Erdbebensicherheit von Infrastrukturen in der Schweiz

Vorgehen, Erfahrungen und Fallbeispiele aus der Baupraxis

Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Bundesamt für Umwelt BAFU

Erdbebensicherheit von Infrastrukturen in der Schweiz

Vorgehen, Erfahrungen und Fallbeispiele aus der Baupraxis

Herausgegeben vom Bundesamt für Umwelt (BAFU)
Bern, 2024

Impressum

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

Projektleitung BAFU
Sven Heunert (Koordinationsstelle für Erdbebenvorsorge)

Konzept und Redaktion
OECOCOM, Biel: Beat Jordi, Lucienne Rey (Projektverantwortliche), Nicolas Gattlen, Gregor Klaus, Kaspar Meuli

Lektorat
Friederike Braune (BAFU), Blaise Duvernay (BAFU)

Layout
Funke Lettershop AG

Titelbild
Einbau eines neuen Brückenlagers im Rahmen der Sanierung der Autobahnbrücke über den Hinterrhein in Cazis (GR) durch das Bundesamt für Strassen (ASTRA).
© Bänziger Partner, Ingenieure Planer, Chur

PDF-Download
www.bafu.admin.ch/uw-2403-d
Eine gedruckte Fassung kann nicht bestellt werden.

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

© BAFU 2024

Inhaltsverzeichnis

Abstracts		**5**
Vorwort		**6**
1	**Einführung**	**7**
2	**Stromversorgung**	**16**
2.1	Unterwerk Auwiesen in Zürich (ZH)	18
2.2	Unterwerk Wimmis (BE)	20
2.3	Unterwerk Romanel-sur-Lausanne (VD)	22
3	**Öffentliche Sicherheit**	**24**
3.1	Einsatzzentrale in Siders (VS)	26
3.2	Neubau der ECA in Lausanne (VD)	28
3.3	Logistikzentrum der GVZ in Bülach (ZH)	30
4	**Gesundheit**	**32**
4.1	Neubau für den Rettungsdienst im Spital Uster (ZH)	34
4.2	Erneuerung der Kältezentrale in der Spitalapotheke des Universitätsspitals Basel (BS)	36
4.3	Erweiterung und Umbau des Spitals in Sitten (VS)	38
5	**Strassenverkehr**	**40**
5.1	Sihl-Brücke der Hauptstrasse H 8 bei Schindellegi (SZ)	42
5.2	Sanierung der Bodenbrücke bei Guttannen (BE)	44
5.3	Sanierung der Hinterrheinbrücke bei Cazis (GR)	46
6	**Schienenverkehr**	**48**
6.1	Saaneviadukt bei Gümmenen (BE)	50
6.2	Neue Technikkabine der Zentralbahn am Bahnhof Horw (LU)	52
6.3	Neues Perrondach im Bahnhof Muttenz (BL)	54
7	**Zivilluftfahrt**	**56**
7.1	Aéroport de Genève (GE)	58
7.2	Flugplatz in Gstaad-Saanen (BE)	60
7.3	Rega-Basis in Gordola (TI)	62
8	**Erdgasversorgung**	**64**
8.1	Erdbebenmelder für die Gasversorgung in der Region Basel (BS)	66
8.2	Nachrüstung der Verdichter- und Zollmessstation Ruswil (LU)	68
8.3	Druckreduzier- und Messstation La Tène (NE)	70
9	**Versorgung und Entsorgung**	**72**
9.1	Abwasserreinigungsanlage Opfikon (ZH)	74
9.2	Datenzentrum der EPFL (VD)	76
9.3	Heiz- und Kühlanlage der Waadtländer Hochschulen (VD)	78

Abstracts

Since the turn of the millennium, the federal government has been introducing measures to reduce the risk of earthquakes to infrastructure. The FOEN encourages the creation of earthquake-proof installations in all relevant areas in its enforcement aids drawn up with the key support of the Coordination Centre for Earthquake Prevention. Exemplary solutions are documented in 24 case studies. In addition to the infrastructure areas under the direct remit of the federal government, the publication also presents successful projects by cantons, communes and private operators.

Keywords:
Earthquake safety, infrastructures, construction practice, case studies, enforcement aids

Seit der Jahrtausendwende hat der Bund Massnahmen in die Wege geleitet, um das Erdbebenrisiko bei Infrastrukturen zu reduzieren. Mit den unter Federführung der Koordinationsstelle für Erdbebenvorsorge erarbeiteten Vollzugshilfen gibt das BAFU für alle relevanten Bereiche Impulse für erdbebensichere Anlagen. Vorbildliche Lösungen werden anhand von 24 Fallbeispielen dokumentiert. Neben den Infrastrukturbereichen im direkten Einflussbereich des Bundes stellt die Publikation auch gelungene Vorhaben von Kantonen, Gemeinden und privaten Betreibern vor.

Stichwörter:
Erdbebensicherheit, Infrastrukturen, Baupraxis, Fallbeispiele, Vollzugshilfen

Depuis le changement de millénaire, la Confédération a engagé des mesures afin de réduire le risque sismique pour les infrastructures. Élaborées sous l'égide de la centrale de coordination pour la mitigation des séismes de l'OFEV, des aides à l'exécution contribuent à des installations parasismiques dans tous les domaines concernés. Le présent document expose 24 exemples concrets de bonnes solutions mises en place. Cette publication s'intéresse aux domaines d'infrastructure relevant directement de la compétence de la Confédération, mais aussi à des projets exemplaires de cantons, de communes et d'exploitants privés.

Mots-clés :
Sécurité sismique, infrastructures, exemples concrets de la pratique, aides à l'exécution

Dall'inizio del nuovo millennio, la Confederazione ha avviato alcune misure volte a ridurre i rischi sismici nelle infrastrutture. Con gli aiuti all'esecuzione elaborati sotto l'egida della Centrale per la coordinazione della mitigazione dei sismi, l'UFAM promuove impianti antisismici in tutti i settori interessati. Partendo da 24 casi di studio, sono presentate alcune soluzioni esemplari. Oltre ai settori infrastrutturali nella sfera di competenza diretta della Confederazione, la pubblicazione illustra anche progetti di successo di Cantoni, Comuni e operatori privati.

Parole chiave:
sicurezza sismica, infrastrutture, pratica costruttiva, casi di studio, aiuti all'esecuzione

Vorwort

Öffentliche Infrastrukturen – wie etwa Stromnetze, Gasleitungen, Strassen, Bahnlinien oder Kommunikationskanäle – bilden die Lebensadern unserer Gesellschaft. Sie sorgen dafür, dass sich Personen, Waren, Energie und Informationen frei bewegen können und rechtzeitig ihren Bestimmungsort erreichen. Diese Zuverlässigkeit und Versorgungssicherheit sind wichtige Antriebskräfte der Schweizer Wirtschaft und tragen so zum gesellschaftlichen Wohlstand bei.

Ihre raumgreifende Netzstruktur macht Infrastrukturen allerdings anfällig für grossräumige Schadenereignisse wie Erdbeben. Im Ereignisfall können Stromausfälle, unterbrochene Verkehrsachsen oder nicht mehr funktionierende Kommunikationsnetze die Bewältigung und Regeneration nach einem Erdbeben erheblich erschweren. Hinzu kommt, dass auch ältere Infrastrukturen der öffentlichen Sicherheit und Gesundheit – wie Polizeizentralen, Feuerwehrgaragen oder Spitäler – nicht systematisch erbebensicher gebaut sind.

Weil grössere Erdbeben für die Schweiz ein hohes Risiko darstellen, bereitet sich unser Land seit der Jahrtausendwende gezielt darauf vor. So will das vom Bundesrat beschlossene Massnahmenprogramm das Erdbebenrisiko unter anderem auch bei Infrastrukturen reduzieren. Dazu hat die Koordinationsstelle für Erdbebenvorsorge des Bundes zusammen mit den Bewilligungs- und Aufsichtsbehörden Vollzugshilfen erarbeitet. Sie zielen darauf ab, Infrastrukturen im Kompetenzbereich des Bundes besser vor Erdbeben zu schützen, sollen aber auch Kantonen, Gemeinden und privaten Betreibern dienen. Nicht nur bei Neubauprojekten, sondern auch bei bestehenden Infrastrukturen lassen sich – zum Beispiel im Rahmen der Unterhaltsplanung – mit oft vergleichsweise geringem Aufwand entscheidende Verbesserungen erzielen.

Mit dieser Publikation möchten wir anhand von Fallbeispielen für alle wesentlichen Infrastrukturbereiche Impulse für gute Lösungen geben und die Fortschritte in der Praxis dokumentieren. Solche Massnahmen zur Erhöhung der Erdbebensicherheit zahlen sich auch für die Eigentümerinnen und Betreiber aus, denn Prävention kostet in jedem Fall weniger als die Bewältigung allfälliger Infrastrukturschäden nach einem Erdbeben.

Paul Steffen, Stellvertretender Direktor
Bundesamt für Umwelt (BAFU)

1 Infrastrukturen sind erdbebengerecht zu gestalten

Seit der Jahrtausendwende arbeitet die Schweiz daran, die Erdbebensicherheit ihrer Infrastrukturen zu verbessern. Bedingt durch deren Netzstruktur, Komplexität und gegenseitige Abhängigkeiten sind diese anfällig bei starken Erdstössen. Die Verletzbarkeit lässt sich nicht nur bei Neubauten, sondern auch bei bestehenden Anlagen mit oft einfachen präventiven Massnahmen erheblich reduzieren. Mit dieser Dokumentation möchte die Koordinationsstelle für Erdbebenvorsorge des Bundes anhand von Fallbeispielen aus der Praxis Impulse für gute Lösungen geben, um die Risiken weiter zu reduzieren.

Jahr für Jahr registriert der Schweizerische Erdbebendienst (SED) hierzulande mehrere hundert Erdstösse, die von Menschen meist nicht verspürt werden. Grund dieser seismischen Aktivität ist die Kollision der tektonischen Platten zwischen Afrika und Eurasien. Im europäischen Vergleich liegt die Erdbebengefährdung der Schweiz auf einem mittleren Niveau. Eine erhöhte Gefährdung besteht vor allem für das Wallis, die Region Basel, das St. Galler Rheintal, das Berner Oberland, das Engadin sowie für Regionen der Innerschweiz. Grundsätzlich können Erdbeben in der Schweiz jedoch überall und jederzeit auftreten.

Starke Erdstösse ab einer Magnitude von 5, die erfahrungsgemäss Schäden an Gebäuden und Infrastrukturen verursachen, ereignen sich hierzulande zwar viel seltener als in hoch gefährdeten Gebieten wie der Türkei oder Italien, doch sie kommen auch bei uns vor. Historische Berichte ab dem 13. Jahrhundert belegen die Erdbebengefährdung der Schweiz. Seitdem wurden für unser Land zwölf Erdbeben mit grossen Folgeschäden dokumentiert. Das schwerste erschütterte 1356 die Region Basel, das letzte – mit einer Magnitude von 5,8 – traf an einem Januarabend des Jahres 1946 die Walliser Kleinstadt Siders. Damals fielen Kamine und Ziegel von den Dächern, die Strassen waren mit Schutt übersät, die Stromversorgung funktionierte nicht mehr, und das Telefonnetz brach zusammen. Die sekundenlangen Erdstösse forderten in dieser Nacht vier Todesopfer und beschädigten 3500 Gebäude. Zudem lösten die verschiedenen Beben an den Talhängen zahlreiche Lawinen und Felsstürze aus, welche die Zugänge in die Seitentäler unterbrachen.

Seltene Beben mit hohem Schadenpotenzial

Weil der Walliser Talgrund inzwischen viel intensiver genutzt wird, geht der SED davon aus, dass bei einem Beben gleicher Stärke im Epizentrum heute mit rund 40 Toten, 300 Verletzten, 9000 Schutzsuchenden und 7000 mittelmässig bis schwer beschädigten Häusern zu rechnen wäre. Allein die Gebäudeschäden werden auf 2,5 Milliarden Franken geschätzt. Diese Zahlen stehen aber nur stellvertretend für ein mögliches Ereignis, mit dem auch in allen anderen Regionen des Landes zu rechnen ist.

Unter Berücksichtigung sämtlicher Gefahren, die das Funktionieren unserer Gesellschaft und die Gesundheit der Bevölkerung beeinträchtigen können, zählen Erdbeben – neben Pandemien und Strommangellagen – zu den grössten Risiken der Schweiz. Verglichen mit anderen Naturgefahren wie Hochwasser, Murgängen oder Lawinen treten sie zwar seltener auf, verfügen durch ihre grossräumige und flächendeckende Wirkung aber über ein sehr hohes Schadenpotenzial.

Das Erdbebenrisiko der Schweiz

Gestützt auf das nationale *Erdbebenrisikomodell*[1] lässt sich das Ausmass der möglichen Schäden von Erdbeben in der Schweiz grob beziffern. Bei einem Gebäudebestand mit einem Gesamtwert von annähernd 3000 Milliarden Franken könnten durch Erdstösse über einen Zeitraum von 100 Jahren allein an Liegenschaften und ihren Ausstattungen Schäden von 11 bis 44 Milliarden Franken entstehen. In diesen Zahlen

1 *http://www.seismo.ethz.ch/de/knowledge/earthquake-hazard-and-risk/earthquake-risk-switzerland/Earthquake-Risk-Model*

nicht berücksichtigt sind Schäden an Infrastrukturen und finanzielle Verluste durch Betriebsunterbrüche sowie weitere Erdbebenfolgen wie Hangrutsche oder Feuerausbrüche.

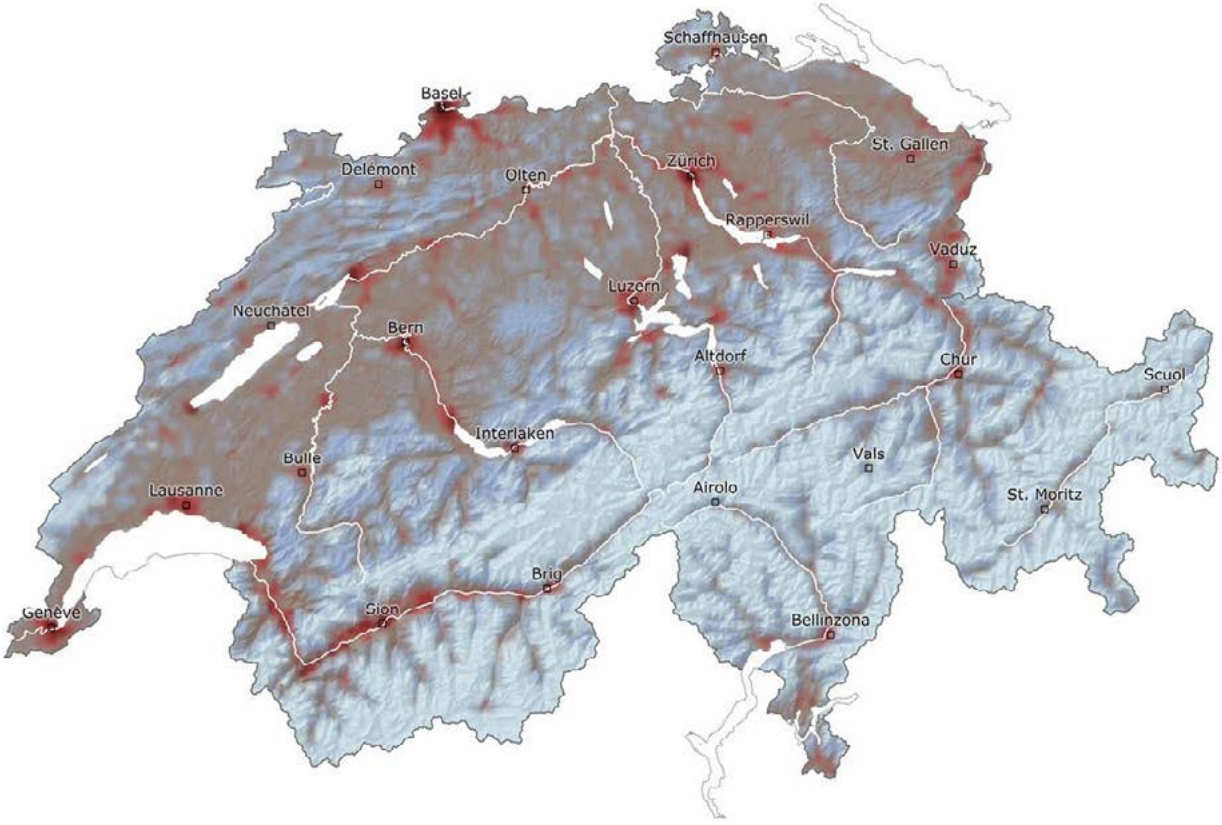
Würde sich das starke Beben von 1356 in der Region Basel – mit einer Magnitude von 6,6 – heute wiederholen, hätte dies gemäss dem SED Schäden an Gebäuden und Einrichtungen in einer Höhe von zirka 50 Milliarden zur Folge. Dieser Betrag liegt ein Vielfaches über dem Schadenausmass der letzten grossen landesweiten Hochwasserkatastrophe, die im August 2005 zu Gebäude- und Infrastrukturschäden von rund 3 Milliarden Franken führte.

Als Produkt des nationalen Erdbebenrisikomodells ist unter anderem eine Risikokarte entstanden. Sie berücksichtigt – neben der regionalen Erdbebengefährdung aufgrund der erwarteten Häufigkeit und Stärke von Erdstössen – auch den Einfluss des lokalen Baugrunds, die Verletzbarkeit von Gebäuden sowie die Konzentration der betroffenen Personen und Sachwerte.

Gemessen an den Todesopfern und den finanziellen Verlusten durch die geschätzten Gebäudeschäden weisen die städtischen Gebiete demnach das grösste Erdbebenrisiko auf. Als am stärksten vom Risiko betroffen gelten in dieser Reihenfolge die grösseren Zentren Basel, Genf, Zürich, Luzern und Bern. Weil sich in der Regel auch die wichtigen Infrastrukturen – wie etwa Stromunterwerke, Autobahnbrücken, Bahnhöfe, Spitäler, Feuerwehrgaragen oder Kläranlagen – auf die Ballungsräume konzentrieren, würden Schäden an Anlagen hier am meisten Menschen beeinträchtigen.

Abbildung 1

Die Erdbebenrisikokarte des Schweizerischen Erdbebendienstes berücksichtigt die regionale Gefährdung, den Einfluss des lokalen Baugrunds, die Verletzbarkeit von Gebäuden sowie die Konzentration der betroffenen Personen und Sachwerte in einem Gebiet. Orte und Regionen mit dem höchsten Risiko sind rot eingefärbt.



© Karte: SED

Weil in der Schweiz immer mehr Menschen leben und arbeiten, führt die damit einhergehende Zunahme an hohen Sachwerten und wichtigen Wirtschaftsaktivitäten auch zu einem höheren Erdbebenrisiko. Die entsprechende Verletzbarkeit unserer Gesellschaft lässt sich durch erdbebengerechtes Bauen jedoch entscheidend reduzieren.

Verletzbarkeit von Infrastrukturen

Bedingt durch ihre typische Netzstruktur sowie die Komplexität der Systeme sind Infrastrukturen bei grossräumigen Ereignissen wie Erdbeben besonders anfällig für Schäden. Stromleitungen, Gaspipelines, Strassen, Bahnlinien und Kommunikationsverbindungen funktionieren im Alltag einer modernen Industrie- und Dienstleistungsgesellschaft wie Lebensadern. Sie sorgen dafür, dass Menschen, Waren, Energie, Informationen und weitere Dienstleistungen zur richtigen Zeit am benötigten Ort sind.

Im Katastrophenfall kann ihr Funktionieren über Leben und Tod entscheiden. Verfügen die Führungsorgane und Rettungsdienste über die erforderlichen Informationen, um sich rasch ein Bild der Krisenlage zu verschaffen und die knappen Ressourcen dort einzusetzen, wo sie am dringendsten gebraucht werden? Können die Fahrzeuge der Polizei, Ambulanzdienste und Feuerwehr ausrücken oder bleiben sie durch Trümmer in der Garage blockiert? Erreichen die Rettungsdienste das am stärksten betroffene Epizentrum eines Erdbebens und die Spitäler in der Region oder sind die wichtigen Verkehrsverbindungen durch eingestürzte Brücken lahmgelegt?

