

# Erdbebensicherheit sekundärer Bauteile und weiterer Installationen und Einrichtungen

Empfehlungen und Hinweise für die Praxis. Stand 2023



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Bundesamt für Umwelt BAFU

# **Erdbebensicherheit sekundärer Bauteile und weiterer Installationen und Einrichtungen**

Empfehlungen und Hinweise für die Praxis. Stand 2023

# Impressum

Die zweite Auflage dieser Dokumentation berücksichtigt die revidierten Inhalte der Norm SIA 261 (2020). Kapitel 3 enthält einige Präzisierungen bei den Vorgehensempfehlungen, die auf der praktischen Anwendung basieren. Der Anhang, genauso wie die Literaturverweise, wurden aktualisiert.

## Herausgeber

Bundesamt für Umwelt (BAFU)

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

## Autoren

Friederike Braune, Bundesamt für Umwelt;

Tadeusz Szczesiak, Rudolf Vogt, Angelo Berweger,

ACS-Partner AG, Zürich

## Begleitung

Die Koordinationsstelle für Erdbebenvorsorge beim BAFU dankt im Besonderen für ihre Unterstützung und intensive Mitarbeit bei der ersten Fassung:

Andreas Beer, HALFEN AG Deutschland; Markus Christen, Werner Keller Technik AG, Dallenwil; Olivier Galetti, ehem. Kantsarchitekt Kanton VS, Sion; Martin Jordi, VKF Vereinigung kantonaler Feuerversicherungen, Bern; Peter Lindenberg, AGB Bautechnik Aktiengesellschaft, Strengelbach; Ivan de Marsano, MDI Ingénieurs Conseils Sarl, Carouge; Dirk Pelka, Armstrong Metaldecken AG, St. Gallen; Fritz Scheidegger, HILTI AG, Adliswil/Zürich; Markus Schmid, Feroplan Fassaden, Chur; Heinz Spycher, HALFEN Swiss AG, Winterthur; Staudinger Michael, HILTI AG; Thomas Wenk, Wenk Erdbebeningenieurwesen und Baudynamik GmbH, Zürich

## Begleitung BAFU

Blaise Duvernay, Sven Heunert

## Zitierung

BAFU (Hrsg.) 2023: Erdbebensicherheit sekundärer Bauteile und weiterer Installationen und Einrichtungen. Empfehlungen und Hinweise für die Praxis. 1. aktualisierte Auflage 2023; Erstausgabe 2016. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Wissen Nr. 1643: 52 S.

## Gestaltung

Funke Lettershop AG

## Titelbild

Erdbebengerechte Wandbefestigung eines Steuerschranks, Stromversorgung © BAFU

## Bildnachweis

Siehe Anhang «Verzeichnisse»

## PDF-Download

[www.bafu.admin.ch/uw-1643-d](http://www.bafu.admin.ch/uw-1643-d)

Eine gedruckte Fassung kann nicht bestellt werden.

Diese Publikation ist auch in französischer Sprache verfügbar. Die Originalsprache ist Deutsch.

1. aktualisierte Auflage 2023. Erstausgabe 2016

© BAFU 2023

# Inhaltsverzeichnis

<u>Abstracts</u>	5	<u>A5-4 Grobdimensionierung des Freiraums bei nachgiebig befestigten Elementen</u>	90
<u>Vorwort</u>	7	<u>Literatur</u>	93
<u>Einleitung</u>	8	<u>Glossar</u>	96
<u>1 Phänomene und Schäden bei einem Erdbeben</u>	10	<u>Verzeichnisse</u>	99
1.1 Seismische Phänomene und Schadensursachen	10	<u>Abkürzungen</u>	99
1.2 Schadensausmaß und Schadensfolgen	15	<u>Bildnachweis</u>	100
<u>2 Konkrete Hinweise und Fallbeispiele zur Erdbebensicherung</u>	XVI		
<u>3 Vorgaben, Verantwortlichkeiten und Vorgehensempfehlungen bei der Schadensbegrenzung</u>	63		
3.1 Normative und freiwillige Vorgaben	63		
3.2 Verantwortungen und Zuständigkeiten	64		
3.3 Vorgehensempfehlungen zur Schadensbegrenzung (Risikoreduktion)	66		
<u>Anhang</u>	70		
<u>A1 Erhebungsblatt</u>	70		
<u>A2 Zuständigkeitsmatrix</u>	73		
<u>A3 Textelemente zur Projektdokumentation</u>	75		
<u>A4 Abnahmeprotokoll</u>	77		
<u>A5 Berechnungsbeispiel und Hilfstabellen</u>	78		
<u>A5-1 Berechnungsbeispiel</u>	78		
<u>A5-2 Grobdimensionierung der Befestigung von starren Elementen</u>	83		
<u>A5-3 Grobdimensionierung der Fugenbreite von verformungsempfindlichen Elementen</u>	87		

---

# Abstracts

This publications is an introduction to seismic protection of nonstructural elements and further installations and equipment. It addresses primarily architects, mechanical (HVAC) and electrical engineers as well as building owners. Structural engineers will also find useful information on how the seismic safety of these building components can be achieved. The main part of the publication illustrates and explains security measures for usual components. These explanations are supplemented by typical damage illustrations and tips on how to reduce the potential damage. The overall purpose of the publication is to help building professionals to identify the potential seismic risk related to such components as well as to design and implement sound measures that lead to reduced damage.

Diese Publikation bietet eine Einführung in das Thema Erdbebensicherheit von sekundären Bauteilen und weiteren Installationen und Einrichtungen. Sie richtet sich primär an Fachpersonen aus der Architektur, der Gebäudetechnik, des Maschinenbaus und der Elektrotechnik sowie an Gebäudeeigentümern. Ebenso finden Bauingenierinnen und Bauingenieure wertvolle Informationen, wie die Erdbebensicherheit dieser Gebäudeelemente erreicht werden kann. Im Hauptteil werden Sicherheitsmaßnahmen für gängige Elemente dargestellt und erläutert. Typische Schadensbilder und besondere Hinweise zur Schadensreduktion ergänzen jeweils die Ausführungen. Im Gesamten gibt diese Publikation Fachleuten eine Hilfestellung, die Erdbebenrisiken solcher Gebäudeelemente zu erkennen, um sinnvolle Massnahmen zur Schadensreduktion zu planen und umzusetzen.

La présente publication est une introduction à la thématique de la sécurité sismique des éléments non-structuraux et autres installations et équipements. Elle s'adresse en premier lieu aux architectes, aux ingénieurs spécialisés dans la technique du bâtiment, la construction de machines et l'électrotechnique ainsi qu'aux propriétaires immobiliers. Les ingénieurs civils y trouveront également des informations utiles sur la manière dont la sécurité sismique de ces éléments peut être réalisée. Le corps du présent document passe en revue et commente les mesures de sécurité appropriées aux éléments usuels. Des images de dommages caractéristiques dus à des séismes complètent ces commentaires, de même que des suggestions spécifiques quant à la manière de réduire ces dommages. Dans l'ensemble, cette publication a pour but d'aider les spécialistes à identifier les risques sismiques liés à ces éléments en vue d'étudier et de mettre en œuvre des mesures permettant de réduire judicieusement les dommages.

**Keywords:**

*nonstructural elements,  
installations, equipment,  
seismic protection*

**Stichwörter:**

*sekundäre Bauteile,  
Installationen,  
Einrichtungen,  
Erdbebensicherheit*

**Mots-clés :**

*éléments non-structuraux,  
installations, équipements,  
sécurité sismique*

---

La presente pubblicazione introduce la protezione sismica dei elementi non strutturali ed altri impianti ed apparecchiature. Si rivolge principalmente ad architetti, ad ingegneri meccanici ed elettrotecnici nonché a proprietari d'edifici. Anche gli ingegneri civili trovano informazioni utili come accedere la sicurezza sismica di questi pezzi e componenti. La parte principale della pubblicazione presenta e spiega misure di sicurezza di componenti comuni. Le spiegazioni sono completate con danni tipici e indicazioni particolari come ridurre il potenziale rischio sismico. In totale. Questa pubblicazione assiste i specialisti ad identificare i rischi sismici di tali elementi ed a pianificare e realizzare misure significative per ridurre danni potenziali.

**Parole chiave:**

*elementi non strutturali,  
impianti, apparecchiature,  
protezione sismica*

---

# Vorwort

Seit Einführung der geltenden Schweizer Tragwerksnormen des SIA im Jahr 2003 ist die Sensibilisierung für das Erdbebenrisiko erkennbar gewachsen. Der Fokus bei Bauvorhaben an Neu- oder Bestandesbauten liegt allerdings primär auf einem erdbebengerechten Tragwerk. Normative Anforderungen an die Erdbebensicherheit für Gebäudeelemente und -inhalte werden kaum berücksichtigt, obwohl diese in der Regel zwischen 60 % bis 80 % der Gesamtkosten eines Gebäudes ausmachen und einen Grossteil der direkten Sachschäden sowie der Folgeschäden bei Erdbeben verursachen.

Die SIA Tragwerksnormen formulieren Anforderungen an die Erdbebensicherheit von Gebäudeelementen aller Bauwerke, die Personen gefährden oder das Tragwerk beschädigen können. Zusätzliche Anforderungen bestehen an Gebäudeelemente von Bauten der Bauwerksklassen II und III, die eine bedeutende oder lebenswichtige Infrastrukturfunktion beeinträchtigen, besonders wertvolle Einrichtungen beschädigen oder die Umwelt gefährden können.

Es bestehen verschiedene Gründe, weshalb die Praxis sich kaum mit dem Problem der Erdbebensicherheit von **Sekundären Bauteilen und weiteren Installationen und Einrichtungen (SBIE)** auseinandersetzt. Das Schadensausmass ist kaum bekannt und wird mitsamt der Notwendigkeit seiner Abwehr unterschätzt. Es bestehen ungeklärte Zuständigkeiten für die Planung erdbebengerechter SBIE. Vielen Projektverantwortlichen ist nicht klar, welche SBIE betrachtet werden müssen und wie die Erdbebensicherheit beurteilt und verbessert werden kann. Es fehlen anschauliche Beispiele für einfache und wirksame Erdbebensicherheitsmaßnahmen.

Das Bundesamt für Umwelt (BAFU) möchte mit der vorliegenden Publikation das Risikobewusstsein für das Schadenspotential von SBIE schärfen und die Konsequenzen ausfallender oder zerstörter SBIE aufzeigen. Die Publikation spricht die gesamte Praxis von Bauherrschaften über Fachplanende bis hin zu Unternehmen an, die SBIE oder deren Halterung planen und realisieren. Sie zeigt, welche effizienten Möglichkeiten bestehen, SBIE erdbebengerecht zu sichern und so das Schadenspotential zu mindern. Schliesslich unterstützt sie mit Vorgehensempfehlungen, Hilfsinstrumenten und Textbausteinen für Bauvorhaben bei einer transparenten und zielführenden Planung und Realisierung der Erdbebensicherheit von SBIE.

Paul Steffen, stellvertretender Direktor  
Bundesamt für Umwelt (BAFU)

---

# Einleitung

## Definitionen

Ein Bauwerk besteht im Allgemeinen aus einem Tragwerk und nicht strukturellen Elementen, also sekundären Bauteilen und weiteren Installationen und Einrichtungen (**SBIE**), die nicht zum Tragwerk gehören.

Das Tragwerk selbst stellt gemäss der technischen Norm SIA 260 [23] «die Gesamtheit der Bauteile mit dem Baugrund dar, die für das Gleichgewicht und die Formerhaltung des Bauwerks notwendig sind». Das Tragwerk widersteht Schwerkraft, Wind, Erdbeben und anderen Belastungen; es besteht typischerweise aus folgenden Bauteilen:

- Horizontale Tragelemente (Balken oder Träger, Geschossdecken und Dach)
- Vertikale Tragelemente (Stützen oder Pfeiler, Tragwände)
- Vertikale aussteifende Elemente (Tragwände, Verbände, Rahmen)
- Fundation, entweder flach- (Bodenplatte, Einzel-/Streifenfundamente) oder tieffundiert (Pfähle)

Das Tragwerk wird grundsätzlich von einer Bauingenieurin oder einem Bauingenieur nach den geltenden SIA-Tragwerksnormen geplant.

**Sekundäre Bauteile** sind gemäss Norm SIA 261 [24] als Bauteile definiert, die **nicht Bestandteil des Tragwerks** sind wie beispielsweise:

- Fassadenelemente und Wände, die weder der vertikalen Lastabtragung noch der horizontalen Aussteifung des Tragwerks dienen
- Bedachungen
- Beläge und Unterlagsböden
- Trennwände und Verkleidungen
- Geländer
- Abschrankungen
- Brüstungen und Randabschlüsse
- Deckenbekleidungen
- Isolationen und Abdichtungen

sowie **ortsfeste Einrichtungen** wie zum Beispiel:

- Aufzüge und Rolltreppen
- technische Anlagen für Heizung, Lüftung, Sanitär und Klima
- Elektroanlagen
- Leitungen ohne Füllgut
- Kabelkanäle

---

Für SBIE ist im Besonderen in Ziffer 16.7.1 der Norm SIA 261 [24] festgehalten, dass für sekundäre Bauteile aller Bauwerke, die im Falle des Versagens Personen gefährden oder das Tragwerk beschädigen können, sowohl für das Bauteil als auch für dessen Verbindungen, Befestigungen oder Verankerungen die Tragsicherheit für die Bemessungssituation Erdbeben nachzuweisen ist. Gleiches gilt für sekundäre Bauteile von Bauwerken höherer Zweckbestimmung, die eine bedeutende oder lebenswichtige Infrastrukturfunktion beeinträchtigen, besonders wertvolle Einrichtungen beschädigen oder die Umwelt gefährden können.

Ziel der Publikation ist es durch das Zusammenfassen von **sekundären Bauteilen und weiteren Installationen und Einrichtungen (SBIE)** die grosse Mehrheit der Gebäudeelemente zu behandeln, die im Kontext der Erdbebensicherheit relevant werden können. Darin inbegriffen sind zum Beispiel auch Hohlböden, Türen und Fenster, Tafeln, Schilder und Vordächer, Beleuchtungssysteme und das Mobiliar.

## Inhalt

- *Kapitel 1* beschreibt das Verhalten von SBIE bei einem Erdbeben und die Konsequenzen ihrer Beschädigung oder Zerstörung.
- *Kapitel 2* enthält konkrete Hinweise/Fallbeispiele zur Erdbebensicherung von SBIE.
- *Kapitel 3* befasst sich mit den normativen und rechtlichen Rahmenbedingungen sowie den daraus abzuleitenden Verantwortungen und Zuständigkeiten. Weiter werden allgemeingültige Betrachtungen zur Risikoreduktion gemacht. Schliesslich werden Anwendungsinstrumente für ein strukturiertes Vorgehen präsentiert.

In den Anhängen befinden sich folgende Praxishilfen:

- Erhebungsblatt
- Zuständigkeitsmatrix
- Textbausteine für die Projektdokumentation
- Abnahmeprotokoll
- Berechnungsbeispiel und Hilfstabellen.

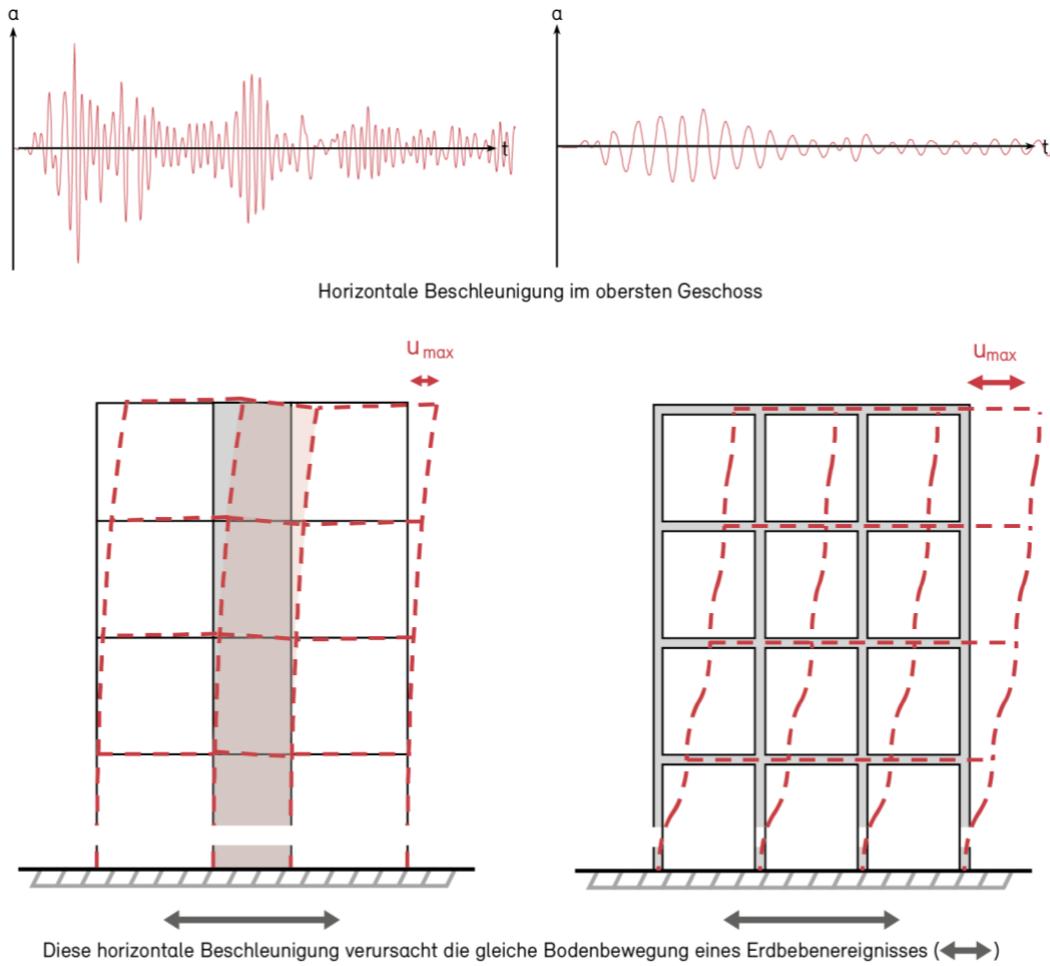
---

# 1 Phänomene und Schäden bei einem Erdbeben

*Damit eine wirksame Schadensreduktion bei SBIE erreicht werden kann, muss zunächst verstanden werden, wie diese Elemente sich während eines Erdbebens verhalten und welche Konsequenzen ihre Beschädigung oder Zerstörung mit sich bringt.*

## 1.1 Seismische Phänomene und Schadensursachen

Ein Erdbeben verursacht rasche Bodenbewegungen (Bodenerschütterungen) in alle Richtungen, wobei die Bewegungen in horizontaler Richtung üblicherweise überwiegen (Abb. 1.1). Das Gebäude, also das Tragwerk und alle weiteren Gebäudeelemente, werden durch die Bodenerschütterungen in Schwingung gebracht. Dabei erfährt jede Geschossdecke eine andere Bewegung. In der Regel werden die horizontalen Beschleunigungen und Bewegungen in den obersten Geschossen am grössten. Die horizontalen differentiellen Verformungen zwischen den Geschossen (Stockwerksschiefstellung) werden oft in den untersten Geschossen am grössten. Die Grösse der Bauwerksbewegungen und der Stockwerksschiefstellungen hängt nicht nur von den Bodenbewegungen, sondern auch von den Eigenschaften des gesamten Gebäudes ab. In horizontaler Richtung steife Gebäude erfahren höhere Beschleunigungen und kleinere Stockwerksschiefstellungen als in horizontaler Richtung weiche Gebäude, die kleinere Beschleunigungen, aber grössere Stockwerksschiefstellungen für die gleichen Bodenbewegungen erfahren (siehe auch [2]).

**Abb. 1.1: Gebäudeverhalten in Abhängigkeit von der Steifigkeit des Tragwerks**

Im steiferen Gebäude (mit Tragwänden):  
Kleineres, dafür schnelleres Hin- und Herschwingen  
→ kleinere Verformungen & grössere horiz.  
Beschleunigungen

Im weicheren Gebäude (mit biegesteifen Rahmen):  
Grösseres, dafür langsameres Hin- und Herschwingen  
→ grössere Verformungen & kleinere horiz.  
Beschleunigungen

Die Wirkung der Erdbebenerschütterungen auf SBIE hängt stark vom gesamten Bauwerk ab. Ebenso spielt der Standort der SBIE im Gebäude eine wichtige Rolle. Zu beachten ist deshalb, dass sich für ein gleiches SBIE in verschiedenen Geschossen eine andersartige Sicherungsmassnahme ergeben kann.

Prinzipiell lassen sich vier Phänomene als Ursache für Schäden an SBIE beschreiben.

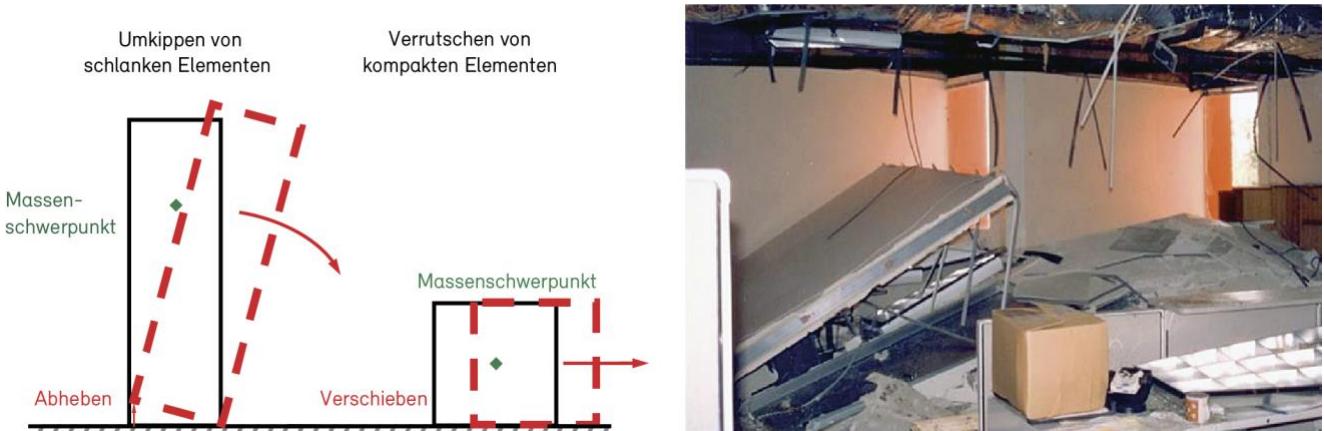
### 1.1.1 Trägheitskräfte (Rütteleffekte)

Nicht oder ungenügend befestigte Elemente können unter der Erdbebeneinwirkung rutschen, schaukeln, kippen oder an andere Objekte anschlagen (Abb. 1.2).

Die Elemente sind Trägheitskräften ausgesetzt. Bedingt durch die Beschleunigungen des Bauwerks, können schon relativ kleine Bauwerksbewegungen relevante Trägheitskräfte zur Folge haben. Vergleichbar ist dieses Phänomen mit dem Effekt, wenn man als Fahrer oder Beifahrer in einem stark beschleunigenden (oder

bremsenden) Fahrzeug in den Sitz gedrückt (oder aus dem Sitz gezogen) wird. Herabhängende Objekte, freistehende Regale und deren Inhalte können so beschädigt werden.

**Abb. 1.2 Umgekippte Trennwände, herabgefallene Unterdeckenelemente und Beleuchtungskörper, Northridge Erdbeben 1994**



### 1.1.2 Bauwerksverformungen

SBIE, die an Tragwerkselementen befestigt sind, können durch aufgezwungene Verformungen beschädigt werden (Abb. 1.3). Ursache für diese Schäden sind horizontale Bauwerksverformungen, die durch ungleichmässige Bewegungen in den Geschossdecken verursacht werden. Wenn sich beispielsweise eine Stütze unter der Erdbebeneinwirkung schiefstellt, folgt auch der daran befestigte Fensterrahmen oder die Leichtbauwand dieser Bewegung.

Verformungsempfindliche Elemente wie Trennwände, grosse Fenster- oder Fassadenelemente, die fugenlos eingebaut sind, können aufgrund der Bauwerksverformungen beträchtliche Schäden davontragen.

**Abb. 1.3: Schäden an Fensterfronten, Chile Erdbeben 2010**



---

Dass ein Tragwerk durch ein SBIE ungünstig beeinflusst werden kann, lässt sich am Beispiel von Rahmenstützen aufzeigen, zwischen denen Brüstungen oder Mauerwerksausfachungen eingebaut sind, die eine Verformung der Stützen verhindern (Abb. 1.4). Durch den Einfluss ihres andersartigen Erdbebenverhaltens und/oder durch ihre Schädigung können diese SBIE die Tragelemente beschädigen oder sogar zerstören.

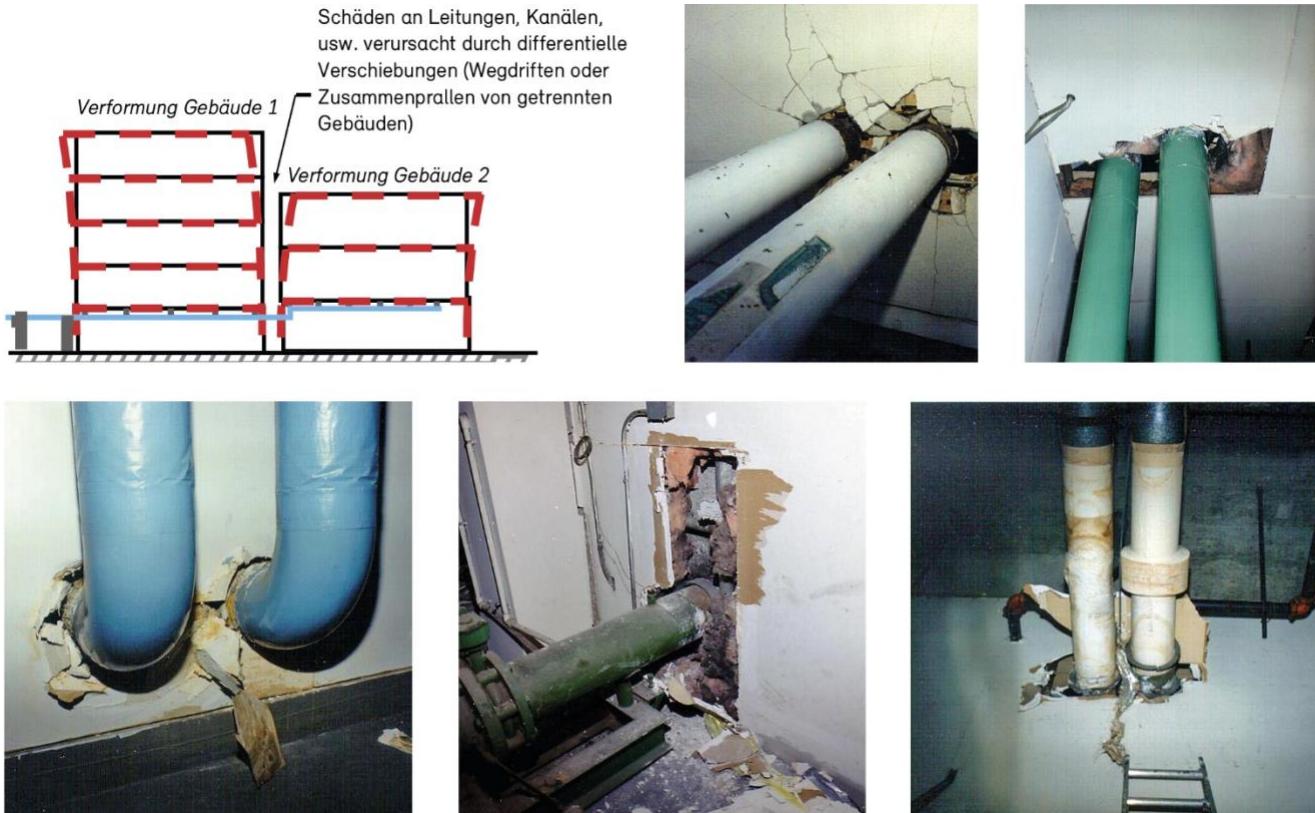
**Abb. 1.4: Schäden an Stützen durch Mauerwerksausfachung, Türkei Erdbeben 1998**



### 1.1.3 Auseinanderdriften und Zusammenstossen

SBIE, wie zum Beispiel Rohrleitungen, verlaufen häufig zwischen Gebäude(abschnitten) oder im Übergang vom Gebäude zur Umgebung (Erdreich) über Fugen hinweg (Abb. 1.5). Hierbei kann es sich um Trennfugen zwischen zwei unabhängigen Bauwerken, um Dilatationsfugen zwischen Bauwerksteilen oder um Anschlüsse (Eintritt/Austritt) an das Bauwerk handeln.

Benachbarte Gebäude oder Gebäudeabschnitte können unterschiedliche Tragsysteme aufweisen und deshalb verschieden auf die Bodenbewegungen bei einem Erdbebenereignis reagieren; sie können sich aufeinander zu-, voneinander weg- oder unterschiedlich parallel zur Fuge bewegen. Beide Bewegungen können eine beachtliche Beanspruchung der SBIE bedeuten. Diese können stark beschädigt oder sogar zerstört werden.

**Abb. 1.5: Beispiele für Schäden an Rohren, Wand und Wandverkleidung**

#### 1.1.4 Gegenseitige Beeinflussung

Ein weiteres Problem stellt die gegenseitige Beschädigung von benachbarten SBIE dar. Sprinklerleitungen, die in Deckenbekleidungen eingebaut sind, können durch die Unterdeckenbewegungen beschädigt werden, so dass Wasser austritt. Nebeneinanderliegende Rohre können sich von ihrer Befestigung lösen und aneinanderstossen. Aufgehängte haustechnische Installationen können schwingen oder schaukeln und so Fenster oder Trennwände beschädigen. Deckenbekleidungen können herabfallen und Fluchtwege versperren.

## 1.2 Schadensausmass und Schadensfolgen

Um das Erdbebenverhalten von SBIE durch angemessene Sicherheitsmaßnahmen zu verbessern, müssen vorgängig die Folgen einer Beschädigung oder Zerstörung beurteilt werden. Drei Schadenskategorien sind zu unterscheiden: Gefährdung von Menschenleben (Personenschäden), Sachschäden und Beeinträchtigung der Funktionstüchtigkeit. Zu beachten ist in der Praxis, dass die Beschädigung oder Zerstörung einer bestimmten Installation oder Einrichtung Folgen unterschiedlicher Schwere in jeder der drei Schadenskategorien haben kann. (Abb. 1.6)

**Abb. 1.6: Schadensausmass und -folgen**

Links: Oberhalb verlaufende Wasserleitungen gefährden die Notstrombatterien

Rechts: Auslaufen von umgefallenen und/oder beschädigten Behältern verursacht Sachschaden, Emilia Romagna Erdbeben 2012



### 1.2.1 Personengefährdung

Die grösste Bedeutung hat die Gefahr von Leib und Leben durch beschädigte oder herabfallende Elemente (Abb. 1.7). Bei vielen Erdbebenereignissen wurden beispielsweise Passanten durch schwere herabstürzende Fassadenteile getötet. Ebenfalls lebensbedrohend werden umgefallene oder herabgefallene Elemente, wenn diese Fluchtwiege in einem Gebäude blockieren. Zunächst ungefährlich erscheinende Objekte wie schwere Beleuchtungskörper können bei schlechter Verankerung ebenso Personen gefährden.

Beispiele für SBIE, die bei einem Erdbeben lebensgefährlich werden können:

- schwere Außenfassaden
- schwere Innenwände
- unbewehrte Mauerwerksschornsteine
- schwere Beleuchtungssysteme
- grosse und/oder schwere Deckenbekleidungen
- hohes, schlankes und schweres Mobiliar wie Bücherregale oder Aktenschränke
- Verglasungen
- Behälter und Leitungen mit gefährlichen Stoffen

**Abb. 1.7: Personengefährdung**

Herabfallene Fassade über Terrasse einer Pizzeria, Emilia Romagna 2012

**1.2.2 Sachschäden**

Sachschäden resultieren entweder aus der direkten Beschädigung oder Zerstörung eines SBIE oder aus den daraus entstehenden Folgeschäden (Abb. 1.8). Wird beispielsweise eine Wasserleitung oder Sprinkleranlage beschädigt, besteht der Sachschaden aus den Reparaturkosten (direkte Schäden) und den Kosten des Wasserschadens (indirekte Schäden).

Beispiele für SBIE, die grosse Sachschäden verursachen können:

- hängende Leitungssysteme (Wasser, Brandschutz, etc.)
- Trennwände
- Deckenbekleidungen
- unbefestigte oder schwach befestigte Ausrüstungen, besonders Dachaufbauten
- Behälter, Tanks, o. ä.
- Regalreihen

**Abb. 1.8: Grosse Sachschäden**

Umgekippte freistehende (nicht verankerte) Regalreihen in einem Elektrizitätswerk, Haiti Erdbeben 2010



### 1.2.3 Beeinträchtigung der Funktionstüchtigkeit

Zusätzlich zur Personengefährdung und zu Sachschäden kann durch die Beschädigung von SBIE der normale Betrieb massiv erschwert oder verunmöglicht werden (Abb. 1.9). Zerstört ein Erdbeben beispielsweise die vollständigen Büroeinrichtungen und -installationen eines Unternehmens, ist der Wiederbeschaffungswert dieser Elemente unter Umständen gering, während der Umsatzverlust aus dem Betriebsausfall beträchtlich sein kann.

