, (a) nicht erdbebengerechter Grundriss, (b) erdbebengerechter Grundriss zur Einhaltung des Grenzwerts für duktile Einbauten, (c) erdbebengerechter Grundriss zur Einhaltung des Grenzwerts für spröde Einbauten. Die gelben Flächen zeigen Deckenöffnungen

(Nebenbemerkung: Aufgrund der gedrängten Anordnung der Deckenöffnungen und der dadurch geometrisch schlechten Anbindung gewisser Kernwände an die Decken sind in diesem Beispiel bei diesen Wänden starke Anbindungsbewehrungen in der Deckenebene von den Wänden in die Decken erforderlich, was bei einem Neubau im Gegensatz zu einem bestehenden Bauwerk bautechnisch relativ einfach umgesetzt werden kann).

Grundrisse der drei Tragwerksentwürfe

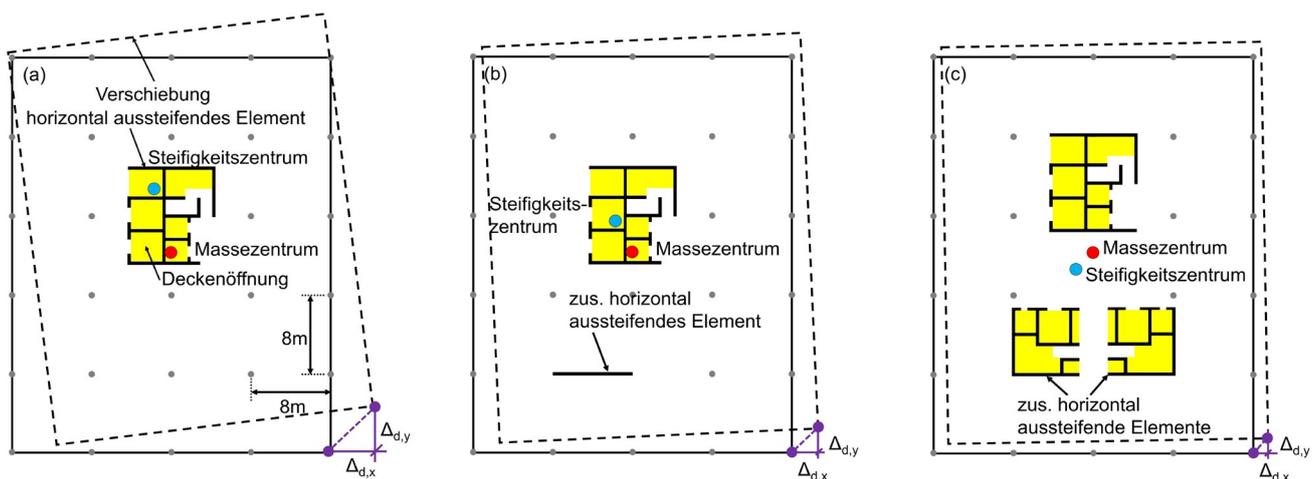


Abbildung 3

Bemessungsspektren der horizontalen Einwirkung. Zusätzlich wird die Position der ersten Eigenperiode pro Tragwerksentwurf gemäss Abb. 2a-c gezeigt, was einen groben Vergleich der Verschiebebedarfe im Steifigkeitszentrum für die drei Entwürfe ermöglicht.