So verlässlich die öffentlichen Infrastrukturen den Wirtschaftsmotor im Alltag am Laufen halten, so zentral ist ihr Funktionieren in Krisensituationen. Wenn etwa die Stromversorgung, wichtige Strassenverbindungen, Einsatzzentralen, Notfallkliniken oder Feuerwehrgebäude selbst durch Erdbebenschäden beeinträchtigt sind, erschwert dies die Rettungs- und Bewältigungsphase nach einer Katastrophe, verzögert den Wiederaufbau und die allmähliche Rückkehr zur Normalität. Lange Betriebsunterbrüche bei lebenswichtigen Infrastrukturen unterhöhlen zudem das wirtschaftliche Fundament einer Gesellschaft und schwächen ihre Fähigkeit, sich von Rückschlägen durch eine Katastrophe zu erholen.

Was geschieht bei einem Erdbeben?

Erdbeben verursachen während Sekunden rasche Bodenerschütterungen in alle Richtungen. Je nach Magnitude und Nähe zum Epizentrum kann sich die Erdoberfläche dabei um einige Zentimeter bis Dezimeter bewegen. Diese Bodenbewegungen versetzen Tragwerke sowie weitere Elemente von Bauwerken in Schwingung. Je nach Stärke der Erschütterungen und Art der Bauweise können dadurch schwere Schäden bis hin zu einem Einsturz entstehen. Die Stärke der Erschütterungen wird massgeblich von der lokalen Geologie beeinflusst. Lockere Sedimente, wie sie zum Beispiel in den Ebenen des Mittellandes und der alpinen Flusstäler häufig vorkommen, vermögen die seismischen Wellen so zu verstärken, dass die Erschütterungen hier bis zehnmal heftiger sein können als auf felsigem Terrain. Neben den direkten Auswirkungen auf feste Bauten und mobile Anlagen sind auch naturbedingte und technische Folgeereignisse bekannt. Dazu zählen etwa Fels- und Bergstürze, Hangrutsche, Lawinen sowie starke Setzungen durch Bodenverflüssigung oder durch Rutschungen ausgelöste Tsunamis. Gefürchtet sind zudem Brände, die etwa durch defekte Gas- und Stromleitungen ausgelöst werden können.

Erdbeben treten plötzlich und ohne Vorwarnung auf. Bis heute besteht keine Möglichkeit einer zuverlässigen Vorhersage, so dass die Vorwarnzeit in der Schweiz im besten Fall einige Sekunden beträgt. Dies genügt allenfalls, um kritische automatische Prozesse auszulösen – wie etwa die Sicherung von Brennstäben in Atomkraftwerken oder das Schliessen von Schiebern bei Pipelines für den Gastransport.

Den besseren Schutz als Warnsysteme bieten deshalb bauliche, technische und organisatorische Massnahmen zur Optimierung der Erdbebensicherheit, die präventiv erfolgen. Werden sie bei Neubauten frühzeitig mitbedacht und umgesetzt, führen sie kaum zu relevanten Mehrkosten.

Um sich im Alltag wieder zurechtzufinden, ist aber auch das Funktionieren der weniger unmittelbar lebensnotwendigen Infrastrukturen von Bedeutung. Nur wenn die Stromversorgung läuft, ist es möglich, an Bancomaten Bargeld zu beziehen, beim Bäcker ein Brot zu kaufen, mit der Bahn zum Arbeitsplatz zu gelangen oder im Homeoffice am Laptop zu arbeiten.

Meist unbekannte Erdbebensicherheit

Umfassende Vorschriften für die Berücksichtigung von Erdbeben bei der Planung von Neubauten und bei der Beurteilung von bestehenden Bauwerken existieren in der Schweiz seit dem Jahr 2003. Die meisten Anlagen sind hierzulande vor den entsprechenden SIA-Normen entstanden. Bis zu dieser Zeit gab es kaum infrastrukturspezifische Vorgaben von Fachbehörden oder Fachverbänden, wie sie heute bestehen. Nur für einzelne Infrastrukturbereiche – wie insbesondere Staudämme und Kernkraftwerke – gelten in der Schweiz bereits seit Jahrzehnten strenge Vorgaben für den Erdbebenschutz.

Somit sind zahlreiche Bahn- und Strassenbrücken, Flughäfen, Unterwerke zur Stromübertragung, Druckreduzierstationen von Gasleitungen, Abwasserreinigungsanlagen, Spitäler, Ambulanzgaragen, Polizeizentralen oder Feuerwehrgebäude ursprünglich ohne Beachtung der in der Zwischenzeit gültigen Anforderungen an das erdbebensichere Bauen erstellt worden. Geht man von den heutigen Anforderungen an die Erdbebensicherheit aus, ist ihr Zustand somit meistens unbekannt. Zumindest teilweise verfügen sie über eine ungenügende Erdbebensicherheit und weisen gegenüber Erdstössen eine gewisse Verletzbarkeit auf. Um herauszufinden, wo es entsprechende Nachrüstungen braucht, sind ingenieurtechnische Abklärungen erforderlich. Diese benötigen jedoch Zeit und sind nicht unbedingt in jedem Fall sinnvoll. Weil Infrastrukturen laufend erneuert oder ersetzt werden, kann es zweckdienlich sein, bei diesen Gelegenheiten eine vollumfängliche Anpassung an heute gültige Standards der Erdbebensicherheit vorzunehmen.

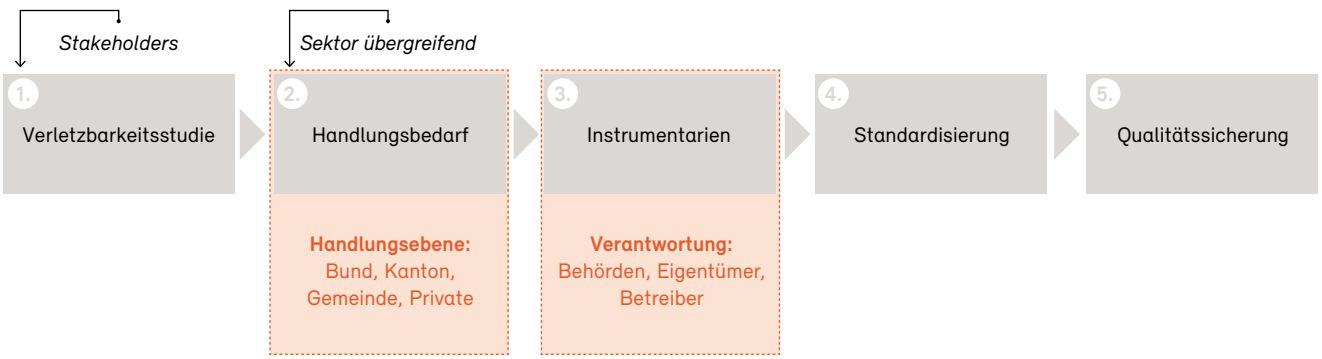
Komplexe Schadenbilder

Im Rahmen von sektorspezifischen Studien zur Verletzbarkeit hat der Bund die Schwachstellen der bestehenden Infrastrukturbereiche untersucht und den Handlungsbedarf ermittelt. Die Ergebnisse dieser Abklärungen sind in den nachfolgenden Kapiteln zu den jeweiligen Sektoren dargestellt.

Wie Erfahrungen aus dem Ausland zeigen, können durch Trümmer oder Einstürze blockierte Verkehrswege die Zufahrten zu Schadenplätzen, Spitälern und Versorgungsanlagen einschränken und Transporte von Einsatzkräften und Rettungsmaterial behindern. Infolge von Leitungsbrüchen, Ventilschäden oder Ausfällen von Kühlsystemen drohen unkontrollierte Betriebsprozesse bis hin zur Freisetzung und Ausbreitung von gefährlichen Substanzen. Grossflächige Stromausfälle würden Fernsteuerungen, die Kommunikationstechnik und Bahntransporte weitgehend zum Stillstand bringen und damit auch die für eine verlässliche Lagesicherung erforderlichen Ressourcen einschränken. Dadurch wären auch die für das Rettungswesen verantwortlichen Notfall- und Blaulichtorganisationen stark in ihrer Arbeit behindert. Das gleichzeitige Auftreten von sich gegenseitig

Abbildung 2

Systematisches Vorgehen der Bundesbehörden zur Beurteilung und Optimierung der Erdbebensicherheit von Infrastrukturen. Je nach Verantwortung müssen auch Kantone, Gemeinden sowie die Privatwirtschaft den Handlungsbedarf ermitteln und konkrete Massnahmen umsetzen.



beeinflussenden Schadenfolgen könnte die Notfallmassnahmen und den Notbetrieb zusätzlich erschweren und die Ressourcenknappheit verschärfen.

Verantwortung für die Erdbebensicherheit

Wer Infrastrukturen besitzt oder betreibt, steht in erster Linie auch für deren Erdbebensicherheit in der Verantwortung. Nach Auslegung von Artikel 58 des Obligationenrechts (OR) haftet die Werkeigentümerschaft auch dann, wenn ein Schaden auf einen Mangel ihrer Anlage zurückzuführen ist, der auf Zufall oder Drittverschulden beruht. Dabei gilt die Haftpflicht nicht nur für Neubauten, sondern auch für bestehende Infrastrukturen, die im Rahmen der Unterhaltspflicht auch auf ihre Erdbebensicherheit zu überprüfen und bei Bedarf zu verbessern sind.

Der erforderliche Schutzgrad einer Anlage richtet sich nach der Einteilung der Infrastrukturbauten in eine der drei Bauwerksklassen, wie sie die SIA-Norm 261 für Neubauten festlegt (siehe Kasten).

Daneben entscheiden auch die Schutzziele der Verantwortlichen darüber, welche Massnahmen sie zur Sicherung ihrer Infrastruktur treffen wollen oder müssen. Eine wichtige Rolle spielt dabei die Kontinuität der Versorgung.

So sind zum Beispiel die Infrastrukturbetreiber der öffentlichen Hand verantwortlich dafür, die Versorgung mit Elektrizität, Gas, Trinkwasser oder Kommunikationsdienstleistungen auch in Notlagen – wie nach einem Erdbeben – aufrecht zu erhalten oder so rasch als möglich wieder aufzubauen. Neben den üblichen Anforderungen an Tragwerke, die etwa Gebäude, Brücken und Dämme betreffen, umfassen die Sicherungsmassnahmen auch technische Einrichtungen– wie beispielsweise Transformatoren, Notstromgruppen und Steuerschränke – und zudem auch sekundäre Bauteile wie Leitungsrohre. Sowohl für Neubauten als auch für bestehende Anlagen gelten die SIA-Normen für das erdbebensichere Bauen als anerkannte Regeln der Baukunde, die gemäss den gesetzlichen Bestimmungen einzuhalten sind. Für den Bestand gilt unter anderem eine Überprüfungspflicht im Hinblick auf die Sicherheit von Infrastrukturen. Allfällige Defizite müssen mittels verhältnismässiger Massnahmen behoben werden, was etwa im Rahmen eines regelmässigen Unterhalts besonders sinnvoll erscheint.

Die Bauwerksklassen

Gemäss der SIA-Norm 261 müssen Bauten und Infrastrukturen erdbebengerecht geplant und ausgeführt werden. Hauptziele der baulichen Erdbebensicherheit sind der Personenschutz, die Schadensbegrenzung sowie die Gewährleistung der Funktionstüchtigkeit wichtiger Bauwerke bei Erdstössen.

Der jeweilige Schutzgrad wird durch die Einteilung in eine der drei Bauwerksklassen (BWK III, II und I) bestimmt. Schwere Schäden am Tragwerk – wie insbesondere ein Einsturz – sind dadurch auszuschliessen. Je nach Bedeutung und Schadenspotenzial eines Bauwerks ist neben der Tragsicherheit bei definierten Erdbebeneinwirkungen auch die Gebrauchstauglichkeit – beziehungsweise die Funktionstüchtigkeit – nachzuweisen.

Dabei müssen die Verantwortlichen jeweils die höchste Bauwerksklasse wählen, für die mindestens eines der in der SIA-Norm aufgelisteten Merkmale zutrifft. Es bleibt ihnen jedoch vorbehalten, an Bauten und Anlagen strengere Anforderungen zu stellen und diese somit in eine höhere BWK einzuteilen.

BWK III: In diese höchste Klasse fallen Bauwerke mit lebenswichtiger Infrastrukturfunktion wie etwa Akutspitäler, Anlagen für den Bevölkerungsschutz und die Ereignisbewältigung – wie Feuerwehrstützpunkte oder Ambulanzgaragen –, Brücken und weitere Verkehrsbauten mit lebenswichtiger Bedeutung für die Zugänglichkeil eines besiedelten Gebiets oder lebenswichtige Infrastrukturen für Versorgung und Telekommunikation.

BWK II: Zu dieser Klasse gehören Bauten oder Anlagen mit einer hohen durchschnittlichen Personenbelegung oder mit grossen Menschenansammlungen wie zum Beispiel Schulen und Kindergärten, Einkaufszentren, Sportstadien, Kinos, Theater, Kirchen oder öffentliche Verwaltungsbauten. Auch Anlagen im Bereich von Verkehrswegen mit erheblicher Bedeutung fallen darunter sowie Infrastrukturen, deren Versagen benachbarte Bauwerke mit lebenswichtiger Infrastrukturfunktion gefährden könnte.

BWK I: In diese niedrigste Klasse werden alle übrigen Bauwerke eingeteilt, sofern deren Beeinträchtigung durch Erdbeben keine Umweltschäden verursachen kann. Dazu zählen etwa Wohn-, Büro-, Gewerbe- und Industriebauten, Lagerhallen, Parkgaragen sowie Anlagen von Verkehrswegen mit untergeordneter Bedeutung.

Unterschiedliche Verletzbarkeiten verlangen verschiedene Massnahmen

Im Rahmen des *Massnahmenprogramms des Bundes zum Erdbebenrisikomanagement*[2] hat das BAFU verschiedene Untersuchungen zur Verletzbarkeit durchgeführt. Wie diese Abklärungen zeigen, sind die verschiedenen Infrastrukturbereiche unterschiedlich stark der Gefahr durch Erdbeben ausgesetzt. Dem grössten Risiko unterliegen Infrastrukturbauten und ihre sekundären Bauteile, gefolgt von technischen Installationen und Einrichtungen – wie etwa Transformatoren. Geringer ist die Wahrscheinlichkeit von Schäden – in abnehmender Reihenfolge – für Brücken, Stützmauern, im Boden verlegte Leitungsnetze – wie Erdöl- und Gaspipelines – sowie Tunnelröhren.

Bauliche und technische Massnahmen zur Sicherung gefährdeter Infrastrukturbereiche bilden nicht die einzigen Möglichkeiten, um die Funktion lebenswichtiger Anlagen auch im Notfall garantieren zu können. Für das gleiche Ziel kommen auch organisatorische Vorkehrungen in Frage. So vermögen redundante Systeme Ausfälle von einzelnen Anlagen auszugleichen, was zum Beispiel für dezentrale Standorte von relevanten Infrastrukturen spricht. Zudem tragen auch geeignete Vorbereitungsmassnahmen für den Ereignisfall dazu bei, Leistungsunterbrüche soweit als möglich zu minimieren.

Bundeseigene Infrastrukturen

Seit der Jahrtausendwende hat der Bund – neben dem erdbebenspezifischen Vollzug bei seinen Gebäuden – auch Anstrengungen unternommen, um den Erdbebenschutz von Infrastrukturen in seinem Eigentum zu verbessern. Teil dieser Arbeit waren zum Beispiel die 2020 abgeschlossenen «Abklärungen zur Erdbebensicherheit der Brückenbauwerke der Nationalstrassen». Dabei zeigte sich, dass bei etwa 6 Prozent der rund 4000 Autobahnbrücken bauliche Massnahmen erforderlich sind, die sich in der Regel mit beschränktem Aufwand realisieren lassen. Sicherheitsmassnahmen mit einer hohen Priorität hat das verantwortliche Bundesamt für Strassen (ASTRA) bereits umgesetzt.

Einfluss der Genehmigungsbehörden

Der Bund macht seinen Einfluss bei der Erdbebenvorsorge jedoch nicht nur als Eigentümer von Infrastrukturen geltend, sondern auch als Bewilligungs- und Aufsichtsbehörde für etliche Infrastrukturbereiche. Im Fall der über 200 Stauanlagen, für deren Aufsicht das Bundesamt für Energie (BFE) zuständig ist, werden zum Beispiel periodisch Erdbebensicherheitsnachweise von den Betrieben verlangt. In ähnlicher Weise überprüft das Eidgenössische Nuklearsicherheitsinspektorat (ENSI) die Kernkraftwerke im Inland.

Überall dort, wo Bundesstellen für Anlagen Dritter eine Plangenehmigung erteilen müssen, können sie die baulichen und technischen Anforderungen zum Schutz vor Erdbeben auf diesem Weg durchsetzen. So kümmern sich etwa das Eidgenössische Starkstrominspektorat (ESTI) um die Kontrolle der Stromanlagen, das Eidgenössische Rohrleitungsinspektorat (ERI) um Erdöl- und Gaspipelines, das Bundesamt für Verkehr (BAV) ist für Bahnprojekte zuständig und das Bundesamt für Zivilluftfahrt (BAZL) für Flughäfen.

Zur Vereinheitlichung der Anforderungen bei sämtlichen Anlagen holen die jeweils zuständigen Leitbehörden vor ihrem Entscheid unter anderem auch die Stellungnahme der Koordinationsstelle für Erdbebenvorsorge beim Bundesamt für Umwelt (BAFU) ein. Gemeinsam mit den leitenden Bundesstellen für die wichtigsten Infrastrukturbereiche hat das BAFU die Vorgaben für erdbebensicher erstellte Infrastrukturen in bestehenden Gesetzen und Verordnungen verankert, in Richtlinien, Merkblättern und Vollzugshilfen konkretisiert sowie bereichsspezifische Verfahren festgelegt. Dabei ging man jeweils vom ermittelten Handlungsbedarf aus den Verletzbarkeitsstudien aus.

2 *https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/naturgefahren/fachinformationen-erdbeben/massnahmen-des-bundes.html*

Es braucht mehr, als der Bund allein tun kann

Eine weitergehende, systematische Überprüfung der Erdbebensicherheit von Infrastrukturen, die über die Rollen als Eigentümer, Aufsichts- oder Genehmigungsbehörde hinausgeht, liegt nicht in der Kompetenz des Bundes. Somit stehen die kantonalen und kommunalen Behörden in der Verantwortung, ihre eigenen Infrastrukturen auf die Erdbebensicherheit zu überprüfen, bei Bedarf Verbesserungen vorzunehmen und im Rahmen der Baubewilligungsverfahren von Projekten Dritter entsprechende Auflagen zu formulieren. Letztlich sind die meisten Infrastrukturen in unserem Land im Besitz von Gemeinden, Kantonen, regionalen Verbänden und Privatunternehmen. Für das Erdbebenrisikomanagement können sie auf die bereichsspezifischen Vollzugshilfen des Bundes zurückgreifen, die zum Beispiel auch in Zusammenarbeit mit den Dachverbänden der verschiedenen Infrastrukturbereiche entstanden sind. Um den allgemeinen Handlungsbedarf beim Erdbebenschutz von Infrastrukturen anzugehen, gelten einige Grundlagen und Hilfestellungen bereichsübergreifend.

Wie in der Zwischenzeit bereits von mehreren Kantonen umgesetzt, empfiehlt der Bund, erdbebenspezifische Auflagen im Rahmen der kantonalen Baubewilligungsverfahren einzuführen. Diese sollen sicherstellen, dass die bestehenden Normen für ein erdbebensicheres Bauen systematisch und in ausreichender Qualität umgesetzt werden. Dazu hat das BAFU *Empfehlungen*[3] erarbeitet, welche sich über die Bau-, Planungs- und Umweltdirektoren-Konferenz (BPUK) an die Kantone richten.

Die Infrastruktur in der Schweiz wird dadurch nicht von heute auf morgen erdbebensicher sein. Aber durch die allmähliche Verbesserung von Anlagen und die Berücksichtigung der Erdbeben-Normen bei Neubauten wird der Schutz doch laufend optimiert.

Aufbau der Publikation

Die praktische Umsetzung der Massnahmen für die Erdbebensicherheit von Infrastrukturen wird in den folgenden acht Kapiteln bereichsweise anhand von jeweils drei konkreten Fallbeispielen aufgezeigt. Neben den Infrastrukturbereichen im direkten Einflussbereich des Bundes (Stromversorgung, Strassenverkehr, Schienenverkehr, Luftfahrt, Gasversorgung), geht die Publikation auch auf weitere besonders relevante Bereiche ein (öffentliche Sicherheit, Gesundheit sowie Ver- und Entsorgung).