Typische Beispiele, die Funktionsunterbruch oder Funktionsausfall verursachen können:

- Massive Wasserschäden durch zerstörte Leitungen
- Ausfall der Stromversorgung aufgrund Beschädigung des Notfallgenerators oder dessen Komponenten (Batterien, Dämpfer, Zwischenbehälter)
- Versagen von wesentlichen Einrichtungen wie Rechenzentren, Servern, Schaltern, Kommunikationssystemen, Belüftungssystemen oder Aufzügen
- Versagen von Installationen zur Lagerung wie (Hoch)regalen

**Abb. 1.9: Funktionsunterbruch oder Funktionsausfall**

Links: Nicht befestigte Steuerschränke, 1999 Izmit Erdbeben

Rechts: Umgefallene Hochregale, 2012 Emilia-Romagna Erdbeben



## 2 > Konkrete Hinweise und Fallbeispiele zur Erdbebensicherung

*Die folgenden Darstellungen und Beschreibungen sollen helfen, Schwachstellen und mögliche Schäden zu verstehen, so dass geeignete Sicherungsmassnahmen von den Projektverantwortlichen definiert und getroffen werden können. Grundlage bilden beobachtete Schäden an SBIE in einer Vielzahl vergangener Erdbebenereignisse sowie (teilweise standardisierte) Sicherungslösungen solcher Elemente in gleich oder höher erdbebengefährdeten Regionen im Ausland.*

### 2.1 Absicht

Das Verhalten von **SBIE** während eines Erdbebens ist, wie im vorherigen Kapitel erläutert, sehr unterschiedlich. Ein vollständiger Erdbebenschutz von Bauwerken und ihren **SBIE** kann aufgrund der vielen Schadenseinflüsse nicht erreicht werden. Mit den hier vorgestellten Sicherungsmassnahmen können jedoch widerstandsfähigere **SBIE** und damit eine höhere Sicherheit der Bauwerksnutzer und erhebliche Schadensminde rung erzielt werden. Die Wichtigkeit der Funktion und die Dichte der **SBIE** in einem Bauwerk und damit das Schadenspotential variieren stark je nach Typ und Funktion des Bauwerks. Dabei können für die gleichen Elemente ganz unterschiedliche Ansprüche an die Schadensbegrenzung gelten. Als Beispiel sei der Betriebsausfall einer durch Erdbeben beschädigten Wasserleitung genannt, der in einem Spital viel gravierender als in einem Wohnhaus sein kann. Je nach Situation können also einfache standardisierte bauliche Massnahmen umgesetzt werden, oder es wird die Expertise von im Erdbebeningenieurwesen spezialisierten Bauingenieuren nötig.

Diese Publikation illustriert für die gängigsten **SBIE** jeweils die Gefahren durch typische Schadensbilder und veranschaulicht präventiv anwendbare Sicherungsmethoden. Obwohl in dieser Publikation versucht worden ist, die typischsten **SBIE** zu behandeln, ist die nachfolgende Liste ohne Anspruch auf Vollständigkeit. Diese Publikation ersetzt nicht die fachkundige Projektierung der Sicherungselemente der einzelnen Fachdisziplinen.

Typische Schadensbilder für gängigste SBIE und präventiv anwendbare Sicherungsmethoden

### 2.1.1 Gliederung

**Architektonische Elemente** definieren die Form eines Bauwerks. Die Anordnung und Gestaltung dieser Elemente liegt grundsätzlich im Kompetenzbereich des Architekten. Bei der Detailplanung werden allenfalls Fachspezialisten beigezogen:

- > Deckenbekleidungen
- > Hohlböden (und Stufenböden)
- > Wände, Ausfachungen
- > Fassadensysteme, Verkleidungen
- > Brüstungen (und Geländer)
- > Treppen
- > Verglasung, Türen, Fenster
- > Tafeln, Schilder, Vordächer
- > Kamine, Schornsteine, Dachdeckung

Bei **gebäudetechnischen Elementen** handelt es sich um technische Geräte und Installationen, die die Funktionstüchtigkeit des Bauwerkes sicherstellen. Die Projektierung und Durchbildung dieser Elemente liegt grundsätzlich im Kompetenzbereich der Ingenieure der Bereiche Gebäudetechnik, Maschinenbau und Elektrotechnik:

- > Notstromversorgung
- > Brandschutz
- > Schalt-, Steuerschränke
- > Transformatoren
- > Beleuchtung
- > Klimatechnik
- > Tanks, Kessel, Behälter
- > Rohrleitungen, Lüftungs-, Kabelkanäle
- > Aufzüge
- > Schwingungsdämpfung, -isolation

Architektonische und  
gebäudetechnische Elemente,  
sonstige Gebäudeinhalte

Schliesslich werden **sonstige Gebäudeinhalte** behandelt, die – wenn nicht vom Architekten bereits eingeplant – vom Eigentümer oder Benutzer nach der Fertigstellung des Gebäudes angeschafft werden:

- > IT-Elemente
- > Schränke, Regale
- > Hochregale
- > Gefährliche Substanzen
- > Kunstgegenstände, Mobiliar, Innendekoration

## 2.1.2 Umgang mit den Massnahmenbeispielen

Für jedes in diesem Kapitel behandelte **SBIE** sind die Fallbeispiele folgendermassen gegliedert:

- > Merkmale & Schäden
- > Gefahren
- > Massnahmen
- > Hinweise

### Merkmale und Schäden

- Die für die Verletzbarkeit wesentlichen Merkmale des **SBIE** werden in diesem Abschnitt beschrieben. Beobachtete Versagensarten aus vergangenen Erdbeben werden dargestellt und Erkenntnisse daraus gezogen.

### Gefahren

- Die möglichen Gefahren, die von dem **SBIE** ausgehen können, werden aufgezeigt.

### Massnahmen

- Mögliche präventive Sicherungsmassnahmen werden vorgestellt. Für die **SBIE** werden verschiedene Sicherungsstrategien (kraft- oder verformungsbasiert) und dazu passende Lösungen (starre oder flexible Verbindungen mit dem Bauwerk) vorgeschlagen und durch Prinzipskizzen veranschaulicht.
- Teilweise werden temporäre Massnahmen vorgestellt, die eine kurzfristige Sicherung direkt nach dem Erdbebenereignis ermöglichen.

### Hinweise

- Der letzte Abschnitt gibt spezifische Hinweise und Empfehlungen. Sie sind neben technischer auch organisatorischer oder konzeptioneller Natur.

Die beschriebenen Massnahmen sind grundsätzlich als Empfehlung formuliert. Ob sie, im Rahmen eines Bauvorhabens, notwendig sind oder freiwillig umgesetzt werden hängt von den Anforderungen an das Projekt ab.

## 2.1.3 Weitere Grundsätze

Grundsätzlich kommt den **SBIE**, die sich im Bereich von Fluchtwegen befinden, eine wichtigere Bedeutung zu, auch wenn für solche SBIE keine erhöhten Anforderungen in den Tragwerksnormen gelten. Eine rasche Evakuierung beschädigter Gebäude ist nach einem Erdbebenereignis wichtig. Insbesondere in hoch belegten oder frequentierten Gebäuden müssen die Fluchtwände frei und benutzbar bleiben. Sie sind frei von sperriegen Gegenständen zu halten.

Weiter gilt es generell, schwere Elemente möglichst unten im Gebäude zu platzieren. Wenn nicht vermeidbar, sind schwere Elemente in den oberen Etagen auf mehrere Standorte zu verteilen, anstatt zu konzentrieren. Wichtige Ersatzteile sind auf Vorrat zu lagern, um eine schnelle Reparatur zu ermöglichen. Das Personal oder die Benutzer sind so zu schulen, dass sie sich bei einem Erdbebenereignis korrekt verhalten und die richtigen Massnahmen ergreifen.

## 2.2 Deckenbekleidungen

### Merkmale und Schäden

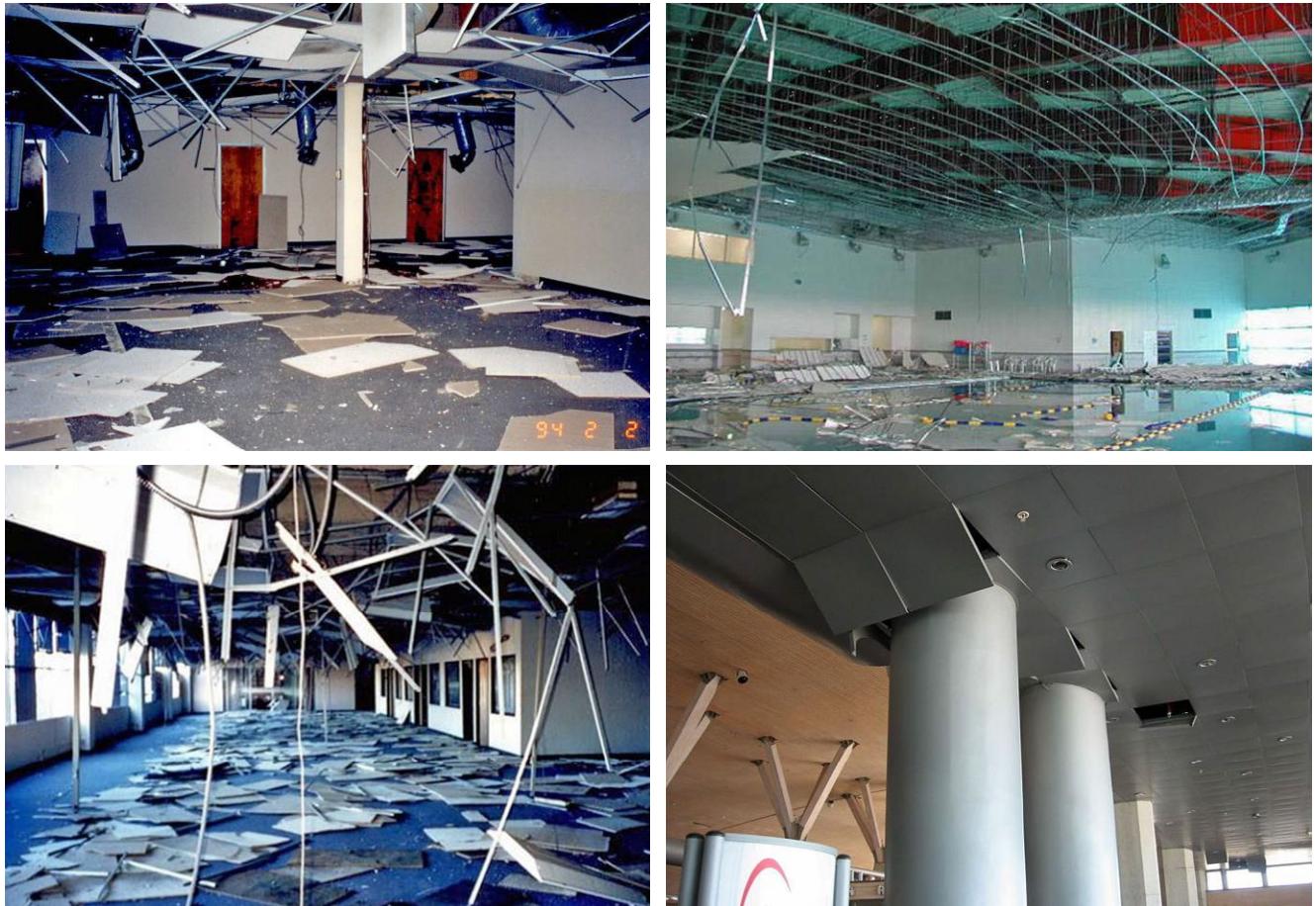


Abb. 2.2.1 bis 2.2.4 > Schäden an Deckenbekleidungen

- Im Normalfall sind Unterdeckenelemente nur durch ihr Eigengewicht belastet. Daher sind die Befestigungen in der Regel nicht auf horizontale Kräfte ausgelegt und die Tragreserven unter Erdbebeneinwirkungen oftmals zu gering. Beschädigungen an Deckenbekleidungen können auch aufgrund differentieller Bewegungen zwischen der Unterdecke und dem Tragwerk oder nicht strukturellen Wänden entstehen, z. B. Zusammenquetschen oder Auseinanderreissen der Unterkonstruktion (Trägerprofile).
- Nicht erdbebenberechtigt ausgesteifte Deckenbekleidungen geraten in Schwingung. Mögliche Folgen sind das Zusammenprallen mit anderen Installationen, das Versagen der vertikalen Befestigung, das Versagen der Unterkonstruktion oder das Herausfallen von nicht gesicherten Deckenelementen (Abb. 2.2.1 bis 2.2.4).
- Kritische Stellen sind vor allem Deckenränder sowie Durchbrüche für Stützen und Leitungen/Kanäle. Auch nicht gesicherte Leitungen und Kanäle können durch Herabfallen die Unterdecke beladen/beschädigen.
- Separat aufgehängte Deckeneinbauten (z. B. Einbauleuchten) können durch Zusammenstöße und Verformungen beschädigt werden.

### Gefahren

- Personengefährdung (herabfallende Elemente, v. a. bei stark frequentierten Gebäuden und/oder grosser Raumhöhe)
- Sachschäden
- Beschädigung der Tragstruktur
- Beeinträchtigung der Funktionstüchtigkeit
- Blockieren der Fluchtwege
- Schädigung der Umwelt

## Massnahmen

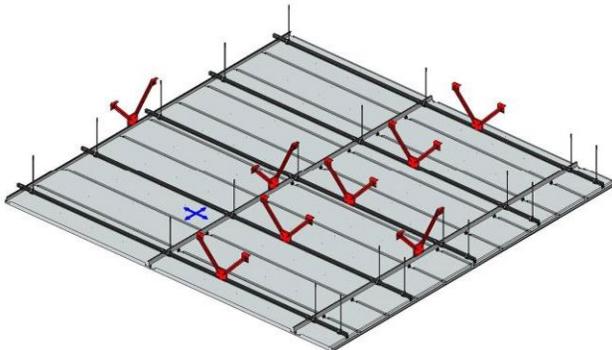


Abb. 2.2.5 > Horizontale Aussteifung mit Vertikalstäben und Diagonalen

- Deckenbekleidungen sollten horizontal in beide Richtungen (und ebenfalls ausreichend vertikal) ausgesteift und mit dem Tragwerk verbunden werden. In der Regel reichen Abhängungen mit Ge windestangen, Standarddeckenabhangern oder Abhängedrähten nicht aus. Weniger zu empfehlen ist ein Konzept, bei dem sie sich frei bewegen können. Für diesen Fall muss gewährleistet werden, dass die zu erwartenden Verformungen keine Schäden verursachen.
- Eine horizontale (und allfällige vertikale) Aussteifung ist in beide (x, y und ggf. z) Richtungen erforderlich und besteht aus Vertikal- und Diagonalstäben (Abb. 2.2.5). Die Verankerungsmittel sind entsprechend zu dimensionieren.

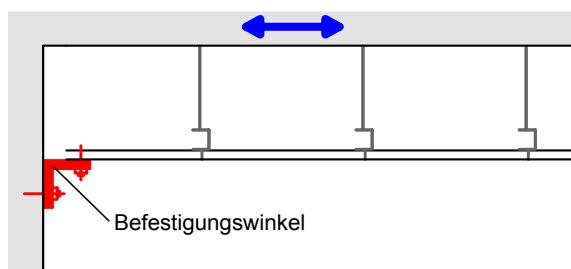


Abb. 2.2.6 > Horizontale Verankerung an der Wand

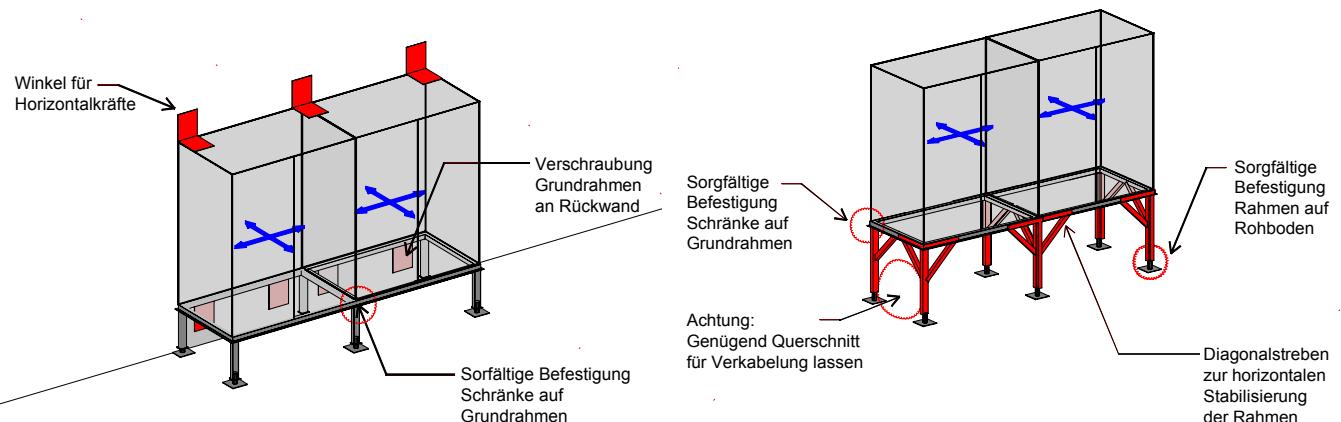
- In gewissen Fällen ist es möglich, horizontale Abstützungen an Wänden vorzusehen (Abb. 2.2.6). Unterdecken können beispielsweise auf der einen Seite fest verbunden und auf der anderen verschieblich mit ausreichendem Freiraum gelagert sein. Im Normalzustand sollten dadurch die temperaturbedingten Bauteilbewegungen nicht behindert werden.
- Für die Lagerung der Deckenelemente auf der Unterkonstruktion sollte eine ausreichende Aufstandsfläche vorgesehen werden. Geeignet ist eine Sicherung mit Druckfedern, Klammern oder Verschraubungen, so dass einzelne Deckenelemente nicht aus der Konstruktion gehoben werden können.
- Deckeneinbauten sollten in die Unterkonstruktion integriert werden (siehe auch 2.15). Die zusätzlichen Massen aus den Deckeneinbauten sind bei der Deckenausführung zu berücksichtigen.

## Hinweise

- Die Unterkonstruktion überträgt die Horizontalkräfte von den Deckenelementen auf die Aussteifung und sollte deshalb in ihrer Ebene genügend steif sein. Je weicher die Unterkonstruktion, desto mehr Aussteifungselemente sind erforderlich. Dies kann z. B. der Fall sein, wenn die Unterkonstruktion auf unterschiedlichen Höhen liegt oder im Grundriss stark verwinkelt ist.
- Die Aussteifung sollte mit derjenigen von Beleuchtung, Belüftung, Leitungen, usw. koordiniert werden. Bei der Verwendung von kombinierten Deckenmodulen sollte ein entsprechendes Aussteifungssystem vorgesehen werden. Bei solchen Modulen sind z. B. Leitungen und Beleuchtung bereits in die Deckenelemente integriert, was die Masse wesentlich erhöhen kann.

- Bei der Planung von Deckenbekleidungen ist die Lage im Gebäude zu berücksichtigen. Bei Deckenelementen, die im Bereich von Fluchtwegen liegen, hat die Absturzsicherung eine grösere Bedeutung.
- Weiterführende Informationen sind in der Dokumentation<sup>[13]</sup> zu finden.

## 2.3

**Hohlböden (und Stufenböden)****Merkmale****Abb. 2.3.1 und 2.3.2 > Sicherungsmethoden bei Hohlböden**

- Bei **Hohlböden** wird zwischen Doppelböden, Verbund-Doppelböden und Hohlraumböden unterschieden.
- Generell weisen Hohlböden an sich ein geringes Schadenspotential auf. Das mit Abstand grösste Schadenspotential geht von auf Hohlböden stehenden Schränken aus. Sie können umstürzen und dabei Personen- und Sachschäden verursachen, auch am Hohlboden selbst. Dienen die Schränke der Stromversorgung oder dem Datenverkehr, können Unterbrüche der Dienstleistungen die Folge sein (Problematik bei der Produktion generell und lebenswichtigen Infrastrukturen im Besonderen).
- Schränke (Racks, Schaltschränke), Apparate in Schrankbauweise, Regale für Notstrombatterien usw. werden in der Schweiz bereits heute meistens auf eigene, geschweißte Grundrahmen gestellt (Standard in Technikräumen). Grössere Schäden können durch Kippen dieser Schränke entstehen, wenn sie ohne weitere Befestigung auf die Grundrahmen gestellt werden (siehe auch Kapitel 2.13), oder durch Kollabieren der Grundrahmen, falls diese nicht auf die auftretenden Kräfte ausgelegt sind.
- Bei Doppelböden mit einzelnen Stützen können sich die Bodenplatten soweit horizontal verschieben, dass sie herunterfallen oder die Stütze zum Kippen bzw. Knicken bringen. Grössere horizontale Kräfte können nicht übertragen werden.
- Bei hoher Installationsdichte oder grossen Aufbauhöhen ( $\geq 80$  cm) sind Doppelböden mit Stützen und C-Profilen die Regel. Bei ihnen fallen die Bodenplatten auch bei starker Verschiebung kaum herunter, da der Rost aus C-Profilen dies verhindert. Die durch die Platten eingeleiteten horizontalen Kräfte sind i.d.R. gering und das Versagen der C-Profile unter diesen Kräften unwahrscheinlich. Bei grossen Aufbauhöhen können die Stützen unter schweren herabfallenden Gewichten (umstürzende Schränke etc.) knicken.
- Bei Verbund-Doppelböden und Hohlraumböden (horizontalen monolithischen Scheiben mit systembedingten Anchluss- und Bewegungsfugen) können Schäden auftreten, wenn die durch die Scheiben übertragenen horizontalen Kräfte die Tragfähigkeit der umgebenden Wände übersteigen (Leichtbau) oder wenn keine Wände vorhanden sind. Dann sind grosse horizontale Verschiebungen mit gemeinsamem Kippen aller Stützen und Absturz der Scheiben auf den Rohboden möglich.
- Stufenböden** (z. B. Auditorien) bestehen aus einer Stahlunterkonstruktion und einer Decklage aus faserverstärktem Calciumsulfat (Gips). Gute Unterkonstruktionen bestehen aus verschweißten Profilen mit eingespannten Stützen sowie mehreren, über den Grundriss verteilten, horizontalen Stabilisierungen (i.d.R. Diagonalen).
- Die horizontale Decklage ist pro Stufe als geschlossene Scheibe ausgebildet und eignet sich zur Übertragung von Horizontalkräften in der gleichen Ebene. Die vertikale Decklage (Stossfläche) ist nicht auf die Übertragung von grossen Horizontalkräften von einer Stufe auf die nächste ausgelegt. Sie kann zudem Luftauflässe oder andere Einbauten enthalten.
- Die Stühle können direkt an der Unterkonstruktion befestigt (mit Durchdringung der Decklage) oder nur aufgeschraubt sein.
- Bei Stufenböden können Schäden auftreten, wenn die Unterkonstruktion ungenügend für die Aufnahme von horizontalen Trägheitskräften ausgebildet ist und wenn die seitlichen Wände die übertragenen horizontalen Trägheitskräfte nicht aufnehmen können (Leichtbau). Aufgeschraubte Stühle können sich lösen und nach vorne rutschen. Einsturzgefahr besteht insbesondere, wenn Einbauten oder Mobiliar im Hohlraum gegen die Stützen kippen und diese zum Knicken bringen.

**Gefahren**

- Personengefährdung
- Sachschäden
- Beschädigung der Tragstruktur
- Beeinträchtigung der Funktionstüchtigkeit (infolge umgestürzter schwerer Einbauten)
- Blockieren der Fluchtwege (besonders bei hohen Aufbauhöhen)
- Schädigung der Umwelt

## Massnahmen

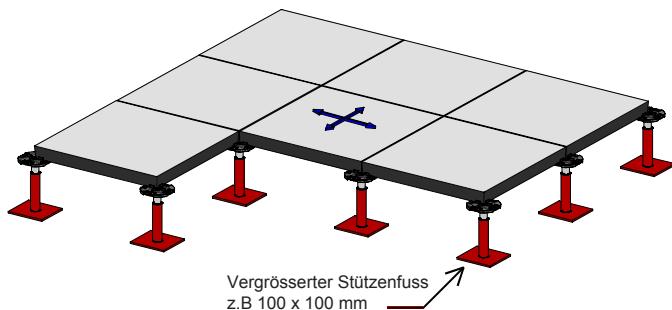


Abb. 2.3.3 &gt; Vergrösserung Stützenfuss

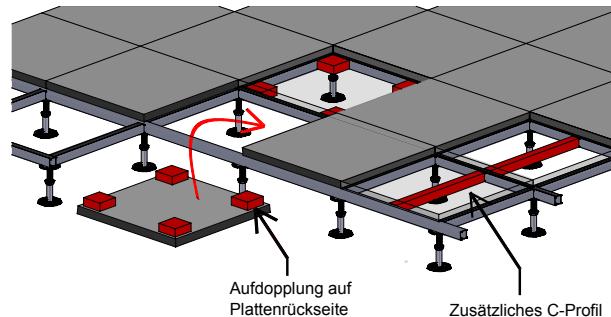


Abb. 2.3.4 &gt; Aufdoppelung Platte und zusätzliches C-Profil

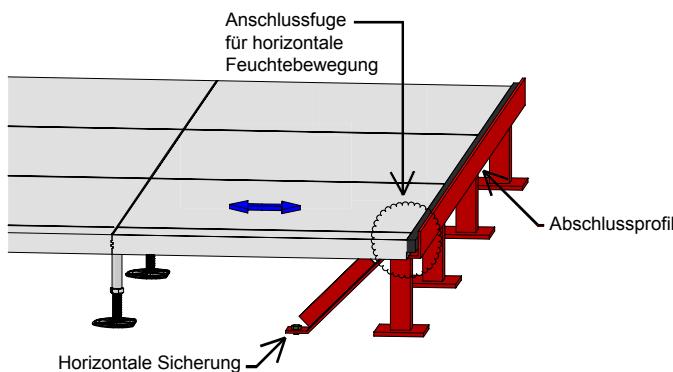


Abb. 2.3.5 &gt; Abschlussprofil

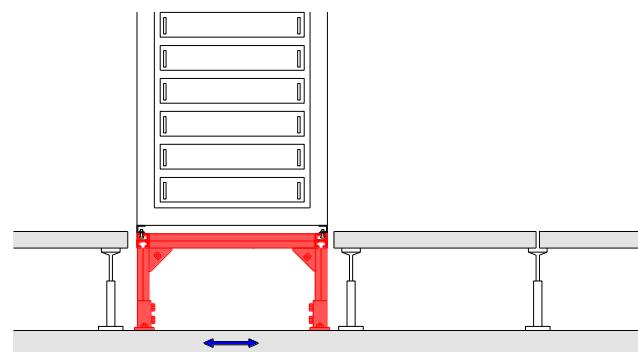


Abb. 2.3.6 &gt; Biegesteifer Grundrahmen für Einbauten



Abb. 2.3.7 &gt; Befestigung Grundrahmen an Wand



Abb. 2.3.8 &gt; Horizontale Stabilisierung durch Diagonalstreben

- Die Stützen von Hohlböden sind in der Regel durch Verklebung mit dem Rohboden verbunden (Verbund-Doppelböden zusätzlich auch oben). Der Einspanngrad und die Steifigkeit können durch Stützen mit vergrössertem Fuss noch verstärkt werden (Abb. 2.3.3).
- Unterkonstruktionen mit C-Profilen sind in der Regel mit den umliegenden Wänden verbunden. Sind keine oder nur Leichtbauwände vorhanden, sollte horizontal stabilisiert werden (i.d.R. Diagonalen). Eine Verbesserung der Absturzsicherheit von Bodenplatten ist möglich durch ein zusätzliches C-Profil in der Plattenmitte oder durch eine Aufdoppelung auf der Plattenrückseite (Abb. 2.3.4). Bei Aufdoppelung sollten entsprechend höhere horizontale Beanspruchungen der C-Profilen berücksichtigt werden.
- Bei fehlenden Umgebungswänden können Verbund-Doppelböden oder Hohlraumböden durch horizontal gesicherte Abschlussprofile

stabilisiert werden. Die systembedingte Anschlussfuge muss behalten werden (Abb. 2.3.5).

- Grundrahmen sind auch auf die auftretenden Horizontalkräfte und gegebenenfalls nach oben gerichteten Zugkräfte auszulegen. Eine einfache Massnahme ist die Verschraubung mit den Umgebungswänden (Abb. 2.3.1). Alternativ können Grundrahmen durch Diagonalstreben horizontal stabilisiert werden, dabei ist der freie Querschnitt für die Verkabelung zu beachten (Abb. 2.3.2 und 2.3.6). Schränke, Apparate in Schrankbauweise und Batteriestellene sind sorgfältig auf den Grundrahmen zu befestigen (siehe dazu auch Kapitel 2.13).
- Bei Stufenböden (Personengefährdung) ist die Überprüfung der erdbebengerechten Bemessung durch einen spezialisierten Bauingenieur angeraten.

## Hinweise

Dank der allgemein geringen Aufbauhöhe stellen die relativen Stockwerkschiefstellungen meist keine Gefahr dar.

## 2.4

## Wände, Ausfachungen

### Merkmale und Schäden



Abb. 2.4.1 > Druckdiagonale durch Mauerwerkswand und Schädigung der Stahlbetonstützen



Abb. 2.4.2 > Schubbruch in kurzer Stütze bei Mauerwerksausfachung



Abb. 2.4.3 und 2.4.4 > Schäden an Leichtbauwänden



- Trenn- und Zwischenwände sind sowohl beschleunigungs- als auch verformungsempfindlich.
- Ausfachungen, die satt an die angrenzenden Tragelemente gemauert sind, beeinflussen das Gesamtverhalten des Bauwerks. Aufgrund ihrer Steifigkeit übernehmen sie zu Beginn eines Erdbebens zunächst einen Grossteil der Einwirkung, versagen aber infolge von zu geringem Tragwiderstand schnell. Infolge von Stockwerkschiefstellungen, die Ausfachungen in Wandrichtung beanspruchen, kann sich eine Druckdiagonale im Mauerwerk ausbilden (Abb. 2.4.1). Oft kommt es zum Gleiten in einer Lagerfuge. Ausfachungen können in angrenzenden Stützen hohe Momentengradienten erzeugen, was zu einem Schubbruch in der angrenzenden Stütze führen kann (Abb. 2.4.1 und 2.4.2).

- Bei einer Anregung senkrecht zur Wandebene («out-of-plane») können Steine herausfallen, oder die ganze Wand kann umkippen (Abb. 2.4.3).
- Weitere Schadensbilder sind Risse bei Öffnungen, verformte Ständerwände, Versagen der Verbindungen und Abplatzungen im Verputz (Abb. 2.4.4).
- Gemäss<sup>[2]</sup> liegt die Schadengrenze für fest verbundene, nicht abgefugte Ausfachungen bei Stockwerkschiefstellungen von ca. h/1500 (Backstein) bzw. h/1000 bis h/500 (Metall- oder Kunststoffwände). Das bedeutet, dass z. B. eine Ausfachung aus Backstein in einem 3 m hohen Geschoss bereits ab ca. 2 mm Verschiebung Schäden erfährt.

### Gefahren

- Personengefährdung
- Sachschäden
- Beschädigung der Tragstruktur
- Beeinträchtigung der Funktionstüchtigkeit (infolge umgestürzter schwerer Einbauten)
- Blockieren der Fluchtwege (besonders bei hohen Aufbauhöhen)
- Schädigung der Umwelt

## Massnahmen

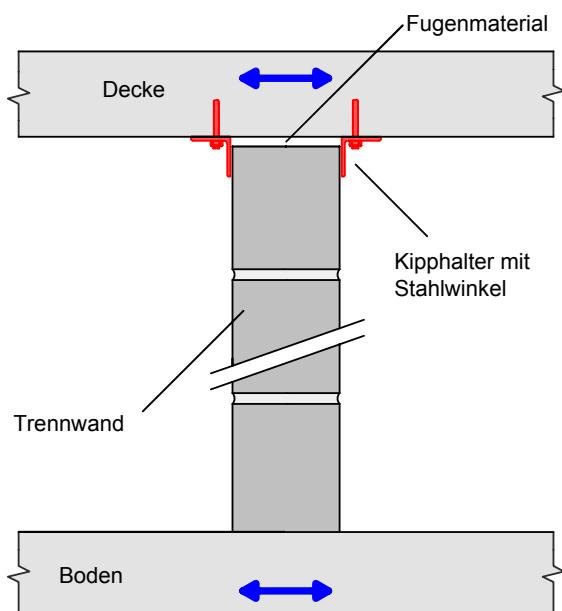


Abb. 2.4.5 > Massnahmen bei Trenn- und Zwischenwänden

- Ausser in sehr steifen Gebäuden mit geringen relativen Stockwerksverschiebungen sollten Ausfachungen isoliert oder sonst bei der horizontalen Tragwerksanalyse berücksichtigt werden. Ungeeignet sind weiche Tragsysteme (Rahmen), kombiniert mit steifen Ausfachungen.
- Ausfachungen von Stahlbetonrahmen sind so zu konstruieren, dass die Ausbildung einer Druckdiagonale im Mauerwerk sowie ein Schubversagen in den Stützen ausgeschlossen werden können (Abb. 2.4.5). Raumhohe Wände sollten an der Decke mit einer Gleitverbindung in Wandrichtung vom Tragwerk isoliert werden (z. B. mit Gummischrot). Vorteilhaft ist der Einbau von Lagerfugenbewehrung über die gesamte Wandhöhe.
- Quer zur Wandebene sind Trennwände je nach Erdbebeneinwirkung oben, unten und seitlich zu halten, z. B. mit Stahlwinkeln (Abb. 2.4.5, Abb. 2.4.6). Eine Ausbildung als Kragarmkonstruktion ist zwar möglich, aber schwierig zu realisieren. Dazu ist eine Ein-spannung in der Decke erforderlich, z. B. mit Anschlussbewehrung.

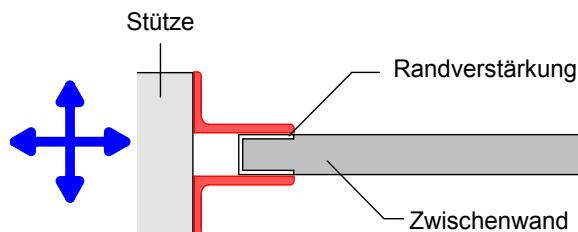


Abb. 2.4.6 > Konstruktionsdetails zur seitlichen Halterung von Zwischenwänden

- Je nach Anforderungen können Schäden an Wänden oder Ausfachungen toleriert werden, aber nur sofern sie nicht als gefährdende sekundäre Bauteile identifiziert werden. Unter Umständen kann dann auf eine Fuge verzichtet werden.
- Zur Bestimmung der Fugenbreite kann die Formel nach<sup>[3]</sup> verwendet werden. Die vertikale Fuge seitlich der Ausfachung sollte je nach Tragwerk und Erdbebeneinwirkung ca. 10 bis 40 mm betragen, wobei die Zusammendrückbarkeit des Fugenmaterials einen wesentlichen Einflussparameter darstellt. Die horizontale Fuge zwischen der Ausfachung und der Decke sollte mindestens halb so breit sein<sup>[3]</sup>.
- Grobe, eher konservative Richtwerte für die Stockwerkschiefstellung bzw. -verschiebung sind auch im Anhang A5 (Hilfstabellen) zu finden.

