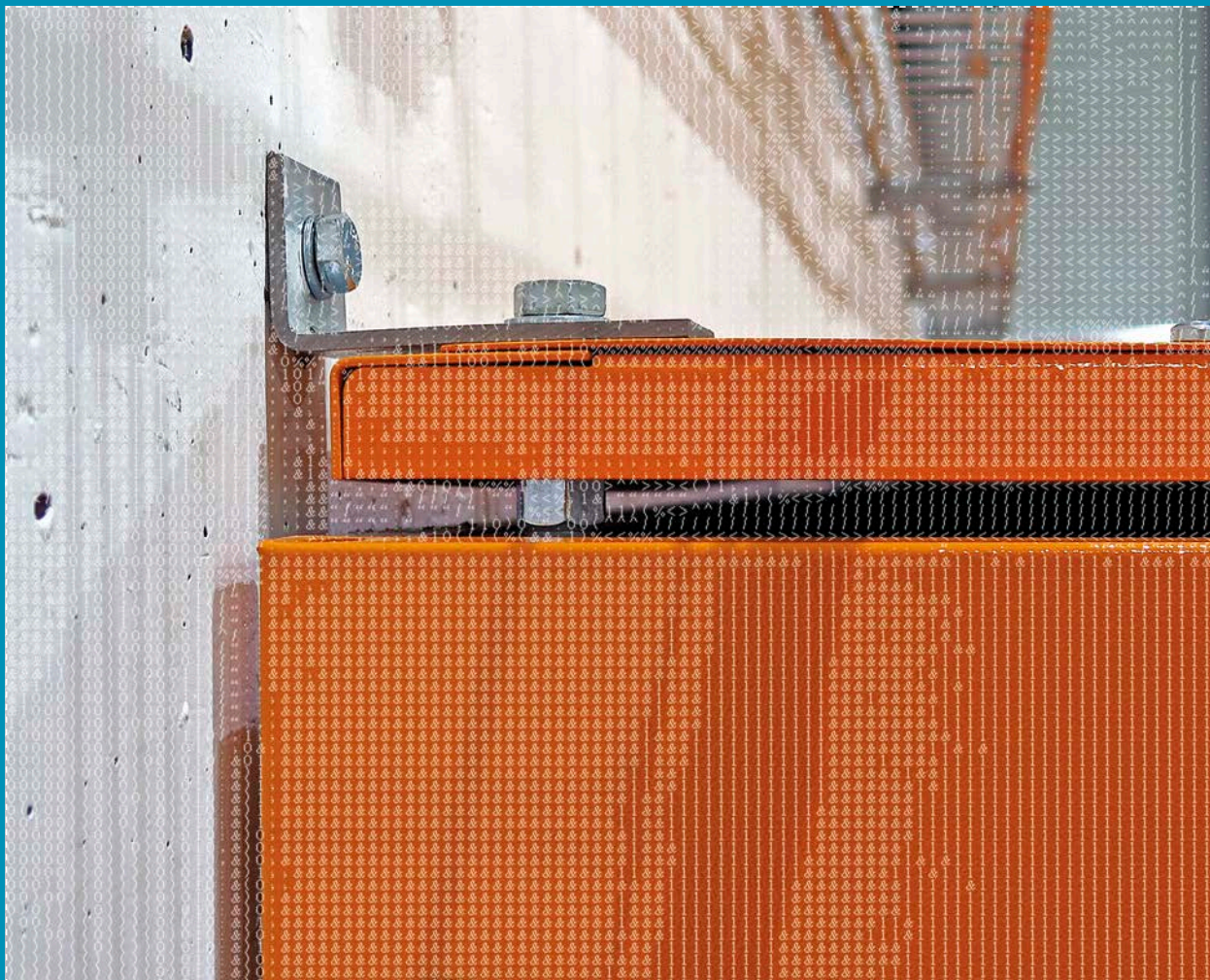


# > Erdbebensicherheit sekundärer Bauteile und weiterer Installationen und Einrichtungen

*Empfehlungen und Hinweise für die Praxis*



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*

**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: Andreas Beer, HALFEN AG Deutschland; Markus Christen, Werner Keller Technik AG, Dallenwil; Olivier Galetti, ehem. Kantonsarchitekt 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, Ferroplan 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**

Braune F., Berweger A., Vogt R., Szczesiak T. 2016: Erdbebensicherheit sekundärer Bauteile und weiterer Installationen und Einrichtungen. Empfehlungen und Hinweise für die Praxis. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Wissen Nr. 1643: 98 S.

**Gestaltung**

Karin Nöthiger, Niederrohrdorf

**Titelbild**

BAFU

**Bildnachweis**

Siehe Anhang «Bildnachweis»

**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.

© BAFU 2016



# > Inhalt

<b>Abstracts</b>	<b>5</b>	2.24 Gefährliche Substanzen	60
<b>Vorwort</b>	<b>7</b>	2.25 Kunstgegenstände, Mobiliar, Innendekoration	62
<b>Einleitung</b>	<b>9</b>		
<hr/>			
<b>1 Phänomene und Schäden bei einem Erdbeben</b>	<b>11</b>	<b>3 Vorgaben, Verantwortlichkeiten und Vorgehensempfehlungen bei der Schadensbegrenzung</b>	<b>64</b>
1.1 Seismische Phänomene und Schadensursachen	11	3.1 Normative und freiwillige Vorgaben	64
1.1.1 Trägheitskräfte (Rüttel effekte)	12	3.2 Verantwortungen und Zuständigkeiten	65
1.1.2 Bauwerksverformungen	13	3.3 Vorgehensempfehlungen zur Schadensbegrenzung (Risikoreduktion)	67
1.1.3 Auseinanderdriften und Zusammenstossen	14	3.3.1 Mögliche Ausgangssituationen	67
1.1.4 Gegenseitige Beeinflussung	15	3.3.2 Wichtige Einflussfaktoren	67
1.2 Schadensausmass und Schadensfolgen	15	3.3.3 Instrumente für die Praxis	69
1.2.1 Personengefährdung	16		
1.2.2 Sachschäden	17		
1.2.3 Beeinträchtigung der Funktionstüchtigkeit	18		
<hr/>			
<b>2 Konkrete Hinweise und Fallbeispiele zur Erdbebensicherung</b>	<b>19</b>	<b>Anhang</b>	<b>71</b>
2.1 Absicht	19	A1 Erhebungsblatt	71
2.1.1 Gliederung	20	A2 Zuständigkeitsmatrix	74
2.1.2 Umgang mit den Massnahmenbeispielen	21	A3 Textelemente für Projektpflichtenheft und Nutzungsvereinbarung	75
2.1.3 Weitere Grundsätze	21	A4 Abnahmeprotokoll	78
2.2 Deckenbekleidungen	22	A5 Berechnungsbeispiel und Hilfstabellen	79
2.3 Hohlböden (und Stufenböden)	24		
2.4 Wände, Ausfachungen	26	<b>Literatur</b>	<b>93</b>
2.5 Fassadensysteme, Verkleidungen	28	<b>Glossar</b>	<b>95</b>
2.6 Brüstungen (und Geländer)	30	<b>Verzeichnisse</b>	<b>97</b>
2.7 Treppen	32		
2.8 Verglasung, Türen, Fenster	34		
2.9 Tafeln, Schilder, Vordächer	36		
2.10 Kamine, Schornsteine, Dachdeckung	37		
2.11 Notstromversorgung	38		
2.12 Brandschutz	39		
2.13 Schalt-, Steuerschränke	40		
2.14 Transformatoren	42		
2.15 Beleuchtung	43		
2.16 Klimatechnik	44		
2.17 Tanks, Kessel, Behälter	46		
2.18 Rohrleitungen, Lüftungs-, Kabelkanäle	48		
2.19 Aufzüge	50		
2.20 Schwingungsdämpfung, -isolation	52		
2.21 IT-Elemente	54		
2.22 Schränke, Regale	56		
2.23 Hochregale	58		



## > Abstracts

This publication 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 Architekten, Ingenieure der Bereiche Gebäudetechnik, Maschinenbau und Elektrotechnik sowie an Gebäudeeigentümer. Ebenso finden 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.

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.

**Keywords:**

nonstructural elements,  
installations, equipment, seismic  
protection

**Stichwörter:**

sekundäre Bauteile,  
Installationen, Einrichtungen,  
Erdbebensicherheit

**Mots-clés:**

éléments non structuraux,  
installations, équipements,  
sécurité sismique

**Parole chiave:**

elementi non strutturali, impianti,  
apparecchiature, protezione  
sismica



## > Vorwort

In Bezug auf das Erdbebenrisiko ist die Sensibilisierung in der Schweiz in den letzten 10 Jahren – seit Einführung der geltenden Tragwerksnormen des SIA im Jahr 2003 – erkennbar gewachsen. Sowohl bei Neubauten als auch bei Erneuerungsarbeiten an bestehenden Bauten sind Fortschritte im Erdbebenschutz erreicht worden. Bei Bauprojekten liegt der Fokus jedoch meist darauf, das Tragwerk erdbebengerecht auszuführen, und noch wenig wird darauf geachtet, die übrigen Gebäudeelemente und -inhalte zu sichern.

Die Beschädigung oder Zerstörung der Sekundären Bauteile und weiterer Installationen und Einrichtungen (SBIE) kann erhebliche finanzielle Konsequenzen haben, denn SBIE machen in der Regel 60 % bis 80 % der Gesamtkosten eines Gebäudes aus. Bei hochinstallierten Bauwerken wie Industriebauten oder Spitälern ist dieser Anteil noch höher. Vergangene Erdbebenereignisse zeigen, dass ein Grossteil der direkten Sachschäden sowie der Folgeschäden durch beschädigte oder zerstörte SBIE verursacht werden. Bereits kleine (also häufigere) Erdbeben, bei denen geringe Schäden am Tragwerk zu erwarten sind, können grosse Auswirkungen haben, wenn solche Gebäudeelemente beschädigt werden<sup>[31]</sup>. Aktuell sind in der Schweiz Erdbebenschäden durch die obligatorischen Feuer- und Elementarschadenversicherungen nicht gedeckt.

Bei einem Erdbeben können Gebäudeelemente, die beschädigt oder zerstört werden, zusätzlich Personen gefährden und erhebliche Folgeschäden verursachen. Die SIA Tragwerksnormen verlangen deshalb die erdbebengerechte Befestigung oder Verbindung von Bauteilen, die Personen gefährden, das Tragwerk beschädigen oder den Betrieb wichtiger Anlagen beeinträchtigen können (Norm SIA 261: 2014, Ziffer 16.7). Wie weitere Installationen und Einrichtungen eines Gebäudes zwecks Schadensbegrenzung bei einem Erdbeben zu sichern sind, ist in der Schweiz bisher nicht in den Baunormen geregelt. Die Anforderungen zur Schadensbegrenzung sind daher in eigener Verantwortung projektspezifisch zu definieren.

In der Praxis wird dem Problem der Erdbebensicherheit von SBIE noch wenig Aufmerksamkeit geschenkt. Nur selten werden die betreffenden Elemente für Horizontallasten oder horizontale Verformungen des Tragwerks ausgelegt. Das Schadensausmass ist kaum bekannt und wird mitsamt der Notwendigkeit seiner Abwehr unterschätzt. Welche Bauwerksteile betrachtet werden müssen und wie die Erdbebensicherheit beurteilt und verbessert werden kann, ist für viele Projektverantwortliche unklar. Ein zusätzliches Problem stellen teilweise ungeklärte Verantwortungen und Zuständigkeiten für die erdbebengerechte Durchbildung von SBIE dar. Schliesslich fehlen anschauliche Beispiele für einfache und wirksame Erdbebensicherheitsmassnahmen.

Die Schweiz als hochtechnologisiertes Land mit einem qualitativ hochwertigen Bauwerksbestand und einer mittleren Erdbebengefährdung muss sich mit diesem Schadenspotential auseinandersetzen. Es ist wichtig, das Risikobewusstsein für dieses Schadenspotential zu schärfen und die Konsequenzen ausfallender oder zerstörter Gebäudeelemente aufzuzeigen. Noch wichtiger ist es, aufzuzeigen, welche effizienten Möglichkeiten bestehen, SBIE erdbebengerecht zu sichern und so das Schadenspotential zu mindern.

---

Das Bundesamt für Umwelt (BAFU) beabsichtigt mit der vorliegenden Publikation insbesondere Architekten, Ingenieure der Bereiche Gebäudetechnik, Maschinenbau und Elektrotechnik sowie Gebäudeeigentümer wie auch Unternehmen, die SBIE oder deren Befestigungstechnik herstellen oder vertreiben, dabei zu unterstützen, Erdbebenrisiken für Menschen, Sachwerte und die Umwelt durch SBIE zu erkennen und zu mindern. Für Facility Manager, Nutzer oder Sicherheitsverantwortliche kann die Publikation ebenfalls eine hilfreiche Grundlage sein. Schliesslich unterstützt das Dokument auch Bauingenieure, die in der Thematik «Erdbebensicherheit von SBIE» noch wenig Erfahrung haben.

Josef Hess  
Vizedirektor  
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<sup>[23]</sup> «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 einem Bauingenieur nach den geltenden SIA-Tragwerksnormen geplant.

**Sekundäre Bauteile** sind gemäss Norm SIA 261<sup>[24]</sup> 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
- > Abschränkungen
- > 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 der Norm SIA 261<sup>[24]</sup> festgehalten, dass für sekundäre Bauteile, die im Falle des Versagens Personen gefährden, das Tragwerk beschädigen oder den Betrieb wichtiger Anlagen beeinträchtigen können sowohl für das Bauteil als auch für dessen Verbindungen und Befestigungen oder Verankerungen die Bemessungssituation Erdbeben berücksichtigt werden muss.

Ziel der Publikation ist es 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.

Ziel der Publikation

### 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:

- > Erhebungsformular
- > Zuständigkeitsmatrix
- > Textbausteine für das Projektpflichtenheft respektive die Nutzungsvereinbarung
- > Abnahmeprotokoll
- > Berechnungsbeispiel und Hilfstabellen.

# 1 > Phänomene und Schäden bei einem Erdbeben

---

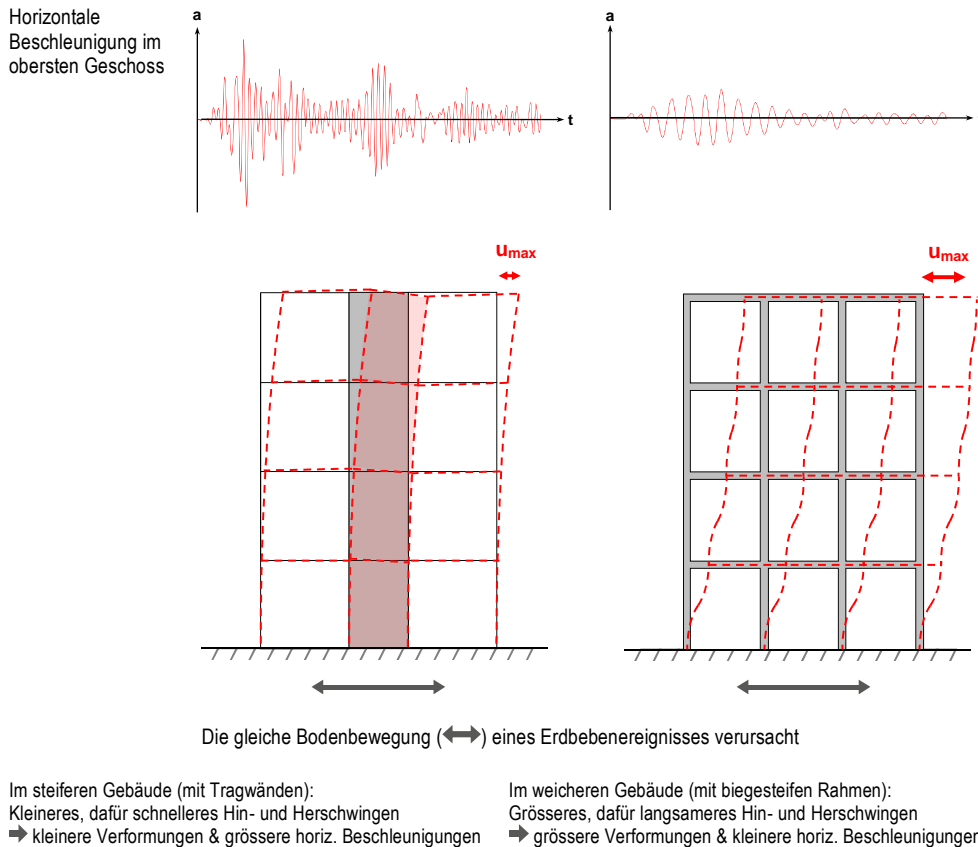
*Damit eine wirksame Schadensreduktion bei **SBIE** erreicht werden kann, muss zunächst verstanden werden, wie diese Elemente sich während eines Erdbebens verhalten und welche Konsequenzen ihre Beschädigung oder Zerstörung mit sich bringt.*

---

## 1.1 Seismische Phänomene und Schadensursachen

Ein Erdbeben verursacht rasche Bodenbewegungen (Bodenerschütterungen) in alle Richtungen, wobei die Bewegungen in horizontaler Richtung üblicherweise überwiegen. 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<sup>[2]</sup>).

Gebäude werden durch die Bodenerschütterungen in Schwingung gebracht

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

Die Wirkung der Erdbebeneinwirkungen 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.

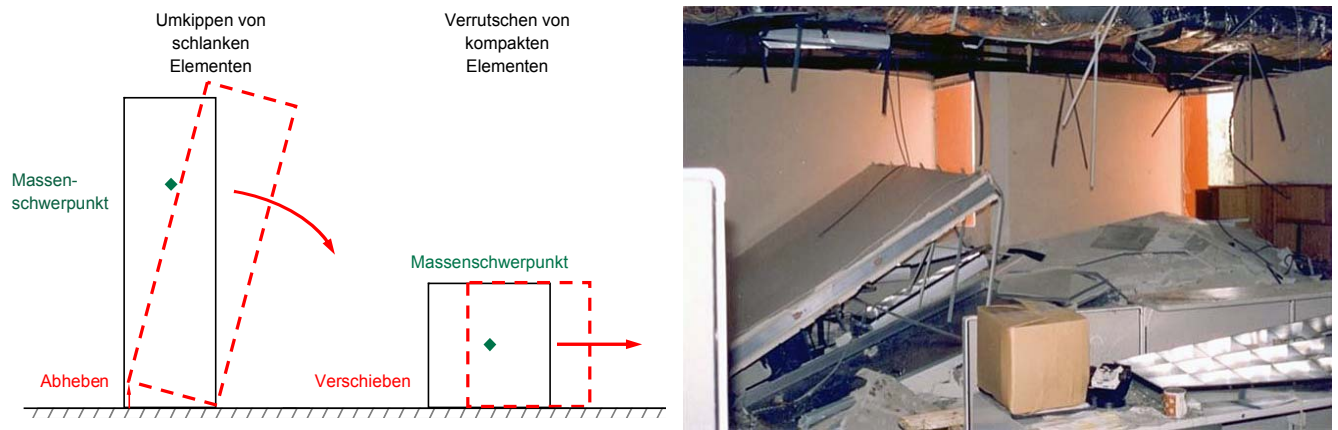
Prinzipiell lassen sich vier Phänomene als Ursache für Schäden an **SBIE** beschreiben.