Die jeweiligen Einleitungen zeigen die Funktion und Bedeutung des dargestellten Infrastrukturbereichs auf und beleuchten Schwachstellen, die Fachleute im Rahmen der durchgeführten Verletzbarkeitsstudien ermittelt haben. Am Ende der Kapitel weisen wir auf die etablierten Vollzugshilfen und Kontrollverfahren hin, die auf Prozessen der Zusammenarbeit mit den betroffenen Branchen und Behörden aufbauen. Dazu gehören auch Empfehlungen, Standards und Normen für die Planung und den Bau von Infrastrukturen.

Die insgesamt 24 illustrierten Fallbeispiele zeigen, wie sich die unternommenen Anstrengungen zum besseren Schutz der Infrastrukturen vor Erdbeben heute in der schweizerischen Baupraxis widerspiegeln. Dabei handelt es sich einerseits um Projekte, die der Bund genehmigt hat, sowie um gelungene Vorhaben von Kantonen, Gemeinden und privaten Betreibern.

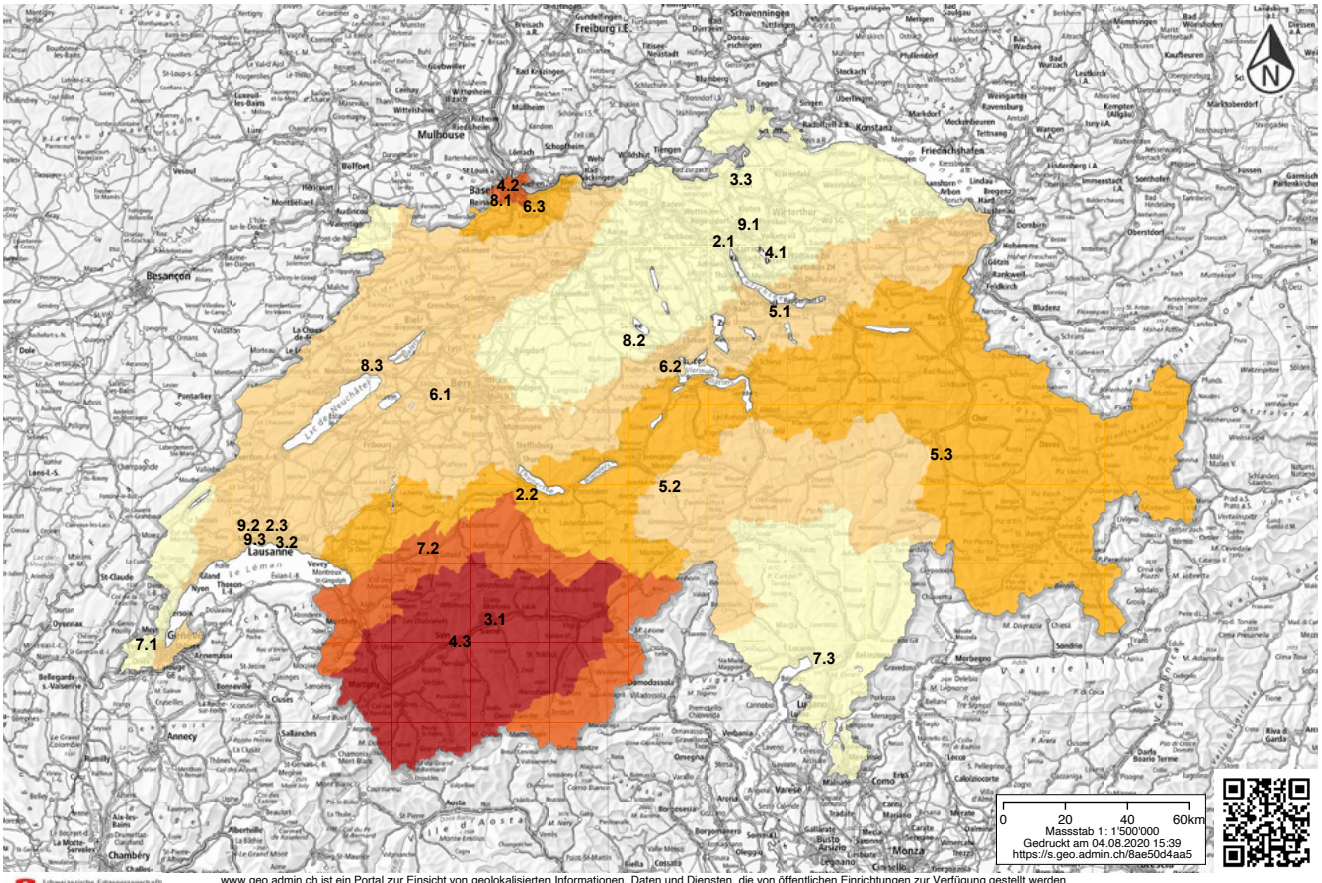
Bereichsübergreifende Grundlagen

- *Erdbeben im Notfall- und Kontinuitätsmanagement*; BAFU UW-1903, 2019
- *Erdbebensicherheit sekundärer Bauteile und weiterer Installationen und Einrichtungen – Empfehlungen und Hinweise für die Praxis*; BAFU, UW-1643, 2023

3 *https://www.bpuk.ch/fileadmin/Dokumente/bpuk/public/de/dokumentation/berichte-gutachten-konzepte/umwelt/DE_BPUK-_Erdbebenempfehlung_2023.pdf*

Abbildung 3

Standorte der Fallbeispiele auf der Erdbebenzonenkarte der Norm SIA 261 (2020)



2 Stromversorgung
2.1 Unterwerk Auwiesen in Zürich (ZH)
2.2 Unterwerk Wimmis (BE)
2.3 Unterwerk Romanel-sur-Lausanne (VD)

3 Öffentliche Sicherheit
3.1 Alarm- und Einsatzzentrale in Siders (VS)
3.2 Neubau der Waadtländer Gebäudeversicherung in Lausanne (VD)
3.3 Logistikzentrum der Gebäudeversicherung Zürich in Bülach (ZH)

4 Gesundheit
4.1 Neubau für den Rettungsdienst im Spital Uster (ZH)
4.2 Erneuerung der Kältezentrale in der Spitalapotheke des Universitätsspitals Basel (BS)
4.3 Erweiterung und Umbau des Spitals in Sitten (VS)

5 Strassenverkehr
5.1 Sihl-Brücke der Hauptstrasse H 8 bei Schindellegi (SZ)
5.2 Sanierung der Bodenbrücke bei Guttannen (BE)
5.3 Sanierung der Hinterrheinbrücke bei Cazis (GR)

6 Schienenverkehr
6.1 Saaneviadukt bei Gümmenen (BE)
6.2 Neue Technikkabine der Zentralbahn am Bahnhof Horw (LU)
6.3 Neues Perrondach im Bahnhof Muttenz (BL)

7 Zivilluftfahrt
7.1 Neubau des Ostflügels am Aéroport de Genève (GE)
7.2 Flugplatz in Gstaad-Saanen (BE)
7.3 Rega-Basis in Gordola (TI)

8 Erdgasversorgung
8.1 Erdbebenmelder für die Gasversorgung in der Region Basel (BS)
8.2 Nachrüstung der Verdichter- und Zollmessstation Ruswil (LU)
8.3 Druckreduzier- und Messstation La Tène (NE)

9 Versorgung und Entsorgung
9.1 Abwasserreinigungsanlage Opfikon (ZH)
9.2 Datenzentrum der EPFL in Lausanne (VD)
9.3 Heiz- und Kühlanlage der Waadtländer Hochschulen (VD)

Stromversorgung

2 Einem flächendeckenden Blackout vorbeugen

Die sichere Stromversorgung ist eine entscheidende Triebfeder unserer Wirtschaft und Gesellschaft. Mit präventiven baulichen Massnahmen lässt sich die Versorgungssicherheit auch im Fall eines starken Erdbebens deutlich erhöhen.

Ohne Strom geht gar nichts. Doch wie Erfahrungen im Ausland zeigen, kommt es bei grösseren Erdbeben fast immer zu lokalen oder gar regionalen Stromausfällen. Sie können Stunden oder sogar mehrere Tage dauern und haben oft gravierende Folgen. So erschweren Betriebsunterbrüche die Rettungsarbeiten, beeinträchtigen den Wiederaufbau und verzögern die Rückkehr zur Normalität. Dazu kommt der wirtschaftliche Schaden, wenn nach einem Erdbeben Infrastrukturen der Stromversorgung beschädigt sind.

Fällt die elektrische Energieverteilung für längere Zeit aus, würden zudem auch viele andere Infrastrukturen, auf die wir im Alltag angewiesen sind, nicht mehr funktionieren. Dies betrifft nicht zuletzt Einrichtungen zur Bewältigung eines Erdbebens wie etwa Alarmzentralen, Wehrdienste oder Spitäler.

Auch in der Schweiz ist bei einem stärkeren Erdbeben mit vereinzelten lokalen Stromunterbrüchen zu rechnen. «Dank den schrittweise umgesetzten Massnahmen, gehen wir jedoch davon aus, dass sich ein flächendeckender und langfristiger Blackout mit grosser Wahrscheinlichkeit verhindern lässt», erklärt der Bauingenieur Sven Heunert von der Koordinationsstelle für Erdbebenvorsorge beim BAFU. Wie 2009 und 2011 durchgeführte Verletzbarkeitsstudien zur «Erdbebensicherheit der elektrischen Energieverteilung in der Schweiz» im Auftrag dieser Bundesfachstelle gezeigt haben, liegen die grössten Schwachstellen bei den Unterwerken in Freiluftbauweise.

Ausgedehnte Stromausfälle vermeiden

Gestützt auf diese Abklärungen des BAFU ist eine praxisnahe Vollzugshilfe entstanden, die auf dem Know-how der Leitbehörden, Elektrizitätswerke und technischen Fachleute basiert. So hat das Eidgenössische Starkstrominspektorat (ESTI) unter Leitung der Koordinationsstelle für Erdbebenvorsorge des BAFU und in enger Zusammenarbeit mit der betroffenen Elektrizitätsbranche die seit 2012 rechtskräftige Richtlinie Nr. 248 erarbeitet. Sie ist 2015 und 2020 aktualisiert und unter anderem um die Anwendung beim Schienenverkehr erweitert worden. Die Richtlinie verfolgt das Ziel, die Erdbebenrisiken durch präventive Massnahmen mit möglichst geringem Aufwand zu verringern, damit es bei starken Erdstössen nicht zu einem ausgedehnten und langfristigen Blackout kommt. Zudem sollen Massnahmen zur Erdbebensicherheit die direkten Schäden an der Infrastruktur möglichst tief halten. Um dies zu erreichen, braucht es effiziente Massnahmen, welche die Robustheit des Systems massgeblich erhöhen. Dabei sind praxistaugliche Lösungsansätze wichtiger als detaillierte Berechnungen.

Seit der Publikation der ESTI-Richtlinie hat sich bereits viel getan. Wie die Fallbeispiele zeigen, ist erdbebensicheres Bauen bei den für die Versorgungssicherheit wichtigen Unterwerken heute Standard. Dies gilt nicht nur für Neubauprojekte, sondern auch für die Sanierung von bestehenden Anlagen, die mit Blick auf die Erdbebenrisiken präventiv gesichert werden.

Häufige Schadenbilder

Analysen von Erdbeben im Ausland ergeben, dass die Verletzbarkeit von Freiluft-Unterwerken mit der Spannungsebene zunimmt. Dagegen sind Unterwerke mit gekapselten gasisolierten Systemen in der Regel unkritisch. Auch Freileitungen überstehen Erdbeben normalerweise recht gut. Zu Beschädigungen kommt es meist nur, wenn Masten von sekundären Ereignissen – wie Rutschungen oder Felsstürzen – getroffen werden. Ein grosses Problem sind bei einem Erdbeben jedoch zu wenig

lose Leiterverbindungen zwischen benachbarten Hochspannungsapparaten. Werden die Leiterverbindungen plötzlich straff, entstehen grosse Interaktionskräfte, die unter anderem zum Bruch der Isolatoren führen können. Diese bestehen mehrheitlich aus sprödem Porzellan und zum Teil aus nicht weniger anfälligem Kunststoff.

Zu den häufigen Erdbebenfolgen zählen auch Schäden an nicht verankerten Transformatoren. Sie drohen als Folge von Erdbebenstössen umzukippen, kommen aber auch zu Schaden, wenn sie kurz abheben und mit hartem Stoss wieder aufsetzen. Um dies zu unterbinden, braucht es Verankerungen auf ihren Fundamenten.

Oft entstehen bei Erdbeben auch Probleme bei Sekundärsystemen wie umgestürzten Steuerschränken oder Notstromgruppen, Notstrombatterien und Eigenbedarfsanlagen. Solche Einrichtungen lassen sich beispielsweise durch an Wänden befestigte Stahlwinkel oder spezielle Aufhängungen sichern. Durch seismische Erschütterungen gefährdet sind zudem auch Einbauten wie Doppelböden und Trennwände. Ganz allgemein muss natürlich auch das Tragwerk der Gebäude erdbebensicher sein, in denen solche Anlagen installiert sind.

ESTI-Richtlinie Nr. 248 für eine sichere Stromverteilung
Die ESTI-Richtlinie Nr. 248 lehnt sich an die Tragwerksnormen des Schweizerischen Ingenieur- und Architektenvereins (SIA-Norm 261), die gemäss den kantonalen Baugesetzen als Stand der Technik einzuhalten sind. Sie ergänzt deren Grundlagen spezifisch um Bestimmungen für die elektrische Energieverteilung. Bei ihrer Erarbeitung hat man auch einschlägige internationale Normen der Elektrizitätsbranche sowie eine spezialisierte Publikation der American Society of Civil Engineers (ASCE) berücksichtigt. Die Bestimmungen der ESTI-Richtlinie sind in der ganzen Schweiz und in allen Erdbebenzonen anzuwenden. Sie gelten sowohl für Neuanlagen als auch bei der Erneuerung bestehender Werke. Gestützt auf das Elektrizitätsgesetz ist die Umsetzung der ESTI-Richtlinie Nr. 248 – und somit auch der SIA-Normen – im Plangenehmigungsverfahren verbindlich. Dabei beurteilt der Fachbereich Erdbeben beim BAFU die bei der Leitbehörde ESTI eingereichten Dossiers und macht bei Bedarf Auflagen, welche Eingang in die Plangenehmigungsverfügung finden.

Es liegt im Eigeninteresse und in der Verantwortung der Netzbetreiber, präventive Massnahmen zum Schutz vor Erdbeben zu ergreifen und dadurch die Versorgungssicherheit im Ernstfall signifikant zu erhöhen. Erfolgt die Erdbebenprävention im Rahmen von Anlageerneuerungen, sind die Zusatzkosten vernachlässigbar. Auch bei der Verbesserung der Erdbebensicherheit von bestehenden Anlagen halten sich die Kosten in Grenzen, wenn umsichtig geplant und koordiniert umgesetzt wird.

Vollzugshilfe
- *Erdbebensicherheit der elektrischen Energieverteilung in der Schweiz*; ESTI/ BAV, Richtlinie Nr. 248, 2012, Revision 2020

2.1 Stromversorgung

Unterwerk Auwiesen in Zürich (ZH)

Vorausschauende Planung und gute Koordination

Zürich gehört zu den Schweizer Städten, in denen Erdstösse die grössten Schäden verursachen könnten. Zwar ist die Erdbebengefährdung in der Region gering, doch stehen Bauwerke tendenziell auf relativ weichen Sedimenten. In Kombination mit der hohen Bevölkerungsdichte und der Wertekonzentration ergibt dies ein erhebliches Schadenspotenzial. Das gilt auch für die Infrastruktur zur Stromversorgung. Deshalb hat sich das ewz (Elektrizitätswerk der Stadt Zürich) dem Grundsatz verschrieben, erdbebensicher zu bauen.

Zur Anwendung gelangt die Maxime unter anderem bei der Sanierung und beim Neubau der 18 Zürcher Unterwerke. Sie werden vom ewz präventiv instandgehalten. Ein Beispiel dafür ist das Unterwerk Auwiesen im Norden von Zürich. Weil es als Bindeglied zwischen dem Höchstspannungsnetz von Swissgrid und der städtischen Stromversorgung dient, kommt ihm für die Versorgungssicherheit der Stadt eine besondere Bedeutung zu. Die Anlage ist eines von vier bestehenden Kuppelunterwerken. Als Einspeisepunkt mit strategischer Bedeutung hat sie höchsten Ansprüchen zu genügen. So braucht es etwa mehr technische Redundanzen als in anderen Unterwerken – wie eine Netzersatzanlage oder Dieselmotoren für den Notstrombetrieb.

Verschiedene Spannungsebenen

Damit die elektrische Energie möglichst verlustarm über weite Strecken transportiert werden kann, muss die Spannung sehr hoch sein. Von den Kraftwerken im In- und Ausland gelangt der Strom unter der Höchstspannung von 220 000 Volt (220 kV) oder 380 000 Volt (380 kV) ins Übertragungsnetz. Für die Versorgung einer normalen Steckdose müssen die Stromanbieter diese Spannung über mehrere Stufen auf 1 Promille reduzieren, was unterschiedliche Netzebenen erfordert. Dabei wandeln Transformatoren die elektrische Energie in der Regel auf die nächsttiefere Ebene um. Die Bereiche von 36 kV bis 150 kV bezeichnet man als Hochspannungsebene, diejenigen zwischen 1 kV und 36 kV als Mittelspannungsebene und alles unter 1 kV als Niederspannungsebene, mit der die Haushalte versorgt werden.

Bedeutend für die Versorgungssicherheit

Die 2020 vom Zürcher Stadtrat gutgeheissene bauliche Anpassung des Unterwerks Auwiesen umfasste mehrere Massnahmen zur Verbesserung der Erdbebensicherheit. Sie basieren auf einer Empfehlung der ESTI-Richtlinie

Abbildung 4

Das Unterwerk Auwiesen im Norden der Stadt Zürich ist in die Bauwerksklasse III mit lebenswichtiger Infrastrukturfunktion eingeteilt.

© ewz, Winzerpartner

Abbildung 5

Im Rahmen der Arbeiten zur Verbesserung der Erdbebensicherheit wurden die Transformatoren auf den Fundamenten verankert.

© ewz

Nr. 248. Diese rät zu einer Verbesserung der Erdbebensicherheit bei bestehenden Unterwerken, wenn sie aus Sicht der regionalen Versorgungssicherheit als «besonders wichtig» erachtet werden. Aus Risikosicht liegt der Fokus der Richtlinie in erster Linie auf Anlagen der höchsten Spannungsebene, was auf das Kuppelunterwerk Auwiesen zutrifft, transformiert es den Strom doch von Netzebene 1 (Höchstspannung) auf Netzebene 3 (Hochspannung). Aufgrund seiner Bedeutung für die Elektrizitätsversorgung wird das Unterwerk Auwiesen in die Bauwerksklasse III mit lebenswichtiger Infrastrukturfunktion eingeteilt. Dafür wird die Einwirkung für den Nachweis der Tragsicherheit um 50 Prozent gegenüber normalen Bauten erhöht. Gleichzeitig muss die Anlage danach auch funktionsfähig bleiben.

Das Unterwerk Auwiesen ging 1979 in Betrieb, als die Erdbebensicherheit beim Bauen noch kein bewusstes Thema war. Am Anfang des 2018 initiierten Sanierungsprojekts stand deshalb eine sorgfältige Überprüfung des Baubestands. Die Untersuchungen zeigten, dass Massnahmen zur Verbesserung der Erdbebensicherheit des Gebäudes unumgänglich waren. Zusätzliche Verbesserungen umfassten unter anderem die Verankerung der Transformatoren auf den Fundamenten. Damit lässt sich verhindern, dass sie als Folge von horizontalen seismischen Beschleunigungen umkippen oder angehoben werden und mit harten Stössen wieder aufschlagen.

Aufwändige Arbeiten bei laufendem Betrieb

Mit der Sanierung des Unterwerks Auwiesen liessen sich zwei Fliegen mit einer Klappe schlagen. Neben der Erdbebensicherung wurde das Gebäude auch energetisch auf den neusten Stand gebracht. Die grosse Herausforderung dabei war, alle Arbeiten bei laufendem Betrieb durchführen zu müssen – mitten in einem Hochspannungsfeld von 150 000 Volt.