## Hinweise

- Gegenstände und Installationen, die an Wänden befestigt sind, können die Gefahr des Umkippen der Wände erhöhen oder ebenfalls Schäden davontragen. Dient eine Wand zur Abtragung horizontaler Lasten von anderen Installationen, sollte sie dementsprechend dimensioniert werden. Trennwände dürfen nicht an Deckenbekleidungen abgestützt werden.
- Leichtbauwände zur Raumauftteilung können, mit breiten und schweren Auflagerfüßen versehen, miteinander verbunden und im Grundriss winkel förmig angeordnet werden, um den Kippwiderstand zu vergrössern.

- Das Fugenmaterial sollte möglichst weich sein. Bei der Wahl des Materials sind aber auch die Anforderungen für den Normalzustand zu berücksichtigen (Wärmeisolierung, Lärm- und Brandschutz etc.).

2.5

## Fassadensysteme, Verkleidungen

### Merkmale und Schäden

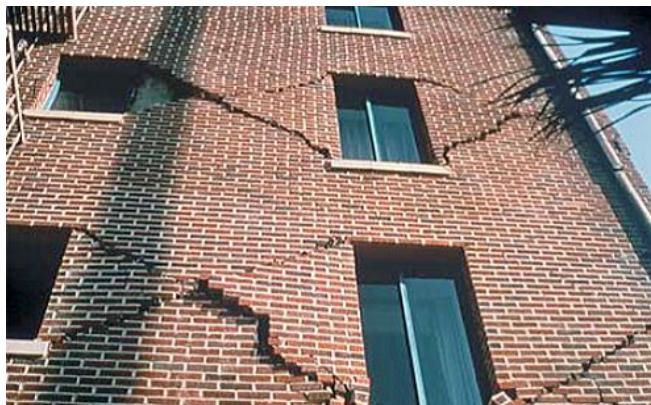


Abb. 2.5.1 &gt; Kreuzrisse zwischen Fenstern



Abb. 2.5.2 &gt; Ablösung von geklebten Elementen



Abb. 2.5.3 &gt; Versagen aus der Ebene einer vorgehängten Fassade



Abb. 2.5.4 &gt; Einsturz einer vorgemauerten Fassade

- Verkleidungen sind sowohl verformungs- als auch beschleunigungsempfindlich. Bei Bauwerken, deren Tragwerk eine geringe Steifigkeit für horizontale Einwirkungen aufweist, entstehen haupt-sächlich Schäden durch Verformungen. Bei schweren Fassaden- oder Verkleidungselementen sind hingegen eher Beschleunigungskräfte die Ursache für Schäden.

- Häufige Schäden sind (kreuzförmige) Risse (Abb. 2.5.1) und grossflächige Ablösungen (Abb. 2.5.2). Besonders gefährdet sind Bereiche bei Ecken und Öffnungen.
- Bei einer Beanspruchung senkrecht zur Elementebene («out-of-plane») können ganze Elemente oder Fassaden herausfallen (Abb. 2.5.3, Abb. 2.5.4).

### Gefahren

- Personengefährdung
- Sachschäden
- Beschädigung der Tragstruktur
- Beeinträchtigung der Funktionsstüchtigkeit (infolge umgestürzter schwerer Einbauten)
- Blockieren der Fluchtwege (besonders bei hohen Aufbauhöhen)
- Schädigung der Umwelt

## Massnahmen



Abb. 2.5.5 &gt; Befestigung von Fassadenelementen mit Langlöchern

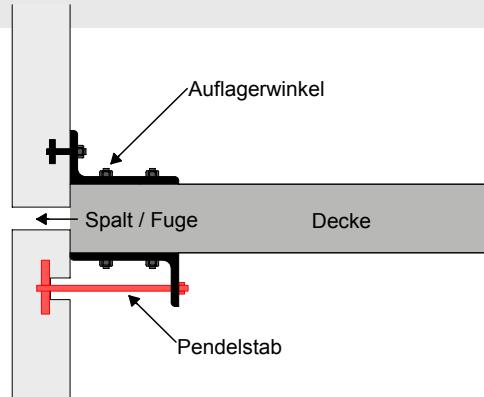


Abb. 2.5.6 &gt; Befestigung von Fassadenelementen mit Pendelstäben

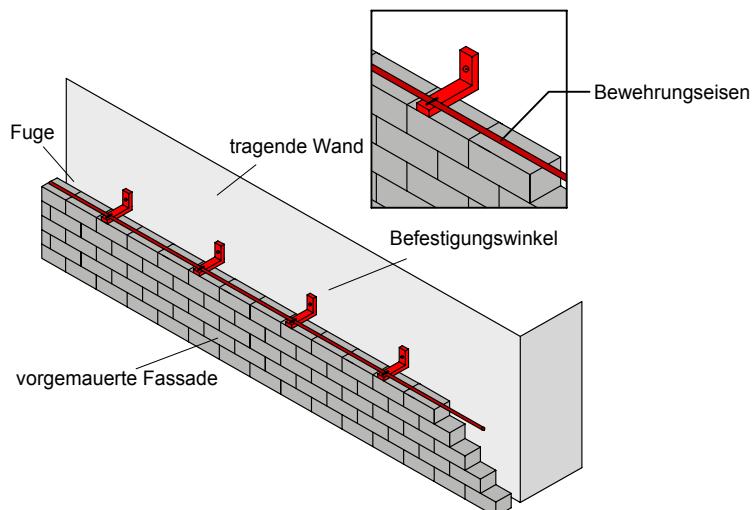


Abb. 2.5.7 &gt; Massnahmen für vorgemauerte Elemente

- Die Fassade sollte in der Ebene genug flexibel oder dilatiert sein, um relative Stockwerkverschiebungen aufnehmen zu können. Von Bedeutung ist v. a. die Ausbildung der Eckbereiche, damit Bewegungen in beide Richtungen aufgenommen werden können.
- Um Verschiebungen in der Elementebene («in plane») von Fassadenelementen zu ermöglichen, können Gleitverbindungen mit ausreichenden Schlitzlängen oder Langlöchern (Abb. 2.5.5) eingesetzt werden. Die Elemente sind auf einem Stockwerk vertikal und horizontal gelagert. Bei der benachbarten Decke sind sie in Fassadenrichtung horizontal beweglich gelagert. Eine andere Variante ist die Befestigung mit Zugstangen (gelenkiger Pendelstab, Abb. 2.5.6). Zwischen den Elementen ist eine Fuge nötig, damit sie nicht aneinanderprallen können.

- Eine Beanspruchung senkrecht zur Elementebene («out-of-plane») ist ebenfalls zu beachten. Bei leichten Fassaden ist oft die Windeinwirkung (Druck/Sog) massgebend für die Dimensionierung der Verbindungsmitte. Die Erdbebeneinwirkung kann jedoch bei schweren Elementen und höherer Seismizität relevant sein.
- Bei Vormauerschalen kann eine Bewehrung ins Mörtelbett eingelebt werden, die über Winkel mit dem Tragwerk verbunden ist (Abb. 2.5.7). Dabei ist auf genügenden Verbund (Haftspannung zwischen Stahl und Mörtel) zu achten.

## Hinweise

- Hinweise zu Ausfachungen mit Mauerwerk sind in Kap. 2.4 zu finden.
- Die Anforderungen an die Befestigung können sich je nach Erdbebeneinwirkungen und Lage des Elements unterscheiden. Die Befestigungen müssen dauerhaft und witterungsbeständig sein, dürfen die Tragwerksverformungen nicht behindern und müssen bei den erwarteten Verformungen intakt bleiben.
- Für die erforderlichen Fugenbreiten gelten analoge Überlegungen wie bei den Trenn- und Zwischenwänden (siehe Kap. 2.4).

## 2.6

**Brüstungen (und Geländer)****Merkmale und Schäden**

Abb. 2.6.1 und 2.6.2 &gt; Versagen infolge Trägheitskräften quer zur Brüstungsebene

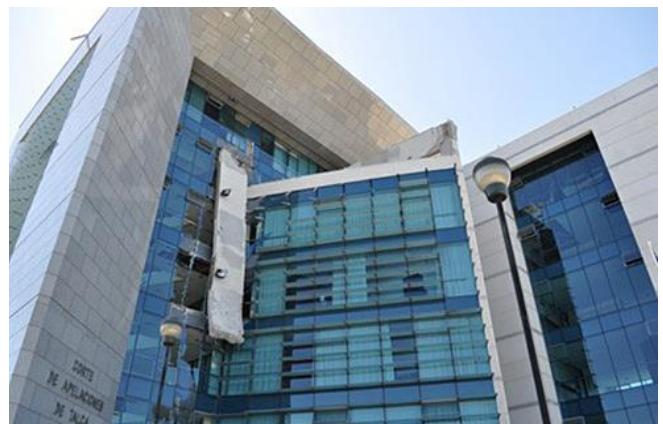


Abb. 2.6.3 &gt; Brüstung im oberen Geschoss herausgefallen

Abb. 2.6.4 &gt; Versagen quer zur Brüstungsebene, grosses Absturzrisiko

- Schwere Brüstungen ohne horizontale Aussteifung weisen bei Erdbeben typischerweise Instabilitäten aus der Ebene («out-of-plane») auf (Abb. 2.6.1 bis 2.6.4). Sie können nach aussen oder

nach innen fallen und möglicherweise das (Glas-)Dach durchschlagen. Weitere Schadensbilder sind Schäden an Verbindungen, Risse und Abplatzungen.

**Gefahren**

- Personengefährdung
- Sachschäden
- Beschädigung der Tragstruktur
- Beeinträchtigung der Funktionstüchtigkeit (infolge umgestürzter schwerer Einbauten)
- Blockieren der Fluchtwege (besonders bei hohen Aufbauhöhen)
- Schädigung der Umwelt

### Massnahmen

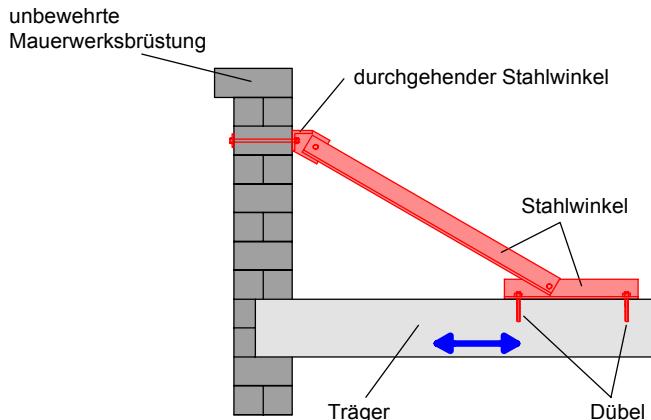


Abb. 2.6.5 &gt; Massnahmen für Brüstungen auf dem Dach



Abb. 2.6.6 &gt; Massnahmen für Brüstungen auf dem Dach

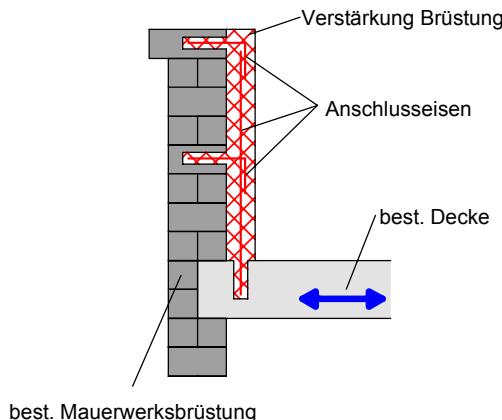


Abb. 2.6.7 &gt; Nachträgliche Sicherung einer Mauerwerksbrüstung mit Stahlbeton

- Eine Brüstung aus Stahlbeton oder Mauerwerk kann als Kragarmkonstruktion bemessen und ausgeführt werden. Der Einsatz von bewehrtem Mauerwerk kann je nach Erdbebeneinwirkung sinnvoll sein. Bestehende Brüstungen können mit einer horizontalen Verankerung oder einer Verstärkung aus Stahlbeton (allenfalls Spritzbeton) gesichert werden (Abb. 2.6.5 bis 2.6.7).

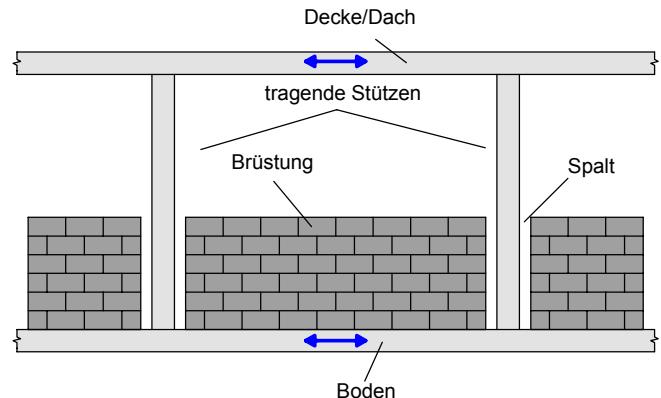


Abb. 2.6.8 &gt; Ausfachungen zwischen Stützen

- Die Lage der horizontalen Verankerung sollte in Abhängigkeit der mobilisierbaren Kräfte (z. B. Reibungskräfte im Fugenmörtel) sowie möglichen Bruchmechanismen festgelegt werden.
- Nicht abgefugte Teilausfachungen können das Tragwerk erheblich beschädigen («short column» Effekt) und sind deshalb unbedingt zu vermeiden (Abb. 2.6.8). Es gelten analoge Überlegungen wie in Kap. 2.4.

2.7

## Treppen

### Merkmale und Schäden



Abb. 2.7.1 und 2.7.2 > Druckdiagonalen im Treppenlauf

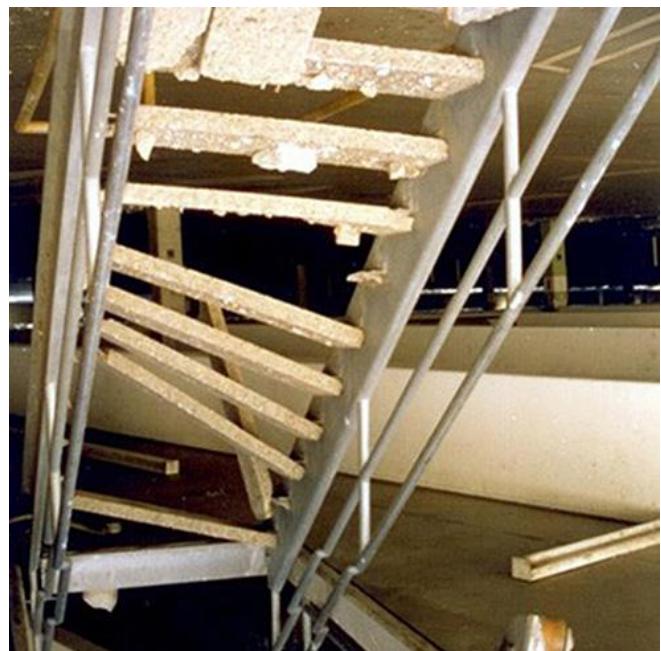


Abb. 2.7.3 > Trümmerreste versperren den Treppenlauf

Abb. 2.7.4 > Herabgefallene Treppentritte

- Schäden an Treppen entstehen hauptsächlich infolge relativer Stockwerksverschiebungen, welche ungewollte Zug- und Druckkräfte in den Treppenläufen erzeugen (Zusammenstauchen oder Auseinanderreissen der Treppe) (Abb. 2.7.1 und 2.7.2). Dieses Phänomen tritt deshalb v. a. auf bei Bauwerken, deren Tragwerk eine geringe Steifigkeit für horizontale Einwirkungen aufweist.

- Auch zerstörte oder herabfallende Treppentritte können eine Gefahr darstellen (Abb. 2.7.4). Werden Treppenhaustücher beschädigt, können Trümmerreste die Wege versperren (Abb. 2.7.3).

## Gefahren

- Personengefährdung
- Sachschäden
- Beschädigung der Tragstruktur
- Beeinträchtigung der Funktionstüchtigkeit (infolge umgestürzter schwerer Einbauten)
- Blockieren der Fluchtwege (besonders bei hohen Aufbauhöhen)
- Schädigung der Umwelt

## Massnahmen

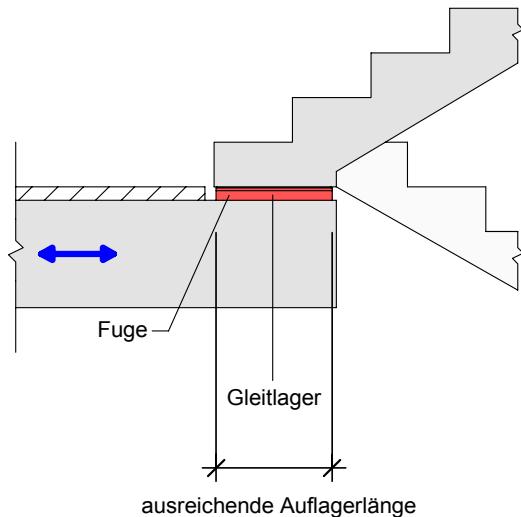


Abb. 2.7.5 > Massnahmen bei Treppenläufen

- Um ein Herabfallen von Treppenelementen zu verhindern, sollten ausreichende Auflagerlängen vorgesehen werden (Abb. 2.7.5 und 2.7.6).

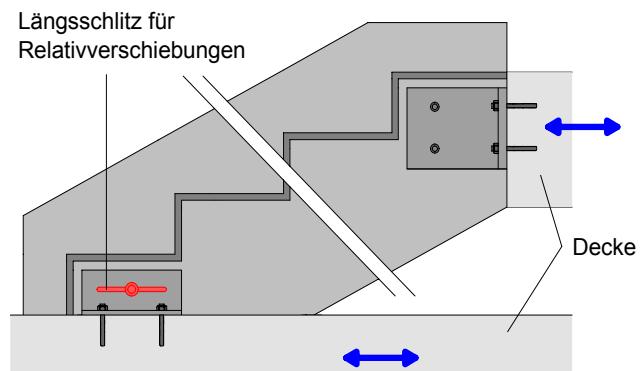


Abb. 2.7.6 > Massnahmen bei Treppenläufen

- Damit sich keine Druckdiagonale ausbilden kann, sollte die Treppe in Längsrichtung bei einer Decke fixiert und bei der benachbarten mit einem verschiebblichen Lager ausgestattet werden. Die Bewegungsfreiheit kann zum Beispiel auch mit Langlöchern erreicht werden (Abb. 2.7.6).

## Hinweise

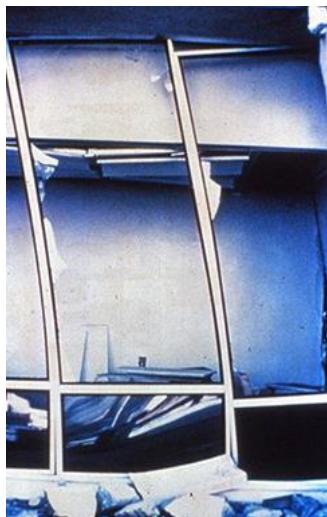
- Spröde Materialien wie z. B. Glas sollten im Bereich von Treppenhäusern vermieden oder gegen Einsturz in den Schacht gesichert werden.

## 2.8 Verglasung, Türen, Fenster

### Merkmale und Schäden



**Abb. 2.8.1 > Herausgebrochene Fensterscheiben**



**Abb. 2.8.2 > verbogene Fensterrahmen in weichem Gebäude**



**Abb. 2.8.3 > Schäden an Verglasung mit Glasbausteinen**

- Verglasungen sind sowohl beschleunigungs- als auch verformungs-empfindlich in und aus ihrer Ebene heraus («in plane» und «out-of-plane»). Speziell in weichen Bauwerken mit grossen Stockwerksschiefstellungen treten häufig Schäden auf. Glasscheiben können als Ganzes herausfallen (Abb. 2.8.1) oder in grosse Stücke zerbrechen (Abb. 2.8.3) und stellen eine erhebliche Personengefährdung dar.
- Fenster- und Türrahmen können sich so deformieren, dass sich die Türen nicht mehr öffnen lassen. (Abb. 2.8.2).

### Gefahren

- Personengefährdung
- Sachschäden
- Beschädigung der Tragstruktur
- Beeinträchtigung der Funktionsstüchtigkeit (infolge umgestürzter schwerer Einbauten)
- Blockieren der Fluchtwiege (besonders bei hohen Aufbauhöhen)
- Schädigung der Umwelt

## Massnahmen

- Die konstruktive Durchbildung sollte auf die erwarteten relativen Stockwerksverschiebungen abgestimmt werden. Um die Verformungen in der Ebene («in plane») aufnehmen zu können, sollte bei der Befestigung an den Fenstersprossen Spielraum vorgesehen werden (Abb. 2.8.4).
- Für die erforderlichen Fugenbreiten gelten analoge Überlegungen wie bei den Trenn- und Zwischenwänden (siehe Kap. 2.4).
- Verglasungen aus Glasbausteinen sind sehr spröde (Abb. 2.8.3) und sollten deshalb analog zu Trennwänden aus Mauerwerk (siehe Kap. 2.4) ausgebildet werden. Sie sollten vom Tragwerk mit einer verformbaren Fuge getrennt werden.
- Türen können sich bei Schieflagen ab ca. 0.2 % verklemmen und Fluchtwägen blockieren. Je nach Wichtigkeit der Türe sollte deshalb der Rahmen von Tragwerk abgegurtet werden.

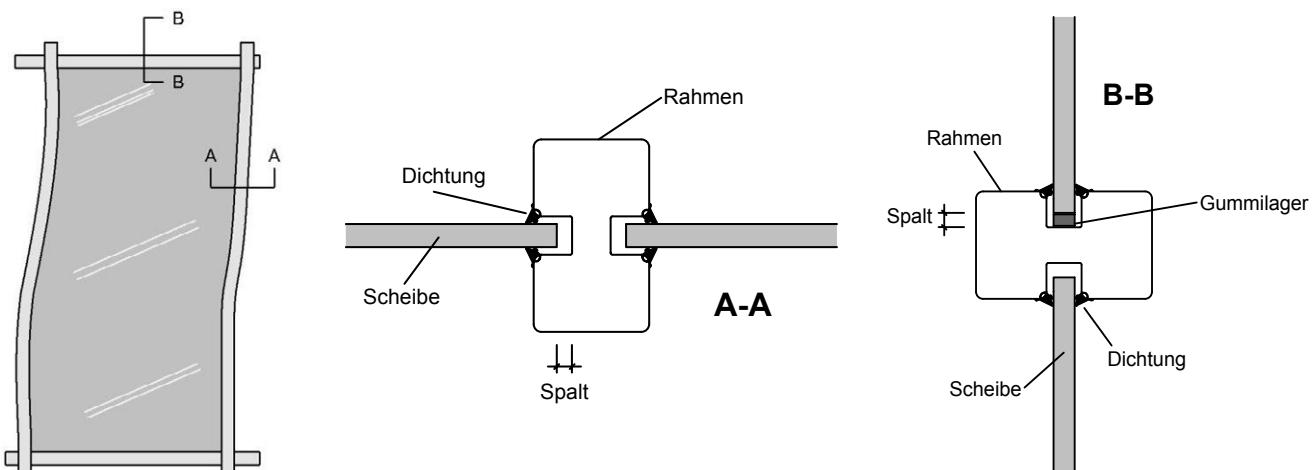


Abb. 2.8.4 > Massnahmen bei Fensterscheiben

- Es können verschiedene Glasarten zum Einsatz kommen, die ein mehr oder weniger gutes Erdbebenverhalten aufweisen. Normales Glas (meist «Floatglas») zerspringt in grosse Scherben. Dieses ungünstige Verhalten kann durch Aufbringen einer Folie als kostengünstige Verstärkungsmassnahme etwas verbessert werden. Folien eignen sich hauptsächlich bei kleinen Fenstern, da bei grossen die ganze Scheibe aus dem Rahmen fallen kann. Eine nachträglich aufgebrachte Folie als Verstärkungsmassnahme soll wenn möglich im Rahmen eingespannt werden.
- Ein gutes Bruchverhalten weist temperiertes Glas, so genanntes Einscheiben-Sicherheitsglas (ESG), auf. Es wird bei grosser Temperatur abgeschreckt und kann dank diesem inneren Spannungszustand höhere Zugbelastungen aufnehmen. Es zerbricht in kleine Krümel, welche eine geringere Personengefährdung darstellen. Das Bruchverhalten von teilvorgespanntem Glas (TVG) ist ähnlich schlecht wie jenes von Floatglas.

- Ein sehr gutes Verhalten weist Verbundsicherheitsglas (VSG) auf. Es besteht aus mindestens zwei Scheiben und einer Zwischenschicht (meist PVB-Folie). Dazu können alle oben beschriebenen Glasarten verwendet werden. Bei einer Beschädigung hält die Zwischenschicht die Scherben zusammen und die Scheibe weist eine Resttragfähigkeit auf. Drahtgläser sind qualitativ minderwertiger als VSG-Scheiben, bieten aber ebenfalls einen Schutz gegen herabfallende Glasstücke.

## Hinweise

- Über Gehwegen, Türen, Fluchtwege oder Aufenthaltsbereichen von Personen sollten nur Scheiben mit Sicherheitsglas (ESG, VSG) eingesetzt werden.
- Bei harten und spröden Dichtmitteln, wie z. B. Vinyl, treten bereits bei verhältnismässig geringen Stockwerkschieflagen von ca. 1/1500 bis 1/500 Schäden auf. Aus diesem Grund sollten elastische Kittfugen, wie z. B. aus Silikon, bevorzugt werden, die erst bei Schieflagen von ca. 1/100 Schäden verursachen<sup>[14]</sup>.
- Bei sehr steifen Bauwerken (relative Stockwerksverschiebungen bis ca. 2 mm) sind keine besonderen Massnahmen zu treffen.
- Quer zur Wandebene ist die Beanspruchung infolge Windeinwirkung in der Regel grösser als infolge Erdbebeneinwirkung, so dass der Lastfall Wind für die Bemessung massgebend ist.

## 2.9

**Tafeln, Schilder, Vordächer****Merkmale und Schäden**

Abb. 2.9.1 &gt; Heruntergefallene Werbetafel



Abb. 2.9.2 &gt; Eingestürztes Vordach

- Bei diesen Elementen ist v. a. die Beanspruchung in horizontaler Richtung durch Erdbeben, also längs zur Fassade oder Tragstruktur, von Bedeutung. Es kann zu einer Beschädigung oder dem Versagen der Befestigung führen.

- Schwere kragarmartige Konstruktionen ohne Abstützung können auch vertikal in Schwingung geraten. Infolge von Trägheitskräften kann das Element bei fehlender oder ungenügender Aussteifung versagen und herunterstürzen.

**Gefahren**

- Personengefährdung
- Sachschäden
- Beschädigung der Tragstruktur
- Beeinträchtigung der Funktionstüchtigkeit (infolge umgestürzter schwerer Einbauten)
- Blockieren der Fluchtwege (besonders bei hohen Aufbauhöhen)
- Schädigung der Umwelt

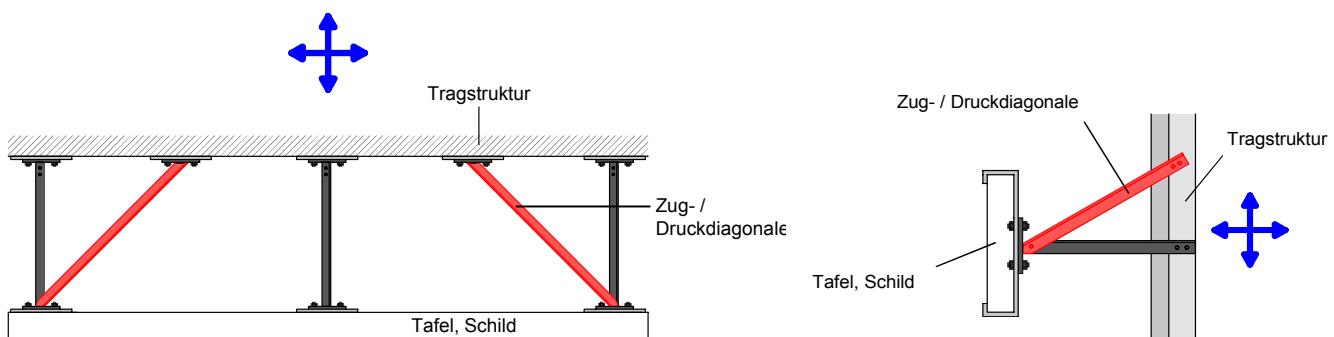
**Massnahmen**

Abb. 2.9.3 &gt; Massnahmen bei auskragenden Konstruktionen (Darstellung im Grundriss und Schnitt)

- Eine diagonale Aussteifung reduziert Schwingungen in vertikaler und horizontaler Richtung. Die Verstrebung ist im Tragwerk zu verankern.

**Hinweise**

- Gerade bei leichten Konstruktionen mit grosser Fläche ist die Beanspruchung infolge von Windeinwirkung in der Regel deutlich grösser als infolge von Erdbeben. Die Erdbebeneinwirkung wird eher im Innenbereich oder bei sehr schweren Elementen massgebend.
- Eine blosse Absturzsicherung mit einer Kette ist nicht geeignet, da sie keine aussteifende Wirkung besitzt und das Aufschaukeln nicht verhindern kann.

## 2.10 Kamine, Schornsteine, Dachdeckung

### Merkmale und Schäden



Abb. 2.10.1 &gt; Einsturz eines Kamins



Abb. 2.10.2 &gt; Heruntergefallene Dachziegel



Abb. 2.10.3 und 2.10.4 &gt; Abgelöste Deckenuntersicht und Abplatzungen in Verputz



- Kamine aus Mauerwerk können sehr verletzbar sein. Bei kleinen Erdbebeneinwirkungen dominieren Schäden wie Risse und Abplatzungen. Bei grösseren Erdbebeneinwirkungen kann sich der Kamin vom Tragwerk ablösen oder einstürzen (Abb. 2.10.1).
- Lose Dachziegel können bei einem Erdbebeneignis vom Dach herunterfallen. Diese Gefahr besteht auch für schlecht befestigte Gipsplatten (Abb. 2.10.2).

- Bei verputzten Untersichten entstehen häufig Risse und Abplatzungen (Abb. 2.10.3 und 2.10.4), besonders bei Öffnungen und in Eckbereichen.

### Gefahren

- Personengefährdung
- Sachschäden
- Beschädigung der Tragstruktur
- Beeinträchtigung der Funktionstüchtigkeit (infolge umgestürzter schwerer Einbauten)
- Blockieren der Fluchtwege (besonders bei hohen Aufbauhöhen)
- Schädigung der Umwelt

### Massnahmen

- Je nach Erdbebeneinwirkung kann eine Verankerung eines Kamins am Gebäude erforderlich werden (analog zu Kap. 2.6).
- Schornsteine aus Mauerwerk können z. B. durch solche aus Metall ersetzt werden. Sie sind leichter und können einfach an der Fassade befestigt werden.
- Dachziegel können mit Nägeln oder Drähten absturzsicher befestigt werden. Es sollte jedoch überprüft werden, ob der Lastfall Erdbeben gegenüber der Windeinwirkung überhaupt massgebend ist.
- Die Haftgrundlage für den Verputz sollte ausreichend mit dem Tragwerk verbunden sein. Die Flächen sollten in Abschnitte unterteilt werden, die mit Fugen voneinander getrennt sind.

## 2.11 Notstromversorgung

### Merkmale und Schäden



Abb. 2.11.1 > Schäden an Regal für Notstrombatterien und Herausfallen der Batterien

- Bei fehlender oder ungenügender Verankerung können Generatoren und Regale für Notstrombatterien verrutschen oder umkippen. Batterien können aus den Regalen fallen (Abb. 2.11.1).
- Sind Generatoren auf Schwingungsisolatoren montiert, kann es beim Versagen der Befestigungen zu erheblichen Bewegungen kommen (siehe auch 2.20).

### Gefahren

- Personengefährdung
- Sachschäden
- Beschädigung der Tragstruktur
- Beeinträchtigung der Funktionstüchtigkeit (infolge umgestürzter schwerer Einbauten)
- Blockieren der Fluchtwege (besonders bei hohen Aufbauhöhen)
- Schädigung der Umwelt

### Massnahmen

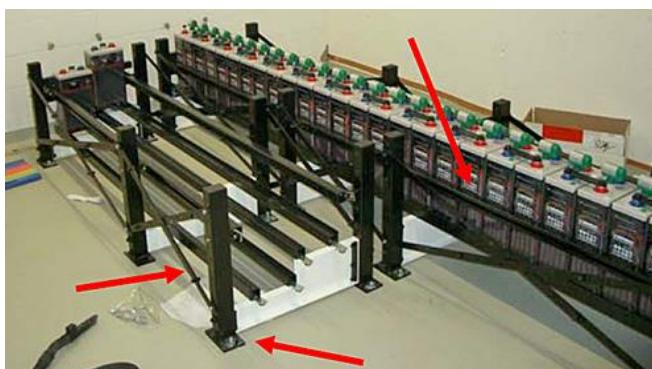


Abb. 2.11.2 > Ausgesteiftes Regal für Notstrombatterien

- Regale für Notstrombatterien sollten gegen Umkippen oder Verrutschen ausreichend befestigt und mit einer genügenden Aussteifung stabilisiert werden (Abb. 2.11.2).
- Batterien sollten mit Profilen oder Leisten gegen Abstürzen gesichert werden. Eine gegenseitige Beschädigung benachbarter Batterien sollte verhindert werden. Dies kann beispielsweise mit gewellten Einlagen aus Kunststoff oder Elastomer erfolgen (Abb. 2.11.3).
- Weitere Komponenten des Notstromkreislaufs sollten ebenfalls gesichert werden: Schaltanlagen von Normal- auf Notstrom (2.13),

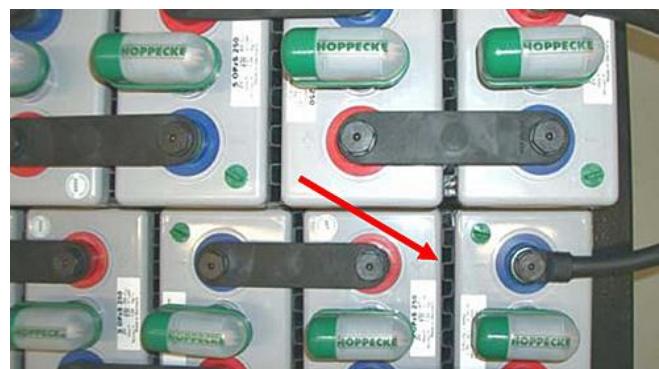


Abb. 2.11.3 > Einlagen zwischen einzelnen Batterien

- Generatoren (2.16), Treibstofftanks (2.17), Leitungen (2.18). Systeme mit Schwingungsisolatoren siehe Kapitel 2.20.
- Freistehende Geräte sollten gegen Kippen mit einer Fundamentplatte mit genügend grosser Aufstandsfläche versehen oder verankert sein.
- Für auf Grundrahmen von Doppelböden stehende Regale mit Notstrombatterien siehe auch Kapitel 2.3.
- Eine seismische Isolation der Apparate ist eine weitere effiziente Lösung.