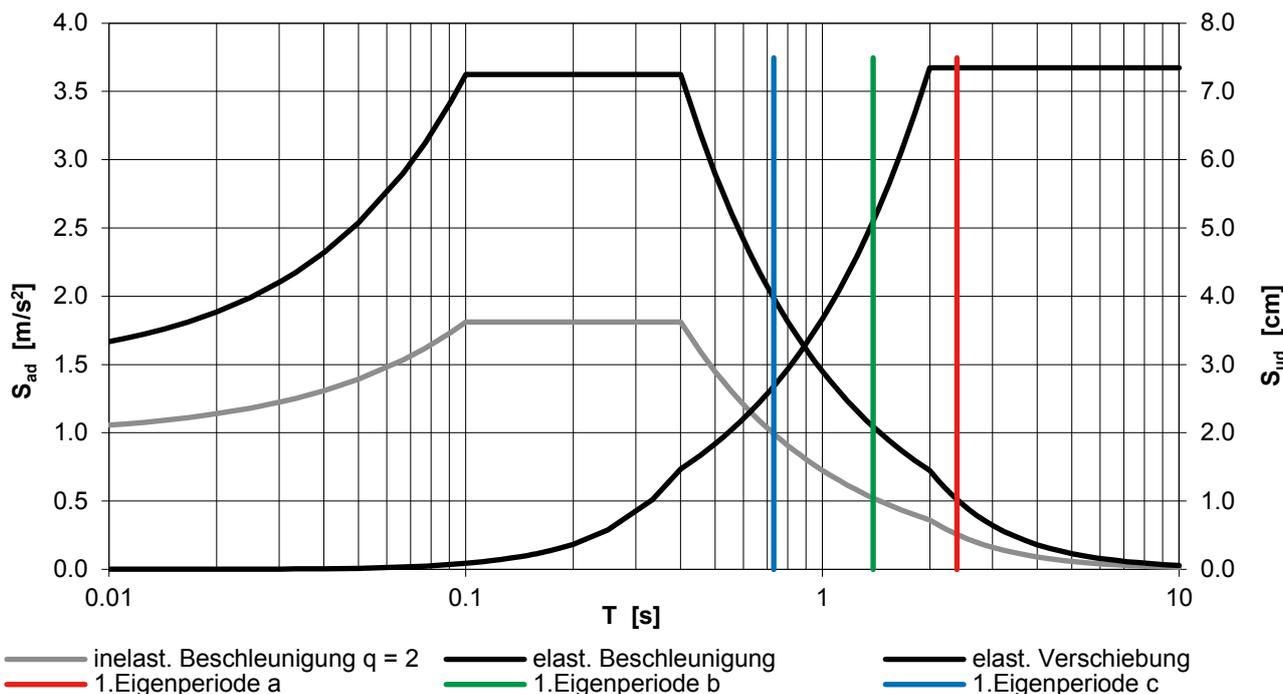


Tabelle 5

Nachweisführung

mit Stockwerkshöhe $h_{st} = 3,5 \text{ m}$

		Tragwerksentwurf			
		(a)	(b)	(c)	
Grenzverschiebung für duktile Einbauten	$\Delta_{Rd,duktil} \text{ [mm]}$		17,5		$= h_{st}/200$... Grenzwert der horizontalen Stockwerksverschiebung
Verschiebung x-Rtg.	$\Delta_{d,x} \text{ [mm]}$	19,6	11,6	7,3	Stockwerksverschiebung in x-Richtung an massgebender Stelle
Erfüllungsgrad x-Rtg.	$n \text{ [-]}$	0,9	1,5	2,4	$= \Delta_{Rd,duktil}/\Delta_{d,x}$ (wenn $\geq 1,0$ Nachweis erfüllt)
Verschiebung y-Rtg.	$\Delta_{d,y} \text{ [mm]}$	15,1	9,7	6,6	Stockwerksverschiebung in y-Richtung an massgebender Stelle
Erfüllungsgrad y-Rtg.	$n \text{ [-]}$	1,2	1,8	2,7	$= \Delta_{Rd,duktil}/\Delta_{d,y}$ (wenn $\geq 1,0$ Nachweis erfüllt)

		Tragwerksentwurf			
		(a)	(b)	(c)	
Grenzverschiebung für spröde Einbauten	$\Delta_{Rd,spröd} \text{ [mm]}$		7,0		$= h_{st}/500$... Grenzwert der horizontalen Stockwerksverschiebung
Verschiebung x-Rtg.	$\Delta_{d,x} \text{ [mm]}$	19,6	11,6	7,3	Stockwerksverschiebung in x-Richtung an massgebender Stelle
Erfüllungsgrad x-Rtg.	$n \text{ [-]}$	0,4	0,6	1,0	$= \Delta_{Rd,spröd}/\Delta_{d,x}$ (wenn $\geq 1,0$ Nachweis erfüllt)
Verschiebung y-Rtg.	$\Delta_{d,y} \text{ [mm]}$	15,1	9,7	6,6	Stockwerksverschiebung in y-Richtung an massgebender Stelle
Erfüllungsgrad y-Rtg.	$n \text{ [-]}$	0,5	0,7	1,1	$= \Delta_{Rd,spröd}/\Delta_{d,y}$ (wenn $\geq 1,0$ Nachweis erfüllt)