2021 erhielt das Gebäude in seinem Innern in einem ersten Schritt eine neue Stahlkonstruktion, welche die bestehende Anlage erdbebensicher verstärkt. Als nächstes entstand ein Notdach, das jeweils geöffnet wurde, um die aus gedämmten Holzelementen gefertigten, grossen Fassadenteile passgenau an der Betonskelettstruktur des Gebäudes zu befestigen. Weil im Unterwerk Auwiesen auch die ewz-Notleitstelle untergebracht ist, stehen hier zahlreiche Computer und Server im Einsatz, die empfindlich auf hohe Temperaturen reagieren. Deshalb war nebst dem Notdach auch eine provisorische Kühlung des Gebäudes nötig.

Dank einer vorausschauenden Planung und guten Koordination sämtlicher Massnahmen zur Erdbebensicherung liess sich das Sanierungsprojekt 2023 erfolgreich abschliessen. Die erste Etappe kostete rund 7,8 Millionen Franken. In einem weiteren Schritt will das ewz in den kommenden Jahren ebenfalls die luftisolierte 150 000-Volt-Freiluftschaltanlage erneuern und im Hinblick auf ihre Erdbebensicherheit verbessern.

Abbildung 6

Detail der Befestigung eines Transformators mit seitlichen Stahlstützen und im Beton verankerten Metallplatten zu seiner Stabilisierung.

© ewz

Abbildung 7

Verstärkung der bestehenden Tragstruktur durch eine Stahlkonstruktion, die das Gebäude aussteift.

© ewz

2.2 Stromversorgung
Unterwerk Wimmis (BE)

Bestehende Infrastruktur gesichert

Das Dorf Wimmis am Eingang zum Simmental im Berner Oberland spielt für die überregionale Stromversorgung gleich dreifach eine wichtige Rolle. Zum einen steht dort ein Frequenzumformerwerk der SBB, über das Energie ins Bahnstromnetz einspeist wird – unter anderem für die Versorgung des Lötschberg-Basistunnels. Zum andern wird das Unterwerk von Swissgrid genutzt. So führt etwa die Höchstspannungsleitung zwischen Bickigen im Emmental und Chippis bei Siders (VS) über dieses Unterwerk. Und schliesslich ist es für das auch international tätige bernische Energieunternehmen (BKW) eine zentrale Anlage für die Stromversorgung des Berner Oberlandes.

Zwei Netze mit unterschiedlichen Frequenzen

Die Stromversorgung der Schweiz ist in das europäische Verbundnetz eingebunden und basiert auf Wechselstrom, mit dem sich die Spannung einfach transformieren lässt. Aus historischen Gründen ändert der Strom 50-mal pro Sekunde seine Richtung, was einer Frequenz von 50 Hertz entspricht, die im Verbundnetz aller Kraftwerke, Übertragungsleitungen, elektrischen Anlagen und Geräte gleich sein muss. Im Inland sorgt die Netzgesellschaft Swissgrid für ein stabiles Stromnetz, indem sie allfällige Abweichungen überwacht und ausgleicht.

Ein Spezialfall ist das mit einer Netzfrequenz von 16,7 Hertz betriebene Bahnstromnetz. Zu Beginn des 20. Jahrhunderts, als man sich in Deutschland, Österreich und der Schweiz dafür entschied, war es noch nicht möglich, grosse Elektromotoren für Lokomotiven mit hohen Frequenzen zu betreiben, weil es dabei zu einer übermässigen Funkenbildung kam. Durch die Polteilung der Generatoren auf einen Drittel der üblichen Netzfrequenz von 50 Hertz, ergab sich der bei uns noch heute eingesetzte Takt von 16,7 Hertz für den Bahnstrom.

Am Netzknoten in Wimmis stehen mehrere Transformatoren der Netzebene 2, welche die Energie von 220 000 Volt auf 50 000 Volt transformieren. Einer dieser 100-MVA-Transformatoren wurde 2020 im Rahmen eines bereits länger geplanten Instandhaltungsprojekts ersetzt. Dabei stellte sich die Frage, ob der bestehende Standplatz des Transformators, der aus einem Fundament und einer Ölauffangwanne bestand, auch weiterhin genutzt werden könne. Dafür sprach der Ressourcenschutz, dagegen möglicherweise die vom Eidgenössischen Starkstrominspektorat ESTI geforderte Erdbebensicherheit. Da der Standplatz bereits in den 1990er-Jahren entstand, erfüllte er die Anforderungen der 2012 in Kraft getretenen ESTI-Richtlinie Nr. 248 auf den ersten Blick nicht.

Abbildung 8

Das Unterwerk Wimmis spielt eine zentrale Rolle bei der Stromversorgung des Berner Oberlandes.

© BKW

Abbildung 9

Der 2020 ersetzte Transformator ist 140 Tonnen schwer. Er ist so konstruiert und mit dem Fundament verbunden, dass er auch bei einem schweren Erdbeben nicht umkippt.

© BKW

Wie detaillierte Berechnungen ergaben, wiesen die Fundamente jedoch genügend Reserven auf, um eine erdbebensichere Verankerung des neuen rund 140 Tonnen schweren Transformators zu ermöglichen – und zwar ohne aufwändige bauliche Massnahmen. Zudem war es dem Energieunternehmen wichtig, eine möglichst einfach und schnell umsetzbare Lösung zu finden. Um die Versorgungssicherheit im Berner Oberland jederzeit gewährleisten zu können, sollte die Umbauphase des Standplatzes möglichst kurz sein.

Drohende Transformatorenschäden

Wie zahlreiche Beispiele im Ausland zeigen, gehören Schäden an Transformatoren zu den häufigen Folgen von Erdbeben bei der Strominfrastruktur. Grund dafür ist meistens eine fehlende Verankerung der Transformatoren und somit eine Schwäche gegenüber den bei einem Erdbeben horizontal wirkenden Trägheitskräften. Um ein Aufschaukeln oder Kippen der Transformatoren zu verhindern, müssen diese auf den Fundamenten befestigt werden.

Als Verankerungen für Transformatoren nennt die ESTI-Richtlinie verschiedene Möglichkeiten: Sie reichen von lösbaren Befestigungen direkt auf dem Fundament, über eine Verschweissung mit Verstärkungsrahmen auf einbetonierten Verankerungsplatten bis hin zu lösbaren Verankerungen mit Fahrrollen oder Hemmschuhen.

Gewährleistete Versorgungssicherheit

Beim Unterwerk Wimmis erwies sich eine Sonderkonstruktion als beste Lösung. Zur Verankerung des neuen Transformators bohrte man ins bestehende Fundament und klebte sehr lange Ankerstangen ein, die mit speziell entwickelten Schienenklammern verbunden sind. Der Transformator wurde mit massiven Klammern direkt an der Schiene befestigt. Die Konstruktion kann mit geringem Aufwand verhindern, dass der Transformator wegrollt oder umkippt, wenn seismische Kräfte auf ihn einwirken.

Die massgeschneiderte Lösung erlaubte es, die angestrebte Versorgungssicherheit immer zu gewährleisten. Von der Abschaltung des alten bis zur Inbetriebnahme des neuen Transformators dauerten die Arbeiten lediglich fünf Wochen. Auch finanziell erwies sich die innovative Lösung als tragbar, belief sich der Aufwand für die Massnahmen zur Verbesserung der Erdbebensicherheit des Standplatzes doch auf rund 2 Prozent der gesamten Projektkosten.

Abbildung 10

Speziell entwickelte Metallklammern befestigen den schweren Transformator direkt an der Schiene. Diese wird durch beidseitige Metallkeile fixiert, welche wiederum mit langen Metallstangen im betonierten Fundament verankert sind. Dadurch kann die Anlage weder wegrollen noch kippen.

© BKW

Abbildung 11

Die Leiterverbindungen zwischen benachbarten Hochspannungsapparaten müssen genügend Lose aufweisen, damit sie bei einem Erdbeben nicht straff werden und typischerweise zum Bruch der Isolatoren führen.

© Swissgrid

2.3 Stromversorgung
Unterwerk Romanel-sur-Lausanne (VD)

Gesamtmodernisierung einer Schlüsselanlage

Das 1934 erstellte Unterwerk von Romanel-sur-Lausanne ist eines der ältesten in der Romandie und eng mit der Elektrifizierung der Genferseeregion verbunden. Auch heute kommt dieser Anlage, in der Swissgrid, der Stromversorger Services industriels de Lausanne (SiL) und die SBB ihre jeweiligen Installationen betreiben, eine grosse überregionale Bedeutung zu.

Um die Stromversorgungssicherheit der bevölkerungsreichen Region auch in Zukunft zu gewährleisten, haben die Betreiberfirmen das Unterwerk nach 2011 auf den neusten technischen Stand gebracht. Bei dieser Modernisierung ist in Romanel kaum ein Stein auf dem anderen geblieben. Swissgrid hat die alte oberirdische 220-kV-Schaltanlage durch zwei neue Gebäude ersetzt. Das eine beherbergt den neuen 380/220-kV-Transformator und eine gasisolierte 380-kV-Schaltanlage (GIS). Im zweiten Gebäude befindet sich eine 220-kV-GIS-Schaltanlage. Zudem wurde die Höchstspannungsleitung auf der West-Ost-Achse zwischen Bois-Tollot bei Genf und Chamoson im Unterwallis, die bisher über das Unterwerk verlief, mit den neuen Anlagen verbunden. Dies gewährleistet eine bessere Stabilität des Übertragungsnetzes.

Auf einem Teil der frei gewordenen Flächen der ehemaligen Freiluftanlage haben die SiL ihrerseits ein neues Gebäude errichtet. Es beinhaltet eine metallverkleidete 125-kV-Anlage, zwei 220/125-kV-Transformatoren, zwei 125-kV-Mittelspannung-Transformatoren und eine Mittelspannungsschaltanlage. Als dritter Betreiber des Unterwerks von Romanel haben 2020 auch die SBB ihre neu erstellte gasisolierte 132-kV-Schaltanlage (GIS) in Betrieb genommen.

Erdbebensichere Gebäude und Trafos

Sowohl die tragenden Strukturen als auch die sekundären Bauteile, Installationen und Einrichtungen der neuen Bauten sind gemäss der Normenreihe 260 des SIA sowie der ESTI-Richtlinie Nr. 248 für die Erdbebensicherheit ausgelegt. Um den Anforderungen bezüglich Erdstössen und Wind zu genügen, hat man zum Beispiel die über dem Boden angeordnete Holzbetontragkonstruktion der neuen SiL-Halle mit den stabilisierenden Wänden aus Stahlbeton verbunden und das Dach mit Kreuzverbänden ausgesteift. Das Swissgrid-Gebäude für die 380-kV-GIS-Schaltanlage verfügt über separate Nischen aus Stahlbeton für die vier

Abbildung 12

Gesamtsicht der erdbebensicher ausgestalteten Neuanlagen im Unterwerk Romanel bei Lausanne, wo Swissgrid, der lokale Energieversorger SiL und die SBB jeweils eigene Installationen betreiben.

© Kurmann Cretton Ingénieurs, Monthey

Abbildung 13

In den Neubauten lagern die Transformatoren auf gut fixierten Stahlplatten, die in den stark bewehrten Fundamenten verankert sind.

© Kurmann Cretton Ingénieurs, Monthey

Transformatoren. Als besondere Herausforderung erwies sich dabei, dass die 14 Meter hohen Wände in einem Arbeitsgang betoniert werden mussten. Solange diese tragenden Wände das Dach auch unter der Wirkung eines Erdbebens ausreichend abstützen und selbst nicht auf die Transformatoren fallen, unterliegen sie keiner Anforderung an die Verformung.

Eine weitere Massnahme für die Verbesserung der Erdbebensicherheit umfasste eine optimale Verankerung der Transformatoren in den verschiedenen Anlagen des Unterwerks. Im Gegensatz zu bestehenden Infrastrukturen mit entsprechendem Nachholbedarf konnte dieser zentrale Aspekt bei den Neubauten in Romanel von Anfang mitbedacht werden.

Im Zuge der Modernisierung tauschten alle Betreiber ihre alten Transformatoren aus. Im SiL-Gebäude zum Beispiel wurden sie in den mit Spreizankern fixierten Verankerungsplatten an Sockeln angeschraubt, in jenem der Swissgrid auf einer einbetonierten Stahlplatte verschweisst. Je schlanker ein Transformator, umso kippgefährdeter ist er. Bei Ersatz- und Neubeschaffungen von solchen Anlagen mit höheren Leistungen braucht es ein Erdbebenzertifikat des Herstellers. Damit wird bescheinigt, dass ein Transformator bei Erdstössen gewisse Beschleunigungen aufnehmen kann, ohne dass dadurch seine Funktion ausfällt.

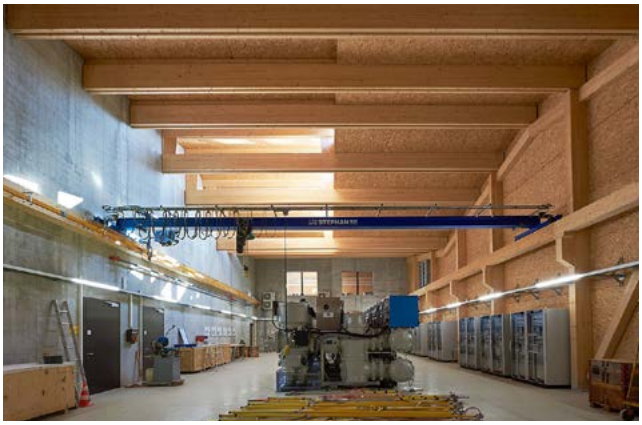
Flexible Leiterverbindungen trotzen Erdbeben

In einem Unterwerk muss die oberirdische Verbindung zwischen zwei Apparaten so viel Spiel aufweisen, dass sie bei einem Erdbeben unabhängig voneinander schwingen können, ohne dass die Leiterverbindung dabei straff wird. Ansonsten können grosse Interaktionskräfte zum Bruch der Isolatoren führen. Weil die Verbindungen zwischen den gasisolierten Schaltanlagen (GIS) und den Transformatoren in Romanel überwiegend unterirdisch verlegt wurden, erübrigte sich die Bemessung des Losebedarfs zu einem grossen Teil. Freileitungen gibt es etwa bei der Verbindung zwischen den GIS mit 380 kV und den Transformatoren im Bereich der Abspanngerüste der Hochspannungsleitungen. Hier berechneten die Ingenieure einen notwendigen Losebedarf von 75 Millimetern. Die korrekte Bestimmung ist wichtig, denn fällt die Lose zu gering aus, besteht eine ungenügende Erdbebensicherheit. Wird jedoch zu viel Spiel eingebaut, so gefährdet dies die Kurzschlussfestigkeit der Leiterverbindungen.

In Romanel beliefen sich die Kosten für die Erdbeben-Sicherheitsmassnahmen im SiL-Gebäude auf ungefähr 20 000 Franken und bei Swissgrid auf rund 30 000 Franken. Gemessen am zweistelligen Millionen-Betrag für die gesamte Modernisierung des Unterwerks machte der Aufwand für den Erdbebenschutz damit nur wenige Promille aus.

Abbildung 14

Das neue Gebäude für das Kuppelunterwerk des lokalen Stromversorgers Services industriels de Lausanne (SiL) besteht aus Beton und teils aus einer vergleichsweise leichten Holzkonstruktion, die zu geringeren Trägheitskräften infolge Erdbeben führt.



© Kurmann Cretton Ingénieurs, Monthey

Abbildung 15

In Romanel verlaufen die Verbindungen zwischen den gasisolierten Schaltanlagen und den Transformatoren vor allem unterirdisch. Deshalb spielt der sonst wichtige Losebedarf hier eine untergeordnete Rolle.

© Kurmann Cretton Ingénieurs, Monthey

Öffentliche Sicherheit

3 Bei Erdbeben zählt jede Minute

Wenn die Erde bebt, müssen die Blaulichtorganisationen unbedingt einsatzfähig bleiben. Wird die Erdbebenprävention bei entsprechenden Neubauten frühzeitig in die Planung einbezogen, so fallen die Mehrkosten kaum ins Gewicht. Auch bestehende Bauten lassen sich mit tragbarem Aufwand auf einen guten Sicherheitsstandard bringen.

Nach einem Schadensbeben zählt jede Stunde und manchmal auch jede Minute. Während den ersten Stunden bestehen bei der Rettung von überlebenden Verschütteten relativ grosse Erfolgschancen. Doch die Wahrscheinlichkeit, unter Trümmern am Leben zu bleiben, nimmt nach 24 bis 36 Stunden rapide ab. Deshalb hat die rasche Rettung der Verschütteten oberste Priorität. Sie kann aber nur gelingen, wenn die Blaulichtorganisationen im Notfall unverzüglich und vollumfänglich einsatzfähig sind. Ihre Zentralen, Depots und Garagen müssen deshalb besonders hohe Anforderungen an die Erdbebensicherheit erfüllen.

Die SIA-Norm 261 ordnet diese Bauten mit lebenswichtiger Funktion der Bauwerksklasse III zu. Für sie ist nicht nur der Nachweis der Tragsicherheit zu erbringen. Zusätzlich muss auch die Gebrauchstauglichkeit des Tragwerks sowie der sekundären Bauteile, Installationen und Einrichtungen (SBIE) gewährleistet sein. Wie Ereignisse im Ausland zeigen, hängt die Funktionstüchtigkeit eines lebenswichtigen Bauwerks nicht allein vom robusten Tragwerk ab, sondern auch erheblich von der Erdbebensicherheit der SBIE. Blockierte Garagentore, abgestürzte Deckenverkleidungen, umgekippte Regale, zerstörte Wasserleitungen, defekte Notfallgeneratoren oder Ausfälle bei den Elektro- und Kommunikationssystemen können den Betrieb stark behindern oder gar lahmlegen.

Anspruchsvolle Planung

Die Umsetzung der technischen Anforderungen an Bauwerke der BWK III ist relativ anspruchsvoll, was in der Praxis immer wieder zu Unklarheiten geführt hat – so etwa bezüglich der Zuständigkeiten für die Sicherung der SBIE. Um mehr Klarheit zu schaffen, hat das BAFU die Publikation «Erdbebensicherheit bei lebenswichtiger Funktion» erarbeitet. Sie zeigt auf, wie die Erdbebensicherheit von Bauwerken der BWK III – inklusive der Zuständigkeiten im Planungs- und Bauprozess – zu behandeln ist.

Die Umsetzung gelingt umso besser, je früher die Weichen für das erdbebensichere Bauen gestellt werden und je enger die Projektbeteiligten dabei zusammenarbeiten. Bereits im Rahmen der strategischen Planung, bei der es um die räumlichen Bedürfnisse und um mögliche Lösungswege geht, muss die Bauherrschaft Ziele und Anforderungen an die Erdbebensicherheit festlegen. Auch in der Phase der Vorstudien, die ein Projekt definieren und erste Pflichtenhefte umfassen, muss der Erdbebenschutz ein Thema sein, das es bei der Ausschreibung zwingend zu berücksichtigen gilt. Bei einer frühzeitigen Planung lässt sich der finanzielle Aufwand für die Erdbebenprävention tief halten. Erfolgen die entsprechenden Anpassungen hingegen spät im Planungsprozess oder sogar erst während der Bauarbeiten, so entstehen deutlich höhere Kosten.

Lebenswichtige Funktionen sichern

Bei der Verbesserung der Erdbebensicherheit von bestehenden Bauwerken mit einer lebenswichtigen Funktion halten sich die Kosten in Grenzen, wenn sorgfältig geplant wird. Dies beginnt mit einer fachgerechten Überprüfung gemäss der SIA-Norm 269/8 «Erhaltung von Tragwerken – Erdbeben». Dabei werden gestalterische und konstruktive Mängel in Bezug auf die Erdbebensicherheit untersucht. Der von Fachleuten des Bauingenieurwesens zu berechnende Erfüllungsfaktor beschreibt, inwieweit die Anforderungen an die Erdbebensicherheit gemäss den heute gültigen Tragwerksnormen eingehalten sind. Für ein Bauwerk der BWK III wird mindestens ein Erfüllungsfaktor von 0,4 verlangt. Anzustreben ist jedoch ein Faktor von 1,0, was bedeutet, dass die Vorgaben zu 100 Prozent erfüllt sind. Diese vollumfängliche Erfüllung der Anforderungen nach heutigen Bestimmungen ist bei Bauten mit einer lebenswichtigen Funktion definitiv nachvollziehbar, denn sie müssen nach einem schweren Erdbeben den Betrieb gewährleisten können. In einem ersten Schritt

gilt es, alle unbedingt aufrechtzuerhaltenden Funktionen zu definieren. Auf dieser Basis kann man herausfinden, welche Gebäudekomponenten dazu erforderlich sind. Viele Bauteile lassen sich mit relativ geringem Aufwand sichern. Die BAFU-Publikation «Erdbebensicherheit sekundärer Bauteile und weiterer Installationen und Einrichtungen» liefert dazu zahlreiche Empfehlungen und Hinweise für die Praxis (siehe Kap. 1).