### Hinweise

- Diese Elemente sind für die Aufrechterhaltung des Betriebes (bei der Produktion generell und insbesondere von lebens-

wichtigen Infrastrukturen im Katastrophenfall) wesentlich, weshalb ihrer Sicherung eine grosse Bedeutung zukommt.

## 2.12 Brandschutz

### Merkmale und Schäden

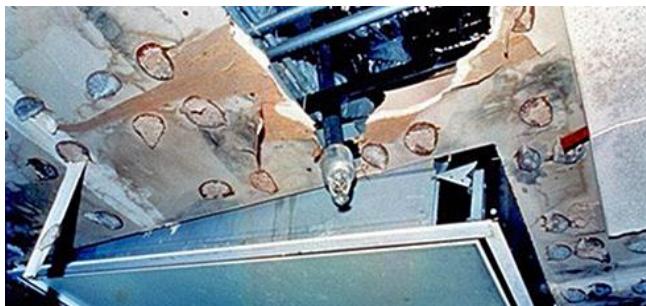


Abb. 2.12.1 und 2.12.2 > Beschädigter Sprinklerkopf

- Sprinklerköpfe sind verformungsempfindlich und vor allem gefährdet, wenn sie in Deckenbekleidungen eingebaut sind. Sie werden häufig durch Zwängungen an den Durchbrüchen beschädigt, da Deckenbekleidungen und Sprinkler häufig unabhängig voneinander schwingen können. Besonders verletzbar sind Abzweigungen von den Hauptleitungen (Abb. 2.12.1 und 2.12.2).

### Gefahren

- Personengefährdung
- Sachschäden
- Beschädigung der Tragstruktur
- Beeinträchtigung der Funktionstüchtigkeit (infolge umgestürzter schwerer Einbauten)
- Blockieren der Fluchtwege (besonders bei hohen Aufbauhöhen)
- Schädigung der Umwelt

### Massnahmen



Abb. 2.12.3 > Flexible Abzweigung von Hauptleitung

- Deckenbekleidungen sollten erdbebenberecht ausgebildet werden (siehe 2.2).
- Die Verletzbarkeit von Sprinklerköpfen kann mit flexiblen Anschlüssen an der Hauptleitung reduziert werden. Alternativ kann durch einen genügend grossen Spalt bei Decken- oder Wanddurchbrüchen Bewegungsspielraum geschaffen werden (Abb. 2.12.3 und 2.12.4).



Abb. 2.12.4 > Verankerung der Pumpe und Steuereinheit, flexible Leitungsvorbindungen und Wanddurchbruch mit Spielraum

- Rauch- und Brandmelder und weitere Alarmsysteme und Löscheinrichtungen sollten ausreichend befestigt werden.
- Informationen zu Teilkomponenten wie Tanks (2.17), Leitungen oder Lüftungen (2.18), Pumpen (2.16) sowie Steuereinheiten für Sprinkler und Brandschutztüren (2.13) sind den entsprechenden Kapiteln zu entnehmen.

### Hinweise

- Einige Versicherungsunternehmen haben eigene Anforderungen und Richtlinien für Brandschutzsysteme entwickelt. Das amerikanische Unternehmen FM Global ([www.fmglobal.com](http://www.fmglobal.com)) beispielsweise verlangt für sämtliche Bauten, die es versichert, die Ein-

haltung der eigenen Normen und Richtlinien. Es ist deshalb frühzeitig abzuklären, ob solche speziellen Normen/Richtlinien existieren und angewendet werden müssen.

## 2.13 Schalt-, Steuerschränke

### Merkmale und Schäden



Abb. 2.13.1 und 2.13.2 > Umgekippte Steuerschränke

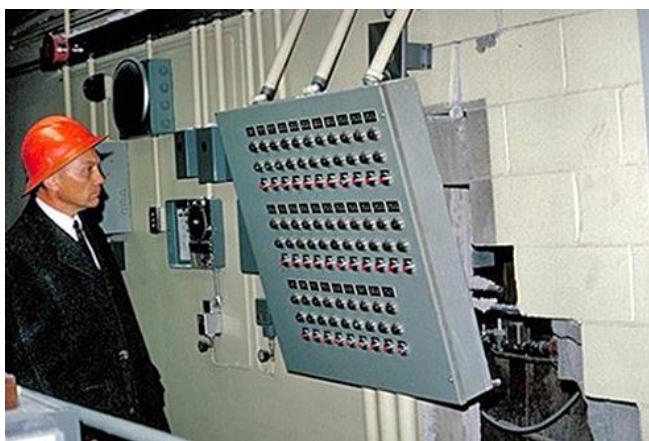


Abb. 2.13.3 > Versagen der Wandbefestigung

- Durch Trägheitskräfte können grosse und schlanke Schränke verrutschen oder umkippen (Abb. 2.13.1 und 2.13.2). Die Schalt- und Steuergeräte in den Schränken können durch die Beschleunigung beschädigt werden und einen Funktionsausfall verursachen.

- Bei wandmontierten Steuerschränken tritt hauptsächlich ein Versagen aus der Elementebene («out-of-plane») auf (Abb. 2.13.3).
- Apparate in Schrankbauweise auf Rollen können in die Öffnungen von Hohlböden fallen. Um das zu verhindern, sind am Rand der Öffnung Leisten zu montieren (siehe auch Kap.2.3).

### Gefahren

- Personengefährdung
- Sachschäden
- Beschädigung der Tragstruktur
- Beeinträchtigung der Funktionstüchtigkeit (infolge umgestürzter schwerer Einbauten)
- Blockieren der Fluchtwege (besonders bei hohen Aufbauhöhen)
- Schädigung der Umwelt

## Massnahmen

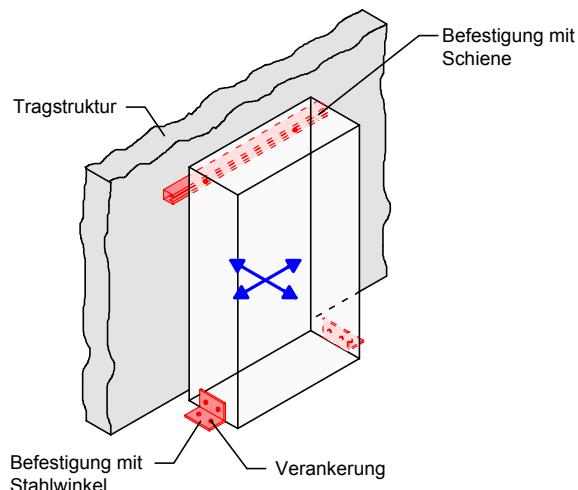


Abb. 2.13.4 > Verankerung von Schränken

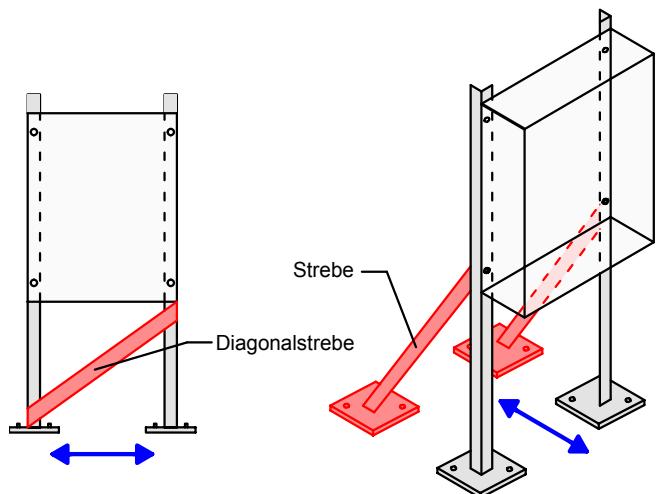


Abb. 2.13.5 > Verankerung von freistehenden Schrankeinheiten



Abb. 2.13.6 und 2.13.7 > Sicherung von Schränken an der Wand



- Steuerschränke sollten so verankert werden, dass sie nicht umkippen oder verrutschen können. Befestigungen an den Wänden, an der Decke oder auf dem Boden sind möglich (Abb. 2.13.4 und 2.13.6). Die Wand sollte die Zusatzlasten infolge Erdbeben-Einwirkung aufnehmen können.
- Freistehende Schrankeinheiten benötigen eine ausreichende horizontale Aussteifung und Verankerung (Abb. 2.13.5).

- Bei Schränken im Rauminnern kann eine Verankerung mit Hilfe hochliegender Schienen realisiert werden, die an den Wänden verankert sind (Abb. 2.13.7).
- Weitere Sicherungsmöglichkeiten sind auch in Kapitel 2.22 zu finden.
- Für auf Grundrahmen von Doppelböden stehende Schränke siehe auch Kapitel 2.3.

## Hinweise

- Weiterführende Informationen sind in<sup>[7]</sup> zu finden.

## 2.14 Transformatoren

### Merkmale und Schäden

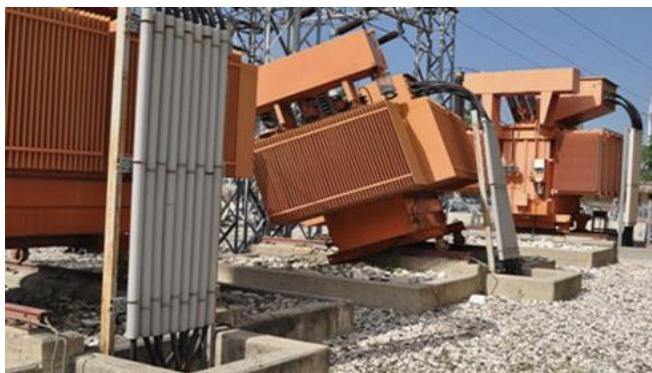


Abb. 2.14.1 > Umgekippte Hochspannungs – Transformatoren

- Durch Trägheitskräfte können schwere und schlanken Elemente verrutschen oder umkippen (Abb. 2.14.1).



Abb. 2.14.2 > Beispiel für einen Transformator in Schrankbauweise

- Innere Komponenten wie z. B. Befestigungen von Transformatorspulen oder Lüftungs- und Kühlungssystemen können durch die Beschleunigung beschädigt werden.

### Gefahren

- Personengefährdung
- Sachschäden
- Beschädigung der Tragstruktur
- Beeinträchtigung der Funktionstüchtigkeit (infolge umgestürzter schwerer Einbauten)
- Blockieren der Fluchtwege (besonders bei hohen Aufbauhöhen)
- Schädigung der Umwelt

### Massnahmen



Abb. 2.14.3 > Verankerung eines Transformators auf Fahrrollen

- Transformatoren sollten gegen Kippen und Verrutschen gesichert werden. Als Sicherung gegen Abheben kann eine Fussverankerung vorgesehen werden. Anker bzw. Dübel sollten im Tragwerk respektive im Fundament angebracht werden (Abb. 2.14.3 und 2.14.4).
- Eine weitere Variante im Gebäudeinneren (Niederspannung) ist die Sicherung gegen Abheben durch Stahlprofile, die an tragende Wände montiert werden und den Transformator an dessen Oberseite halten.



Abb. 2.14.4 > Verankerung mit zwei Hemmschuhen pro Rolle

- Es sollte sichergestellt werden, dass Wärmeausdehnungen des Transformators nicht durch Sicherungsmassnahmen eingeschränkt werden. Ungewollte Vibratoren bzw. Erschütterungen durch die Fussverankerungen dürfen nicht in das Tragwerk übertragen werden.
- Innere Komponenten sollten beschleunigungsrobust sein.
- Für Anlagen mit Schwingungsisolatoren siehe Kapitel 2.20.

### Hinweise

- Weiterführende Informationen sind in<sup>[7]</sup> zu finden.

## 2.15 Beleuchtung

### Merkmale und Schäden



Abb. 2.15.1 und 2.15.2 > Absturz von Beleuchtungselementen

- Beleuchtungselemente können in eine Deckenbekleidung integriert oder direkt an der tragenden Decke befestigt werden.
- Wenn Leuchtkörper auf einem Deckenbekleidungen aufgelegt sind, können sie infolge Schwingungen und zu geringer Auflagerlänge herabfallen (Abb. 2.15.1 und 2.15.2).

- Bei voneinander unabhängigen Systemen kann die Befestigung der Beleuchtung versagen oder es kann zum Zusammenstoß mit anderen Elementen kommen.

### Gefahren

- Personengefährdung
- Sachschäden
- Beschädigung der Tragstruktur
- Beeinträchtigung der Funktionstüchtigkeit (infolge umgestürzter schwerer Einbauten)
- Blockieren der Fluchtwege (besonders bei hohen Aufbauhöhen)
- Schädigung der Umwelt

### Massnahmen

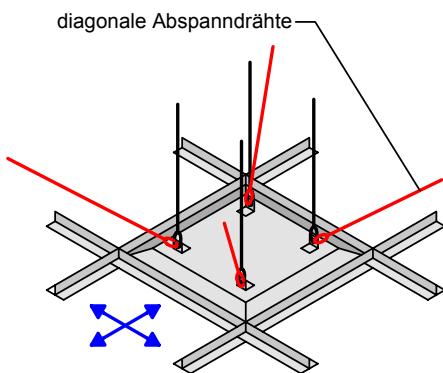


Abb. 2.15.3 > Aussteifung Leuchtkörper in Deckenbekleidungen

- Leuchtkörper in Deckenbekleidungen benötigen eine unabhängige vertikale Befestigung sowie eine ausreichende horizontale Verbindung mit der Unterkonstruktion. Die Deckenbekleidungen sollte auf die Zusatzlasten aus der Beleuchtung ausgelegt werden (Kap. 2.2). Es ist auch auf die Absturzsicherung der Glasscheiben in den Leuchtkörpern zu achten.
- Alternativ kann die Beleuchtung unabhängig voneinander horizontal und vertikal verankert werden (Abb. 2.15.3 und 2.15.4), besonders bei schweren Elementen. Die Beleuchtung sollte nicht an Leitungen oder anderen SBIE abgespannt werden.



Abb. 2.15.4 > Aussteifung schwerer Leuchtkörper

- Direkt an der Decke befestigte Komponenten können starr mit der Decke verbunden werden oder frei beweglich sein. Bei frei beweglichen Leuchtkörpern sollten unbehinderte Verformungen, z. B. durch Kugelgelenken, gewährleistet werden. Der Schwingbereich sollte frei von anderen Gegenständen sein.
- Bei grossen Raumhöhen, schweren Elementen und stark frequentierten Räumen kann ein Sicherheitsseil vorgesehen werden, um beim Versagen der Befestigung einen Absturz zu verhindern.

## 2.16 Klimatechnik

### Merkmale und Schäden

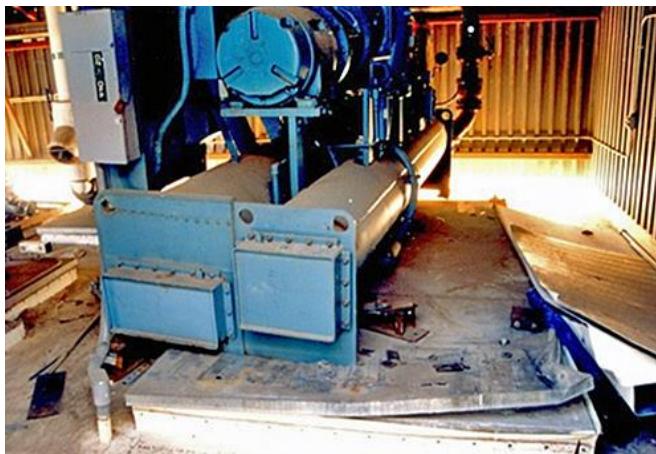


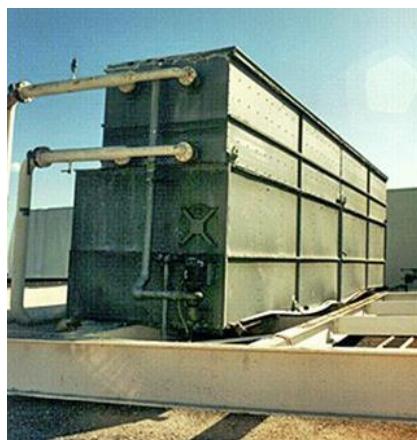
Abb. 2.16.1 &gt; Versagen der Befestigungen



Abb. 2.16.2 &gt; Ungenügend ausgesteiftes Element



Abb. 2.16.3 und 2.16.4 &gt; Gleitverschiebungen/Instabilitäten



- Einrichtungen können verrutschen, umfallen oder an andere Gegenstände anprallen. Dabei können auch Leitungsanschlüsse durch grosse relative Verschiebungen beschädigt werden. (Abb. 2.16.1 bis 2.16.4).
- Beschädigung von inneren Komponenten wie z. B. Pumpen, Motoren etc.

### Gefahren

- Personengefährdung
- Sachschäden
- Beschädigung der Tragstruktur
- Beeinträchtigung der Funktionstüchtigkeit (infolge umgestürzter schwerer Einbauten)
- Blockieren der Fluchtwege (besonders bei hohen Aufbauhöhen)
- Schädigung der Umwelt

## Massnahmen

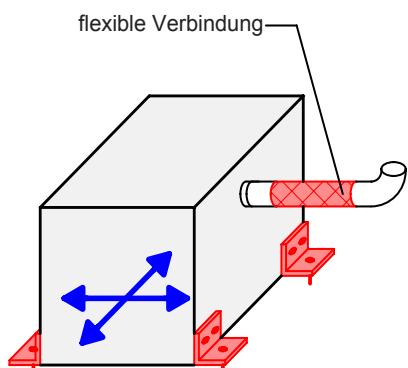


Abb. 2.16.5 &gt; Befestigung der Installation mit Stahlwinkel

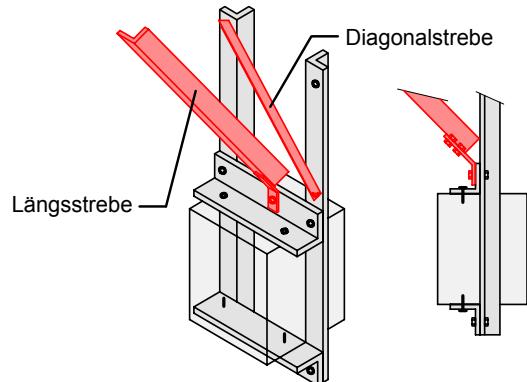


Abb. 2.16.6 &gt; Rahmenkonstruktion für schwere Gegenstände



Abb. 2.16.7 &gt; horizontaler Anschlag bei Generator

- Installationen sollten ausreichend gegen Verrutschen, Umkippen- oder Anprallen an andere Gegenstände befestigt und ausgesteift werden (Abb. 2.16.5 und 2.16.7).
- Geräte können auf spezifischen Trägerrahmen, Sockeln oder Plattformen montiert werden.
- Je nach Situation sollten flexible Leitungsanschlüsse vorgesehen werden (siehe auch Kap 2.18).
- Bei Systemen, die eine präzise Ausrichtung der Maschinen erfordern, ist besondere Aufmerksamkeit geboten.
- Abgehängte Komponenten sollten gesichert werden. Schwere Gegenstände benötigen eventuell eine eigene Rahmenkonstruktion (Abb. 2.16.6).
- Für Anlagen mit Schwingungsisolatoren siehe Kap. 2.20.

## Hinweise

- Maschinen mit grossem Schadenpotential sollten mit einem automatischen Schalter oder Absperrventil ausgestattet werden, der oder das auf übermässige Erschütterungen reagiert.

## 2.17 Tanks, Kessel, Behälter

### Merkmale und Schäden



Abb. 2.17.1 und 2.17.2 > Trägheitsversagen bei Tankwänden



Abb. 2.17.3 > Beschädigte Verankerung

- Häufig tritt Trägheitsversagen wie Verrutschen, Umkippen oder Absturz ein (Abb. 2.17.1 und 2.17.2). Mögliche Folgen sind Beschädigungen der Tankwand oder des Rahmens sowie geborste Anschlussleitungen.



Abb. 2.17.4 > Ausgebeulte Tankwand (sog. «Elefantenfuss»)

- Ungenügend bemessene Verankerungen können beschädigt oder herausgerissen werden (Abb. 2.17.3).
- Bei vertikal stehenden, direkt abgestützten Tanks erhalten die Wände infolge Erdbeben zusätzliche Druckkräfte, die zum Ausbeulen der Tankwand führen können (Abb. 2.17.4).

### Gefahren

- Personengefährdung
- Sachschäden
- Beschädigung der Tragstruktur
- Beeinträchtigung der Funktionstüchtigkeit (infolge umgestürzter schwerer Einbauten)
- Blockieren der Fluchtwege (besonders bei hohen Aufbauhöhen)
- Schädigung der Umwelt

## Massnahmen



Abb. 2.17.5 &gt; Aussteifung von aufgeständerten Tanks



Abb. 2.17.6 &gt; Flexible Leitungsanschluss

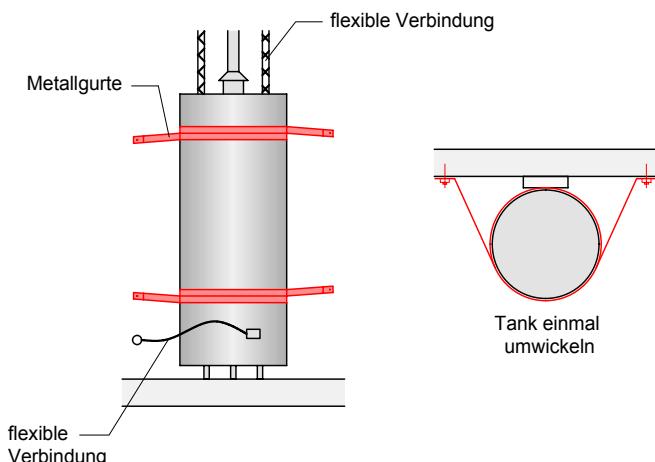


Abb. 2.17.7 &gt; Sicherung von aufgeständerten Tanks

- Die Verbindungen zwischen Tanks und ihrer Tragkonstruktion sollten ausreichend bemessen werden. Rahmen sollten horizontal ausgesteift und verankert werden (Abb. 2.17.5 und 2.17.6). Aufgeständerte Tanks sollten mindestens an drei Stellen verankert werden.
- Bei Befestigungen an einer Wand ist deren Tragfähigkeit nachzuweisen.
- Einzelfundamente von freistehenden Tanks sollten eine genügende Aufstandsfläche besitzen, damit sie nicht umkippen.
- Tankwände sollten auf die erwarteten Druckkräfte bemessen werden.

## Hinweise

- Das Umweltschutzgesetz (USG)<sup>[35]</sup>, insbesondere die Störfallverordnung (StFV)<sup>[36]</sup> und das Gewässerschutzgesetz (GSchG)<sup>[37]</sup> sind einzuhalten.
- Schwere Tanks sollten möglichst unten im Gebäude angeordnet werden. In den oberen Etagen sollten mehrere kleinere Behälter einem Tank mit konzentrierter Masse vorgezogen werden.
- Tanks, Kessel und Behälter können mit einem automatischen Schalter oder einem Absperrventil ausgestattet werden, die auf übermäßige Erschütterungen reagieren.

## 2.18 Rohrleitungen, Lüftungs-, Kabelkanäle

### Merkmale und Schäden

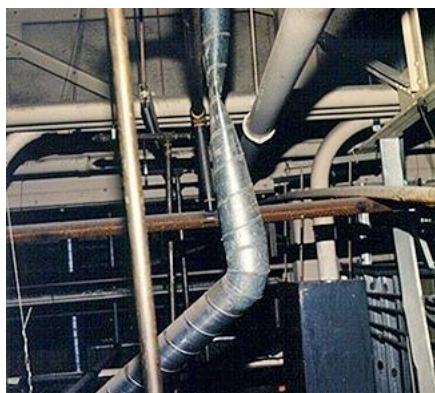


Abb. 2.18.1 &gt; Anprallschaden

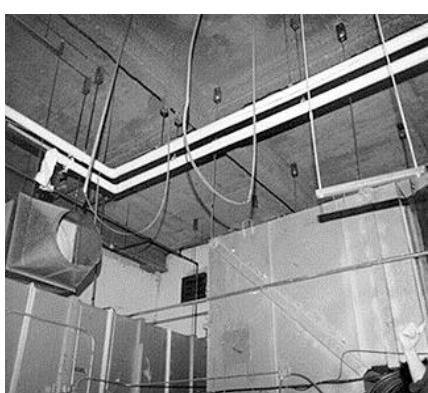


Abb. 2.18.2 &gt; Herabgefallene Leitung



Abb. 2.18.3 &gt; Schaden bei Verzweigung

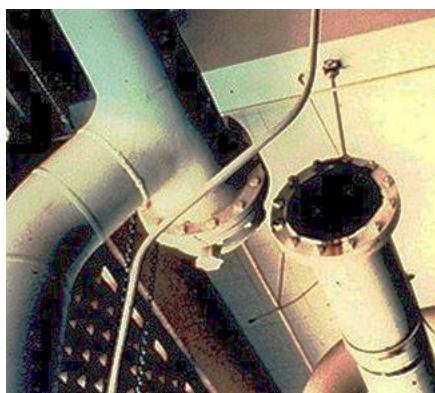


Abb. 2.18.4/2.18.5 &gt; Schaden bei Stossverbindungen



Abb. 2.18.6/2.18.7 &gt; Schaden bei Wanddurchbrüchen

- Leitungen sind sowohl verformungs- als auch beschleunigungs-empfindlich. Ungenügend befestigte Leitungen können an andere Gegenstände anprallen oder herunterfallen (Abb. 2.18.1 und 2.18.2).

- Schäden treten insbesondere bei grossen differentiellen Verschiebungen zwischen Fixpunkten auf. Verletzbar sind Anschlüsse, Gelenke, Abbiegungen (Abb. 2.18.3), Durchbrüche (Abb. 2.18.6 und 2.18.7) und (v. a. gesteckte) Stossverbindungen (Abb. 2.18.4 und 2.18.5). Häufig werden auch Leitungsbrücken beschädigt, z. B. durch Versagen der Stahlprofile oder der Verankerung.

### Gefahren

- Personengefährdung
- Sachschäden
- Beschädigung der Tragstruktur

- Beeinträchtigung der Funktionstüchtigkeit (infolge umgestürzter schwerer Einbauten)
- Blockieren der Fluchtwege (besonders bei hohen Aufbauhöhen)
- Schädigung der Umwelt

### Massnahmen

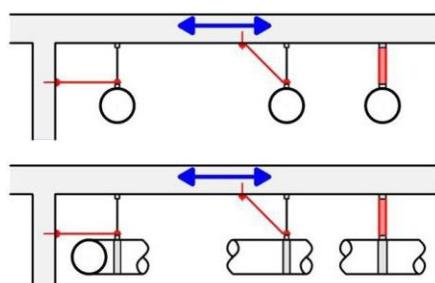


Abb. 2.18.8 &gt; Aussteifung Rohrleitungen längs und quer

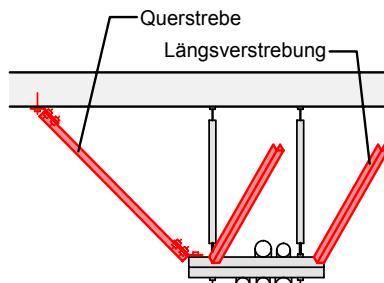


Abb. 2.18.9 &gt; Aussteifung Konsolen längs und quer



Abb. 2.18.10 > Flexible Verbindungen bei Wanddurchbrüchen, Aussteifung von Leitungstrassen



Abb. 2.18.11 > Lagerung von Steigleitungen bei Deckendurchbrüchen

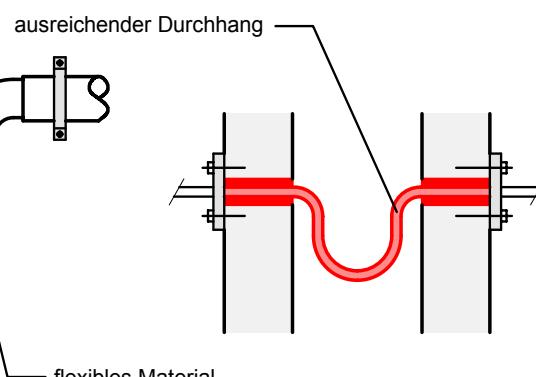
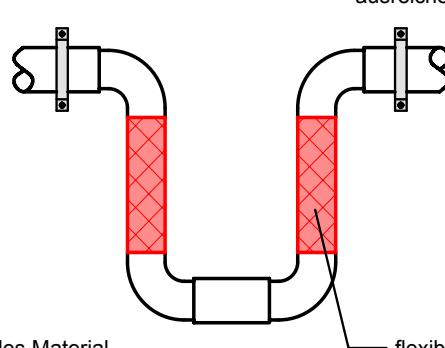
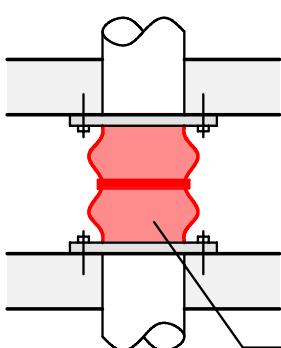


Abb. 2.18.12 > Verschiedene Typen von flexiblen Verbindungen

- Aussteifungen für Rohrleitungen können in Längs- und Querrichtung erforderlich werden (Abb. 2.18.8). Schienen, Konsolen oder Leitungsbrücken sollten ebenfalls ausgesteift und verankert werden (Abb. 2.18.9). Möglich sind entweder biegesteife Befestigungen oder diagonale Pendelstäbe (optimaler Neigungswinkel = 45°).
- Wanddurchbrüche können ebenfalls zur Abtragung der Horizontalkräfte genutzt werden, sofern keine zu grossen relativen Verschiebungen zu erwarten sind. Wenn keine Abstützung vorhanden ist, sollte zwischen dem Durchbruch und der Leitung genügend Freiraum gelassen werden.
- Pro geradem Leitungsstrang sollte mindestens eine Längsverstrebung und am Anfang und Ende je eine Querverstrebung angeordnet werden. In Längsrichtung sollte die Kraftübertragung vom Rohr auf die Aussteifung beachtet werden.
- Eine Interaktion durch grössere Elemente, die innerhalb des Leitungssystems montiert werden, sollte berücksichtigt werden. In der Regel ordnet man auf beiden Seiten des Elements eine Verstrebung an.
- Steigleitungen sollten in regelmässigen Abständen befestigt werden. Bei Durchbrüchen sollten die Leitungen auf der Decke gelagert werden, bei grossen thermischen Ausdehnungen eventuell mit Federn (Abb. 2.18.11). Es sollte ein genügender Spielraum für relative Stockwerkverschiebungen vorgesehen werden.
- Flexible Anschlüsse (Abb. 2.18.10), duktiles Dichtungsmaterial und bewegliche Muffen können nötig werden, wo grosse relative Verschiebungen zu erwarten sind, z. B. zwischen zwei Bauwerken oder Stockwerken, bei Dilatationen, bei Anschlüssen an schwungsisolierte oder steif befestigte Geräte. Die Wahl hängt vom Leitungstyp und -durchmesser sowie der Grösse der erwarteten Verschiebung ab (Abb. 2.18.12).

### Hinweise

- Das USG<sup>[35]</sup>, insbesondere die StFV<sup>[36]</sup> und GSchG<sup>[37]</sup> sind einzuhalten.
- Leitungen aus spröden Materialien (Guss, Glas oder Keramik) sollten vermieden oder sonst schwingungsisoliert ausgeführt werden. Steife Befestigungen in Kombination mit weichen sollten generell vermieden werden.
- Für die Anordnung und Dimensionierung der Abstützungen in Längs- und Querrichtung finden sich Informationen in<sup>[13]</sup>.

## 2.19 Aufzüge

### Merkmale und Schäden



Abb. 2.19.1 > Führungsschiene durch Gegengewichte verbogen



Abb. 2.19.2 > Ungenügend befestigte Antriebseinheit

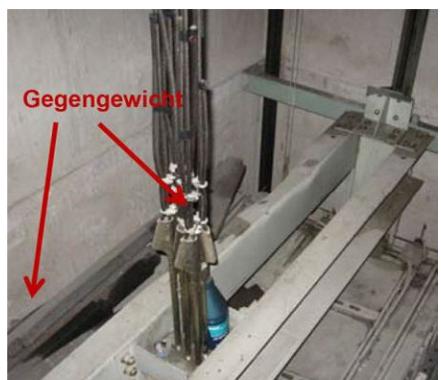


Abb. 2.19.3 > Herabfallene Gegengewichte und Schäden am Querträger

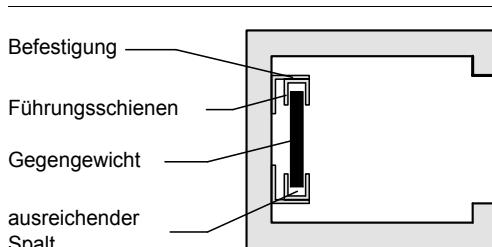
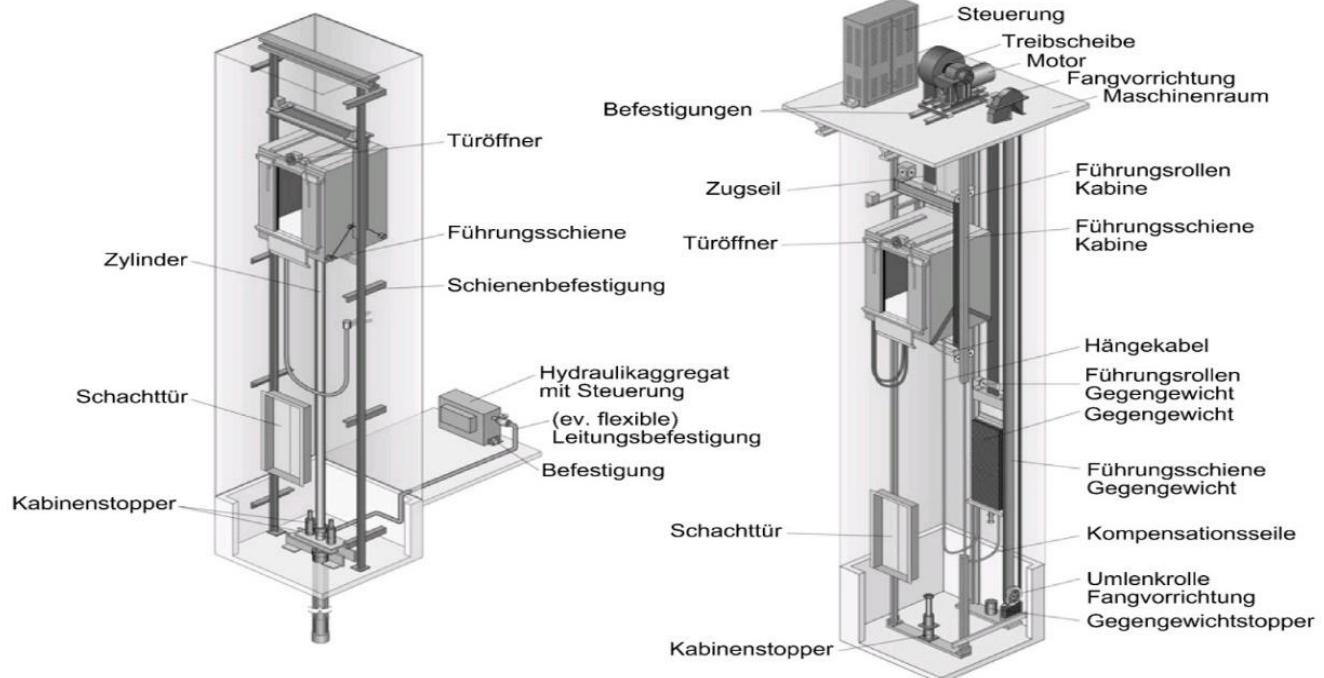
- Aufzüge funktionieren entweder mit Seil- oder Hydraulikantrieb. Die Komponenten eines Aufzugs sind in Abb. 2.19.4 und 2.19.5 dargestellt. Die Sicherung von Teilkomponenten wie Türen (2.8 und 2.19.5), elektronischen Steuerungen (2.13), Pumpen und Motoren (2.16), Tanks (2.17) sowie Leitungen (2.18) wird in den entsprechenden Kapiteln beschrieben.