2) Nachweis der Gebrauchstauglichkeit eines Sauerstofftanks im Bauwerk

Einleitung:

- Gebrauchstauglichkeit eines Sauerstofftanks als relevantes SBIE: Zur Erhaltung der lebenswichtigen Funktion des Bauwerks im Erdbebenfall müssen der Sauerstoffausfluss aus dem Tank und der Weitertransport funktionieren, d. h. der Anschluss kann auftretende Relativverschiebung zwischen angeschlossenem Rohr und Tank aufnehmen.
- Gebrauchsgrenze: max. horizontal aufnehmbare Relativverschiebung von 15 mm, aus Zertifikat des Herstellers bekannt.
- Rechnerische Nachweisführung in Tabelle 6

Anforderungen

Der Inhalt des Sauerstofftanks wird zum Erhalt der lebenswichtigen Funktion des Akutspitals benötigt. Der Tank steht im 6. Geschoss des 8-stöckigen Gebäudes. Verschiedene Nachweise der Tragsicherheit zur Sicherstellung der Standicherheit des Tanks infolge Erdbebeneinwirkung wurden bereits erbracht. Im Grenzzustand der Tragfähigkeit dürfen die Rohranschlüsse des Tanks beschädigt werden, da die Funktionstüchtigkeit nicht mehr gefordert ist. Im Gegensatz

dazu, muss der Tank inkl. Rohranschlüsse im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit funktionieren. Der Nachweis der Gebrauchstauglichkeit des Tanks inkl. der Rohranschlüsse ist erforderlich (Abb. 4).

Verschiebebedarf und -vermögen sowie Nachweis

Der Rohranschluss muss die maximal auftretende Stockwerksverschiebung, da das Rohr an der Geschossdecke am Tragwerk befestigt ist, plus die als gleichzeitig angenommene gegenläufige Tankbewegung aufnehmen können. Die maximal auftretende horizontale Stockwerksverschiebung im 6. Geschoss wird aus der Finite-Elemente-Berechnung herausgelesen, siehe **Teil 1) und Tragwerksentwurf (c)** des Beispiels und beträgt ca. 7 mm. Die horizontale Tankverschiebung beim Rohranschluss ergibt sich aus den Berechnungen des Tanks und beträgt ca. 5 mm. Es resultiert demnach ein Verschiebebedarf am Rohranschluss von total ca. 12 mm. Beim vom Planer ausgewählten und ausgeschriebenen flexiblen Tank-Rohr-Anschlussystem belegt ein Zertifikat, dass Relativverschiebungen zwischen Rohr und Tank von bis zu 1,5 cm aufgenommen werden können (Bemessungswert des Verschiebevermögens). Der Nachweis ist somit erfüllt.

Abbildung 4

Illustration von einigen durchzuführenden Nachweisen der Tragsicherheit (Aufzählung nicht abschliessend) und der Gebrauchstauglichkeit, um die Standsicherheit und den Funktionserhalt im Erdbebenfall zu gewährleisten.