### 1.1.1 Trägheitskräfte (Rüttelleffekte)

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

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**

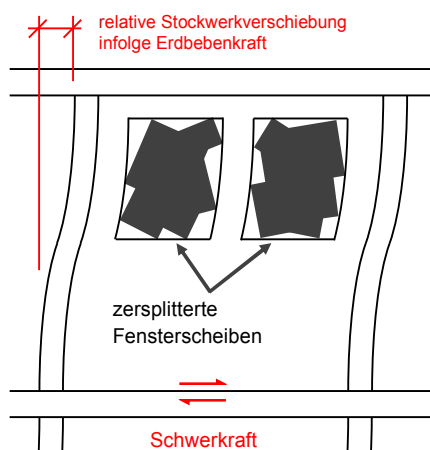


### 1.1.2 Bauwerksverformungen

**SBIE**, die an Tragwerkselementen befestigt sind, können durch aufgezwungene Verformungen beschädigt werden. Ursache für diese Schäden sind horizontale Bauwerksverformungen, die durch ungleichmässige Bewegungen in den Geschossdecken verursacht werden. Wenn sich beispielsweise eine Stütze unter der Erdbebeneinwirkung schieft, 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. 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**



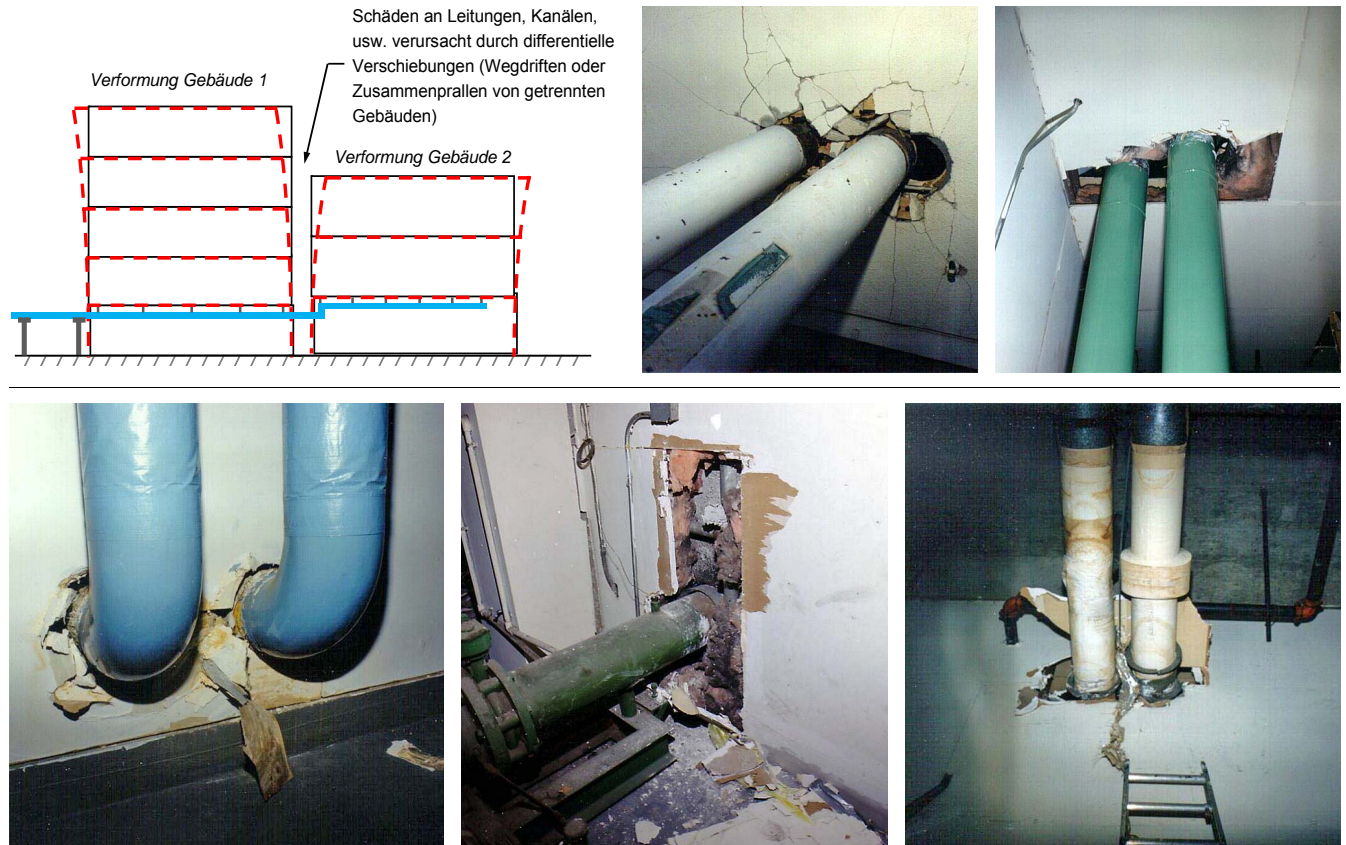
### 1.1.3 Auseinanderdriften und Zusammenstossen

**SBIE**, wie zum Beispiel Rohrleitungen, verlaufen häufig zwischen zwei Gebäude(abschnitten) oder im Übergang vom Gebäude zur Umgebung (Erdreich) über Fugen hinweg. 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 Erdbebeneignis 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 &gt; 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.

Personengefährdung,  
Sachschäden und  
Funktionsausfall

**Abb. 1.6 > Gefährdung durch Wasserleitungen**

*Oberhalb verlaufende Wasserleitungen gefährden die Notstrombatterien*



*Umgefallene und/oder beschädigte Behälter, Emilia Romagna Erdbeben 2012*



### 1.2.1 Personengefährdung

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

**Abb. 1.7 > Herabgefallene Fassade über Terrasse einer Pizzeria, Emilia Romagna 2012**

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

### 1.2.2 Sachschäden

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

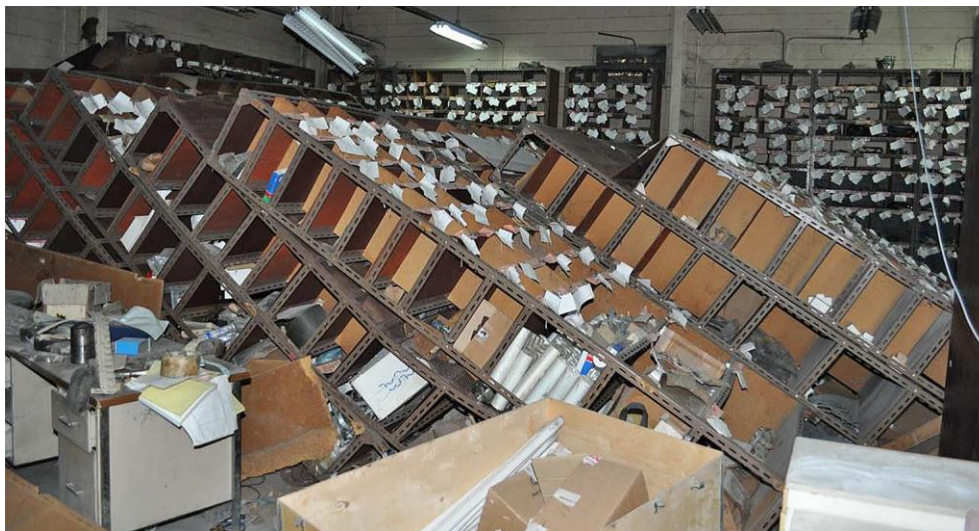
Direkte oder indirekte Schäden

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. 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

*Nicht befestigte Steuerschränke, 1999 Izmit Erdbeben*



*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 Schadensminderung 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
- > Holzböden (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

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

Architektonische und  
gebäudetechnische Elemente,  
sonstige Gebäudeinhalte



### 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.

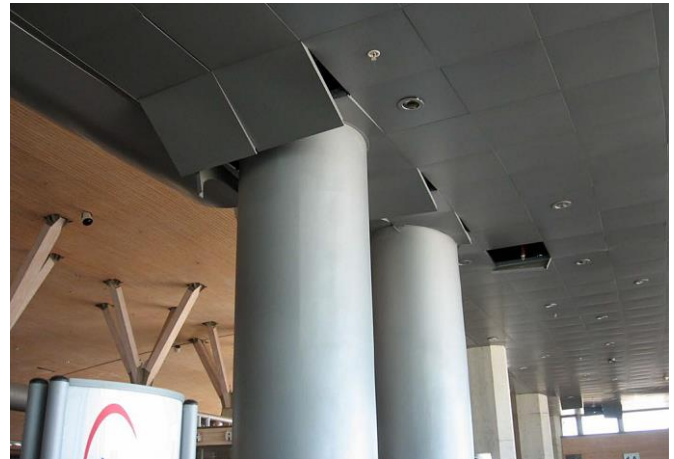
Die beschriebenen Massnahmen sind grundsätzlich als Empfehlung formuliert. Ob sie, im Rahmen eines Bauvorhabens, notwendig sind oder freiwillig umgesetzt werden hängt von den Anforderungen an das Projekt ab.

### 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 Evakuation beschädigter Gebäude ist nach einem Erdbebenereignis wichtig. Insbesondere in hoch belegten oder frequentierten Gebäuden müssen die Fluchtwege frei und benutzbar bleiben. Sie sind frei von sperrigen 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 erdbebengerecht 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 belasten/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

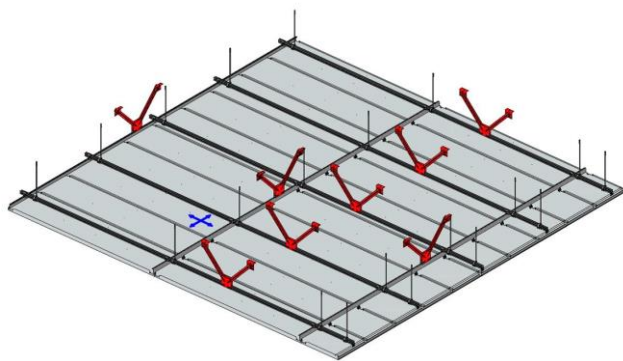


Abb. 2.2.5 > Horizontale Aussteifung mit Vertikalstäben und Diagonalen

- Deckenbekleidungen sollten horizontal in beide Richtungen (und ebenfalls ausreichend vertikal) aussteift und mit dem Tragwerk verbunden werden. In der Regel reichen Abhängungen mit Gewindestangen, Standarddeckenabhängern 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.

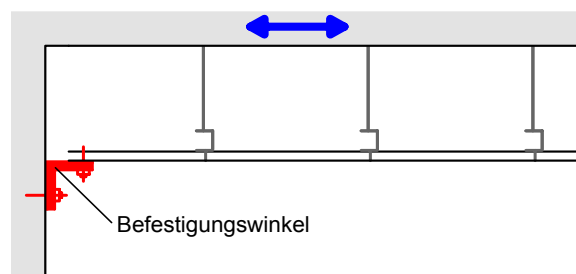


Abb. 2.2.6 > Horizontale Verankerung an der Wand

- 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 Unterdeckenelemente 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 grössere Bedeutung.
- Weiterführende Informationen sind in der Dokumentation<sup>[13]</sup> zu finden.

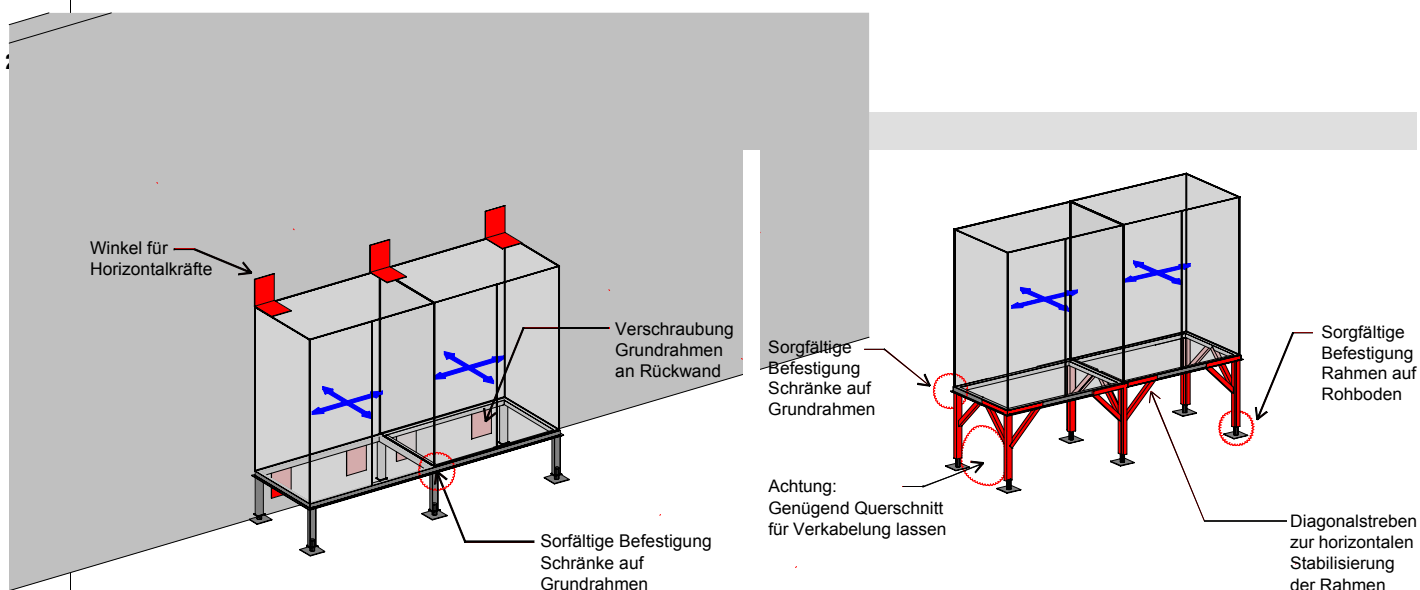


Abb. 2.3.1 und 2.3.2 &gt; Sicherungsmethoden bei Hohlböden

- 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 Anschluss- 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 Luftauslässe 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

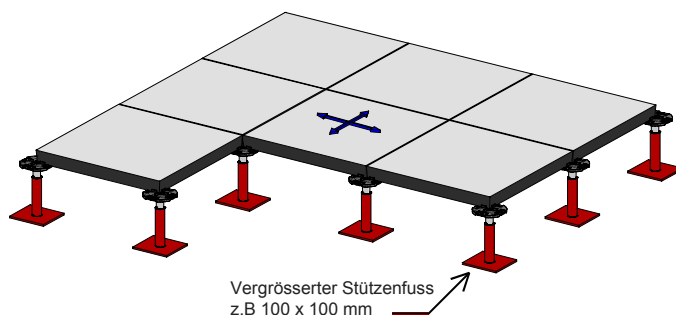


Abb. 2.3.3 > Vergrößerung Stützenfuss

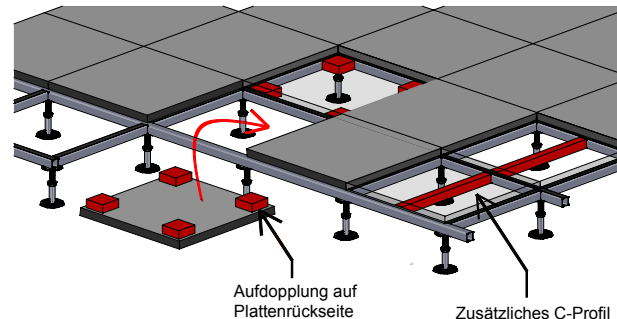


Abb. 2.3.4 > Aufdoppelung Platte und zusätzliches C-Profil

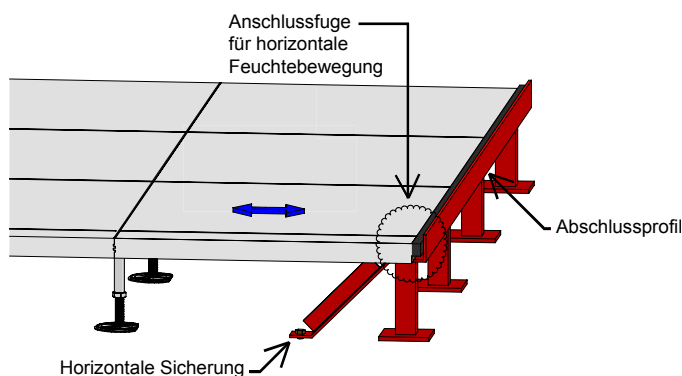


Abb. 2.3.5 > Abschlussprofil

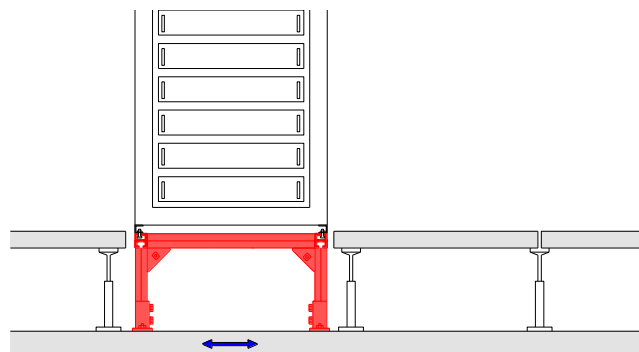


Abb. 2.3.6 > Biegesteifer Grundrahmen für Einbauten



Abb. 2.3.7 > Befestigung Grundrahmen an Wand



Abb. 2.3.8 > 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-Profile berücksichtigt werden.
- Bei fehlenden Umgebungswänden können Verbund-Doppelböden oder Hohlraumböden durch horizontal gesicherte Abschlussprofile

stabilisiert werden. Die systembedingte Anschlussfuge muss beibehalten 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 Batteriegestelle 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 Schadensgrenze 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

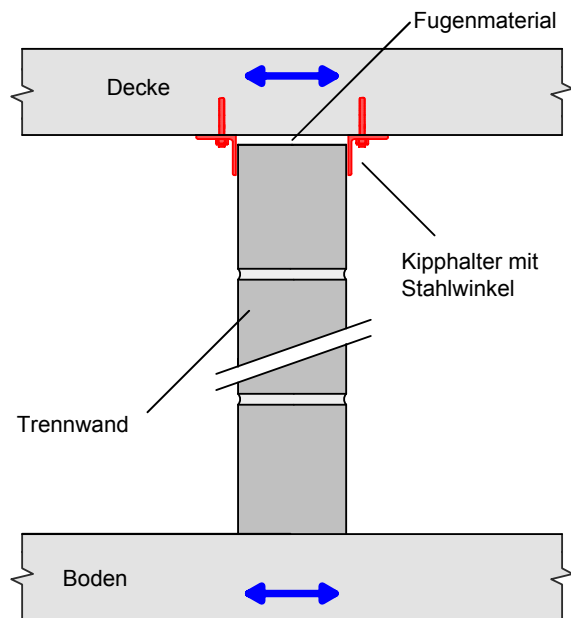


Abb. 2.4.5 > Massnahmen bei Trenn- und Zwischenwänden

- 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 Einspannung in der Decke erforderlich, z. B. mit Anschlussbewehrung.

## Hinweise

- Gegenstände und Installationen, die an Wänden befestigt sind, können die Gefahr des Umkippens 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 Raumaufteilung können, mit breiten und schweren Auflagerfüssen versehen, miteinander verbunden und im Grundriss winkelförmig angeordnet werden, um den Kippwiderstand zu vergrössern.

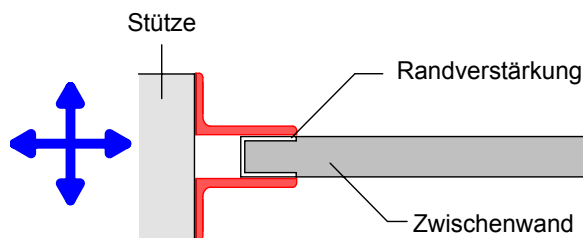


Abb. 2.4.6 > Konstruktionsdetails zur seitlichen Halterung von Zwischenwänden

- 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 Stockwerkschiefelelung bzw. -verschiebung sind auch im Anhang A5 (Hilfstabellen) zu finden.