Notfallmanagement bei Erdbeben

Trotz präventiver Massnahmen besteht immer ein Restrisiko für Schäden. Deshalb ist das Notfall- und Kontinuitätsmanagement von grosser Bedeutung. Die Blaulichtorganisationen verfügen über Notfallplanungen und haben Prozesse etabliert, um Betriebsunterbrüche – etwa infolge von Stromausfällen – zu minimieren oder zu verhindern. Dabei sind die Besonderheiten von Erdbeben – wie zum Beispiel die komplexe Schadenlage, ein möglicher Ausfall der Notstromversorgung, die erschwerte Kommunikation oder der Ausfall von Personal – spezifisch in den Notfallplanungen zu behandeln. Weil hier teilweise Handlungsbedarf besteht, hat das BAFU eine Hilfestellung für Infrastrukturbetreiber zur Überprüfung ihrer Planungen publiziert (siehe Kap. 1).

Vollzugshilfe

- *Erdbebensicherheit bei lebenswichtiger Funktion – Bauwerke der Bauwerksklasse (BWK) III gemäss der Norm SIA 261*; BAFU, UW-2310, 2023

3.1 Öffentliche Sicherheit
Einsatzzentrale in Siders (VS)

Gummi-Lager nehmen die Erdebenanregungen auf

Das Wallis ist besonders stark von Naturgefahren bedroht und musste in den letzten Jahrzehnten mehrere grosse Hochwasser-, Felssturz- und Feuerereignisse bewältigen. Dabei zeigte sich, dass der Erfolg eines Einsatzes wesentlich von der effizienten Koordination der Rettungsdienste abhängt. So entschied sich der Kanton, die Alarmzentralen mit den Rufnummern 112 und 117 der Kantonspolizei, 118 der Feuerwehr und 144 der kantonalen Rettungsorganisation sowie das kantonale Führungsorgan (KFO) an einem gemeinsamen Standort in Siders unterzubringen. Im Neubau sollte zudem ein Rechenzentrum Platz finden: Es dient als neues «Backup» für das Hauptrechenzentrum des Kantons Wallis in Sitten. Durch die räumliche Distanz will man sicherstellen, dass im Ereignisfall nicht beide Zentren gleichzeitig betroffen sind (geografische Redundanz).

Die neue Einsatzzentrale besteht aus einem massiven doppelstöckigen Sockel mit einer darauf aufbauenden zweistöckigen Glasfassade. Im Erdgeschoss findet sich Platz für die Einsatzfahrzeuge, während in den oberen Stockwerken Arbeitsräume untergebracht sind. Das Flachdach ist zugänglich und beherbergt technische Installationen.

Von den Bodenbeschleunigungen entkoppelt

Der Betrieb der Zentrale muss auch bei einem grösseren Erdbeben gewährleistet sein. Im Wallis werden Erdstösse mit einer Magnitude bis zu 6,5 auf der Richterskala erwartet. Das letzte grössere Beben mit einer Magnitude von 5,8 ereignete sich 1946 in Siders. Die Bauherrschaft liess die geologischen Baugrundverhältnisse vor Ort genau abklären und das Verhalten der seismischen Wellen mit einer Wiederkehrperiode von zirka 1000 Jahren modellieren. Mit diesen Informationen können Fachleute die Erdbebeneinwirkungen am Standort berechnen und die erforderlichen Massnahmen für ein Gebäude der Bauwerksklasse III bemessen.

Aufgrund der zu erwartenden starken Bodenbewegungen entschied sich die Bauherrschaft für eine «seismische Isolation». Dabei wird der Baukörper durch spezielle Lager vom Baugrund beziehungsweise von den Bodenanregungen entkoppelt. Das Verfahren wird in Ländern mit hoher Erdbebengefährdung wie etwa in Japan, den USA oder Neuseeland seit Jahrzehnten angewandt. In der Schweiz kommt diese wirkungsvolle, aber bautechnisch anspruchsvolle Methode eher selten zum Einsatz, zum Beispiel zur Verbesserung

Abbildung 16

Die neue Einsatzzentrale des Kantons Wallis in Siders vereint Polizei, Feuerwehr, die kantonale Rettungsorganisation und das Führungsorgan. Sie wird auch bei schweren Erdstössen funktionstüchtig bleiben.

© urbistondo + martinez architectes

Abbildung 17

Ein Raster aus Beton-Elementen auf schwimmenden Pfählen bildet das Fundament für die seismische Isolation des erdbebensicheren Neubaus.

© structurame

der Erdbebensicherheit von bestehenden Gebäuden – wie etwa bei der Zentrale der städtischen Feuerwehr in Basel.

Seismische Isolation

Beim Neubau in Siders setzte man 74 elastische Gummilager und 14 Gleitlager ein. Sie sind durch ein Raster aus Beton-Elementen verbunden, das auf «schwimmenden Pfählen» gründet. Wenn sich der Baugrund bewegt, nehmen die Isolatoren die Stösse auf und reduzieren die auf das Bauwerk wirkenden Beschleunigungskräfte. Die Kosten fallen bei dieser Lösung nicht höher aus als bei einem herkömmlichen Bau. Denn aufgrund der seismischen Isolation sind die Erdbebeneinwirkungen auf das Tragwerk (Wände, Decken, Fundamentsystem) geringer: Man kommt beispielsweise mit weniger und dünneren Pfählen aus. Damit werden die Mehrkosten der Isolation kompensiert.

Dank der seismischen Isolation sind auch die sekundären Bauteile, die technischen Installationen sowie weitere Einrichtungen (SBIE) grundsätzlich besser geschützt. Doch es bestehen Restrisiken, die es zu mindern gilt. Obschon die spezifische Schätzformel der SIA-Norm 261 für die Ermittlung der Horizontalkraft auf sekundäre Bauteile im Falle von Bauwerken mit seismischer Isolation nicht anwendbar ist, gab der beauftragte Bauingenieur Empfehlungen zur Befestigung der SBIE auf dieser konservativen Grundlage ab. Die Empfehlungen haben Eingang in die Ausschreibungen gefunden. Für jedes relevante Werkelement – vom Garagentor, über die Elektrokabel bis hin zu den Trennwänden – haben die Planungsverantwortlichen gemeinsam mit den Handwerksbetrieben spezifische Lösungen erarbeitet.

Abbildung 18

Aus der Vogelperspektive ist der Raster der tragenden Betonstruktur für die Einsatzzentrale in Siders besonders gut zu erkennen.

© freyssinet

Abbildung 19

Sollte sich der Baugrund bei einem Erdbeben bewegen, wirken die eingebauten elastischen Gummilager als Isolatoren. Sie nehmen die Stösse auf und reduzieren die auf das Gebäude wirkende Beschleunigung.

© structurame

3.2 Öffentliche Sicherheit
Neubau der ECA in Lausanne (VD)

Hohlkörperdecken entlasten die Tragstruktur

Die Bevölkerung des Kantons Waadt ist in den letzten zwei Jahrzehnten stark gewachsen. Damit hat auch das Arbeitsvolumen der kantonalen Gebäudeversicherung ECA stetig zugenommen. 2014 entschied sie sich, gemeinsam mit Partnerorganisationen am nördlichen Stadtrand von Lausanne einen neuen Hauptsitz für ihre rund 300 Mitarbeitenden zu errichten. Im Neubau wollte man jedoch nicht nur die Büroräume und Ausbildungslokale der ECA unterbringen. Vielmehr sollte er auch als Standort der von der Gebäudeversicherung betreuten Notrufzentrale der Feuerwehr dienen sowie als Notrufzentrale von Polizei und Sanität, Telefonzentrale der Bereitschaftsmedizin, Verkehrsleitstelle der Agglomeration Lausanne-Morges sowie als Kommandoposten des kantonalen Führungsstabs und des Zivilschutzes. Diese Konzentration von Alarmstellen und Kommandozentralen bietet im Ereignisfall viele Vorteile, birgt aber auch ein Klumpenrisiko. Deshalb setzte die Bauherrschaft – auch bezüglich der Erdbebenrisiken – sehr hohe Massstäbe an die Sicherheit des Neubaus.

Leichtere Decken mindern die Trägheitskräfte

Das siebenstöckige Gebäude umfasst zwei Parkgeschosse im Untergrund, die Notrufzentralen und Kommandoräume im Erdgeschoss und Hochparterre sowie Büros und Schulungsräume in den oberen Etagen. Es verfügt über einen zentralen, offenen Patio und spektakuläre Glasfassaden auf allen Seiten, während Aussenmauern gänzlich fehlen. Stabilisiert wird der Bau durch die massiven Wände von sieben Treppenhäusern und Liftschächten, die symmetrisch auf den vier Gebäudeseiten angeordnet sind. Um die horizontalen Einwirkungen bei einem Erdbeben zu verringern, wurden auf allen Geschossen Hohlkörperdecken nach dem Cobiax-System eingebaut: In diesen Stahlbetondecken sind hunderttausende kugelförmige Hohlkörper aus recyceltem Kunststoff eingelassen. Sie reduzieren das Gewicht der Decken und den Druck auf die Fundamente sowie auf das Skelett des Bauwerks, ohne dass die statische Leistung geschmälert wird. Im Erdbebenfall wird eine geringere Masse in Schwingung gebracht als bei einem konventionellen Massivbau. Dies

Abbildung 20

Im neuen Hauptsitz der Waadtländer Gebäudeversicherung in Lausanne sind unter anderem auch die Notrufzentralen von Feuerwehr, Polizei und Sanität untergebracht.

© ECA, Lausanne

Abbildung 21

Der von verglasten Seitenwänden umgebene Innenhof bringt viel Licht ins neue ECA-Gebäude, wobei die vergleichsweise leichte Konstruktion zugleich die horizontal wirkenden Trägheitskräfte infolge Erdbeben gering hält.

© ECA Lausanne, Architram

wiederum reduziert die Trägheitskräfte, die es mit dem Aussteifungssystem abzutragen gilt.

Doppelte Ausführungen sichern den Betrieb

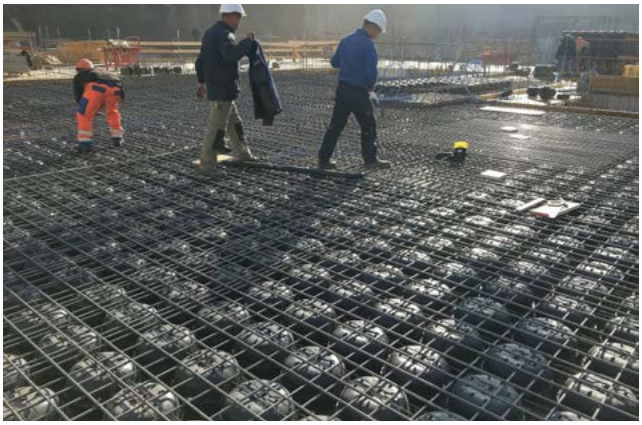
Obwohl die Planungen des 130 Millionen Franken teuren Baus 2018 erfolgten, erfüllt er die 2020 aktualisierte SIA-Norm 261 für die Bauwerksklasse III. Denn gerechnet wurde schon damals mit den heute gültigen Referenzwerten für Bodenbeschleunigungen auf Fels der Erdbebenzone Z1b. Diese neu angepasste Zone umfasst weite Teile der Westschweiz, darunter auch die Stadt Lausanne.

Bei der Sicherung der sekundären Bauteile und festen Einrichtungen berücksichtigten die Fachleute zwei Aspekte. Zum einen gilt es, im gesamten Gebäude Menschenleben zu schützen. Dazu hat man alle gemauerten, nicht-tragenden Wände mit Stahlwinkeln an den Decken fixiert und teils mit Fiberglas verstärkt. Zweitens muss die Funktionsfähigkeit der Alarm- und Kommandostellen auch nach einem schweren Erdbeben gewährleistet sein. Dies erforderte spezielle bauliche und organisatorische Massnahmen. Dabei hielt sich die Bauherrschaft strikt an die Vorgaben der europäischen Norm EN 50518 für Alarmzentralen. So sind beispielsweise die Strom- und Glasfaserkabel, Lüftungsanlagen und Schalttafeln mit doppelt geführten Leitungen abgesichert. Für Redundanz ist auch bei den Datenträgern gesorgt: Das hausinterne Datenzentrum wird durch ein zweites Rechenzentrum im 15 Kilometer entfernten Echallens gestützt.

Für die Planung der Massnahmen hat die ECA frühzeitig ein spezialisiertes Ingenieurbüro beigezogen und mit einer Risikoanalyse beauftragt. Werden die nötigen Massnahmen zur Gewährleistung von lebenswichtigen Funktionen vor Baubeginn festgelegt, fällt der Aufwand deutlich geringer aus.

Abbildung 22

Kugelförmige Hohlkörper aus recyceltem Kunststoff reduzieren das Gewicht der Stahlbetondecken, so dass bei einem Erdbeben eine geringere Masse in Schwingung gerät.



© ECA, Lausanne

Abbildung 23

Im Boden verankerte Stahlseile und flexible Leitungsverbindungen sichern die Funktionstüchtigkeit der Notstromanlage nach einem Erdbeben.

© ECA, Lausanne

3.3 Öffentliche Sicherheit

Logistikzentrum der GVZ in Bülach (ZH)

Sanierung bot Gelegenheit zum besseren Schutz vor Erdbeben

Die GVZ kümmert sich im Kanton Zürich nicht nur um das Gebäudeversicherungswesen und die Prävention. Gemäss gesetzlichem Auftrag ist sie auch zuständig für die strategische Führung und Aufsicht, die Alarmierung, Ausbildung und Ausrüstung der Feuerwehren. In Bachenbülach betreibt die GVZ ein Logistikzentrum mit einem Neuwarenlager, das sämtliches Pflichtmaterial für Feuerwehren umfasst. Brandwachen und ihre Partnerorganisationen des Bevölkerungsschutzes – wie Polizei, Rettungsdienst und Zivilschutz – können die bestellten Schläuche, Werkzeuge, Bekleidungen und weiteren Arbeitsmaterialien vor Ort abholen. Für den Bezug bei Ernstfällen steht rund um die Uhr ein Materialsupport-Team im Piketteinsatz. In dringenden Fällen liefert es mit einem eigenen Fahrzeug fehlendes Material aus. Das sanierte Lagergebäude verfügt im 2. Stock zudem über Büroräume, die im Ereignisfall – neben dem Hauptstandort am Flughafen Kloten – Platz für eine zusätzliche Einsatzleitzentrale bieten.

Überprüfung zeigt Schwächen auf

Aufgrund seiner wichtigen Funktion bei der Ereignisbewältigung ist das Gebäude seit der Inbetriebnahme des Logistikzentrums im Jahr 2010 der Bauwerksklasse III zugeordnet. Zuvor diente es einer privaten Firma als Hochregallager. Die GVZ liess ihre 2008 erworbene Liegenschaft umfassend sanieren. Die Neueinteilung in die Bauwerksklasse III erforderte bauliche Massnahmen zum Schutz vor Erdbeben. Sie sollten sicherstellen, dass dringend benötigtes Material nach einem Schadensbeben sofort an die Feuerwehren und Rettungsdienste ausgeliefert werden kann und dass keine Mitarbeitende zu Schaden kommen.

Eine von der GVZ in Auftrag gegebene Bauwerksüberprüfung, die das 1997 erstellte Gebäude im Hinblick auf Wind-, Schnee- und Erdbebeneinwirkungen untersuchte, zeigte deutliche Schwächen auf. Mit einem Erfüllungsfaktor von nur 0,3 konnte die bestehende Stahlkonstruktion mit ihrem angegliederten Trakt in Massivbauweise aus Stahlbeton und dem ebenfalls betonierten Untergeschoss den Anforderungen der SIA-Norm 261 – gemäss dem damals gültigen Stand von 2003 – bezüglich Erdbeben bei Weitem nicht genügen. Die eher weiche Stahlbaukonstruktion und

Abbildung 24

Das Logistikzentrum der Gebäudeversicherung Zürich in Bachenbülach dient als Lager für das Rettungsmaterial von Feuerwehr, Polizei, Rettungsdienst und Zivilschutz.

© GVZ, Zürich

Abbildung 25

Um im bestehenden Gebäude die Erdebenkräfte aus den oberen Stockwerken abzutragen, liess die GVZ im Untergeschoss neue Wände hochziehen und die bestehenden Stützen verstärken.

© GVZ, Zürich

der daran gekoppelte steife Stahlbetonbau würden durch Erdstösse unterschiedlich stark in Schwingung gesetzt. Dadurch käme es zu zusätzlichen gegenseitigen Beanspruchungen im Betontrakt sowie in der Stahlhalle. Auch der Innenausbau entsprach nicht den Normen. So war das Regallager unzureichend verankert und der Liftschacht im Betontrakt zu wenig robust.

Erfüllungsfaktor von 100 Prozent

Um die weiche Stahlkonstruktion konstruktiv vom steifen Betontrakt zu entkoppeln, hat man die festen Verbindungen (Festlager) auf der Seite des Massivbaus durch waagrecht verschiebbare Auflager (Loslager) ersetzt. Dadurch war die Stahlhalle in ihrer Querrichtung jedoch nur noch einseitig ausgesteift. Um wieder genügend Stabilität zu erreichen, liess die GVZ in der Lagerhalle ein Zwischengeschoss aus Beton einbauen und mit der Haupttragstruktur verbinden. Die eigentlichen Hochregallager hat man mit zusätzlichen Stahlprofilen besser in den Betondecken verankert.

Bauliche Massnahmen erfolgten auch im Betontrakt, wo eine Aussenwand aufgrund der exzentrischen Lage des Treppenhauskerns und der dadurch erzeugten Torsion stark beansprucht wird. Damit sich die einwirkenden Horizontalkräfte besser abtragen lassen, wurden die Fensteröffnungen an dieser Seite ausbetoniert. Zusätzlich liess man den Liftschacht aussenseitig mit Klebearmierungen aus Kohlefaserbündeln (CFK-Lamellen) verstärken. Zur Aussteifung des Kellergeschosses und zur Abtragung der Erdebenkräfte aus den oberen Stockwerken zog man im Untergeschoss neue Wände hoch und verstärkte die bestehenden Stützen.

Dadurch ist es der GVZ gelungen, das Gebäude auf einen Erfüllungsfaktor von 1,0 oder 100 Prozent zu verbessern. Der Aufwand für die höhere Erdbebensicherheit machte mit rund 250 000 Franken knapp 7 Prozent der gesamten Sanierungskosten aus. Der Nutzen geht aber über die Sicherung des Lagergebäudes und seiner Funktionen hinaus. Als Anbieterin einer Erdbebenversicherung und wichtige Akteurin in der Prävention gewinnt die GVZ mit der gelungenen Sanierung zusätzlich an Glaubwürdigkeit und Ausstrahlung.

Abbildung 26

Die unzureichend gegen Erdbeben gesicherten Regallager wurden mit zusätzlichen Stahlprofilen besser in den Betondecken verankert.

© GVZ, Zürich

Abbildung 27

Hinter den im Boden verschraubten Metallgestellen sind in regelmässigen Abständen die weiss gestrichenen Betonstützen der Lagerhalle zu erkennen.

© GVZ, Zürich

Gesundheit

4 Schutz der lebenswichtigen Gesundheitseinrichtungen

Bei einem schweren Erdbeben ist im betroffenen Gebiet mit zahlreichen Verletzten zu rechnen, welche die Behandlungskapazitäten der regionalen Gesundheitseinrichtungen in der Regel überfordern. Bis Hilfe von aussen eintrifft, müssen Infrastrukturen mit lebenswichtiger Funktion deshalb unbedingt voll einsatzfähig bleiben. Die Erdbebensicherheit von Akutspitälern, Notfallstationen, Operationssälen, Spitalapotheken und Rettungsdienst-Stützpunkten hat daher oberste Priorität.