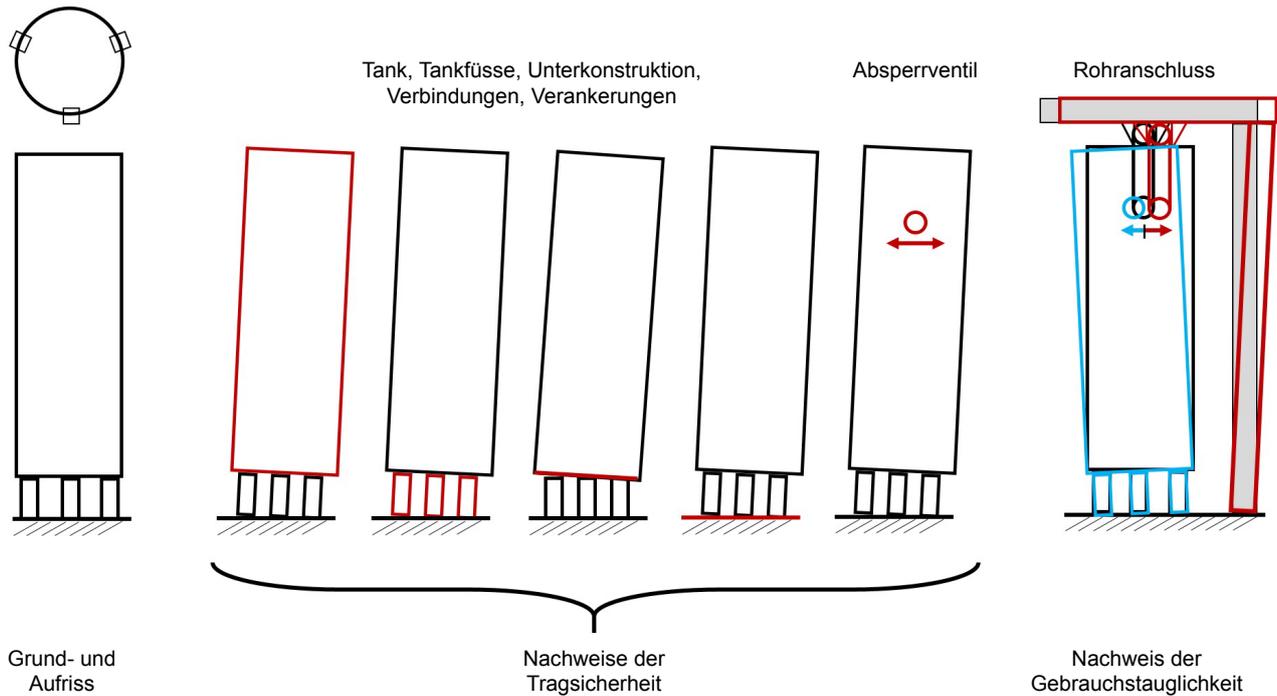


Tabelle 6

Nachweisführung

Verschiebekapazität	$u_{Rd,Anschl}$ [mm]	15	Verschiebekapazität des Leitungsanschlusses an Tank
Verschiebung	$u_{d,Anschl}$ [mm]	12	Verschiebebedarf am Anschluss: 7 mm Stockwerksverschiebung (Rot) gem. Berechnungen in Teil 1) für Tragwerksentwurf (c) + 5 mm Tankverschiebung auf Höhe Anschluss (Blau) infolge Verformung des Tanks aus seiner Schwingung gem. Tankberechnungen
Erfüllungsgrad	n [-]	1,3	u_{Rd}/u_d (wenn $\geq 1,0$ Nachweis erfüllt)

Anhang B: Beispiel

Feuerwehrstützpunkt

Ausgangslage:

- Lebenswichtige Funktion: Feuerwehrstützpunkt, BWK III
- Erdbebeneinwirkung: Erdbebenzone Z3a, Baugrundklasse BGK B
- Tragsicherheit des Tragwerks und der SBIE: bereits nachgewiesen
- Gebrauchstauglichkeit des Bauwerks: bereits nachgewiesen
- Gebrauchstauglichkeit der Hallentore: *wird nachgewiesen*
- Bedeutungsbeiwert für Nachweis der Gebrauchstauglichkeit: $\gamma_f = 1,0$
- Berechnung: Antwortspektrenverfahren (kraftbasiert) mit linear-elastischem 3D finite Elemente Schalenmodell
- Zufällige Exzentrizität berücksichtigt (Ziffer 16.5.2.7, Norm SIA 261)
- Richtungsüberlagerung der horizontalen Komponenten der Erdbebeneinwirkung gemäss EC8 (1,0 betrachtete Richtung + 0,3 orthogonale Richtung)
- Tragwerk: Holz-Stahlbeton-Mischtragwerk (Stahlbeton im EG, Holzwände und Holz-Stahlbetonverbundecken in den OGs), 4 Geschosse
- Steifigkeitsreduktion aufgrund Rissbildung: Stahlbetondecken auf 30 %, Stahlbetonwände auf 50 % der ungerissenen Steifigkeit
- Tragwerksverhalten: nicht-duktile Bemessung mit Verhaltensbeiwert: $q = 2$