- Verschiedene Schäden sind möglich: Entgleisen und Herabfallen der Gegengewichte (Abb. 2.19.3), Verbiegen der Führungsschienen (Abb. 2.19.1) oder des Zylinders, Entgleisen der Kabine, Schäden an der Verankerung der Führungsschienen, Beschädigungen der Seile oder/und Herausspringen der Tragseile aus den Rollen. Gegengewichte und Führungsschienen sind am empfindlichsten.

### Gefahren

- Personengefährdung
- Sachschäden
- Beschädigung der Tragstruktur
- Beeinträchtigung der Funktionstüchtigkeit (infolge umgestürzter schwerer Einbauten)
- Blockieren der Fluchtwege (besonders bei hohen Aufbauhöhen)
- Schädigung der Umwelt

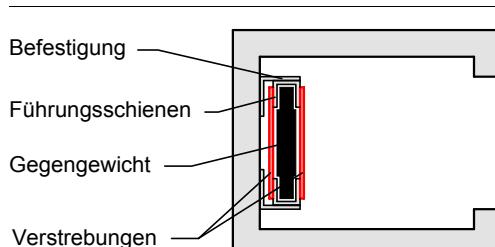
## Massnahmen



- Liftkabine und Gegengewichte sollten in den Führungsschienen gegen Entgleisen und Absturz gesichert werden. Führungsschienen sollten ausreichend am Bauwerk verankert und auf die erwarteten relativen Stockwerkverschiebungen ausgelegt werden.
- Tragseile sollten bei den Führungsrollen gegen Herausspringen gesichert werden.
- Nach einem Erdbeben sollte das Funktionieren der automatischen Abschaltung gewährleistet sein, damit der Aufzug sicher zum Stillstand kommen kann.

## Hinweise

- Seit November 2003 gilt die Europäische Norm (EN) 81–80 – Safety Norm for Existing Lifts (SNEL)<sup>[38]</sup>, die von der Schweiz vollständig übernommen und als SIA-Norm 370.080<sup>[39]</sup> per 1. Juli 2004 publiziert worden ist (Revision 2020).
- Aufzüge können in Bauwerken mit wichtiger Funktion so ausgerüstet werden, dass sie nach einem Erdbeben ins nächste Geschoss fahren, sich öffnen und dann abschalten. Das Signal wird von einem Gerät ausgelöst, das eine fehlerhafte Position des



- Die Anprallgefahr der Gegengewichte auf die Führungsschienen kann durch einen ausreichenden Spalt zwischen Schienen und Gewicht reduziert werden (Abb. 2.19.6 links). Alternativ können die Führungsschienen mit Stahlprofilen ausgesteift werden. Dadurch wird ein Aufschaukeln der Gegengewichte verhindert (Abb. 2.19.6 rechts). Es kann auch ein viskoelastischer Dämpfer zwischen dem Gewicht und seinem Rahmen eingesetzt werden.

- Gegengewichts registrieren oder durch Messung der Bodenbewegung ein Erdbeben erkennen kann. Die Problematik dieser Geräte ist jedoch, dass sie auch bei anderen Vibrationen, z. B. aus Verkehr oder Bautätigkeiten, ausgelöst werden können.
- Seit 2013 (Revision 2019) besteht die Norm SIA 370.077 Sicherheitsregeln für die Konstruktion und den Einbau von Aufzügen – Besondere Anwendungen für Personen- und Lastenaufzüge – Teil 77: Aufzüge unter Erdbebenbedingungen<sup>[41]</sup>.

## 2.20 Schwingungsdämpfung, -isolation

### Merkmale und Schäden



Abb. 2.20.1 > Versagen der Lagerung einer schwingungsisolierten Anlage

- Installationen, die auf einem isolierten Sockel montiert werden, um eine Schwingungsübertragung auf das Bauwerk zu verhindern, sind verformungsempfindlich.
- Sie können verrutschen (Abb. 2.20.1), umfallen oder an andere Gegenstände prallen. Dabei können auch Leitungsanschlüsse durch grosse relative Verschiebungen beschädigt werden.

### Gefahren

- Personengefährdung
- Sachschäden
- Beschädigung der Tragstruktur
- Beeinträchtigung der Funktionstüchtigkeit (infolge umgestürzter schwerer Einbauten)
- Blockieren der Fluchtwiege (besonders bei hohen Aufbauhöhen)
- Schädigung der Umwelt

## Massnahmen



Abb. 2.20.2 &gt; Federn

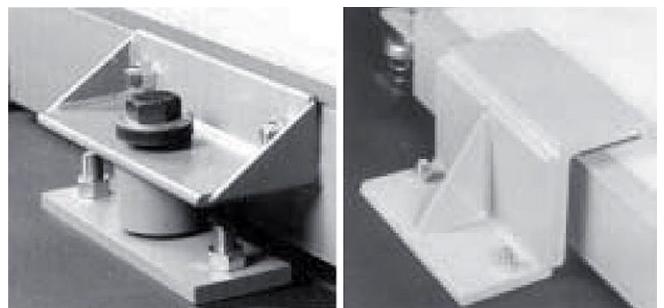


Abb. 2.20.3 &gt; Beispiele für Dämpfer und Puffer

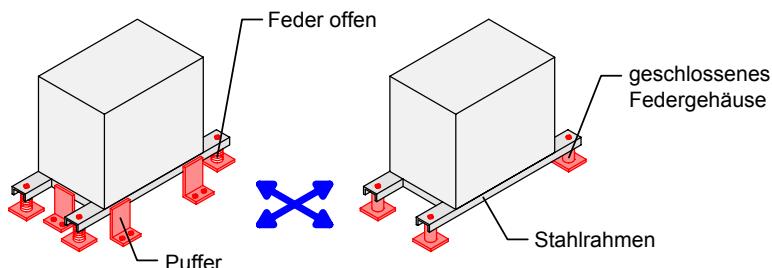


Abb. 2.20.4 &gt; links: offene Federn mit Puffer; rechts: Anordnung bei eingespannten Federn

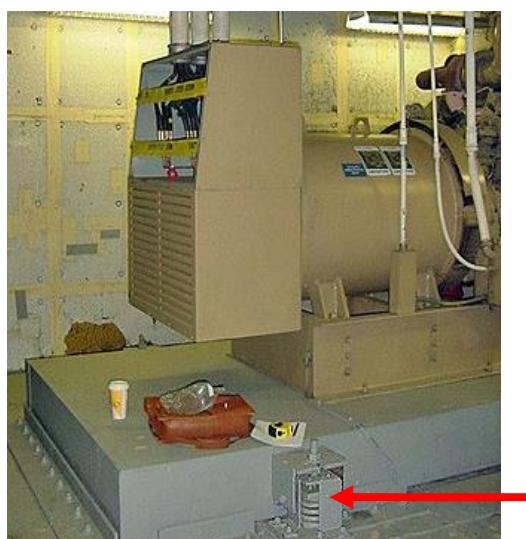


Abb. 2.20.5 &gt; Feder mit vertikaler Sicherung, Puffer zur Begrenzung der Horizontalverschiebungen

- Für schwingungsisolierte Maschinen existieren verschiedene Feder-Dämpfer-Systeme (Abb. 2.20.2).
- Eingespannte Federn beschränken Bewegungen in alle Richtungen (Abb. 2.20.4 rechts). Sie sollten auf die erwarteten Schub- und Abhebekräfte bemessen werden.
- Offene Federn ohne Schub- und Abhebewiderstand sollten mit Dämpfern oder Puffern kombiniert werden, um zu grossen Verschiebungen zu verhindern (Abb. 2.20.4 links und 2.20.5). Kleine Verschiebungen sollten durch einen Spalt ermöglicht werden.
- Federn mit einem oben offenen Gehäuse eignen sich nicht, da sie das Abheben nicht verhindern.
- Je nach Situation sollten flexible Leitungsanschlüsse vorgesehen werden (siehe Kap. 2.18).

## Hinweise

- Im Eisenbahnbereich kann die Erdbebensicherungsmassnahme an der Isolation das Erdungskonzept beeinträchtigen (Potentialverschleppung bzw. Streuströme).

## 2.21 IT-Elemente

### Merkmale und Schäden



Abb. 2.21.1 > Umgefallene Büroelemente



Abb. 2.21.2 > Umgekippte Computerracks



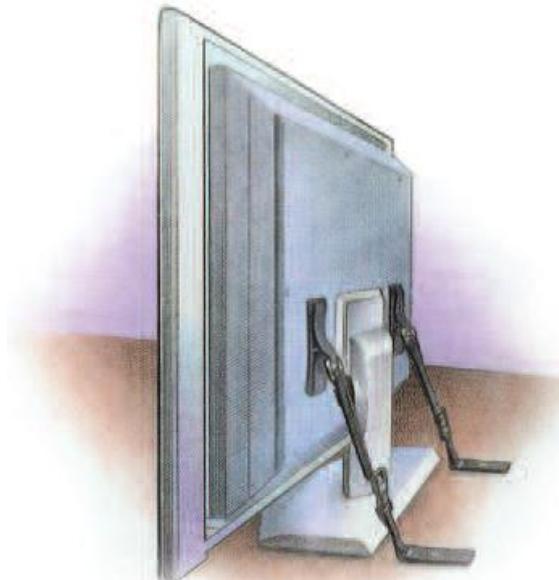
Abb. 2.21.3 > Herabgefallener Parabolspiegel

- Computer-, Daten- und Media-Racks sind meist sehr schlank und deshalb beschleunigungsempfindlich. Sie können umkippen oder verrutschen (Abb. 2.21.2). Kabelanschlüsse können unterbrochen werden.
- Kleinere Einrichtungen wie Computer, Drucker, Monitore, Kopierer usw. können verrutschen, umkippen, zusammenprallen und/oder herunterfallen (Abb. 2.21.1). Wichtige Einflussparameter sind hier die Geometrie der Einrichtung und die Oberflächenbeschaffenheit der Abstellfläche.
- Komponenten, wie z. B. Festplatten, können beschleunigungs-empfindlich sein und durch Trägheitskräfte beschädigt werden, ohne dass das Gerät umfällt.
- Für leichte Elemente wie Antennen oder Parabolspiegel ist in der Regel die Windeinwirkung massgebend. Schwere, ungenügend verankerte Satellitenempfänger können jedoch auch durch Erdbebeneinwirkungen umstürzen (Abb. 2.21.3).

### Gefahren

- Personengefährdung
- Sachschäden
- Beschädigung der Tragstruktur
- Beeinträchtigung der Funktionstüchtigkeit (infolge umgestürzter schwerer Einbauten)
- Blockieren der Fluchtwege (besonders bei hohen Aufbauhöhen)
- Schädigung der Umwelt

## Massnahmen



**Abb. 2.21.4 > Befestigung Computer**

- Computerracks sollten ausreichend an Wand oder Boden befestigt werden (siehe auch Kap. 2.13 oder 2.22). Für angeschlossene Kabel sollte ein Spielraum (z. B. durchhängendes Kabel) vorgesehen werden. Einrichtungen auf Hohlbödenystemen sind in Kap. 2.3 beschrieben.
- Schlanke Geräte auf Tischen (z. B. Computer) können mit Gurten festgebunden und solche mit niedrigem Schwerpunkt auf eine reibungsfeste Unterlage gestellt werden.
- Tische in der Nähe von Fluchtwegen oder mit Geräten, die nach einem Erdbeben dringend benötigt werden, sollten fixiert werden.
- Grössere Geräte wie Kopierer können mit Winkeln am Boden befestigt werden.

## Hinweise

- Je nach Nutzung kommt der Aufrechterhaltung der Kommunikationsmittel in einem Bauwerk im Katastrophenfall eine ausserordentliche Bedeutung zu.



**Abb. 2.21.5 > Befestigung Aktenschrank**

- Computer mit beschleunigungsempfindlichen Komponenten, wie z. B. Festplatten, können auch auf Rollen montiert werden. Es sollte dabei gewährleistet sein, dass genügend Bewegungsfreiraum vorhanden ist und Geräte auf Rollen nicht in Öffnungen von Hohlböden fallen können (Leisten entlang Öffnungen oder Sicherheitskabel). Empfehlenswerter sind korrekt dimensionierte seismische Isolationssysteme, auf die die Apparaturen montiert werden.
- Angeschlossene Kabel sollten genügend lang sein und Bewegungsspielraum haben, damit sie nicht herausgerissen werden.

- Gespeicherte Daten können eine grosse Bedeutung haben. Hochsensible Daten sollten zumindest an einem zweiten Ort abgespeichert werden, der nicht vom gleichen Erdbeben betroffen sein kann.

## 2.22 Schränke, Regale

### Merkmale und Schäden



Abb. 2.22.1 und 2.22.2 > Versagensmechanismus in der Ebene («in plane») bei Regalen

Abb. 2.22.3 > Umgekippte Regale

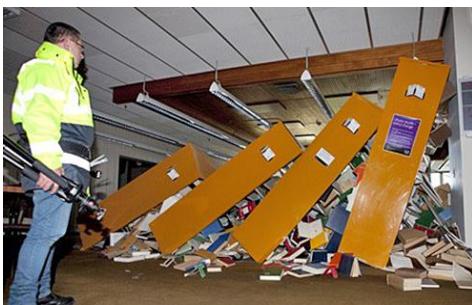


Abb. 2.22.4 > Schubladen

Abb. 2.22.5 und 2.22.6 > Kippen mehrerer Regalreihen infolge des Domino-Effekts

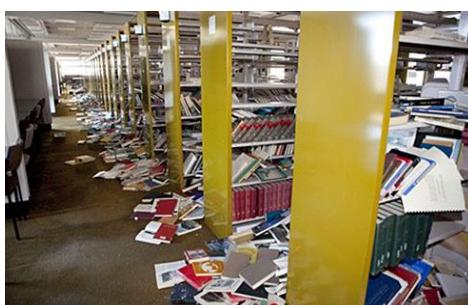


Abb. 2.22.7, 2.22.8 und 2.22.9 > Schäden trotz intakten Regalen

- Regale oder Schränke sind oft sehr schlank und schwer beladen. Daher reagieren sie empfindlich auf Trägheitskräfte und können kollabieren (keine Aussteifung in Regalebene) (Abb. 2.22.1 und 2.22.2), oder umkippen (Abb. 2.22.3). Herausrutschende Schubladen vergrössern diese Gefahr (Abb. 2.22.4). Bei Regalreihen kann es zu einem Domino-Effekt kommen (Abb. 2.22.5).
- Oft überstehen Regale ein Erdbebenereignis ohne Schäden, Schubladen und Gegenstände sind jedoch herausgefallen (Abb. 2.22.7, 2.22.8 und 2.22.9). Der (Zeit)aufwand für das Aufräumen und Ordnen der Inhalte kann erheblich sein.

### Gefahren

- Personengefährdung
- Sachschäden
- Beschädigung der Tragstruktur
- Beeinträchtigung der Funktionstüchtigkeit (infolge umgestürzter schwerer Einbauten)
- Blockieren der Fluchtwiege (besonders bei hohen Aufbauhöhen)
- Schädigung der Umwelt

## Massnahmen

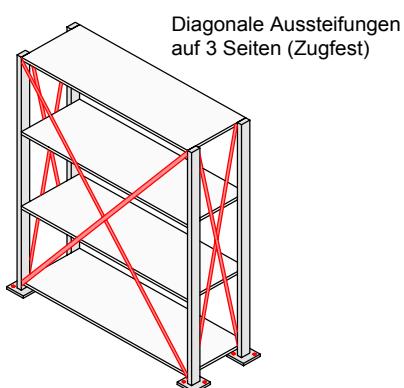


Abb. 2.22.10 &gt; Aussteifung und Verankerung eines Regals

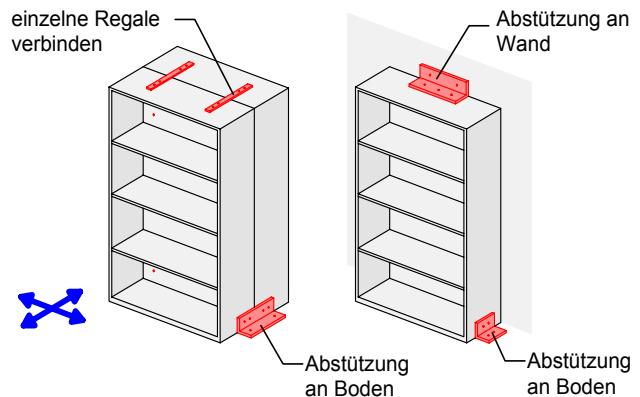


Abb. 2.22.11 &gt; Varianten zur Sicherung von Regalen

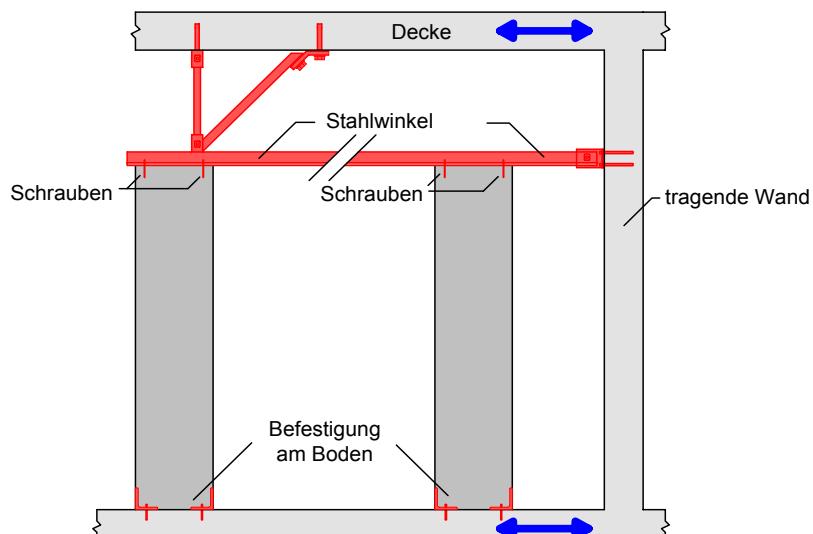


Abb. 2.22.12 &gt; Möglichkeiten zur Sicherung von Regalen

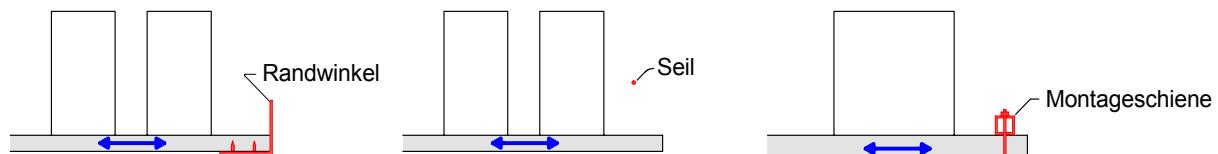


Abb. 2.22.13 &gt; Massnahmen für Objekte auf Regale

- Um Versagen in der Ebene («in-plane») zu vermeiden, sollten Regale ausgesteift werden (z. B. mit Kreuzverbänden, Abb. 2.22.10). Anstelle von offenen Regalen können Schränke mit stabilen Schranktüren verwendet werden.
- Zur Verhinderung eines Versagens aus der Ebene («out-of-plane») können Befestigungen am Boden, an einer genügend tragfähigen Wand oder an der Decke erforderlich werden (Abb. 2.22.11). Eine Vergrösserung der Kippstabilität kann durch Verbinden von einzelnen Einheiten (Abb. 2.22.12) oder Regalreihen erzielt werden.
- Objekte auf Regalen sollten durch Randwinkel, geneigte Tablare oder gespannte Drahtseile gegen Herunterfallen gesichert werden (Abb. 2.22.13). Absturzsicherungen durch Randwinkel können auch bei Absätzen oder Sockeln notwendig werden.
- Schubladen und Schranktüren sollten mit einem Mechanismus oder einer Verriegelung daran gehindert werden, herauszurutschen und den Schrank zum Kippen zu bringen.

## Hinweise

- Einrichtungen sollten so platziert werden, dass sie keine Fluchtwägen versperren oder auf Menschen, wertvolle Gegenstände oder Verglasungen fallen können.
- In Regalen sollten schwere Objekte möglichst unten abgestellt werden.
- Weitere Beispiele von Sicherheitsmassnahmen finden sich in<sup>[13]</sup>.

## 2.23 Hochregale

### Merkmale und Schäden

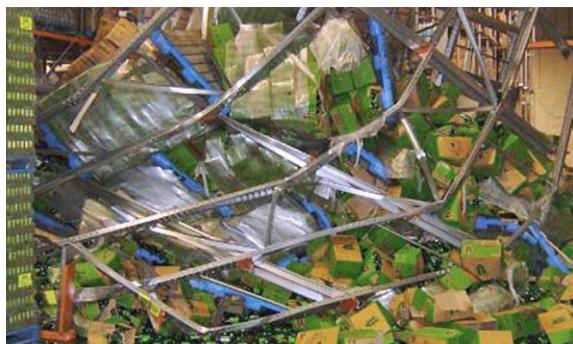


Abb. 2.23.1, 2.23.2 und 2.23.3 > Eingestürzte Hochregallager



Abb. 2.23.4 und 2.23.5 > Beschädigtes Regal und herausgefallene Güter

## Gefahren

- Personengefährdung
- Sachschäden
- Beschädigung der Tragstruktur
- Beeinträchtigung der Funktionstüchtigkeit (infolge umgestürzter schwerer Einbauten)
- Blockieren der Fluchtwege (besonders bei hohen Aufbauhöhen)
- Schädigung der Umwelt

## Situation und Schadensbild



Abb. 2.23.6 und 2.23.7 > Versagen in der Ebene («in plane») infolge ungenügender Verbindung und Verankerung

- Gelagerte Waren können herausfallen. Schwere Inhalte können leichte Regalkonstruktionen beschädigen (Abb. 2.23.1 bis 2.23.5).
- Ein Versagen einzelner Komponenten der Konstruktion (Abb. 2.23.6 und 2.23.7) kann eine Kettenreaktion auslösen und einen Kollaps des gesamten Hochregallagers verursachen.

## Massnahmen

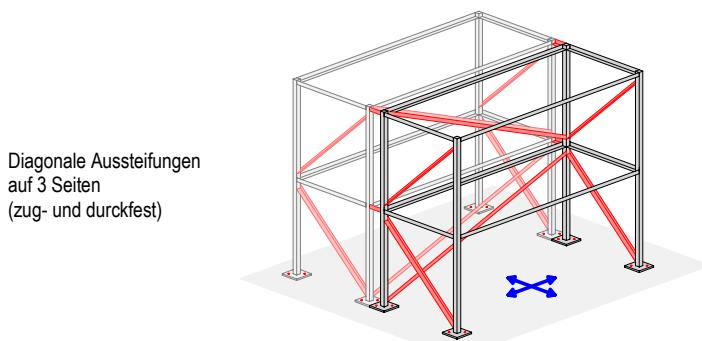


Abb. 2.23.8 > Aussteifung und Verankerung von Hochregallagern

- Die Aussteifung und Verankerung der Regale sollte ausreichend dimensioniert und die Lastweitergabe bei der Verankerung sichergestellt werden (Abb. 2.23.8). Regale, die Rücken an Rücken aufgestellt werden, sollten miteinander verbunden werden.
- Ein Hochregallager sollte analog zu einem Bauwerk berechnet und dimensioniert werden.
- Sofern das Hochregallager nicht direkt auf der Bodenplatte oder auf eigenen Fundamenten gegründet ist, sollte die Interaktion zwischen Bauwerk und Hochregallager berücksichtigt werden.
- Es ist z. B. durch Stangen, Ketten, Netze oder rutschfeste Behälter zu verhindern, dass Waren aus den Ablagen auf andere Ablagen oder auf den Boden fallen.

## Hinweise

- Waren, die auf Paletten in Folie eingewickelt oder in Kisten gelagert werden, stellen eine geringere Gefahr dar, da sie eine grösere Stabilität gegen Kippen und Verrutschen haben. In Abb. 2.23.5 sind die eingeschweißten Waren grösstenteils unbeschädigt, obwohl das Regal versagt hat.
- In der Dokumentation<sup>[11]</sup> finden sich weitere Schadensbilder, Massnahmenempfehlungen und Bemessungshinweise.

## 2.24 Gefährliche Substanzen

### Merkmale und Schäden



Abb. 2.24.1 und 2.24.2 > Austritt von Flüssigkeiten



Abb. 2.24.3 > Brand ausgelöst von gefährlichen Substanzen

- Behälter können umkippen oder von Regalen rutschen (Abb. 2.24.1 und 2.24.2).
- Flüssigkeiten und Gase können austreten und gefährliche Dämpfe und Gemische sowie Brände verursachen. Glasbehälter sind besonders gefährlich.
- Unsachgemäße Lagerung von chemischen, medizinischen und biologischen Gefahrengütern (explosive Stoffe, Viren, Toxine, etc.) und daraus resultierende Unfälle führen in der Regel zu einer Evakuierung und Untersuchung des Gebäudes, auch wenn das Tragwerk nicht beschädigt ist (Abb. 2.24.3).

### Gefahren

- Personengefährdung
- Sachschäden
- Beschädigung der Tragstruktur
- Beeinträchtigung der Funktionstüchtigkeit (infolge umgestürzter schwerer Einbauten)
- Blockieren der Fluchtwege (besonders bei hohen Aufbauhöhen)
- Schädigung der Umwelt

## Massnahmen



**Abb. 2.24.4 > Schutzhülle bei Abstützung in Querrichtung, Beschriftung des transportierten Mediums**

- Für die Aussteifung und Verankerung von Regalen sowie die Absturzsicherung von Behältern gelten die Überlegungen in Kap. 2.22. Gefährliche Materialien sollten unten im Regal platziert werden.
- Behälter sollten mit einem Deckel verschlossen werden, damit keine Flüssigkeiten herausschwappen können. Größere Behälter sollten einzeln befestigt werden (z. B. Zylinderflaschen, siehe Kap. 2.17).
- Automatisch aktivierte Absperrventile können den Austritt von Giftstoffen verhindern.

- Gefäße aus zerbrechlichem Material wie Glas sollten durch eine Polsterung geschützt werden. Kleine zerbrechliche Gegenstände sollten gut verpackt aufbewahrt werden. Unverträgliche Substanzen sollten weit voneinander entfernt gelagert werden.
- Leitungen, die Gefahrgüter transportieren, sollten mit geeigneten Sicherheitssystemen versehen werden, die sich auch für den Normalbetrieb eignen, beispielsweise doppelwandige Rohre, automatische Absperr- oder Überlaufventile und Leckerkennungssysteme. Es sollten ausreichend duktile Materialien und Rohrverbindungen verwendet werden, z. B. durchgeschweißte Rohre. Es sollten geeignete Rohrschellen verwendet werden, die die Leitungen nicht beschädigen.

## Hinweise

- Das USG<sup>[35]</sup>, insbesondere die StFV<sup>[36]</sup> und das GSchG<sup>[37]</sup> sind einzuhalten.
- Inhalt und Fließrichtung sind deutlich sichtbar auf den Leitungen zur Gefahrenerkennung für Rettungskräfte zu vermerken (Abb. 2.24.4).
- Chemikalien und Giftstoffe sollten korrekt katalogisiert und beschriftet werden.
- Das Personal muss ausgebildet sein, um bei Unfällen mit Gefahrenstoffen richtig zu handeln.

## 2.25 Kunstgegenstände, Mobiliar, Innendekoration

### Merkmale und Schäden



Abb. 2.25.1 und 2.25.2 > Beschädigte Kunstobjekte



Abb. 2.25.3 > Schäden am Mobiliar

- Schäden entstehen, weil meist keine adäquate Lagerung vorhanden ist und die Gegenstände verrutschen, umkippen oder herunterfallen (Abb. 2.25.1 bis 2.25.3).
- Kompakte Gegenstände neigen eher zum Verrutschen, schlankere eher zum Umkippen.
- Auskragende Gegenstände können sich aufschaukeln und ein Versagen der Verankerung auslösen

### Gefahren

- Personengefährdung
- Sachschäden
- Beschädigung der Tragstruktur
- Beeinträchtigung der Funktionstüchtigkeit (infolge umgestürzter schwerer Einbauten)
- Blockieren der Fluchtwege (besonders bei hohen Aufbauhöhen)
- Schädigung der Umwelt

## Massnahmen

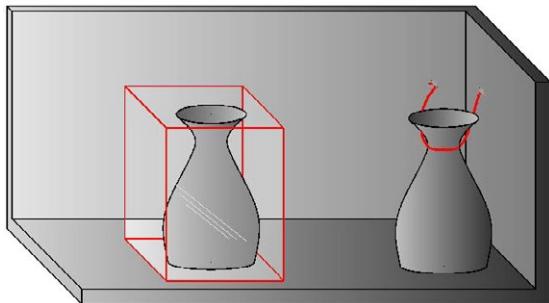


Abb. 2.25.4 > Massnahmen für Kunst- und Ausstellungsobjekte

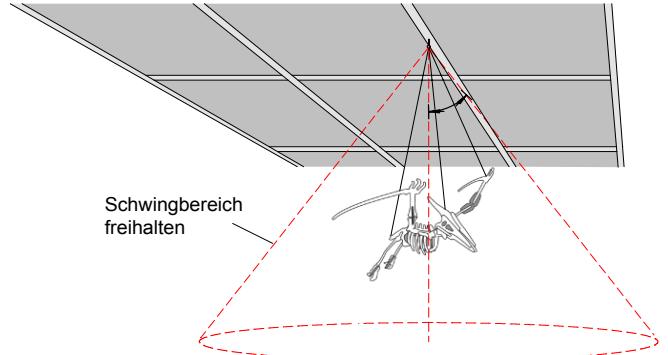


Abb. 2.25.5 > Schwingbereich eines abgehängten Ausstellungsobjekts



Abb. 2.25.6 und 2.25.7 > Schwingungsisoliertes Fundament für eine Skulptur



- Gegenstände auf Regalen sollten mit kompakten Gehäusen oder feinen Drähten geschützt werden (Abb. 2.25.4). Für Vitrinen sollte Sicherheitsglas verwendet werden. Besonders wertvolle Güter sollten zum Schutz gegen auftretenden Staub oder austretendes Wasser (z. B. bei beschädigten Sprinkleranlagen) speziell aufbewahrt werden.
- Abgehängte Objekte benötigen ausreichenden Freiraum, damit ein Schwingen ohne Zusammenprall oder Absturz möglich ist (Abb. 2.25.5).
- Für Gegenstände auf Rollen oder Rädern sollte sichergestellt werden, dass ein Zusammenprall mit anderen Einrichtungen ausgeschlossen werden kann. Die Räder sollten blockierbar sein oder die Objekte festgebunden werden.
- Bilder sollten so befestigt werden, dass sie nicht von der Wand herunterfallen können (z. B. Nägel mit Haken).
- Größere Gegenstände, wie z. B. Statuen, sollten verankert werden. In Spezialfällen kann ein schwingungsisoliertes Fundament eingesetzt werden (Abb. 2.25.6 und 2.25.7).
- Größere Pflanzen sollten an unkritischen Orten aufgestellt und allenfalls mit Seilen oder Ketten gesichert werden.

## Hinweise

- Weitere Möglichkeiten für Gegenstände auf Regalen sind in Kap. 2.22 beschrieben.
- Aufenthaltsbereiche von Personen oder Fluchtwegen sollten möglichst frei von schwerem oder hohem Mobiliar sein.

---

# 3 Vorgaben, Verantwortlichkeiten und Vorgehensempfehlungen bei der Schadensbegrenzung

Um die erforderlichen Massnahmen zu planen und umzusetzen, müssen die Verantwortlichkeiten der Projektbeteiligten definiert und geregelt werden. Mögliche Lösungsansätze zur Schadensbegrenzung (Risikoreduktion) bei SBIE variieren je nachdem, ob sich die betrachteten Elemente in einem bestehenden Gebäude befinden oder für ein neues Bauwerk geplant sind. Ob es sich um ein hochbelegtes Gebäude, eine für ein Netz oder System relevante, wichtige Anlage oder gar ein Objekt handelt, in dem mit gefährlichen Substanzen gearbeitet wird beeinflusst die erforderlichen Massnahmen erheblich. Dabei ist zwischen normativen und freiwilligen Anforderungen des Bauherren bzw. Eigentümers zu unterscheiden.

## 3.1 Normative und freiwillige Vorgaben

Die SIA Tragwerksnormen verlangen die erdbebengerechte Verbindung, Befestigung oder Verankerung von gefährdenden sekundären Bauteilen. Zusätzlich sollten auch weitere sekundäre Bauteile, Installationen und Einrichtungen eines Gebäudes zur Schadensbegrenzung bei einem Erdbeben gesichert werden, was in der Schweiz nicht in den Baunormen geregelt ist. Deren Anforderungen sind daher in eigenem Interesse projektspezifisch zu definieren (Eigenverantwortung).