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



## 2.5 Fassadensysteme, Verkleidungen

### Merkmale und Schäden



Abb. 2.5.1 > Kreuzrisse zwischen Fenstern



Abb. 2.5.2 > Ablösung von geklebten Elementen



Abb. 2.5.3 > Versagen aus der Ebene einer vorgehängten Fassade

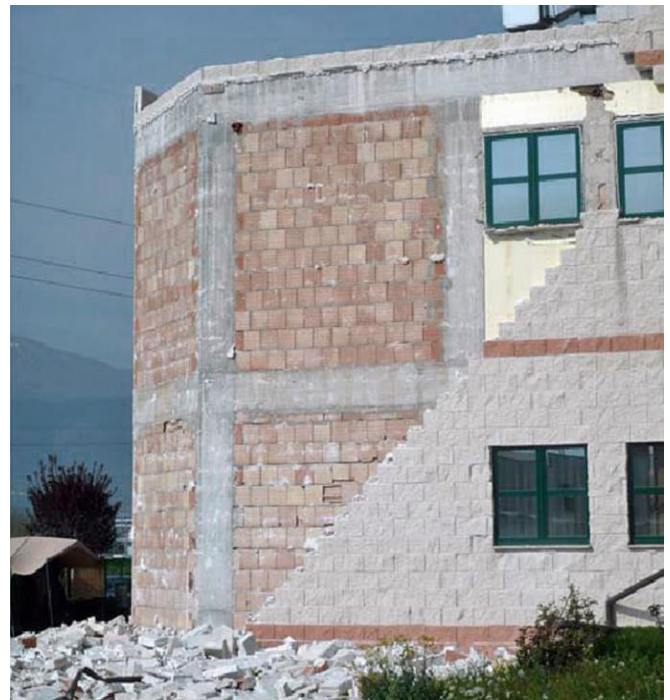


Abb. 2.5.4 > Einsturz einer vorgemauerten Fassade

- Verkleidungen sind sowohl verformungs- als auch beschleunigungsempfindlich. Bei Bauwerken, deren Tragwerk eine geringe Steifigkeit für horizontale Einwirkungen aufweist, entstehen hauptsächlich 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 Funktionstüchtigkeit (infolge umgestürzter schwerer Einbauten)
- ☒ Blockieren der Fluchtwege (besonders bei hohen Aufbauhöhen)
- ☐ Schädigung der Umwelt

## Massnahmen



Abb. 2.5.5 > Befestigung von Fassadenelementen mit Langlöchern

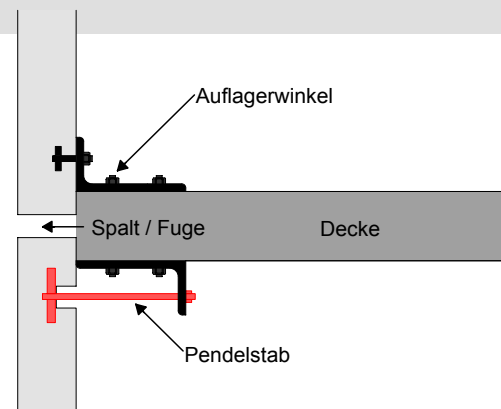


Abb. 2.5.6 > Befestigung von Fassadenelementen mit Pendelstäben

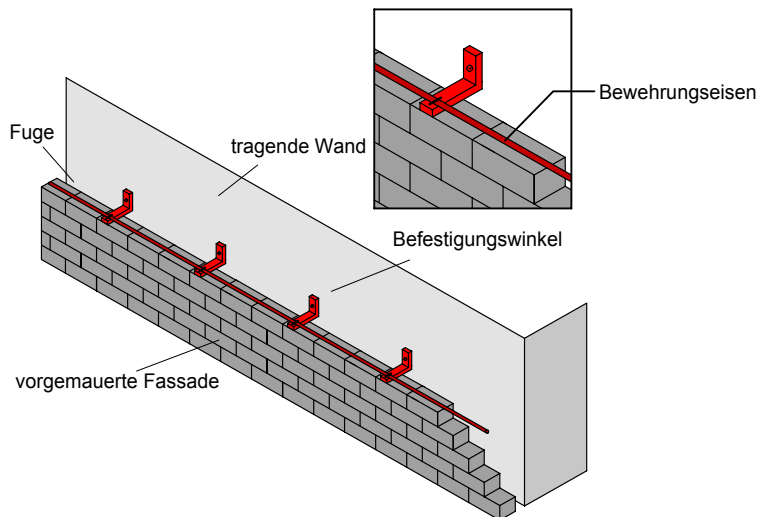


Abb. 2.5.7 > Massnahmen für vorgemauerte Elemente

- 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 Wind-einwirkung (Druck/Sog) massgebend für die Dimensionierung der Verbindungsmittel. Die Erdbebeneinwirkung kann jedoch bei schweren Elementen und höherer Seismizität relevant sein.
- Bei Vormauerschalen kann eine Bewehrung ins Mörtelbett eingelegt 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

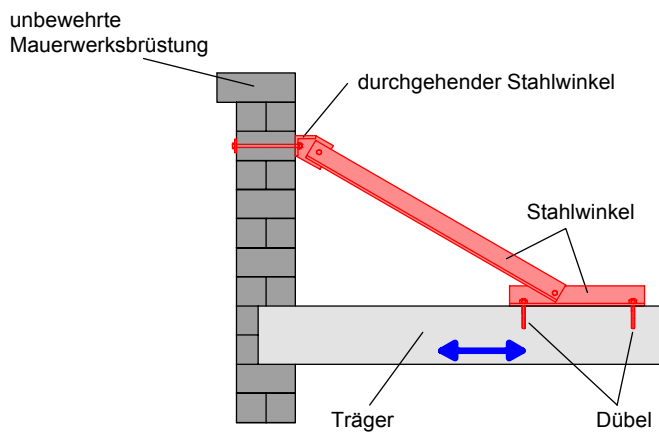


Abb. 2.6.5 > Massnahmen für Brüstungen auf dem Dach



Abb. 2.6.6 > Massnahmen für Brüstungen auf dem Dach

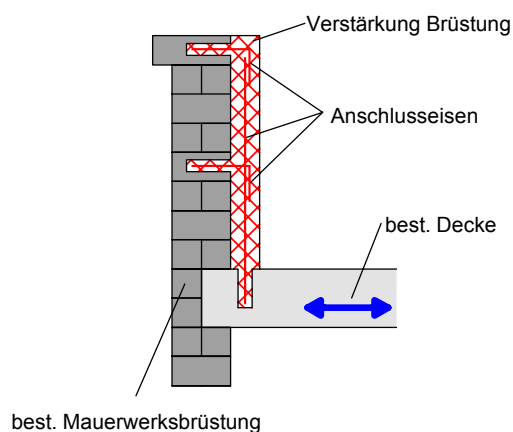


Abb. 2.6.7 > Nachträgliche Sicherung einer Mauerwerksbrüstung mit Stahlbeton

- 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).

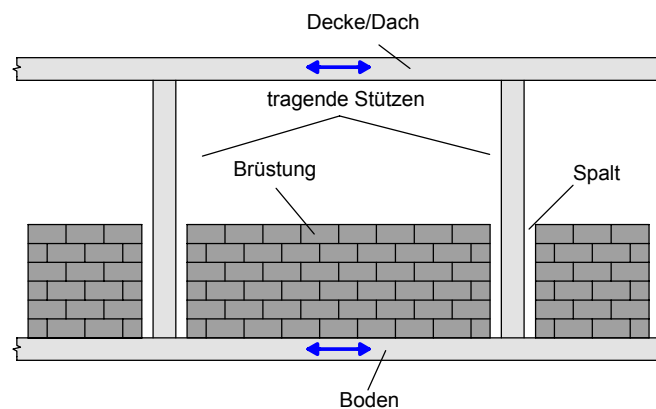


Abb. 2.6.8 > Ausfachungen zwischen Stützen

- 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 &gt; Druckdiagonalen im Treppenlauf



Abb. 2.7.3 &gt; Trümmerteile versperren den Treppenlauf



Abb. 2.7.4 &gt; 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 Treppenhausschächte beschädigt, können Trümmerteile 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

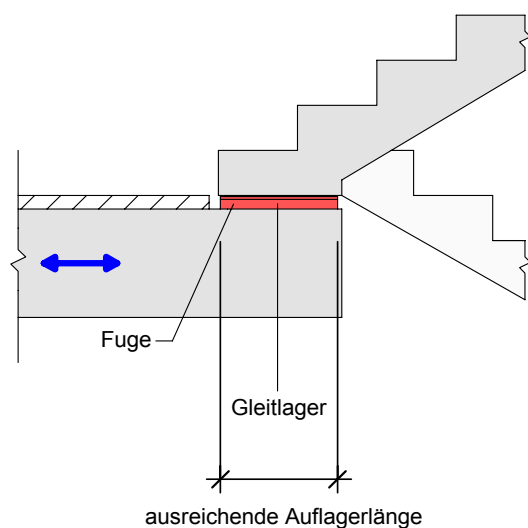


Abb. 2.7.5 > Massnahmen bei Treppenläufen

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

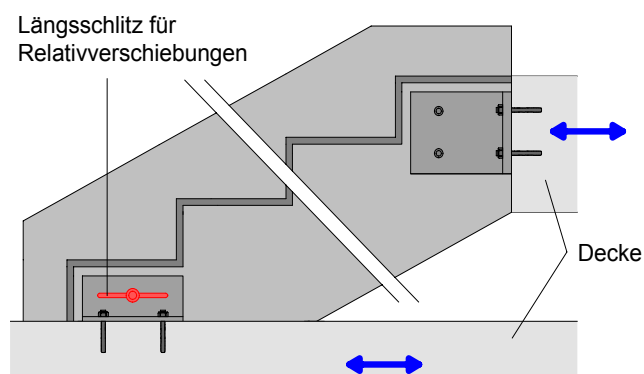


Abb. 2.7.6 > Massnahmen bei Treppenläufen

- Damit sich keine Druckdiagonale ausbilden kann, sollte die Treppe in Längsrichtung bei einer Decke fixiert und bei der benachbarten mit einem verschieblichen 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 Stockwerkschiefstellungen 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 Funktionstüchtigkeit (infolge umgestürzter schwerer Einbauten)
- ☒ Blockieren der Fluchtwege (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 Schiefstellungen ab ca. 0.2 % verklemmen und Fluchtwege blockieren. Je nach Wichtigkeit der Türe sollte deshalb der Rahmen von Tragwerk abgefugt werden.

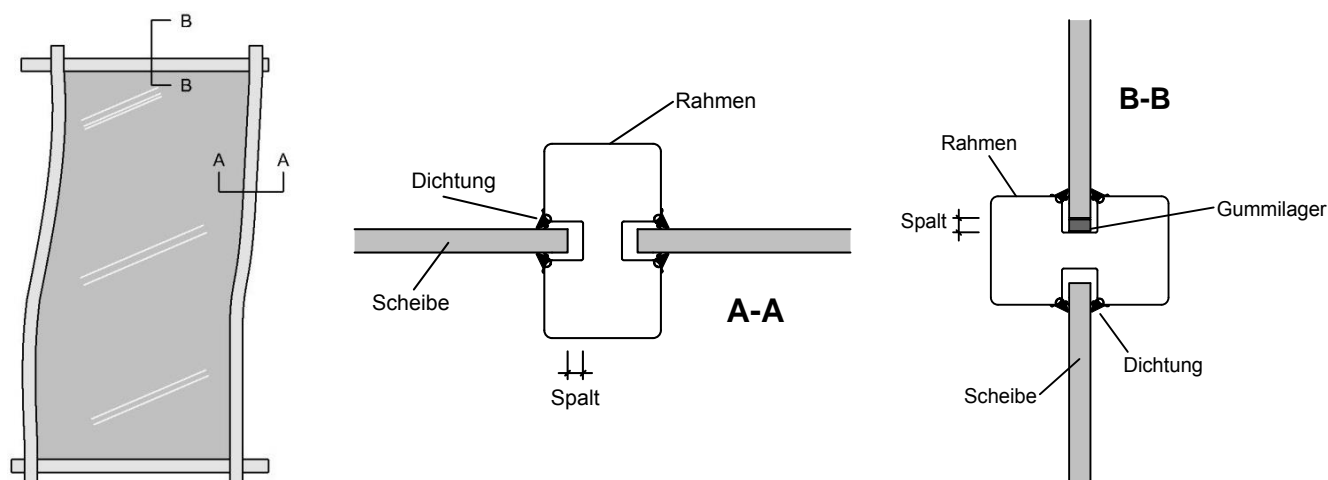


Abb. 2.8.4 > Massnahmen bei Fensterscheiben

- 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, Fluchtwegen 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 Stockwerkschiefstellungen 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 Schiefstellungen von ca. 1/100 Schäden verursachen<sup>[14]</sup>.
- Bei sehr steifen Bauwerken (relative Stockwerkverschiebungen 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

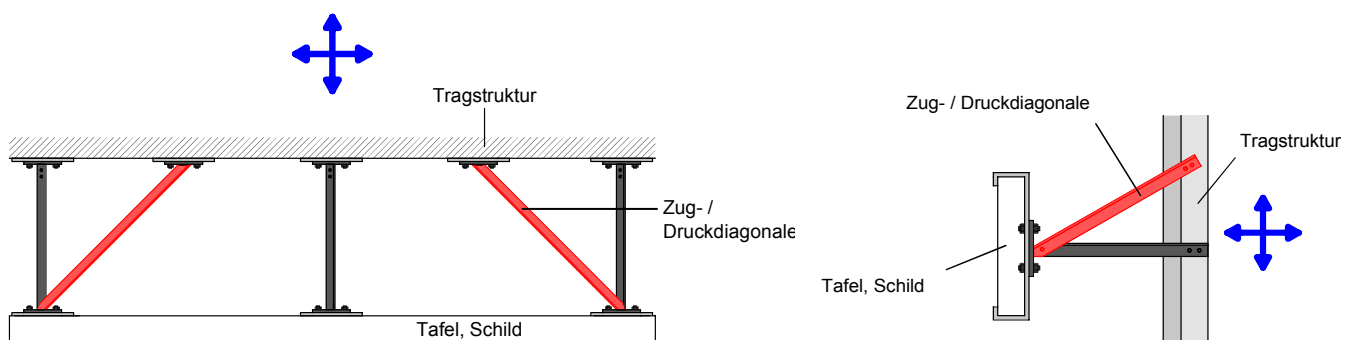
**Massnahmen**

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 blossе 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 > Einsturz eines Kamins



Abb. 2.10.2 > Heruntergefallene Dachziegel



Abb. 2.10.3 und 2.10.4 > Abgelöste Deckenuntersicht und Abplatzungen in Verputz



- Kamine aus Mauerwerk können sehr verletzlich sein. Bei kleineren 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 Erdbebenereignis 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

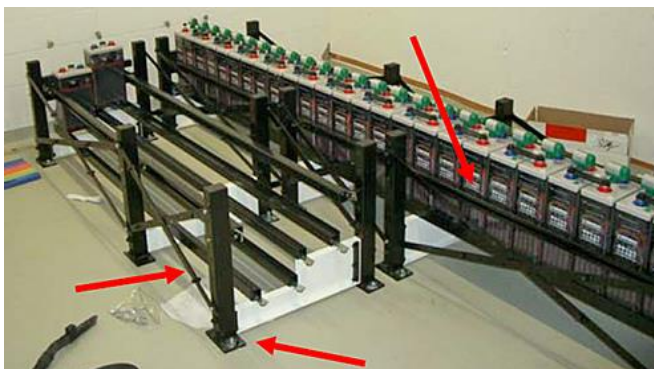


Abb. 2.11.2 > Ausgesteiftes Regal für Notstrombatterien

- 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 Notstromkreislafs sollten ebenfalls gesichert werden: Schaltanlagen von Normal- auf Notstrom (2.13),

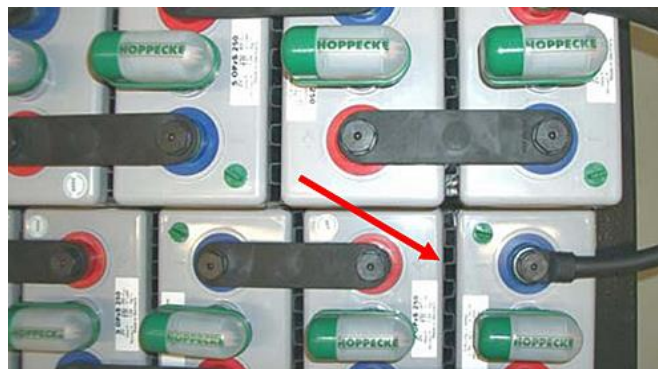


Abb. 2.11.3 > Einlagen zwischen einzelnen Batterien

- 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, weswegen ihrer Sicherung eine grosse Bedeutung zukommt.

## 2.12

**Brandschutz****Merkmale und Schäden**

Abb. 2.12.1 und 2.12.2 &gt; 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 &gt; Flexible Abzweigung von Hauptleitung

- Deckenbekleidungen sollten erdbebengerecht 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 &gt; Verankerung der Pumpe und Steuereinheit, flexible Leitungsverbindungen und Wanddurchbruch mit Spielraum

- Rauch- und Brandmelder und weitere Alarmsysteme und Lösch-einrichtungen 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

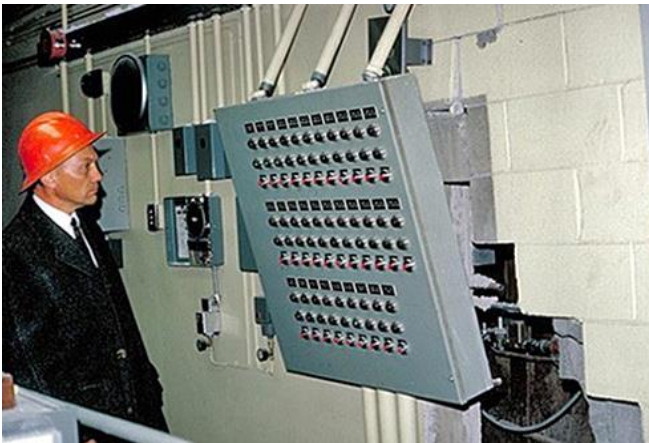


Abb. 2.13.3 > Versagen der Wandbefestigung

- 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

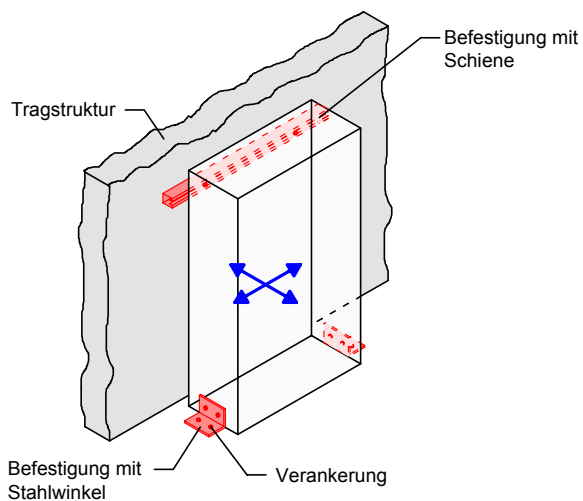


Abb. 2.13.4 > Verankerung von Schränken

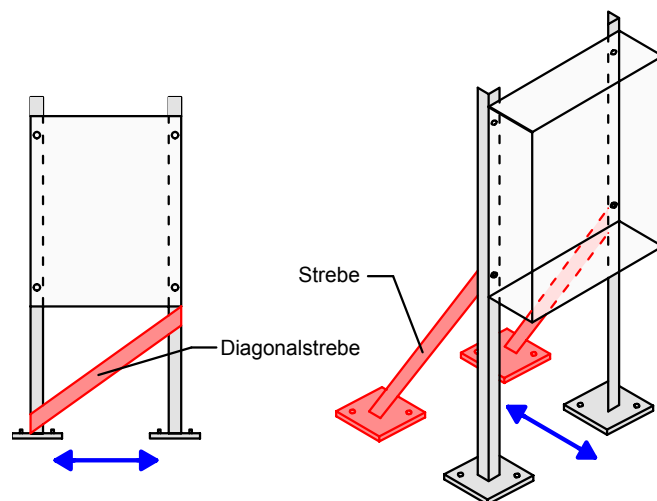


Abb. 2.13.5 > Verankerung von freistehenden Schrankeinheiten



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 Erdbeeinwirkung aufnehmen können.
- Freistehende Schrankeinheiten benötigen eine ausreichende horizontale Aussteifung und Verankerung (Abb. 2.13.5).