Die Gesundheitsversorgung in der Schweiz ist grundsätzlich Sache der Kantone, wobei bestimmte Aspekte allerdings auf nationaler Ebene gesetzlich geregelt sind. Im Jahr 2021 handelte es sich bei 47 der insgesamt 276 Spitäler um öffentliche Unternehmen, die 40 Prozent der über 1,4 Millionen stationären Fälle behandelten. Die Mehrheit der Krankenhäuser im Inland – mit ihren nahezu 38 000 verfügbaren Betten – wird von privaten Aktiengesellschaften, Einzelfirmen, Genossenschaften, Vereinen und Stiftungen betrieben. Wenn sie sich in Form von Leistungsvereinbarungen mit den Standortkantonen dazu verpflichten, die medizinische Versorgung der Bevölkerung sicherzustellen, können sie ihre Leistungen über die Grundversicherung der Krankenkassen abrechnen. Die entsprechende Anerkennung auf einer kantonalen Spitalliste ist für die Krankenhaus-Betreiber auch insofern zentral, als die Kantone bei stationären Aufenthalten 55 Prozent der Spitalkosten tragen. Damit nicht sämtliche Kliniken die breite Palette medizinischer Leistungen anbieten, geben die Kantone zudem Behandlungsschwerpunkte vor.

Mit mehr als 230 000 Beschäftigten und einem Jahresumsatz von nahezu 31 Milliarden Franken gehören die Krankenhäuser hierzulande zu den wichtigsten Arbeitgebenden und Branchen. Noch weit bedeutender wäre ihre lebenswichtige Funktion nach einem schweren Erdbeben, wie es sich etwa im Jahr 1356 in der Region Basel ereignete.

Überlastete Spitäler

Erfahrungen aus dem Ausland zeigen, womit die Gesundheitseinrichtungen bei einem ähnlichen Ereignis heutzutage konfrontiert wären. Die Zahl der von Trümmerteilen verletzten Personen würde die personellen und materiellen Behandlungskapazitäten der Spitäler in den betroffenen Regionen rasch überlasten. Je nach Schadenereignis und Ansturm von Patientinnen und Patienten wäre die Funktionalität der Krankenhäuser dadurch schwer beeinträchtigt. Bauliche und technische Störungen, Versorgungsprobleme bei wichtigen Infrastrukturgütern – wie etwa Trinkwasser und Strom – sowie personelle Engpässe könnten die Möglichkeiten der Behandlung von Verletzten zusätzlich limitieren. Dabei stünde das Spitalpersonal wohl nur eingeschränkt im Einsatz, weil ein Teil der Leute ebenfalls verletzt oder mit der Betreuung von betroffenen Angehörigen beschäftigt wäre.

In den meisten Fällen überfordern grosse Krisen die Regenerationsfähigkeiten einer Region, was auch für das Gesundheitswesen gilt. Deshalb braucht es Hilfe von aussen – so etwa in Form von medizinischem Fachpersonal, Sanitätsmaterial und technischen Hilfsmitteln für noch funktionsfähige Behandlungseinrichtungen. Wichtig ist zudem eine Entlastung der Krankenhäuser im Epizentrum durch den Abtransport von Schwerverletzten in entfernte Spitäler ausserhalb der zerstörten Gebiete.

Spitalbauten haben eine lebenswichtige Funktion

Damit Bauwerke mit einer lebenswichtigen Funktion wie Spitäler nicht ausgerechnet dann versagen, wenn es sie am dringendsten braucht, legt die SIA-Norm 261 fest, dass auch ihre Funktionstüchtigkeit nach einem schweren Erdbeben garantiert sein muss. Deshalb sind sie der Bauwerksklasse (BWK) III mit den höchsten Sicherheitsanforderungen zugeteilt. Solche Bauten sollen einerseits über ein robustes Tragwerk verfügen, das starke Erdstösse ohne

Schaden aushält. Andererseits ist die Gebrauchstauglichkeit der relevanten sekundären Bauteile, Installationen und Einrichtungen (SBIE) unabdingbar, welche für die Gewährleistung der lebenswichtigen Funktion erforderlich sind.

Nach einem Erdbeben braucht es diese Bauwerke für die Ereignisbewältigung – insbesondere, um Menschenleben retten zu können. Im Gesundheitssektor gilt dies vor allem für Spitalbauten mit akutmedizinischen Versorgungseinrichtungen. Dazu zählen beispielsweise Ambulanzgaragen, Notfallstationen, Operationssäle, Intensivpflegestationen sowie Abteilungen für Frühgeborene und kranke Neugeborene. Zudem sind auch Bauwerke zur Lagerung von Rettungs- und Bergungsmaterial sowie die Einsatzleitzentralen der Rettungsdienste und ihre Kommunikationsinfrastruktur der BWK III zugeteilt. Damit diese Notfalldienste ihre Aufgaben erfüllen können, muss auch die Versorgung mit wichtigen Gütern wie Trinkwasser und Strom funktionieren.

Entscheidendes Tragwerksverhalten

In der Fachdokumentation «Erdbebensicherheit bei lebenswichtiger Funktion» hat das BAFU im Jahr 2023 aufgezeigt, wie sich entsprechende Infrastrukturen wirksam schützen lassen. Je günstiger das Verhalten eines Tragwerks bei Erdbeben, desto unwahrscheinlicher sind Schäden am Bauwerk und an seinen technischen Einrichtungen, die bei einem Versagen zum Funktionsverlusts des Bauwerks führen können. Die Koordinationsstelle für Erdbebenvorsorge beim BAFU empfiehlt deshalb, bei Neubauten und grundlegenden Sanierungen Unstetigkeiten und Asymmetrien des Aussteifungssystems im Grundriss und Aufriss zu vermeiden. Erfolgt die Fundation auf möglichst gleichmässig steifem Baugrund, weist ein derart konzipiertes Tragwerk unter Erdbebeneinwirkung ein günstiges Verhalten auf. Dies gilt sowohl für das Tragwerk selbst als auch für die mit ihm verbundenen SBIE. Im Gegensatz dazu erhöhen ungünstige Schwingformen des Tragwerks – wie insbesondere Torsionsschwingungen um die eigene Achse – unerwünschte Beschleunigungen und die damit einhergehenden Verformungen der SBIE.

Die Konzeption eines erdbebengerechten Tragwerks der BWK III erfordert bereits in einer Frühphase der Projektierung eine enge Zusammenarbeit der Fachleute aus den Bereichen Architektur und Bauingenieurwesen. Neben dem grundlegenden Konzept bestimmen auch die Wahl der Baustoffe und die konstruktive Durchbildung des Tragwerks dessen Verhalten unter der Einwirkung eines Erdbebens.

Anwendungshilfe

- *Erdbebensicherheit bei lebenswichtiger Funktion – Bauwerke der Bauwerksklasse (BWK) III gemäss der Norm SIA 261*; BAFU, UW-2310, 2023

4.1 Gesundheit

Neubau für den Rettungsdienst im Spital Uster (ZH)

Der Rettungsdienst muss immer einsatzfähig sein

Das Spital Uster kümmert sich um die medizinische Grundversorgung von über 170 000 Menschen im Zürcher Oberland sowie im Glatttal. Es wird von mehreren Gemeinden der Region getragen, die zu diesem Zweck eine Aktiengesellschaft gegründet haben. Zum Versorgungsgebiet gehören unter anderem die aufgrund ihrer Bevölkerungszahl städtischen Gebiete Uster, Dübendorf, Volketswil, Pfäffikon und Maur. Jährlich werden im Spital Uster bis zu 80 000 Personen entweder ambulant oder stationär behandelt. Damit gehört das Krankenhaus im Kanton Zürich zu den wichtigsten regionalen Gesundheitsversorgern. Mit 1300 Beschäftigten ist es in Uster zudem der grösste Arbeitgebende.

Mehr Platz für den Rettungsdienst

Dem Spital ist ein Rettungsdienst angeschlossen, der mit seiner Hauptwache vor Ort und einem Aussenstützpunkt in Dübendorf über sieben Rettungsfahrzeuge verfügt. Gut 40 Mitarbeitende betreuen rund um die Uhr gegen 7500 Einsätze pro Jahr. In ungefähr 500 Fällen schweben Unfallverletzte oder Erkrankte dabei in Lebensgefahr.

Bereits seit Jahren litt der Rettungsdienst unter sehr engen Raumverhältnissen, die den Arbeitsalltag erschwerten. Abhilfe hat mittlerweile das im August 2022 nach zweijähriger Bauzeit neu bezogene Dienstgebäude geschaffen. Verglichen mit den früheren Räumlichkeiten bietet es der Rettungssanität 60 Prozent mehr Platz. Im Untergeschoss des Neubaus für die Rettungswache ist eine Energiezentrale untergebracht. Sie verwertet Holzschnitzel aus der Region und versorgt das Gebiet Uster Nord mit klimaneutraler Wärme. Ein prägnanter Hochkamin markiert den Zugang zum neu angelegten öffentlichen Spitalpark, der hinter dem Rettungsdienstgebäude liegt und dem ein dreistöckiges Parkhaus für etwa 360 Fahrzeuge quasi als Sockel dient. Neben dem Erdgeschoss mit der Einstellhalle für die Rettungsfahrzeuge und Arbeitsbereichen zur Vor- und Nachbereitung der Einsätze befinden sich im oberen Stockwerk Aufenthaltsräume, Garderoben und Pikettzimmer für die Einsatzteams sowie Büros und ein grosser Schulungs- und Rapportraum.

Gut für Notfälle gerüstet

Geologisch ist das Spitalareal durch mächtige Moränenablagerungen eiszeitlicher Gletscher sowie durch meterdicke Schotterschichten geprägt. Uster liegt in der Erdbebenzone Z1a mit einer verhältnismässig geringen Gefährdung. Für den Standort gilt die Baugrundklasse B, und aufgrund

Abbildung 28

Aufgrund der lebenswichtigen Infrastrukturfunktion ist das Tragwerk der neuen Betonkonstruktion im Spital Uster auf ein schweres Erdbeben mit einer Wiederkehrperiode von etwa 1000 Jahren ausgelegt.

© Metron, Roger Trottmann

Abbildung 29

Der robuste Neubau mit Parkhaus, Energie- und Rettungszentrale bildet in Uster den seitlichen Abschluss des Spitalparks.

© Spital Uster

der lebenswichtigen Infrastrukturfunktion war bei der Projektierung und Ausführung die Bauwerksklasse BWK III massgebend. Das Tragwerk ist somit für ein Erdbeben mit einer Wiederkehrperiode von etwa 1000 Jahren ausgelegt. Die Wahrscheinlichkeit einer Überschreitung des berücksichtigten Bemessungsbebens beträgt in den nächsten 50 Jahren somit nur 5 Prozent. Für übliche Bauten der BWK I liegt dieser Wert bei 10 Prozent.

Für die Einstellhalle bedeutet die Einteilung in die BWK III, dass sie jederzeit gebrauchstauglich sein muss. Die Rettungsfahrzeuge müssen somit das Gebäude im Ernstfall verlassen können, also darf das Tor zur Einstellhalle nicht verklemmen. In Uster ist dessen Führungsschiene deshalb mit Schrauben in Laschen mit Langlöchern fest im Stahlbeton verankert. Wichtig ist auch eine erdbebensichere Befestigung der Türen, die vom Obergeschoss ins Treppenhaus zur Garage führen. Das Rettungspersonal muss die Einstellhalle zudem sowohl von aussen als auch durch die Seitentür im Gebäudeinnern erreichen können. Für den Ersteinsatz ist es ebenfalls auf den Zugang zu den Räumen mit der Arbeitskleidung angewiesen. Weil die Notfallplanung davon ausgeht, dass ausrückende Rettungsfahrzeuge nach einem schweren Erdbeben an unbeeinträchtigte Stützpunkte verlegt werden, ist in Uster jedoch keine Vorbereitung für nachfolgende Einsätze erforderlich.

Auch sekundäre Bauteile sollen sicher sein

Zur Kategorie der sekundären Bauteile, Installationen und Einrichtungen (SBIE) zählen alle Elemente, die nicht Bestandteile des Tragwerks für den vertikalen Lastabtrag oder die horizontale Gebäudestabilisierung sind. Dabei handelt es sich zum Beispiel um Fassaden, heruntergehängte Decken, nichttragende Wände, Kabelkanäle oder Leitungen. Das Garagentor, die wichtigen Türen und die Notstromversorgung wurden in Uster als relevant eingestuft und auf die BWK III ausgelegt. Auch weitere Bauteile, deren Funktionen nicht lebenswichtig sind, erfüllen das Kriterium der Tragsicherheit. So hat man sie zum Beispiel mit Schrauben in Laschen mit Langlöchern befestigt oder abgehängte Decken mit Ketten gesichert, sodass sie bei Erdstössen nicht herunterfallen, abreissen, umkippen oder wegrutschen können. Damit erfüllen sie die Anforderungen der SIA-Norm an den Personenschutz und die Schadensbegrenzung.

Trotz ihrer teilweisen Ausführung gemäss der BWK II, die keinen Nachweis der Gebrauchstauglichkeit verlangt, gehen die Fachleute davon aus, dass viele SBIE im Rettungsdienstneubau beim Spital Uster auch nach einem schweren Erdbeben funktionsfähig bleiben werden. Denn das bei Erdstössen robuste Verhalten des Tragwerks wirkt sich auch positiv auf die Bewegungen der sekundären Bauteile aus.

Abbildung 30

Die Rettungsfahrzeuge im Spital Uster müssen die Einstellhalle des Rettungsdienstes auch nach einem schweren Erdbeben verlassen können.

© Spital Uster

Abbildung 31

Damit das Tor zur Einstellhalle bei Erdstössen nicht verklemmt, ist dessen Führungsschiene mit Schrauben in Laschen mit Langlöchern fest im Stahlbeton verankert.

© Metron, Roger Trottmann

4.2 Gesundheit

Erneuerung der Kältezentrale in der Spitalapotheke des Universitätsspitals Basel (BS)

Tragsicher und funktionstüchtig – auch nach Erdstössen

Die Spitalsapotheke des Universitätsspitals Basel befindet sich in einem viergeschossigen Gebäude, das als Wegbereiter der modernen Schweizer Architektur nach der Jahrtausendwende gilt. Mit seinen flaschengrün eingefärbten Fassadengläsern markiert der Baukomplex auf dem Rossetti-Areal an der Spitalstrasse 26 einen prägnanten Farbtupfer im rheinnahen Stadtquartier. Das bekannte Architekturbüro Herzog & de Meuron schuf mit dem zwischen 1995 und 1998 entstandenen Bauwerk einen markanten Eingangsbereich zur Spitalzone und zur anschliessenden Basler Altstadt. Der komplexe Grundriss mit einem vorgelagerten, keilförmigen Baukörper gegen die Spitalstrasse war durch bestehende Untergeschosse aus den 1960er-Jahren vorgegeben.

Erforderliche Modernisierung

Die 1999 aus Platzgründen ausgelagerte Spitalapotheke umfasst Labors, Produktionsräume für Medikamente, Büros und Lager. Sie stellt die pharmazeutische Versorgung der Universitätskliniken sowie weiterer Spitäler im Kanton Basel-Stadt sicher und kümmert sich um sämtliche Belange rund um die Arzneimittel.

Rund 20 Jahre nach der Inbetriebnahme drängte sich eine Modernisierung der Kältezentrale auf, mussten doch diverse Kältemaschinen, Leitungen und Tanks ersetzt werden. Zudem waren neue Trennwände erforderlich, für die wegen der Gefahr eines möglichen Austritts von gesundheitsschädigenden Kältemitteln hohe Ansprüche bezüglich Dichtheit gelten.

Im Hinblick auf die Erdbebensicherheit sollte die Kältezentrale nach der geplanten Sanierung zudem die Anforderungen an Bauwerke mit einer lebenswichtigen Infrastrukturfunktion erfüllen. Eine im Auftrag des kantonalen Laboratoriums, durchgeführte detaillierte Überprüfung hatte nämlich zuvor ergeben, dass mehrere sekundäre Bauteile, Installationen und Einrichtungen (SBIE) in der Spitalapotheke den bestehenden Normen bezüglich Tragsicherheit und Gebrauchstauglichkeit nicht genügten. Dies ist in Basel insofern kritisch, als dass die Region – neben dem Walliser Talgrund – zu den Gebieten mit der schweizweit höchsten Erdbebengefährdung zählt.

Enge Zusammenarbeit

Die Erneuerung umfasste unter anderem den Austausch von Trennwänden, Kältemaschinen, Schalt- und Steuerungsschränken sowie Leitungssystemen. Einzelne SBIE – wie etwa zwei stehende Speichertanks – liessen sich jedoch weiterhin nutzen. Die Planung und Umsetzung der Massnahmen für die Erdbebensicherheit erforderte eine enge Absprache und Zusammenarbeit aller Beteiligten. Deshalb

Abbildung 32

In der Spitalapotheke sind die Pumpen fest mit den Betonsockeln verschraubt und dadurch erdbebensicher.

© Risk & Safety AG, Aarau

Abbildung 33

An den Wänden fixierte Stahlprofile steifen die grösseren Wasserleitungen aus, welche in den Durchgangszonen zudem über Kompensatoren verfügen.

© Risk & Safety AG, Aarau

standen die Verantwortlichen des mit der Risikoanalyse betrauten Beratungsunternehmens, das Universitätsspital Basel, der Generalplaner sowie die Fachplaner für die Bereiche Gebäudetechnik, Maschinenbau und Elektrotechnik in einem ständigen Austausch.

Richtungsweisend für die Planung und Dimensionierung der neuen SBIE waren die SIA-Norm 261«Einwirkungen auf Tragwerke» (2014) sowie die Erstausgabe der inzwischen aktualisierten BAFU-Dokumentation «Erdbebensicherheit sekundärer Bauteile und weiterer Installationen und Einrichtungen» (2016). Bei der Beurteilung der bestehenden SBIE stützte man sich zusätzlich auf die SIA-Norm 269/8 aus dem Jahr 2017.

Vielfältige Verankerungen

Genauer überprüft und gegen Erdstösse gesichert wurden in der Basler Spitalapotheke SBIE wie Kältemaschine, Absorber, Pumpen, Schaltschränke, Kontrolltafel, Wärmetauscher, Speichertank, Trennwände, Kabelbrücken, Stromschienen, Lüftungskanäle und Aufhängungen für Wasserleitungen. So hat man etwa die Pumpen fest auf Betonsockeln verschraubt und sie damit gegen Kipp- und Gleitbewegungen gesichert, wobei dicke Isoliermatten zwischen den Geräten und Sockeln im Fall eines Erdbebens für zusätzliche Stabilität sorgen. Auch die hauptsächlich mit Schaltern und Stromschienen ausgerüsteten Elektroschränke sind sowohl mit dem Betonsockel als auch untereinander verbunden, was ihnen eine gute Tragkraft verleiht. Zudem sind die Einrichtungen durch Schienen am Korpus befestigt. Die Wärmetauscher hat man mit jeweils drei U-Profilen mit der Betondecke verschraubt, was sie gegen Kippen und Gleiten sichert. Mit je vier Schrauben sind auch die drei Stützen des in sich stabilen Tanks fest in der Betondecke verankert, was die Halterung gegen ein Abheben und Abscheren sichert. Oben, unten und an beiden Seiten fixierte Stahlschienen bewahren die Trennwände davor, unter Lasteinwirkungen zu kippen. Die nur leicht belegten Kabelbrücken sind mittels Ankerbolzen an der Decke befestigt und dadurch ebenfalls stabil. Dies gilt auch für die leichten und flexiblen Lüftungskanäle, so dass weder in der Längs- noch in der Querrichtung eine zusätzliche Aussteifung nötig war. Je nach Grösse der Wasserleitungen sind deren Aufhängungen mit Schrauben an der Wand befestigt, mit Ankerstangen am Boden fixiert oder in der Längs- und Querrichtung durch auskragende Stahlstützen ausgesteift. In den Durchgangszonen zwischen der Rheinwasseraufbereitungsanlage, dem Stollen und dem Rossetti-Bau im dritten Untergeschoss sind Kompensatoren installiert, welche die Beweglichkeit der Rohrleitungen erhöhen, indem sie Längenänderungen und Vibrationen ausgleichen können.

Damit erfüllt die Kältezentrale bezüglich der Erdbebensicherheit inzwischen alle Anforderungen an Bauwerke mit einer lebenswichtigen Infrastrukturfunktion.

Abbildung 34

Im Untergeschoss der Spitalapotheke sind die Wärmetauscher mit seitlich angebrachten Metallstreben fest in der Betondecke verankert.

