

32
—
08

> Erdbebenertüchtigung von Bauwerken

Strategie und Beispielsammlung aus der Schweiz



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Bundesamt für Umwelt BAFU

32
—
08

> Erdbebenertüchtigung von Bauwerken

Strategie und Beispielsammlung aus der Schweiz

Impressum

Herausgeber

Bundesamt für Umwelt (BAFU)

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

Autoren

Thomas Wenk, Wenk Erdbebeningenieurwesen und Baudynamik GmbH, Zürich

Begleitung BAFU

Blaise Duvernay, Leiter der Koordinationsstelle für Erdbebenvorsorge des Bundes

Zitiervorschlag

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

Bildnachweis

S. 27: Ph. Truffer, Visp

S. 28 u. l.: A. Zachmann, Basel

S. 32 u., S. 33: R. Garcia-Vogel, Sion

S. 35, S. 36 u., S. 37, S. 38 u., S. 39: R. Peruzzi, Monthey VS

S. 40: Th. Berset, Effretikon ZH

S. 42 u.: O. Lateltin, Bern

S. 43: E. Lateltin, Fribourg

S. 44 u., S. 45: M. Karli, Bern

S. 46 o.: Hochbauamt des Kt. Bern

S. 47 o. r.: A. Fabris, Lugano

S. 48 u. r.: R. Schaub, Bern

S. 52 u., S. 56 u., S. 57: P. Zwicky, Zürich

S. 54 u., S. 55: T. Ulaga, Basel

S. 58 u., S. 59: F. Wolf, Zürich

S. 60 u. l., S. 61: Ph. Irniger, Winterthur

S. 62 u. l., S. 63: W. Borgogno, Balgach SG

S. 64 u. r., S. 65: J. Gasser, Crans-Montana VS

S. 67 u. l.: E. Molleyeres, Lausanne

S. 69 o. r.: W. Clausen, Naters VS

S. 74 u.: R. Zeller, Zürich

S. 76: M. Weidmann, Chur

alle übrigen Bilder: T. Wenk, Zürich

Download PDF

www.umwelt-schweiz.ch/uw-0832-d

(Eine gedruckte Fassung ist nicht erhältlich.)

Code: UW-0832-D

© BAFU 2008

> Inhalt

Abstracts	5		
Vorwort	7		
Einleitung	9		
<hr/>			
1	Umgang mit bestehenden Bauwerken	10	
1.1	Erdbebensicherheit bestehender Gebäude in der Schweiz	10	
1.2	Anlass für eine Überprüfung der Erdbebensicherheit	12	
1.2.1	Gebäudenutzung und Bauwerksklassen	12	
1.2.2	Prioritätensetzung	12	
1.2.3	Synergiepotenzial bei Umbauten und Sanierungen	13	
1.3	Überprüfung der Erdbebensicherheit gemäss Merkblatt SIA 2018	13	
1.4	Entscheidungsgrundlage für eine Erdbebenertüchtigung	14	
<hr/>			
2	Strategien zur Erdbebenertüchtigung	17	
2.1	Empfohlene Strategien	17	
<hr/>			
3	Beispielsammlung aus der Schweiz	22	
3.1	Polizeigebäude in Sion VS	24	
3.2	Feuerwehrgebäude in Visp VS	26	
3.3	Feuerwehrgebäude in Basel	28	
3.4	Unterwerk in Basel	30	
3.5	Wohn- und Geschäftshaus in Sion VS	32	
3.6	Schule CO in Monthey VS	34	
3.7	Schule ESC in Monthey VS	36	
3.8	Verwaltungsgebäude in St-Maurice VS	38	
3.9	Mehrzweckhalle in Oberdorf NW	40	
3.10	Wohnhaus mit Einkaufszentrum in Fribourg	42	
3.11	Verwaltungsgebäude in Bern	44	
3.12	Gymnasium Neufeld in Bern	46	
3.13	Schule in Ostermundigen BE	48	
3.14	Kinderklinik Aarau	50	
3.15	Hörsaalgebäude HPH der ETH Zürich	52	
3.16	Schule in Zürich	54	
3.17	Radiostudio Zürich	56	
3.18	EMPA-Verwaltungsgebäude in Dübendorf ZH	58	
3.19	Wohnhaus mit Einkaufszentrum in Winterthur	60	
3.20	Gymnasium Friedberg in Gossau SG	62	
3.21	Wohngebäude in Crans-Montana VS	64	
3.22	Hotel in Bussigny VD	66	
3.23	Brücke der Simplonstrasse A9 VS	68	
3.24	Flüssiggastank in Visp VS	70	
3.25	Wohnhaus in Kriessern SG	72	
3.26	Praktikumsgebäude HPP der ETH Zürich	73	
3.27	SIA-Hochhaus in Zürich	74	
<hr/>			
	Anhang		75
A1	Entwicklung der Erdbebenvorschriften in den Normen		75
A2	Kosten der Erdbebenertüchtigungen aus der Beispielsammlung		80
<hr/>			
	Verzeichnisse		82
	Abkürzungen		82
	Glossar		82
	Abbildungen		82
	Tabellen		83
	Literatur		83

> Abstracts

This publication provides a detailed insight in the problematic of the seismic upgrading of existing structures. The presentation of 24 examples of seismic upgrading projects in Switzerland illustrates the different possible strategies and gives suggestions and decision criteria on how to handle the complex problem of the seismic safety of existing structures. The publication is primarily aimed at structural engineers, but architects, building owners and homeowners will also find valuable information on the management of earthquake risk for existing structures.

Diese Publikation bietet einen vertieften Einblick in die Problematik der Erdbebenerüchtigung bestehender Bauwerke. Anhand von 24 Musterbeispielen ausgeführter Erdbebenerüchtigungsprojekte in der Schweiz werden mögliche Strategien anschaulich dargestellt sowie Anregungen und Entscheidungshilfen aufgezeigt, die zu einer optimalen Lösung dieser sehr anspruchsvollen Aufgabe führen sollen. Die Publikation richtet sich primär an in der Praxis tätige Bauingenieurinnen und -ingenieure, bietet aber auch für Architektinnen und Architekten, Bauherrinnen und -herren sowie Hauseigentümerinnen und -eigentümer wertvolle Informationen, wie mit dem Erdbebenrisiko bei bestehenden Bauwerken umgegangen werden kann.

Cette publication présente un aperçu détaillé de la problématique du confortement parasismique d'ouvrages existants. Les différentes stratégies possibles sont illustrées à l'aide de 24 exemples de projets réalisés en Suisse et des suggestions et des aides à la décision sont fournies pour savoir comment cette problématique très complexe peut être résolue de manière optimale. La publication s'adresse en premier lieu aux ingénieurs de la pratique, mais les architectes, les maîtres d'ouvrages et les propriétaires y trouvent également des informations utiles sur la gestion du risque sismique pour les ouvrages existants.

Questa pubblicazione offre un quadro dettagliato della problematica relativa al rafforzamento antisismico delle costruzioni esistenti. Con i suoi 24 esempi di progetti di rafforzamento antisismico realizzati in Svizzera, essa illustra le possibili strategie e fornisce consigli e supporti decisionali per la soluzione ottimale di questo problema complesso. La pubblicazione si rivolge in primo luogo agli ingegneri civili, ma anche gli architetti, i committenti e i proprietari di immobili possono trovarvi preziose informazioni su come gestire il rischio sismico delle costruzioni già esistenti.

Keywords:

Earthquakes, mitigation, existing structures, seismic upgrading, collection of examples, strategy, Switzerland

Stichwörter:

Erdbeben, Vorsorge, bestehende Bauwerke, Erdbebenerüchtigung, Beispielsammlung, Strategie, Schweiz

Mots-clés:

tremblements de terre, mitigation, ouvrages existants, confortement parasismique, recueil d'exemples, stratégie, Suisse

Parole chiave:

Terremoti, mitigazione, costruzioni esistenti, progetti di risanamento, raccolta di esempi, strategia, Svizzera

> Vorwort

Bis 2004 gab es in der Schweiz weder praktisch anwendbare Kriterien für die Beurteilung der Erdbebensicherheit bestehender Bauwerke noch eine kostenbezogene Beschreibung der Verhältnismässigkeit von Ertüchtigungsmassnahmen. Diese Lücke wurde geschlossen, indem mit Unterstützung der «Koordinationsstelle für Erdbebenvorsorge des Bundes» beim Bundesamt für Umwelt BAFU das neue Merkblatt SIA 2018 «Überprüfung der Erdbebensicherheit bestehender Gebäude bezüglich Erdbeben» eingeführt wurde. Seit dem Erscheinen dieses Merkblattes hat die Beachtung der Thematik Erdbebensicherheit und Erdbebenertüchtigung bestehender Bauwerke deutlich zugenommen.

Seit Dezember 2000, das heisst ab dem Inkrafttreten des Massnahmenprogramms des Bundes zur Erdbebenvorsorge, überprüft der Bund die Erdbebensicherheit der bestehenden Bauwerke in seinem Zuständigkeitsbereich. Bei bestehenden Bauwerken mit einer ungenügenden Sicherheit werden unter Berücksichtigung der Verhältnismässigkeit der Kosten systematisch Massnahmen getroffen. Auf kantonaler Ebene sind Überprüfungen der Erdbebensicherheit bestehender öffentlicher Bauwerke in den meisten Kantonen institutionalisiert und realisiert. Der Bund und rund die Hälfte der Kantone haben bereits Erdbebensicherungen an eigenen Bauwerken durchgeführt – oft im Rahmen von Umbauten oder Sanierungen.

Zurzeit verfügen die wenigsten Kantone über Gesetze oder Verordnungen, die das erdbebensichere Bauen von privaten Bauten explizit verankern. In den meisten Fällen ist es der Verantwortung der privaten Bauherrschaft und den Projektverantwortlichen überlassen, den Entscheid für eine Überprüfung und für eventuelle Ertüchtigungsmassnahmen eines bestehenden Bauwerks zu treffen. Im Vergleich zu den öffentlichen Bauwerken ist Erdbebenertüchtigung an bestehenden privaten Bauwerken noch eher selten.

Mit seinem Massnahmenprogramm übernimmt der Bund im Bereich Erdbebenvorsorge eine Rolle als Vorbild und Impulsgeber und unterstützt Kantone, Baufachleute, Versicherungen und Private mit methodischen Grundlagen und Expertisen. Das Bundesamt für Umwelt BAFU will mit dieser Publikation die gesammelten Erfahrungen im Bereich der Erdbebenertüchtigung bestehender Bauwerke in der Schweiz und die daraus resultierenden Erkenntnisse weitergeben. Primäre Zielgruppe sind Baufachleute im Bereich Planung und Konstruktion, Bauherrschaften sowie Hausbesitzerinnen und -besitzer.

Andreas Götz
Vizedirektor
Bundesamt für Umwelt (BAFU)

> Einleitung

Die vorliegende Publikation richtet sich primär an in der Praxis tätige Bauingenieurinnen und Bauingenieure. Anhand von Musterbeispielen ausgeführter Ertüchtigungsprojekte in der Schweiz werden mögliche Strategien zur Erdbebenertüchtigung anschaulich dargestellt sowie Anregungen und Entscheidungshilfen aufgezeigt, um diese sehr anspruchsvolle Aufgabe optimal zu lösen. Architektinnen und Architekten, Bauherren sowie Hauseigentümerinnen und -eigentümer erhalten wertvolle Informationen, wie mit dem Erdbebenrisiko – einer bedeutenden Naturgefahr in der Schweiz – bei bestehenden Bauwerken umgegangen werden soll.

Im ersten Kapitel über den Umgang mit bestehenden Bauwerken werden die Themen Erdbebensicherheit bestehender Bauwerke, Anlass für eine Überprüfung und risikobasierte Entscheidungsgrundlagen für eine Ertüchtigung gemäss Merkblatt SIA 2018 «Überprüfung bestehender Gebäude bezüglich Erdbeben» erläutert.

Das zweite Kapitel widmet sich möglichen Strategien zur Erdbebenertüchtigung. Abhängig von unterschiedlichen Randbedingungen werden zweckmässige Strategien zur Verbesserung der Erdbebensicherheit bestehender Bauwerke dargestellt.

Das dritte und zentrale Kapitel der Publikation besteht aus einer Beispielsammlung von 24 bestehenden Bauwerken in der Schweiz, die in den letzten Jahren mit baulichen Massnahmen erdbebenertüchtigt wurden. Mit typischen Fotos und Skizzen der wesentlichen konzeptionellen und konstruktiven Aspekte der Ertüchtigung wird jedes Bauwerk auf einer Doppelseite kurz vorgestellt. Zusätzlich werden die Themen *Schwachstellen bezüglich Erdbebenverhalten im Ist-Zustand, Ertüchtigungskonzept, besondere Randbedingungen* und *Veranlassung zur Ertüchtigung* beschrieben. Zum Abschluss werden einige charakteristische Kenndaten wie Baujahr, Nutzung, Gebäudewert Bauwerksklasse, Erdbebenzone, Baugrundklasse, Erfüllungsfaktor und Kosten der Ertüchtigung tabellarisch zusammengefasst.

Für die Beispielsammlung wurden unterschiedlichste Gebäude ausgewählt, um die Thematik bezüglich Nutzung, Bauweise, Baugrund, Erdbebenzone und Ertüchtigungskonzept möglichst umfangreich abzudecken. Neben den Gebäuden wurde zusätzlich je ein Beispiel einer Strassenbrücke und eines Flüssiggastanks aufgenommen, um ebenfalls einen Einblick in besondere Aspekte andersartiger Bauwerke zu geben. Den Abschluss der Beispielsammlung bilden drei Gebäude, deren Ist-Zustand als genügend erdbebensicher akzeptiert werden konnte – ein durchaus häufiges Resultat bei der Überprüfung bestehender Bauwerke in der Schweiz.

Im Anhang werden fachspezifischere Informationen wie die geschichtliche Entwicklung der Erdbebenvorschriften in den Normen und die Ertüchtigungskosten der Beispiele zusammengestellt.

1 > Umgang mit bestehenden Bauwerken

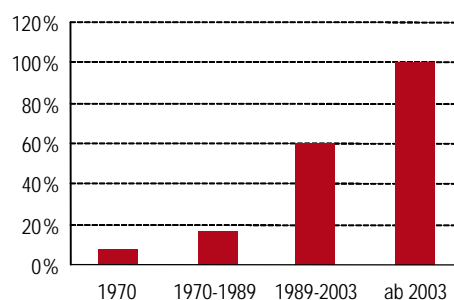
In den letzten Jahren wurden die Erdbebenbestimmungen in den Baunormen deutlich verschärft. Wegen der verbreiteten Nichteinhaltung dieser Vorschriften stellt sich aber die Frage der Erdbebensicherheit nicht nur bei älteren Bauten, sondern auch bei neueren Gebäuden. Die Folge ist Handlungsbedarf sowohl auf öffentlicher wie auch auf privater Ebene. Um Klarheit über die Notwendigkeit einer Ertüchtigung zu schaffen, sind bestehende Gebäude generell bezüglich Erdbeben zu überprüfen.

1.1 Erdbebensicherheit bestehender Gebäude in der Schweiz

Nach der Einführung der ersten Erdbebenbestimmungen in den Tragwerksnormen des Schweizerischen Architekten- und Ingenieur-Vereins (SIA) im Jahre 1970 (SIA 160, 1970) wurden die Anforderungen in den späteren Normengenerationen von 1989 und 2003 weiter verschärft. Die Hintergründe dafür waren neue Erkenntnisse im Erdbebeningenieurwesen und in der Seismologie. In Abbildung 1 wird exemplarisch die Entwicklung der horizontalen Bemessungskräfte für Erdbeben- und Windeinwirkungen eines 4-stöckigen Mehrfamilienhauses aus Mauerwerk seit 1970 aufgezeigt. Eine detailliertere Beschreibung der geschichtlichen Entwicklung der Erdbebenbestimmungen findet sich in Anhang A1.

Abb. 1 > Entwicklung der horizontalen Bemessungskräfte für ein typisches Wohngebäude

Relative Grösse der horizontalen Bemessungskräfte in Längsrichtung eines 4-stöckigen Mehr-familienhauses aus Mauerwerk im Mittelland (Erdbebenzone Z1). Vor 1970 sind die Bemessungskräfte infolge Wind, nach 1970 diejenigen infolge Erdbeben massgebend.

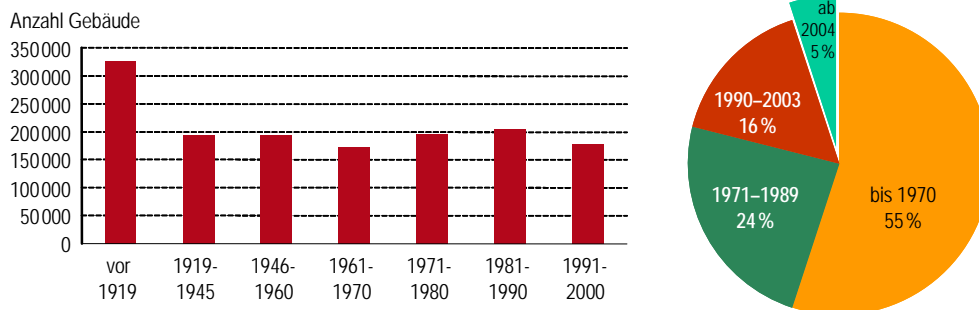


Der Gebäudebestand in der Schweiz hat sich seit 1970 kaum erneuert. Abbildung 2 zeigt die Verteilung des Gebäudebestandes nach Erdbebenormengenerationen basierend auf den Daten der Eidgenössischen Volkszählung aus dem Jahre 2000 (BFS 2004). 55 % aller Gebäude wurden vor Inkrafttreten der ersten Erdbebenbestimmungen in der Norm SIA 160 (1970) erstellt. 24 % fallen in die Zeit zwischen 1971 und 1989. Lediglich 21 % wurden seit 1990 nach aus heutiger Sicht modernen Erdbebennormen

erbaut. Und nur 5 % davon sind gemäss der heute gültigen Normengeneration von 2003 erstellt worden. Es muss jedoch auch bei diesen Gebäuden davon ausgegangen werden, dass aufgrund einer Unterschätzung des Erdbebenrisikos und einer ungenügenden rechtlichen Verpflichtung die Erdbebenvorschriften der Normen oft nicht eingehalten wurden.

Abb. 2 > Gebäudebestand in der Schweiz

Verteilung des Gebäudebestandes nach Bauperioden (links) und nach SIA-Normengenerationen (rechts).



Dank konstruktiver Aspekte und Windbemessung weisen ältere Gebäude, die nicht auf seismische Einwirkungen ausgelegt wurden, einen gewissen Grundschutz gegen Erdbeben auf. Es ist jedoch davon auszugehen, dass viele ältere Bauten und vor allem diejenigen mit typischen Schwachstellen bezüglich Erdbebenverhalten die Anforderungen der heutigen Normen nicht erfüllen. Die wichtigsten und in der Schweiz am häufigsten beobachteten **Schwachstellen** mit negativen Folgen auf das Erdbebenverhalten sind (siehe auch Abb. 3):

> **Horizontal weiches Geschoss oder «Soft-Storey»**

Oft werden die massiveren Aussteifungen der oberen Geschosse, wie Wände, im Erdgeschoss weggelassen. Die verbleibenden Stützen im Erdgeschoss genügen nicht, um die Erdbebenbeanspruchungen zu übernehmen.

> **Unsymmetrische Aussteifungen**

Bei im Grundriss unsymmetrisch angeordnetem Aussteifungssystem entsteht bei Erdbeben zusätzlich eine Verdrehung des Gebäudes. Dies kann zu frühzeitigem Versagen führen.

> **Mauerwerksbauten ohne aussteifende Stahlbetonwände**

Aufgrund der einfachen Handhabung und der günstigen bauphysikalischen Eigenschaften ist Mauerwerk im Wohnungsbau weit verbreitet. Unbewehrtes Mauerwerk ist jedoch wegen seiner geringen Zugfestigkeit und des spröden Bruchverhaltens weniger geeignet für Erdbebenbeanspruchungen.

Abb. 3 > Typische Schwachstellen bezüglich Erdbebenverhalten

Gebäude mit horizontal weichem Erdgeschoss (Musterbeispiel 5: Wohn- und Geschäftshaus in Sion)



Gebäude mit unsymmetrischer Aussteifung (Musterbeispiel 15: Hörsaalgebäude der ETH Zürich)



Gebäude aus unbewehrtem Mauerwerk (Musterbeispiel 7: Schule in Monthey)

**1.2 Anlass für eine Überprüfung der Erdbebensicherheit**

Aufgrund der mehrmaligen Verschärfung der Erdbebenbestimmungen in den SIA-Tragwerksnormen während der letzten Jahrzehnte sollten bestehende Gebäude unabhängig von geplanten Sanierungen und Umbauten überprüft werden. Bei einem grösseren Bauwerksbestand empfiehlt sich eine risikogerechte Prioritätensetzung.

1.2.1 Gebäudenutzung und Bauwerksklassen

Gemäss Norm SIA 261 «Einwirkungen auf Tragwerke» (SIA 261, 2003) sind Gebäude in eine von drei **Bauwerksklassen (BWK)** einzuteilen. Mit dieser Einteilung wird der Schutzgrad bezüglich Erdbebensicherheit festgelegt. Kriterien für die Wahl einer Bauwerksklasse sind die mittlere Personenbelegung, das Schadenspotenzial, die Gefährdung der Umwelt und die Bedeutung des Bauwerks für die Katastrophenbewältigung unmittelbar nach einem Erdbeben. Normale Wohn- und Geschäftsgebäude werden in BWK I eingeteilt. Gebäude mit einer hohen Personenbelegung werden in BWK II und so genannte Lifeline-Gebäude mit lebenswichtigen Infrastrukturfunktionen, wie Feuerwehrgebäude, Ambulanzgaragen oder Akutspitäler, in die höchste BWK III eingestuft. Abbildung 4 zeigt typische Gebäudebeispiele für die drei Bauwerksklassen.

1.2.2 Prioritätensetzung

Bedeutendere Bauwerke, das heisst BWK II und insbesondere BWK III, sollten unabhängig von der längerfristigen allgemeinen Erhaltungsplanung systematisch auf ihre Erdbebensicherheit überprüft und falls erforderlich ertüchtigt werden. Damit werden die Bauwerke mit dem grössten Risikopotenzial systematisch erfasst und behandelt.

Dazu werden stufenweise Verfahren mit steigender Bearbeitungstiefe empfohlen, die mit geeigneten Filterkriterien die kritischen Gebäude identifizieren und gleichzeitig eine allgemeine Inventarisierung erlauben. Die Dringlichkeit und der Umfang von Überprüfungen und Ertüchtigungen können dadurch risikogerecht geplant werden (BWG 2005, BWG 2006). Im Rahmen solcher systematischer Überprüfungen von Gebäudebeständen wird empfohlen, Gebäude in höheren Gefährdungszonen (Erdbebenzonen Z2, Z3a und Z3b gemäss Norm SIA 261) prioritär zu untersuchen (siehe Anhang 1).

1.2.3 Synergiepotenzial bei Umbauten und Sanierungen

Nach Möglichkeit sollten Massnahmen zur Erdbebenertüchtigung zusammen mit Umbauten und Sanierungen realisiert werden, um Synergien zu nutzen. Die Kosten der Erdbebenertüchtigung können so erheblich gesenkt werden. Wenn für ein Gebäude bauliche Massnahmen wie Instandsetzungen oder Umbauten geplant sind, sollte die Überprüfung auch die Erdbebensicherheit umfassen, um erforderliche Massnahmen frühzeitig in die Planung einbeziehen zu können.

Abb. 4 > Beispiele für die drei Bauwerksklassen gemäss Norm SIA 261

Bauwerksklasse I (Musterbeispiel 25: Wohnhaus in Kriessern SG)

Bauwerksklasse II (Musterbeispiel 13: Schule in Ostermündigen BE)

Bauwerksklasse III (Musterbeispiel 3: Feuerwehrgebäude in Basel)



1.3

Überprüfung der Erdbebensicherheit gemäss Merkblatt SIA 2018

Ob ein bestehendes Gebäude die heutigen Erdbebenbestimmungen in den SIA-Tragwerksnormen erfüllt, wird anhand einer Überprüfung gemäss Merkblatt SIA 2018 (2004) «Überprüfung bestehender Gebäude bezüglich Erdbeben» beurteilt. Falls das bestehende Gebäude die heutigen Normen nicht voll erfüllt, besteht nicht automatisch die Verpflichtung, Ertüchtigungsmassnahmen umzusetzen. Anhand der Kosten baulicher Massnahmen ist im konkreten Einzelfall abzuklären, ob diese in Bezug auf die zu erwartende Risikoreduktion *verhältnismässig* beziehungsweise *zumutbar* sind. Dazu

enthält das Merkblatt SIA 2018 (2004) die erforderlichen Regeln der risikobasierten Beurteilung der Erdbebensicherheit.