- Bei Schränken im Rauminnen 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 &gt; Umgekippte Hochspannungs – Transformatoren

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



Abb. 2.14.2 &gt; Beispiel für einen Transformator in Schrankbauweise

- Innere Komponenten wie z. B. Befestigungen von Transformatorspulen oder Lüftungs- und Kühlsystemen 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 &gt; 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.

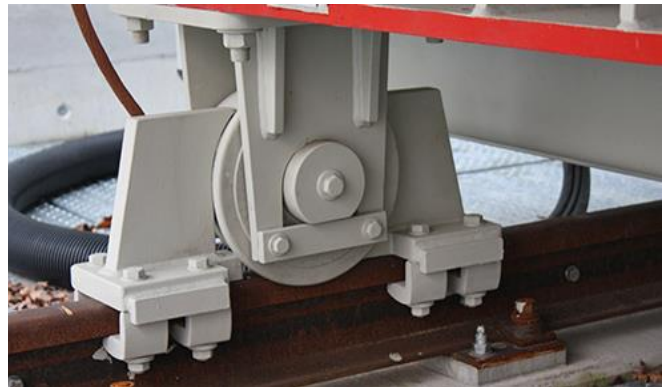


Abb. 2.14.4 &gt; Verankerung mit zwei Hemmschuhen pro Rolle

- Es sollte sichergestellt werden, dass Wärmeausdehnungen des Transformators nicht durch Sicherungsmassnahmen eingeschränkt werden. Ungewollte Vibrationen 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.

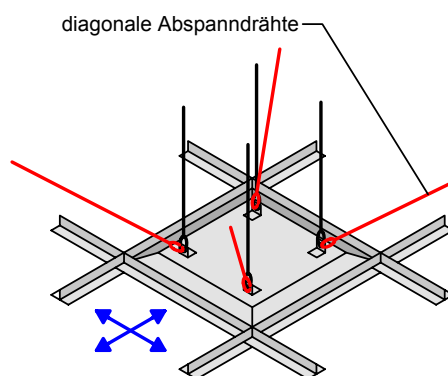
## 2.15

**Beleuchtung****Merkmale und Schäden****Abb. 2.15.1 und 2.15.2 > Absturz von Beleuchtungselementen**

- Beleuchtungselemente können in eine Deckenbekleidungen 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 sollten 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

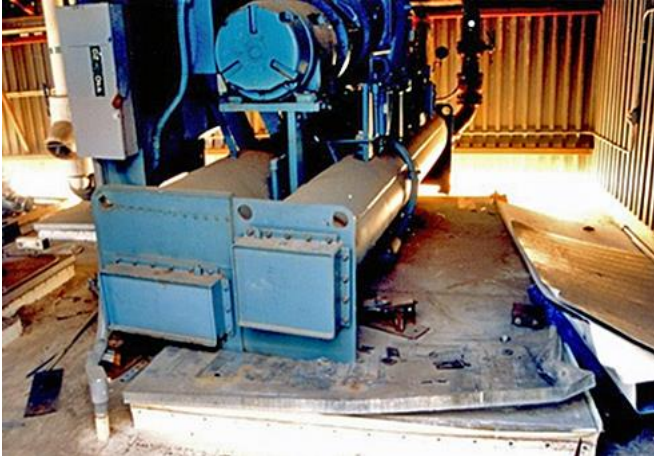


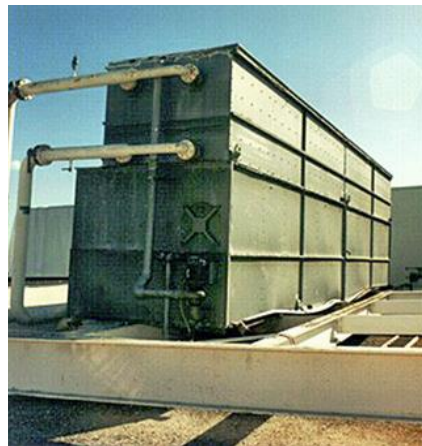
Abb. 2.16.1 > Versagen der Befestigungen



Abb. 2.16.2 > Ungenügend ausgesteiftes Element



Abb. 2.16.3 und 2.16.4 > 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

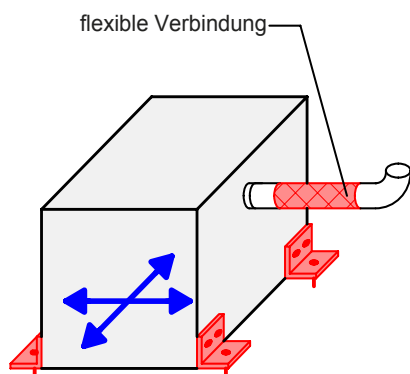


Abb. 2.16.5 > Befestigung der Installation mit Stahlwinkel

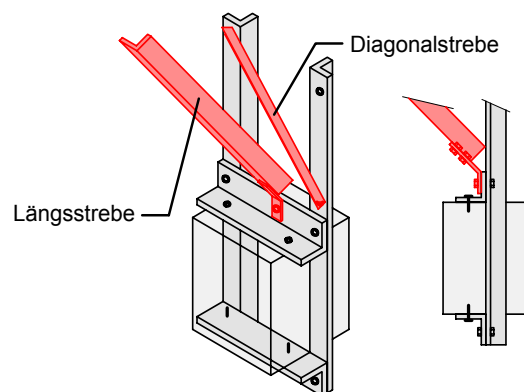


Abb. 2.16.6 > Rahmenkonstruktion für schwere Gegenstände



Abb. 2.16.7 > 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 Schwingenisolatoren 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



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

- 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 gebrochene Anschlussleitungen.
- 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 > Aussteifung von aufgeständerten Tanks



Abb. 2.17.6 > Flexibler Leitungsanschluss

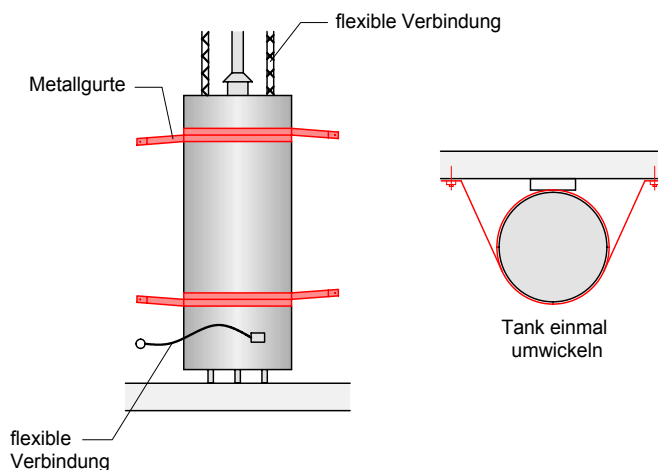


Abb. 2.17.7 > Sicherung von aufgeständerten Tanks



Abb. 2.17.8 > Befestigung von Zylinderflaschen

- 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.

- Tanks können mit Gurten an die Wand gebunden werden (Abb. 2.17.8). Boiler, die an der Wand befestigt sind, sollten aus Brandschutzgründen mit einem Abstandshalter versehen sein.
- Auch kleinere Behälter (z. B. Gasflaschen) sollten gesichert werden. Nicht angeschlossene Flaschen können mit Ketten gehalten werden, angeschlossene sollten festgespannt werden (Abb. 2.17.9).
- Je nach Situation sollten flexible Leitungsanschlüsse vorgesehen werden (siehe Abb. 2.17.7 und Kap. 2.18).

## 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 > Anprallschaden

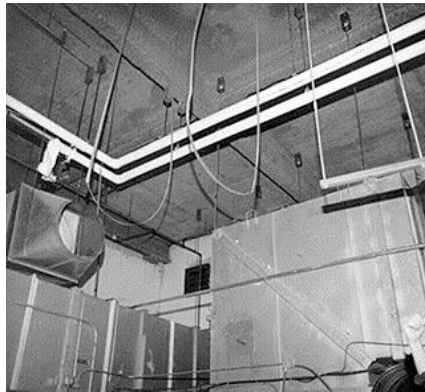


Abb. 2.18.2 > Herabgefallene Leitung



Abb. 2.18.3 > Schaden bei Verzweigung

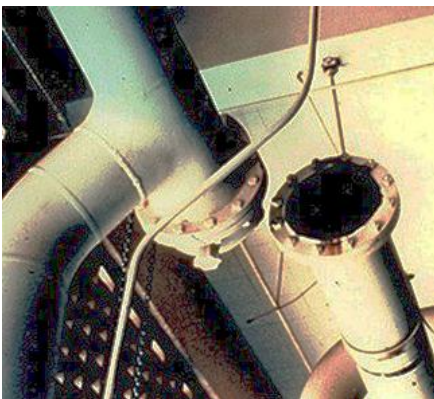


Abb. 2.18.4/2.18.5 > Schaden bei Stossverbindungen



Abb. 2.18.6/2.18.7 > 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

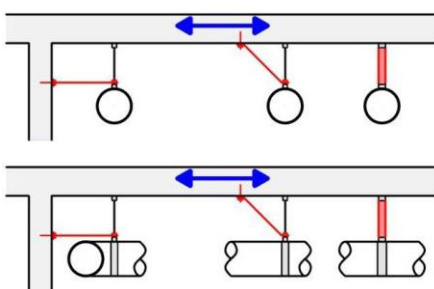


Abb. 2.18.8 > Aussteifung Rohrleitungen längs und quer

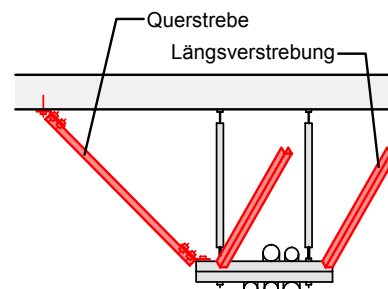


Abb. 2.18.9 > Aussteifung Konsolen längs und quer





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



Abb. 2.18.11 > Lagerung von Steigleitungen bei Deckendurchbrüchen

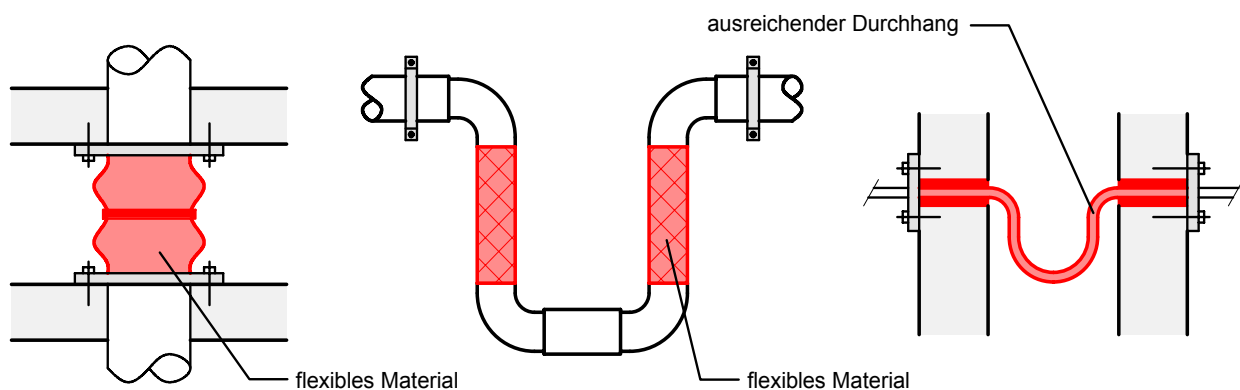


Abb. 2.18.12 > Verschiedene Typen von flexiblen Verbindungen

- 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 =  $45^\circ$ ).
- 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 schwingungsisierte 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 schwingungsisiert 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

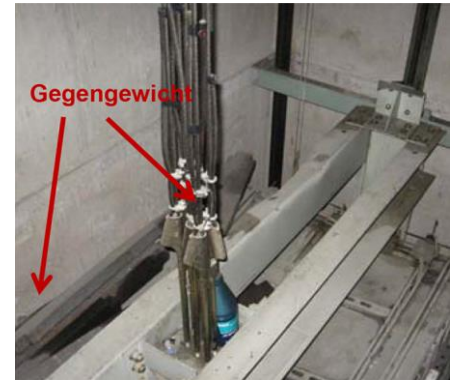


Abb. 2.19.3 > Herabgefallene Gegengewichte und Schäden am Querträger

- 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

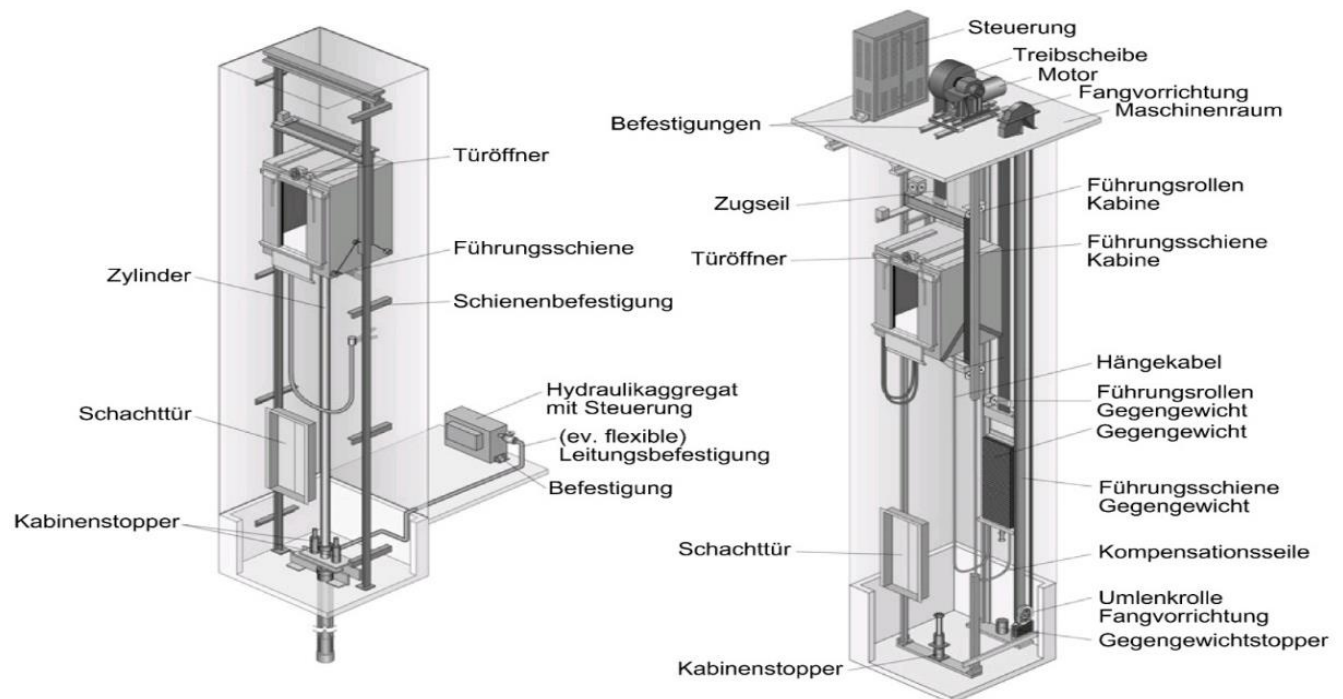


Abb. 2.19.4 > Aufzug mit Hydraulikantrieb

Abb. 2.19.5 > Aufzug mit Seilantrieb

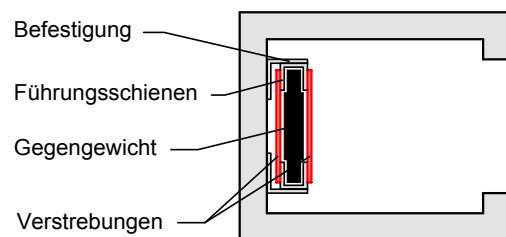
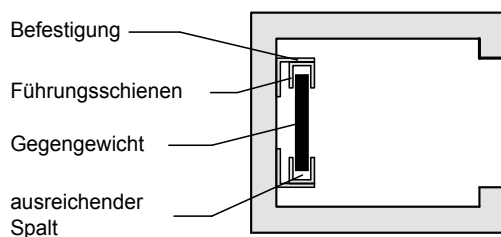


Abb. 2.19.6 > Liftschacht mit Gegengewichtskonstruktion

- 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 Herauspringen gesichert werden.
- Nach einem Erdbeben sollte das Funktionieren der automatischen Abschaltung gewährleistet sein, damit der Aufzug sicher zum Stillstand kommen kann.

- 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.

## 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.
- 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

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 besteht die Norm SIA 370.077 Sicherheitsregeln für Konstruktion und Einbau von Aufzügen – Besondere Anwendungen für Personen- und Lastenaufzüge – Teil 77: Aufzüge unter Erdbebeneinwirkungen<sup>[41]</sup>.