Bei Bauvorhaben gelten die Vorgaben und Regelungen des öffentlichen Baurechts. Die SIA Tragwerksnormen bilden die Grundlage für eine erdbebengerechte Durchbildung von Bauwerken in der Schweiz. Die aktuelle Normengeneration besteht seit 2003 (Revision ab 2013). Für die erdbebengerechte Planung und Erstellung von neuen Bauwerken gelten die Tragwerksnormen SIA 260 bis SIA 267. Für die Überprüfung und die allfällige Verbesserung bestehender Bauwerke bezüglich Erdbebensicherheit gilt die Norm SIA 269/8 (bis zu deren Einführung das Merkblatt SIA 2018 [27]). Oberstes Schutzziel der erdbebengerechten Planung und Ausführung von Bauwerken ist der Schutz von Menschenleben (Personenschutz). Zusätzlich sind als weitere Schutzziele grosse Sachschäden (Schadensbegrenzung) zu vermeiden und die Funktionstüchtigkeit wichtiger Bauwerke zu gewährleisten.<sup>1</sup>

Es bestehen für alle Bauwerke normative Anforderungen an die Erdbebensicherheit von **sekundären Bauteilen**, die Personen gefährden oder das Tragwerk beschädigen können. Deren erdbebengerechte Durchbildung gemäss Norm SIA 261 [24], Ziffer 16.7.1, muss für alle Bauwerksklassen geplant und bemessen werden. Zusätzlich bestehen Anforderungen an sekundäre Bauteile von Bauwerken der **BWK II und III**, die eine bedeutende oder lebenswichtige Infrastrukturfunktion beeinträchtigen, besonders wertvolle Einrichtungen beschädigen oder die Umwelt gefährden können.

<sup>1</sup> Für Sonderobjekte wie Kernkraftwerke (siehe [www.ensi.ch](http://www.ensi.ch)), Staudämme (siehe [www.admin.bfe.ch](http://www.admin.bfe.ch)) und Störfall relevante Objekte (siehe [www.bafu.admin.ch/stoerfallvorsorge](http://www.bafu.admin.ch/stoerfallvorsorge)) gelten weitere Vorschriften, die über die Anforderungen der SIA Tragwerksnormen hinausgehen können, auch in Bezug auf die Erdbebensicherheit von SBIE.

---

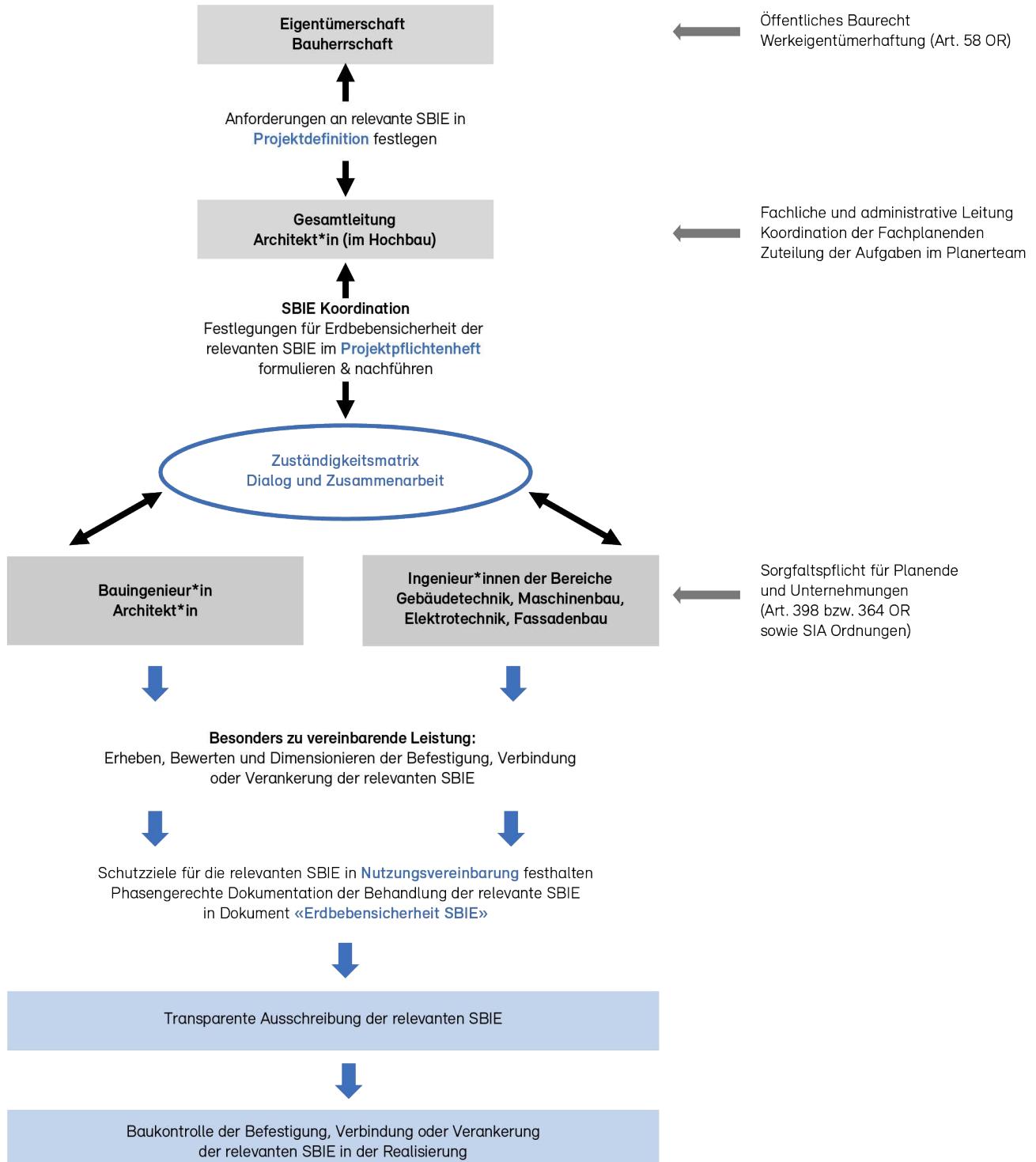
Die höchsten Anforderungen an SBIE bestehen im Zusammenhang mit der Funktionstüchtigkeit von Bauwerken der Bauwerksklasse **BWK III**, also lebenswichtigen Infrastrukturen wie zum Beispiel Akutspitälern, Bauwerken für den Katastrophenschutz (z. B. Feuerwehrgebäuden oder Ambulanzgaragen) oder lebenswichtigen Bauwerken für Versorgung, Entsorgung- und Telekommunikation. Bei Bauwerken der BWK III muss, zusätzlich zum Nachweis der Tragsicherheit, der Nachweis der Gebrauchstauglichkeit aller für die lebenswichtige Funktion des Bauwerks nötigen SBIE erbracht werden. Spezifische Ausführungen finden sich in der BAFU Publikation «Erdbebensicherheit bei lebenswichtiger Funktion – Bauwerke der Bauwerksklasse (BWK) III gemäss der Norm SIA 261» [42].

Für die Aufrechterhaltung von Produktion und/oder Betrieb eines «normalen» Gebäudes der BWK I oder II bestehen keine normativen Anforderungen an die erdbebengerechte Durchbildung von weiteren SBIE. Die Anforderungen an die SBIE sind in eigenem Interesse projektspezifisch festzulegen.

Gefährdende SBIE gemäss normativen Vorgaben werden im Folgenden als **relevante** SBIE bezeichnet.

### 3.2 Verantwortungen und Zuständigkeiten

Neben den bestehenden gesetzlichen Grundlagen sind es vor allem die geltenden Ordnungen SIA 102 [18], SIA 103 [19] und SIA 108 [20], die Auslegungen über Leistungen bei der Erdbebensicherung von relevanten SBIE zulassen. Gemäss der Ordnung SIA 112 [21] stehen drei Dokumente zur Verfügung um die Interaktion zwischen Bauherrschaft und Planenden zu klären: die Projektdefinition, das Projektpflichtenheft und die Nutzungsvereinbarung. Abbildung 3.1 zeigt die Verantwortungen und Zuständigkeiten in einem klassischen Hochbauprojekt. Die Architektin oder der Architekt fungiert üblicherweise als Gesamtleitung, die Bauingenieurin oder der Bauingenieur sowie die Ingenieurinnen und Ingenieure der Bereiche Gebäudetechnik, Maschinenbau, Elektrotechnik und Fassadenbau als Fachplanende. Das Mandat des Fachplanenden beinhaltet die Planung und Baukontrolle der von ihr oder ihm bearbeiteten Bauteile (siehe auch [4], [28], [29]).

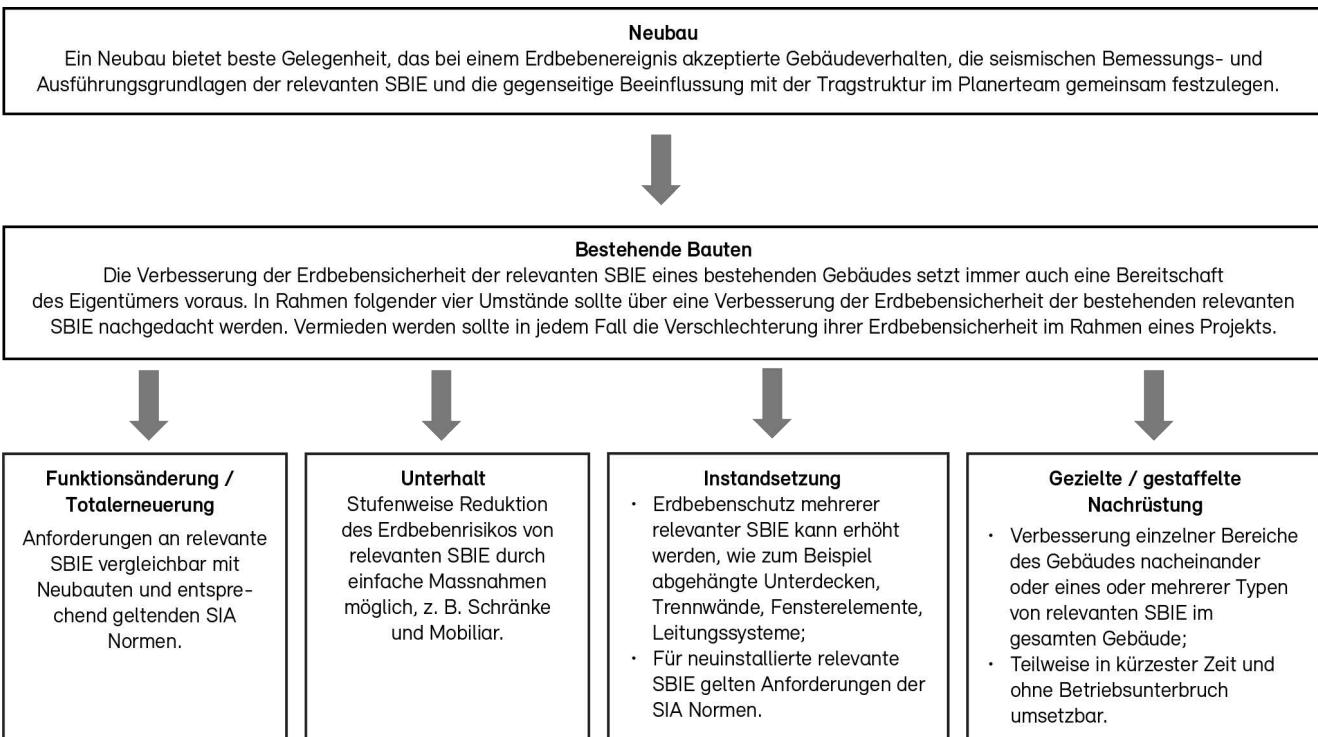
**Abb. 3.1 Verantwortungen und Zuständigkeiten**

### 3.3 Vorgehensempfehlungen zur Schadensbegrenzung (Risikoreduktion)

#### 3.3.1 Mögliche Ausgangssituationen

Es ist immer effizienter, erdbebengerechte Befestigungen, Verbindungen oder Verankerungen von relevanten SBIE während der Ausführung und vor der Inbetriebnahme eines Bauwerks umzusetzen, als sie später nachzurüsten. Bei bestehenden Bauten ist aufgrund der wesentlich geringeren Nutzungsdauer/Lebensdauer von relevanten SBIE eine Verbesserung der Erdbebensicherheit im Vergleich zum Tragwerk zeitnaher realisierbar. (Abb. 3.2)

**Abb. 3.2 Interventionsmöglichkeiten zur Reduktion des Erdbebenrisikos von SBIE**



#### 3.3.2 Wichtige Einflussfaktoren

Gewisse erdbebengerechte Befestigungen, Verbindungen oder Verankerungen von HLKS-Installationen und -Einrichtungen können ohne eine Bauingenieurin oder einen Bauingenieur einfach und kostenneutral oder zumindest kostengünstig umgesetzt werden. Hingegen benötigen andere Sicherungsmassnahmen, wie z. B. an Tanks, Kesseln oder Behältern, eine bauingenieurfachliche Berechnung mit klar beschriebenen Spezifikationen für die Durchbildung und Ausführung. Für die erdbebengerechte Planung, Bemessung und Ausführung von SBIE ist also ein Dialog zwischen den Fachplanenden unabdingbar, der auch vergütet werden muss.

Ist das potentielle Erdbebenrisiko für Personen und Sachschäden durch die relevanten SBIE gering, können die Fachplanenden gemeinsam einfache und kostengünstige Sicherungslösungen erarbeiten. Bei Bauwerken höherer Zweckbestimmung der Bauwerksklassen II und III ist eine SBIE-Koordination an die Gesamtleitung/Generalplanung zu beauftragen. Ebenfalls zielführend kann es sein, die Erhebung und Risikoeinschätzung durch eine externe spezialisierte Fachperson durchzuführen zu lassen und die Umsetzung durch das Planungsteam ohne weitere Begleitung zu handhaben. In jedem Fall sind die relevanten SBIE und die

Sicherungslösungen im Dokument «Erdbebensicherheit SBIE» festzuhalten, der von der Gesamtleitung/Generalplanung in Zusammenarbeit mit den Fachplanenden verfasst wird.

Es ist zu beachten, dass die Bearbeitung der relevanten SBIE durch die Fachplanende als besondere Leistung zu vereinbaren ist. Vor allem bei Hochbauprojekten ist zum Zeitpunkt der Vergabe an die Fachplanenden (üblicherweise mit Ende Phase 2 «Vorstudien») eine ausreichend detaillierte Auflistung und Beschreibung der relevanten SBIE nicht möglich. Für die relevanten SBIE kann daher eine Honorierung nach effektiv geleistetem Zeitaufwand in der Projektierungsphase und eine konkrete Honorarschätzung der Leistungen für die Realisierungsphase zielführender sein. Diese umfasst neben der Erhebung, Bewertung und Dimensionierung auch die Baukontrolle und Abnahme der relevanten SBIE. In jedem Fall muss die Eigentümerschaft in der Praxis bereit sein, die zusätzlichen besonderen Leistungen der Fachplanenden für die Schadensbegrenzung auch zusätzlich zu vergüten.

Voraussetzung für eine korrekte Ausführung der Erdbebensicherung von relevanten SBIE ist eine transparente Ausschreibung für Bauunternehmungen sowie Produktlieferanten und -hersteller. Das bedeutet, dass neben den spezifischen Anforderungen an die Erdbebensicherung für jedes einzelne relevante SBIE auch konkrete Angaben zur Ausführung des Elements gemacht werden müssen. Ein Beispiel: Ist für die Elemente einer Deckenbekleidung eine minimale Auflagerbreite verlangt, so muss diese beschrieben werden. Umgekehrt ist es auch möglich, dass für bestimmte relevante SBIE, z. B. für Fassadensysteme (siehe Kapitel 2.5), die erdbebengerechte Durchbildung sowie die Ausführungsdetails erst in der Realisierungsphase definiert werden können. Dies muss in den Ausschreibungsunterlagen transparent dargestellt werden.

Erdbebengerechte Sicherungsmassnahmen von relevanten SBIE können je nach Anforderung von üblichen Standardlösungen bis hin zu zertifizierten Einzelnachweisen gewisser Produkte oder ganzer Elemente (z. B. durch Versuche auf einem Rütteltisch) gehen. Der Entscheid über die Anwendung einer Massnahme und deren Durchbildung können sich bis in die Realisierungsphase ziehen. Somit ist es wesentlich, dass die Aufgaben und Verantwortungen der Fachplanenden auch für die Ausführungsphase klar definiert werden. Dies können für ein bestimmtes relevantes SBIE spezifische rechnerische Grundlagen, konzeptionelle Anforderungen oder konstruktive Überlegungen der Fachplanenden sein.

Durch die Baukontrolle überprüfen die Fachplanenden die korrekte Ausführung der Erdbebensicherung der relevanten SBIE in ihrer Verantwortung. Mit der Abnahme werden die relevanten SBIE an die Eigentümerschaft/Bauherrschaft übergeben, der ab jetzt das Risiko trägt und im Schadensfall haftet.

### 3.3.3 Instrumente für die Praxis

Basierend auf der **Projektdefinition** und dem **Projektpflichtenheft** können die Entscheide und Anforderungen an die relevanten SBIE in der **Nutzungsvereinbarung** phasengerecht festgehalten werden. Anhand des **Dokuments «Erdbebensicherheit SBIE»** lässt sich zusammen mit der Eigentümer-/Bauherrschaft eine dokumentierte Strategie zur Sicherung der relevanten SBIE entwickeln, auf deren Basis im Laufe des Projekts über die vorgeschlagenen Massnahmen entschieden werden kann.

Folgende Instrumente sollen die Erarbeitung dieser Projektdokumente erleichtern, indem sie die Zuteilung der Verantwortungen und Zuständigkeiten unter den Projektbeteiligten und die Formulierung der Anforderungen an die Erdbebensicherheit von relevanten SBIE vereinfachen:

- Erhebungsblatt & Zuständigkeitsmatrix
- Textelemente zur Projektdokumentation
- Abnahmeprotokoll

Diese Instrumente sind sowohl für neue als auch für bestehende Bauwerke dienlich.

#### 3.3.3.1 Erhebungsblatt

Das Erhebungsblatt (Anhang A1) ermöglicht es einerseits die relevanten SBIE zu erkennen und andererseits einzuschätzen, ob und wo einfache Lösungen ausreichen oder genauere Untersuchungen gefordert sind. Es ist wichtig, in einem ersten Schritt alle Elemente zu erfassen und ihr Schadenspotential zu beurteilen. Elemente, an denen Schäden nicht relevant sind oder die keine Stabilisierung benötigen, werden aussortiert. Die Sicherungsmassnahmen für die verbleibenden Elemente werden je nach Anforderungen bzw. Priorität entweder von einem Fachplanenden berechnet und bemessen oder direkt von der Gesamtleitung/Generalplanung (oder von anderen beauftragten Fachplanenden) angeordnet. Um das Erhebungsblatt ausfüllen zu können, müssen die Eigentümer-/Bauherrschaft und die Fachplanenden neben der Nutzung und Belegung des Gebäudes auch Fragen zur Funktionstüchtigkeit nach einem Erdbebenereignis beantworten. Das akzeptierbare Ausmass an nicht strukturellen Schäden muss diskutiert und festgelegt werden. Hierzu können auch die finanziellen Auswirkungen aus der Beschädigung oder Zerstörung der betreffenden Elemente ermittelt werden. Auch die Dauer von Betriebs- bzw. Nutzungsbeeinträchtigungen mit ihren wirtschaftlichen Konsequenzen können in dieser Beurteilung berücksichtigt werden. Das Erhebungsblatt sollte früh im Bauvorhaben erarbeitet und idealerweise gemeinsam von Gesamtleitung, den Fachplanenden und der Eigentümerschaft (Betreibende/Nutzende) ausgefüllt werden.

#### 3.3.3.2 Zuständigkeitsmatrix

Es empfiehlt sich die Aufgabenverteilung – aufbauend auf dem Erhebungsblatt – anhand einer Zuständigkeitsmatrix (Anhang A2) vorzunehmen. Sie ermöglicht, die Verantwortlichkeiten für alle Leistungen, die im Zusammenhang mit der Erdbebensicherung von relevanten SBIE zu erbringen sind, sowohl den Projektphasen (und Teilphasen) als auch den Projektbeteiligten zuzuweisen. Eine Zuständigkeitsmatrix sollte bereits in den Vorstudien in der Projektdefinition und im Projektpflichtenheft als Instrument zur Koordination definiert und schliesslich im Dokument «Erdbebensicherheit SBIE» projektspezifisch aufgestellt werden. Empfehlenswert ist es bei Gebäuden der Bauwerksklassen II und III, die Zuständigkeit zur Erstellung des Dokuments «Erdbebensicherheit SBIE» der Gesamtleitung/Generalplanung zuzuteilen. Folgende Fragestellungen können bei der Erstellung der Zuständigkeitsmatrix hilfreich sein:

- In welcher Projektphase kann die Bauingenieurin oder der Bauingenieur die notwendigen Grundlagen aus der Tragwerksanalyse liefern, die für die Bemessung und Durchbildung der relevanten SBIE benötigt werden?

- 
- Welche der relevanten SBIE können direkt ohne spezifische Anforderungen erdbebengerecht befestigt oder verankert werden, wie zum Beispiel Schränke und Regale oder deren Inhalte?
  - Welche relevanten SBIE können durch andernorts bewährte Standardlösungen erdbebengerecht befestigt oder verankert werden, wie zum Beispiel Deckenbekleidungen?
  - Welches sind schliesslich die relevanten SBIE, die eine bauingenieurfachliche Berechnung erfordern und für die spezifische Anforderungen an die Befestigung und Verankerung sowie an die Durchbildung des Elements individuell bestimmt werden müssen?

### 3.3.3.3 Textelemente zur Projektdokumentation

In der **Projektdefinition** legt der die Eigentümer-/Bauherrschaft die grundlegenden Ziele und Anforderungen an die Erdbebensicherheit der relevanten SBIE fest. Das **Projektpflichtenheft** baut darauf auf und beinhaltet die Funktionen und Eigenschaften der relevanten SBIE, um diese festgelegten Zielgrössen zu erreichen. Als ingenieurfachlicher Teil des Projektpflichtenhefts ist die fachübergreifende **Nutzungsvereinbarung**, die 2003 mit der Norm SIA 260 [23] neu eingeführt worden ist, durch die Bauingenieurin oder den Bauingenieur im Dialog mit der Bauherrschaft und bedarfsweise dem Planungsteam zu entwickeln und der Bauherrschaft zu genehmigen. Die Nutzungsvereinbarung beschreibt die Anforderungen an die Erdbebensicherheit des Tragwerks. In Bezug auf die Anforderungen an die relevanten SBIE legt sie das Vorgehen zur Sicherstellung deren Erdbebensicherheit fest und verweist auf das Dokument «Erdbebensicherheit SBIE». Erfahrungen aus der Praxis zeigen, dass die Erstellung eines eigenständigen Dokuments «Erdbebensicherheit SBIE» zielführend ist. Dieses Dokument wird durch die Gesamtleitung/Generalplanung erstellt. Es dokumentiert die festgelegten Anforderungen an die relevanten SBIE (aus Projektdefinition und Projektpflichtenheft), die relevanten SBIE (gemäß Erhebungsblatt), die für die Sicherung der relevanten SBIE verantwortlichen Fachplanenden (gemäß Zuständigkeitsmatrix), die Entscheide zu den Sicherungserfordernissen (gemäß Erhebungsblatt) und die Beschreibung der ausgeführten Sicherungsmassnahmen. Zur Erstellung des Dokuments «Erdbebensicherheit SBIE» ist der Dialog und die Zusammenarbeit zwischen allen Fachplanenden unerlässlich. Dieses Dokument ist bei Abschluss jeder Phase nachzuführen und jeweils erneut durch die Bauherrschaft zu genehmigen. Die Schlussfassung des Dokuments «Erdbebensicherheit SBIE» ist Bestandteil der Projektdokumentation und bildet die Grundlage für den korrekten Unterhalt der Erdbebensicherung der relevanten SBIE. Für die Erarbeitung dieses Dokuments bilden sowohl das Erhebungsblatt als auch die Zuständigkeitsmatrix eine massgebliche Grundlage. Anhang A3 enthält hilfreiche Textelemente.

### 3.3.3.4 Abnahmeprotokoll

Während der Realisierungsphase ist die korrekte Ausführung der projektierten Erdbebensicherung der behandelten SBIE mit Baukontrollen durch die zuständigen Fachplanenden zu überprüfen. Mit der Abnahme werden diese SBIE schliesslich an die Eigentümer-/Bauherrschaft übergeben. Ein Beispiel für ein Abnahmeprotokoll zeigt Anhang A4. Das Erhebungsblatt kann bei der Baukontrolle und der Abnahme als Grundlage verwendet und dem Abnahmeprotokoll beigelegt werden.

# Anhang

## A1 Erhebungsblatt

Das Erhebungsblatt dient zur Erhebung und Risikoeinschätzung von SBIE. Folgende Fragestellungen helfen die SBIE zu erheben und schliesslich zu priorisieren:

**Abb. A1.1.1: Welche Elemente sind direkt oder indirekt gefährdende sekundäre Bauteile?**

Links: Herabgefallene Fassadenelemente

Rechts: Zerstörte Glasfassade



**Abb. A1.1.2: Welche Elemente können Rettungsaktionen behindern oder Fluchtwege versperren?**

Links: Stark beschädigter Treppenlauf

Rechts: Herabgefallene Deckenelemente samt Kabeln und Lüftungsrohren



**Abb. A1.1.3: Welche Elemente können einen Betriebsausfall bzw. Störungen verursachen?**

Links: Gerissene Kupfer-Heisswasserleitung

Mitte: Unbefestigte Rohrleitung ist an Verbindung abgebrochen

Rechts: Globales Versagen Unterdeckenrost, Unterdecken- und Beleuchtungselemente im Krankenhaus von Los Angeles



**Abb. A1.1.4: Welche Elemente können die Umwelt gefährden?**

Links: Schäden an Erdölleitungen nach Herabstürzen durch Versagen an den Rohrverbindungen

Mitte: Mit Öl und Wasser gefluteter Keller eines Kraftwerks

Rechts: «Elefantenfuss» an ungenügend verankertem Benzintank



**Abb. A1.2: Beispiel für ein Erhebungsblatt für SBIE**

Bauwerk	Verwaltungsgebäude																											
Standort/Adresse	Musterstrasse 44, 4400 Musterhausen																											
Bauwerksklasse gem. Norm SIA 261	BWK II																											
Anzahl Geschosse	EG, 4 OG, UG																											
Begehung und Teilnehmende	Unterschrift Eigentümer (oder Nutzer/Betreiber)	Ort	Datum																									
	Unterschrift Gesamtleiter (oder Bauingenieur)	Ort	Datum																									
Projektphase	Vorstudien (oder Vorprojekt)																											
SBlE	Standort	Menge																										
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="6">Schutzziel</th> </tr> <tr> <th rowspan="2">Personenschutz (Personen, Tragwerk, Rettungs-/ Fluchtwege)</th> <th colspan="5">Schadensbegrenzung</th> <th rowspan="2">lebenswichtige Funktion</th> </tr> <tr> <th>bedeutende Infrastrukturfunktion</th> <th>wertvolle Einrichtungen und Güter</th> <th>Umwelt</th> <th>Kulturgut</th> <th>Betrieb, Nutzbarkeit, Aufräumarbeiten</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>x</td><td>nicht relevant</td></tr> </tbody> </table>				Schutzziel						Personenschutz (Personen, Tragwerk, Rettungs-/ Fluchtwege)	Schadensbegrenzung					lebenswichtige Funktion	bedeutende Infrastrukturfunktion	wertvolle Einrichtungen und Güter	Umwelt	Kulturgut	Betrieb, Nutzbarkeit, Aufräumarbeiten						x	nicht relevant
Schutzziel																												
Personenschutz (Personen, Tragwerk, Rettungs-/ Fluchtwege)	Schadensbegrenzung					lebenswichtige Funktion																						
	bedeutende Infrastrukturfunktion	wertvolle Einrichtungen und Güter	Umwelt	Kulturgut	Betrieb, Nutzbarkeit, Aufräumarbeiten																							
					x	nicht relevant																						
Deckenbekleidung	alle Geschosse	500 m <sup>2</sup>			x																							
Hohlboden	EG	35 m <sup>2</sup>				x																						
Trennwand Mauerwerk	alle Geschosse	15		x																								
Fassadenelement	alle Geschosse	15		x																								
Schalschrank	2.OG	3			x																							
Heisswassertank	UG	1				x																						
IT Element	alle Geschosse	50				x																						
Bücherregal	1.OG	2		x																								
...																												

## A2 Zuständigkeitsmatrix

Die Zuständigkeitsmatrix ermöglicht es, die Verantwortlichkeiten für alle Leistungen, die im Zusammenhang mit der Erdbebensicherung von SBIE zu erbringen sind, sowohl den Projektphasen (und Teilphasen) als auch den Projektbeteiligten zuzuweisen.

**Abb. A2.1:** Beispiel für eine Zuständigkeitsmatrix für SBIE

## A3 Textelemente zur Projektdokumentation

Die nachfolgenden Vorschläge für Textelemente sind projektspezifisch sinnvoll zu integrieren. Im Projektablauf kann so phasengerecht und zielführend dokumentiert werden, welche SBIE als relevant gemäss Norm SIA 261 [24], Ziffer 16.7.1, zu behandeln sind. Die daraus resultierenden Anforderungen sind festzuhalten. Die Entscheide und Festlegungen sind laufend nachzuführen und der Eigentümer-/Bauherrschaft zur Genehmigung vorzulegen.

### A3-1 Phase Vorstudien

#### A3-1.1 Textinhalte: Projekt-/Projektpflichtenheft

Die Behandlung und damit die erdbebengerechte Sicherung potentiell relevanter SBIE ist in der **Projektdefinition** als Ziel zu definieren. Die für die Erdbebensicherheit der relevanten SBIE wesentlichen Schutzziele und die Organisation der phasengerechten Behandlung sind im **Projektpflichtenheft** festzulegen. Dazu gehören die Festlegung der normativen Schutzziele, die Verwendung des Erhebungsblatt und der Zuständigkeitsmatrix sowie die Erstellung des Dokuments «Erdbebensicherheit SBIE» im Projekt. Diese Festlegungen sind unabdingbare Grundlage für eine zielgerichtete Projektierung durch die beauftragten Fachplanenden.

### A3-2 Phase Projektierung bis Realisierung

#### A3-2.1 Textelemente: Nutzungsvereinbarung

Die **Nutzungsvereinbarung** wird durch die Bauingenieurin oder den Bauingenieur erstellt. In der Nutzungsvereinbarung werden die übergeordneten Schutzziele des Erdbebenschutzes festgehalten. Sie entscheiden über die Relevanz der SBIE. Die Schutzziele resultieren aus den in der Projektdefinition und dem Projektpflichtenheft festgelegten normativen Anforderungen.

Das Bauwerk ist gemäss der Norm SIA 261 (2020) in Bauwerksklasse BWK ... eingeteilt.

Folgende Schutzziele sind für das Bauwerk zu berücksichtigen:

(für alle Bauwerksklassen)

Personenschutz

Schadensbegrenzung

(zusätzlich für Bauwerke der Bauwerksklassen BWK II und III)

Gewährleistung der Funktionstüchtigkeit (lebens-)wichtiger Bauwerke

Die Relevanz von SBIE ergibt sich aus dem Einfluss ihres möglichen Versagens auf:

(für alle Bauwerksklassen)

Personengefährdung

Tragwerksbeschädigung

(zusätzlich für Bauwerke der Bauwerksklassen BWK II und III)

Beeinträchtigung bedeutender (oder lebenswichtiger) Infrastrukturfunktion

Beschädigung besonders wertvoller Einrichtungen

Gefährdung der Umwelt

Die Gesamtleitung/Generalplanung und die Fachplanenden definieren gemeinsam die erforderlichen Sicherungsmassnahmen im Dokument «Erdbebensicherheit SBIE», die zur Erfüllung der Anforderungen gemäss Norm SIA 261 (2020), Ziffer 16.7 notwendig sind.

### A3-2.2 Textelemente: Dokument «Erdbebensicherheit SBIE»

Die Anforderungen für die Bearbeitung der Erdbebensicherheit der relevanten SBIE werden im **Dokument «Erdbebensicherheit SBIE»** beschrieben. Neben sekundären Bauteilen sind weitere Installationen und Einrichtungen aufzulisten, die durch eine vorgängige Erhebung der Gesamtleitung/Generalplanung (SBIE Koordination) zusammen mit der Bauingenieurin oder dem Bauingenieur als relevant gemäss den normativen Schutzz Zielen definiert werden.

Erhebung der SBIE und Einschätzung des Erdbebenrisikos:

Erhebungsblatt in Dokument einfügen

Verantwortungen und Zuständigkeiten für die erdbebengerechte Behandlung der SBIE:

Zuständigkeitsmatrix in Dokument einfügen

Festlegung der Schutzz Zielen und der daraus resultierenden relevanten SBIE:

Das Bauwerk ist gemäss der Norm SIA 261 (2020) in Bauwerksklasse BWK ... eingeteilt.

Gemäss der Norm SIA 261 (2020), Ziffer 16.7.1, werden folgende SBIE im und am Tragwerk als relevant identifiziert:

(für alle Bauwerksklassen)

Personengefährdung: ...

Tragwerksbeschädigung: ...

(zusätzlich für Bauwerksklassen BWK II und III)

Beeinträchtigung der bedeutenden (oder lebenswichtigen) Infrastrukturfunktion: ...

Beschädigung besonders wertvoller Einrichtungen: ...

Umweltgefährdung: ...

Im Folgenden sind für alle relevanten SBIE aufzulisten

- welches Schutzz Ziel durch ein Versagen des SBIE betroffen ist,
- ob keine spezifischen Massnahmen erforderlich sind und das SBIE standardmässig ausreichend sicher verbunden, befestigt oder verankert ist,
- ob direkt einfache konstruktive Massnahmen zur Sicherung direkt umgesetzt werden können oder
- ob Sicherheitsmassnahmen nach weiteren Untersuchungen durch einen Fachplaner definiert werden müssen.

Bei der Berücksichtigung des Schutzz Ziels der Schadensbegrenzung muss eine projektspezifische Auslegung erfolgen. Die Eigentümer-/Bauherrschaft entscheidet über den erforderlichen Umfang der Schadensbegrenzung.