Im ersten Schritt der Überprüfung, der sogenannten Zustandserfassung, ist der Erfüllungsfaktor α_{eff} das wichtigste Resultat. Er beschreibt mit einer Zahl in welchem Mass die Anforderungen an Neubauten bezüglich Erdbebensicherheit gemäss den geltenden SIA-Tragwerksnormen erfüllt sind. Dazu wird der normengemässe Widerstand beziehungsweise das Verformungsvermögen R_d den normengemässen Auswirkungen E_d der Bemessungssituation Erdbeben gegenübergestellt.

$$\alpha_{eff} = R_d / E_d$$

Erreicht der Erfüllungsfaktor α_{eff} eines bestehenden Gebäudes einen Wert grösser oder gleich eins ($\alpha_{eff} \geq 1,0$ oder 100 %), werden die normengemässen Anforderungen für Neubauten vollständig erfüllt. Dieser Fall ist weiter kein Problem, und der Ist-Zustand kann als genügend erdbebensicher akzeptiert werden.

Bei bestehenden Bauten ist der Erfüllungsfaktor α_{eff} jedoch meist kleiner als eins, das heisst die Anforderungen an Neubauten werden nur zum Teil erfüllt. Die Notwendigkeit von Ertüchtigungsmassnahmen ist demnach aufgrund risikobasierter Entscheidungskriterien abzuklären, wie in Kapitel 1.4 erklärt. Massgebend für die Gesamtbeurteilung der Erdbebensicherheit ist der kleinste Wert der Erfüllungsfaktoren α_{eff} von allen betrachteten Bauteilen des Gebäudes.

1.4

Entscheidungsgrundlage für eine Erdbebenertüchtigung

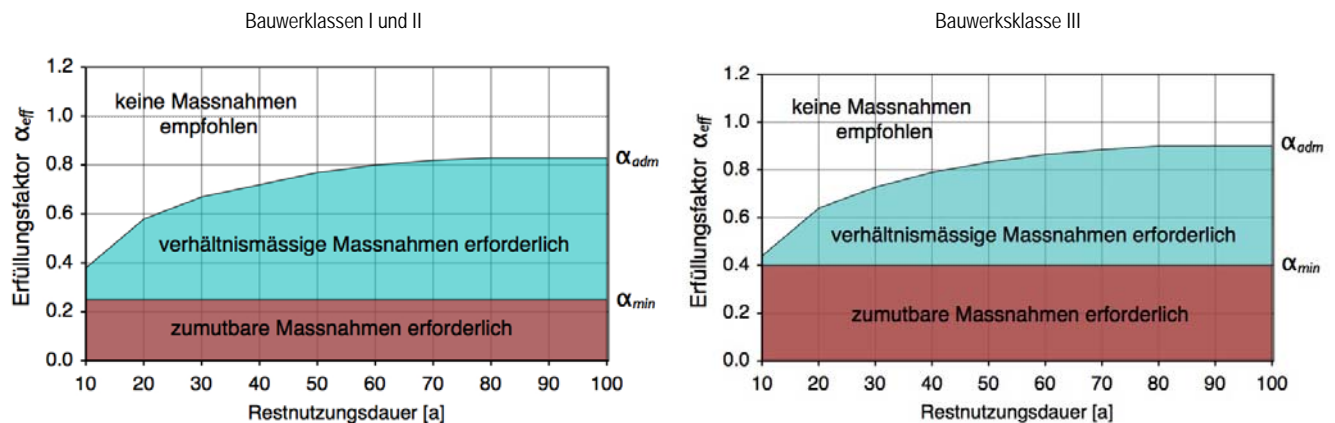
Für bestehende Gebäude ist grundsätzlich der normengemässe Zustand für Neubauten zu erreichen, das heisst es sollte ein Erfüllungsfaktor α_{eff} grösser als eins erzielt werden. Verursachen die zur Erreichung dieses Zustands erforderlichen Ertüchtigungsmassnahmen unverhältnismässige Kosten, sind gemäss Merkblatt SIA 2018 (2004) Massnahmen so weit zu ergreifen, als sie noch *verhältnismässig* beziehungsweise *zumutbar* sind.

Im Rahmen der Überprüfung eines bestehenden Bauwerks wird aufgrund betrieblicher und wirtschaftlicher Betrachtungen eine *Restnutzungsdauer* als Zeitspanne festgelegt, über die Tragsicherheit und die Gebrauchstauglichkeit sichergestellt sein sollen. Sie liegt bei Gebäuden typischerweise im Bereich von 20 bis 50 Jahren. Am Ende der Restnutzungsdauer wird eine weitere Überprüfung fällig.

Bezüglich der Notwendigkeit von Massnahmen zur Erdbebenertüchtigung werden je nach Grösse des Erfüllungsfaktors α_{eff} , der Bauwerksklasse des Gebäudes und der angenommenen Restnutzungsdauer folgende drei Fälle unterschieden (Abb. 5):

Abb. 5 > Massnahmenempfehlungen gemäss Merkblatt SIA 2018

Notwendigkeit von Massnahmen zur Erdbebenertüchtigung bei Bauwerksklasse I und II (links) und Bauwerksklasse III (rechts) in Funktion des Erfüllungsfaktors α_{eff} und der Restnutzungsdauer des Gebäudes gemäss SIA 2018.



1. Fällt der Erfüllungsfaktor α_{eff} bei der BWK I oder II unter den unteren Schwellenwert $\alpha_{min} = 0,25$, wird das Individualrisiko als nicht mehr akzeptierbar betrachtet, und es werden Ertüchtigungsmassnahmen erforderlich, soweit deren Kosten *zumutbar* bleiben.

Rettungskosten, die höchstens 100 Millionen Franken pro gerettetes Menschenleben betragen, werden als *zumutbar* betrachtet. Kann auch mit zumutbaren Kosten kein akzeptierbares Individualrisiko erreicht werden, so ist das Risiko mit betrieblichen Massnahmen zu beschränken.

Bei BWK III ist der untere Schwellenwert mit $\alpha_{min} = 0,40$ höher angesetzt. Eine minimale Funktionstüchtigkeit des Gebäudes im Rahmen der Katastrophenbewältigung soll dadurch sichergestellt werden.

2. Liegt der Erfüllungsfaktor α_{eff} zwischen den Schwellenwerten α_{min} und α_{adm} , sind die Personenrisiken durch Ertüchtigungsmassnahmen zu reduzieren, soweit deren Kosten *verhältnismässig* bleiben.
Rettungskosten von maximal 10 Millionen Franken pro gerettetes Menschenleben werden als *verhältnismässig* betrachtet.
3. Übersteigt der Erfüllungsfaktor α_{eff} den oberen Schwellenwert α_{adm} , so kann der bestehende Zustand akzeptiert werden.

Die Verhältnismässigkeit und die Zumutbarkeit einer Massnahme zur Erdbebenertüchtigung werden gemäss Merkblatt SIA 2018 (2004) durch eine Gegenüberstellung von Kosten und Nutzen unter Berücksichtigung der Sicherheitsansprüche des Individuums beurteilt. Bei den Kosten werden die Massnahmenkosten zur Erhöhung der Erdbebensicherheit unter dem Begriff *Rettungskosten* erfasst. Beim Nutzen wird die Reduktion der Personenrisiken in Form von vermiedenen Todesopfern betrachtet. Als *verhältnismässig* gelten Massnahmen mit Rettungskosten bis 10 Millionen Franken und *zumutbar* mit Rettungskosten bis 100 Millionen Franken pro gerettetes Menschenleben.

Die Abgrenzung zwischen Verhältnismässigkeit und Zumutbarkeit erfolgt aufgrund des Individualrisikos, das heisst der Wahrscheinlichkeit, mit der eine einzelne Person, die sich rund um die Uhr im Gebäude aufhält, infolge Erdbebens den Tod erleidet. Das Individualrisiko ist akzeptierbar, wenn es den Wert 10^{-5} pro Jahr nicht überschreitet. Bei einem Erfüllungsfaktor α_{eff} grösser als 0,25 ist dies der Fall.

Die Risikoreduktion wird aus der Erhöhung des Erfüllungsfaktors infolge der betrachteten Massnahme und der Personenbelegung des Gebäudes berechnet. Die Personenbelegung wird als Mittelwert der sich über ein Jahr im Gebäude aufhaltenden Personen bestimmt. Oft ergeben sich mehrere Ertüchtigungsvarianten mit verhältnismässigen oder zumutbaren Kosten. Für die bauliche Umsetzung sollte diejenige Variante ausgewählt werden, die den höchsten Erfüllungsfaktor erzielt.

Eine ausführliche Erläuterung der im Merkblatt SIA 2018 (2004) normierten risikobasierten Beurteilung der Erdbebensicherheit ist in (SIA D 0211, 2005) und (BWG 2005) zu finden. Die Einhaltung des Merkblatts SIA 2018 und der übrigen Erdbebenbestimmungen in den SIA-Tragwerksnormen ist für die Bau- und Liegenschaftsorgane des Bundes in Weisungen des Eidgenössischen Finanzdepartementes geregelt (EFD 2008). Anderen Baubeteiligten und Eigentümern wird empfohlen, diese Weisungen ebenfalls zu beachten.

2 > Strategien zur Erdbebenertüchtigung

Das Ziel der Erdbebenertüchtigung ist die Verbesserung des Erdbebenverhaltens eines Bauwerks. Dafür können verschiedene Strategien eingesetzt werden. Die Wahl der optimalen Ertüchtigungsstrategie setzt ein gutes Verständnis des dynamischen Bauwerksverhaltens und eine Abstimmung auf die zukünftige Nutzung voraus.

Bei der Ertüchtigung für die dynamische Einwirkung Erdbeben sind einige Besonderheiten gegenüber der Vorgehensweise bei den üblichen baulichen Verstärkungsmassnahmen für statische Lasten zu beachten. Eine erdbebengerechte Ertüchtigung sollte optimal auf das Zusammenwirken der drei Tragwerkseigenschaften *Steifigkeit*, *Tragwiderstand* und *Verformungsvermögen* abgestimmt sein. Zu vermeiden sind Ertüchtigungsstrategien, die zu stark auf die Veränderung einer einzelnen Tragwerkseigenschaft fokussiert sind, ohne dabei mögliche negative Auswirkungen auf andere Eigenschaften zu berücksichtigen.

Das primäre Ziel der Ertüchtigung sollte die Korrektur der Hauptschwachstelle bezüglich Erdbebenverhalten sein. Wichtige Aspekte sind ausserdem die Verbindung zwischen neuen und bestehenden Bauteilen sowie die Weiterleitung der Beanspruchungen über die Foundation in den Baugrund.

Ferner muss die Ertüchtigungsstrategie auf die zukünftige Nutzung des Gebäudes abgestimmt sein. In gewissen Fällen kann mit den erforderlichen neuen Bauteilen die Nutzung ebenfalls verbessert werden.

2.1 **Empfohlene Strategien**

Die im Folgenden vorgestellten Ertüchtigungsstrategien mit Ausnahme der Strategie 1 «Regularität verbessern» beschränken sich der Einfachheit halber auf die Veränderung einer einzigen Tragwerkseigenschaft (Tragwiderstand, Duktilität, Steifigkeit, Dämpfung und Masse). In der Praxis lässt sich jedoch die Veränderung einer einzigen Tragwerkseigenschaft meist nicht realisieren. Daher kommen oft mehrere Strategien kombiniert zur Anwendung.

Das Tragwerksverhalten vor und nach Umsetzung einer der Ertüchtigungsstrategien wird mithilfe von Kapazitätskurven illustriert. Eine Kapazitätskurve stellt vereinfachend den Verlauf der horizontalen Ersatzkraft in Funktion der horizontalen Verschiebung des Gebäudes dar und ermöglicht einen Vergleich zwischen dem Verformungsvermögen des Gebäudes und dem Verformungsbedarf aus der Erdbebeneinwirkung. Ausführliche Erläuterungen dazu sind in (SIA D 0211, 2005) zu finden.

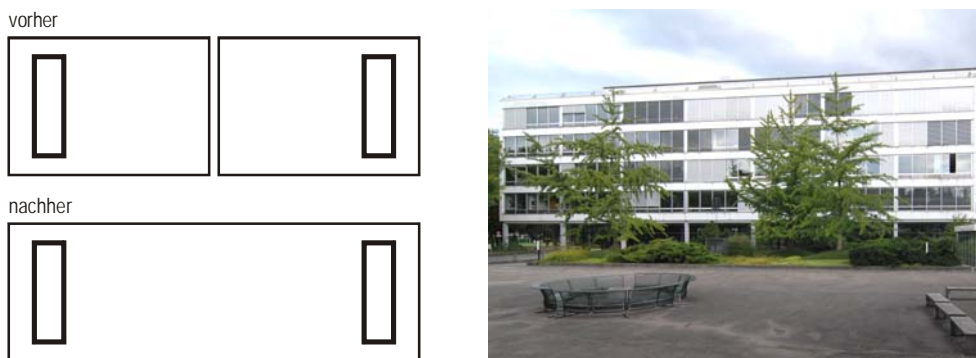
Strategie 1: Regularität verbessern

Grundsätzlich ist mit jeder baulichen Ertüchtigung eine Verbesserung der Regularität oder Regelmässigkeit der Verteilung von Steifigkeit, Tragwiderstand und Masse im Aufriss und Grundriss des Tragwerks anzustreben. Die neuen Bauteile sollen so eingepasst werden, dass ein regelmässigeres Tragwerk entsteht.

Ein einfaches Beispiel für diese Strategie ist der Fugenschluss zwischen zwei ursprünglich von einander getrennten Gebäudeteilen mit jeweils exzentrischem Aussteifungssystem zu einem symmetrisch ausgesteiften Gesamtragsystem wie es beim Berner Gymnasium Neufeld (Beispiel 12) realisiert wurde (Abb. 6). Eine weitere Anwendung dieser Ertüchtigungsstrategie erfolgte beim Hörsaalgebäude HPH der ETH Zürich (Beispiel 15), wo durch ein neues Stahlfachwerk im Erdgeschoss die Regelmässigkeit im Grundriss und im Aufriss wesentlich verbessert wurde.

Abb. 6 > Ertüchtigungsstrategie «Regularität verbessern»

Durch die Schliessung der bestehenden Dilatationsfuge entsteht aus zwei exzentrisch ausgesteiften Gebäudeteilen (vorher) ein durch zwei aussenliegende Stahlbetonkerne zentrisch ausgesteiftes Gebäude (nachher), wie links im Grundriss schematisch dargestellt.



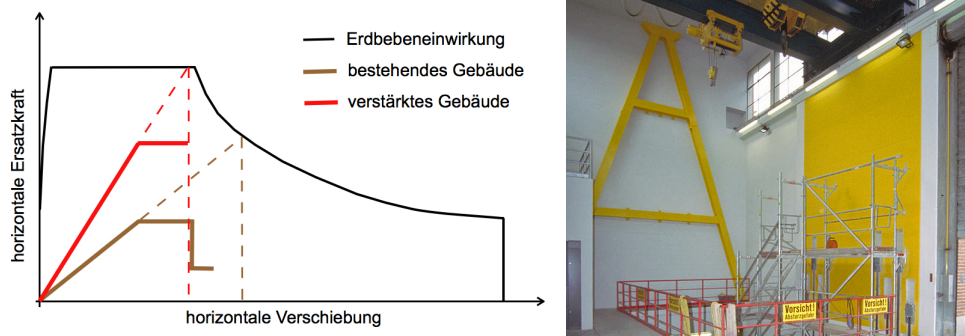
Strategie 2: Verstärken

Die klassische Ertüchtigungsstrategie ist die Verstärkung des bestehenden Tragwerks durch neue Bauteile oder durch Aufdoppelung bestehender Bauteile, zum Beispiel durch neue Stahlbetonwände oder Stahlfachwerke. Damit werden der Tragwiderstand und die Steifigkeit erhöht, während sich das Verformungsvermögen praktisch nicht verändert. Dank der höheren Steifigkeit lässt sich der Verschiebungsbedarf aus der Erdbebeneinwirkung auf das vorhandene Verschiebungsvermögen reduzieren.

Das Kraftverschiebungsverhalten der Strategie «Verstärken» anhand der sogenannten Kapazitätskurven des bestehenden und des verstärkten Gebäudes ist schematisch in Abbildung 7 dargestellt. Diese Strategie wurde bei den Musterbeispielen am häufigsten angewandt. Ein Beispiel dazu ist das in Abbildung 7 gezeigte Unterwerk der Industriellen Werke Basel (IWB) mit der Verstärkung durch das gelbe Fachwerk und die gelbe Stahlbetonwand.

Abb. 7 > Kapazitätskurven bei der Ertüchtigungsstrategie «Verstärken»

Die Kapazitätskurven des bestehenden und des verstärkten Gebäudes dargestellt als horizontale Ersatzkraft in Funktion der horizontalen Verschiebung im Vergleich mit den Anforderungen aus der Erdbebeneinwirkung.

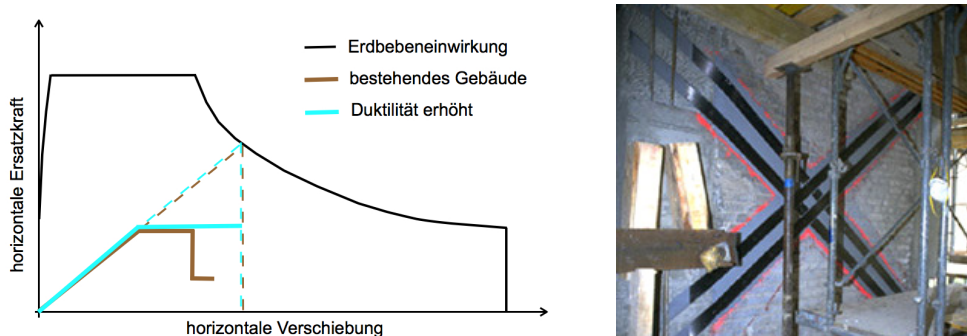


Strategie 3: Duktilität erhöhen

Die Duktilität ist das plastische Verformungsvermögen über die Fließgrenze, das heisst die Grenze des elastischen Verformungsvermögens, hinaus. Spröde Bauteile, wie zum Beispiel Mauerwerkswände, können mittels nachträglich aufgeklebter Lamellen wesentlich duktiler gemacht werden. Damit wird das gesamte Verformungsvermögen (elastisch und plastisch) erhöht, während Tragwiderstand und Steifigkeit nur geringfügig zunehmen (Abb. 8).

Abb. 8 > Kapazitätskurven bei der Strategie «Duktilität erhöhen»

Die Erhöhung der Duktilität bewirkt ein grösseres plastisches Verformungsvermögen, das heisst einen längeren horizontalen Ast der Kapazitätskurve, um den Verschiebungsbedarf aus der Erdbebeneinwirkung aufzunehmen.



Diese Strategie wurde für sich alleine bei den Musterbeispielen nicht angewandt. Als Beispiel zeigt Abbildung 8 eine Mauerwerkswand in einem Geschäftshaus in Zürich, die mit Kohlefaserlamellen ertüchtigt wurde.

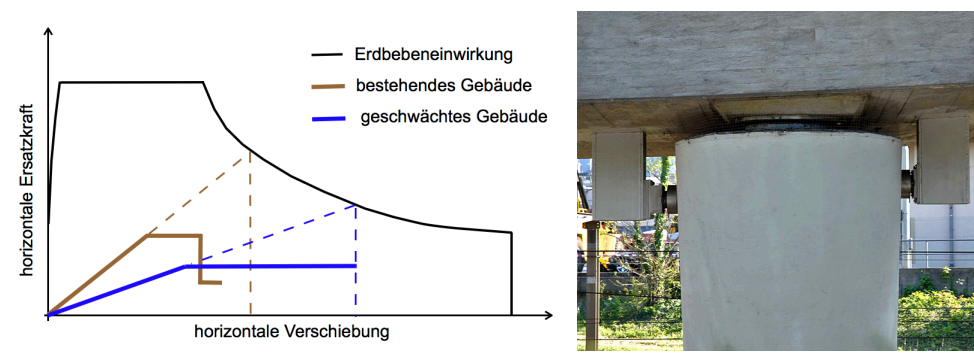
Strategie 4: Schwächen

Eine Schwächung des Tragwerks durch eine Reduktion der Steifigkeit vermindert die Kräfte bei gleichzeitiger Erhöhung der Verschiebungen infolge Erdbeben. Eine praktische Anwendung dieser Strategie ist der Wechsel von fester auf schwimmende Längslagerung einer mehrfeldrigen Balkenbrücke auf einem Pfeiler (Abb. 9).

Die seismische Isolation durch den Einbau von horizontal weichen, hochdämpfenden Erdbebenlagern aus bewehrten Gummischichten ist eine typische Umsetzung der Strategie «Schwächen». Dank der guten Dämpfungseigenschaften dieser speziellen Lager erfolgt gleichzeitig eine Reduktion der Einwirkung entsprechend der Strategie 5. Eine weitere Möglichkeit der Schwächung besteht im Entfernen von steifen Ausfachungen oder Einbauten, so dass sich das Tragwerk besser horizontal verformen kann.

Abb. 9 > Kapazitätskurven bei der Strategie «Schwächen»

Mit einer Schwächung wird die Steifigkeit und damit die anfängliche Neigung der Kapazitätskurve reduziert. Es resultieren kleinere Kräfte, aber grössere Verschiebungen. Als Beispiel zeigt das Bild rechts seitliche Nocken zur schwimmenden Längslagerung auf einem Pfeiler einer Autobahnbrücke in Basel, die ursprünglich eine feste Längslagerung bei einem Widerlager aufwies.



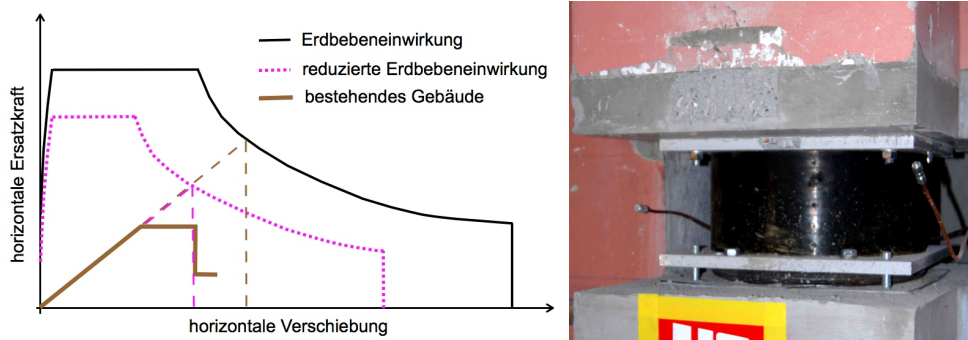
Beispiele für die Strategie «Schwächen» sind das Feuerwehrgebäude in Basel (Beispiel 3), die Brunnenbrücke der A9 (Beispiel 23) und der Flüssiggastank in Visp (Beispiel 24).

Strategie 5: Erdbebeneinwirkung durch Dämpfung reduzieren

Eine Erhöhung der Dämpfung bewirkt eine Reduktion der Erdbebeneinwirkung (Abb. 10). Diese kann durch den Einbau zusätzlicher Dämpfer realisiert werden. Bei der seismischen Isolation mittels horizontal weicher, hochdämpfender Erdbebenlager wird gleichzeitig mit der Reduktion der Steifigkeit (Strategie 4) die Dämpfung erhöht, wie es bei den drei zuvor genannten Beispielen (Feuerwehrgebäude in Basel, Brunnenbrücke und Flüssiggastank) erfolgt ist.

Abb. 10 > Kapazitätskurven bei der Strategie «Einwirkung reduzieren»

Mit zusätzlicher Dämpfung kann die Erdbebeneinwirkung so weit reduziert werden, dass die Kapazitätskurve des bestehenden Gebäudes ein genügendes Verformungsvermögen aufweist. Rechts ein hochdämpfendes Gummilager zur seismischen Isolation des Feuerwehrgebäudes in Basel.