## 2.20 Schwingungsdämpfung, -isolation

### Merkmale und Schäden



Abb. 2.20.1 > Versagen der Lagerung einer schwingungs isolierten 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 Fluchtwege (besonders bei hohen Aufbauhöhen)
- ☐ Schädigung der Umwelt



## Massnahmen



Abb. 2.20.2 > Federn

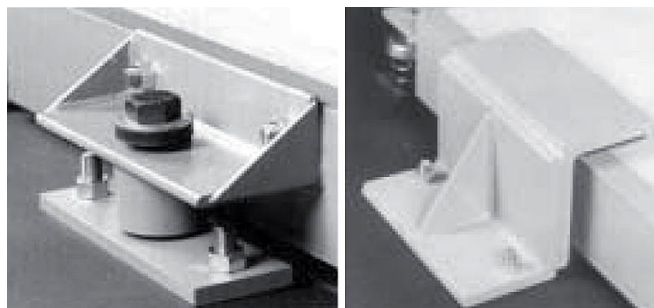


Abb. 2.20.3 > Beispiele für Dämpfer und Puffer

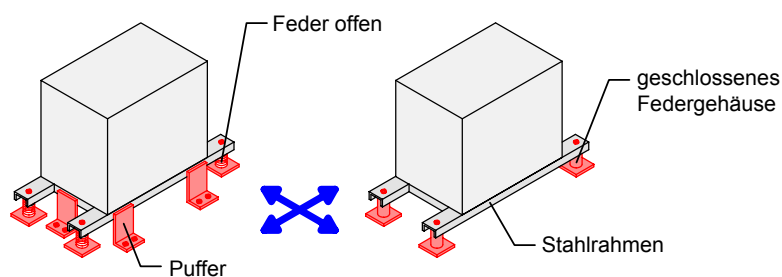


Abb. 2.20.4 > links: offene Federn mit Puffer; rechts: Anordnung bei eingespannten Federn



Abb. 2.20.5 > Feder mit vertikaler Sicherung, Puffer zur Begrenzung der Horizontalverschiebungen

- Für schwingungsisierte 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 grosse 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 beschleunigungsempfindlich 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

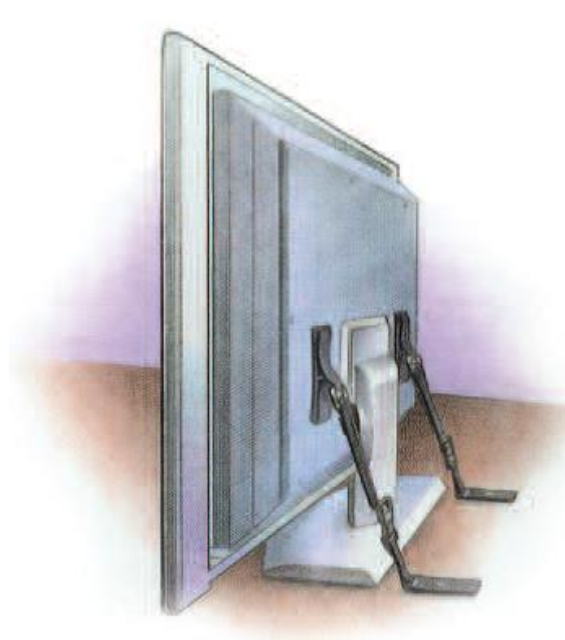


Abb. 2.21.4 > Befestigung Computer

- 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 Hohlbodensystemen 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 Geräte, die nach einem Erdbeben dringend benötigt werden, sollten fixiert werden.
- Grössere Geräte wie Kopierer können mit Winkeln am Boden befestigt werden.



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.

## Hinweise

- Je nach Nutzung kommt der Aufrechterhaltung der Kommunikationsmittel in einem Bauwerk im Katastrophenfall eine ausserordentliche Bedeutung zu.
- 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, 2.21.8 und 2.22.9 > Schäden trotz intakten Regalen

- Regale oder Schränke sind oft sehr schlank und schwer beladen. Daher reagieren sie empfindliche 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 Fluchtwege (besonders bei hohen Aufbauhöhen)
- ☐ Schädigung der Umwelt

## Massnahmen

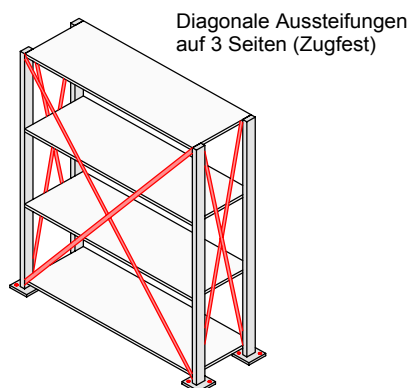


Abb. 2.22.10 > Aussteifung und Verankerung eines Regals

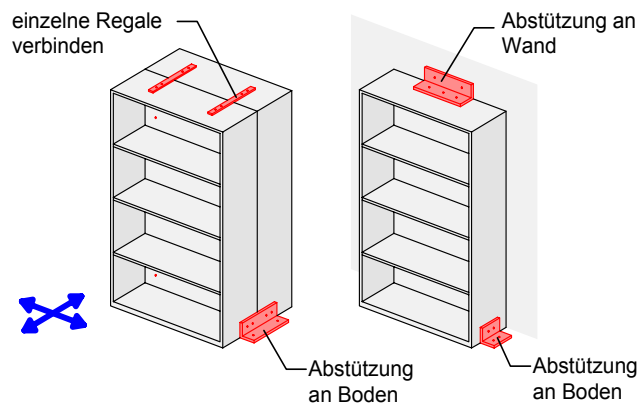


Abb. 2.22.11 > Varianten zur Sicherung von Regalen

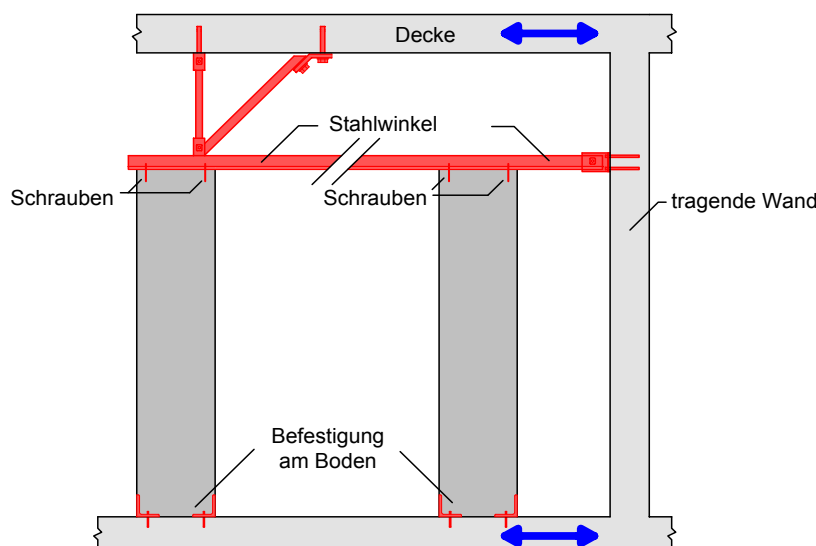


Abb. 2.22.12 > Möglichkeiten zur Sicherung von Regalen

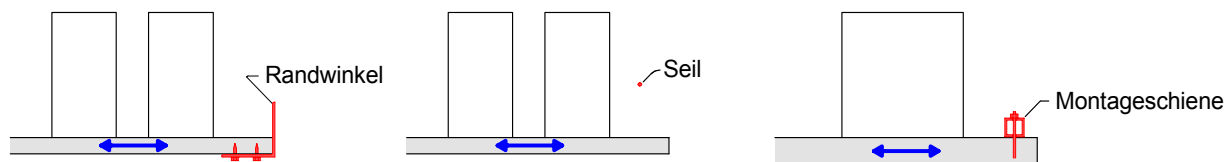


Abb. 2.22.13 > Massnahmen für Objekte auf Regale

- Um Versagen in der Ebene («in-plane») zu vermeiden, sollten Regale aussteift 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 Tableaus 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 Fluchtwege 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

Diagonale Aussteifungen  
auf 3 Seiten  
(zug- und druckfest)

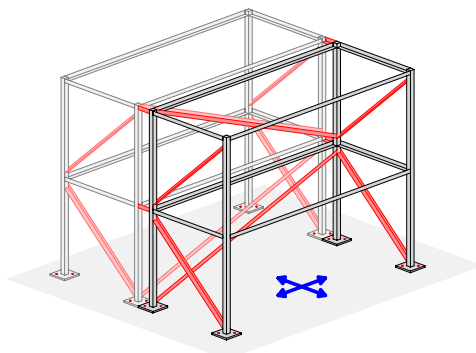


Abb. 2.23.8 > Aussteifung und Verankerung von Hochregallagern

- 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 grössere 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 Gefahrgütern (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 Leckererkennungssysteme. 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

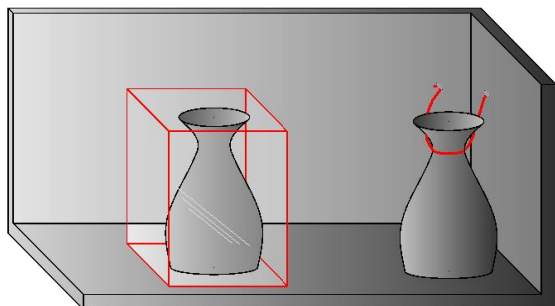


Abb. 2.25.4 > Massnahmen für Kunst- und Ausstellungsobjekte

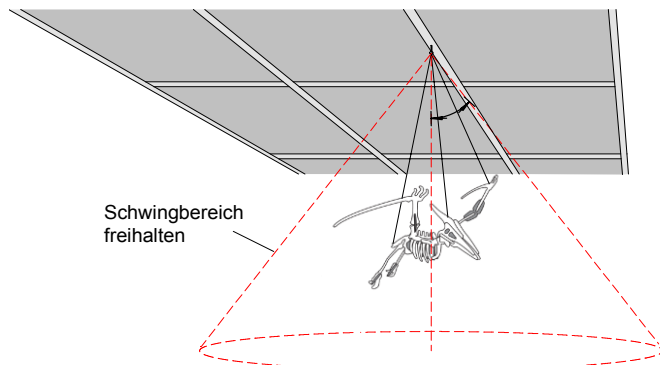


Abb. 2.25.5 > Schwingbereich eines abgehängten Ausstellungsobjekts



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 Fluchtwege 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 Verantwortung und die Zuständigkeiten 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 Befestigung und Verbindung von gefährdenden sekundären Bauteilen. Zusätzlich sollten auch weitere sekundäre Bauteile, Installationen und Einrichtungen eines Gebäudes zur Schadensbegrenzung bei einem Erdbeben befestigt werden, was in der Schweiz aber bisher 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 2014). Für die erdbebengerechte Planung und Erstellung von neuen Bauwerken gelten die Tragwerksnormen SIA 260–267. Für die Überprüfung und die allfällige Ertüchtigung bestehender Bauwerke bezüglich Erdbebensicherheit gilt die Norm SIA 269/8 (bis zu deren Einführung das Merkblatt SIA 2018<sup>[27]</sup>). Hauptziel der erdbebengerechten Planung und Ausführung von Bauwerken ist der Schutz von Menschenleben (Personensicherheit). Zusätzlich sind als weiteres Ziel grosse Sachschäden und Betriebsunterbrechungen zu vermeiden.<sup>1</sup>

**Erdbebengerechte Befestigung und Verbindung von gefährdenden sekundären Bauteilen**

Es bestehen für alle Bauwerke normative Anforderungen an die Erdbebensicherheit von **gefährdenden sekundären Bauteilen**. Deren erdbebengerechte Durchbildung gemäss Norm SIA 261<sup>[24]</sup>, Ziffer 16.7, muss für alle Bauwerksklassen geplant und bemessen werden.

<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**.

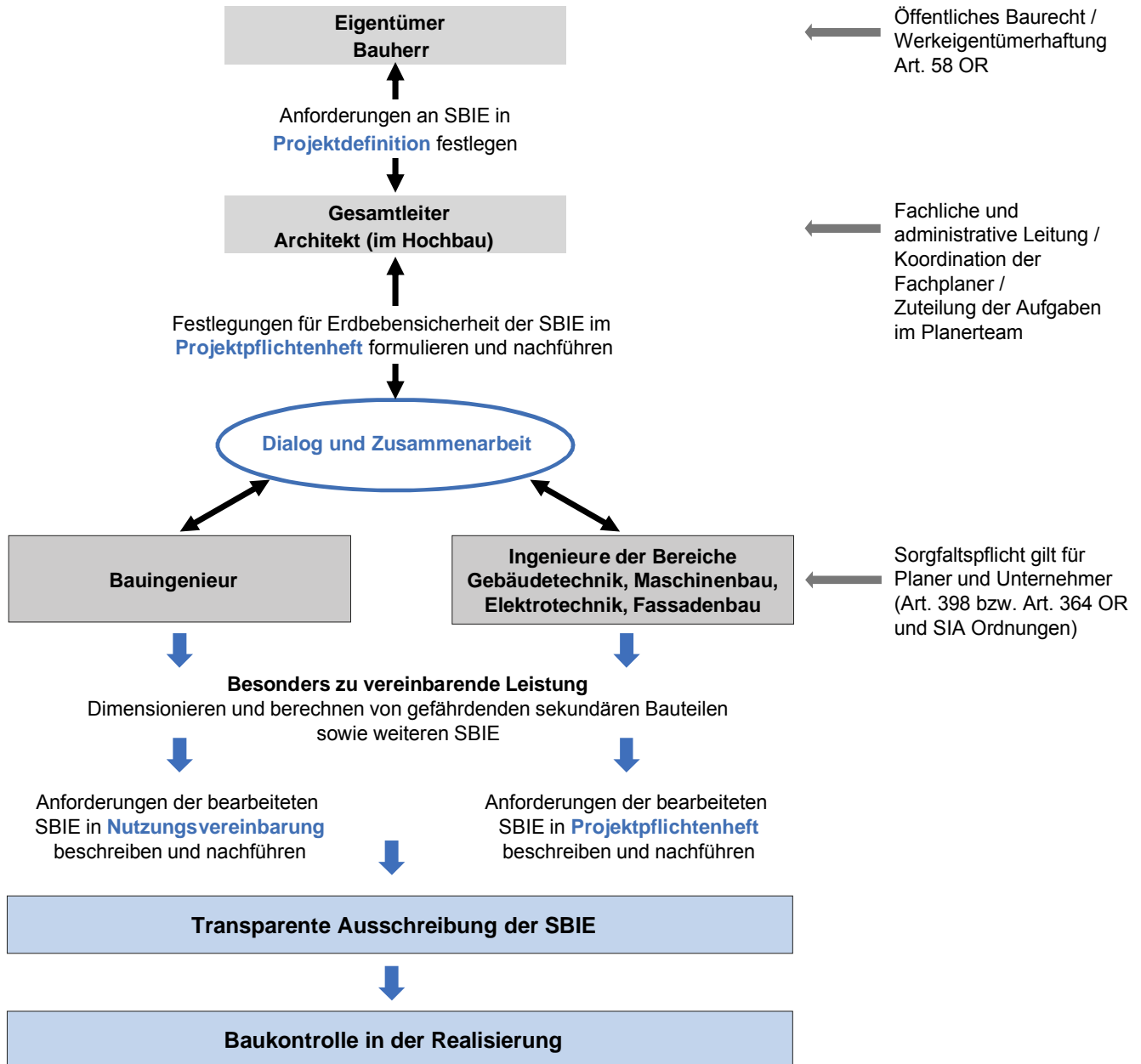
Erhöhte Anforderungen an **SBIE** im Allgemeinen bestehen im Zusammenhang mit der Funktionstüchtigkeit von Bauwerken der Bauwerksklasse **BWK III**, also lebenswichtigen Infrastrukturen wie zum Beispiel Akutspitälern, Bauwerken für den Katastrophenschutz (z. B. Feuerwehrgebäuden oder Ambulanzgaragen) oder lebenswichtigen Bauwerken für Versorgung, Entsorgung- und Telekommunikation. Für Bauwerke dieser Bauwerksklasse muss der Nachweis der Gebrauchstauglichkeit aller – für die Funktionstüchtigkeit des Bauwerks nötigen **SBIE** erbracht werden. Für Bauwerke im Geltungsbereich der StFV<sup>[36]</sup>, für die eine Risikoermittlung verlangt wird, sind die Erdbebeneinwirkung und Schutzmassnahmen für die Projektierung im Rahmen der Risikoermittlung festzulegen.

Für die Schadensbegrenzung und 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.

### 3.2 Verantwortungen und Zuständigkeiten

Neben den bestehenden gesetzlichen Grundlagen sind es vor allem die geltenden Ordnungen SIA 102<sup>[18]</sup>, SIA 103<sup>[19]</sup> und SIA 108<sup>[20]</sup>, die Auslegungen über die Verantwortungen und Zuständigkeiten bei der Erdbebensicherung von **SBIE** zulassen. Gemäss Ordnung SIA 112<sup>[21]</sup> stehen drei Dokumente zur Verfügung um die Interaktion zwischen Bauherren und Planern zu klären: die Projektdefinition, das Projektpflichtenheft und die Nutzungsvereinbarung. Abbildung 3.1 zeigt die Verantwortungen und Zuständigkeiten in einem klassischen Hochbauprojekt. Der Architekt fungiert üblicherweise als Gesamtleiter und der Bauingenieur, die Ingenieure der Bereiche Gebäudetechnik, Maschinenbau und Elektrotechnik sowie der Fassadeningenieur als Fachplaner. Das Mandat des Fachplaners beinhaltet die Planung und Baukontrolle der von ihm bearbeiteten Bauteile (siehe auch<sup>[4], [28], [29]</sup>).

Abb. 3.1 &gt; Verantwortungen und Zuständigkeiten



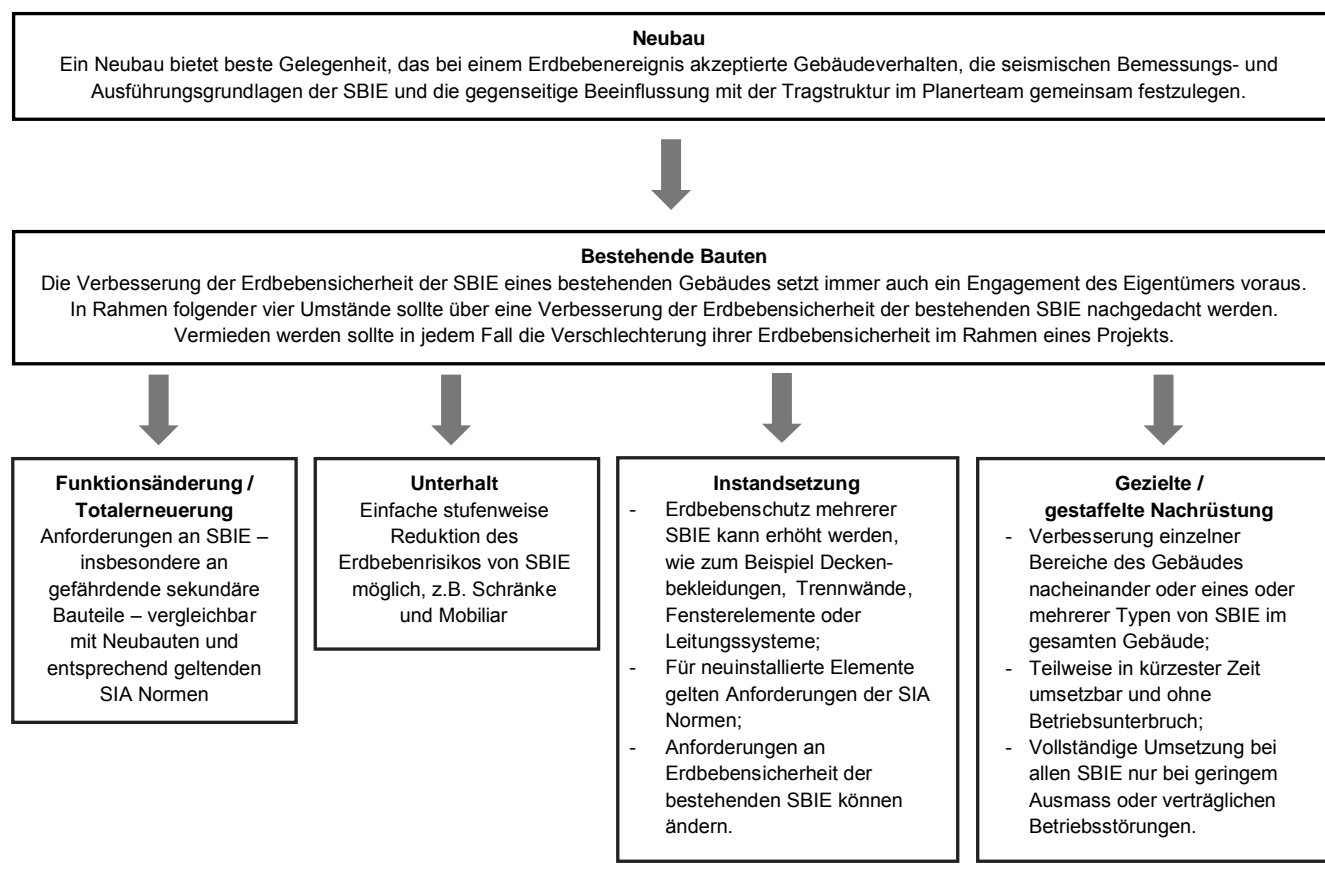


### 3.3 Vorgehensempfehlungen zur Schadensbegrenzung (Risikoreduktion)

#### 3.3.1 Mögliche Ausgangssituationen

Es ist immer effizienter, erdbebengerechte Befestigungen von **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 **SBIE** eine Verbesserung der Erdbebensicherheit im Vergleich zum Tragwerk zeitnaher realisierbar.