Nachweis der Gebrauchstauglichkeit der Hallentore

Einleitung:

- Gebrauchstauglichkeit der Hallentore als relevante SBIE: Zur Erhaltung der lebenswichtigen Funktion des Bauwerks im Erdbebenfall müssen die Hallentore sich auch nach einem Erdbeben öffnen können, d. h. der Öffnungsmechanismus muss die auftretenden Relativverschiebungen aufnehmen können.
- Gebrauchsgrenze: max. horizontale Relativverschiebung im Erdgeschoss = 10 mm gemäss Angaben des Herstellers der Tore.
- Rechnerische Nachweisführung in Tabelle 7

Anforderungen und Verschiebvermögen

Die Tore eines Feuerwehrstützpunktes müssen auch im Erdbebenfall funktionstüchtig bleiben, um den Einsatzfahrzeugen die Ausfahrt zu ermöglichen. Vom Hersteller der Tore ist bekannt, dass die verwendeten Tore bis zu einer horizontalen resultierenden Relativverschiebung des Tragwerks über die Höhe des Tors von 10 mm benutzbar bleiben. Bei grösseren Auslenkungen kann das einwandfreie Funktionieren des Öffnungsmechanismus nicht mehr garantiert werden. Es ist zu untersuchen, ob die horizontale resultierende Stockwerkschieflage des Tragwerks im Erdbebenfall unter dem oben genannten Grenzwert verbleibt.

Tragwerksentwürfe

Es werden zwei verschiedene Konfigurationen des Grundrisses im Erdgeschoss untersucht, wie in Abb. 5 dargestellt. Im ersten Entwurf (a) werden zwischen den Toren Pendelstützen angeordnet. Ausserdem weist ein Grossteil des Erdgeschosses eine vollverglaste Fassade mit Pendelstützen auf. Nur das Treppenhaus und der Liftschacht sowie eine weitere Innenwand können zur Horizontalaussteifung herangezogen werden. Dadurch ist das Steifigkeitszentrum stark exzentrisch und die Horizontalsteifigkeit in x- und y-Richtung relativ gering, was zu verhältnismässig grossen Torsions- und Translationsverschiebungen führt. Im zweiten Entwurf (b) ist anstelle der Pendelstützen eine massive Rahmenkonstruktion um die Tore angeordnet. Des Weiteren ist die Fensterreihe an der linken Seite teilweise durch eine Wandscheibe verschlossen. Diese Massnahmen reduzieren die Exzentrizität des Steifigkeitsmittelpunktes und erhöhen die Horizontalsteifigkeit des Gebäudes in beide Richtungen. Somit fallen die Horizontalverschiebungen im Erdbebenfall deutlich geringer aus.

Abbildung 5

Grundriss des Erdgeschosses des Bauwerks inkl. massgebende Verschiebefigur und Stockwerksverschiebung, (a) Tragwerksentwurf mit Pendelstützen zwischen den Toren, (b) Tragwerksentwurf mit einer Rahmenkonstruktion um die Tore und einer zusätzlichen Aussenwand.