Strategie 6: Masse reduzieren

Wird die Masse eines Gebäudes reduziert, ergeben sich kleinere Trägheitskräfte und damit auch kleinere Beanspruchungen infolge Erdbeben. In der praktischen Umsetzung kann durch Abtragen des Dachgeschosses und weiterer Obergeschosse eine solche Massenreduktion erfolgen. Meist jedoch ist die damit verbundene Nutzungseinschränkung nicht vertretbar.

Grundsätzlich sind leichtere Bauweisen massiveren Bauweisen vorzuziehen, wie zum Beispiel beim Ersatz von nicht tragenden Bauteilen.

Strategie 7: Nutzung ändern

Eine Reduktion der Erdbebeneinwirkung kann nicht nur durch bauliche Massnahmen erzielt werden, sondern auch durch betriebliche, die eine Deklassierung eines Gebäudes in eine tiefere Bauwerksklasse erlauben, erzielt werden. Ein Akutspital der BWK III kann beispielsweise in ein Bettenhaus (BWK II) oder in ein Wohnhaus (BWK I) umgewandelt werden. Infolge des kleineren Bedeutungsfaktors wird dadurch die Erdbebeneinwirkung reduziert.

3 > Beispielsammlung aus der Schweiz

In dieser Sammlung werden Beispiele von Erdbebenertüchtigungen an unterschiedlichsten, über die ganze Schweiz verteilten Bauwerken vorgestellt. Die Ertüchtigungsprojekte wurden wegen ihrer Repräsentativität und ihrer Beispielhaftigkeit ausgewählt. Die Mehrheit davon betrifft öffentliche Gebäude, welche repräsentativ sind für die heutigen Aktivitäten in der schweizerischen Erdbebenvorsorge.

Die Standorte der auf den folgenden Seiten dargestellten Musterbeispiele sind auf der Erdbebenzonenkarte in Abbildung 11 dargestellt. Die Bauwerke sind nach Nutzung und Erdbebenzone geordnet, beginnend mit Gebäuden der BWK III in der höchsten Zone Z3b bis zu Gebäuden der BWK I in Zone Z1. Den Abschluss bilden zwei speziellere Bauwerke – eine Strassenbrücke und ein Flüssiggastank – sowie drei Gebäude, bei denen der Ist-Zustand ohne Erdbebenertüchtigung akzeptiert werden konnte.

Die Präsentation der Gebäudebeispiele umfasst jeweils eine Beschreibung des Ist-Zustandes vor der Ertüchtigung, der Schwachstellen bezüglich des Erdbebenverhaltens und des Ertüchtigungskonzepts sowie tabellarisch zusammengefasste Kenndaten.

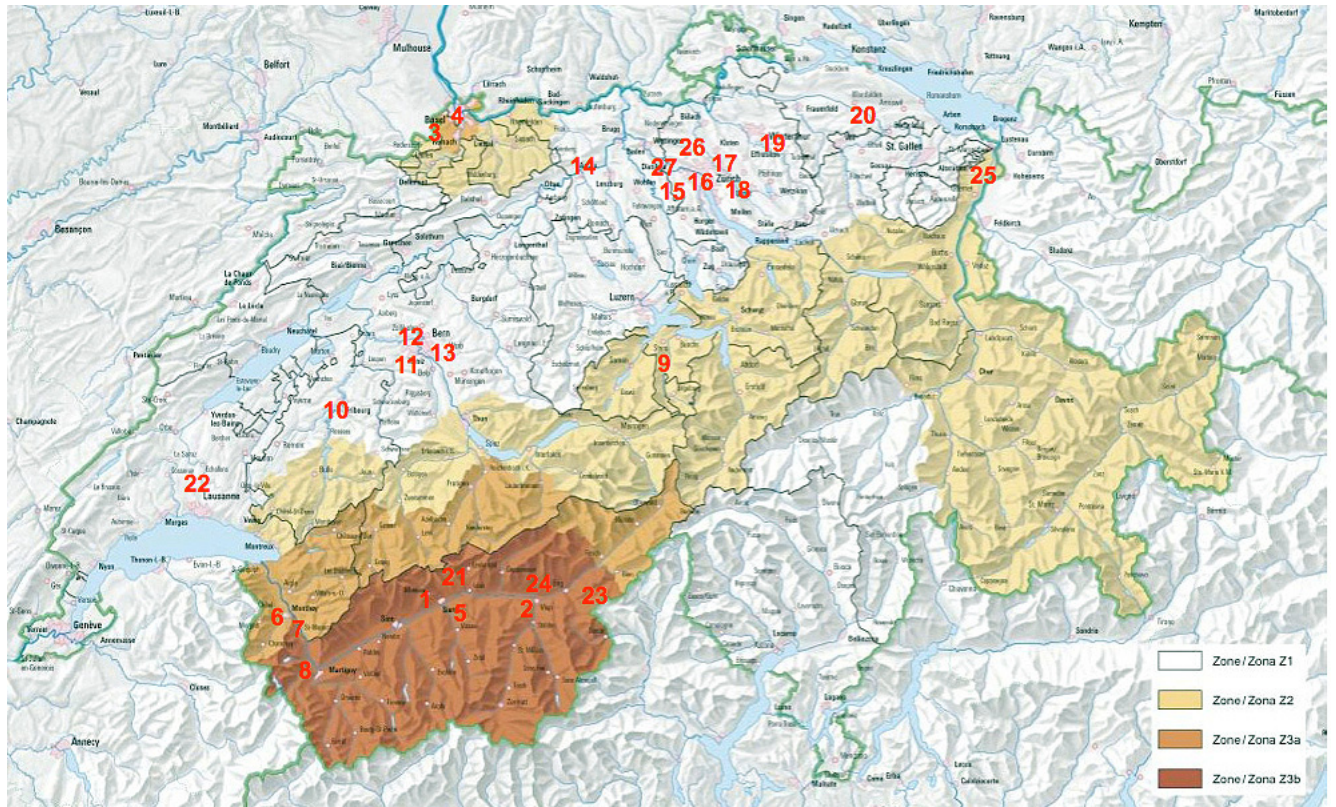
Weiterführende Erklärungen zu den einzelnen Fachbegriffen der tabellarisch zusammengefassten Kenndaten finden sich in folgenden Kapiteln:

- > Baugrundklasse, siehe Anhang A1
- > Bauwerksklasse, siehe Kapitel 1.2
- > Erdbebenzone, siehe Anhang A1
- > Erfüllungsfaktor bisher α_{eff} , siehe Kapitel 1.2
- > Erfüllungsfaktor neu α_{int} , siehe Kapitel 1.2
- > Personenbelegung (PB), siehe Kapitel 1.4
- > Gebäudewert: Gebäudeversicherungswert nach Ausführung der Ertüchtigung

Abb. 11 > Standorte der Musterbeispiele

Standorte der Musterbeispiele auf der Erdbebenzonenkarte der Norm SIA 261

Ertüchtigungsprojekte: Musterbeispiele 1 bis 24; Überprüfungen ohne Ertüchtigung: Musterbeispiele 25 bis 27



- | | | | |
|----|------------------------------------|----|--|
| 1 | Polizeigebäude in Sion VS | 2 | Feuerwehrgebäude in Visp VS |
| 3 | Feuerwehrgebäude in Basel | 4 | Unterwerk in Basel |
| 5 | Wohn- und Geschäftshaus in Sion VS | 6 | Schule CO in Monthey VS |
| 7 | Schule ESC in Monthey VS | 8 | Verwaltungsgebäude in St-Maurice VS |
| 9 | Mehrzweckhalle in Oberdorf NW | 10 | Wohnhaus mit Einkaufszentrum in Fribourg |
| 11 | Verwaltungsgebäude in Bern | 12 | Gymnasium Neufeld in Bern |
| 13 | Schule in Ostermundigen BE | 14 | Kinderklinik Aarau |
| 15 | Hörsaalgebäude HPH der ETH Zürich | 16 | Schulgebäude in Zürich |
| 17 | Radiostudio Zürich | 18 | EMPA-Verwaltungsgebäude in Dübendorf ZH |
| 19 | Einkaufszentrum in Winterthur | 20 | Gymnasium Friedberg in Gossau SG |
| 21 | Wohngebäude in Crans-Montana VS | 22 | Hotel in Bussigny VD |
| 23 | Brücke der Simplonstrasse A9 VS | 24 | Flüssiggastank in Visp VS |
| 25 | Wohnhaus in Kriessern SG | 26 | Praktikumsgebäude HPP der ETH Zürich |
| 27 | SIA-Hochhaus in Zürich | | |

3.1 Polizeigebäude in Sion VS

Ist-Zustand

Das Polizeigebäude in Sion ist ein 10-geschossiger Stahlbetonskelettbau aus dem Jahre 1962. Im 2. Stock befindet sich die Kommandozentrale der kantonalen Notfalldienste. Das Untergeschoss ist als Zivilschutzanlage ausgebildet.

Schwachstellen

Das Gebäude wurde seinerzeit ohne Berücksichtigung der Erdbebeneinwirkung erstellt. Es weist primär in der Längsrichtung, die durch zwei exzentrisch angeordnete Lift- und Treppenkerne aus Stahlbeton stabilisiert ist, eine ungenügende Aussteifung aus. In Querrichtung sind zusätzliche Stahlbetonwände in den Querfassaden vorhanden. Die nicht tragenden Bauteile, insbesondere die Mauerwerkswände und die abgehängten Decken, erfüllen im Bereich der Kommandozentrale (Bauwerksklasse III) die Anforderungen an die Erdbebensicherheit nicht (Koller 2000).

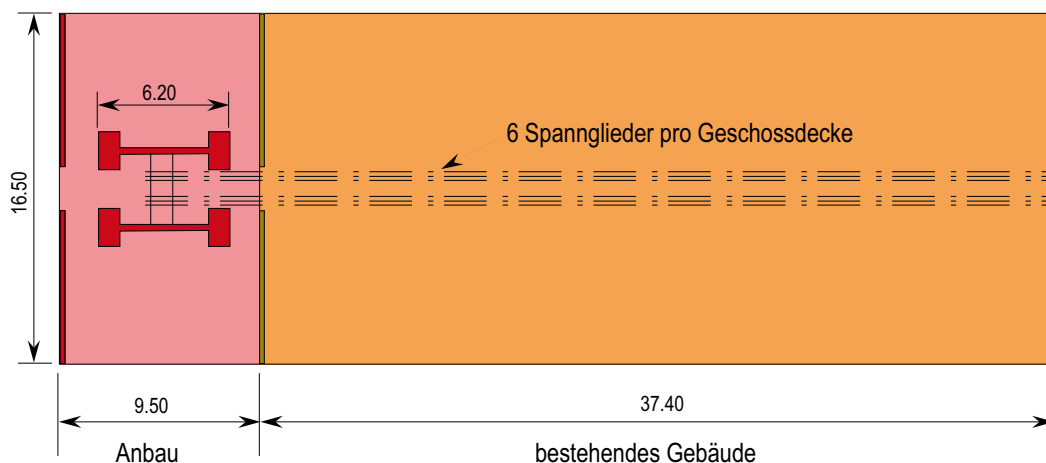
Ertüchtigungskonzept

Das bestehende Gebäude wird neu durch den erstellten Anbau horizontal gegen Erdbebenbeanspruchung abgestützt. Die Wahl I-förmiger Stahlbetonwände im neuen Anbau reduziert die Torsionsbeanspruchung des Gesamtsystems. Die Quersteifigkeit der Wände kann damit gegenüber der Längssteifigkeit sehr klein gehalten werden. Durch Einbau von Spanngliedern in jeder Geschossdecke wird der Altbau in Längsrichtung mit dem neuen Anbau verbunden. Im Bereich der Kommandozentrale werden die unbewehrten Mauerwerkswände mit Polyestergerewebe überzogen, oben gegen Umkippen quer zur



Ansicht an die Längsfassade. Die ersten vier Fensterreihen von links gehören zum Anbau.

Wandebene gehalten und vom Tragsystem abgefugt. Dadurch können die Verformungen des Gebäudes während eines Erdbebens durch die Mauerwerkswände ohne Schäden mitgemacht werden. Abgehängte Decken und andere Einbauten werden ebenfalls horizontal gesichert.



Grundriss des bestehenden Gebäudes (rechts) und des nachträglichen Anbaus (links), der durch zwei I-förmige Stahlbetontragwände ausgesteift wird.

Besonderes

Das gewählte Ertüchtigungskonzept erlaubt eine fast uneingeschränkte Benutzung des Gebäudes während der Bauzeit. Die Umsetzung der Ertüchtigungsmassnahmen im neuen Anbau ermöglicht es, die Kosten für die Erdbebensicherung gegenüber einer ausschliesslichen Ertüchtigung des Altbaus zu reduzieren.

Veranlassung

Die Überprüfung der Erdbebensicherheit des Gebäudes erfolgte aufgrund einer kantonalen Risikostudie der Lifeline-Gebäude.



Querfassade des Altbaus mit den von aussen sichtbaren Verankerungen der Spannglieder auf Höhe jeder Geschossdecke.



Ansicht an die 6 Verankerungen der Spannglieder am Querträger zwischen den beiden neuen I-förmigen Stahlbetonwänden im Anbau.

Kenndaten

Baujahr	1962
Nutzung des Gebäudes	Kommandozentrale für Notfalldienste
Personenbelegung	PB = 40
Gebäudewert	11 Mio. CHF
Bauwerksklasse	BWK III
Erdbebenzone	Zone Z3b
Baugrundklasse	standortspezifische bodendynamische Studie
Erfüllungsfaktor bisher	$\alpha_{eff} = 0,2$ (bezüglich SIA 160)
Erfüllungsfaktor neu	$\alpha_{int} = 1,0$ (bezüglich SIA 160)
Ertüchtigungsstrategie	Verstärken, Duktilität erhöhen
Ausführung der Ertüchtigung	1998
Kosten der Ertüchtigung	3 Mio. CHF oder 29 % des Gebäudewertes
Ingenieure	Résonance SA, CERT SA, P. Tissières
Architekten	A. Bornet Fournier, P. Cagna

3.2 Feuerwehrgebäude in Visp VS



Ist-Zustand

Das Feuerwehrgebäude in Visp wurde im Jahre 1974 erstellt. Im Untergeschoss ist eine Zivilschutzanlage untergebracht. Das Tragwerk des Hauptgebäudes bilden Stahlbetonrahmen, die mit Mauerwerk ausgefacht sind. Auf der Nordseite befindet sich ein Anbau mit Stahlbetontragwänden.

Schwachstellen

Die Schwachstelle bezüglich Erdbebenverhalten bildet die schlanke Giebelwand aus unbewehrtem Mauerwerk auf der

Südseite. Kritisch sind die Beanspruchungen in der Wandebene und quer dazu. Die Aussteifung in Längsrichtung wird durch den Anbau auf der Nordseite übernommen.

Ertüchtigungskonzept

Die kritische Giebelwand auf der Südseite wird auf der Innenseite durch 8 aufgeklebte, vertikal verlaufende, vorgespannte CFK-Lamellen verstärkt. Die CFK-Lamellen werden in den Stahlbetondecken des Erdgeschosses und des Daches verankert. Durch diese Vorspannung kann die Giebelwand die Erd-



Rückseitige Längsfassade des Feuerwehrgebäudes mit der aussteifenden Stahlbetontragwand am linken Rand.



Nachträglich mit vertikalen CFK-Lamellen verstärkte Giebelwand aus Mauerwerk.

bebenbeanspruchungen unter geringen Horizontalverformungen aufnehmen, eine gleichzeitig günstige Auswirkung auf die Funktionstüchtigkeit des Feuerwehrgebäudes der BWK III. Zusätzlich verhindern die vorgespannten CFK-Lamellen ein seitliches Herausfallen der Wand.

Besonderes

Der Einbau der vorgespannten CFK-Lamellen kann ohne Einschränkung des Betriebs realisiert werden.

Veranlassung

Die Erdbebenertüchtigung erfolgt im Rahmen der allgemeinen Bauwerkserhaltung.



Die Vorspannung der CFK-Lamellen erfolgte vom Dach aus (Truffer et al. 2004).



Zwei vorgespannte CFK-Lamellen auf der Innenseite der Giebelwand (Truffer et al. 2004).

Kenndaten

Baujahr	1974
Nutzung des Gebäudes	Feuerwehrgebäude
Personenbelegung	PB = 2
Gebäudewert	2 Mio. CHF
Bauwerksklasse	BWK III
Erdbebenzone	Zone Z3b
Baugrundklasse	mittelsteif (SIA 160)
Erfüllungsfaktor bisher	$\alpha_{eff} = 0,4$ (bezüglich SIA 160)
Erfüllungsfaktor neu	$\alpha_{int} = 1,0$ (bezüglich SIA 160)
Ertüchtigungsstrategie	Verstärken
Ausführung der Ertüchtigung	2002
Kosten der Ertüchtigung	35 000.– CHF oder 1,8 % des Gebäudewertes
Ingenieure	BIAG Beratende Ingenieure AG, Visp Stresshead AG, Luzern

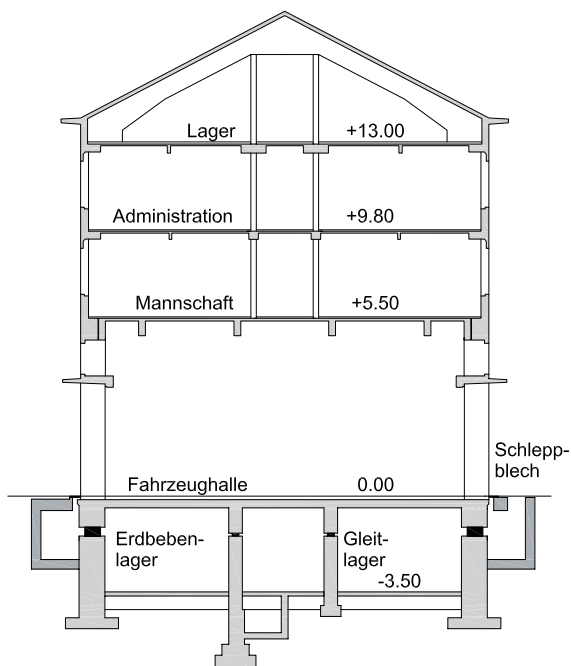
3.3 Feuerwehrgebäude in Basel



Ist-Zustand

Das Hauptgebäude der Berufsfeuerwehr Basel-Stadt, der Lützelhof, wurde während des Zweiten Weltkriegs als Stahlbetonbau erstellt. Im Erdgeschoss weist es über die ganze

Grundrissfläche von 44 x 15 m eine Einstellhalle mit beidseitig 11 Toren auf. Darüber befinden sich 3 Obergeschosse mit Aufenthalts- und Schlafräumen sowie Administration und Lager der Feuerwehr.



Querschnitt durch das Gebäude mit den neuen Erdbebenlagern im Untergeschoss (Bachmann, Zachmann 2008).



Rings um das Gebäude wird eine Dilatationsfuge eingebaut, damit eine freie, horizontale Schwingung auf den neuen Erdbebenlagern möglich wird.

Schwachstellen

Die Einstellhalle im Erdgeschoss mit relativ schlanken Stützen zwischen den Toren bildet ein typisches weiches Geschoss (Soft-Storey). Bereits ein relativ schwaches Erdbeben würde ein Versagen der Stützen verursachen. Auch die Wände und Decken in den Obergeschossen sind zur Aufnahme von Erdbebenbeanspruchungen nicht genügend (Bachmann 2007a).

Ertüchtigungskonzept

Das Gebäude wird durch eine seismische Isolation ertüchtigt. Unterhalb der Bodendecke des Erdgeschosses werden die oberen Geschosse mittels eines horizontalen Schnitts vom Kellergeschoss abgetrennt und auf Erdbebenlager gestellt. Damit sich das Gebäude bei einem Erdbeben horizontal frei bewegen kann, wird rundum ein entsprechender Spielraum geschaffen. Dazu werden die stirnseitigen Nachbargebäude um 15 bis 18 cm gekürzt.

Besonderes

Durch die Wahl einer seismischen Isolation muss beim Einbau die Nutzung der Einstellhalle nicht eingeschränkt werden, und der Betriebsunterbruch lässt sich auf ein Minimum beschränken. Bei einer konventionellen Verstärkung des Erdgeschosses mit Stahlbetonwänden wären je zwei Tore wegge-



Unter dem stützenfreien Innenbereich werden Gleitlager eingebaut.

fallen, und die Obergeschosse hätten aufwendig verstärkt werden müssen.

Veranlassung

Die Erdbebenertüchtigung erfolgte aufgrund einer Risikoanalyse der kantonalen Lifeline-Gebäude.



Einbau eines Erdbeben-Gummilagers unter einer Stütze in der Aussenwand des Untergeschosses.

Kenndaten

Baujahr	1942
Nutzung des Gebäudes	Feuerwehrgebäude
Personenbelegung	PB = 60
Gebäudewert	13 Mio. CHF
Bauwerksklasse	BWK III
Erdbebenzone	Zone Z3a
Baugrundklasse	standortspezifische bodendynamische Studie
Erfüllungsfaktor bisher	$\alpha_{eff} = 0,2$
Erfüllungsfaktor neu	$\alpha_{int} = 1,0$
Ertüchtigungsstrategie	Schwächen, Einwirkung reduzieren
Ausführung der Ertüchtigung	2007
Kosten der Ertüchtigung	3 Mio. CHF oder 23 % des Gebäudewertes
Ingenieure	ZPF Ingenieure AG
Experte	Prof. Dr. Dr. h.c. Hugo Bachmann

3.4 Unterwerk in Basel

Ist-Zustand

Das Unterwerk Wasgenring der Industriellen Werke Basel (IWB) besteht aus einer Montagehalle und ausgedehnten dreibis viergeschossigen unterirdischen Räumen mit elektrischen Anlagen. Das Gebäude wird wegen seiner hohen Bedeutung im Ereignisfall als Lifeline-Bauwerk (BWK III) der Elektrizitätsversorgung klassifiziert.

Schwachstellen

Während die massiven Untergeschosse aus Stahlbetonwänden und -decken genügend erdbebensicher sind, erfüllt die Montagehalle im ursprünglichen Zustand die Anforderungen nicht. Das Tragwerk der Montagehalle besteht aus einem schwachbewehrten Stahlbetonrahmen mit Mauerwerksausfachungen, der durch die Erdbebenkräfte aus dem massiven Dach, insbesondere auf Höhe des Fensterbandes, überbeansprucht wird.

Ertüchtigungskonzept

Zur Abtragung der Erdbebenkräfte aus dem massiven Hallendach müssen alle vier Fassadenwände verstärkt werden, wobei auf der Westseite ein Stahlfachwerk und auf den drei übrigen Seiten Stahlbetontragwände eingebaut werden. Die Verankerung der Wände erfolgt mit vorgespannten CFK-



Aussenansicht der Montagehalle.

Lamellen in den Stahlbetonwänden der Untergeschosse. Massgebend für die Bemessung ist das Kriterium der Stockwerkschiefstellung der unbewehrten Mauerwerkswände von maximal 5 ‰.



Neues Fachwerk in der Westfassade und neue Stahlbetontragwand in der Nordfassade der Montagehalle.



Neue Stahlbetontragwand auf der Innenseite der Ostfassade der Montagehalle.

Besonderes

Unter der Westfassade muss im Untergeschoss fast die ganze Breite für den Ein- und Ausbau grosser Transformatoren freigehalten werden. Die Verstärkung der Westfassade erfolgt mittels eines A-förmigen Fachwerks, wobei dessen vertikale Reaktionskräfte im Erdgeschoss über Stahllamellen in die Untergeschosse eingeleitet werden, während die Querkraft von der Decke übernommen werden kann.

Veranlassung

Die Erdbebenertüchtigung erfolgte anlässlich der Erneuerung der Unterwerksanlage. Sie ist Bestandteil des Ertüchtigungsprogramms der IWB zur Sicherstellung der Versorgung nach einem Erdbeben (Koller 2008).



Neues A-förmiges Stahlfachwerk im Erdgeschoss der Westfassade und neue Stahllamellen im Untergeschoss.



Einfädeln der CFK-Lamellen zur Verankerung der neuen Stahlbetontragwand.