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



#### 3.3.2 Wichtige Einflussfaktoren

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

**Festlegung der Ansprüche und Zuständigkeiten**

Ist das potentielle Erdbebenrisiko für Personen- und Sachschäden durch die SBIE gering, können die Fachplaner gemeinsam einfache und kostengünstige Sicherungslösungen erarbeiten. Bei bedeutenden Projekten und besonders bei Bauwerken der Bauwerksklasse III ist es sinnvoll und im Interesse des Eigentümers, zusätzlich eine Begutachtung (Zweitmeinung) der Planung und Bemessung der gefährdenden sekundären Bauteile (sowie weiterer SBIE) bei einem im Erdbebeningenieurwesen spezialisierten Bauingenieur einzuholen. Für Bauwerke mit einem mittleren Schadenspotential kann eine Kombination beider Varianten sinnvoll sein: Zum Beispiel kann nach einer Erfassung und Risikoeinschätzung durch einen externen Spezialisten die Umsetzung ohne eine weitere Begleitung durch das Planerteam gehandhabt werden.

Vergabe an erfahrene Planer

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

Vergütung

Voraussetzung für eine korrekte Ausführung der Erdbebensicherung von SBIE ist eine transparente Ausschreibung für Bauunternehmer, Lieferanten und Produkthersteller. Das bedeutet, dass neben den spezifischen Anforderungen an die Erdbebensicherung für jedes einzelne 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 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.

Ausschreibung

Erdbebengerechte Sicherungsmassnahmen von 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 Fachplaner auch für die Ausführungsphase klar definiert werden. Dies können für ein bestimmtes SBIE spezifische rechnerische Grundlagen, konzeptionelle Anforderungen oder konstruktive Überlegungen des Bauingenieurs, des Architekten und des Ingenieurs der Bereiche Gebäudetechnik, Maschinenbau und Elektrotechnik sein.

Ausführung

Durch die Baukontrolle überprüfen die Fachplaner die korrekte Ausführung der Erdbebensicherung der SBIE in ihrer Verantwortung. Mit der Abnahme werden die SBIE an den Eigentümer/Bauherrn übergeben, der ab jetzt das Risiko trägt und im Schadensfall haftet.

### 3.3.3 Instrumente für die Praxis

Basierend auf der Projektdefinition und anhand des Projektpflichtenheftes bzw. der Nutzungsvereinbarung kann die Arbeit der Fachplaner in jeder Teilphase des Projekts beschrieben werden. Anhand dieser Projektdokumente lässt sich zusammen mit dem Eigentümer/Bauherrn eine dokumentierte Strategie zur Sicherheit und Schadensbegrenzung entwickeln, die darin als abgesicherte Grundlage festgehalten ist und 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 SBIE vereinfachen:

- > Erhebungsformular & Zuständigkeitsmatrix
- > Textelemente für Projektpflichtenheft respektive Nutzungsvereinbarung
- > Abnahmeprotokoll

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

#### 3.3.3.1 «Erhebungsblatt» zur Erfassung und Priorisierung der SBIE

Das Erhebungsblatt (Anhang A1) ermöglicht es einerseits die relevanten Elemente 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 Fachplaner berechnet und bemessen oder direkt vom Gesamtleiter (oder von anderen beauftragten Fachplanern) angeordnet. Um das Erhebungsblatt ausfüllen zu können, müssen der Eigentümer/Bauherr und die Fachplaner 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 vom Gesamtleiter gemeinsam mit dem Eigentümer (Betreiber/Nutzer) ausgefüllt werden. Der Beizug eines Bauingenieurs und weiterer betroffener Fachplaner wird empfohlen.

#### 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 SBIE zu erbringen sind, sowohl den Projektphasen (und Teilphasen) als auch den Projektbeteiligten zuzuweisen. Eine Zuständigkeitsmatrix sollte bereits in den Vorstudien in der Projektdefinition als Instrument zur Koordination definiert – und schliesslich im Projektpflichtenheft projektspezifisch aufgestellt werden. Empfehlenswert ist, einen Fachplaner mit der Aufsicht über die Planung, Bemessung und Ausführung inkl.

Baukontrolle und -abnahme der SBIE zu beauftragen. Folgende Fragestellungen können bei der Erstellung der Zuständigkeitsmatrix hilfreich sein:

- > In welcher Projektphase kann der Bauingenieur die notwendigen Grundlagen aus der Tragwerksanalyse liefern, die für die Bemessung und Durchbildung der **SBIE** benötigt werden?
- > Welche der **SBIE** können direkt ohne spezifische Anforderungen erdbebengerecht befestigt oder verankert werden, wie zum Beispiel Schränke und Regale oder deren Inhalte?
- > Welche **SBIE** können durch andernorts bewährte Standardlösungen erdbebengerecht befestigt oder verankert werden, wie zum Beispiel Deckenbekleidungen?
- > Welches sind schliesslich die **SBIE**, die eine Berechnung durch einen Bauingenieur erfordern, der die spezifischen Anforderungen an die Befestigung und Verankerung sowie an die Durchbildung des Elements selber bestimmt?

#### 3.3.3.3 Textelemente für Projektpflichtenheft und Nutzungsvereinbarung

In der Projektdefinition legt der Bauherr/Eigentümer die grundlegenden Ziele und Anforderungen an die Erdbebensicherheit der SBIE fest. Das Projektpflichtenheft baut darauf auf und beinhaltet die Funktionen und Eigenschaften der SBIE, um diese festgelegten Zielgrössen zu erreichen. Als ingenieurfachlicher Teil des Projektpflichtenhefts ist die fachübergreifende Nutzungsvereinbarung, die 2003 mit der Norm SIA 260 neu eingeführt worden ist, durch den Bauingenieur im Dialog mit dem Bauherrn und bedarfsweise dem Planerteam zu entwickeln und vom Bauherrn zu genehmigen. Die Nutzungsvereinbarung beschreibt u.a. die Anforderungen an die Erdbebensicherheit des Bauwerks; sie werden massgeblich vom Bauingenieur definiert. Die Nutzungsvereinbarung umfasst dabei die Anforderungen derjenigen SBIE, für deren Bearbeitung der Bauingenieur beauftragt worden ist. Alle weiteren SBIE sind im Projektpflichtenheft durch die jeweils zuständigen Fachplaner zu behandeln. Beide Dokumente sind bei Abschluss jeder Phase nachzuführen, die Nutzungsvereinbarung ist jeweils erneut durch den Bauherrn zu genehmigen. Diese Schlussversion des Projektpflichtenhefts mit der Nutzungsvereinbarung ist Bestandteil der Projektdokumentation und bildet die Grundlage für den korrekten Unterhalt der Erdbebensicherung der SBIE. Für die Er- und Bearbeitung dieser Dokumente bilden sowohl das Erhebungsblatt als auch die Zuständigkeitsmatrix eine massgebliche Grundlage. Anhang A3 enthält hilfreiche Textelemente für das Projektpflichtenheft und die Nutzungsvereinbarung.

#### 3.3.3.4 Abnahmeprotokoll

Während der Realisierungsphase kann die korrekte Ausführung der projektierten Erdbebensicherung der behandelten SBIE mit Baukontrollen durch die zuständigen Fachplaner überprüft werden. Mit der Abnahme werden diese SBIE schliesslich an den Eigentümer/Bauherrn 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?

*Herabgefallene Fassadenelemente*



*Zerstörte Glasfassade*



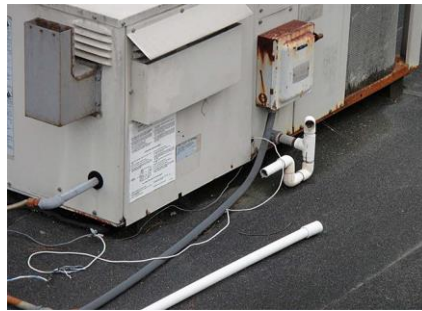
#### Abb. A1.1.2 > Welche Elemente können Rettungsaktionen behindern oder Fluchtwege versperren?

*Stark beschädigter Treppenlauf*



*Herabgefallene Deckenelemente samt Kabeln und Lüftungsrohren*



**Abb. A1.1.3 > Welche Elemente können einen Betriebsausfall bzw. Störungen verursachen?***Gerissene Kupfer-Heisswasserleitung**Unbefestigte Rohrleitung ist an Verbindung abgebrochen**Globales Versagen Unterdeckenrost, Unterdecken- und Beleuchtungselemente im Krankenhaus von Los Angeles***Abb. A1.1.4 > Welche Elemente können die Umwelt gefährden?***Schäden an Erdölleitungen nach Herabstürzen durch Versagen an den Rohrverbindungen**Mit Öl und Wasser gefluteter Keller eines Kraftwerks**«Elefantenfuss» an ungenügend verankertem Benzintank*



Legende:	DA = Dimensionierung & Ausführung
AS = Aufsicht	AU = Ausschreibung
ES = Entscheid	MO = Montage
KO = Koordination	BK = Baukontrolle
IK = Information & Konsultation	AB = Abnahme



## A3 Textelemente für Projektpflichtenheft und Nutzungsvereinbarung

*Die nachfolgenden Vorschläge für Textelemente sind in beiden Dokumenten anwendbar und projektspezifisch sinnvoll zu integrieren. Das Ziel des Projektpflichtenheftes ist – ingenieurtechnisch durch die Nutzungsvereinbarung –, im Projektablauf phasengerecht festzuhalten, welche **SBIE** als gefährdend gemäss Norm SIA 261, Ziffer 16.7, zu behandeln sind und welche weiteren Elemente in Bezug auf das Erdbebenrisiko erfasst, eingeschätzt und bewertet werden. Die daraus resultierenden Anforderungen sind festzuhalten. Beide Dokumente sind laufend nachzuführen und dem Auftraggeber zur Genehmigung vorzulegen.*

Die Vorschläge für Textelemente sind in grauer Farbe hinterlegt

### A3-1 Phase Vorstudien

#### A3-1.1 Textelemente Projektpflichtenheft

Die Verwendung der beiden Instrumente – Erhebungsblatt und Zuständigkeitsmatrix – bildet die Grundlage für eine zielgerichtete Projektierung des Erdbebenschutzes der SBIE durch die beauftragten Fachplaner.

Erhebung der SBIE und Einschätzung des Erdbebenrisikos

*Resultate aus dem Erhebungsformular einfügen*

Verantwortungen und Zuständigkeiten für die erdbebengerechte Behandlung der SBIE

*Zuständigkeitsmatrix einfügen*

### A3-2 Phase Projektierung bis Realisierung

#### A3-2.1 Textelemente Projektpflichtenheft

Jeder Fachplaner, der für die Bearbeitung bestimmter SBIE beauftragt wurde, ordnet die durch ihn behandelten SBIE einer der beiden Abschnitte zu und beschreibt die Anforderungen an die Erdbebensicherheit.

*Gefährdende sekundäre Bauteile gemäss Norm SIA 261, Ziffer 16.7*

*Folgende Elemente im und am Tragwerk werden als gefährdend für Personen (oder das Tragwerk oder den Betrieb der wichtigen Anlage) identifiziert:*

Bauteile auflisten, die durch eine vorgängige Erhebung des Bauherren/Gesamtleiters oder zusammen mit dem Bauingenieur als gefährdend definiert werden.

Im Folgenden sind alle Bauteile aufzulisten, für die abgeklärt werden muss, ob

- > sie eine der genannten Gefahren darstellen
- > eine Bemessung und konstruktive Durchbildung durch den Bauingenieur zu erfolgen hat
- > konstruktive Massnahmen durch einen anderen Fachplaner getroffen werden müssen
- > keine spezifischen Massnahmen erforderlich sind

*Über die Norm hinausgehende Anforderungen an die Erdbebensicherheit bestehen für weitere sekundäre Bauteile, Installationen und Einrichtungen:*

Elemente auflisten, die – z. B. vorgängig durch den Bauherren/Gesamtleiter im Projektpflichtenheft oder im Leistungsbeschrieb des Bauingenieurs – definiert worden sind.

*Für folgende Elemente im und am Tragwerk werden zusätzliche Anforderungen definiert:*

Im Folgenden sind alle **SBIE** aufzulisten, für die abgeklärt werden sollte, ob

- > sie zur Schadensbegrenzung erdbebengerecht gesichert werden
- > eine Bemessung und konstruktive Durchbildung durch den Bauingenieur zu erfolgen hat
- > konstruktive Massnahmen durch einen anderen Fachplaner getroffen werden müssen
- > keine spezifischen Massnahmen erforderlich sind

#### A3-2.2 Textelemente Nutzungsvereinbarung

Für die **SBIE**, mit deren Bearbeitung der Bauingenieur beauftragt worden ist, sind hier die nötigen Beschreibungen in Bezug auf Planung, Bemessung, Durchbildung, Einbau und Abnahme in die Nutzungsvereinbarung zu integrieren und phasengerecht zu konkretisieren.

*Es ist gemäss Norm SIA 260, Ziffer 4.4.4.5 nachzuweisen, dass das Tragwerk und seine weiteren Bauteile fähig sind, die Funktionstüchtigkeit entsprechend den Gebrauchsgrenzen der Bemessungssituation Erdbeben zu gewährleisten. Die daraus resultierenden horizontalen Auslenkungen sind bei Bauwerken mit Einbauten mit sprödem – bzw. duktilem Verhalten pro Stockwerk auf 1/500 – bzw. 1/200 der Stockwerkshöhe zu begrenzen.*

Wenn Bauwerksklasse III

Im Folgenden sind alle **SBIE** aufzulisten, für die abgeklärt werden muss, ob

- > sie durch diese Auslenkungen beschädigt oder zerstört werden können und die Anforderungen für BWKIII dadurch beeinträchtigt sind?
- > eine Bemessung und konstruktive Durchbildung durch den Bauingenieur zu erfolgen hat?
- > konstruktive Massnahmen durch einen anderen Fachplaner getroffen werden müssen?
- > keine besonderen Massnahmen erforderlich sind?

*Direkte oder indirekte Personengefährdung, Tragwerksbeschädigung oder Beeinträchtigung des Betriebs wichtiger Anlagen durch **sekundäre Bauteile** sind zu verhindern- (Ziffer 16.7, SIA Norm 261). Architekt/Gesamtleiter und Bauingenieur definieren gemeinsam die baulichen Massnahmen, die zur Erfüllung der Vorschriften bezüglich gefährdender sekundärer Bauteile gemäss Norm SIA 261 (Ziffer 16.7) notwendig sind.*

Für alle Bauwerksklassen

Im Folgenden sind alle **SBIE** aufzulisten, für die abgeklärt werden muss, ob

- > sie eine der genannten Gefahren darstellen?
- > eine Bemessung und konstruktive Durchbildung durch den Bauingenieur zu erfolgen hat?
- > konstruktive Massnahmen durch einen anderen Fachplaner getroffen werden müssen?
- > keine spezifischen Massnahmen erforderlich sind?

**Weitere sekundäre Bauteile, Installationen und Einrichtungen** werden erdbebengerecht gesichert. (gemäss *Entscheid Eigentümer, Erhebungsformular XX*).

Im Folgenden sind alle **SBIE** aufzulisten, für die abgeklärt werden sollte, ob

- > sie zur Schadensbegrenzung erdbebengerecht gesichert werden?
- > eine Bemessung und konstruktive Durchbildung durch den Bauingenieur zu erfolgen hat?
- > konstruktive Massnahmen durch einen anderen Fachplaner getroffen werden müssen?
- > keine spezifischen Massnahmen erforderlich sind?

## A4 Abnahmeprotokoll

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

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

Phase der Protokollerstellung		
<input type="checkbox"/> Kontrolle während der Bauphase		
<input type="checkbox"/> Kontrolle bei Abschluss der Arbeiten		
<input type="checkbox"/> Nachkontrolle bei festgestellten Mängeln		
Gefährdende sekundäre Bauteile		
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: .....
....		
Weitere sekundäre Bauteile, Installationen und Einrichtungen		
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. 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 sinnvoll/notwendig ist.

Anhand des Berechnungsbeispiels wird das Vorgehen für die Erdbebenbemessung von SBIE gemäss Norm SIA 261 vorgeführt. Die Inhalte der Norm SIA 261 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, Ziffer 16.7, 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  $\frac{\gamma_f a_{gd} S G_a}{g q_a}$  wird gross, wenn das Bauwerk eine lebenswichtige Infrastrukturfunktion (BWK III  $\rightarrow \gamma_f$ ) hat, eine hohe Gefährdung (Z3b  $\rightarrow a_{gd}$ ) und ein ungünstigerer Baugrund (BGK E  $\rightarrow S$ ) am Standort vorliegen, das **SBIE** selbst sehr schwer ist ( $G_a$  ist gross) und ein schlechtes Verformungsverhalten aufweist (kleines  $q_a$ ).