© Risk & Safety AG, Aarau

Abbildung 35

Im betonierten Fundament verankerte Metallrahmen sichern die Funktionstüchtigkeit der sekundären Installationen – wie dieser Wasserleitungen – auch nach einem stärkeren Erdbeben.

© Risk & Safety AG, Aarau

4.3 Gesundheit

Erweiterung und Umbau des Spitals in Sitten (VS)

Massiver Ausbau der Kapazitäten

Der Walliser Staatsrat hat vor einigen Jahren beschlossen, in Zukunft alle Operationen in öffentlichen Spitälern des französischsprachigen Kantonsteils nur noch am Standort Sitten durchzuführen. Die Kliniken in Siders und Martigny bleiben zwar erhalten, übernehmen jedoch künftig andere Aufgaben im Bereich der öffentlichen Gesundheitsversorgung. Deshalb wird das bestehende Kantonsspital am Standort Champsec in Sitten bis 2026 stark erweitert und umgebaut. Die Zahl der Operationssäle soll auf 14 verdoppelt werden, das Angebot an stationären Betten baut man von 260 auf 400 aus und dasjenige für ambulante Betten von 11 auf 50.

Neben dem Spitalausbau entstehen auf dem Gelände auch eine Rehaklinik der Unfallversicherungsanstalt Suva sowie ein Ausbildungszentrum für Physiotherapie und Pflege der Westschweizer Fachhochschule HES-SO. Damit werden sich im neuen Gesundheitscampus «CampuSanté» dereinst täglich über 4500 Personen aufhalten.

Platz für neue Nutzungen schaffen

Um den erforderlichen Raum für die zusätzlichen Nutzungen zu gewinnen, hat man in einer ersten Bauetappe die bestehenden Parkplätze unter freiem Himmel aufgehoben und ein Parkhaus erstellt, das auf mehreren Ebenen Platz für mehr als 1100 Fahrzeuge bietet.

Weil kein anderer Kanton in der Schweiz so stark durch schwere Erdstösse gefährdet ist wie das Wallis, spielte die Erdbebensicherheit beim Bau der mehrstöckigen Garage eine Schlüsselrolle. So steht das 2019 fertiggestellte Gebäude neben dem Spital auf einer Grundplatte, die unter den tragenden Stützen in der Mitte massiv verstärkt ist. Dadurch werden die konzentrierten Lasten durch Mobilisierung des Eigengewichts auf den tragenden Boden und in Querrichtung auf die erdbebensicheren Zwischenwände verteilt. Die gleiche Doppelfunktion kommt auch den Streifenfundamenten unter den Stützpfeilern im Bereich der Aussenwände zu.

Exponierter Standort in der Rhoneebene

Das kantonale Konzept zur Vorbereitung und Intervention im Falle von Erdbeben (COCPITT) geht davon aus, dass ein Grossteil der Gebäude im Wallis ein solches Ereignis nicht schadlos überstehen wird. Die grössten Zerstörungen erwarten die Behörden in der Rhoneebene, wo der vom Talfluss abgelagerte Schotter die Bodenbewegungen verstärkt. Hier konzentrieren

Abbildung 36

Im Spital Sitten werden ab 2026 alle Infrastrukturen mit einer lebenswichtigen Funktion auf den erdbebensicheren, L-förmigen Neubau konzentriert, der die bestehenden Doppeltürme umschliesst.

© Spital Sion

Abbildung 37

Der Neubau des Spitals Sitten steht auf einer 180 Zentimeter mächtigen, stark armierten Betonplatte.

© Spital Sion

sich nicht nur die bevölkerungsreichsten Siedlungen, sondern auch die Wirtschaftszentren des Kantons. Bei einem schweren Beben im Talgrund, dessen Schadensraum die beiden Städte Sitten und Siders betrifft, rechnet COCPITT im Wallis mit mehr als 800 Toten und über 2600 Schwerverletzten.

Damit man die Überlebenden rasch retten und medizinisch betreuen kann, braucht es ein effizientes Rettungswesen und funktionierende Spitäler. Die Erdbebenzone Z3b am Klinikstandort in Champsec und die Anforderungen an die Bauwerksklasse III erforderten in Sitten denn auch vertiefte Überlegungen zur Erdbebensicherheit.

Neubau für lebenswichtige Einrichtungen

Das seit dem Jahr 2020 realisierte Projekt «CampuSanté» schliesst im Süden und Westen des bestehenden Spitals an die 50-jährigen Gebäude an und umgibt diese in der Form eines L. Der Neubau mit vier Vollgeschossen steht auf einem 180 Zentimeter mächtigen und stark armierten Betonfundament. Durchgehende Träger und Treppenhäuser mit dicken Mauern verleihen der Konstruktion auch bei Erdbeben eine hohe Stabilität. Leitungen für Wasser, Strom, Heizwärme, Sauerstoff und weitere Gase führen in massiven Stahlrahmen den Decken und Wänden entlang. Bei Erdstössen könnten sie die Bewegungen aufnehmen, mitschwingen und dabei voll funktionsfähig bleiben.

Deshalb werden Spitalbereiche mit einer lebenswichtigen Infrastrukturfunktion – wie etwa die Notaufnahme und die Operationssäle – künftig räumlich zusammengelegt und auf den Neubau konzentriert. Dieser soll dereinst alle Abteilungen der Akut- und Operationspflege beherbergen – also auch Zentren für die Dauer- und Intensivpflege, Dialyse, Endoskopie, Radiologie sowie die Zentralapotheke. Der im Sommer 2022 abgeschlossene Rohbau umfasst zudem eine neue Ambulanzgarage und Anlieferungsdocks für die Spitallogistik. Im Zuge der etappenweisen Realisierung, die trotz Neu- und Umbau den alltäglichen Betrieb des Krankenhauses gewährleistet, erfolgen dann nach und nach Umnutzungen von freiwerdenden Räumen im bestehenden Gebäude mit seinen beiden Türmen. Es wird erdbebentechnisch so verbessert, dass man hier die Bettenstationen unterbringen kann, ohne dass die kranken und verunfallten Personen bei einem schweren Erdbeben gefährdet wären.

Wohin der Weg führt, zeigt der bereits realisierte Bau eines zusätzlichen Operationssaals mit Intubations-, Technik- und Materialräumen. Dessen Tragkonstruktion besteht aus Metallprofilen, die auf tief verankerten Pfählen und Betonfundamenten abgestützt sind. Auch bei heftigen Erdstössen wären sie in der Lage, die Kräfte der Tragstruktur ohne Schäden an den Einrichtungen aufzunehmen.

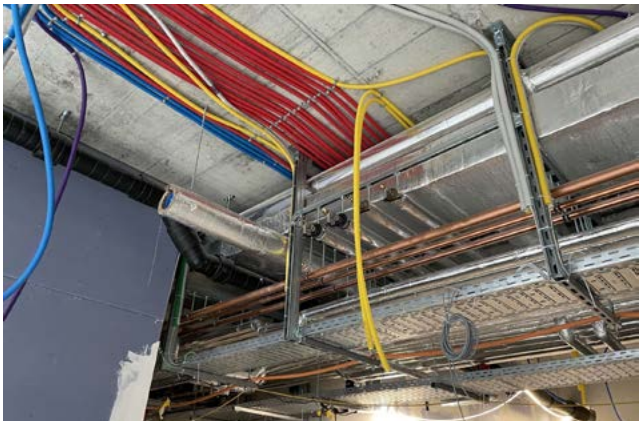
Abbildung 38

Massiv armierte Wände, Treppenhäuser und Liftschächte aus Ortbeton bilden das konstruktive Gerüst des erdbebengerecht konzipierten Spital-Neubaus in Sion.

© OECOCOM, Beat Jordi

Abbildung 39

An den Betondecken befestigte Metallkörbe sichern die komplexen Leitungssysteme zur Versorgung der Operationssäle und Notfallstationen.



© OECOCOM, Beat Jordi

Strassenverkehr

5 Schwachstellen bei Brücken beheben

Das Strassennetz ist in der Schweiz das wichtigste Verkehrssystem, um nach einem Erdbeben den Zugang zu lebenswichtigen Infrastrukturen – wie etwa Spitälern – sicherstellen zu können und betroffene Gebiete mit Hilfsgütern zu versorgen. Bauliche Schwachstellen bilden dabei insbesondere Brücken. Die heutigen Normen sorgen dafür, dass diese und weitere Kunstbauten bei Erdstössen nicht versagen.

Die hohen Sicherheitsbedürfnisse unserer Gesellschaft in Verbindung mit der geringen Akzeptanz von Unterbrüchen der Infrastrukturnetze führten «zu einem grossen Nachholbedarf bezüglich Erdbebensicherung der Bauwerke», hielt das Bundesamt für Strassen (ASTRA) in einem 2005 veröffentlichten Bericht fest. Es ging dabei um die «Beurteilung der Erdbebensicherheit bestehender Strassenbrücken», wobei sich das ASTRA bei seinen Untersuchungen auf die Nationalstrassen im Eigentum des Bundes beschränkte.

Erdbebennormen für Brücken

Erdbebenbestimmungen für Brücken gibt es in der Schweiz seit 1970. Damals schrieb die SIA-Norm 160 für alle Bauwerke erstmals die Berücksichtigung einer horizontalen Beschleunigung von 2 Prozent der Erdbeschleunigung vor. Doch erst die 1989 aktualisierte Norm forderte für neue Brücken rechnerische Nachweise und konstruktive Massnahmen, die nach Bauwerksklasse (BWK) und Erdbebenzone abgestuft waren. Neu eingeführt hat man damals etwa Vorschriften über die Mindestabmessungen der Auflagerbereiche, so dass Brückenträger bei einem Erdbeben nicht von den Widerlagern abstürzen können. Eine wesentliche Verschärfung gegenüber früher war auch der neu vorgeschriebene Nachweis der Gebrauchstauglichkeit für Brücken der BWK III. Dies bedeutet, dass die Lager und Fahrbahnübergänge in der Lage sind, Verschiebungen des Brückenträgers durch Erdbebenkräfte ohne Schäden aufzunehmen.

Systematisch untersuchte Schwachstellen

Insbesondere in den höheren Erdbebenzonen müsse man damit rechnen, dass vor 1989 erstellte Brücken diese Anforderungen bezüglich der Absturzsicherung und Gebrauchstauglichkeit nicht erfüllten, hielt das ASTRA in seinem Bericht von 2005 fest. Hinsichtlich der horizontalen Einwirkungskräfte befürchteten die Fachleute in erster Linie bei relativ steifen Brücken in Quer- oder Längsrichtung eine Unterbemessung der Stützen und Lager.

Tatsache ist, dass nur etwa 10 Prozent der rund 4000 Brücken im Nationalstrassennetz nach dem Inkrafttreten moderner Erdbebennormen erstellt worden sind. Die restlichen 90 Prozent wurden vor ihrem Bau überhaupt nicht oder nur unzureichend für Erdbebeneinwirkungen bemessen. In einem zweistufigen Verfahren hat der Bund die Autobahnbrücken in seinem Eigentum deshalb in der Zwischenzeit auf entsprechende Schwachstellen untersucht.

Der im Jahr 2020 veröffentlichte Bericht an den Bundesrat zum Erdbebenrisikomanagement auf nationaler Ebene erklärte die Abklärungen zur Erdbebensicherheit der Nationalstrassenbrücken für abgeschlossen. Bei 96 von 242 Bauwerken mit erforderlichen Sicherheitsmassnahmen hatte das ASTRA die Arbeiten zu diesem Zeitpunkt bereits ausgeführt. Im Rahmen der allgemeinen Unterhaltsplanung sollen die restlichen 146 Autobahnbrücken bis spätestens 2035 ebenfalls erdbebentechnisch instandgesetzt sein.

Mögliche Versagen durch Erdbeben

Die raschen Bodenbewegungen während eines Erdbebens können Brücken in vertikaler und horizontaler Richtung zu Schwingungen anregen. Weil diese Bauwerke auf vertikale Lasten ausgelegt sind, nehmen sie vertikale Schwingungen durch Erdbeben meist problemlos auf. Dagegen führen die horizontalen Anregungen durch Erdbeben oft zu deutlich stärkeren Beanspruchungen. Vor allem bei den in der Schweiz am meisten verbreiteten Balkenbrücken ist die Verletzbarkeit in der Längsrichtung generell grösser als in Querrichtung. Aufgrund der Wellennatur von Erdstössen bewegen sich die einzelnen Stützenfundamente und Widerlager jeweils nicht gleichzeitig, was die Abstände zwischen den einzelnen Lagerorten einer Brücke verändern und deren

Zerstörung verursachen kann. Problematisch sind zudem durch Erdbeben ausgelöste Setzungen, Rutschungen und Verflüssigungen des Baugrundes, welche die Fundation von Stützen und Widerlagern gefährden können.

Ein typisches Schadenbild bei Balkenbrücken ist der Absturz des Brückenträgers von zu kurzen Auflagerbereichen. Wird ein betroffener Übergang während eines schweren Erdbebens benutzt, führt dies meist zu Personenschäden und zu einem Totalschaden des Bauwerks. Fällt der Brückenträger jedoch nur von den Lagern auf die Auflagerbank, so lässt sich eine Brücke oft mit beschränktem Aufwand wieder anheben und mittels provisorischer Lager relativ rasch wieder in Betrieb nehmen – zumindest für die sofortige Rettung und die Bewältigungsphase.

Optimierte Erdbebensicherheit

Um Trägerabstürze zu verhindern, sind die Abmessungen der Auflagerbereiche in der Längsrichtung auf die bei Erdstössen möglichen Bewegungen des Brückenträgers zwischen den Widerlagern auszulegen. In der Querrichtung haben sich einfache Schubnocken als Absturzsicherung bewährt.

Gemäss den Erkenntnissen des ASTRA ist unter Erdbebeneinwirkung ein elastisches Verhalten des Brückenträgers anzustreben. «Generell günstig sind lange fugenlose Durchlaufträger, da jede Zwischenfuge eine Schwachstelle bildet, wo mit einem Trägerabsturz gerechnet werden muss.» Durchlaufträger mit ungefähr gleichen Spannweiten beurteilen die Fachleute als günstiger, weil unregelmässige Spannweiten stärkere Eigenschwingungen in Querrichtung verursachen können.

In der Längsrichtung wird eine schwimmende Lagerung festen Verbindungen vorgezogen, da sich fixe Horizontalkraftlager in der Praxis nicht bewährt haben. Die Bundesbehörde empfiehlt zudem, möglichst viele Stützen als bauliche Einheit oder durch feste Längslager mit dem Brückenträger zu verbinden. In Querrichtung ist auf den Stützen ohne einheitliche Verbindung sowie bei den Widerlagern eine feste Lagerung vorzusehen.

Einteilung der Strassenbrücken

Die höchsten Anforderungen gelten für Bauwerke der BWK III. Darunter fallen Autobahnbrücken ohne Alternativrouten, Brücken auf Zufahrtswegen zu lebenswichtigen Gebäuden derselben Bauwerksklasse – wie etwa Spitäler, Ambulanzgaragen oder Polizeizentralen – sowie Brücken von grosser Bedeutung für die Zugänglichkeit eines Gebiets, für die es nach einem Erdbeben keine Alternativrouten gibt. Bei der Einteilung von bestehenden Brücken in die BWK III erachtet das ASTRA diese Zuordnung allerdings nur für gerechtfertigt, wenn das Ziel der uneingeschränkten Befahrbarkeit zur Rettung von Menschenleben nach einem Erdbeben gegeben ist – also zum Beispiel auf der einzigen Zufahrtsstrasse zu einem Akutspital der BWK III.

Auch Erd- und Stützbauwerke entlang von Strassen sind durch Erdstösse gefährdet – allerdings weniger als Brücken. Wie Erfahrungen im Ausland zeigen, treten entsprechende Schäden eher an Hanglagen und bei relativ hohen Erdbebeneinwirkungen auf. Trotzdem sind Erdstösse für solche Bauwerke in der Schweiz relevant, weil nach einem Ereignis unter anderem grosse bleibende Verschiebungen auftreten können, die den Verkehr beeinträchtigen. Für die Bemessung und Überprüfung von Erd- und Stützbauwerken liegt deshalb seit 2019 eine spezifische Dokumentation des ASTRA vor.

Vollzugshilfen

- *Abklärungen zur Erdbebensicherheit der Brückenbauwerke der Nationalstrassen*; ASTRA, Bericht, 2020
- *Beurteilung der Erdbebensicherheit bestehender Strassenbrücken*; ASTRA, Dokumentation 82003, 2023
- *Erdbebensicherheit von Erd- und Stützbauwerken – Bemessung und Überprüfung*; ASTRA, Dokumentation 82017, 2019

5.1 Strassenverkehr

Sihl-Brücke der Hauptstrasse H 8 bei Schindellegi (SZ)

Eine gelungene Absturzsicherung

Die Hauptstrasse H 8 ist eine Durchgangsstrasse von gesamtschweizerischer Bedeutung und verbindet die Ostmit der Zentralschweiz. Von der Stadt St. Gallen aus führt sie via Herisau (AR) und Wattwil im Toggenburg über den Rickenpass nach Eschenbach, quert bei Rapperswil-Jona den Damm über den Zürichsee nach Pfäffikon, überwindet bei Schindellegi die Sihl und peilt via Schwyz den Ort Ingenbohl an, wo die Strasse in die H 2b mündet. Als leistungsfähige Verbindung zwischen den beiden Nationalstrassen A 3 und A 4 ist die 92 Kilometer lange H 8 für wesentliche Teile der Ostschweiz die kürzeste Strecke nach Luzern oder in Richtung Gotthard. Für den Kanton Schwyz erfüllt sie zudem die Funktion der wichtigsten Verbindungsachse zwischen Inner- und Ausserschwyz, die überdies den mittleren Kantonsteil erschliesst.

Umfassende Gefährdungsanalyse

Gestützt auf eine allgemeine Gefährdungsanalyse für den gesamten Kanton hat der Schwyzer Regierungsrat 2016 beschlossen, alle für die Versorgung relevanten Infrastrukturbauten auf ihre Erdbebensicherheit zu überprüfen und bei Bedarf nachzubessern. Für die Kunstbauten der Kantonsstrassen kümmerte sich das kantonale Tiefbauamt um diese Aufgabe.

Bei diesen Untersuchungen zeigte sich unter anderem, dass die in den frühen 1970er-Jahren erstellte vierspurige Brücke der H 8 über den Fluss Sihl bei Schindellegi – gemessen an den heute vorgegebenen Erdbebenlasten – Defizite aufweist und den modernen Anforderungen an die Sicherheit nicht mehr genügen kann. So drohte – vor den 2022 ausgeführten Massnahmen zur Erdbebensicherung – die Gefahr, dass die Brückenlager bei starken Erdstössen versagen und die Brückenplatte von ihren Lagern herunterfällt. Als Brücke mit bedeutender Infrastrukturfunktion ist der Sihl-Übergang der Bauwerksklasse BWK II-i zugeteilt, so dass sich der Kanton Schwyz als Strassenbesitzer für eine bauliche Verbesserungsmassnahme entschied.

Umbau des Lagerungssystems

Die weitgehend aus Beton bestehende Brücke zwischen Biberbrugg auf der Südseite und Schindellegi im Norden ist 120 Meter lang und als Durchlaufträger über sechs Felder mit schiefer Lagerung bei den Pfeilern und Widerlagern konzipiert. Die vier Innenfelder weisen eine konstante Spannweite von 22,5 Meter auf, während das stark schiefwinklige Randfeld Süd in der Brückenachse nur eine

Abbildung 40

Die vierspurige Brücke der Hauptstrasse H 8 über die Sihl bei Schindellegi war nicht erdbebensicher und musste deshalb saniert werden.

© Büeler Fischli Bauingenieure GmbH

Abbildung 41

Nachträglich eingebaute Brückenlager auf vorgesetzten Betonkonsolen, die gut in den bestehenden Widerlagerwänden verankert sind, bewahren die Brückenplatte vor einem Absturz.

© Büeler Fischli Bauingenieure GmbH

knapp halb so lange Spannweite hat. Das 19,4 Meter lange Randfeld Nord ist auf einem Widerlager abgestützt, das gleichzeitig das Eingangsportal zum kurzen Tunnel bildet, der hier unter mehreren Gemeindestrassen und Gebäuden von Schindellegi verläuft. Der Brückenträger besteht aus einer vorgespannten 70 Zentimeter starken Vollplatte mit einer Gesamtbreite von 15,5 Meter für die vier Spuren. Beim Widerlager Süd weist die Brückenplatte eine feste Lagerung auf und bei den Rahmenpfeilern P2 und P4 sowie beim Widerlager Nord verfügt sie über eine zusätzliche Führung mit Lagerung in der Querrichtung. Die Pfeiler sind als geschlossene Rahmen mit Streifenfundamenten ausgeführt.