Kenndaten

Baujahr	1964
Nutzung des Gebäudes	Unterwerk
Personenbelegung	PB = 0
Gebäudewert	12 Mio. CHF
Bauwerksklasse	BWK III
Erdbebenzone	Zone Z3a
Baugrundklasse	C
Erfüllungsfaktor bisher	$\alpha_{eff} = 0,3$
Erfüllungsfaktor neu	$\alpha_{int} = 1,0$
Ertüchtigungsstrategie	Verstärken, Duktilität erhöhen
Ausführung der Ertüchtigung	2006
Kosten der Ertüchtigung	0,65 Mio. CHF oder 5 % des Gebäudewertes
Ingenieure	Résonance SA, Colenco AG, Stresshead AG

3.5 Wohn- und Geschäftshaus in Sion VS

Ist-Zustand

Das viergeschossige Wohn- und Geschäftshaus in Sion wurde 1965 in Stahl-Beton-Verbundbauweise erstellt. Im Erdgeschoss befindet sich ein Einkaufszentrum und im ersten Stock ein medizinisches Ambulatorium. Das Gebäude weist in den Obergeschossen einen L-förmigen Grundriss auf. Das Tragsystem besteht aus Stahlstützen mit Verbunddecken und vereinzelt Stahlbetonwänden. Die beiden Untergeschosse sind aus Stahlbeton.

Schwachstellen

Das Tragsystem ist sowohl im Grundriss als auch im Aufriss stark unregelmässig. Um das Erdgeschoss als grossräumige Verkaufsfläche nutzen zu können, fehlen dort weitgehend aussteifende Elemente. Unter Erdbebenbeanspruchung entsteht im Erdgeschoss ein ausgeprägt weiches Geschoss (Soft-Storey) mit Torsionsbeanspruchung.

Ertüchtigungskonzept

Das Gebäude wird durch einen neuen Stahlbetonkern und eine Stahlbetonwand, die beide durchgehend über alle Obergeschosse laufen, verstärkt. Das Erdgeschoss wird zusätzlich durch einen massiven Stahlbetonrahmen ausgesteift. Die neuen Bauteile können in den Untergeschossen verankert werden.

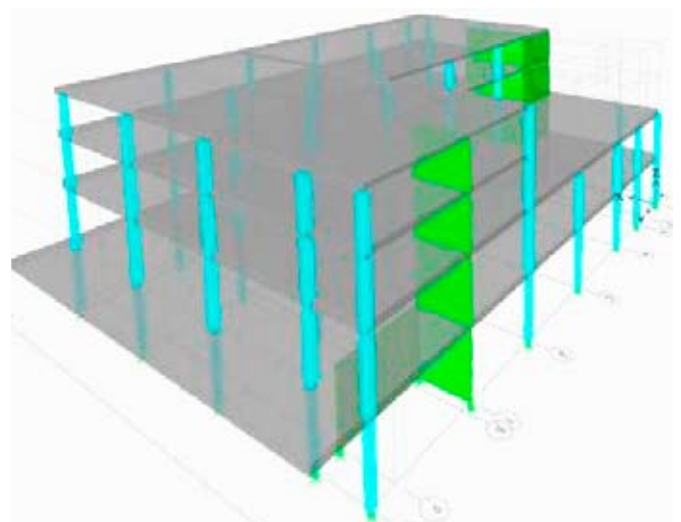


Besonderes

Um die Nutzungsfreiheit im Einkaufszentrum im Erdgeschoss möglichst wenig einzuschränken, werden in diesem Geschoss anstelle von Wänden neue Stahlbetonrahmen eingebaut.



Neuer Stahlbetonrahmen im Erdgeschoss.



Finite-Elemente-Modell des Gebäudes mit den neuen Stahlbetonwänden in Grün (Garcia-Vogel 2005).

Für die neuen Bauteile wird selbstverdichtender Beton verwendet. Damit lässt sich der Beton in die durch bestehende Decken abgegrenzten Bauteile leichter einbringen.

Veranlassung

Die Erdbebenertüchtigung erfolgte zusammen mit einer allgemeinen Sanierung zwecks neuer Nutzung eines Obergeschosses als medizinisches Ambulatorium.



Einbau der Bewehrung der neuen Stahlbetonwände im Erdgeschoss.



Anschlussbewehrung der neuen Stahlbetonwände in die bestehenden Decken (Garcia-Vogel 2005).

Kenndaten

Baujahr	1965
Nutzung des Gebäudes	Einkaufszentrum, Ambulatorium
Personenbelegung	PB = 85
Gebäudewert	4,5 Mio. CHF
Bauwerksklasse	BWK II
Erdbebenzone	Zone Z3b
Baugrundklasse	C
Erfüllungsfaktor bisher	$\alpha_{eff} = 0,2$
Erfüllungsfaktor neu	$\alpha_{int} = 1,0$
Ertüchtigungsstrategie	Verstärken, Regularität verbessern
Ausführung der Ertüchtigung	2005
Kosten der Ertüchtigung	0,13 Mio. CHF oder 3 % des Gebäudewertes
Ingenieure	SD Ingénierie Dénériaz et Pralong Sion SA
Architekt	Grégoire Comina, Sion

3.6 Schule CO in Monthey VS

Ist-Zustand

Das Schulgebäude des «Cycle d'Orientation» (CO) in Monthey wurde 1971 in Stahlbau erstellt. Das Tragsystem besteht in beiden Richtungen aus Stahlrahmen. Die Decken bestehen aus vorfabrizierten Stahlbetonplatten, die auf Sekundärträger aus Stahl aufgelegt sind. Das Gebäude ist 39 m lang und 34 m breit und weist ursprünglich vier Geschosse auf. Das Untergeschoss ist in Stahlbeton ausgeführt.

Schwachstellen

Der Stahlbau besteht aus dem System CROCS, das in den 1960er-Jahren vom «Centre de Rationalisation et d'Organisation des Constructions Scolaires» in der Westschweiz entwickelt wurde. Die Knoten der Stahlrahmen sind einfach verschraubt, indem nur der Trägersteg mit zwei Stahlschrauben an die Stützen angeschlossen ist. Die Knoten können nur einen geringen Teil der Erdbebenbeanspruchung aufnehmen. Die Scheibenwirkung der vorfabrizierten Decken ist ungenügend.

Ertüchtigungskonzept

Das Gebäude erhält ein neues horizontales Aussteifungssystem durch zwei aussenliegende Treppentürme in Stahlbeton, die über alle Geschosse verlaufen. Die Decken werden durch neue horizontale Stahlfachwerke verstärkt, die auch

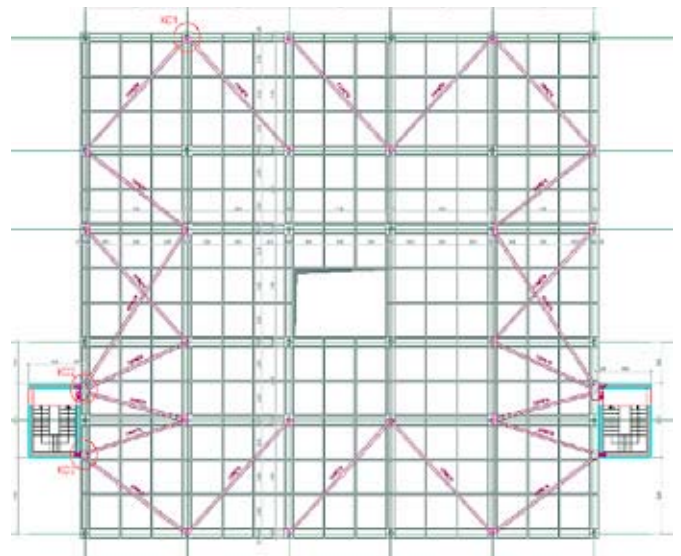


Ansicht an den neuen Treppenturm auf der Südseite.

den Anschluss der Horizontalkräfte an die Treppentürme sicherstellen.



Ansicht an den neuen Treppenturm auf der Nordseite.



Grundriss des Gebäudes mit den beiden neuen seitlichen Treppentürmen in Stahlbeton (grün) und dem neuen horizontalen Stahlfachwerk in den Decken (rot).

Besonderes

Um die neuen Brandschutzbestimmungen zu erfüllen, wären ohnehin zwei neue Treppenhäuser erforderlich gewesen. Mit der Integration der Brand- und Erdbebenertüchtigung in den beiden Stahlbeton-Treppentürmen konnten Synergien erzielt werden.

Veranlassung

Die Erdbebenertüchtigung erfolgte zusammen mit einer allgemeinen Sanierung und einer Aufstockung um ein zusätzliches Geschoss.



Treppenturm und Aufstockung im Bau (Südseite).



Bewehrung im Untergeschoss und Fundament des neuen Treppenturms.

Kenndaten

Baujahr	1971
Nutzung des Gebäudes	Schule
Personenbelegung	PB = 76
Gebäudewert	24 Mio. CHF
Bauwerksklasse	BWK II
Erdbebenzone	Zone Z3a
Baugrundklasse	Mikrozonierung Monthey «Zone Talrand»
Erfüllungsfaktor bisher	$\alpha_{eff} = 0,16$
Erfüllungsfaktor neu	$\alpha_{int} = 1,0$
Ertüchtigungsstrategie	Verstärken, Duktilität erhöhen
Ausführung der Ertüchtigung	2007
Kosten der Ertüchtigung	1,85 Mio. CHF oder 7,7 % des Gebäudewertes
Ingenieure	A. Schmid + R. Peruzzi, Kurmann & Cretton SA
Architekten	PAI Planification, Lausanne

3.7 Schule ESC in Monthey VS

Ist-Zustand

Der ältere Teil des Schulgebäudes der heutigen «Ecole Supérieure de Commerce» (ESC) in Monthey wurde 1908 erstellt. Im Jahre 1950 erfolgte ein Anbau in Gebäudelängsrichtung, der das Gebäudevolumen mehr als verdoppelte. Es handelt sich um einen viergeschossigen Massivbau aus Mauerwerk mit einem Kellergeschoss. Im Altbau sind die Decken aus Holz und im Anbau aus Stahlbeton.

Schwachstellen

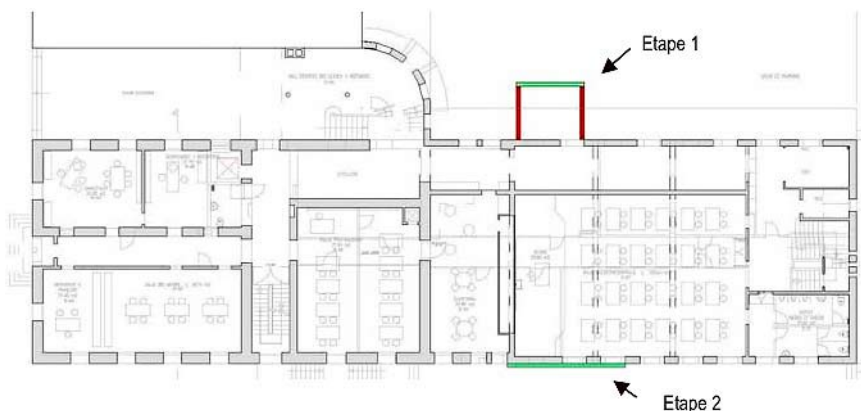
Die relativ dünnen Wände aus einschaligem Mauerwerk im Anbau bilden die Schwachstelle bezüglich Erdbebenverhalten. Ungenügend ist insbesondere die Aussteifung in Gebäudequerrichtung, da Zwischenwände vollständig fehlen. Dagegen weist der Altbau viele dicke Mauerwerkswände auf. Im Altbau bildet die Verankerung zwischen den Fassaden und den Holzdecken die Schwachstelle.



Ansicht an die hintere Längsfassade mit dem neuen Stahlbetonliftkern



Ansicht an die hintere Längsfassade mit dem neuen Stahlbetonliftkern in der Mitte des Anbaus (Etape 1).



Grundriss des Altbaus (links) und des Anbaus (rechts) mit dem neuen Stahlbetonliftkern (Etape 1) und den neuen Stahlbetonwänden (Etape 2) (Peruzzi, Schmid 2007).

Ertüchtigungskonzept

Der Anbau wird auf beiden Längsseiten mit über alle Geschosse durchlaufenden Stahlbetonwänden verstärkt. In der ersten Etappe wird auf der hinteren Seite ein Liftkern erstellt, der primär die Aussteifung in Querrichtung sicherstellt. Für die Aufnahme des Kippmoments wird das Fundament des Liftkerns mit 12 Mikropfählen in den Baugrund eingebunden. In der zweiten Etappe wird die vordere Fassade durch eine rechteckige Stahlbetonwand ergänzt, die zusammen mit dem Liftkern das Gebäude in Längsrichtung aussteift. Im Altbau erfolgt der Einbau von Verbindungen zwischen den Fassaden und den Holzdecken.

Besonderes

Um den Schulbetrieb durchgehend aufrechtzuerhalten, müssen die baulichen Massnahmen auf die Fassadenwände beschränkt werden. Im neuen Stahlbetonkern kann neben dem Lift auch Platz für Putzräume geschaffen werden.



Bau der Foundation des neuen Stahlbetonliftkerns mit Mikropfählen.



Verankerung des Liftkerns mit Swiss-Gewi-Stangen und eingeklebter Verteilbewehrung in den bestehenden Stahlbetondecken.

Veranlassung

Die Erdbebenertüchtigung erfolgte anlässlich eines Umbaus für die neue Nutzung als kantonales Schulgebäude.

Kenndaten

Baujahr	1903, 1908 und 1950
Nutzung des Gebäudes	Schule
Personenbelegung	PB = 32
Gebäudewert	4,9 Mio. CHF
Bauwerksklasse	BWK II
Erdbebenzone	Zone Z3a
Baugrundklasse	Mikrozonierung Monthey «Zone Talrand»
Erfüllungsfaktor bisher	$\alpha_{eff} = 0,15$
Erfüllungsfaktor neu	$\alpha_{nt} = 1,0$ (Anbau) und $\alpha_{nt} = 0,8$ (Altbau)
Ertüchtigungsstrategie	Verstärken
Ausführung der Ertüchtigung	2004 bis 2007
Kosten der Ertüchtigung	0,54 Mio. CHF oder 11 % des Gebäudewertes
Ingenieur	R. Peruzzi, Kurmann & Cretton SA
Architekt	J.-M. Zimmermann

3.8 Verwaltungsgebäude in St. Maurice VS

Ist-Zustand

Das zweigeschossige Gebäude in St-Maurice stammt aus den 1950er-Jahren. Das Tragwerk besteht in Querrichtung aus Mauerwerkswänden und in Längsrichtung aus Stahlbetonrahmen, die teilweise mit Mauerwerk ausgefacht sind. Die Decken und die Aussenwände des Untergeschosses sind aus Stahlbeton. Die Länge des Gebäudes beträgt 20,5 m, die Breite 10,0 m.

Schwachstellen

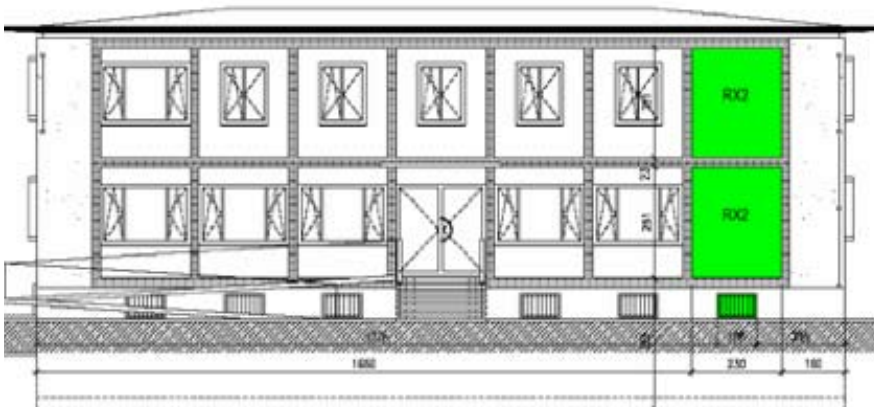
Problematisch sind vor allem die Längsfassaden. Im Erdgeschoss verkürzen die Brüstungen aus Mauerwerk die frei schwingende Höhe der Stahlbetonstützen auf weniger als die halbe Stockwerkshöhe. Dadurch besteht die Gefahr eines spröden Schubbruchs bereits bei schwachen Erdbeben.



Ansicht an die vordere Längsfassade mit der neuen Stahlbetontragwand am äussersten Rasterfeld rechts.



Ansicht an die hintere Längsfassade mit der neuen Stahlbetontragwand im mittleren Rasterfeld rechts.



Aufriss mit einer der neuen Stahlbetontragwände (grün) in der vorderen Längsfassade.

Ertüchtigungskonzept

In den beiden Längsfassaden wird je ein Rasterfeld durch eine schlanke Stahlbetontragwand geschlossen. Die beiden neuen Stahlbetontragwände sind an den Aussenwänden des Untergeschosses verankert und laufen durchgehend über die beiden Obergeschosse. Damit entsteht ein neues, im Grundriss symmetrisches Aussteifungssystem in Längsrichtung.

Besonderes

In Querrichtung weist das Gebäude im Ist-Zustand dank der grossen Mauerwerkswände in den Fassaden bereits einen Erfüllungsfaktor von 0,7 auf. Aufgrund der Kriterien der Verhältnismässigkeit gemäss Merkblatt SIA 2018 wird wegen der geringen Personenbelegung ($PB = 2,2$) auf eine Ertüchtigung in Querrichtung verzichtet.



Bewehrung der neuen Stahlbetontragwand in der vorderen Längsfassade.



Aufriss mit den beiden neuen Stahlbetontragwänden (grün) in den Längsfassaden.

Veranlassung

Die Erdbebenertüchtigung erfolgte im Rahmen einer allgemeinen Sanierung des Gebäudes für die neue Nutzung als Ausbildungszentrum.

Kenndaten

Baujahr	1955
Nutzung des Gebäudes	Ausbildungszentrum
Personenbelegung	$PB = 2,2$
Gebäudewert	1,4 Mio. CHF
Bauwerksklasse	BWK II
Erdbebenzone	Zone Z3a
Baugrundklasse	C
Erfüllungsfaktor bisher	$\alpha_{eff} = 0,17$
Erfüllungsfaktor neu	$\alpha_{int} = 0,7$
Ertüchtigungsstrategie	Verstärken, Duktilität erhöhen
Ausführung der Ertüchtigung	2005
Kosten der Ertüchtigung	50 000.– CHF oder 3,5 % des Gebäudewertes
Ingenieur	R. Peruzzi, Kurmann & Cretton SA
Architekt	P.-P. Bourban

3.9 Mehrzweckhalle in Oberdorf NW

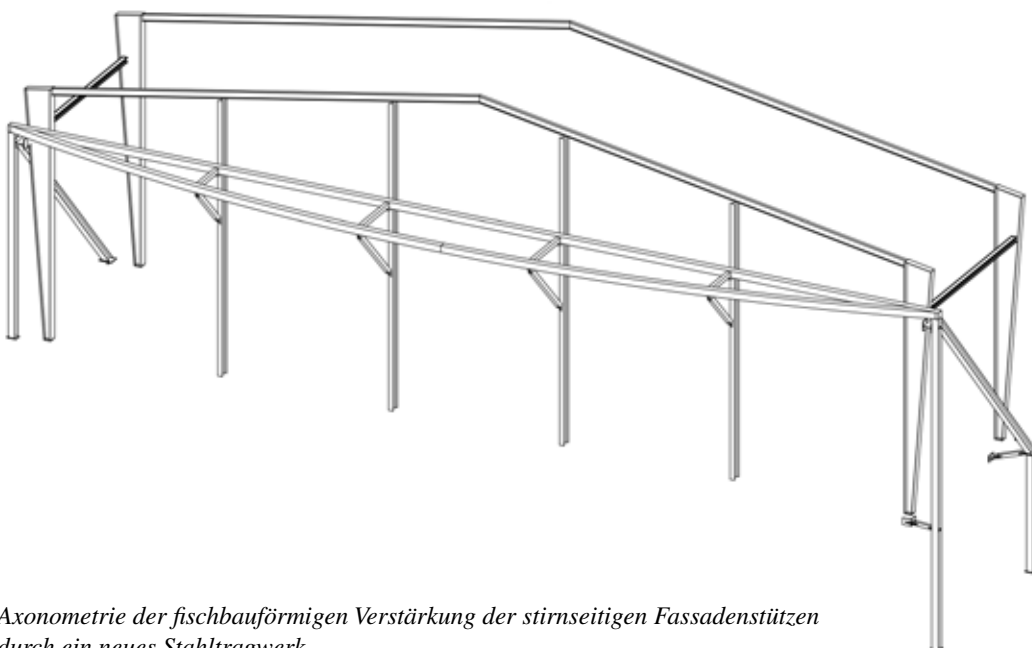


Ist-Zustand

Die Mehrzweckhalle der armasuisse Immobilien auf dem Waffenplatz in Oberdorf wurde Anfang der 1970er-Jahre in Normbauweise erstellt. Das Hallengeschoss ist 50 m lang und 27 m breit und ruht auf einem einseitig in den Hang eingebauten Untergeschoss aus Stahlbeton. Das Tragsystem der Halle besteht aus über die ganze Breite laufenden Zweigelenkrahmen aus IPE-Profilen, die in Längsrichtung durch Mauerwerksausfachungen ausgesteift sind.

Schwachstellen

Das Hauptproblem stellt die Beanspruchung infolge Wind und Erdbeben in Hallenlängsrichtung dar. Der Windverband im Hallendach weist Schwachstellen in der konstruktiven Knotenausbildung auf. Ferner ist die horizontale Aussteifung der Zweigelenkrahmen in Hallenlängsrichtung ungenügend. In Querrichtung ist der Tragwiderstand der kräftigen, 10 m hohen Stahlrahmen für Wind und Erdbeben ausreichend. Die Stahlrahmen bleiben unter der Erdbebenbeanspruchung der Zone Z2 im elastischen Bereich.



Axonometrie der fischbauförmigen Verstärkung der stirnseitigen Fassadenstützen durch ein neues Stahltragwerk.

Ertüchtigungskonzept

Das Ertüchtigungskonzept ist primär auf Windbeanspruchung in Längsrichtung ausgelegt. Die Fassadenstützen und der äusserste Zweigelenkrahmen werden in den beiden Stirnfassaden durch einen neuen fischbauchförmigen Stahlträger im oberen Bereich horizontal abgestützt. Die resultierende horizontale Längskraft wird an den Enden des Stahlträgers über eine kräftige Diagonale ins Untergeschoss abgeleitet.

Besonderes

Das Ertüchtigungskonzept wird modular für etwa 30 Mehrzweckhallen des gleichen Bautyps entwickelt. Das Windmodul besteht aus dem Stahltragwerk zur Verstärkung der beiden Stirnfassaden. An den Standorten in den höheren Erdbebenzonen, wie hier in Oberdorf NW in Zone Z2, wird zusätzlich das Erdbebenmodul montiert. Dabei werden die beiden stirnseitigen Stahltragwerke durch Längsträger verbunden, die beidseits des Dachrands verlaufen. Die Zusatzkosten des Erdbebenmoduls betragen rund 15 % der Kosten des Windmoduls.

Veranlassung

Die Erdbebenertüchtigung erfolgte im Rahmen eines systematischen Überprüfungsprogramms der Normhallen durch die armasuisse Immobilien.



Randstütze der fischbauchförmigen Verstärkung im unteren Geschoss.



Fischbauförmige Verstärkung der stirnseitigen Fassadenstützen.

Kenndaten

Baujahr	1973
Nutzung des Gebäudes	Sporthalle
Personenbelegung	PB = 5
Gebäudewert	5 Mio. CHF
Bauwerksklasse	BWK II
Erdbebenzone	Zone Z2
Baugrundklasse	C
Erfüllungsfaktor bisher	$\alpha_{eff} = 0,1$
Erfüllungsfaktor neu	$\alpha_{int} = 1,0$
Ertüchtigungsstrategie	Verstärken
Ausführung der Ertüchtigung	2007
Kosten der Ertüchtigung	25 000.– CHF oder 0,5 % des Gebäudewertes
Ingenieure	Ernst Winkler + Partner AG, Emch + Berger AG

3.10 Wohnhaus mit Einkaufszentrum in Fribourg

Ist-Zustand

Die Überbauung Beaugard-Centre in Fribourg besteht aus drei 8-geschossigen Wohngebäuden aus dem Jahre 1970. Im Erdgeschoss befindet sich ein Einkaufszentrum. Die beiden Untergeschosse werden als Parking und für Kellerräume genutzt. Das Tragsystem besteht in den Obergeschossen aus unbewehrten Mauerwerkswänden, die im Erdgeschoss auf Stahlbetonstützen ruhen. Die Geschossdecken sind aus Stahlbeton.