Der zweite Term  $\frac{3(1 + \frac{z_a}{h})}{1 + (1 - \frac{T_a}{T_1})^2} - 0.5$  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 (Z1) und ein günstigerer Baugrund (BGK A) am Standort vorliegen, das **SBIE** selbst eine kleine

Masse hat ( $G_a$  ist klein) und ein gutes Verformungsverhalten aufweist (grosses  $q_a$ ). 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  $T_a=0$

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

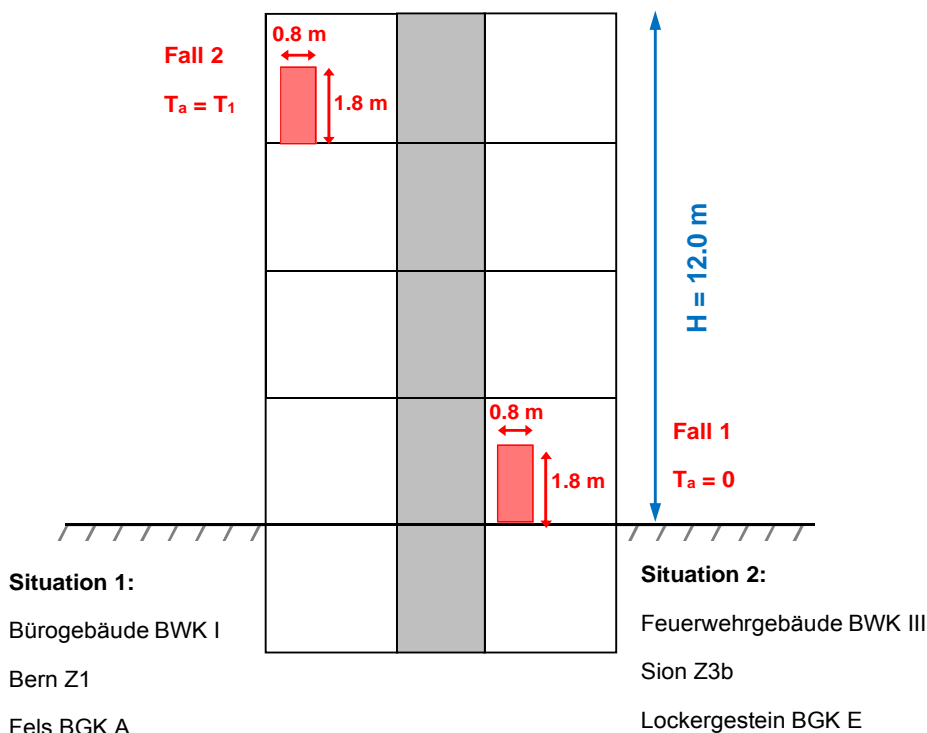
- Fall 2: grösster Wert mit SBIE oben im Gebäude  $z_a=h$  und Resonanz  $T_a=T_1$

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

### 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 Bern auf felsigem Untergrund

$q_a = 1.0$ , Bauwerksklasse BWK I mit  $\gamma_f = 1.0$ , Erdbebenzone Z1 mit  $a_{gd} = 0.6$  und BGK A mit  $S = 1.0$

$$\text{Fall 1: } F_a = 1.0 \frac{1.0 \cdot 0.6 \cdot 1.0 G_a}{9.81 \cdot 1.0} = 0.06 G_a \quad \text{Fall 2: } F_a = 5.5 \frac{1.0 \cdot 0.6 \cdot 1.0 G_a}{9.81 \cdot 1.0} = 0.34 G_a$$

Situation 2: Steuerschrank in einem Feuerwehrgebäude in Sion auf Lockergestein

$q_a = 1.0$ , Bauwerksklasse BWK III mit  $\gamma_f = 1.4$ , Erdbebenzone Z3b mit  $a_{gd} = 1.6$  und BGK E mit  $S = 1.4$

$$\text{Fall 1: } F_a = 1.0 \frac{1.4 \cdot 1.6 \cdot 1.4 G_a}{9.81 \cdot 1.0} = 0.32 G_a \quad \text{Fall 2: } F_a = 5.5 \frac{1.4 \cdot 1.6 \cdot 1.4 G_a}{9.81 \cdot 1.0} = 1.76 G_a$$

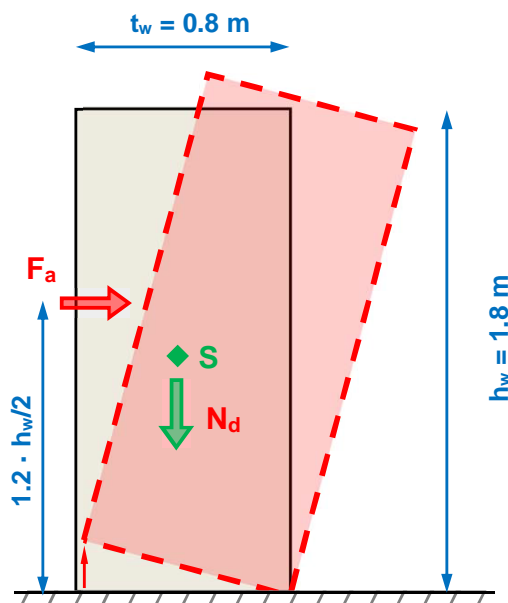
Betrachtete man einen Steuerschrank mit den Abmessungen  $h_w \times t_w \times l_w = 1.8 \text{ m} \times 0.80 \text{ m} \times 1.2 \text{ m}$  und einem Gewicht von  $G_a = 500 \text{ kg} \rightarrow 5 \text{ kN}$ , ergeben sich folgende Extremwerte für die aufzubringende Horizontalkraft  $F_a$ .

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

	Horizontalkraft $F_a$ [kg bzw. kN]	
	Fall 1	Fall 2
Situation 1	30 kg $\rightarrow$ 0.3 kN	170 kg $\rightarrow$ 1.7 kN
Situation 2	160 kg $\rightarrow$ 1.6 kN	880 kg $\rightarrow$ 8.8 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 Verankerungskräfte 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.

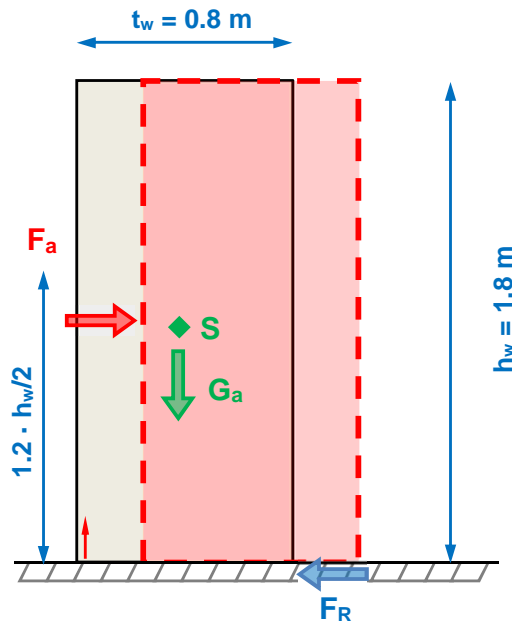
**Tab. A5.4 > Resultate Kippnachweis**

	Kippnachweis	
	Fall 1	Fall 2
Situation 1	$F_a = 0.3 \text{ kN}$ $M_d = 0.3 \times 1.2 \times 1.8/2 = 0.32 \text{ kNm}$ $M_{Rd} = 5 \times 0.8/2 = 2 \text{ kNm}$	$F_a = 1.7 \text{ kN}$ $M_d = 1.7 \times 1.2 \times 1.8/2 = 1.84 \text{ kNm}$ $M_{Rd} = 5 \times 0.8/2 = 2 \text{ kNm}$
	$M_d/M_{Rd} = 0.32/2 = 0.16 < 1$ → Nachweis erfüllt	$M_d/M_{Rd} = 1.84/2 = 0.92 < 1$ → Nachweis erfüllt
	Eine Befestigung des Steuerschranks gegen Kippen ist nicht notwendig.	Eine Befestigung des Steuerschranks gegen Kippen ist nicht notwendig.
Situation 2	$F_a = 1.6 \text{ kN}$ $M_d = 1.6 \times 1.2 \times 1.8/2 = 1.73 \text{ kNm}$ $M_{Rd} = 5 \times 0.8/2 = 2 \text{ kNm}$	$F_a = 8.8 \text{ kN}$ $M_d = 8.8 \times 1.2 \times 1.8/2 = 9.5 \text{ kNm}$ $M_{Rd} = 5 \times 0.8/2 = 2 \text{ kNm}$
	$M_d/M_{Rd} = 1.73/2 = 0.86 < 1$ → Nachweis erfüllt	$M_d/M_{Rd} = 9.5/2 = 4.75 > 1$ → Nachweis nicht erbracht
	Eine Befestigung des Steuerschranks gegen Kippen ist nicht notwendig.	Eine Befestigung des Steuerschranks gegen Kippen ist notwendig.



## A5-1.2 Gleitnachweis

Abb. A5.5 &gt; Gleitnachweis Steuerschrank



Der Gleitnachweis für den Steuerschrank erfolgt durch Vergleich der Horizontalkraft  $F_a$  mit der Reibungskraft  $F_R = G_a \cdot \mu$ . 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 &gt; Resultate Gleitnachweis

	Gleitnachweis	
	Fall 1	Fall 2
Situation 1	$F_R = 1.5\text{ kN} > F_a = 0.3\text{ kN}$ → Nachweis erfüllt	$F_R = 1.5\text{ kN} < F_a = 12.7\text{ kN}$ → Nachweis nicht erbracht
	Eine Befestigung des Steuerschranks gegen Gleiten ist nicht notwendig.	Eine Befestigung des Steuerschranks gegen Gleiten ist notwendig.
Situation 2	$F_R = 1.5\text{ kN} < F_a = 1.6\text{ kN}$ → Nachweis nicht erbracht	$F_R = 1.5\text{ kN} < F_a = 8.8\text{ kN}$ → Nachweis nicht erbracht
	Eine Befestigung des Steuerschranks gegen Gleiten ist notwendig.	Eine Befestigung des Steuerschranks gegen Gleiten ist notwendig.

Nur der Steuerschrank unten im Bürogebäude in Bern auf felsigem Untergrund 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 können die folgenden Hilfstabellen angewendet werden.

#### A5-2 Grobdimensionierung der Befestigung von starren Elementen

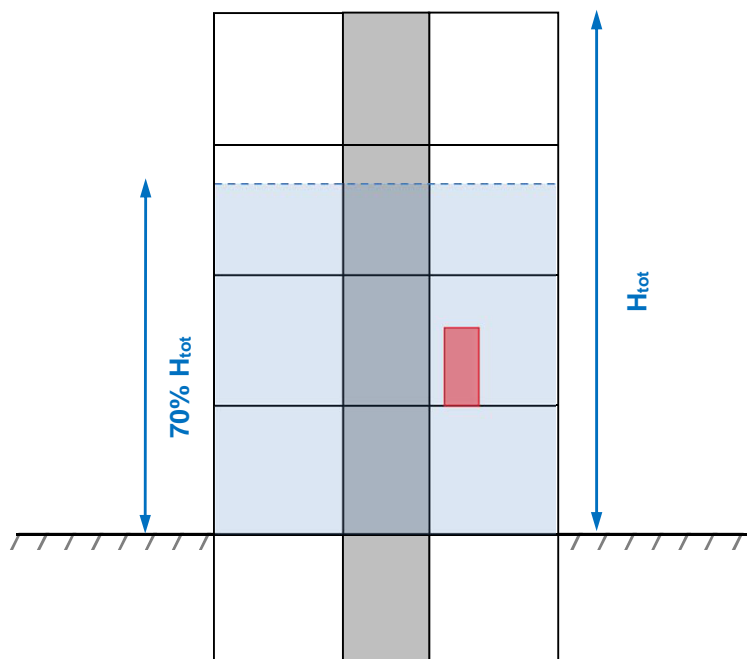
In diese Kategorie fallen Elemente, die starr mit dem Tragwerk verbunden sind. Die angegebenen Beschleunigungswerte können für den Nachweis der Erdbebensicherheit dieser Elemente sowie für die Dimensionierung der aussteifenden Elemente oder der Befestigungsmittel verwendet werden. Beispielsweise können 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 wird  $q_a = 1.5$  und  $T_a = T_1$  angesetzt.

Abb. A5.7 > Erläuterung zu den beiden Tabellen



**Tab. A5.8 > Richtwerte für die absolute Bauteilbeschleunigung**

$a_{\text{abs, oben}}$ für $z_i > 0.7 H_{\text{tot}}$		Erdbebenzone			
		Z1	Z2	Z3a	Z3b
Baugrundklasse	A	2.5 m/s <sup>2</sup>	4.0 m/s <sup>2</sup>	5.0 m/s <sup>2</sup>	6.0 m/s <sup>2</sup>
	B	3.0 m/s <sup>2</sup>	4.5 m/s <sup>2</sup>	6.0 m/s <sup>2</sup>	7.0 m/s <sup>2</sup>
	C	2.5 m/s <sup>2</sup>	4.5 m/s <sup>2</sup>	5.5 m/s <sup>2</sup>	7.0 m/s <sup>2</sup>
	D	3.0 m/s <sup>2</sup>	5.0 m/s <sup>2</sup>	6.5 m/s <sup>2</sup>	8.0 m/s <sup>2</sup>
	E	3.0 m/s <sup>2</sup>	5.5 m/s <sup>2</sup>	7.0 m/s <sup>2</sup>	8.5 m/s <sup>2</sup>

Die Richtwerte  $a_{\text{abs}}$  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 A5.9 angegeben.

**Tab. A5.9 > Richtwerte für die absolute Bauteilbeschleunigung**

$a_{\text{abs, oben}}$ für $z_i < 0.7 H_{\text{tot}}$		Erdbebenzone			
		Z1	Z2	Z3a	Z3b
Baugrundklasse	A	2.0 m/s <sup>2</sup>	3.0 m/s <sup>2</sup>	4.0 m/s <sup>2</sup>	5.0 m/s <sup>2</sup>
	B	2.5 m/s <sup>2</sup>	4.0 m/s <sup>2</sup>	5.0 m/s <sup>2</sup>	6.0 m/s <sup>2</sup>
	C	2.5 m/s <sup>2</sup>	3.5 m/s <sup>2</sup>	4.5 m/s <sup>2</sup>	6.0 m/s <sup>2</sup>
	D	2.5 m/s <sup>2</sup>	4.5 m/s <sup>2</sup>	5.5 m/s <sup>2</sup>	7.0 m/s <sup>2</sup>
	E	2.5 m/s <sup>2</sup>	4.5 m/s <sup>2</sup>	5.5 m/s <sup>2</sup>	7.0 m/s <sup>2</sup>

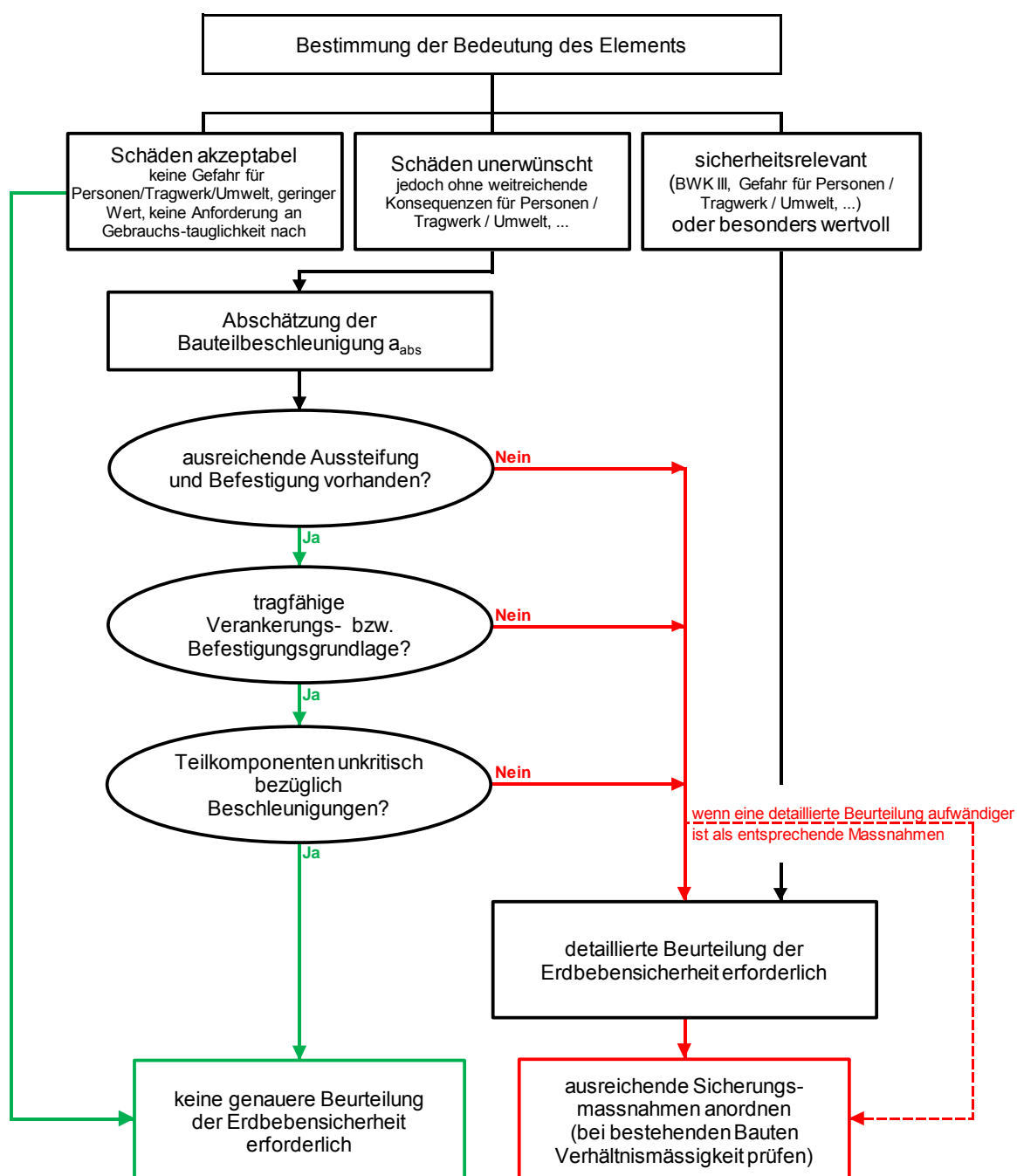
#### A5-2.2 Beispiel Steuerschrank:

- > Gesamtgewicht  $G_a = 5 \text{ kN} \rightarrow 500 \text{ kg}$ , Erdbebenzone Z1, Baugrundklasse A, oben im Gebäude
- > Gemäss Abb. A5.7: Keine Schäden am Steuerschrank nach Erdbebenereignis
- > Aus Tabelle A5.9: absolute Bauteilbeschleunigung  $a_{\text{abs, oben}} = 2.5 \text{ m/s}^2$
- > Auf Steuerschrank aufzubringende Horizontalkraft  $F_a = 125 \text{ kg} = 1.25 \text{ kN}$
- > Fragestellungen im Entscheidungsbaum weiterbearbeiten

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

Abb. A5.10 &gt; 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 A5.12 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**

$\delta$		Erdbebenzone			
		Z1	Z2	Z3a	Z3b
Baugrundklasse	A	0.4 %	0.6 %	0.8 %	0.9 %
	B	0.5 %	0.9 %	1.1 %	1.4 %
	C	0.6 %	1.0 %	1.3 %	1.6 %
	D	1.0 %	1.6 %	2.1 %	2.5 %
	E	0.6 %	1.0 %	1.3 %	1.6 %

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

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

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

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

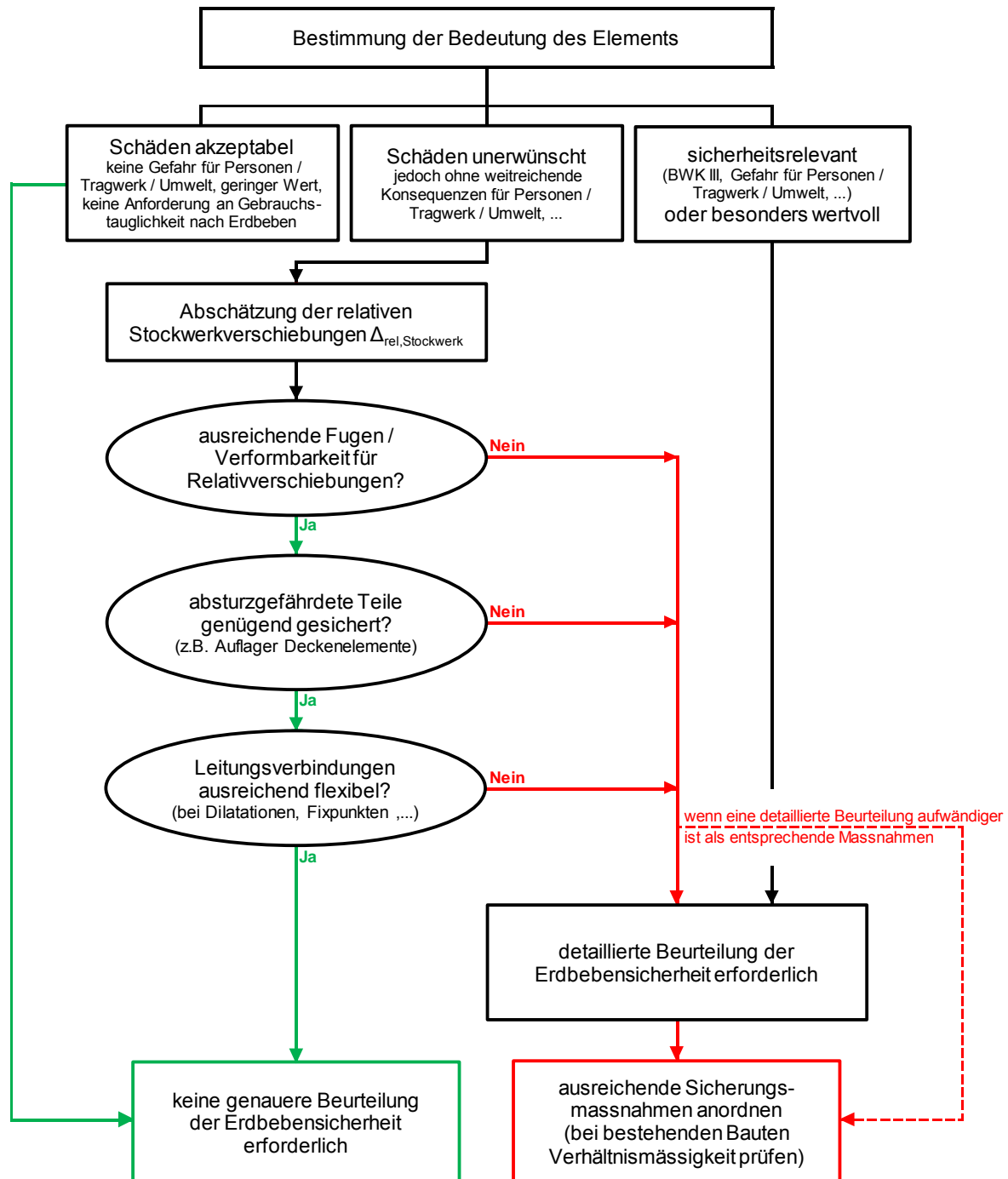
$\Delta_{\text{rel, Stockwerk}}$		Erdbebenzone			
		Z1	Z2	Z3a	Z3b
Baugrundklasse	A	12 mm	18 mm	24 mm	27 mm
	B	15 mm	27 mm	33 mm	42 mm
	C	18 mm	30 mm	39 mm	48 mm
	D	30 mm	48 mm	63 mm	75 mm
	E	18 mm	30 mm	39 mm	48 mm

## A5-3.2 Beispiel Fassadenelement:

- > Bauwerk mit Geschosshöhe von  $H_i = 3$  m, Erdbebenzone Z2, Baugrundklasse B
- > Gemäss Abb. A5.11: Keine Schäden an Fassadenelement nach Erdbebenereignis erwünscht
- > Aus Tabelle A5.13: relative Stockwerkverschiebung  $\Delta_{\text{rel, Stockwerk}} = 27$  mm
- > Fragestellungen im Entscheidungsbaum weiterbearbeiten.