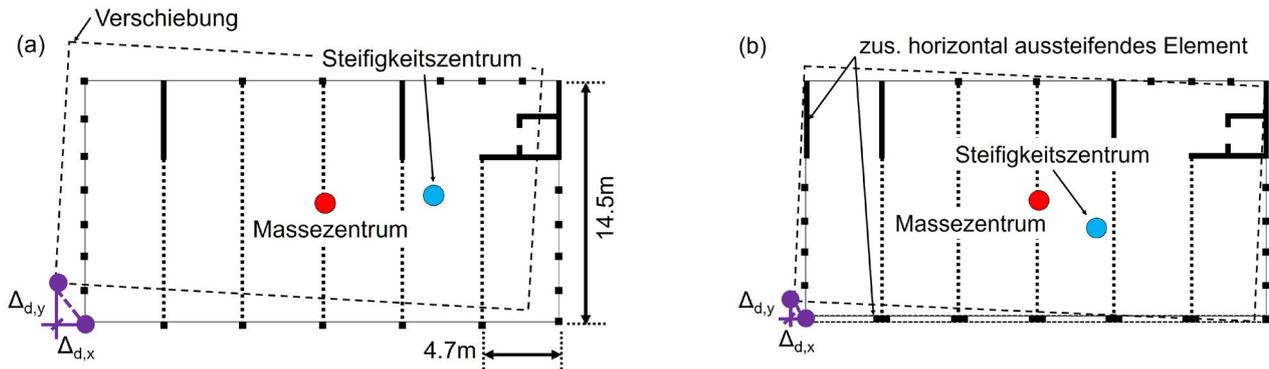


Tabelle 7

Nachweisführung

mit Stockwerkshöhe $h_{st} = 3,5\text{ m}$

		Tragwerksentwurf		
		(a)	(b)	
Grenzverschiebung	$\Delta_{Rd,res}$ [mm]	10,0		Grenzwerte der horizontalen Verschiebung Oberkannte Tor gemäss Hersteller
Verschiebung x-Rtg.	$\Delta_{d,x}$ [mm]	7,8	4,7	Verschiebung in x-Richtung an massg. Stelle
Verschiebung y-Rtg.	$\Delta_{d,y}$ [mm]	9,7	3,8	Verschiebung in y-Richtung an massg. Stelle
Resultierende	$\Delta_{d,res}$ [mm]	12,4	6,0	Resultierende der Verschiebungen
Erfüllungsgrad	n [-]	0,80	1,65	$\Delta_{Rd,res}/\Delta_{d,res}$ (wenn $\geq 1,0$ Nachweis erfüllt)

Anhang C: Normvorgaben für BWK III

Die in Tabelle C1 zusammengefassten Normanforderungen an Bauwerke der BWK III beziehen sich auf die Projektierung von Neubauten.

Tabelle C1

Anforderungen an Bauwerke der BWK III in den SIA Neubaunormen 260 bis 267 und 179, Stand 2022 (Zitate in kursiv)

Diese Anforderungen gelten teilweise auch für bestehende Bauwerke. Dies ist der Fall, wenn in den Erhaltungsnormen (SIA 269 und 269/x) darauf verwiesen wird, siehe Tabelle C2.