Schwachstellen

Das Gebäude weist im ursprünglichen Zustand ein typisches, horizontal weiches Erdgeschoss (Soft-Storey). Dies ist bedingt durch den Übergang von Mauerwerkswänden aus den Wohnbereichen der Obergeschosse in Stahlbetonstützen in den Verkaufslokalen im Erdgeschoss. Schwachstelle bezüglich Erdbebenverhalten sind die Stützen im Erdgeschoss und hier insbesondere die ungenügende Bewehrung der Rahmenknoten. Ferner weisen einzelne Mauerwerkswände eine ungenügende Tragsicherheit auf.



Neue aussenliegende Stahlbetontragwand wird an die bestehende Fassade betoniert (Lateltin 2003).



Ansicht an die neue aussenliegende Stahlbetontragwand.

Ertüchtigungskonzept

Das Gebäude erhält ein neues Tragsystem für horizontale Einwirkungen bestehend aus je zwei schlanken Stahlbetontragwänden pro Hauptrichtung im Grundriss, die über alle Geschosse verlaufen. Die neuen Wände werden mit Mikropfählen im Baugrund fundiert.

Besonderes

Der Anschluss der neuen Stahlbetonwände an die Stirnflächen der Decken erfolgt mit eingeklebter Anschlussbewehrung.

Veranlassung

Die Erdbebenertüchtigung erfolgte im Rahmen von umfassenden baulichen Erhaltungsmaßnahmen nach 30 Jahren Nutzung des Gebäudes.



Grundriss des Erdgeschosses mit den neuen Stahlbetonwänden (Lateltin 2003).



Bewehrungsdetail einer neuen Stahlbetontragwand mit in den bestehenden Decken eingeklebter Anschlussbewehrung.

Kenndaten

Baujahr	1970
Nutzung des Gebäudes	Wohngebäude über Einkaufszentrum
Personenbelegung	PB = 135
Gebäudewert	23 Mio. CHF
Bauwerksklasse	BWK II
Erdbebenzone	Zone Z1
Baugrundklasse	steif
Erfüllungsfaktor bisher	$\alpha_{eff} = 0,5$ (bezüglich SIA 160)
Erfüllungsfaktor neu	$\alpha_{int} = 1,0$ (bezüglich SIA 160)
Ertüchtigungsstrategie	Verstärken, Regularität verbessern
Ausführung der Ertüchtigung	2002
Kosten der Ertüchtigung	1,7 Mio. CHF oder 7,4 % des Gebäudewertes
Ingenieure	Centec SA Ingénieurs Conseils
Architekten	Lateltin & Monnerat architectes SIA SA
Experte	Prof. Dr. Peter Marti

3.11 Verwaltungsgebäude in Bern



Ist-Zustand

Der Bernerhof, der heutige Sitz des Eidgenössischen Finanzdepartements, wurde in den Jahren 1855–57 nach den Plänen von Friedrich Studer errichtet. Die charakteristischen Bauteile dieses repräsentativen sechsgeschossigen Gebäudes sind Wände aus Natursteinmauerwerk und Holzbalkendecken. Das Gebäude steht unter Denkmalschutz.

Schwachstellen

Die Holzbalkendecken und die Wände aus Natursteinmauerwerk bilden die Schwachstellen bezüglich Erdbebenverhalten. Ungenügend ist insbesondere die horizontale Kraftübertragung von den Holzbalkendecken in die Wände. Einige Wände sind im Erdgeschoss unterbrochen. Ferner ist die Kippstabilität einiger Wände quer zur Wandebene kritisch.



Ansicht an die östliche Seitenfassade.



Ersatz der bestehenden Holzbalkendecken durch Betondecken im Osttrakt.

Ertüchtigungskonzept

Das Ertüchtigungskonzept muss mit dem Denkmalschutz abgestimmt werden. Im Ostrakt erfolgt ein Ersatz der bestehenden Holzbalkendecken durch Betondecken. Die übrigen Holzbalkendecken werden in den kritischen Bereichen durch Holzbetonverbunddecken verstärkt. Die neuen Treppenhäuser werden über alle Geschosse durchgehend in Stahlbeton erstellt.

Besonderes

Mit Ausnahme der Stirnwände auf der Nordseite kann der Erfüllungsfaktor generell auf 1,0 angehoben werden. Aufgrund einer Güterabwägung mit den Anforderungen des Denkmalschutzes werden diese Stirnwände im Ist-Zustand belassen, da nachgewiesen werden kann, dass ein Einsturz nur lokal begrenzte Folgen haben würde.

Veranlassung

Die Erdbebenertüchtigung erfolgte im Rahmen einer Gesamt-sanierung des Gebäudes.



Betondecke im Bereich eines neuen Erschliessungskerns.



Verankerungsbewehrung der neuen Decken in den Mauerwerks-wänden.

Kenndaten

Baujahr	1857
Nutzung des Gebäudes	öffentliche Verwaltung
Personenbelegung	PB = 105
Gebäudewert	45 Mio. CHF
Bauwerksklasse	BWK II
Erdbebenzone	Zone Z1
Baugrundklasse	E
Erfüllungsfaktor bisher	$\alpha_{eff} = 0,1$
Erfüllungsfaktor neu	$\alpha_{int} = 1,0$ (Stirnwände Nord $\alpha_{int} = 0,1$)
Ertüchtigungsstrategie	Verstärken
Ausführung der Ertüchtigung	2004
Kosten der Ertüchtigung	0,2 Mio. CHF oder 0,4 % des Gebäudewertes
Ingenieure	WAM Partner AG

3.12 Gymnasium Neufeld in Bern

Ist-Zustand

Das Gymnasium Neufeld in Bern wurde 1965 als Stahlbetonskelettbau erstellt. Es besteht aus einem Untergeschoss, einem Erdgeschoss und vier Obergeschossen. Die Aussenabmessungen im Grundriss betragen 69 x 37 m. Das Tragsystem besteht aus Stahlbetonstützen sowie zwei Stahlbetonliftkernen. Die Geschossdecken sind ebenfalls aus Stahlbeton.

Schwachstellen

Das Gebäude wird im ursprünglichen Zustand durch eine über alle Geschosse durchgehende Dilatationsfuge in zwei Hälften unterteilt, die je durch einen im Grundriss exzentrisch liegenden Liftkern ausgesteift sind. Infolge Biegetorsionsschwingungen der beiden Teile besteht bereits bei geringer Erdbebenbeanspruchung Absturzgefahr an der Dilatationsfuge. Von aussen betrachtet zeigt das Gebäude ein architektonisch offen gestaltetes, weiches Erdgeschoss. Da jedoch die beiden massiven Liftkerne über alle Geschosse durchlaufen, weist das Gebäude ein im Aufriss regelmässiges Tragsystem auf.

Ertüchtigungskonzept

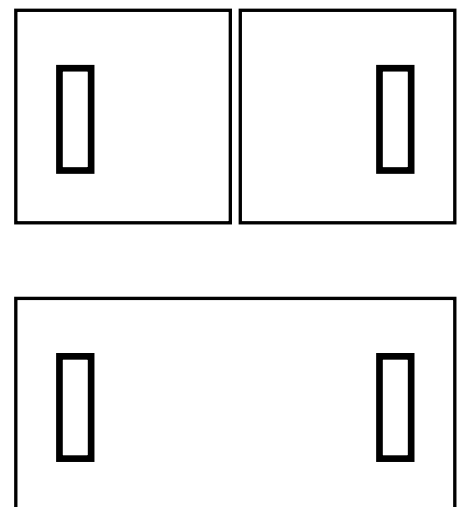
Die ursprünglichen Dilatationsfugen der Geschossdecken in der Gebäudemitte werden geschlossen. Dadurch kann ein



durch die beiden bestehenden schlanken Stahlbetonliftkerne symmetrisch ausgesteiftes Gesamtsystem für die Abtragung der Erdbebenkräfte gebildet werden. Eine Ertüchtigung darüber hinaus wäre mit unverhältnismässigen Kosten verbunden.



Ansicht an die Stirnfassade des Gebäudes.



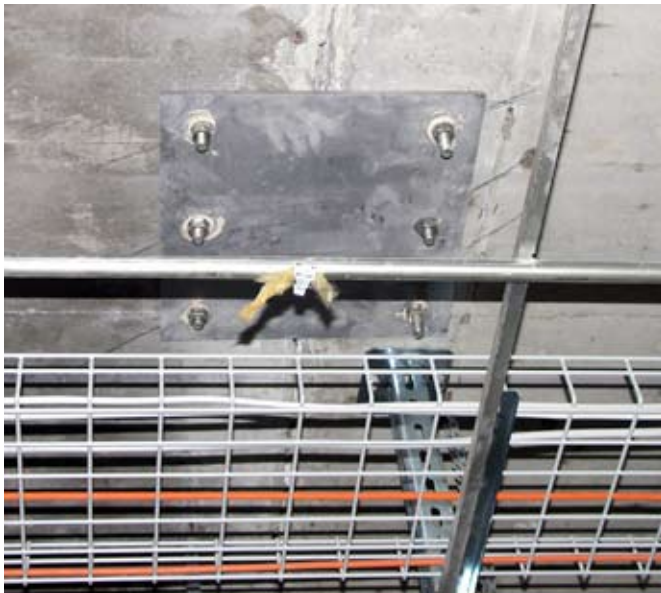
Grundriss im Ist-Zustand mit zwei exzentrisch ausgesteiften Gebäudehälften (oben) und Grundriss im ertüchtigten Zustand mit einem zentrisch ausgesteiften Gebäude (unten).

Besonderes

Der Umbau der Lifte bedingt gewisse Anpassungen bei den Liftkernen, die lokale Verstärkungen mit aufgeklebten Kohlefaserlamellen erfordern.

Veranlassung

Die Erdbebenertüchtigung erfolgte im Rahmen von umfassenden baulichen Erhaltungsmaßnahmen nach 40 Jahren Nutzung des Gebäudes.



Fugenschluss in den Geschossdecken mit beidseitig angeordneten Stahlplatten.



Verstärkung der Liftkerne mit aufgeklebten Kohlefaserlamellen.

Kenndaten

Baujahr	1965
Nutzung des Gebäudes	Schule
Personenbelegung	PB = 200
Gebäudewert	43 Mio. CHF
Bauwerksklasse	BWK II
Erdbebenzone	Zone Z1
Baugrundklasse	E
Erfüllungsfaktor bisher	$\alpha_{eff} = 0,1$
Erfüllungsfaktor neu	$\alpha_{int} = 0,5$
Ertüchtigungsstrategie	Regularität verbessern
Ausführung der Ertüchtigung	2006
Kosten der Ertüchtigung	0,3 Mio. CHF oder 0,7 % des Gebäudewertes
Ingenieure	Marchand + Partner AG

3.13 Schule in Ostermundigen BE

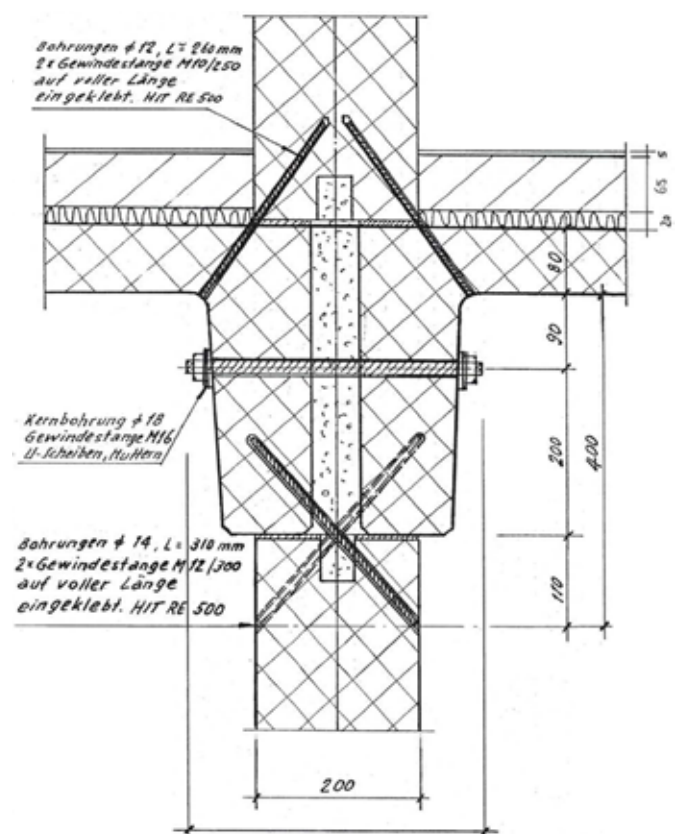


Ist-Zustand

Die Schulanlage Rüti in Ostermundigen wurde Ende der 1960er-Jahre in Elementbauweise erstellt. Sie umfasst einen fünf- und einen zweigeschossigen Klassentrakt sowie einen Turnhallentrakt. Stützen, Träger und Wände bestehen aus vorfabrizierten Stahlbetonbauteilen. Die Decken sind aus aneinandergereihten Kassettenelementen aufgebaut.



Der Verbindungsgang wurde durch Stahlbetonwände in Längsrichtung ertüchtigt.



Schnitt durch die Auflagerung der Kassettendecke mit den neuen Verbindungsbauteilen.

Schwachstellen

Die einzelnen Fertigbauteile sind ohne Verbindungselemente aufeinandergelegt, so dass kein eindeutiges Tragsystem für Horizontaleinwirkungen identifiziert werden kann. Die Scheibenwirkung der Kassettendecken ist ungenügend. Unter Erdbeben droht ein Einsturz wie bei einem Kartenhaus.

Ertüchtigungskonzept

Das Ertüchtigungskonzept besteht darin, die Fertigbauteile durch Stahlstangen, -laschen und -platten miteinander zu verbinden. Zusätzlich werden einzelne Wandelemente mit vertikal verlaufenden CFK-Lamellen verstärkt und an das Untergeschoss in Ortbeton angehängt.

Besonderes

Unter Berücksichtigung des Kriteriums der Verhältnismässigkeit kann die Erdbebenertüchtigung auf das Verbinden der Fertigbauteile beschränkt werden, ohne dass ein neues horizontales Aussteifungssystem erstellt werden muss. Die untenstehenden Kenndaten beziehen sich auf den fünfgeschossigen Klassentrakt I.



Stahlplatten zur Verbindung der Dachelemente.



Nachträglich eingebaute Stahllaschen zur Verbindung der Kassettendecke mit den Wänden.

Veranlassung

Die Erdbebenertüchtigung erfolgte im Rahmen der Gesamt-sanierung der Schulanlage.

Kenndaten

Baujahr	1968
Nutzung des Gebäudes	Schule
Personenbelegung	PB = 38
Gebäudewert	8 Mio. CHF
Bauwerksklasse	BWK II
Erdbebenzone	Zone Z1
Baugrundklasse	E
Erfüllungsfaktor bisher	$\alpha_{eff} = 0,24$
Erfüllungsfaktor neu	$\alpha_{int} = 0,6$
Ertüchtigungsstrategie	Verstärken
Ausführung der Ertüchtigung	2008
Kosten der Ertüchtigung	140 000.– CHF oder 1,8 % des Gebäudewertes
Ingenieure	Marchand + Partner AG

3.14 Kinderklinik Aarau

Ist-Zustand

Die Kinderklinik des Kantonsspitals in Aarau wurde im Jahre 1954 gebaut. Das Gebäude ist 55 m lang, 16 m breit und weist vier Obergeschosse und zwei Untergeschosse auf. Das Tragssystem besteht aus unbewehrten Mauerwerkswänden und Stahlbetonstützen verbunden durch relativ dünne Stahlbetondecken.

Schwachstellen

In Längsrichtung fehlt ein nennenswertes horizontales Aussteifungssystem. Bei einer Stahlbetonstützenreihe entlang dem Korridor ist ein 1 m hoher Unterzug vorhanden, so dass sich zusammen mit den Stützen ein Längsrahmen mit kurzen, äusserst schubkritischen Stützen ergibt (Koller 2000). In Querrichtung ist das Gebäude durch die Stirnfassaden aus unbewehrtem Mauerwerk ausgesteift. Da die Decken in Querrichtung tragend ausgelegt sind, erhalten die Stirnfassadenwände wenig Normalkraftbeanspruchung und können somit nur geringfügige horizontale Kräfte infolge Erdbeben abtragen. Als weitere Schwachstelle erweisen sich die Einzel- und Streifenfundamente anstelle eines steifen Untergeschosses.

Ertüchtigungskonzept

In Längsrichtung werden zwei neue Stahlbetonwände durchlaufend über alle Geschosse eingezogen; davon wird eine als gekoppelte Tragwand besonders duktil ausgebildet. Für die



Aussteifung in Querrichtung werden je eine 5,20 m lange und 28 cm dicke Wand an beide bestehenden Stirnwände aus Mauerwerk betoniert. Zur Entlastung der langen Deckenscheiben wird in Gebäudemitte eine dritte Stahlbetonwand erforderlich.



Ansicht an die Längsfassade auf der Gartenseite.

Besonderes

Die Bemessung und konstruktive Gestaltung der gekoppelten Stahlbetontragwand für Erdbeben erfolgte gemäss (Paulay 1992). Da der in der Schweiz erhältliche Bewehrungsstahl zwar den Anforderungen der damals gültigen Norm SIA 162 genügt, aber eine ungenügende Duktilität für Erdbebenbeanspruchung aufweist, wird besonders duktiler Betonstahl für die plastischen Bereiche importiert (Koller 2000).

Veranlassung

Auslöser für eine umfassende bauliche Erhaltungsmassnahme am Gebäude war der ungenügende Brandschutz. Im diesem Rahmen wurde auch die Erdbebensicherheit überprüft. Von den gesamten Erhaltungskosten fielen 6 % auf die Erdbebenertüchtigung.



Neue gekoppelte Stahlbetontragwände im Untergeschoss.



Bewehrung der neuen gekoppelten Stahlbetontragwände im Erdgeschoss mit diagonalen Stabbindeln in den Koppelungsriegeln.

Kenndaten

Baujahr	1954
Nutzung des Gebäudes	Bettenhaus
Personenbelegung	PB = 350
Gebäudewert	24 Mio. CHF
Bauwerksklasse	BWK II
Erdbebenzone	Zone Z1
Baugrundklasse	standortspezifische bodendynamische Studie
Erfüllungsfaktor bisher	$\alpha_{eff} = 0,1$ (bezüglich SIA 160)
Erfüllungsfaktor neu	$\alpha_{int} = 1,0$ (bezüglich SIA 160)
Ertüchtigungsstrategie	Verstärken, Duktilität erhöhen
Ausführung der Ertüchtigung	1999
Kosten der Ertüchtigung	0,9 Mio. CHF oder 4 % des Gebäudewertes
Ingenieure	Résonance SA

3.15 Hörsaalgebäude HPH der ETH Zürich



Ist-Zustand

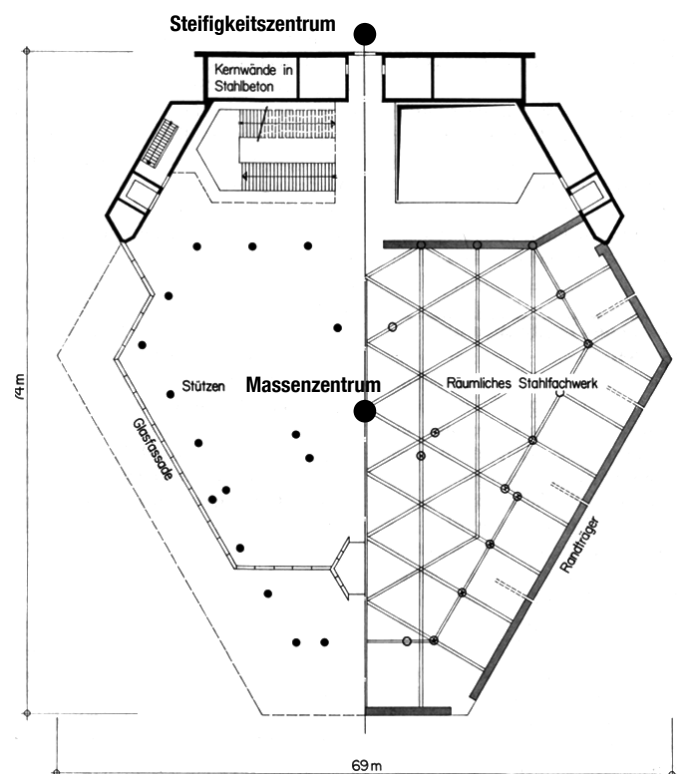
Das grosse Hörsaalgebäude HPH der ETH Zürich auf dem Hönggerberg wurde in den Jahren 1970/71 ohne Berücksichtigung der Erdbebeneinwirkung erstellt. Es umfasst drei Hörsäle mit zusammen über 1200 Sitzplätzen über einer grossen Eingangshalle mit Zugang zur Mensa.

Schwachstellen

Die Schwachstelle des ursprünglichen Bauwerks bezüglich Erdbebenverhalten ist die offene Eingangshalle unter dem Tragtisch der Hörsäle, die ein typisches weiches Erdgeschoss (Soft-Storey) bildet. Hinzu kommt die sehr grosse Exzentrizität von über 40 m zwischen dem Steifigkeitszentrum der aussteifenden Stahlbetonwände auf der Rückseite des Erdgeschosses und dem Massenzentrum der darüberliegenden Geschosse. Als Folge erfährt das Gebäude eine starke Torsionsbeanspruchung unter Erdbebeneinwirkung.

Ertüchtigungskonzept

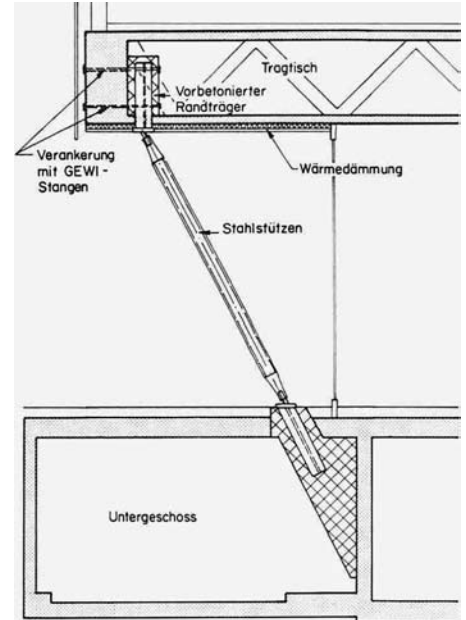
Das weiche Erdgeschoss wird durch ein neues, geneigtes Stahlrohr-Fachwerk ertüchtigt. Damit können die Steifigkeit und der Tragwiderstand erhöht sowie die ungünstige Exzentrizität des Aussteifungssystems im Erdgeschoss eliminiert werden.



Grundriss durch Erdgeschoss (links) und durch den Hohlraum des Tragtisches (rechts) mit Lage des Massen- und Steifigkeitszentrums im Zustand vor der Ertüchtigung nach (Schefer, Zwicky, Santschi 1995).



Neues geneigtes Stahlrohrfachwerk im Erdgeschoss.



Schnitt durch das neue geneigte Stahlrohrfachwerk im Erdgeschoss (Schefer, Zwicky, Santschi 1995).

Besonderes

Das neue Stahlrohr-Fachwerk stützt gleichzeitig auch den auskragenden Teil des Tragtisches für Schwerelasten, der vorher eine ungenügende Tragsicherheit aufwies. Mit der Eingrenzung des baulichen Eingriffs auf ein einziges Geschoss und durch den Verzicht auf neue Fundamente können die Kosten der Erdbebenertüchtigung auf 0,7 % des Gebäudewertes beschränkt werden.

Veranlassung

Die Erdbebenertüchtigung erfolgte anlässlich einer Sanierung des Tragtisches über dem Erdgeschoss für Schwerelasten. Es handelt sich um das erste Gebäude in der Schweiz bei dem bauliche Massnahmen zur Verbesserung der Erdbebensicherheit realisiert worden sind.

Kenndaten

Baujahr	1970/71
Nutzung des Gebäudes	Hörsaalgebäude
Personenbelegung	PB = 200
Gebäudewert	70 Mio. CHF
Bauwerksklasse	BWK II
Erdbebenzone	Zone Z1
Baugrundklasse	mittelsteif
Erfüllungsfaktor bisher	$\alpha_{eff} = 0,25$ (bezüglich SIA 160)
Erfüllungsfaktor neu	$\alpha_{int} = 1,0$ (bezüglich SIA 160)
Ertüchtigungsstrategie	Regularität verbessern, Verstärken
Ausführung der Ertüchtigung	1994
Kosten der Ertüchtigung	0,5 Mio. CHF oder 0,7 % des Gebäudewertes
Ingenieure	Basler & Hofmann, Ingenieure und Planer AG
Architekten	Broggi & Santschi Architekten AG
Experte	Prof. Dr. Dr. h.c. Hugo Bachmann

3.16 Schule in Zürich



Ist-Zustand

Der fünfgeschossige Sekundärtrakt der Schulanlage Riedenhalden in Zürich-Affoltern wurde Ende der 1950er-Jahre erstellt. Um ein zentrales quadratisches Treppenhaus sind vier Anbauten mit Klassenzimmern angeordnet. Die Decken und die Wände im Treppenhaus bestehen aus Stahlbeton, die übrigen Wände aus Mauerwerk.