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

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



**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  $\Delta_{\text{rel, Bauteil}}$** 

Für die Bauteilverschiebung relativ zum Befestigungspunkt  $\Delta_{\text{rel, Bauteil}}$  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  $\gamma_r$  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  $\Delta_{\text{rel, Bauteil}}$  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 A5.12 angegeben.

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

$\Delta_{\text{rel, Bauteil, oben}}$ für $z_i > 0.7 H_{\text{tot}}$		Erdbebenzone			
		Z1	Z2	Z3a	Z3b
Baugrundklasse	A	10 cm	15 cm	20 cm	25 cm
	B	15 cm	25 cm	30 cm	40 cm
	C	20 cm	30 cm	35 cm	45 cm
	D	25 cm	45 cm	55 cm	70 cm
	E	20 cm	30 cm	35 cm	45 cm

Die Richtwerte  $\Delta_{\text{rel, Bauteil}}$  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 A5.1 angegeben.

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

$\Delta_{\text{rel, Bauteil, unten}}$ für $z_1 < 0.7 H_{\text{tot}}$		Erdbebenzone			
		Z1	Z2	Z3a	Z3b
Baugrundklasse	A	7 cm	12 cm	15 cm	20 cm
	B	10 cm	20 cm	25 cm	30 cm
	C	15 cm	20 cm	30 cm	35 cm
	D	20 cm	35 cm	45 cm	55 cm
	E	15 cm	20 cm	30 cm	35 cm

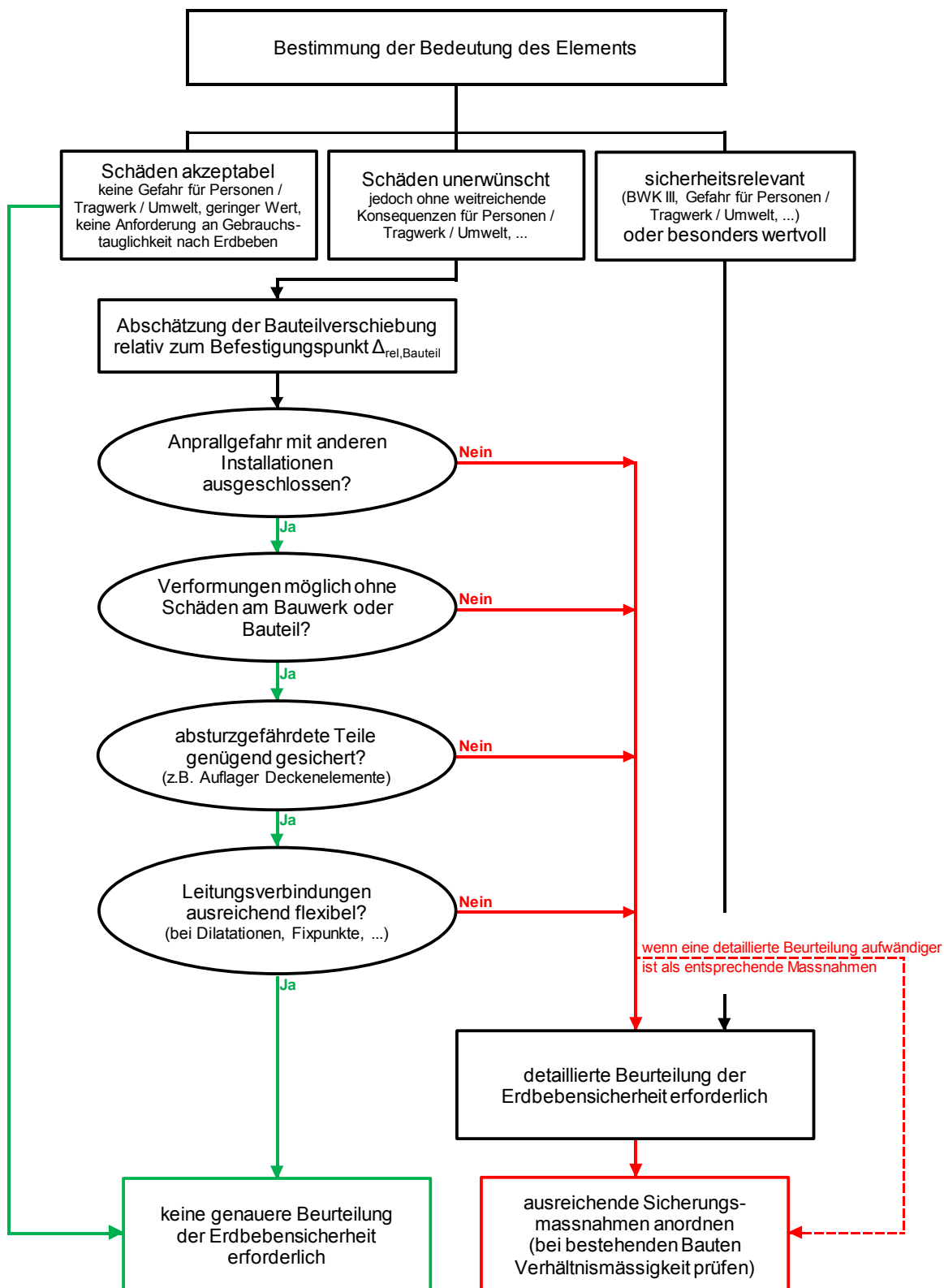
**A5-4.2 Beispiel abgehängte Rohrleitung:**

- > Oben im Gebäude, Erdbebenzone Z3a, Baugrundklasse D
- > *Gemäss Abb. A5.14:* Keine Schäden an Rohrleitung nach Erdbebenereignis erwünscht
- > *Aus Tabelle A5.15:* Bauteilverschiebung relativ zum Befestigungspunkt  $\Delta_{\text{rel, Bauteil}} = 55 \text{ cm}$
- > Fragestellungen im Entscheidungsbaum weiterbearbeiten.



Abb. A5.16 &gt; 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. BAFU (ehemals BWG Bundesamt für Wasser und Geologie). [www.bafu.admin.ch/publikationen/publikation/00799/index.html?lang=de](http://www.bafu.admin.ch/publikationen/publikation/00799/index.html?lang=de)
- [3] Bachmann H., Dazio A. 2002: D 0171 Erdbebengerechter Entwurf und Kapazitätsbemessung eines Gebäudes mit Stahlbetontragwänden. SIA/SGEB. [www.sgeb.ch/fachpublikationen/D0171/SIA\\_D0171.pdf](http://www.sgeb.ch/fachpublikationen/D0171/SIA_D0171.pdf)
- [4] Baudyn 2010: Erdbebensicherheit von Gebäuden – Rechts- und Haftungsfragen. Faltblatt 3. Stiftung für Baudynamik und Erdbeningenieurwesen. [www.baudyn.ch/de/publikationen/audyn-infomaterial](http://www.baudyn.ch/de/publikationen/audyn-infomaterial)
- [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. [www.caloes.ca.gov/PlanningPreparednessSite/Documents/Nonstructural EQ Hazards For Schools July2011.pdf](http://www.caloes.ca.gov/PlanningPreparednessSite/Documents/Nonstructural_EQ_Hazards_For_Schools_July2011.pdf)
- [6] Dazio A. et al. 2009: Erdbeben in L'Aquila, Italien 6. April 2009. Bericht der SGEB-Erkundungsmission. SGEB. [www.sgeb.ch/erkundungsmissionen/Aquila.pdf](http://www.sgeb.ch/erkundungsmissionen/Aquila.pdf)
- [7] ESTI Richtlinie Nr. 248 2015: Erdbebensicherheit der elektrischen Energieverteilung in der Schweiz. Eidgenössisches Starkstrominspektorat ESTI. [www.esti.admin.ch/de/dokumentation/publikationen.htm](http://www.esti.admin.ch/de/dokumentation/publikationen.htm)
- [8] FEMA E74 2012: Reducing the Risks of Nonstructural Earthquake Damage – A practical Guide. Federal Emergency Management Agency. [www.fema.gov/earthquake-publications/fema-e-74-reducing-risks-nonstructural-earthquake-damage](http://www.fema.gov/earthquake-publications/fema-e-74-reducing-risks-nonstructural-earthquake-damage)
- [9] FEMA 413 2004: Installing Seismic Restraints for Electrical Equipment. Federal Emergency Management Agency. [www.fema.gov/media-library/assets/documents/843](http://www.fema.gov/media-library/assets/documents/843)
- [10] FEMA 414 2004: Installing Seismic Restraints for Duct and Pipe. Federal Emergency Management Agency. [www.fema.gov/media-library-data/20130726-1445-20490-3498/fema\\_p\\_414\\_web.pdf](http://www.fema.gov/media-library-data/20130726-1445-20490-3498/fema_p_414_web.pdf)
- [11] FEMA 460 2005: Seismic Considerations for Steel Storage Racks Located in Areas Accessible to the Public. Federal Emergency Management Agency. [www.fema.gov/library/viewRecord.do?id=1439](http://www.fema.gov/library/viewRecord.do?id=1439)
- [12] Filiatrault A. et al. 2002: Guidelines, Specifications and Seismic Performance Characterization of Nonstructural Building Components and Equipment. [www.peer.berkeley.edu/publications/peer\\_reports/reports\\_2002/0205.pdf](http://www.peer.berkeley.edu/publications/peer_reports/reports_2002/0205.pdf)
- [13] HILTI 2003: Richtlinie für die erdbebensichere Ausführung von nicht-tragenden Bauteilen und Installationen.
- [14] Holmes W. 2010: Darfield Earthquake of September 4, 2010 – Nonstructural Damage. Earthquake Engineering Research Institute. [www.peer.berkeley.edu/events/2010/nz\\_eq\\_briefing/Holmes.pdf](http://www.peer.berkeley.edu/events/2010/nz_eq_briefing/Holmes.pdf)
- [15] Massey W., Megget L. 2007: Architectural Design for Earthquake. New Zealand Society for Earthquake Engineering. [www.nzsee.org.nz/db/PUBS/ADE2007.pdf](http://www.nzsee.org.nz/db/PUBS/ADE2007.pdf)
- [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. [www.eqclearinghouse.org/20100227-chile/wp-content/uploads/2010/04/Miranda-Mosqueda-Pekcan-Nonstructural-Brief-report.pdf](http://www.eqclearinghouse.org/20100227-chile/wp-content/uploads/2010/04/Miranda-Mosqueda-Pekcan-Nonstructural-Brief-report.pdf)
- [17] Paulay T., Priestley M.J.N. 1992: Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings. John Wiley & Sons, New York.
- [18] SIA102 2014: Ordnung für Leistungen und Honorare der Architekten und Architektinnen. Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein, Zürich.
- [19] SIA103 2014: Ordnung für Leistungen und Honorare der Bauingenieure und Bauingenieurinnen. Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein, Zürich.
- [20] SIA 108 2014: 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 2003: Norm SIA 260: Grundlagen der Projektierung von Tragwerken. Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein, Zürich.
- [24] SIA 261 2014: 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 Ingenieur- und Architekten-Verein, Zürich.

- 
- [27] SIA 2018 2004: Merkblatt SIA 2018: Überprüfung bestehender Gebäude bezüglich 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.  
[www.sgeb.ch/fachpublikationen/SIA\\_D0227d\\_IV.pdf](http://www.sgeb.ch/fachpublikationen/SIA_D0227d_IV.pdf)
- [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  
[www.eeri.org/wp-content/uploads/1-2012\\_%20NEC%20memphis%20asce%20cdm%20YW%20ECW.pdf](http://www.eeri.org/wp-content/uploads/1-2012_%20NEC%20memphis%20asce%20cdm%20YW%20ECW.pdf)
- [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.  
[www.bafu.admin.ch/publikationen/publikation/01013/index.html?lang=de](http://www.bafu.admin.ch/publikationen/publikation/01013/index.html?lang=de)
- [33] FEMA 412 2002: Installing Seismic Restraints for Mechanical Equipment. Federal Emergency Management Agency.  
[www.fema.gov/library/viewRecord.do?action=back&id=1557](http://www.fema.gov/library/viewRecord.do?action=back&id=1557)
- [34] Quake Hold Industrial Inc.  
[www.quakeholdindustrial.com/earthquake-preparedness-what-causes-earthquakes-index.html](http://www.quakeholdindustrial.com/earthquake-preparedness-what-causes-earthquakes-index.html)
- [35] USG 1983: Bundesgesetz über den Umweltschutz (Umweltschutzgesetz) [www.admin.ch/opc/de/classified-compilation/19830267/index.html](http://www.admin.ch/opc/de/classified-compilation/19830267/index.html)
- [36] StFV 1991: Verordnung über den Schutz vor Störfällen (Störfallverordnung) [www.admin.ch/opc/de/classified-compilation/19910033/index.html](http://www.admin.ch/opc/de/classified-compilation/19910033/index.html)
- [37] GSchG 1991: Bundesgesetz über den Schutz der Gewässer (Gewässerschutzgesetz) [www.admin.ch/opc/de/classified-compilation/19910022/index.html](http://www.admin.ch/opc/de/classified-compilation/19910022/index.html)
- [38] EN 81–80 2003: SNEL = Safety Norm for Existing Lifts, CEN COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION, CEN Brüssel
- [39] SIA 370.080 2004: 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 Bundesamts für Umwelt  
[www.bafu.admin.ch/naturgefahren/14806/14964/14969/index.html?lang=de](http://www.bafu.admin.ch/naturgefahren/14806/14964/14969/index.html?lang=de)
- [41] SIA 370.077 2013: Sicherheitsregeln für Konstruktion und Einbau von Aufzügen – Besondere Anwendungen für Personen- und Lastenaufzüge – Teil 77: Aufzüge unter Erdbebenbedingungen

# > Glossar

## **aufgezwungene Verformung**

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

## **Bauwerksklasse**

Schematische Charakterisierung von Bauwerken gemäss Norm SIA 261, 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 Spannungsrisse 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**

Massnahme zur Verbesserung der Erdbebensicherheit wie zur Verringerung des Erdbebenrisikos.

## **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 Chemie-ingenieurwesen).

## **Gebrauchstauglichkeit**

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 Referenzerdbebeneinwirkung 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.

## **nicht strukturell**

nicht Bestandteil des Tragwerks

## **Nutzungsvereinbarung**

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

**schwingungs isoliert**

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 gemäss SIA 261

### 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. 1.2 rechts: <sup>[8]</sup> Figure 2.4.1–1

Abb. 1.3 rechts: <sup>[8]</sup> Figure 6.3.1.4–3

Abb. 1.4: <sup>[2]</sup> Bild 11/3

Abb. 1.5 oben rechts: <sup>[8]</sup> Figure 6.4.3.5–2

Abb. 1.5 unten ganz links: <sup>[8]</sup> Figure 6.4.3.4–1

Abb. 1.5 unten links: <sup>[8]</sup> Figure 6.4.3.8–1

Abb. 1.5 unten rechts: <sup>[8]</sup> Figure 6.4.3.8–1

Abb. 1.5 unten ganz rechts: <sup>[8]</sup> Figure 6.4.3.4–1

Abb. 1.6: Jost Studer 2010

Abb. 1.7: SGEB Erkundungsmission 2012 (Blaise Duvernay)

Abb. 1.8 links: <sup>[8]</sup> Figure 6.5.1.1–1

Abb. 1.8 rechts: SGEB Erkundungsmission 2012 (Blaise Duvernay)

Abb. 1.9 oben links: <sup>[8]</sup> Figure 6.4.7.1–2

Abb. 1.9 oben rechts:  
[www.slowtrav.com/blog/palma/2012/06/being\\_in\\_italy\\_during\\_the\\_e\\_art.html](http://www.slowtrav.com/blog/palma/2012/06/being_in_italy_during_the_e_art.html)

Abb. 1.9 unten: <sup>[8]</sup> Figure 6.4.7.3–1

### Kapitel 2

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

Abb. 2.3.7 und 2.3.8: AGB Bautechnik AG

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

Abb. 2.5.1: <sup>[2]</sup> Bild 32/3, Abb. 2.5.2: <sup>[8]</sup> Figure 6.3.1.1–2, Abb. 2.5.3:  
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: <sup>[8]</sup> Figure 6.3.5.1–1, Abb. 2.6.2: <sup>[8]</sup> Figure 6.3.5.1–2,  
Abb. 2.6.3: SGEB Erkundungsmission 2009, Abb. 2.6.4: <sup>[8]</sup> Figure  
6.3.6.1–2, Abb. 2.6.6: <sup>[8]</sup> Figure 6.3.5.1–6

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

Abb. 2.8.1: Seismic Bracing of Non-Structural Components by Paul W.  
McMullin, SE, PhD Seismic Bracing of Non-Structural Components  
November 17, Abb. 2.8.2: <sup>[8]</sup> Figure 6.3.1.4–6, Abb. 2.8.3: <sup>[8]</sup> Figure

6.3.1.5–1, Abb. 2.9.1: <sup>[8]</sup> Figure 6.3.6.1–1, Abb. 2.9.2: SGEB Erkundungsmission 2009

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

Abb. 2.11.1: <sup>[40]</sup> Bild 3.4, Abb. 2.11.2: <sup>[7]</sup> Bild E.1, Abb. 2.11.3: <sup>[7]</sup> Bild E.2

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

## Anhang

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

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

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

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