Norm	Ziffer	Anforderung	Erläuterung
SIA 260	4.4.4.1	Nachweise der Gebrauchstauglichkeit sind für die Bemessungssituation Erdbeben für Bauwerke der BWK III zu führen.	
SIA 260-C1	4.4.4.5	Definition der anzusetzenden Erdbebeneinwirkung A_d und der maximal akzeptierten horizontalen Stockwerks-Auslenkungen beim Nachweis der Gebrauchstauglichkeit von Neubauten: <i>[...] der Bemessungswert der aussergewöhnlichen Einwirkung A_d [ist] der Norm SIA 261 zu entnehmen [...]. Für den Nachweis der Gebrauchstauglichkeit bei Bauwerken mit sekundären Bauteilen sind die horizontalen Auslenkungen pro Stockwerk bei sprödem Verhalten der sekundären Bauteile auf 1/500 beziehungsweise bei duktilem Verhalten derselben auf 1/200 der Stockwerkshöhe zu begrenzen.</i>	
SIA 261	16.1.5	Der Nachweis der Gebrauchstauglichkeit ist für die aussergewöhnliche Bemessungssituation Erdbeben nur für die Bauwerksklasse III zu erbringen.	
SIA 261	16.3.1.2	Definition der BWK, der zugehörigen Bedeutungsbeiwerte und durchzuführenden Nachweise.	
SIA 261	16.4.1	Definition von Massnahmen und deren Verbindlichkeit bei Gebäuden abhängig von der BWK. Massnahmen: • Grundriss, bauliche Ausbildung • Konstruktion • Fundation Vorgaben für Wichtigkeit eines erdbebengerechten Entwurfs bei BWK III Gebäuden.	Grundlage für Vorgaben an den erdbebengerechten Entwurf, siehe hierzu auch Kap. 5.1
SIA 261	16.5.5.3	<i>Für den Nachweis der Gebrauchstauglichkeit bei Bauwerken der Bauwerksklasse III mit sekundären Bauteilen mit sprödem oder duktilem Verhalten sind die horizontalen Auslenkungen pro Stockwerk auf 1/500 beziehungsweise 1/200 der Stockwerkshöhe zu begrenzen.</i>	gleiche Grenzwerte wie in Norm SIA 260, Ziffer 4.4.4.5.
SIA 261	16.7.1	<i>Für sekundäre Bauteile von Bauwerken der Bauwerksklassen I, II und III, die im Falle des Versagens Personen gefährden oder das Tragwerk beschädigen können, ist sowohl für das Bauteil als auch für dessen Verbindungen, Befestigungen oder Verankerungen der Nachweis der Tragsicherheit zu erbringen. Gleiches gilt für sekundäre Bauteile von Bauwerken der Bauwerksklassen II und III, die eine bedeutende Infrastrukturfunktion beeinträchtigen, besonders wertvolle Einrichtungen beschädigen oder die Umwelt gefährden können.</i>	
SIA 179	2.1.4	<i>Die Bemessung von Befestigungen mit Befestigungselementen aus Metall in einem Betontragwerk erfolgt auf der Grundlage von SN EN 1992-4.</i>	
NA SN EN 1992-4	C.2(2)	Einteilung der seismischen Leistungskategorie für Befestigungselemente abhängig von der BWK; für BWK III: Leistungskategorie C2.	
SN EN 81-77:2018	6.2	Abhängig von Erdbebenkategorie des Aufzugs (Erdbebenkategorie über Bemessungsbeschleunigung definiert) Vorgabe der Sicherheitsanforderungen und Schutzmassnahmen für Aufzüge	

Die in Tabelle C2 zusammengefassten Normanforderungen an bestehende Bauwerke der BWK III beziehen sich auf die Überprüfung und Verbesserung der Erdbebensicherheit spätestens im Rahmen von Instandsetzungs- und Veränderungsvorhaben.

Tabelle C2

Anforderungen an bestehende BWK III Bauwerke in den SIA Erhaltungsnormen 269 und 269/x, Stand 2022 (Zitate in *kursiv*)

Norm	Ziffer	Anforderung	Erläuterung
SIA 269/8	2.1.1.3	In der rechnerischen Untersuchung der Erdbebensicherheit muss bei Bauwerken der BWK III auch die Gebrauchstauglichkeit untersucht werden.	
SIA 269/8	3.4	<i>Für den Nachweis der Gebrauchstauglichkeit von Bauwerken der Bauwerksklasse III ist die Erdbebeneinwirkung gemäss SIA 260 und SIA 261 anzusetzen.</i>	
SIA 269/8	9.1.6	Definition des Mindesterfüllungsfaktors der Tragsicherheit für bestehende Bauwerke: $\alpha_{\min} = 0,4$ für BWK III	
SIA 269/8	9.1.7	<i>Für Bauwerke, die der Störfallverordnung unterstellt sind und für die eine Risikermittlung verlangt wird, ist der Schutzgrad aufgrund der Risikermittlung festzulegen. Alle anderen Bauwerke mit Gefährdung der Umwelt müssen, in Relation zur durch sie verursachten Umweltgefährdung, die Anforderungen der Bauwerksklassen BWK II, BWK II-i oder BWK III erfüllen.</i>	
SIA 269/8	9.2.1	<i>Die rechnerische Beurteilung der Gebrauchstauglichkeit ist nur für Bauwerke der BWK III erforderlich.</i>	
SIA 269/8	9.2.2	<i>Die rechnerische Beurteilung der Gebrauchstauglichkeit erfolgt analog zur rechnerischen Beurteilung der Tragsicherheit.</i>	
SIA 269/8	9.2.3	<i>Bei der Beurteilung der Gebrauchstauglichkeit bestimmt sich der Erfüllungsfaktor [...] aus einem Vergleich der Erdbebeneinwirkung A_c, bei der die Grenzwerte der horizontalen Auslenkungen gemäss SIA 260 erreicht werden, mit dem Überprüfungswert der Erdbebeneinwirkung $A_{d,act}$ [...].</i>	gemäss Korrigenda C1 zur Norm SIA 269/8 vom 1.11.2022
SIA 269/8	9.2.4	<i>Der Mindesterfüllungsfaktor α_{\min} für die Gebrauchstauglichkeit beträgt 0,7.</i>	dabei wird für den Überprüfungswert der Erdbebeneinwirkung $A_{d,act}$ ein Bedeutungsfaktor γ , von 1,0 angesetzt (Norm SIA 261, Tabelle 25)
SIA 269/8	10.4.1	<i>Es wird zwischen lebenswichtigen (BWK III) und bedeutenden [...] Infrastrukturfunktionen unterschieden.</i>	
SIA 269/8	10.4.5	Zuordnung der Infrastrukturfunktion zu den Bauwerksklassen mit Merkmalen und Beispielen. Merkmale: <i>Lebenswichtige Infrastrukturfunktion: Das Bauwerk ist für die betrachtete lebenswichtige Infrastrukturfunktion unverzichtbar. Es gibt kaum Redundanz und kaum Kompensationsmöglichkeiten.</i>	