Schwachstellen

Die vorhandenen Stahlbetonwände im Treppenhaus weisen horizontal und vertikal einen zu geringen Bewehrungsgehalt auf. Im Dachgeschoss über dem Treppenhaus fehlen aussteifende Bauteile. Die Stahlbetondachdecke ruht auf Pendelstützen. Die Mauerwerkswände in den Anbauten sind durch Fensterreihen unterbrochen und können praktisch keine horizontalen Kräfte abtragen.



Verstärkung einer bestehenden Stahlbetonwand mit einer 15 cm dicken Aufdoppelung.



Aussteifung des Dachgeschosses mit neuem Stahlrahmen.

Ertüchtigungskonzept

Die bestehenden vier Wände des Treppenhauses werden durch stark bewehrte Aufdoppelungen verstärkt. Die vier Aufdoppelungen sind im Grundriss symmetrisch angeordnet und laufen durchgehend von den Untergeschossen bis unter das Dachgeschoss. Das Dachgeschoss wird durch vier neue Stahlrahmen ausgesteift, die in die Fensterrahmen eingepasst sind und im Grundriss über den Stahlbetonaufdoppelungen liegen.

Besonderes

Da die Schulanlage unter Denkmalschutz steht, wird eine Ertüchtigungsvariante gewählt, die das ursprüngliche Erscheinungsbild des Gebäudes möglichst wenig beeinträchtigt.

Veranlassung

Die Erdbebenertüchtigung erfolgte im Rahmen der Instandsetzung und Erneuerung der knapp 50-jährigen Schulanlage.



Detail der vertikalen Bewehrungsstösse in den Aufdoppelungen.



Bewehrung einer Aufdoppelung mit den vertikalen Bewehrungsstössen.

Kenndaten

Baujahr	1958
Nutzung des Gebäudes	Schule
Personenbelegung	PB = 48
Gebäudewert	4 Mio. CHF
Bauwerksklasse	BWK II
Erdbebenzone	Zone Z1
Baugrundklasse	E
Erfüllungsfaktor bisher	$\alpha_{eff} = 0,2$
Erfüllungsfaktor neu	$\alpha_{int} = 1,1$
Ertüchtigungsstrategie	Verstärken, Regularität verbessern
Ausführung der Ertüchtigung	2006
Kosten der Ertüchtigung	0,13 Mio. CHF oder 3 % des Gebäudewertes
Ingenieure	Walt + Galmarini AG
Architekten	Pfister Schiess Tropeano & Partner Architekten AG

3.17 Radiostudio Zürich

Ist-Zustand

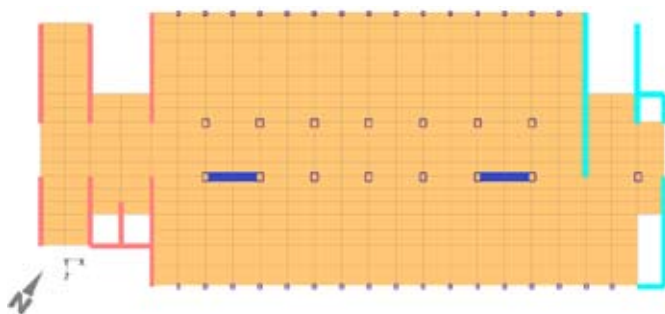
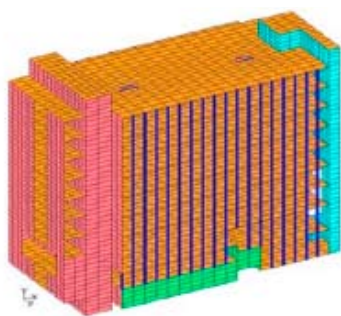
Das Hochhaus von Schweizer Radio DRS in Zürich wurde in den Jahren 1969/70 ohne Berücksichtigung der Erdbebeneinwirkung erstellt. Auf acht Geschossen befinden sich Büro- und Studioräume. Es handelt sich um einen Skelettbau in Ortbeton, der durch Stahlbetonkerne im Bereich der Lifte und Treppen an beiden Stirnseiten des Gebäudes stabilisiert wird.

Schwachstellen

Im ursprünglichen Zustand weist das Gebäude eine ausreichende Aussteifung in Querrichtung durch mehrere über die ganze Höhe durchlaufende Stahlbetontragwände auf. Dagegen fehlt eine genügende Aussteifung in Längsrichtung. Es sind nur wenige kurze Längswände im Bereich der Kerne vorhanden.

Ertüchtigungskonzept

Zur Ertüchtigung der ungenügenden Längsaussteifung werden zwei neue exzentrische Stahlfachwerke eingebaut. Im Grundriss betrachtet liegen die neuen Stahlfachwerke zwi-



Finite-Elemente-Modell für die Überprüfung der Erdbebensicherheit des Gebäudes (oben), Grundriss mit bestehenden Stahlbetontragwänden und neuen Stahlfachwerken (dunkelblau, unten).

schen zwei bestehenden Stahlbetonstützen entlang der ursprünglichen Korridorwand (in Skizze dunkelblau eingezeichnet). In den Untergeschossen können die Fachwerke auf bestehenden Wänden und Fundationen verankert werden.

Das Stahlfachwerk wird in zwei stockwerk hohen Abschnitten verschweisst und auf die Baustelle geliefert. Nach dem Einbau werden die Abschnitte miteinander verschraubt. Zur Verbindung mit den bestehenden Stahlbetondecken wird auf jedem Geschoss eine Anschlussbewehrung in vorbereitete Aussparungen verlegt und anschliessend einbetoniert.



Neues exzentrisches Stahlfachwerk eingebaut zwischen zwei bestehenden Stahlbetonstützen.

Besonderes

Das neue exzentrische Fachwerk fügt sich gut in das neue architektonische Konzept ein, das mit der Entfernung der bestehenden Korridorwände mehr Transparenz schaffen will.



Neues exzentrisches Stahlfachwerk mit Stützenverkleidung.

Veranlassung

Die Erdbebenertüchtigung erfolgte zusammen mit anderen baulichen Erhaltungsmaßnahmen des 35-jährigen Gebäudes.

Kenndaten

Baujahr	1970
Nutzung des Gebäudes	Radiostudio
Personenbelegung	PB = 150
Gebäudewert	15 Mio. CHF
Bauwerksklasse	BWK II
Erdbebenzone	Zone Z1
Baugrundklasse	mittelsteif
Erfüllungsfaktor bisher	$\alpha_{eff} = 0,3$
Erfüllungsfaktor neu	$\alpha_{int} = 1,0$
Ertüchtigungsstrategie	Verstärken, Duktilität erhöhen
Ausführung der Ertüchtigung	2004
Kosten der Ertüchtigung	0,34 Mio. CHF oder 2,3 % des Gebäudewertes
Ingenieure	Federer & Partner, Bauingenieure AG Basler & Hofmann, Ingenieure und Planer AG
Architekten	Di Gallo Architekten

3.18 EMPA-Verwaltungsgebäude in Dübendorf ZH

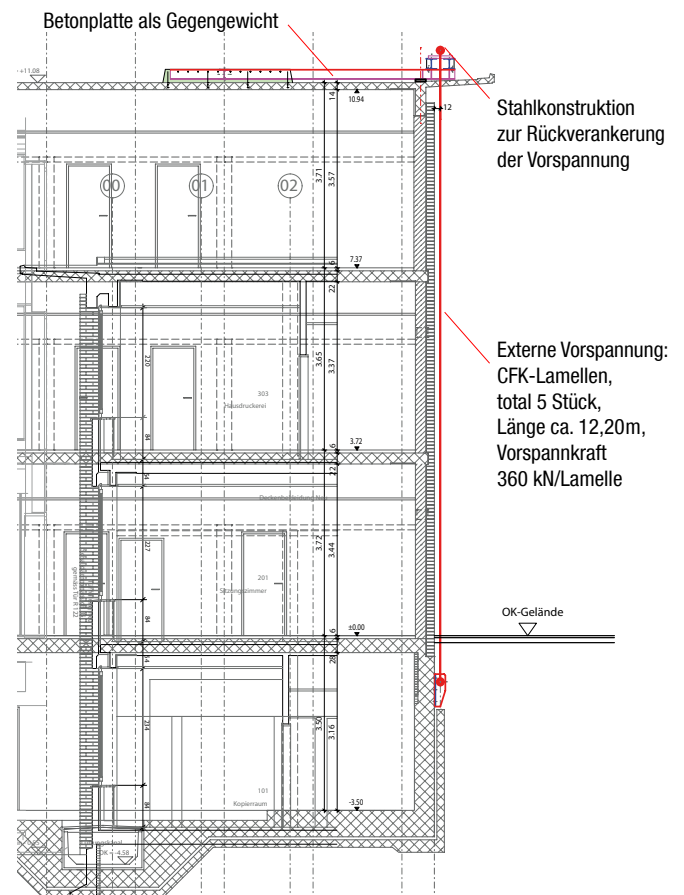


Ist-Zustand

Das dreistöckige Verwaltungsgebäude der EMPA Dübendorf ist etwa 50 m lang und 18 m breit. Es wurde im Jahre 1960 in Mischbauweise aus Stahlbetonrahmen, Stahlbetonwänden und Mauerwerk erstellt. Die Decken sind aus Stahlbeton.



Nördliche Stirnfassade verstärkt durch externe vertikale CFK-Spannglieder.



Längsschnitt durch nördliche Stirnfassade mit externen CFK-Spanngliedern.

Schwachstellen

In Gebäudelängsrichtung können die Erdbebenbeanspruchungen durch die vorhandenen Stahlbetonrahmen und die Stahlbetonwände des Treppenhaus- und Liftkerns abgetragen werden. In Gebäudequerrichtung besteht das horizontale Aussteifungssystem aus den beiden Stirnfassaden aus Mauerwerk zusammen mit dem Kern. Da der Kern im Grundriss exzentrisch in der Nähe der südlichen Stirnfassade angeordnet ist, ist dieser im Ist-Zustand genügend, während die vom Kern weiter weg liegende, nördliche Stirnfassade durch die Erdbebenbeanspruchungen überlastet wird.

Ertüchtigungskonzept

Die nördliche Stirnfassade aus 22 cm dickem Mauerwerk wird durch fünf 13 m lange aussenliegenden Spannglieder verstärkt. Dabei werden erstmals Spannglieder aus durch Kohlenstofffasern verstärkten Kunststoffen (CFK) für die Erdbebenertüchtigung angewandt (Bachmann 2007b). Die exzentrisch wirkende vertikale Vorspannkraft wird mittels einer Stahlkonstruktion auf dem Dach zentrisch auf die Stirnfassade übertragen.



Obere Verankerung der CFK-Spannglieder auf dem Dach, von wo aus vorgespannt wurde.



Untere Verankerung der CFK-Spannglieder seitlich in der Kellerwand.

Besonderes

Die vertikalen CFK-Spannglieder werden als architektonisches Element gut sichtbar vor der Fassade montiert.

Veranlassung

Die Erdbebenertüchtigung erfolgte zusammen mit der Gesamtsanierung der Fassaden.

Kenndaten

Baujahr	1960
Nutzung des Gebäudes	Bürogebäude
Personenbelegung	PB = 80
Gebäudewert	9 Mio. CHF
Bauwerksklasse	BWK II
Erdbebenzone	Zone Z1
Baugrundklasse	E
Erfüllungsfaktor bisher	$\alpha_{eff} = 0,25$
Erfüllungsfaktor neu	$\alpha_{int} = 1,0$
Ertüchtigungsstrategie	Verstärken
Ausführung der Ertüchtigung	2007
Kosten der Ertüchtigung	0,15 Mio. CHF oder 1,5 % des Gebäudewertes
Ingenieure	Synaxis AG Zürich
Architekten	Raumfachwerk Architekten AG
Experte	Prof. Dr. Dr. h.c. Hugo Bachmann

3.19 Wohnhaus mit Einkaufszentrum in Winterthur



Ist-Zustand

Das viergeschossige Gebäude wurde in den 1960er-Jahren in Mischbauweise aus Mauerwerk mit Stahlbeton erstellt. In den Obergeschossen befinden sich Wohnungen. Das Einkaufszentrum im Erdgeschoss überspannt fast die dreifache Fläche der Obergeschosse. Die Geschossdecken und das Untergeschoss sind aus Stahlbeton.

Schwachstellen

Das Gebäude weist ein ausgeprägtes weiches Erdgeschoss (Soft-Storey) mit starker Torsionsbeanspruchung unter Erdbebeneinwirkung auf. Hinzu kommt die ungünstig wirkende Dilatationsfuge etwa in der Mitte der Gebäudelänge. Bei früheren Umbauten sind mehrere Wände im Erdgeschoss entfernt worden, so dass kein eigentliches Aussteifungssystem mehr vorhanden ist.



Neues V-förmiges Stahlfachwerk in einem Büroraum des Erdgeschosses.



Neues V-förmiges Stahlfachwerk versteckt hinter einem Verkaufsregal im Erdgeschoss.

Ertüchtigungskonzept

Im Erdgeschoss werden insgesamt vier neue V-förmige Stahlfachwerke eingebaut, je zwei pro Gebäude- richtung. Die vertikalen Reaktionen der Fachwerke werden im Untergeschoss über neue Stahlstützen weitergeführt und mit Mikropfählen verankert. Die horizontalen Reaktionen der Fachwerke werden über die bestehende Bodendecke des Erdgeschosses aufgenommen.

Besonderes

Der Hauptvorteil der Stahlverbände gegenüber anderen Ertüchtigungsvarianten besteht in der kurzen Bauzeit. Der Verkaufsladen muss innerhalb von zwei Monaten fertig umgebaut sein.



Einbau der neuen V-förmigen Stahlfachwerke im Erdgeschoss.



Verankerung des neuen V-förmigen Stahlfachwerks in der Bodendecke des ersten Obergeschosses.

Veranlassung

Die Erdbebenertüchtigung erfolgte im Zusammenhang mit einer Gesamterneuerung des Verkaufsladens im Erdgeschoss.

Kenndaten

Baujahr	1966
Nutzung des Gebäudes	Einkaufszentrum mit Wohnhaus
Personenbelegung	PB = 71
Gebäudewert	5,5 Mio. CHF
Bauwerksklasse	BWK II
Erdbebenzone	Zone Z1
Baugrundklasse	C
Erfüllungsfaktor bisher	$\alpha_{eff} = 0,2$
Erfüllungsfaktor neu	$\alpha_{int} = 1,0$
Ertüchtigungsstrategie	Verstärken, Regularität verbessern
Ausführung der Ertüchtigung	2005
Kosten der Ertüchtigung	0,12 Mio. CHF oder 2,2 % des Gebäudewertes
Ingenieure	Dr. Deuring + Oehninger AG, Winterthur

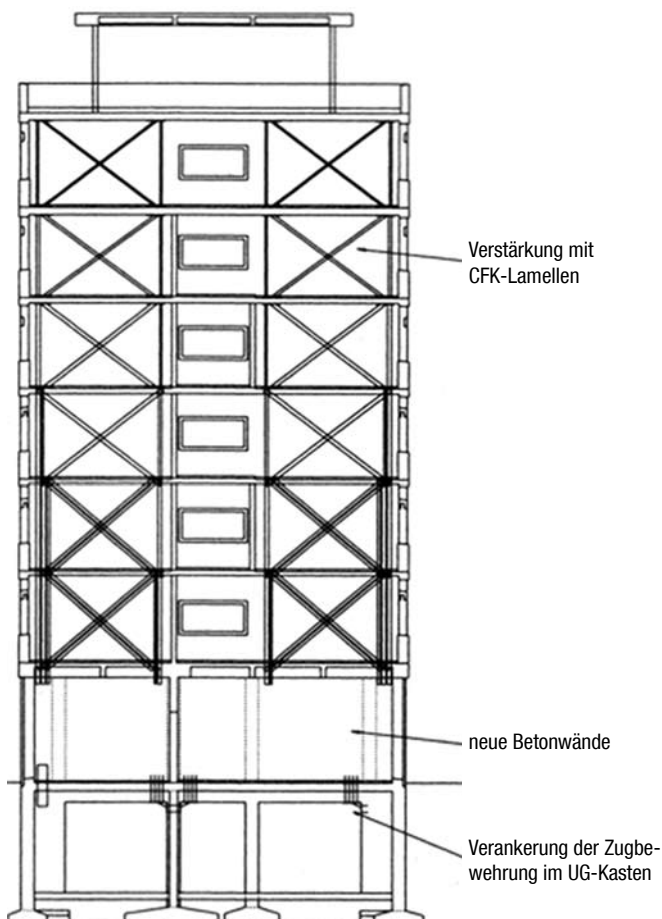
3.20 Gymnasium Friedberg in Gossau SG

Ist-Zustand

Das Hochhaus des Internats Gymnasium Friedberg in Gossau stammt aus dem Jahr 1961. Auf sieben Geschossen befinden sich Zimmer für Gymnasiasten sowie Büroräume der Schule. Das Gebäude ist rund 24 m lang, 12 m breit und 22 m hoch. Das Tragsystem besteht primär aus einer Stahlbetontraggwand in Längsrichtung, Mauerwerkswänden in Querrichtung und Stahlbetonstützen in der Fassade. Die Decken sind aus Stahlbeton.

Schwachstellen

Die Schwachstelle bezüglich Erdbebenverhalten sind die unbewehrten Mauerwerkswände in Querrichtung. Da diese Mauerwerkswände im Erdgeschoss unterbrochen sind, weist das Gebäude ein ungünstiges weiches Erdgeschoss mit starker Torsionsbeanspruchung auf.



Ertüchtigungskonzept

In Querrichtung werden auf der Südseite die Mauerwerkswände vom 1. bis zum 6. Obergeschoss mit gekreuzten CFK-Lamellen verstärkt. Auf der Treppenseite beschränkt sich die Verstärkung mit CFK-Lamellen auf das 4. bis 6. Obergeschoss. Vom 1. bis zum 3. Obergeschoss wird eine neue Stahlbetonwand vorbetoniert. Im Erdgeschoss werden neue Stahlbetonwände eingezogen, die im steifen Untergeschoss verankert sind. In Längsrichtung müssen keine Verstärkungen vorgenommen werden.

Ansicht an Querwand Süd aus Mauerwerk mit den Ertüchtigungsmassnahmen: neue Stahlbetontraggwand im Erdgeschoss und Verstärkung mit CFK-Lamellen in den Obergeschossen (Borggno 2001).

Besonderes

Die diagonalen CFK-Lamellen werden mit neu entwickelten CFK-Schubwinkeln in vorbereitete Bohrlöcher in der Betondecke verankert und mit Konterplatten und Zugstangen gesichert (Bild rechts). Für die vertikalen CFK-Lamellen ist eine ausreichende Verankerungslänge mittels Klebeverbund vorhanden.

Veranlassung

Die Erdbebenertüchtigung erfolgte zusammen mit anderen baulichen Erhaltungsmaßnahmen am Gebäude.



Verankerung der Kohlefaserlamellen mit Schubwinkeln in der Betondecke.



Verstärkung der Mauerwerkswände im Treppenhaus mit Kohlefaserlamellen.

Kenndaten

Baujahr	1961
Nutzung des Gebäudes	Büro- und Wohnhaus (Internat)
Personenbelegung	PB = 25
Gebäudewert	3,7 Mio. CHF
Bauwerksklasse	BWK II
Erdbebenzone	Zone Z1
Baugrundklasse	mittelsteif
Erfüllungsfaktor bisher	$\alpha_{eff} = 0,3$ (bezüglich SIA 160)
Erfüllungsfaktor neu	$\alpha_{int} = 1,0$ (bezüglich SIA 160)
Ertüchtigungsstrategie	Verstärken, Regularität verbessern
Ausführung der Ertüchtigung	2001
Kosten der Ertüchtigung	0,37 Mio. CHF oder 10 % des Gebäudewertes
Ingenieur	Walter Borgogno

3.21 Wohngebäude in Crans-Montana VS

Ist-Zustand

Das viergeschossige Gebäude in Crans-Montana wurde ursprünglich als Hotel in den 1950er-Jahren erstellt. Im Jahre 2004 erfolgte ein Umbau in Eigentumswohnungen. Die Decken und das Untergeschoss bestehen aus Stahlbeton, die Wände aus Mauerwerk.

Schwachstellen

Die bestehenden Mauerwerkswände genügten bei Weitem nicht, um die Erdbebenkräfte in der höchsten Zone Z3b der Schweiz aufzunehmen.

Ertüchtigungskonzept

Zur Realisierung der neuen Raumeinteilung für die Eigentumswohnungen mussten zahlreiche Wände entfernt werden. Als neues Aussteifungssystem wurden vier schlanke Stahlbetonwände erstellt. Den erdbebengerechten Entwurfsregeln folgend laufen die neuen Stahlbetonwände durchgehend vom Untergeschoss bis zum Dachgeschoss. Im Grundriss sind die vier Wände möglichst symmetrisch auf die vier Fassaden aufgeteilt.



Ansicht an die Ostfassade mit den neuen Stahlbetontragwänden.



Ansicht an die Nordfassade mit einer neuen aussenliegenden Stahlbetontragwand.



Umbau der Süd-Ost-Ecke.

Besonderes

Es wurde versucht, die neuen Stahlbetonwände möglichst gut in die Architektur der Fassaden einzupassen.

Veranlassung

Die Erdbebenertüchtigung erfolgte anlässlich des Umbaus des früheren Hotels in Eigentumswohnungen.



Foundation einer der neuen Stahlbetonwände.



Bewehrung einer neuen Stahlbetontragwand im Untergeschoss.

Kenndaten

Baujahr	1958
Nutzung des Gebäudes	Wohnen
Personenbelegung	PB = 6
Gebäudewert	3,6 Mio. CHF
Bauwerksklasse	BWK I
Erdbebenzone	Zone Z3b
Baugrundklasse	A
Erfüllungsfaktor bisher	$\alpha_{eff} = 0,2$
Erfüllungsfaktor neu	$\alpha_{int} = 1,0$
Ertüchtigungsstrategie	Verstärken, Duktilität erhöhen
Ausführung der Ertüchtigung	2004
Kosten der Ertüchtigung	0,15 Mio. CHF oder 4 % des Gebäudewertes
Ingenieure	Gasser & Masserey SA, Crans-Montana

3.22 Hotel in Bussigny VD



Ist-Zustand

Das Hotel Novotel in Bussigny bei Lausanne wurde im Jahre 1972 als dreigeschossiges Gebäude gebaut. Das Haus ist etwa 75 m lang, 16 m breit und 8 m hoch. Anstelle eines Untergeschosses befindet sich unter dem Erdgeschoss ein knapp 1 m hoher Hohlraum für die Gebäudetechnik.

Schwachstellen

Ursprünglich weist das Gebäude kein Aussteifungssystem in Längsrichtung auf, weder für Wind noch für Erdbeben. Zusätzlich ungünstig bezüglich Erdbebenbeanspruchung wirkt sich die Unterteilung in vier Gebäudeteile durch Dilatationsfugen aus, die über die ganze Gebäudehöhe verlaufen. Ferner ist die Aufhängung der schweren Fassadenelemente aus vorgefertigtem Stahlbeton ungenügend. In Gebäudequerrichtung sind genügend Wände vorhanden, die auf Streifenfundamenten ruhen.



Stirnfassade auf der Nordseite mit neuem Treppenhaus aus Stahlbeton.



Stirnfassade auf der Südseite mit den beiden neuen dreieckförmigen Stahlbetonwänden.

Ertüchtigungskonzept

Die beiden Stirnseiten des Gebäudes werden durch aussenliegende Puffer in Längsrichtung stabilisiert. Auf der Südseite erfolgt dies durch zwei neue dreieckförmige Stahlbetonwände und auf der Nordseite durch ein neues Treppenhaus in Stahlbeton. Die neuen Puffer sind auf Pfählen fundiert. Die bestehenden drei Dilatationsfugen werden in den Stahlbetondecken mittels eines expansiven Mörtels geschlossen. Ferner wird die Aufhängung der Fassadenelemente verstärkt.