## A4 Abnahmeprotokoll

Durch Baukontrollen der zuständigen Fachplanenden während der Realisierungsphase kann die korrekte Ausführung der projektierten Massnahmen an den relevanten SBIE kontrolliert werden. Mit der Abnahme werden diese SBIE schliesslich an die Eigentümer-/Bauherrschaft übergeben. Folgende Tabellen können auf der Baustelle bei Baukontrolle und Abnahme der relevanten SBIE hilfreich sein.

**Tab. A4.1: Beispiel für ein Abnahmeprotokoll**

<b>Phase der Protokollerstellung</b> <input type="checkbox"/> Kontrolle während der Bauphase <input type="checkbox"/> Kontrolle bei Abschluss der Arbeiten <input type="checkbox"/> Nachkontrolle bei festgestellten Mängeln		
<b>Gefährdende sekundäre Bauteile</b>		
Betrachtetes Element (z. B. Fassadenelemente) Sicherheitsmassnahme: ...	<input type="checkbox"/> in Ordnung	<input type="checkbox"/> Mängel: ...
Betrachtetes Element Sicherheitsmassnahme: ...	<input type="checkbox"/> in Ordnung	<input type="checkbox"/> Mängel: ...
Betrachtetes Element Sicherheitsmassnahme: ...	<input type="checkbox"/> in Ordnung	<input type="checkbox"/> Mängel: ...
...		
<b>Weitere gefährdende Installationen und Einrichtungen</b>		
Betrachtetes Element (z. B. Regale) Sicherheitsmassnahme: ...	<input type="checkbox"/> in Ordnung	<input type="checkbox"/> Mängel: ...
Betrachtetes Element Sicherheitsmassnahme: ...	<input type="checkbox"/> in Ordnung	<input type="checkbox"/> Mängel: ...
Betrachtetes Element Sicherheitsmassnahme: ...	<input type="checkbox"/> in Ordnung	<input type="checkbox"/> Mängel: ...
...		
Datum: ...	Name/Funktion: ...	Unterschrift: ...
<input type="checkbox"/> Es bestehen keine Mängel/Die Mängel wurden behoben, die Sicherheitsmassnahmen gelten als abgenommen. <input type="checkbox"/> Es bestehen Mängel. Eine Nachkontrolle ist erforderlich. Die Abnahme ist zurückgestellt.		

## A5 Berechnungsbeispiel und Hilfstabellen

Sowohl das Berechnungsbeispiel als auch die Hilfstabellen basieren auf Formel (49) der Norm SIA 261 [24]. Sie liefern meist Angaben auf der sicheren Seite und bei genauerer Analyse würden weniger konservative Werte resultieren. Da die Massnahmenkosten jedoch in vielen Fällen sehr gering ausfallen, ist im Einzelfall abzuschätzen, ob eine detaillierte Berechnung der Erdbebenbeanspruchung notwendig und möglich ist (Grundschwingzeit  $T_a$  des SBIE meist unbekannt).

Anhand des Berechnungsbeispiels wird das Vorgehen für die Erdbebenbemessung von SBIE gemäss Norm SIA 261 [24] vorgeführt. Die Inhalte der Norm SIA 261 [24] werden als bekannt vorausgesetzt.

Die Entscheidungsbäume und Hilfstabellen dienen dazu, SBIE hinsichtlich ihrer Erdbebensicherheit zu beurteilen und grob zu dimensionieren. Anhand der Richtwerte für die Verschiebungen und Beschleunigungen ergibt sich ein konservativer Anhaltspunkt, in welcher Größenordnung die Erdbebenbeanspruchung liegt. Die Werte können auch bei der Dimensionierung von Fugenbreiten oder Befestigungsmitteln verwendet werden. Diese Hilfstabellen können sowohl für bestehende als auch für neue Elemente angewendet werden.

### A5-1 Berechnungsbeispiel

Norm SIA 261 [24], Ziffer 16.7.2, schlägt eine kraftbasierte Berechnungsmethode vor. Formel (49) der Norm liefert als Resultat die im Massenschwerpunkt des Bauteils mit Eigengewicht  $G_a$  aufzubringende **Horizontalkraft  $F_a$** .

$$F_a = \frac{\gamma_f a_{gd} S G_a}{g q_a} \left( \frac{3(1 + \frac{z_a}{h})}{1 + (1 - \frac{T_a}{T_1})^2} - 0.5 \right) \geq \frac{\gamma_f a_{gd} S G_a}{g q_a}$$

Eine grosse Horizontalkraft resultiert, wenn beide Terme des Produkts der Formel maximal, also die Zähler gross und die Nenner klein sind.

Der erste Term der Formel (49) der Norm wird gross, wenn das Bauwerk eine lebenswichtige Infrastrukturfunktion (BWK III  $\rightarrow \gamma_f$ ) hat, eine hohe Gefährdung (Z3 b  $\rightarrow a_{gd}$ ) und ein ungünstigerer Baugrund (BGK E  $\rightarrow S$ ) am Standort vorliegen, das SBIE selbst sehr schwer ist ( $G_a$  ist gross) und abhebe- oder kippgefährdet ist ( $q_a = 1,0$ ).

Der zweite Term der Formel (49) der Norm wird gross, wenn das SBIE ganz oben im Gebäude angeordnet ist ( $z_a = h$ ) und zwischen Bauwerk und SBIE Resonanz herrscht ( $T_a = T_1$ ).

Im Umkehrschluss ergibt sich eine kleine Horizontalkraft, wenn beide Terme des Produkts klein werden. Das ist der Fall, wenn das Bauwerk keine grosse Personenbelegung und keine wichtige Funktion hat (BWK I), eine geringe Gefährdung (Z1a) und ein günstigerer Baugrund (BGK A) am Standort vorliegen, das SBIE selbst eine kleine Masse hat ( $G_a$  ist klein) und nicht abhebe- oder kippgefährdet ist ( $q_a = 1,5$ ). Der zweite Term wird kleiner wenn das SBIE unten im Gebäude angeordnet und es steif ist (sehr geringe Grundschwingzeit  $T_a \sim 0$ ).

**Extremfälle:**

Es können zwei Extremfälle für ein betrachtetes SBIE ermittelt werden.

- Fall 1: kleinster Wert mit SBIE unten im Gebäude  $z_a = 0$  und keine Eigenschwingung  $T_a = 0$

$$\left( \frac{3(1+0)}{1+(1-0)^2} - 0.5 \right) = (1.5 - 0.5) = 1.0 \quad \text{also} \quad F_a = 1.0 \frac{\gamma_f a_{gd} S G_a}{g q_a}$$

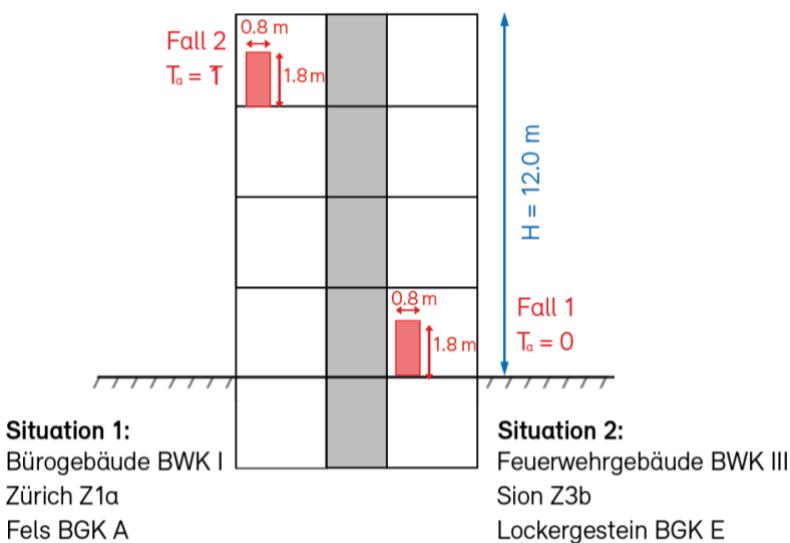
- Fall 2: grösster Wert mit SBIE oben im Gebäude  $z_a = h$  und Resonanz  $T_a = T_1$

$$\left( \frac{3(1+1)}{1+(1-1)^2} - 0.5 \right) = (6 - 0.5) = 5.5 \quad \text{also} \quad F_a = 5.5 \frac{\gamma_f a_{gd} S G_a}{g q_a}$$

**Berechnungsbeispiel:**

Betrachtet wird ein Steuerschrank. Für den Kipp- und Gleitnachweis wird mit  $q_a = 1.0$  gerechnet. Eine Überfestigkeit oder ein plastisches Verhalten durch einen höheren Verhaltensbeiwert werden für diese Nachweise nicht berücksichtigt.

Abb. A5.1: Berechnungsbeispiel Steuerschrank



Situation 1: Steuerschrank in einem Bürogebäude in Zürich auf felsigem Untergrund

$$q_a = 1.0, \text{ Bauwerksklasse BWK I mit}$$

$$\gamma_f = 1.0, \text{ Erdbebenzone Z1 b mit}$$

$$a_{gd} = 0.6 \text{ und BGK A mit } S = 1.0$$

$$\text{Fall 1: } F_a = 1.0 \frac{1.0 \cdot 0.6 \cdot 1.0 \cdot G_a}{9.81 \cdot 1.0} = 0.06G_a$$

$$\text{Fall 2: } F_a = 5.5 \frac{1.0 \cdot 0.6 \cdot 1.0 \cdot G_a}{9.81 \cdot 1.0} = 0.34G_a$$

Situation 2: Steuerschrank in einem Feuerwehrgebäude in Sion auf Lockergestein

$$q_a = 1.0, \text{ Bauwerksklasse BWK III mit}$$

$$\gamma_f = 1.5, \text{ Erdbebenzone Z3 b mit}$$

$$a_{gd} = 1.6 \text{ und BGK E mit } S = 1.7$$

$$\text{Fall 1: } F_a = 1.0 \frac{1.5 \cdot 1.6 \cdot 1.7 \cdot G_a}{9.81 \cdot 1.0} = 0.42G_a$$

$$\text{Fall 2: } F_a = 5.5 \frac{1.5 \cdot 1.6 \cdot 1.7 \cdot G_a}{9.81 \cdot 1.0} = 2.29G_a$$

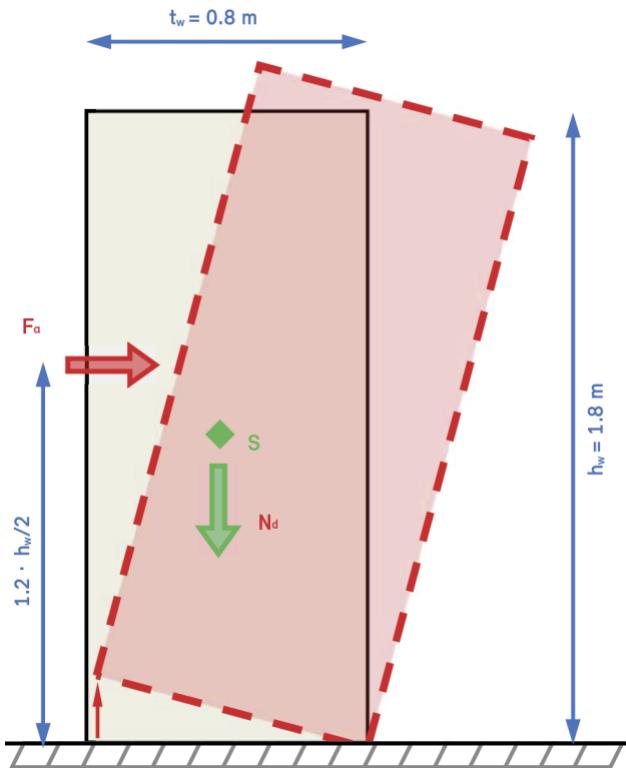
Betrachtete man einen Steuerschrank mit den Abmessungen  $h_w \times t_w \times l_w = 1.8 \text{ m} \times 0.80 \text{ m} \times 1.2 \text{ m}$  und einem Gewicht von  $G_a = 500 \text{ kg} = 5 \text{ kN}$ , ergeben sich folgende Extremwerte für die aufzubringende Horizontalkraft  $F_a$ .

**Tab. A5.2: Resultate für die Horizontalkraft  $F_a$  [kN]**

Horizontalkraft $F_a$ [kg bzw. kN]		
	Fall 1	Fall 2
Situation 1	30 kg → 0.3 kN	170 kg → 1.7 kN
Situation 2	210 kg → 2.1 kN	1145 kg → 11.5 kN

### A5-1.1 Kippnachweis

Abb. A5.3: Kippnachweis Steuerschrank



Der Nachweis der Kippsicherheit für den Steuerschrank erfolgt durch Vergleich des Kippmoments aus der Erdbebeneinwirkung auf den Steuerschrank

$$M_d = F_a \cdot 1.2 \cdot \frac{h_w}{2}$$

mit dem Rückhaltemoment aus dem Eigengewicht des Steuerschranks

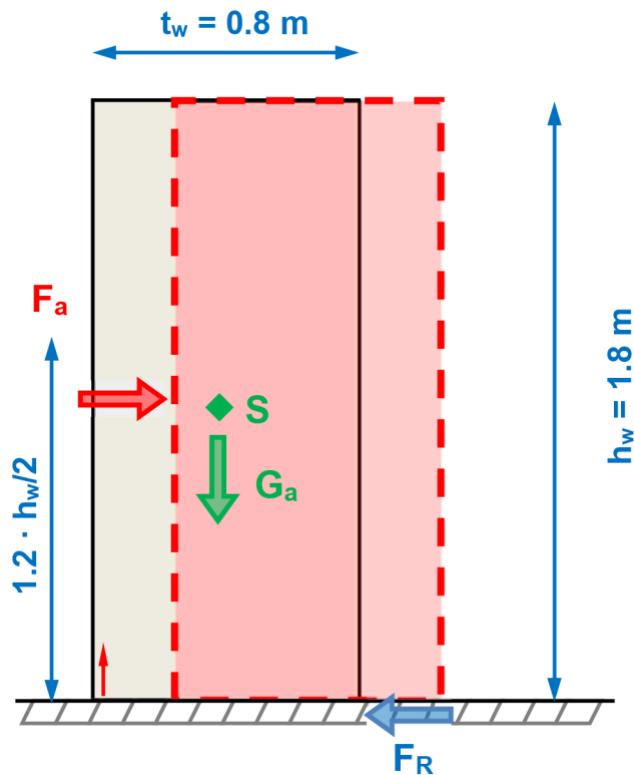
$$M_{Rd} = N_d \cdot \frac{t_w}{2}$$

Es wird empfohlen, zur Berechnung der Verankerungs Kräfte die Horizontalkraft etwas oberhalb der Höhe des Schwerpunktes des Steuerschranks anzusetzen. Hintergrund ist, dass schrankartige Elemente bei einem Erdbeben eine Kippbewegung ausführen, was bedeutet, dass die Trägheitskräfte – bei gleichmässiger Massenverteilung – mit der Höhe zunehmen. Näherungsweise kann daher die Horizontalkraft in einer Höhe von 1.2 h\_w angesetzt werden.

**Tab. A5.4: Resultate Kippnachweis**

Kippnachweis		
	Fall 1	Fall 2
Situation 1	$F_a = 0.3 \text{ kN}$ $M_d = 0.3 \times 1.2 \times 1.8/2 = 0.32 \text{ kNm}$ $M_{Rd} = 5 \times 0.8/2 = 2 \text{ kNm}$ $M_d/M_{Rd} = 0.32/2 = 0.16 < 1$ → Nachweis erfüllt	$F_a = 1.7 \text{ kN}$ $M_d = 1.7 \times 1.2 \times 1.8/2 = 1.84 \text{ kNm}$ $M_{Rd} = 5 \times 0.8/2 = 2 \text{ kNm}$ $M_d/M_{Rd} = 1.84/2 = 0.92 > 1$ → Nachweis erfüllt
	Befestigung des Steuerschranks gegen Kippen nicht notwendig	Befestigung des Steuerschranks gegen Kippen nicht notwendig
Situation 2	$F_a = 2.1 \text{ kN}$ $M_d = 2.1 \times 1.2 \times 1.8/2 = 2.27 \text{ kNm}$ $M_{Rd} = 5 \times 0.8/2 = 2 \text{ kNm}$ $M_d/M_{Rd} = 2.27/2 = 1.14 > 1$ → Nachweis nicht erbracht	$F_a = 11.5 \text{ kN}$ $M_d = 11.5 \times 1.2 \times 1.8/2 = 12.4 \text{ kNm}$ $M_{Rd} = 5 \times 0.8/2 = 2 \text{ kNm}$ $M_d/M_{Rd} = 12.4/2 = 6.2 > 1$ → Nachweis nicht erbracht
	Befestigung des Steuerschranks gegen Kippen notwendig	Befestigung des Steuerschranks gegen Kippen notwendig

### A5-1.2 Gleitnachweis

**Abb. A5.5: Gleitnachweis Steuerschrank**

Der Gleitnachweis für den Steuerschrank erfolgt durch Vergleich der Horizontalkraft  $F_a$  mit der Reibungskraft  $F_R = G_a \times \mu$ . Der Nachweis ist erbracht wenn  $F_R > F_a$ . Unter der Annahme eines Reibungsbeiwerts von  $\mu = 0.3$  (Stahl auf Beton) ergibt sich  $F_R = 0.3 \times 500 \text{ kg} = 150 \text{ kg} \rightarrow 1.5 \text{ kN}$ .

**Tab. A5.6: Resultate Gleitnachweis**

Gleitnachweis			
	Fall 1	Fall 2	
Situation 1	$F_R = 1.5 \text{ kN} > F_a = 0.3 \text{ kN}$ → Nachweis erfüllt	$F_R = 1.5 \text{ kN} < F_a = 1.7 \text{ kN}$ → Nachweis nicht erbracht	
	Befestigung des Steuerschranks gegen Gleiten nicht notwendig	Befestigung des Steuerschranks gegen Gleiten notwendig	
Situation 2	$F_R = 1.5 \text{ kN} < F_a = 2.1 \text{ kN}$ → Nachweis nicht erbracht	$F_R = 1.5 \text{ kN} < F_a = 11.5 \text{ kN}$ → Nachweis nicht erbracht	
	Befestigung des Steuerschranks gegen Gleiten notwendig	Befestigung des Steuerschranks gegen Gleiten notwendig	

Nur der unten im Bürogebäude abgestellte Steuerschrank in zürich benötigt gar keine Befestigung.

Für die Festigkeitsnachweise der Befestigungs- und Verankerungsmittel sind die rechnerischen Materialwiderstände zur Berücksichtigung der Überfestigkeit um den Verhaltensbeiwert  $q = 1.5$  zu erhöhen.

Für eine überschlägige Abschätzung auf Basis der Formel (49) der Norm SIA 261 [24] können die folgenden Hilfstabellen angewendet werden.

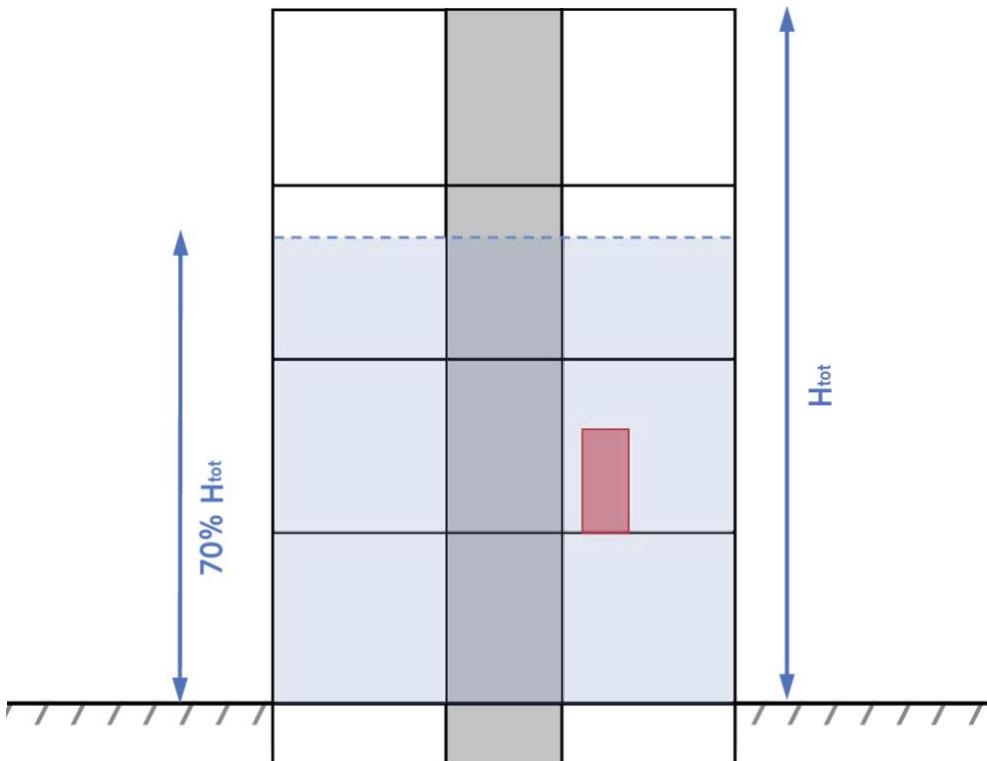
## A5-2 Grobdimensionierung der Befestigung von starren Elementen

In diese Kategorie fallen Elemente, die starr mit dem Tragwerk verbunden sind. Die angegebenen Beschleunigungswerte können für den Nachweis der Erdbebensicherheit dieser Elemente sowie für die Dimensionierung der aussteifenden Elemente oder der Befestigungsmittel verwendet werden. Beispielsweise können so Befestigungen von Schränken oder Aussteifungen von Rohrleitungen bemessen werden.

### A5-2.1 Abschätzung der absoluten Bauteilbeschleunigung $a_{abs}$

Für die absolute Bauteilbeschleunigung  $a_{abs}$  sind in den folgenden Tabellen Richtwerte für verschiedene Baugrundklassen und Erdbebenzonen angegeben. Eine genauere Untersuchung ergibt häufig (deutlich) kleinere Werte. Ist die Baugrundklasse unbekannt, muss mit konservativen Annahmen gerechnet werden (BGK E). Die Werte gelten für BWK I. Für BWK II und III sind die Werte mit  $\gamma_f$  zu multiplizieren.

Die Richtwerte  $a_{abs}$  für Bauteile, die sich in einer Höhe  $z_i$  befinden, die mehr als 70 % der gesamten Bauwerkhöhe  $H_{tot}$  (ab OK Terrain) beträgt, sind in Tabelle A5.8 angegeben. Für die Berechnung wurde  $q_a = 1.5$  und  $T_a = T_1$  angesetzt.

**Abb. A5.7: Erläuterung zu den beiden Tabellen****Tab. A5.8: Richtwerte für die absolute Bauteilbeschleunigung (obere Stockwerke)**

		SIA 261 (2020)				
		Erdbebenzone				
$a_{abs, oben} [\text{m/s}^2]$ für $z_i > 0.7 H_{tot}$		Z1a	Z1b	Z2	Z3a	Z3b
Baugrundklasse	A	2.5	3.0	4.0	5.0	6.0
	B	3.0	4.0	4.5	6.0	7.5
	C	3.5	4.5	5.5	7.0	9.0
	D	4.0	5.0	6.5	8.5	10.5
	E	4.0	5.0	6.5	8.5	10.5

**A5-2.2 Beispiel Steuerschrank:**

- Gesamtgewicht  $G_a = 5 \text{ kN} = 500 \text{ kg}$ , Erdbebenzone Z1a, Baugrundklasse A, oben im Gebäude
- Gemäss Entscheidungsbaum in Abb. A5.10: Schäden am Steuerschrank nach Erdbebenereignis unerwünscht
- Aus Tabelle A5.8: absolute Bauteilbeschleunigung  $a_{abs, oben} = 2.5 \text{ m/s}^2$
- Auf Steuerschrank aufzubringende Horizontalkraft  $F_a = 500 \text{ kg} \times 2.5 \text{ m/s}^2 \times \frac{1}{1000} = 1.25 \text{ kN} = 125 \text{ kg}$
- Fragestellungen im Entscheidungsbaum weiterbearbeiten

Hinweis: Die Differenz zum Berechnungsbeispiel im Kapitel A.5.1 ergibt sich aus den angenommenen Resonanzeffekten und einer größeren Erfassung der Lage im Gebäude.

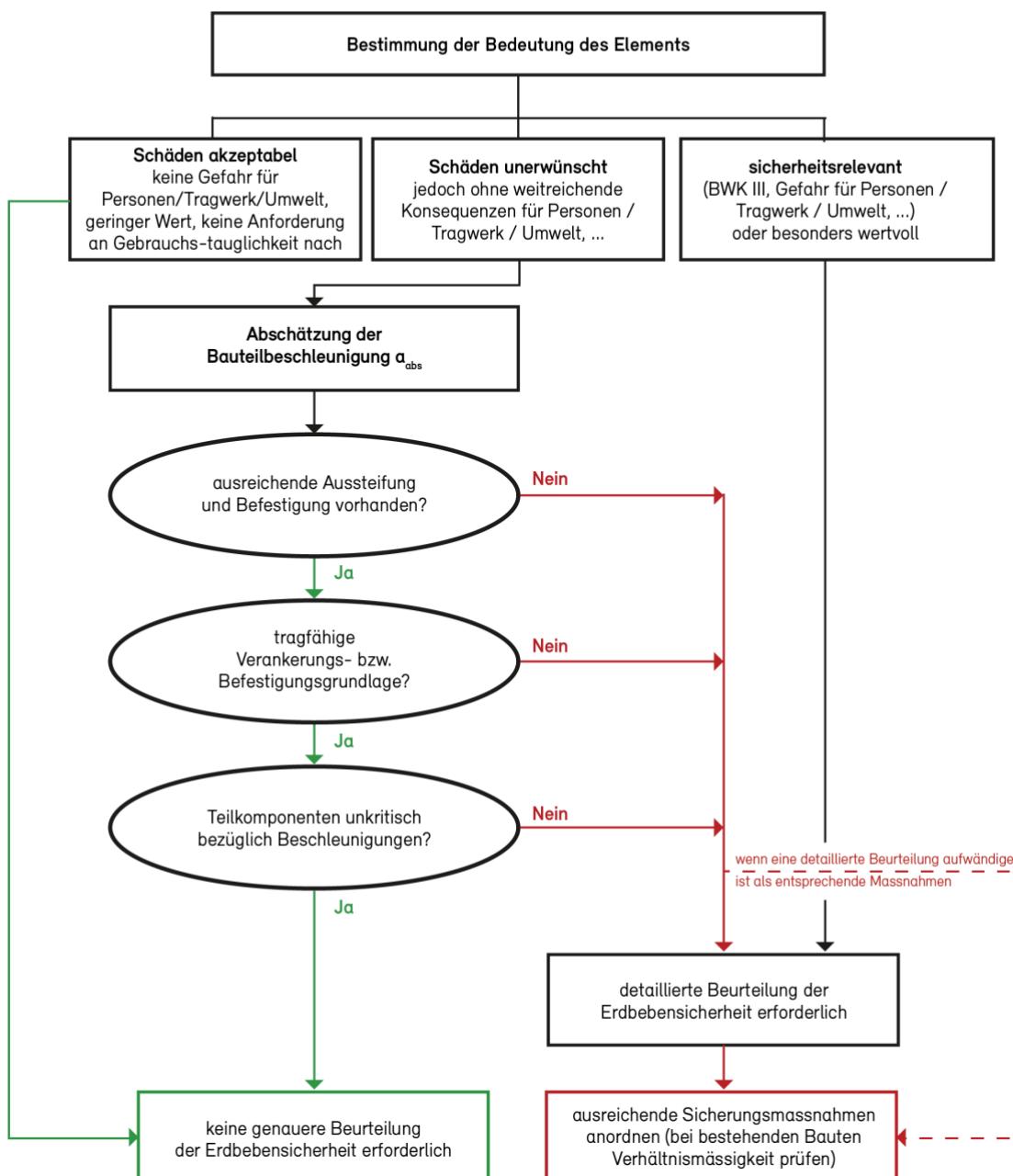
Die Richtwerte  $a_{abs}$  für Bauteile, die sich in einer Höhe  $z_i$  befinden, die weniger als 70 % der gesamten Bauwerkhöhe  $H_{tot}$  (ab OK Terrain) beträgt, sind in Tabelle A5.9 angegeben.

**Tab. A5.9: Richtwerte für die absolute Bauteilbeschleunigung (untere Stockwerke)**

		SIA 261 (2020)				
		Erdbebenzone				
		Z1a	Z1b	Z2	Z3a	Z3b
Baugrundklasse	A	2.0	2.5	3.5	4.5	5.0
	B	2.5	3.0	4.0	5.0	6.0
	C	3.0	4.0	4.5	6.0	7.5
	D	3.5	4.5	5.5	7.0	8.5
	E	3.5	4.5	5.5	7.0	8.5

**Abb. A5.10: Entscheidungsbaum für starr befestigte, beschleunigungsempfindliche Elemente**

- Beispiele:
- |  |  |
|--|--|
| 2.2 - Deckenbekleidungen                 | 2.14 - Transformatoren                             |
| 2.3 - Hohlböden                          | 2.15 - Klimatechnik                                |
| 2.4 - Wände, Ausfachungen                | 2.16 - Tanks, Kessel, Behälter                     |
| 2.5 - Fassadensysteme, Verkleidungen     | 2.17 - Rohrleitungen, Lüftungs-, Kabelkanäle       |
| 2.6 - Brüstungen                         | 2.18 - Beleuchtungssysteme                         |
| 2.7 - Treppen                            | 2.19 - Aufzüge, Rolltreppen                        |
| 2.8 - Verglasungen, Türen, Fenster       | 2.21 - IT-Elemente                                 |
| 2.9 - Tafeln, Schilder, Vordächer        | 2.22 - Schränke, Regale                            |
| 2.10 - Kamine, Schornsteine, Dachdeckung | 2.23 - Hochregale                                  |
| 2.11 - Notstromversorgung                | 2.24 - Gefährliche Substanzen                      |
| 2.12 - Brandschutz                       | 2.25 - Kunstgegenstände, Mobiliar, Innendekoration |
| 2.13 - Schalt- und Steuerschränke        |  |



## A5-3 Grobdimensionierung der Fugenbreite von verformungsempfindlichen Elementen

In diese Kategorie gehören Bauteile und Elemente, die durch Relativverschiebungen von zwei Fixpunkten beschädigt werden. Das sind z. B. Mauerwerksausfachungen oder Brüstungen. In diesem Fall dienen die Richtwerte dazu, die erforderlichen Fugenbreiten zu bestimmen.

### A5-3.1 Abschätzung der relativen Stockwerkschiefstellung $\delta$

Für die maximale Stockwerkschiefstellung  $\delta$  sind in Tabelle A5.11 Richtwerte für verschiedene Baugrundklassen und Erdbebenzonen angegeben. Eine genauere Untersuchung ergibt häufig (deutlich) kleinere Werte. Die Werte gelten für typische Bauwerke der Bauwerksklasse BWK I und II.

Nicht geeignet sind diese Richtwerte für besonders weiche Bauten mit einer grossen Eigenschwingzeit und einer geringen Gebäudehöhe (z. B. eingeschossige Stahlkonstruktion mit grosser Masse). Ist die Baugrundklasse unbekannt, muss mit konservativen Annahmen gerechnet werden (BGK D).

**Tab. A5.11: Richtwerte für die maximale Stockwerkschiefstellung**

		SIA 261 (2020)				
		Erdbebenzone				
		Z1a	Z1b	Z2	Z3a	Z3b
Baugrundklasse	A	0.3	0.3	0.4	0.5	0.6
	B	0.4	0.5	0.7	0.8	1.0
	C	0.5	0.7	0.9	1.1	1.4
	D	0.8	1.0	1.3	1.6	2.0
	E	0.4	0.5	0.7	0.8	1.0

$$\Delta_{\text{rel,Stockwerk}} = \delta \cdot H_i$$

Die relative Stockwerkverschiebung  $\Delta_{\text{rel,Stockwerk}}$  wird durch Multiplikation der Schiefstellung  $\delta$  mit der Geschoßhöhe  $H_i$  berechnet.