Die in Tabelle C3 zusammengefassten Anforderungen an Bauwerke der BWK III stammen aus der ESTI Richtlinie Nr. 248 [10] (*Erdbebensicherheit der elektrischen Energieverteilung der Schweiz*), der ERI Richtlinie 2003 [11], [12] (*Planung, Bau und Betrieb von Rohrleitungsanlagen über 5 bar*), dem BAZL Leitfaden [14] (*Beurteilung der Erdbebensicherheit bei der Genehmigung von Bauvorhaben der Zivilluftfahrt*) und der BAV Richtlinie *Erdbebensicherheit von Eisenbahnanlagen* [13]. Die darin befindlichen Vorgaben beziehen sich nur auf die in den Richtlinien behandelten Anwendungsgebiete und Bauwerke.

Tabelle C3**Anforderungen an BWK III Bauwerke in Richtlinien Stand 2022 (Zitate in kursiv)**

Es werden nur Anforderungen aufgelistet, die über die Anforderungen in den Normen hinausgehen bzw. diese ergänzen.

Richtlinie	Ziffer	Anforderung	Erläuterung
ESTI Richtlinie Nr. 248	3.3	Unterwerke, deren höchste Spannung 220 kV oder mehr beträgt, sind der BWK III zuzuordnen. Unterwerke, deren höchste Spannung < 220 kV ist, können sinnvollerweise ebenfalls in die BWK III eingestuft werden, wenn sie für die Versorgungssicherheit besonders wichtig sind. Diese Höherstufung ist vom Netzbetreiber in Eigenverantwortung vorzunehmen.	
ESTI Richtlinie Nr. 248	4.4	Anforderung an den Losebedarf im Leiterseil zwischen zwei Hochspannungsapparaten für Anlagen der BWK III (30–200 mm abhängig von Apparat-Grundeigenfrequenz und Erdbebenzone)	
ERI-Richtlinie 2003, Rev. 2.1	3.3.9.2	<i>Die Erdbebensicherheit gemäss der Norm SN 505261 (SIA 261), Bauwerksklasse 3, oder den entsprechenden europäischen Normen ist nachzuweisen.</i>	Im Kap. 2 des Leitfadens [12] sind die Schutzziele präzisiert.
BAZL Leitfaden	4 und Anhang A	Informationen zur Einteilung eines Bauwerks in eine BWK inkl. der Anforderungen an ein Bauwerk der BWK III bezüglich einzureichender Gesuchsunterlagen	
BAV Richtlinie	3.3 I.	<i>Grundsätzlich werden keine Elemente der Bahninfrastruktur in die Bauwerksklasse III eingeteilt, da der Bahn keine lebenswichtige Infrastrukturfunktion (sog. «Lifeline») zukommt.</i>	