Besonderes

Der Puffer auf der Nordseite dient gleichzeitig als neue Feuertreppe zur Verbesserung des Brandschutzes. Der Fugenschluss in den Decken erfolgt bei kaltem Wetter, um bei normaler Gebäudetemperatur eine Druckvorspannung zwischen den beiden Puffern zu erzeugen.

Veranlassung

Die Erdbebenertüchtigung erfolgte zusammen mit einer generellen Sanierung und einer Aufstockung des Hotels von drei auf vier Geschosse.



Die beiden neuen dreieckförmigen Stahlbetonwände auf der Südseite im Bauzustand.



T-förmiges Stahlteil zur Verankerung der neuen Stahlbetonwände in den bestehenden Decken.

Kenndaten

Baujahr	1972
Nutzung des Gebäudes	Hotel
Personenbelegung	PB = 60
Gebäudewert	25 Mio. CHF
Bauwerksklasse	BWK I
Erdbebenzone	Zone Z1
Baugrundklasse	B
Erfüllungsfaktor bisher	$\alpha_{eff} = 0,12$
Erfüllungsfaktor neu	$\alpha_{int} = 1,0$
Ertüchtigungsstrategie	Verstärken, Duktilität erhöhen
Ausführung der Ertüchtigung	2008
Kosten der Ertüchtigung	180 000.– CHF oder 0,72 % des Gebäudewertes
Ingenieure	E. Molleyres, FM Frank Meylan SA
Architekten	Acrobat SA

3.23 Brücke der Simplonstrasse A9 VS



Ist-Zustand

Die Brunnenbrücke besteht im Ist-Zustand aus je einem 5- und einem 10-feldrigen Durchlaufträger mit einer Dilatationsfuge auf einer Zwischenstütze. Die beiden Brückenträger sind an den jeweiligen Widerlagern in Längsrichtung fest gelagert. In Querrichtung ist der Brückenträger auf allen Stützen gelagert. Die Gesamtlänge der Brücke beträgt 270 m. Die typischen Spannweiten betragen 16 m über den niedrigeren und 26 m über den höheren Stützen.

Schwachstellen

Im Ist-Zustand der Brücke vermag die feste Längslagerung der beiden Brückenhälften bei den Widerlagern die Erdbebenkräfte bei Weitem nicht abzutragen. Die stark unterschiedlichen Höhen der Stützen bewirken eine unregelmässige Verteilung der Quersteifigkeit mit der Folge, dass die sehr kurzen Stützen in Querrichtung überbeansprucht werden. Ferner besteht eine Absturzgefahr des Brückenträgers in Längsrichtung bei der Dilatationsfuge auf der Mittelstütze.



Blick auf einen Brückenabschnitt mit hohen schlanken Stützen.



Ertüchtigung mit Erdbebenlagern aus hochdämpfenden Gummischichten beim Widerlager.

Ertüchtigungskonzept

Durch den Einbau von horizontal weichen Erdbebenlagern auf den Widerlagern und den kritischen kurzen Stützen wird das Längslagerungssystem von fester in schwimmende Lagerung gewechselt. Die Dilatationsfuge in Brückenmitte wird geschlossen.

Besonderes

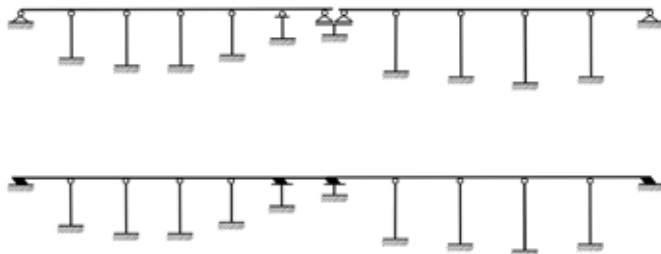
Die weichere Lagerung der Brücke auf insgesamt 16 hochdämpfenden Erdbebenlagern reduziert die Erdbebenbeanspruchungen längs und quer einerseits dank der Vergrößerung der Grundschwingzeiten und andererseits dank der erhöhten Dämpfung.

Veranlassung

Die Erdbebenertüchtigung erfolgte zusammen mit anderen baulichen Erhaltungsmaßnahmen im Rahmen eines Unterhaltsabschnittes der Nationalstrasse A9.



Zusammenspannen der beiden Brückenhälften bei der ursprünglichen Dilatationsfuge in Brückenmitte.



Feste Längslagerung im Ist-Zustand (oben) und schwimmende Längslagerung nach der Ertüchtigung mittels Erdbebenlager (unten).

Kenndaten

Baujahr	1978
Nutzung	Strassenverkehr
Personenbelegung	–
Anlagewert	7 Mio. CHF
Bauwerksklasse	BWK II
Erdbebenzone	Zone Z3b
Baugrundklasse	A
Erfüllungsfaktor bisher	$\alpha_{eff} = 0,1$
Erfüllungsfaktor neu	$\alpha_{int} = 1,0$
Ertüchtigungsstrategie	Schwächen, Einwirkung reduzieren
Ausführung der Ertüchtigung	2005
Kosten der Ertüchtigung	0,15 Mio. CHF oder 2 % des Anlagewertes
Ingenieure	VWI Ingenieure AG Truffer Ingenieurberatung AG
Experte	Dr. Thomas Wenk

3.24 Flüssiggastank in Visp VS

Ist-Zustand

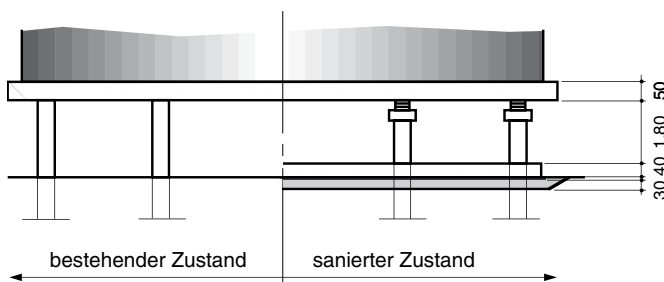
Ein zylindrischer Stahltank zur Lagerung von 1000 t Flüssiggas ruht auf einer aufgeständerten Stahlbetonplatte. Der Stahltank hat einen Durchmesser von 15 m und eine Höhe von 16 m. Die Platte liegt auf 26 schlanken Stahlbetonstützen auf. Die Stützen weisen eine Höhe von 2,20 m und einen Durchmesser von 50 cm auf. Sie sind jeweils einzeln mit einem Bohrpfahl gleichen Durchmessers fundiert.

Schwachstellen

Zum Schutz vor Hochwasser ist der Tank aufgeständert gelagert. Im bestehenden Zustand werden unter horizontaler Erdbebenwirkung die Stützen und die Pfähle unter dem Tank auf Biegung und Schub stark überbeansprucht. Die Stahlkonstruktion des Tanks wird ebenfalls überbeansprucht.

Ertüchtigungskonzept

Anstelle einer Verstärkung wird die horizontale Lagerung durch den Einbau von 26 speziellen hochdämpfenden Gummilagern geschwächt. Die so erzielte schwimmende horizon-



Bestehender Zustand (links) und sanierter Zustand (rechts) erzielt durch den Einbau von Gummilagern und einer zusätzlichen unteren Betonplatte (Bachmann 2000).



tale Lagerung (seismische Isolation) verschiebt die massgebende Grundfrequenz von 2,2 auf 0,5 Hz. Dank dieser Frequenzverschiebung sowie der erhöhten Dämpfung werden die Spektralbeschleunigung und damit die Erdbebenbeanspruchungen auf ein Drittel reduziert.

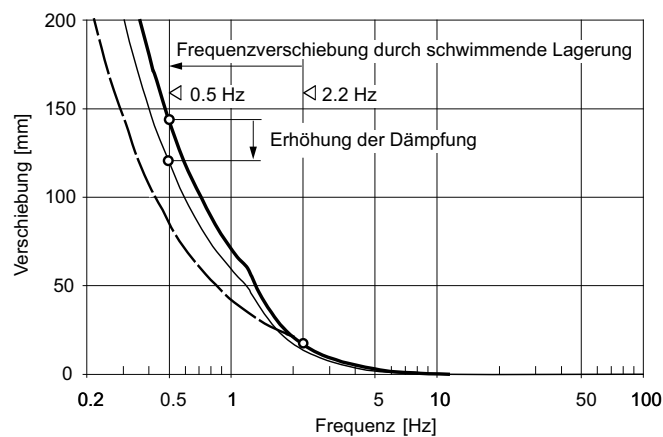
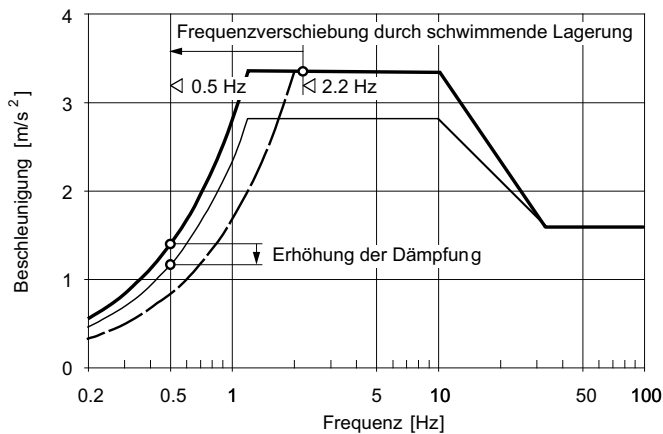
Besonderes

Dank der seismischen Isolation wird die Erdbebenbeanspruchung des Stahltanks so weit reduziert, dass auf eine aufwendige Verstärkung der Stahlkonstruktion des Tanks verzichtet

werden kann. Treppen und Leitungsturm müssen auf die infolge seismischer Isolation vergrösserten Horizontalschwingungen des Tanks überprüft werden.

Veranlassung

Die Erdbebenertüchtigung erfolgte im Anschluss an eine Risikoanalyse nach den Vorgaben der Störfallverordnung.



- Standortspezifisches Spektrum $\zeta = 5\%$
- - - Standortspezifisches Spektrum $\zeta = 8\%$
- · · Spektrum für mittelsteife Böden nach SIA 160 $\zeta = 5\%$

Elastische Bemessungsantwortspektren der Beschleunigung (oben) und der Verschiebung (unten) mit der massgebenden Grundfrequenz vor und nach der Ertüchtigung.



Nachträglich eingebautes Gummilager unter dem Flüssiggastank.

Kenndaten

Baujahr	1980
Nutzung	Lagerung von Flüssiggas
Anlagewert	3 Mio. CHF
Bauwerksklasse	BWK III
Erdbebenzone	Zone Z3b
Baugrundklasse	standortspezifische bodendynamische Studie
Erfüllungsfaktor bisher	$\alpha_{eff} = 0,2$ (bezüglich SIA 160)
Erfüllungsfaktor neu	$\alpha_{int} = 1,0$ (bezüglich SIA 160)
Ertüchtigungsstrategie	Schwächen, Einwirkung reduzieren
Ausführung der Ertüchtigung	2002
Kosten der Ertüchtigung	0,35 Mio. CHF oder 12 % des Anlagewertes
Ingenieure	KBM Bureau d'Ingénieurs civils SA
Experte	Prof. Dr. Dr. h.c. Hugo Bachmann

3.25 Wohnhaus in Kriessern SG



Ist-Zustand

Bei diesem Gebäude handelt es sich um ein frei stehendes Mehrfamilienhaus mit zwei Wohngeschossen, einem Keller und einem Dachgeschoss. Die Wände sind aus unbewehrtem Mauerwerk und die Decken in Stahlbeton ausgeführt. Die Grundrissabmessungen betragen 9 x 23 m. Das Tragsystem für horizontale Einwirkungen ist regelmässig im Grundriss und im Aufriss.

Verhältnismässigkeit und Zumutbarkeit

Da die Überprüfung der Erdbebensicherheit einen Erfüllungsfaktor von knapp $\alpha_{eff} = 1,0$ ergibt, sind unabhängig von den

Kriterien der Verhältnismässigkeit und Zumutbarkeit des Merkblatts SIA 2018 keine Ertüchtigungsmassnahmen erforderlich.

Massnahmenempfehlung

Das bestehende Gebäude kann im Ist-Zustand als genügend erdbebensicher akzeptiert werden.

Veranlassung

Die Überprüfung der Erdbebensicherheit des Gebäudes erfolgte anlässlich der Planung von baulichen Erhaltungsmaßnahmen.

Kenndaten

Baujahr	1960
Nutzung des Gebäudes	Wohnen
Personenbelegung	PB = 10
Bauwerksklasse	BWK I
Erdbebenzone	Zone Z2
Baugrundklasse	D
Erfüllungsfaktor	$\alpha_{eff} = 1,0$
Jahr der Überprüfung	2005
Ingenieure	Holinger AG

3.26 Praktikumsgebäude HPP der ETH Zürich

Ist-Zustand

Das Praktikumsgebäude HPP wurde in den Jahren 1969 bis 1971 als Teil der ersten Bauetappe der ETH Zürich auf dem Hönggerberg erstellt. Bei einer Höhe über Terrain von 45 m weist es 11 Obergeschosse und 2 Untergeschosse auf. Die Grundrissabmessungen sind quadratisch 34 x 34 m. Das Tragsystem für horizontale Einwirkungen besteht aus über die gesamte Höhe durchlaufenden Stahlbetonkernen für Lift- und Treppenhaus sowie weiteren Stahlbetontragwänden. Gesamthaft gesehen ist das Tragsystem einigermaßen regelmässig im Grundriss und im Aufriss. Die Decken sind aus Stahlbeton und weisen zum grösseren Teil Unterzüge auf. Nicht tragende Wände sind in Mauerwerk ausgeführt.

Verhältnismässigkeit und Zumutbarkeit

Mit einer angenommenen Restnutzungsdauer von 40 Jahren erreicht der Erfüllungsfaktor α_{eff} aufgrund der Kriterien des Merkblatts SIA 2018 gerade den zulässigen Reduktionsfaktor $\alpha_{adm} = 0,7$. Es werden keine Ertüchtigungsmassnahmen erforderlich.

Massnahmenempfehlung

Das bestehende Gebäude kann im Ist-Zustand als genügend erdbebensicher akzeptiert werden.

Veranlassung

Die Überprüfung der Erdbebensicherheit des Gebäudes erfolgte anlässlich der Planung von baulichen Erhaltungsmaßnahmen.



Kenndaten

Baujahr	1971
Nutzung des Gebäudes	Forschung und Unterricht
Personenbelegung	PB = 300
Bauwerksklasse	BWK I
Erdbebenzone	Zone Z1
Baugrundklasse	C
Erfüllungsfaktor	$\alpha_{eff} = 0,7$
Jahr der Überprüfung	2005
Ingenieure	Basler & Hofmann, Ingenieure und Planer AG

3.27 SIA-Hochhaus in Zürich

Ist-Zustand

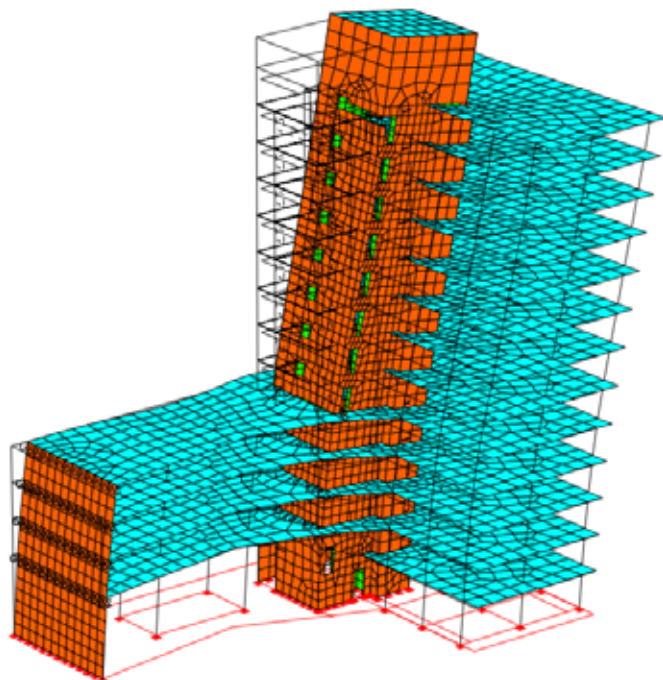
Das 40 m hohe SIA-Hochhaus in Zürich wurde 1971 als Skelettbau erstellt. Die Aussteifung für horizontale Wind- und Erdbebenkräfte erfolgt durch einen exzentrisch angeordneten, 8 x 8 m grossen Stahlbetonkern (Favre 1971). Bei der Gesamtsanierung 2006/07 wird der ursprünglich dilatierbare viergeschossige Anbau monolithisch mit dem Hochhaus verbunden, um grössere zusammenhängende Büroflächen zu erhalten. Dadurch kann die Exzentrizität des Aussteifungssystems in den unteren Geschossen verringert werden.

Verhältnismässigkeit und Zumutbarkeit

Der Nachweis der Erdbebensicherheit erfolgt an einem dreidimensionalen Modell mit dem Antwortspektrenverfahren. Da sich ein Erfüllungsfaktor $\alpha_{eff} > 1,0$ ergibt, stellt sich die Problematik der Verhältnismässigkeit von Ertüchtigungsmassnahmen nicht.

Massnahmenempfehlung

Das Gebäude ist im umgebauten Zustand genügend erdbebensicher, so dass keine Ertüchtigungsmassnahmen erforderlich wurden.



Dreidimensionales Finite-Elemente-Modell für das Antwortspektrenverfahren.

Veranlassung

Die Überprüfung der Erdbebensicherheit des Gebäudes erfolgte anlässlich der Planung des Umbaus bedingt durch einen Mieterwechsel.

Kenndaten

Baujahr	1971
Nutzung des Gebäudes	Bürogebäude
Personenbelegung	PB = 70
Bauwerksklasse	BWK I
Erdbebenzone	Zone Z1
Baugrundklasse	C
Erfüllungsfaktor	$\alpha_{eff} > 1,0$
Jahr der Überprüfung	2005
Ingenieure	Dr. Lüchinger + Meyer, Bauingenieure AG

> Anhang

A1 Entwicklung der Erdbebenvorschriften in den Normen

1970 wurden in der Schweiz erstmals Erdbebenbestimmungen in den SIA-Tragwerksnormen eingeführt (SIA 160, 1970). Mit den beiden neueren Normengenerationen der Jahre 1989 und 2003 wurden die Anforderungen jedes Mal verschärft. Hintergründe waren neue Erkenntnisse im Erdbebeningenieurwesen und in der Seismologie.

Die nach aktuellen Normen (SIA 260 ff. 2003) für ein Bauwerk zu berücksichtigende Erdbebeneinwirkung variiert stark in Abhängigkeit von verschiedenen Parameter. Die fünf wichtigsten sind:

- > Bauwerksklasse
- > Erdbebenzone
- > Baugrundklasse
- > Bauweise
- > Schwingungsverhalten des Bauwerks

Aus der Kombination dieser Parameter ergibt sich die Grösse der zu berücksichtigenden Erdbebeneinwirkung für die Bemessung eines Bauwerks. Tabelle 1 zeigt, wie sich diese Parameter im Laufe der verschiedenen Normengenerationen entwickelt und verändert haben.

Tab. 1 > Entwicklung der Parameter zur Bestimmung der Erdbebeneinwirkung in den SIA-Normen

Normengeneration	SIA 160	SIA 160	SIA 260 ff.
Inkrafttreten	1970	1989	2003
Anzahl Bauwerksklassen	2	3	3
Anzahl Erdbebenzonen	1	4	4
Anzahl Baugrundklassen	keine	3	6
Anzahl Bauweisen	1	5	27
Schwingungsverhalten	nicht berücksichtigt	berücksichtigt	berücksichtigt

Die Grundlagen für die Einteilung in eine der drei heutigen **Bauwerksklassen (BWK)** sind die mittlere Personenbelegung, das Schadenpotenzial, die Gefährdung der Umwelt sowie die Bedeutung des Bauwerks für die Katastrophenbewältigung unmittelbar nach einem Erdbeben. Normale Wohn- und Geschäftsgebäude werden in die BWK I eingeteilt. Gebäude mit grösseren Menschenansammlungen (Einkaufszentren, Sportstadien, Kinos, Theater, Schulen und Kirchen) sowie die Gebäude der öffentlichen Verwaltung werden der BWK II zugeteilt. Sogenannte Lifeline-Gebäude mit lebenswichtigen Infrastrukturfunktionen, wie Feuerwehrgebäude, Ambulanzgaragen oder Akutspitäler, werden in der BWK III eingestuft. In Abhängigkeit von der Bauwerksklasse wird die

Grösse des Bemessungserdbebens mit einem Bedeutungsfaktor $\gamma_f = 1,0$ für BWK I, $\gamma_f = 1,2$ für BWK II und $\gamma_f = 1,4$ für BWK III skaliert. Die Wiederkehrperiode des Bemessungserdbebens beträgt 475 Jahre bei BWK I, 800 Jahre bei BWK II und 1200 Jahre bei BWK III.

In der Norm SIA 160 von 1970 gab es zwei Bauwerksklassen mit einem Erhöhungsfaktor von 1,4 für die Erdbebenkräfte der höheren BWK, das heisst bei Gebäuden mit grösseren Menschenansammlungen (Theater, Kirchen, Krankenhäuser, Schulhäuser).

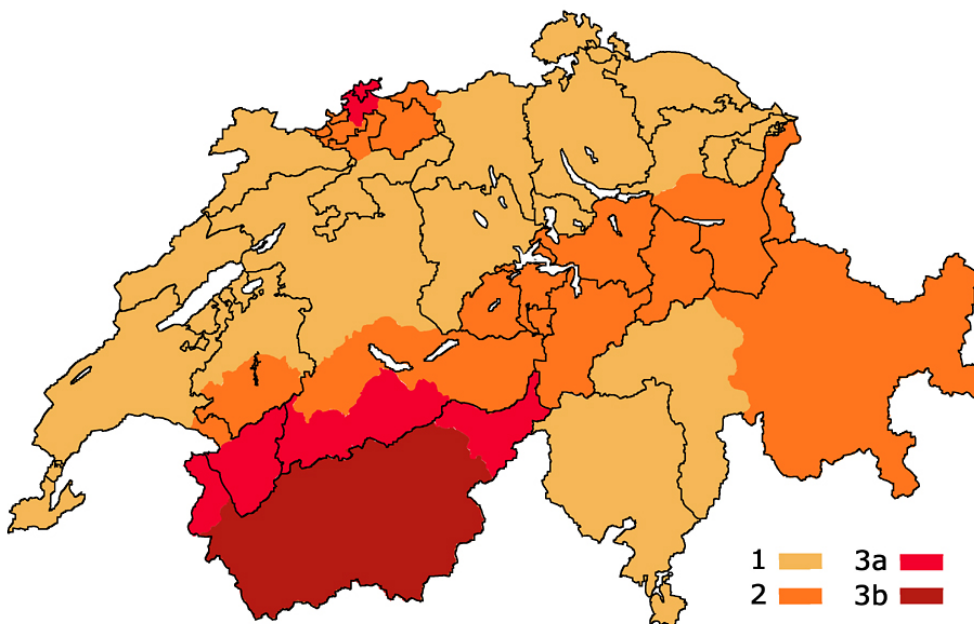
Die Norm SIA 160 von 1989 unterschied bereits 3 Bauwerksklassen und machte damit eine Abstufung der Erdbebenkräfte ähnlich wie diejenige in der aktuellen Norm SIA 261 (2003).

Die Schweiz unterteilt sich heute in vier **Erdbebenzonen** (Abb. 12). In den Alpen und in der Region Basel ist die Gefährdung etwas höher als im Jura, im Mittelland oder im Tessin. Weltweit gesehen liegt die Erdbebengefährdung in der Schweiz im Bereich zwischen niedriger und mittlerer Seismizität. Die maximale horizontale Bodenbeschleunigung beträgt auf Fels (Baugrundklasse A) $0,6 \text{ m/s}^2$ in der niedrigsten Zone 1. Sie beträgt $1,0 \text{ m/s}^2$ in Zone 2, $1,3 \text{ m/s}^2$ in Zone 3a und $1,6 \text{ m/s}^2$ in der höchsten Zone 3b.