Für ein Bauwerk mit einer Geschosshöhe von  $H_i = 3.0$  m resultieren somit folgende Richtwerte für die relative Stockwerkverschiebung  $\Delta_{rel}$ :

**Tab. A5.12: relative Stockwerkverschiebung für eine Geschosshöhe von  $H_i = 3.0$  m**

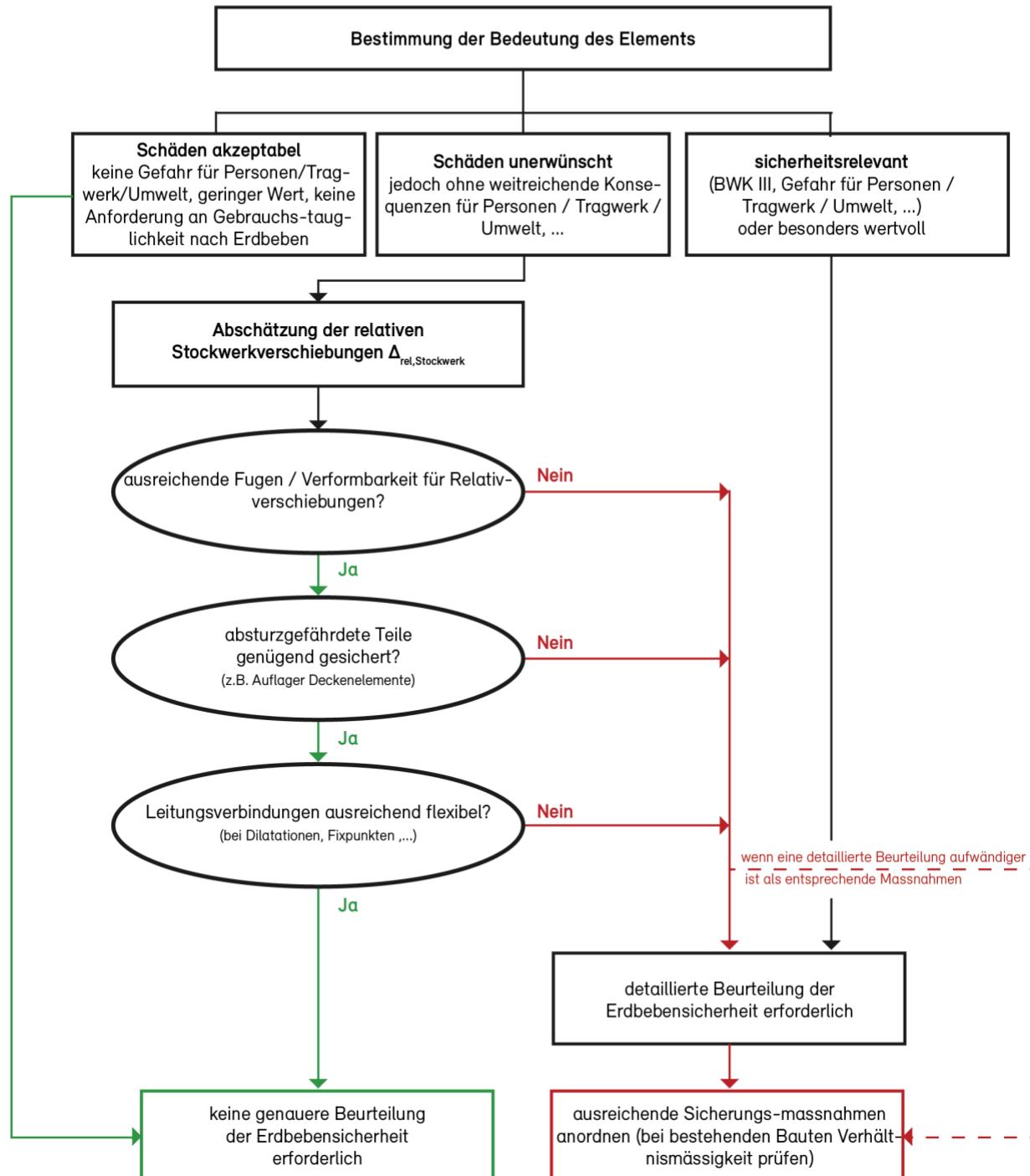
		SIA 261 (2020)				
		Erdbebenzone				
$\Delta_{rel, Stockwerk}$ [mm]		Z1a	Z1b	Z2	Z3a	Z3b
Baugrundklasse	A	9	9	12	15	18
	B	12	15	21	24	30
	C	15	21	27	33	42
	D	24	30	39	48	60
	E	12	15	21	24	30

### A5-3.2 Beispiel Fassadenelement:

- Bauwerk mit Geschosshöhe von  $H_i = 3$  m, Erdbebenzone Z2, Baugrundklasse B
- Gemäss Entscheidungsbaum in Abb. A5.13: Schäden an Fassadenelement nach Erdbebenereignis unerwünscht
- Aus Tabelle A5.12: relative Stockwerkverschiebung  $\Delta_{rel, Stockwerk} = 21$  mm
- Fragestellungen im Entscheidungsbaum weiterbearbeiten.

**Abb. A5.13: Entscheidungsbaum für Befestigungspunkte von verformungsempfindlichen Elementen bezüglich Relativverschiebungen von Befestigungspunkten verformungsempfindlicher Elemente**

- Beispiele:
- |                                      |  |
|--------------------------------------|--|
| 2.2 - Deckenbekleidungen             | 2.7 - Treppen                                |
| 2.3 - Hohlböden                      | 2.8 - Verglasungen, Türen, Fenster           |
| 2.4 - Wände, Ausfachungen            | 2.17 - Rohrleitungen, Lüftungs-, Kabelkanäle |
| 2.5 - Fassadensysteme, Verkleidungen | 2.19 - Aufzüge, Rolltreppen                  |
| 2.6 - Brüstungen                     |  |



## A5-4 Grobdimensionierung des Freiraums bei nachgiebig befestigten Elementen

Dazu gehören Elemente, die nicht steif mit dem Tragwerk verbunden sind. Beispielsweise kann so der Freiraum (= Bauteilverschiebung relativ zum Befestigungspunkt) bestimmt werden, den eine Lampe oder ein abgehängtes Objekt benötigt, um frei schwingen zu können.

### A5-4.1 Abschätzung der Bauteilverschiebung relativ zum Befestigungspunkt $\Delta_{\text{rel},\text{Bauteil}}$

Für die Bauteilverschiebung relativ zum Befestigungspunkt  $\Delta_{\text{rel},\text{Bauteil}}$  sind in den folgenden Tabellen Richtwerte für verschiedene Baugrundklassen und Erdbebenzonen angegeben. Eine genauere Untersuchung ergibt häufig (deutlich) kleinere Werte. Ist die Baugrundklasse unbekannt, muss mit konservativen Annahmen gerechnet werden (BGK D). Die Werte gelten für BWK I. Für BWK II und III sind die Werte mit  $\gamma_f$  zu multiplizieren.

Sind gegenläufige Schwingungen von verschiedenen Elementen nicht ausgeschlossen, so muss die doppelte relative Bauteilverschiebung freigehalten werden, um einen Anprall zu vermeiden.

Die Richtwerte  $\Delta_{\text{rel},\text{Bauteil}}$  für Bauteile, die sich in einer Höhe  $z_i$  befinden, die mehr als 70 % der gesamten Bauwerkhöhe  $H_{\text{tot}}$  (ab OK Terrain) beträgt, sind in Tabelle A5.14 angegeben.

**Tab. A5.14: Richtwerte für die Bauteilverschiebung relativ zum Befestigungspunkt (obere Geschosse)**

		SIA 261 (2020)				
		Erdbebenzone				
$\Delta_{\text{rel},\text{Bauteil},\text{oben}} [\text{cm}]$ für $z_i > 0.7 H_{\text{tot}}$		Z1a	Z1b	Z2	Z3a	Z3b
Baugrundklasse	A	6	8	10	15	20
	B	10	15	20	25	30
	C	15	20	25	30	40
	D	20	30	35	45	55
	E	10	15	20	25	30

Die Richtwerte  $\Delta_{\text{rel},\text{Bauteil}}$  für Bauteile, die sich in einer Höhe  $z_i$  befinden, die weniger als 70 % der gesamten Bauwerkhöhe  $H_{\text{tot}}$  (ab OK Terrain) beträgt, sind in Tabelle A5.15 angegeben.

**Tab. A5.15: Richtwerte für die Bauteilverschiebung relativ zum Befestigungspunkt (untere Geschosse)**

		SIA 261 (2020)				
		Erdbebenzone				
$\Delta_{\text{rel},\text{Bauteil},\text{unten}} [\text{cm}]$ für $z_i < 0.7 H_{\text{tot}}$		Z1a	Z1b	Z2	Z3a	Z3b
Baugrundklasse	A	5	6	8	10	15
	B	8	10	15	20	20
	C	10	15	20	25	30
	D	15	20	25	35	40
	E	8	10	15	20	20

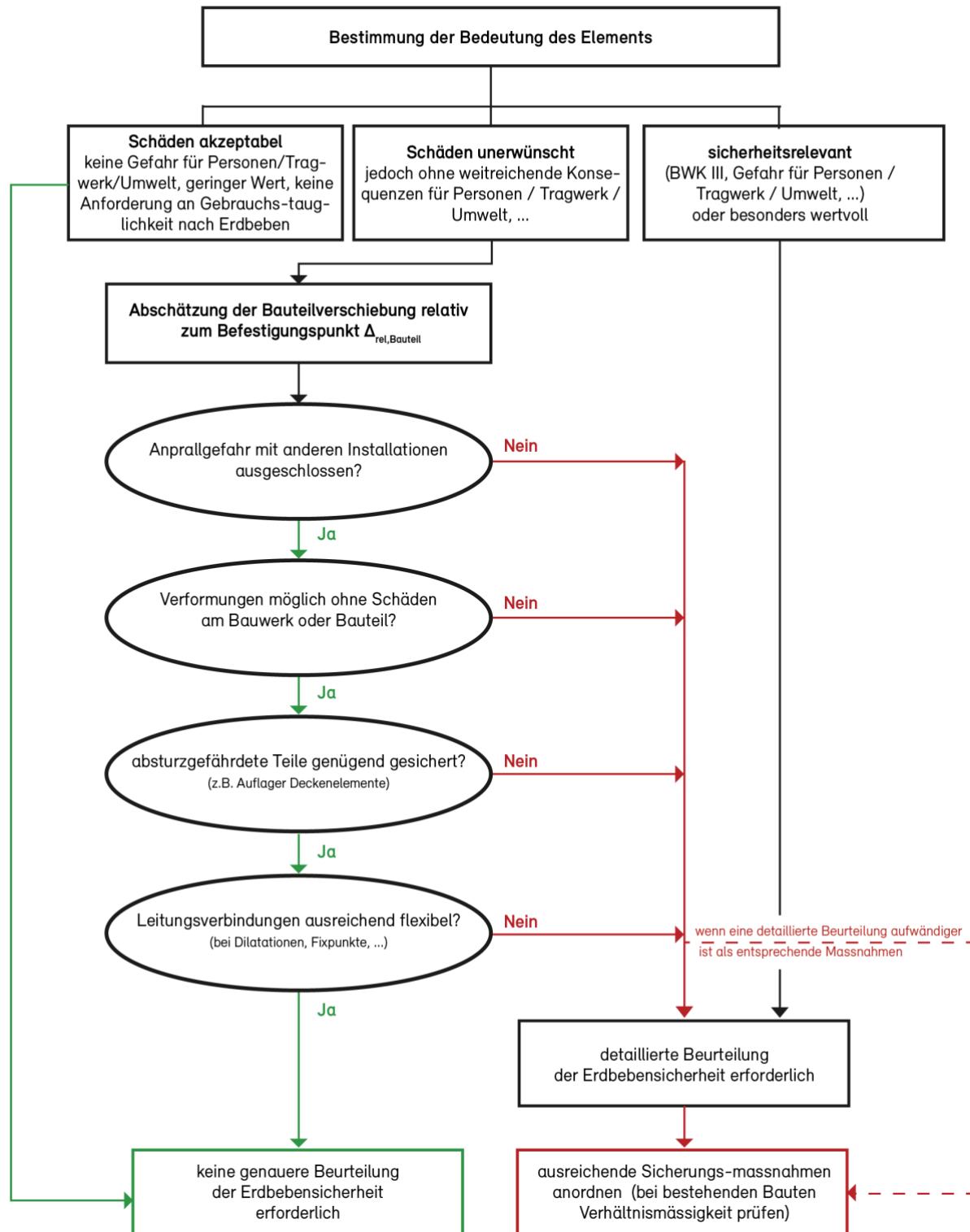
---

#### A5-4.2 Beispiel abgehängte Rohrleitung:

- Oben im Gebäude, Erdbebenzone Z3a, Baugrundklasse D
- Gemäss Entscheidungsbaum in Abb. A5.16: Schäden an Rohrleitung nach Erdbebenereignis unerwünscht
- Aus Tabelle A5.14: Bauteilverschiebung relativ zum Befestigungspunkt  $\Delta_{\text{rel, Bauteil}} = 45 \text{ cm}$
- Fragestellungen im Entscheidungsbaum weiterbearbeiten.

**Abb. A5.16: Entscheidungsbaum für nachgiebig befestigte, verformungsempfindliche Elemente**

- Beispiele:
- |  |  |
|--|--|
| 2.2 - Deckenbekleidungen                     | 2.20 - Schwingungsdämpfung, -isolation             |
| 2.17 - Rohrleitungen, Lüftungs-, Kabelkanäle | 2.25 - Kunstgegenstände, Mobiliar, Innendekoration |
| 2.18 - Beleuchtungssysteme                   |  |



---

# Literatur

- [1] Bachmann H. 2002: Erdbebensicherung von Bauwerken. Birkhäuser-Verlag.
- [2] Bachmann H. 2002: Erdbebengerechter Entwurf von Hochbauten – Grundsätze für Ingenieure, Architekten, Bauherren und Behörden. Bundesamt für Umwelt BAFU, Bern (ehemals BWG Bundesamt für Wasser und Geologie).
- [3] Bachmann H., Dazio A. 2002: D 0171 Erdbebengerechter Entwurf und Kapazitätsbemessung eines Gebäudes mit Stahlbetontragwänden. SIA/SGEB.
- [4] Baudyn 2010: Erdbebensicherheit von Gebäuden – Rechts- und Haftungsfragen. Faltblatt 3. Stiftung für Baudynamik und Erdbebeningenieurwesen.
- [5] California Division of the State Architect (Dept. of General Services) 2003: Safer Schools. Guide and Checklist for Non- structural Earthquake Hazards in California Schools.
- [6] Dazio A. et al. 2009: Erdbeben in L'Aquila, Italien 6. April 2009. Bericht der SGEB-Erkundungsmission. SGEB.
- [7] ESTI Richtlinie Nr. 248 2020: Erdbebensicherheit der elektrischen Energieverteilung in der Schweiz. Eidgenössisches Starkstrominspektorat ESTI.
- [8] FEMA E74 2012: Reducing the Risks of Nonstructural Earthquake Damage – A practical Guide. Federal Emergency Management Agency.
- [9] FEMA 413 2004: Installing Seismic Restraints for Electrical Equipment. Federal Emergency Management Agency.
- [10] FEMA 414 2004: Installing Seismic Restraints for Duct and Pipe. Federal Emergency Management Agency.
- [11] FEMA 460 2005: Seismic Considerations for Steel Storage Racks Located in Areas Accessible to the Public. Federal Emergency Management Agency.
- [12] Filiatrault A. et al. 2002: Guidelines, Specifications and Seismic Performance Characterization of Nonstructural Building Components and Equipment.
- [13] HILTI 2020: SEISMIC MANUAL – Earthquake resistant design of MEP supports.
- [14] Holmes W. 2010: Darfield Earthquake of September 4, 2010 – Nonstructural Damage. Earthquake Engineering Research Institute.
- [15] Massey W., Megget L. 2007: Architectural Design for Earthquake. New Zealand Society for Earthquake Engineering.
- [16] Miranda E. et al. 2010: Brief Report on Earthquake Reconnaissance after the M 8.8 February 27th 2010 Maule, Chile Earthquake. Earthquake Engineering Research Institute.
- [17] Paulay T., Priestley M.J.N. 1992: Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings. John Wiley & Sons, New York.
- [18] SIA 102 2020: Ordnung für Leistungen und Honorare der Architekten und Architektinnen. Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein, Zürich.
- [19] SIA 103 2020: Ordnung für Leistungen und Honorare der Bauingenieure und

---

Bauingenieurinnen. Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein, Zürich.

[20] SIA 108 2020: Ordnung für Leistungen und Honorare der Maschinen- und der Elektroingenieure sowie der Fachingenieure für Gebäudeinstallationen. Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein, Zürich.

[21] SIA 112 2014: Leistungsmodell Bauplanung. Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein, Zürich.

[22] SIA 233 2000: Norm SIA 233: Bekleidete Aussenwände. Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein, Zürich.

[23] SIA 260 2013: Norm SIA 260: Grundlagen der Projektierung von Tragwerken. Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein, Zürich.

[24] SIA 261 2020: Norm SIA 261: Einwirkungen auf Tragwerke. Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein, Zürich.

[25] SIA 118/329 2008: Allgemeine Bedingungen für Vorhangfassaden. Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein, Zürich.

[26] SIA 329 2008: Vorhangfassaden. Schweizerischer Ingenieurund Architekten-Verein, Zürich.

[27] SIA 269/8 2017: Erhaltung von Tragwerken – Erdbeben. Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein, Zürich.

[28] Dokumentation SIA D 0227 2008: Erdbebensicherheit von Gebäuden – Rechts- und Haftungsfragen. Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein, Zürich.

[29] Siegenthaler T., Scherler S. 2009: Haftung für mangelhafte Erdbebensicherheit von

Gebäuden – Planer, Werkeigentümer und Verkäufer. Baurecht / Droit de la Construction

[30] ASCE 2010: Building Safe School Programs, Yumei Wang, PE

[31] Tiedemann H. 1987: Kleine Erdbeben – kleine Risiken?. Schweizer Rück.

[32] Wenk T. 2008: Erdbebenertüchtigung von Bauwerken. Strategie- und Beispielsammlung aus der Schweiz. Umwelt-Wissen Nr. 0832. Bundesamt für Umwelt, Bern.

[33] FEMA 412 2002: Installing Seismic Restraints for Mechanical Equipment. Federal Emergency Management Agency.

[34] Quake Hold Industrial Inc.  
[www.quakeholdindustrial.com/earthquake-preparedness-whatcauses-earthquakes-index.html](http://www.quakeholdindustrial.com/earthquake-preparedness-whatcauses-earthquakes-index.html)

[35] USG 1983: Bundesgesetz über den Umweltschutz (Umweltschutzgesetz)

[36] StFV 1991: Verordnung über den Schutz vor Störfällen (Störfallverordnung)

[37] GSchG 1991: Bundesgesetz über den Schutz der Gewässer (Gewässerschutzgesetz)

[38] EN 81–80 2003: SNEL = Safety Norm for Existing Lifts, CEN COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION, CEN Brüssel

[39] SIA 370.080 2020: Sicherheitsregeln für die Konstruktion und den Einbau von Aufzügen – Bestehende Aufzüge – Teil 80: Regeln für die Erhöhung der Sicherheit bestehender Personen- und Lastenaufzüge, Zürich.

[40] Résonance SA 2009: Erdbebensicherheit der elektrischen Energieverteilung in der Schweiz, Bericht im Auftrag des Bundesamt für Umwelt

[41] SIA 370.077 2018: Sicherheitsregeln für Konstruktion und Einbau von Aufzügen – Besondere Anwendungen für Personen- und Lastenaufzüge – Teil 77: Aufzüge unter Erdbebenbedingungen

[42] BAFU et. al. 2023: Erdbebensicherheit bei lebenswichtiger Funktion – Bauwerke der Bauwerksklasse (BWK) III gemäss der Norm SIA 261, Umwelt-Wissen Nr. 2310. Bundesamt für Umwelt BAFU, Bern.

# Glossar

## **aufgezwungene Verformung**

Aufgezwungene (oder behinderte) Verformungen, die z. B. von Temperaturänderungen, differenziellen Setzungen oder Feuchtigkeitsänderungen hervorruhen, verursachen (an statisch unbestimmten Systemen) Zwangsschnittgrößen.

## **Bauwerksklasse**

Schematische Charakterisierung von Bauwerken gemäss Norm SIA 261 [24], die die Höhe der Personenbelegung, die Bedeutung des Bauwerkes für die Allgemeinheit und die Gefährdung der Umwelt infolge der Beschädigung des Bauwerkes berücksichtigt.

## **beschleunigungsempfindlich**

Bauteil reagiert empfindlich auf Trägheitskräfte

## **beschleunigungsrobust**

Bauteil ist robust in Bezug auf Trägheitskräfte

## **biegesteif**

Bauteil, das sich unter Last nur wenig verbiegen lässt

## **Dilatation(-sfuge)**

Bauliche Trennung von Tragwerken oder Bauteilen, um SpannungsrisSEN infolge von Zwängungen (häufig aufgrund von Temperaturausdehnungen oder Feuchtigkeitsabgabe) vorzubeugen.

## **duktil**

Eigenschaft eines Werkstoffs oder Bauteils, sich unter Belastung plastisch (d. h. mit bleibender Verformung) zu verformen, ohne zu versagen. Beispielsweise bricht Glas ohne erkennbare Verformung. Stahl hingegen kann sich plastisch sehr verformen, bevor er reißt.

## **erdbebengerecht**

Erdbebenanforderungen der aktuellen Tragwerksnormen des Schweizerischen Ingenieur- und Architektenvereins bei der Bemessung und Projektierung werden eingehalten und umgesetzt.

## **Erdbebenrisiko**

Produkt aus der seismischen Gefährdung, dem Verstärkungspotential des Untergrunds, den exponierten Werten und der Verletzbarkeit der betroffenen Werte.

## **Erdbebensicherheitsmassnahme**

Gemäss der SIA 269/8 [27] eine Massnahme zur Verbesserung des Schutzes von Personen, Sachwerten, kulturellen Werten und der Umwelt vor den Folgen eines Erdbebens sowie zur Vermeidung von Infrastruktur- oder Betriebsunterbrüchen infolge Erdbeben.

## **Floatglas**

Floatglas ist Flachglas. Der Begriff Spiegelglas steht (gem. DIN 1249 und DIN 1259) für planes und durchsichtiges Glas, wird aber mittlerweile oft synonym für Floatglas verwendet. Als Grundlage für Flachglas fast aller Bereiche wird auch von Basisglas gesprochen.

## **flexibel**

Eigenschaft eines Körpers oder Werkstoffes, unter Krafteinwirkung seine Form zu verändern (reversibel).

## **Gebäudetechnik**

Installationen der Energie, der Elektrotechnik, der Gebäudeautomation, des Maschinenbaus, der Verfahrenstechnik (ggf. auch Chemieingenieurwesen).

**Gebrauchstauglichkeit**

Gemäss der SIA 260 [23] Fähigkeit eines Tragwerks und seiner Bauteile, die Funktionstüchtigkeit und das Aussehen des Bauwerks sowie den Komfort der Personen zu gewährleisten. Damit ist die uneingeschränkte Nutzung für den vorgesehenen Zweck des Bauwerks auch nach Auftreten der Referenzerdbebenwirkung gemeint.

**in plane**

Beanspruchung parallel zur Ebene (z. B. in Wandrichtung)

**Instabilitäten II. Ordnung**

Versagen eines Bauteils aufgrund struktureller Instabilitäten wie z. B. Knicken, Kippen, Beulen

**Kraftbasierte Analyse**

Analyse der Erdbebensicherheit durch Vergleich der einwirkenden Kraft und des vorhandenen Widerstands eines Bauteils

**Kragarm(-konstruktion)**

Bauteil, das am einen Ende eingespannt und am anderen Ende frei beweglich ist

**lebenswichtige Infrastruktur**

Anlage oder Element einer Infrastruktur, deren Funktion zur Bewältigung eines starken Erdbebens in der Rettungs- und/oder Bewältigungsphase unbedingt erforderlich ist, Einstufung in Bauwerksklasse III gemäss Norm SIA 261 [24].

**nicht strukturell**

nicht Bestandteil des Tragwerks

**Nutzungsvereinbarung**

Gemäss der SIA 112 [21] Dokument zur Beschreibung der Nutzungs- und Schutzziele des Bauherrn sowie der grundlegenden Bedingungen, Anforderungen und Vorschriften für die Projektierung, Ausführung und Nutzung des Bauwerks. Sie ist Teil des Projektpflichtenhefts.

**out of plane**

senkrecht zur Ebene (z. B. der Wand oder der Decke)

**Pendelstab**

gerader Stab, der an beiden Enden gelenkig gelagert ist. Er wird nur gezogen oder gedrückt, d. h. er erfährt nur Normalkraft. Die Querkraft und das Moment sind gleich Null.

**relative Verschiebungen**

Differenz der Verschiebungen von zwei Punkten

**relative Stockwerkverschiebung**

Differenz der Verschiebungen von zwei übereinander liegenden Geschossdecken

**schlank**

hoch und schmal

**schwingungsisoliert**

Verhinderung der Übertragung von Schwingungen von einem Körper auf einen anderen mittels Federn und Dämpfern-

**«short column»-Effekt («kurze Stützen»)**

Versagen einer Stütze bei hoher Querkraftbeanspruchung und geringer frei verformbarer Länge

**starr**

sehr wenig verformbar

**steifes Bauwerk**

Bauwerk bei dem angreifende Kräfte zu keinen grossen Verformungen führen

**Stockwerkschiefstellung**

Verhältnis der relativen Stockwerkverschiebung zur Geschosshöhe-

---

### **Stockwerkverschiebung**

(horizontale) Verschiebung eines Stockwerks  
infolge einer Einwirkung, z. B. durch Wind oder  
Erdbeben

### **Trägheitskräfte**

Kräfte infolge Beschleunigung einer Masse

### **Trägheitsversagen**

Versagen, hervorgerufen durch  
Beschleunigungskräfte

### **Verformungsbasierte Analyse**

Analyse der Erdbebensicherheit durch Vergleich  
der zu erwartenden Verformung und der  
vorhandenen Verformungskapazität eines Bauteils

### **verformungsempfindlich**

spröde, wenig nachgiebig, begrenzt  
verformungsfähig; Ein Element oder Bauteil  
reagiert empfindlich auf die Verformungen des  
Tragwerks.

### **Verletzbarkeit**

Schadenempfindlichkeit als Charakterisierung des  
Ausmasses der Beeinträchtigung, welche ein  
Objekt unter einer Erdbebeneinwirkung erfährt.

### **weiches Bauwerk**

Bauwerk bei dem angreifende Kräfte zu grossen  
Verformungen führen

### **Zwängung**

Kraft oder Spannung infolge behinderter  
Ausdehnungen/Verformungen.

---

# Verzeichnisse

## Abkürzungen

**BGK**

Baugrundklasse

**BWK**

Bauwerksklasse gemäss SIA 261

**EN**

Europäische Norm

**ESG**

Einscheiben-Sicherheits-Glas

**ESTI**

Eidgenössisches Starkstrominspektorat

**GSchG**

Gewässerschutzgesetz

**PVB**

Polyvinyl-Butyral Kunststoff

**SBIE**

Sekundäre Bauteile und weitere Installationen und Einrichtungen

**SIA**

Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein

**StFV**

Störfallverordnung

**TVG**

Teilvorgespanntes Glas

**USG**

Umweltschutzgesetz

**VSG**

Verbund-Sicherheits-Glas

---

## Bildnachweis

### Kapitel 1

Abb 1.1: BAFU

Abb. 1.2 rechts: [8] Figure 2.4.1–1

Abb. 1.3 rechts: [8] Figure 6.3.1.4–3

Abb. 1.4: [2] Bild 11/3

Abb. 1.5 oben rechts: [8] Figure 6.4.3.5–2

Abb. 1.5 unten ganz links: [8] Figure 6.4.3.4–1

Abb. 1.5 unten links: [8] Figure 6.4.3.8–1

Abb. 1.5 unten rechts: [8] Figure 6.4.3.8–1

Abb. 1.5 unten ganz rechts: [8] Figure 6.4.3.4–1

Abb. 1.6: Jost Studer 2010

Abb. 1.7: SGEB Erkundungsmission 2012 (Blaise Duvernay) Abb. 1.8 links: [8] Figure 6.5.1.1–1

Abb. 1.8 rechts: SGEB Erkundungsmission 2012 (Blaise Duvernay) Abb. 1.9 oben links: [8] Figure 6.4.7.1–2

Abb. 1.9 oben rechts: Quelle Internet:  
<https://giuseppecarotenuto.photoshelter.com/image/I000033NUUHm1JbU>

Abb. 1.9 unten: [8] Figure 6.4.7.3–1

### Kapitel 2

Abb. 2.2.1: [8] Figure 6.3.4.1–2, Abb. 2.2.2: [8] Figure 6.3.4.3–3a, Abb. 2.2.3: [8] Figure 2.4.2–1, Abb. 2.2.4: [8] Figure 6.3.4.3–2

Abb. 2.3.7 und 2.3.8: AGB Bautechnik AG

Abb. 2.4.1: [2] Bild 11/3, Abb. 2.4.2: [8] Figure 6.3.2.1–3, Abb. 2.4.3: [8] Figure 6.3.2.2–1, Abb. 2.4.4: [8] Figure 6.3.2.2–2

Abb. 2.5.1: [2] Bild 32/3, Abb. 2.5.2: [8] Figure 6.3.1.1–2, Abb. 2.5.3: Quelle Internet: *Seismic Bracing of Non-Structural Components by Paul W. McMullin, SE, PhD Seismic Bracing of Non-Structural Components November 17, 2008*, Abb. 2.5.4: SBEG Erkundungsmission 2009, Abb. 2.5.5: Quelle unbekannt

Abb. 2.6.1: [8] Figure 6.3.5.1–1, Abb. 2.6.2: [8] Figure 6.3.5.1–2, Abb. 2.6.3: SGEB Erkundungsmission 2009, Abb. 2.6.4: [8] Figure 6.3.6.1–2, Abb. 2.6.6: [8] Figure 6.3.5.1–6

Abb. 2.7.1: [8] Figure 6.3.8.1–5, Abb. 2.7.2: [8] Figure 6.3.8.1–2, Abb. 2.7.3: [8] Figure 6.3.8.1–3, Abb. 2.7.4: [8] Figure 6.3.8.1–1

Abb. 2.8.1: Quelle Internet: *Seismic Bracing of Non-Structural Components by Paul W. McMullin, SE, PhD Seismic Bracing of Non-Structural Components November 17, 2008*, Abb. 2.8.2: [8] Figure 6.3.1.4–6, Abb. 2.8.3: [8] Figure 6.3.1.5–1, Abb. 2.9.1: [8] Figure 6.3.6.1–1, Abb. 2.9.2: SGEB Erkundungsmission 2009

Abb. 2.10.1: [8] Figure 6.3.7.1–3, Abb. 2.10.2: SGEB Erkundungsmission 2009, Abb. 2.10.3: [8] Figure 6.3.4.3–4, Abb. 2.10.4: [8] Figure 6.3.4.2–2

Abb. 2.11.1: [39] Bild 3.4, Abb. 2.11.2: [7] Bild E.1, Abb. 2.11.3: [7] Bild E.2

Abb. 2.12.1: [8] Figure 6.4.4.1–1, Abb. 2.12.2: [8] Figure 6.4.4.1–7, Abb. 2.12.3: [8] Figure 6.4.4.1–10, Abb. 2.12.4: [8] Figure 6.4.4.1–8

Abb. 2.13.1: [8] Figure 6.4.7.1–1, Abb. 2.13.2: [8] Figure 6.4.7.1–2, Abb. 2.13.3: [8] Figure 6.4.8.2–1, Abb. 2.13.6: [7] Bild E.3, Abb. 2.13.7: [7] Bild E.6

Abb. 2.14.1: [8] Figure 6.4.7.3–1, Abb. 2.14.2: Quelle Internet, Abb. 2.14.3: [7] Bild B.3, Abb. 2.14.4: [7] Bild B.6

Abb. 2.15.1: [8] Figure 6.4.9.1–1, Abb. 2.15.2: [8]  
Figure 6.4.9.3–2, Abb. 2.15.4: [8] Figure 6.4.9.4–3

Abb. 2.16.1: [8] Figure 6.4.1.1–1, Abb. 2.16.2: [8]  
Figure 6.4.1.5–3, Abb. 2.16.3: [8] Figure 6.4.1.3–3,  
Abb. 2.16.4: [8] Figure 6.4.1.3–4, Abb. 2.16.7: [8]  
Figure 6.4.7.2–2

Abb. 2.17.1: [8] Figure 6.4.2.1–1, Abb. 2.17.2: [8]  
Figure 6.4.2.1–2, Abb. 2.17.3: [8] Figure 6.4.2.2–1,  
Abb. 2.17.4: [8] Figure 6.4.2.2–2, Abb. 2.17.5: [8]  
Figure 6.4.2.1–6, Abb. 2.17.6: [8] Figure 6.4.2.2–5,  
Abb. 2.17.8: [8] Figure 6.4.2.3–2

Abb. 2.18.1: [8] Figure 6.4.6.1–2, Abb. 2.18.2: [8]  
Figure 6.4.6.1–3, Abb. 2.18.3: [8], Abb. 2.18.4: [8]  
Figure 6.4.3.1–1, Abb. 2.18.5: [8] Figure 6.4.4.1–6,  
Abb. 2.18.6: [8] Figure 6.4.3.5–2, Abb. 2.18.7: [8]  
Figure 6.4.3.4–1, Abb. 2.18.10: [8] Figure 6.4.3.8–  
4, Abb. 2.18.11: [8] Figure 6.4.3.4–2

Abb. 2.19.1 und Abb. 2.19.2: [8] Figure 6.4.10.2–1,  
Abb. 2.19.3: [8] Figure 6.4.10.2–4

Abb. 2.20.1: [8] Figure 6.4.1.3–1, Abb. 2.20.2: [33]  
Figure 113 und 114, Abb. 2.20.3: [33] Figure 116,  
Abb. 2.20.5: [8] Figure 6.4.7.2–1

Abb. 2.21.1: [8] Figure 6.5.3.3–1, Abb. 2.21.2: [8]  
Figure 6.5.3.2–1, Abb. 2.21.3: [8] Figure 6.4.7.6–2,  
Abb. 2.21.4: Quelle Internet:  
[www.sosproducts.com](http://www.sosproducts.com), Abb. 2.21.5: Quelle Internet  
[www.quakehold.com](http://www.quakehold.com)

Abb. 2.22.1: Quelle unbekannt, Abb. 2.22.2: [8]  
Figure 6.5.2.2–3, Abb. 2.22.3: [8] Figure 6.5.2.1–1,  
Abb. 2.22.4: [8] Figure 6.5.5.1–1, Abb. 2.22.5: [8]  
Figure 6.5.2.2–1, Abb. 2.22.6: [8] Figure 6.5.5.1–  
3, Abb. 2.22.7: [8] Figure 6.5.6.1–1, Abb. 2.22.8: [8]  
Figure 6.5.2.2–4, Abb. 2.22.9: [14]

Abb. 2.23.1: [8] Figure 6.5.1.2–1, Abb. 2.23.2: [14],  
Abb. 2.23.3: [14], Abb. 2.23.4: [8] Figure 6.5.1.2–2,  
Abb. 2.23.5: [8] Figure 6.5.1.2–3, Abb. 2.23.6: [8]  
Figure 6.5.1.2–4, Abb. 2.23.7: [8] Figure 6.5.1.2–4

Abb. 2.24.1: [8] Figure 6.5.4.1–1, Abb. 2.24.2: [8]  
Figure 6.5.4.1–3, Abb. 2.24.3: [8] Figure 6.5.4.1–4,  
Abb. 2.24.4: [8] Figure 6.4.5.1–6

Abb. 2.25.1: [8] Figure 6.5.6.3–1, Abb. 2.25.2: [8]  
Figure 6.5.6.3–2, Abb. 2.25.3: [8] Figure 6.5.5.3–1,  
Abb. 2.25.6: [8] Figure 6.5.6.3–3b, Abb. 2.25.7: [8]  
Figure 6.5.6.3–3c

## Anhang

Abb. A.1.1.1 rechts: [8] Figure 6.3.1.4–3,  
Abb. A.1.1.1 links: [2] Bild 32/1

Abb. A.1.1.2 links: [8] Figure 6.3.8.1–1, Abb. A.1.1.2  
rechts: [30]

Abb. A.1.1.3 links: [8] Figure 6.4.5.2–2, Abb. A.1.1.3  
Mitte: [8] Figure 6.4.3.6–3, Abb. A.1.1.3 rechts: [8]  
Figure 6.3.4.1–3

Abb. A.1.1.4 links: [8] Figure 6.4.5.1–1,  
Abb. A.1.1.4 Mitte: [8] Figure 6.4.5.1–2,  
Abb. A.1.1.4 rechts: [8] Figure 6.4.5.1–3