In der Norm SIA 160 von 1970 wurde ein einheitliches Gefährdungsniveau mit einer horizontalen Beschleunigung von $0,2 \text{ m/s}^2$ für die ganze Schweiz angesetzt. Einzig im Kanton Basel-Stadt schrieben die lokalen Behörden einen höheren Wert von $0,5 \text{ m/s}^2$ vor. Die Norm SIA 160 von 1989 beinhaltete ebenfalls 4 Erdbebenzonen mit den gleichen Beschleunigungswerten, jedoch mit kleinerer geografischer Ausdehnung der höheren Erdbebenzonen wie in der aktuellen Norm SIA 261.

Abb. 12 > Erdbebenzonenkarte der Schweiz

Die Norm SIA 261 (2003) teilt die Schweiz in vier Erdbebenzonen ein.



Innerhalb einer Erdbebenzone variiert die Erdbebenanregung abhängig von den lokalen Baugrundverhältnissen des Standortes des Bauwerkes. Grundsätzlich gilt, je weicher der Baugrund, desto stärker und tieffrequenter die Erdbebenanregung. Die Norm SIA 261 umfasst fünf **Baugrundklassen** von A bis E mit unterschiedlicher Erdbebeneinwirkung sowie eine sechste Baugrundklasse F für strukturempfindliche und organische Böden, für die eine besondere bodendynamische Untersuchung verlangt wird (Tab. 2).

In der Norm SIA 160 von 1970 gab es keine Baugrundklassen. Die Norm SIA 160 von 1989 gab für 2 Baugrundklassen (steife Böden und mittelsteife Böden) unterschiedliche Antwortspektren vor. Für weiche Böden aus schwachkonsolidierten nacheiszeitlichen Ablagerungen wurde eine spezielle Untersuchung zur Festlegung der Spektralwerte vorgeschrieben.

Tab. 2 > Baugrundklassen in den SIA-Normen

Baugrundklassen der Normen SIA 160 (1989) und SIA 261 (2003) zur Festlegung der Erdbebeneinwirkung.

Baugrundklassen SIA 160 (1989)		Baugrundklassen SIA 261 (2003)	
Steife Böden	Fels, dicht gelagerte Schotter und Moränen, dicht gelagerte Kiese und Sande mit Scherwellengeschwindigkeiten über 800 m/s unter max. 10 m Lockergesteinsabdeckung	A	Harter Fels (z. B. Granit, Gneis, Quarzit, Kieselkalk, Kalk) oder weicher Fels (z. B. Sandstein, Nagelfluh, Juramergel, Opalinuston) unter max. 5 m Lockergesteinsabdeckung
		B	Ablagerungen von grossräumig zementiertem Kies und Sand und/oder vorbelastete Lockergesteine mit einer Mächtigkeit über 30 m
Mittelsteife Böden	Locker bis mitteldicht gelagerte Silte, Sande, Kiese und mittelsteife bis steife Tone über 10 m Schichtstärke	C	Ablagerungen von normal konsolidiertem und unzementiertem Kies und Sand und/oder Moränenmaterial mit einer Mächtigkeit über 30 m
		D	Ablagerungen von nicht konsolidiertem Feinsand, Silt und Ton mit einer Mächtigkeit über 30 m
		E	Alluviale Oberflächenschicht der Baugrundklassen C oder D mit einer Mächtigkeit zwischen 5 und 30 m über einer steiferen Schicht der Baugrundklassen A oder B
Weiche Böden	Weiche Böden aus schwachkonsolidierten nacheiszeitlichen Ablagerungen, wie beispielsweise Seekreide oder Tone von mehr als etwa 10 m Schichtstärke	F	Strukturempfindliche und organische Ablagerungen (z. B. Torf, Seekreide, Rutschmassen) mit einer Mächtigkeit über 10 m

In der aktuellen Norm SIA 261 (2003) kann in den Tieffrequenzbereichen der Unterschied der Erdbebenanregung zwischen den Baugrundklassen innerhalb der gleichen Erdbebenzone genauso gross sein wie der Unterschied zwischen den vier Erdbebenzonen der Schweiz. Das heisst für einen Bauwerksstandort auf Lockergestein in der niedrigsten Zone Z1 kann die Erdbebenanregung gleich gross sein wie für einen Felsstandort in der höchsten Zone Z3b.

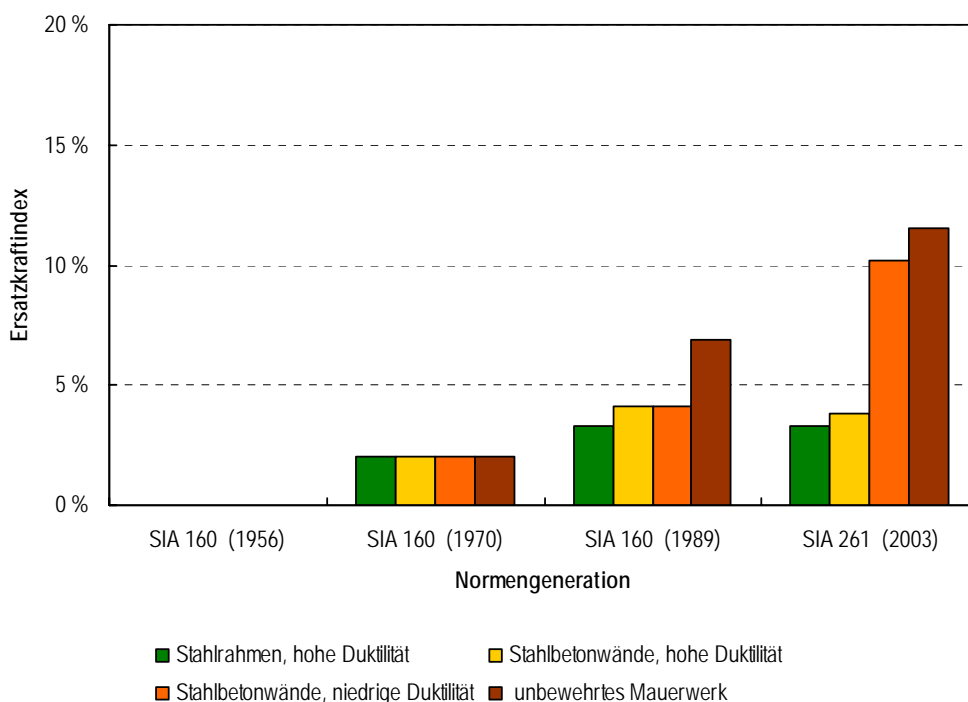
Für die Bestimmung der Baugrundklasse gemäss SIA 261 können die Karten der Baugrundklassen auf der Webseite des BAFU unter www.bafu.admin.ch/erdbeben > Erdbebengefährdung der Schweiz > Geologische Standorteffekte konsultiert werden.

Den bedeutendsten Einfluss auf die Grösse der anzusetzenden Erdbebeneinwirkung haben die **Bauweise** und das **Schwingungsverhalten des Bauwerks**. Aufgrund neuer Erkenntnisse im Erdbebeningenieurwesen erfolgten bei diesen beiden Aspekten die grössten Änderungen von einer Normengeneration zur nächsten.

Während in der ersten Generation von Erdbebennormen aus dem Jahre 1970 für alle Bauweisen die gleichen Erdbebenkräfte anzusetzen waren, wurden die Unterschiede zwischen den Bauweisen in den folgenden Normengenerationen dank neuer Erkenntnisse zum duktilen Tragwerksverhalten immer ausgeprägter (Abb. 13). Als Vergleichsgrösse zeigt Abbildung 13 den Ersatzkraftindex, das heisst das Verhältnis der anzusetzenden horizontalen Erdbebenersatzkraft zum massgebenden Gewicht des Gebäudes, in Funktion der letzten vier Normengenerationen und für unterschiedliche Bauweisen. Als Berechnungsbeispiel dient ein horizontal steifes Gebäude in Erdbebenzone Z1 auf Baugrundklasse C mit der Grundschwingzeit im Bereich der maximalen Beschleunigung (Plateauwert) des Bemessungsspektrums.

Abb. 13 > Erdbebeneinwirkungen für Gebäude nach SIA-Normengenerationen

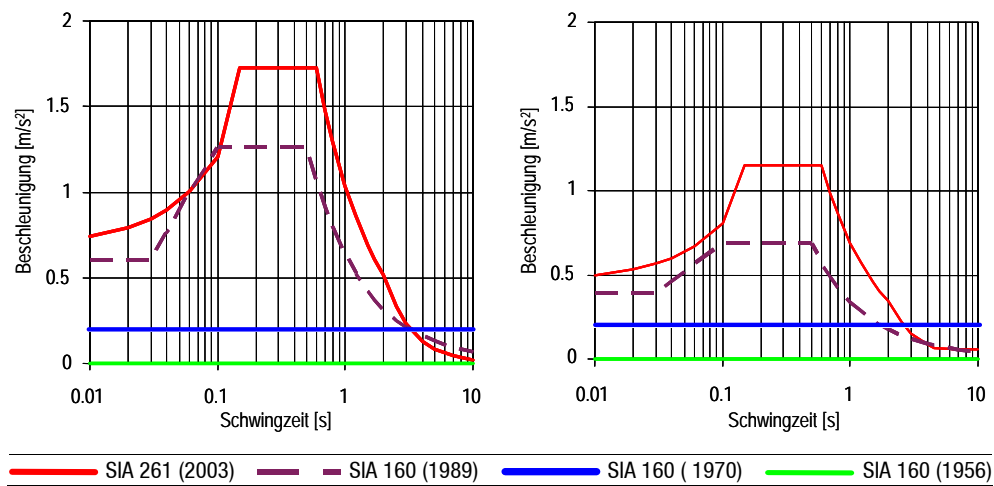
Entwicklung der anzusetzenden Erdbebeneinwirkung der letzten vier Normengenerationen bei unterschiedlichen Bauweisen dargestellt als horizontale Ersatzkraft in Prozenten des Gebäudengewichts (Ersatzkraftindex) für horizontal steife Gebäude in Erdbebenzone Z1 auf Baugrundklasse C.



Als weitere Vergleichsgrößen sind in Abbildung 14 die Antwortspektren der Beschleunigung für Gebäude aus unbewehrtem Mauerwerk in Zone Z1 auf Baugrundklasse C der jeweiligen Normengeneration dargestellt. In Abbildung 14 zeigt links die Antwortspektren für elastisches Tragwerksverhalten und rechts die entsprechenden Bemessungsspektren von unbewehrtem Mauerwerk. Die Bemessungsspektren sind gegenüber den elastischen Antwortspektren reduziert, da Tragreserven über den nominalen Widerstand hinaus dank Überfestigkeit und einer gewissen Duktilität berücksichtigt werden können.

Abb. 14 > Entwicklung der Antwortspektren nach SIA-Normengenerationen

Vergleich der Antwortspektren der Beschleunigung für elastisches Tragwerksverhalten (links) und der Bemessungsspektren nur für unbewehrtes Mauerwerk (rechts) jeweils in der niedrigsten Zone 1 in Baugrundklasse C (mittelsteifer Boden) für die letzten vier Normengenerationen.



Der starke Anstieg der Erdbebeneinwirkung in den neuen Normen ist vor allem im Schwingzeitenbereich von 0,1 bis 2,0 s zu verzeichnen. Dies betrifft in erster Linie horizontal steife Gebäude mit etwa 1 bis 6 Geschossen. Bei höheren Gebäuden mit Grundschwingzeiten über 3 s ist die Erdbebeneinwirkung eher geringer geworden. Hinzu kommt, dass bei der Bauweise aus unbewehrtem Mauerwerk eine besonders starke Zunahme der Erdbebeneinwirkung festzustellen ist, während bei erdbebengerechten duktilen Bauweisen, wie zum Beispiel duktile Stahl- oder Stahlbetonkonstruktionen, der Anstieg relativ gering blieb.

A2 Kosten der Erdbebenertüchtigungen aus der Beispielsammlung

Die Kosten der Erdbebenertüchtigung variieren sehr stark zwischen den einzelnen Musterbeispielen. Als Vergleichsgrösse sind in der Tabelle 3 die Kennwerte der Erdbebenertüchtigung der 24 Musterbeispiele geordnet nach absteigenden relativen Kosten in Prozenten des Anlagewertes aufgeführt.

Tab. 3 > Kosten der Erdbebenertüchtigung

Kennwerte der Erdbebenertüchtigung der Musterbeispiele geordnet nach absteigenden relativen Kosten in % des Anlagewertes.

Anlage	BWK	Zone	α_{eff}	α_{int}	Kosten in % des Anlagewertes
Polizeigebäude in Sion VS	III	Z3b	0,2	1,0	29 %
Feuerwehrgebäude in Basel	III	Z3a	0,2	1,0	23 %
Flüssiggastank in Visp VS	III	Z3b	0,2	1,0	12 %
Schulgebäude ESC in Monthey VS	II	Z3a	0,15	0,8	11 %
Gymnasium Friedberg in Gossau SG	II	Z1	0,3	1,0	10 %
Schulgebäude CO in Monthey VS	II	Z3a	0,16	1,0	7,7 %
Einkaufszentrum in Fribourg	II	Z1	0,5	1,0	7,4 %
Unterwerk in Basel	III	Z3a	0,3	1,0	5 %
Kinderklinik Aarau	II	Z1	0,1	1,0	4 %
Wohngebäude in Crans-Montana	I	Z3b	0,2	1,0	4 %
Verwaltungsgebäude in St-Maurice	II	Z3a	0,17	0,7	3,5 %
Wohn- und Geschäftshaus in Sion	II	Z3b	0,2	1,0	3 %
Schulgebäude in Zürich	II	Z1	0,2	1,1	3 %
Radiostudio Zürich	II	Z1	0,3	1,0	2,3 %
Einkaufszentrum in Winterthur	II	Z1	0,2	1,0	2,2 %
Brücke der Simplonstrasse A9 VS	II	Z3b	0,1	1,0	2 %
Feuerwehrgebäude in Visp VS	III	Z3b	0,4	1,0	1,8 %
EMPA-Verwaltungsgebäude in Dübendorf ZH	II	Z1	0,25	1,0	1,5 %
Hotel in Bussigny VD	I	Z1	0,12	1,0	0,7 %
Schule in Ostermundigen BE	II	Z1	0,24	0,6	0,7 %
Gymnasium Neufeld in Bern	II	Z1	0,1	0,5	0,7 %
Hörsaalgebäude HPH der ETH Zürich	II	Z1	0,25	1,0	0,7 %
Mehrzweckhalle in Oberdorf NW	II	Z2	0,1	1,0	0,5 %
Verwaltungsgebäude in Bern	II	Z1	0,1	(1,0)	0,4 %

Die Bandbreite der Kosten reicht von 0,4 bis 29 %. Angeführt wird die Tabelle durch drei Bauwerke in der BWK III in den höchsten beiden Zonen, das heisst Bauwerke mit den höchsten Anforderungen an die Erdbebensicherheit in der Schweiz. Werden die Bauwerke nach BWK und Zone gruppiert, reduzieren sich die Bandbreiten der relativen Kosten der Erdbebenertüchtigung auf folgende Werte:

- > BWK III in Zone Z3b: 2–29 %
- > BWK III in Zone Z3a: 5–23 %
- > BWK II in Zone Z3b: 2–3 %
- > BWK II in Zone Z3a: 3,5–11 %
- > BWK II in Zone Z2: 0,5 %
- > BWK II in Zone Z1: 0,4–10 %
- > BWK I in Zone Z3b: 4 %
- > BWK I in Zone Z1: 0,7 %

Diese grossen Bandbreiten zeigen, dass die Kosten offensichtlich wesentlich stärker von konstruktiven Randbedingungen der Erdbebenertüchtigung im Einzelfalle abhängen als von der Stärke der Erdbebeneinwirkung. Die Objekte mit den günstigsten Kosten zeichnen sich durch lokal eng begrenzte bauliche Eingriffe aus, zum Beispiel nur ein Fugenschluss oder eine Ausfachung nur in einem Geschoss. Wenn neue Tragelemente über die ganze Höhe nötig werden, steigen die Kosten auch in der niedrigsten Zone Z1 rasch an, insbesondere wenn zusätzlich auch die Foundation verstärkt werden muss.

> Verzeichnisse

Abkürzungen

SIA

Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein

Glossar

Bauwerksklasse (BWK)

Schematische Charakterisierung von Gebäuden gemäss Norm SIA 261, die eine ähnliche Gefährdung von Personen, die Bedeutung des Bauwerkes für die Allgemeinheit und die Gefährdung der Umwelt infolge der Beschädigung des Bauwerkes berücksichtigt.

Duktilität

Mass für die Energiedissipation und das plastische Verformungsvermögen eines Bauteils, ausgedrückt für eine Verschiebungs- oder Verformungsgrösse als Quotient von Maximalwert und Wert bei Fließbeginn.

Erfüllungsfaktor (α_{eff})

Numerische Aussage, in welchem Mass ein bestehendes Tragwerk die rechnerischen Anforderungen an Neubauten gemäss geltender Norm erfüllt.

Individualrisiko

Mass für die Gefährdung einer Einzelperson, ausgedrückt als Todesfallwahrscheinlichkeit pro Jahr.

Kapazitätskurve

Verlauf der Rückstellkraft eines äquivalenten Einmassenschwingers in Funktion seiner relativen Verschiebung.

Personenbelegung

Mittelwert der Anzahl Personen, die sich in einem Bauwerk und in dessen Trümmerbereich aufhalten.

Rettungskosten

Quotient aus den Sicherheitskosten einer Massnahme und der Risikoreduktion ausgedrückt in Franken pro gerettetes Menschenleben.

Verformungsvermögen

Verformung eines Bauteils oder eines Tragwerks, die in Anspruch genommen werden kann, bevor das Bauteil oder das Tragwerk seinen nominellen Versagenszustand erreicht.

Verhältnismässigkeit

Gewährleisten eines effizienten Mitteleinsatzes zur Reduktion des Gesamtrisikos mit Beschränkung des Individualrisikos.

Zumutbarkeit

Gewährleisten eines effizienten Mitteleinsatzes mit bedingter Beschränkung des Individualrisikos.

Abbildungen

Abb. 1

Entwicklung der horizontalen Bemessungskräfte für ein typisches Wohngebäude 10

Abb. 2

Gebäudebestand in der Schweiz 11

Abb. 3

Typische Schwachstellen bezüglich Erdbebenverhalten 12

Abb. 4

Beispiele für die drei Bauwerksklassen gemäss Norm SIA 261 13

Abb. 5

Massnahmenempfehlungen gemäss Merkblatt SIA 2018 15

Abb. 6

Ertüchtigungsstrategie «Regularität verbessern» 18

Abb. 7

Kapazitätskurven bei der Ertüchtigungsstrategie «Verstärken» 19

Abb. 8

Kapazitätskurven bei der Strategie «Duktilität erhöhen» 19

Abb. 9

Kapazitätskurven bei der Strategie «Schwächen» 20

Abb. 10

Kapazitätskurven bei der Strategie «Einwirkung reduzieren» 21

Abb. 11

Standorte der Musterbeispiele 23

Abb. 12

Erdbebenzonenkarte der Schweiz 76

Abb. 13
Erdbebeneinwirkungen für Gebäude nach SIA-Normengenerationen 78

Abb. 14
Entwicklung der Antwortspektren nach SIA-Normengenerationen 79

Tabellen

Tab. 1
Entwicklung der Parameter zur Bestimmung der Erdbebeneinwirkung in den SIA-Normen 75

Tab. 2
Baugrundklassen in den SIA-Normen 77

Tab. 3
Kosten der Erdbebenertüchtigung 80

Literatur

Bachmann H., Wenk T. (2000):
Schwächen statt Verstärken bei der Erdbebensanierung, Schweizer Ingenieur und Architekt (SI+A), Nr. 3, Zürich.

Bachmann H. (2007a):
Erdbeben mit speziellen Lagern sanft bändigen, Neue Zürcher Zeitung, Forschung und Technik, Nr. 295, 19. Dezember 2007.

Bachmann H. (2007b):
Erdbeben im Glattalgraben?, Heimatbuch Dübendorf 2007, 83–94.

Bachmann (2007c):
Ist unser Haus erdbebensicher? Faltblatt der Stiftung für Baudynamik und Erdbebeningenieurwesen, Dübendorf, und des Bundesamts für Umwelt (BAFU), Bern.

Bachmann H., Zachmann A. (2008):
Schwimmende Lagerung. Tec21, Heft 35/2008 26-28, Zürich.

BFS (2004):
Eidgenössische Volkszählung 2000: Gebäude, Wohnungen und Wohnverhältnisse. Bundesamt für Statistik, Neuchâtel.

Borgogno W. (2001):
Erdbebenertüchtigung eines Hochhauses. Tec21, Schweizer Ingenieur und Architekt (SI+A), Nr. 36, Zürich.

BWG (2005a):
Beurteilung der Erdbebensicherheit bestehender Gebäude – Konzept und Richtlinien für die Stufe 1 (2. Fassung). Wegleitung des Bundesamts für Wasser und Geologie (BWG), Biel, www.bafu.admin.ch/erdbeben.

BWG (2005b):
Beurteilung der Erdbebensicherheit bestehender Gebäude – Konzept und Richtlinien für die Stufe 3. Wegleitung des Bundesamts für Wasser und Geologie (BWG), Biel, www.bafu.admin.ch/erdbeben.

BWG (2006):
Beurteilung der Erdbebensicherheit bestehender Gebäude – Konzept und Richtlinien für die Stufe 2 (2. Fassung). Wegleitung des Bundesamts für Wasser und Geologie (BWG), Biel, www.bafu.admin.ch/erdbeben.

EFD (2008):
Weisungen zur Erdbebenvorsorge bei Mitgliedern der Koordination der Bau- und Liegenschaftsorgane des Bundes (KBOB) vom 18. Januar 2008. Eidgenössisches Finanzdepartement, Bern.

Eurocode 8 (2005):
Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben – Teil 3: Beurteilung und Ertüchtigung von Gebäuden. Europäische Norm EN 1998-3, Brüssel.

Favre R. (1971):
Baubeschreibung des SIA-Hauses – Bauingenieurprobleme. Schweizerische Bauzeitung, Vol. 89, Heft 25, Zürich.

Garcia-Vogel R. (2005):
Bâtiments en béton armé des années 60 UNIP – Sion. Journée d'étude: Sécurité parasismique des bâtiments: aspects techniques, juridiques et bancaires», Sion.

Koller M.G. (2000):
Beispiele zur Anwendung der Kapazitätsbemessung für die Erdbebenertüchtigung von Gebäuden. SIA-Dokumentation D0162, Erdbebenvorsorge in der Schweiz, Massnahmen bei neuen und bestehenden Bauwerken, Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein, Zürich.

Koller M.G., Vögtli H., Schwegler G. (2008):
Verstärktes Unterwerk. Tec21, Heft 35/2008 29-31, Zürich.

Lateltin E. (2003):
Assainissement du complexe de Beaugard-Centre Fribourg. Documentation du colloque fribourgeois sur le génie parasismique, le 5 novembre 2003. ECAB, Fribourg.

Paulay T., Priestley M.J.N. (1992):
Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings. John Wiley & Sons, Chichester.

Peruzzi R., Schmid A. (2007):
Renforcer en transformant, Tracés, Bulletin technique de la Suisse romande, No 2/2007, Ecublens VD.

Schefer R., Zwicky P., Santschi R. (1995):
Verstärkung eines grossen Hörsaalgebäudes, Schweizer Ingenieur und
Architekt (SI+A), Nr. 43, Zürich 1995.

SIA 160 (1970):
Norm SIA 160: Normen für die Belastungsannahmen, die
Inbetriebnahme und die Überwachung der Bauten. Schweizerischer
Ingenieur- und Architekten-Verein, Zürich.

SIA 160 (1989):
Norm SIA 160: Einwirkungen auf Tragwerke. Schweizerischer
Ingenieur- und Architekten-Verein, Zürich.

SIA 260 (2003):
Norm SIA 260: Grundlagen der Projektierung von Tragwerken.
Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein, Zürich.

SIA 261 (2003):
Norm SIA 261: Einwirkungen auf Tragwerke. Schweizerischer
Ingenieur- und Architekten-Verein, Zürich.

SIA 2018 (2004):
Merkblatt SIA 2018: Überprüfung bestehender Gebäude bezüglich
Erdbeben. Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein, Zürich.

SIA D 0211 (2005):
Dokumentation SIA D 0211: Überprüfung bestehender Gebäude
bezüglich Erdbeben. Einführung in das Merkblatt SIA 2018.
Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein, Zürich.

Truffer Ph., Fischli F., Rosati F., Berset Th., Schwegler G. (2004):
Sicherung mit vorgespannten CFK-Lamellen. Baublatt Nr. 29,
Rüschlikon ZH.