Die Verbesserung der Erdbebensicherheit erfolgte ab April 2022 während rund neun Wochen im laufenden Betrieb und umfasste einen Umbau des Lagerungssystems ohne weitere Eingriffe in das Brückentragwerk. Mit einem Verzicht auf die horizontale Lagerung in Querrichtung bei den Rahmenpfeilern P2 und P4 liess sich im Erdbebenfall ein weicheres Schwingungsverhalten erzielen. Eine Tragstruktur muss nämlich nicht zwingend starr konstruiert sein, um den dynamischen Einwirkungen eines Erdbebens widerstehen zu können. Statt dass die horizontal aussteifenden Tragelemente grosse Kräfte abtragen müssen, lässt sich die Struktur eines Tragwerks auch weicher konzipieren. So kann es bei Erdstössen mitschwingen – vergleichbar mit einem Schilfrohr, das sich im Wind biegt, aber nicht bricht.

Zur Verbesserung der Widerlager entschied man sich in Schindellegi für zusätzliche Brückenlager auf vorgesetzten Betonkonsolen, die mit den Widerlagerwänden verbunden sind. Die Bewehrung der Konsolen wurde in Nischen der Widerlager rückverankert, für die man den Beton zuvor mit der Höchst-Druck-Wasserstrahl-Technik (HDW) abgetragen hatte. Dieses Verfahren ermöglicht es, den Betonstahl für die anschliessenden Instandsetzungsarbeiten ohne Beschädigung freizulegen und sorgt zugleich für einen optimalen Betonverbund zwischen Alt- und Neubauteilen. Mit dem Ziel einer duktilen Ausbildung wurden die Widerlagerwände schliesslich noch mit Schubdübeln verstärkt.

Durch den erfolgreichen Umbau des Lagerungssystems, der einen zuvor möglichen Absturz der Sihl-Brücke bei Schindellegi verhindert, erfüllt das Bauwerk inzwischen die Anforderungen an die Erdbebensicherheit gemäss der neuesten Normengeneration. Die Kosten für die Ingenieurleistungen und die baulichen Verbesserungsmassnahmen beliefen sich auf gut 400 000 Franken. Dies entspricht ungefähr 4 Prozent des Aufwands für den Neubau einer typähnlichen Brücke.

Abbildung 42

Um die neuen Betonkonsolen gut mit den Widerlagern verbinden zu können, hat man deren vorderste Armierungseisen freigelegt und die neuen Bauelemente in den Nischen verankert.

© Büeler Fischli Bauingenieure GmbH

Abbildung 43

Durch den Verzicht auf eine horizontale Lagerung in Querrichtung bei zwei Rahmenpfeilern lässt sich bei Erdstössen ein weicheres Schwingungsverhalten der Brücke erreichen.

© Büeler Fischli Bauingenieure GmbH

5.2 Strassenverkehr

Sanierung der Bodenbrücke bei Guttannen (BE)

Ein Lebensnerv wird erdbebensicher

Die 1972 erstellte Bodenbrücke zwischen Innertkirchen und Guttannen ist Bestandteil der Grimselpasstrasse, die das Haslital im Berner Oberland mit dem Goms im Oberwallis verbindet. Während Jahrhunderten hatte dieser Alpenübergang eine wichtige Bedeutung als Handelsroute nach Norditalien. Vom Süden her kamen etwa Wein, Reis und Muranoglas in die Schweiz, die ihrerseits Hartkäse, Leder, Eisenwaren, Jungpferde und Braunvieh ausführte. Diesem Saumverkehr entzog die Eröffnung der Gotthardbahn in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts jedoch die wirtschaftliche Grundlage.

Erst mit der Anbindung ans inneralpine Passstrassennetz bei Gletsch (VS) und dem Bau mehrerer Staumauern und Kraftwerke in der Region erlangte die Grimselstrasse später erneut eine grössere Bedeutung. Die nur im Sommerhalbjahr zugängliche Passstrasse gilt heute vor allem als touristische Attraktion. Für die Erschliessung des ganzjährig bewohnten Dorfes Guttannen im Oberhasli ist die bis zu dieser Siedlung auch im Winter geöffnete Verkehrsverbindung allerdings ein zentraler Lebensnerv.

Ungenügende Kippsicherheit

Dies gilt somit auch für die der Bauwerksklasse III (BWK) zugeteilten Brücke über die Aare beim flussabwärts gelegenen Weiler Boden. Während die bernische Kantonsstrasse Nr. 6 ab Innertkirchen dem rechtsseitigen Ufer der Hasliaare folgt, überquert sie hier den Fluss und führt dann dem linken Ufer entlang in Richtung Guttannen.

Beim Baugrund der massiven Widerlager handelt es sich um meterdicke Lockergesteinsschichten aus Flussablagerungen oder Moränenmaterial. Demzufolge sind die Fachleute für die Tragwerksanalyse von der Baugrundklasse E ausgegangen und von der Erdbebenzone Z1b.

Eine im Auftrag des kantonalen Tiefbauamtes im Jahr 2020 durchgeführte Sonderinspektion sowie die anschliessende detaillierte Überprüfung ergaben verschiedene Schäden wie Abplatzungen oder Korrosionsspuren. Dabei zeigte sich auch, dass die Erdbebensicherheit der Widerlager ungenügend ist. Vor der Instandsetzung war sowohl der horizontale Tragwiderstand der einfachen Elastomerlager problematisch als auch die Kippsicherheit der als Schwergewichtswände ausgebildeten Widerlager. Bei einem schweren Erdbeben hätte der nur aus einem Feld bestehende Plattenbalken mit der Fahrbahn also schlimmstenfalls in die Aare abstürzen können.

Abbildung 44

Aushub und Vorbereitungsarbeiten, um die Brückenplatte der Bodenbrücke bei Guttannen mit dem Widerlager verbinden zu können.

© SOLING AG, Bauingenieure, Thun

Abbildung 45

Verbaute Armierungseisen zur Bewehrung des Betonriegels, der die früher frei aufliegende Brückenplatte inzwischen kraftschlüssig mit den Widerlagern verbindet.

© SOLING AG, Bauingenieure, Thun

Relativ einfacher Umbau

Die übliche Anforderung der Gebrauchstauglichkeit für eine Brücke der BWK III verlangt, dass die Fahrbahnübergänge und Brückenlager die bei einem Erdbeben auftretenden Verformungen ohne Ausfall der Infrastrukturfunktion aufnehmen können. Um diese Bedingungen zu erfüllen, hat man den aus Ortbeton bestehenden Plattenbalken mit je vier Längsbalken und Querträgern in eine integrale Brücke ohne Fahrbahnübergänge und unter Verzicht auf die zuvor bestehenden Elastomerlager umgebaut.

Bei den 2022 ausgeführten Arbeiten wurde die knapp 10 Meter breite und 18 Meter lange Brückenplatte fest mit den Widerlagern verbunden und die Fuge zwischen diesen Bauteilen ausbetoniert. Dadurch war es auch möglich, auf eine ansonsten erforderliche Sanierung der Fahrbahnübergänge und Lager zu verzichten. Im Widerlagerbereich hat man die Belagsarmierungen auf die Tragschicht verlegt und den Deckbelag aus Walzasphalt über die Brücke hinaus gezogen.

Gemessen an den Gesamtkosten der Instandsetzung von rund 600 000 Franken machte der Aufwand für die bauliche Erdbebensicherheitsmassnahme lediglich 20 000 Franken oder knapp 3,5 Prozent der Bausumme aus. Weil die Instandsetzungsarbeiten jeweils nur auf einer Fahrspur erfolgten, konnte der Verkehr von Innertkirchen nach Guttannen die Bodenbrücke permanent nutzen, während man die Fahrzeuge in der Gegenrichtung über die in unmittelbarer Nähe gelegene Gemeindestrasse umleitete.

Dank der einfachen und effizienten Verbesserungsstrategie muss sich die Talbevölkerung nicht mehr vor einem Unterbruch der wichtigsten Verkehrsverbindung im Oberhasli nach einem Erdbeben fürchten. Mehr Sorgen bereiten ihr hingegen die wiederholten Murgänge im steilen Spreitgraben. Durch mächtige Geschiebeablagerungen in der Aare gefährden sie bei Guttannen nicht nur die Kantonsstrasse, sondern auch einzelne Häuser.

Abbildung 46

Brückenansicht von unten nach Ausführung der betonierten Verbindung zwischen Widerlager und Brückenplatte.

© SOLING AG, Bauingenieure, Thun

Abbildung 47

Die sanierte Bodenbrücke wird künftig auch einem stärkeren Erdbeben standhalten.

© SOLING AG, Bauingenieure, Thun

5.3 Strassenverkehr

Sanierung der Hinterrheinbrücke bei Cazis (GR)

Eine erdbebensichere Rheinpassage

Die Autostrasse A 13 ist nach der Gotthardroute (A 2) die zweitwichtigste Nord-Süd-Verbindung des Landes. Sie führt vom Südufer des Bodensees bei St. Margrethen (SG) via Sargans, Chur, Thusis und Bellinzona ans nördliche Ufer des Lago Maggiore bei Locarno. Dieser Alpenübergang wird seit Jahrhunderten genutzt, doch erst der 1967 eröffnete San-Bernardino-Tunnel schuf hier eine ganzjährige Strassenverbindung, welche unter anderem auch die Bündner Südtäler Misox und Calanca besser erschliesst und an den Kantonshauptort Chur anbindet.

Die streckenweise vierspurige Nationalstrasse ist grösstenteils in den 1960er und 1970er-Jahren entstanden. Dies gilt auch für die von 1976 bis 1978 erstellte Betonbrücke über den Hinterrhein bei Cazis auf dem Streckenabschnitt Thusis Süd-Isla Bella.

Höhere Lasten durch die Verbreiterung

Im Rahmen einer Gesamterneuerung dieses Abschnitts liess das Bundesamt für Strassen (ASTRA) die nutzbare Fahrbahn des gut 170 Meter langen Rheinübergangs zwischen April 2014 und Dezember 2015 von 13,3 auf neu 15 Meter verbreitern. Weil man das Eigengewicht des Brückenträgers damit signifikant erhöhte und die Widerlager und Stützpfeiler der Brücke beim ursprünglichen Bau zudem nicht auf die Einwirkungen möglicher Erdbeben ausgelegt waren, drängte sich auch in dieser Beziehung eine bauliche Verbesserungsmassnahme auf.

Beim Baugrund handelt es sich um Rheinschotter, der erfahrungsgemäss aus dichtem Kies mit eingelagerten Steinen und Blöcken besteht. Massgebend für das Bauwerk bezüglich Erdbeben sind die Gefährdungszone Z2, die Baugrundklasse C sowie eine Einteilung in Bauwerksklasse BWK II.

Der Unterbau der Rheinbrücke besteht aus einem 7,6 Meter breiten Hohlkastenträger, der sich über drei Felder mit Spannweiten von 52 bis 66 Meter erstreckt. Abgestützt ist die Konstruktion auf den Widerlagern und auf zwei im Flussbett verankerten Betonpfeilern, die mit Senkkästen in der Rheinsohle fundiert sind. In der Längsrichtung ist der Hohlkasten nur auf dem Pfeiler der Brückenseite von Thusis fixiert, denn alle übrigen Brückenlager auf dem Stützpfeiler in Richtung Rothenbrunnen und bei den Widerlagern sind beweglich ausgebildet. In der Querrichtung der Brücke wird der Überbau sowohl bei den Widerlagern als auch auf beiden Pfeilern geführt.

Abbildung 48

Die im Auftrag des ASTRA verbreiterte Autobahnbrücke über den Hinterrhein bei Cazis (GR) wurde durch bauliche Verstärkungen des Hohlkastenträgers und der Flusspfeiler sowie durch den Ersatz aller bestehenden Brückenlager auch erdbebentechnisch verbessert.

© Bänziger Partner, Ingenieure Planer, Chur

Abbildung 49

Zur Verbesserung der Erdbebensicherheit fundierte man die beiden Betonpfeiler tiefer im Flussbett und nahm zudem eine bauliche Verstärkung der Stützen vor. Die rechteckigen Hilfspfeiler wurden danach wieder entfernt.

© Bänziger Partner, Ingenieure Planer, Chur

Ersatz aller Brückenlager

Beim Umbau hat das ASTRA das bestehende Lagerungskonzept mit einem schwimmend gelagerten Überbau und zwei Fahrbahnübergängen beibehalten. Neu wird der Brückenträger jedoch sowohl in der Längs- als auch in der Querrichtung auf beiden Flusspfeilern gehalten. Die Verbreiterung der Brücke erfolgte in Form einer auskragenden Betonkonstruktion. Dabei hat man die an die Widerlager angrenzenden Stützmauern im Vorlandbereich an die erweiterte Fahrbahn angepasst.

Um eine ausreichende Tragsicherheit garantieren zu können, waren bauliche Verstärkungen am Hohlkastenträger und an den Flusspfeilern sowie der Ersatz aller bestehenden Brückenlager erforderlich. Zudem liess sich die Tragfähigkeit der beiden Stützpfeiler nur mit einer stärkeren Verankerung der Senkkästen in der Rheinsohle sicherstellen.

Aufgrund der schwachen Querkraftbewehrung und einer hohen Beanspruchung im Normalbetrieb wiesen die Pfeiler vor dem Brückenumbau ein sprödes Querkraftbruchverhalten mit einem eingeschränkten Verformungsvermögen auf. Im Hinblick auf mögliche Erdbebeneinwirkungen wird jedoch ein duktiles Bruchverhalten angestrebt. Um das Verformungsvermögen der Flusspfeiler deutlich zu verbessern, hat man sie mit Beton ummantelt und die konstruktive Ausbildung der Bewehrung optimiert.

Die alten Brückenlager mussten sowohl auf den Pfeilern als auch bei den Widerlagern ersetzt werden. Damit man die Krafteinleitung der horizontalen Lagerkräfte in den Überbau sicherstellen konnte, wurden an der Unterseite des Brückenträgers und somit überhalb der Lagerköpfe neue Verstärkungen aus Stahlbeton eingebaut.

Den Querschnitt des Hohlkastenträgers sicherte man mit 30 Zentimeter dicken Querscheiben, deren Einbau in regelmässigen Abständen über die gesamte Brückenlänge erfolgte. In den beiden Randfeldern drängte sich zudem eine Verstärkung der unteren Hohlkastenplatte mit einer zusätzlichen Betonschicht auf. So liess sich ein duktiles Tragwerksverhalten erreichen, bei dem die Bewehrung ins Fliessen kommen kann und die Betonspannungen unterhalb der effektiven Druckfestigkeit verbleiben.

Die Gesamtkosten der Brückenerweiterung und Instandsetzung bei laufendem Verkehr beliefen sich auf knapp 8 Millionen Franken oder gut 2500 Franken pro Quadratmeter, was deutlich unter dem Aufwand für einen Ersatzbau liegt.

Abbildung 50

Die Verbesserung der Erdbebensicherheit umfasste unter anderem den Bau eines stark armierten Verankerungsblocks für die Vorspannung der Brücke.

© Bänziger Partner, Ingenieure Planer, Chur

Abbildung 51

In den beiden Randfeldern des Hohlkastens unter der Brückenfahrbahn hat man die untere Betonplatte mit zusätzlichen Armierungen und einer ergänzenden Betonschicht verstärkt.

© Bänziger Partner, Ingenieure Planer, Chur

Schienenverkehr

6 Schutz der Bevölkerung in Zügen und an Bahnhöfen

Seit 2020 konkretisiert eine Richtlinie die SIA-Normen zur Erdbebensicherheit für Eisenbahnanlagen. Als Vollzugshilfe liefert sie eine einheitliche Beurteilungsgrundlage für Infrastrukturbetreibende, Projektverantwortliche sowie für die Bewilligungs- und Aufsichtsbehörden. Personen in Zügen und an Bahnhöfen, aber auch die Bahninfrastruktur sind dadurch besser geschützt.

Das Schienennetz in der Schweiz ist 5100 Kilometer lang und damit eines der dichtesten weltweit. Täglich verkehren allein auf den SBB-Strecken rund 10 000 Züge, die mehr als 1 Million Personen befördern. Bedient werden über 2000 Haltestellen und Bahnhöfe. Bezüglich Passagierzahlen, Pünktlichkeit und Sicherheit gilt das Schweizer Schienennetz als das effizienteste in Europa, auf dem auch 37 Prozent sämtlicher Güter transportiert werden.

Dies soll auch nach einem Erdbeben so bleiben. Um Menschenleben in den Zügen und an viel besuchten Orten wie Bahnhöfen zu schützen und den weiteren Betrieb des Schienenverkehrs sicherzustellen, sind spezifische Bestimmungen einzuhalten. Dies wird im Rahmen eines Plangenehmigungsverfahren vom Bundesamt für Verkehr (BAV) risikoorientiert geprüft.

Vorschriften sorgen für Sicherheit

Für Neubauten gelten im Hinblick auf Erdbeben die Vorschriften der SIA-Norm 261 und für bestehende Bauten seit dem Jahr 2017 die SIA-Norm 269/8. Demnach besteht Handlungsbedarf, stammen doch die ersten Bestimmungen, die der Erdbebeneinwirkung Rechnung trugen, aus dem Jahr 1970. Die Bahninfrastruktur in der Schweiz ist allerdings grösstenteils früher entstanden. Das gilt beispielsweise für rund 60 Prozent der etwa 6500 SBB-Bahnbrücken. Weitere 20 Prozent wurden nach früheren Vorschriften bemessen, die – verglichen mit den heute gültigen Normen – auf einer deutlich geringeren Erdbebeneinwirkung basieren. Bei den restlichen 20 Prozent der Übergänge ist von einer aus jetziger Sicht ausreichenden Bemessung auszugehen. Bei den meisten bestehenden Bauwerken ist das Sicherheitsniveau der Erdbebensicherheit unbekannt und allenfalls ungenügend. Im Erdbebenfall können Schwachstellen zu Betriebsunterbrüchen im gesamten Netz und zu Todesfällen führen. Basierend auf den Grundlagen einer 2010 durchgeführten Vorstudie zur Erdbebensicherheit der Bahninfrastruktur im Auftrag des BAFU haben die SBB 2015 unter anderem ein mehrstufiges Inventarverfahren für Bahnbrücken erarbeitet.

Neubau- und Sanierungsprojekte, die eine Genehmigung des BAV benötigen, werden seit 2013 vom entsprechenden Fachbereich beim Bundesamt für Umwelt (BAFU) auf ihre Erdbebensicherheit überprüft. Das Normenwerk liess allerdings Fragen offen, die etwa die Notwendigkeit und Verhältnismässigkeit von Massnahmen betrafen. Damit die Umsetzung der Bestimmungen korrekt, einheitlich und systematisch erfolgt, brauchte es eine eisenbahnspezifische Richtlinie. Sie soll langfristig nicht nur das Erdbebenrisiko im Schienenverkehr reduzieren, sondern den Gesuchstellenden auch mehr Planungssicherheit geben.

Richtlinie präzisiert das Vorgehen

Die 2020 publizierte Richtlinie «Erdbebensicherheit von Eisenbahnanlagen» ist ein Gemeinschaftswerk der Bundesstellen BAV und BAFU sowie von Fachleuten der Bahnunternehmen. Sie vereinheitlicht und vereinfacht die Auslegung und Anwendung der Vorgaben zur Erdbebensicherheit bei Bahnanlagen und bildet die Grundlage für den Vollzug der gesetzlichen Bestimmungen. Dabei werden die Anforderungen an Projektdokumentation, Schutzziele und Schutzgrad sowie die Beurteilung der Verhältnismässigkeit bahnspezifisch konkretisiert und erläutert. Dies ermöglicht im Plangenehmigungsverfahren eine einheitliche und zielführende Kontrolle.

Die Richtlinie präzisiert zudem die aus Sicht der Erdbebensicherheit relevanten Elemente der Bahninfrastruktur. Dazu gehören beispielsweise Brücken, Bahnhöfe, Perrondächer und -hallen sowie Stellwerke. Der Bahninfrastruktur kommt allgemein keine lebenswichtige Bedeutung zu. Aufgrund von spezifischen Eigeninteressen kann es für ein Bahnunternehmen jedoch sinnvoll sein, bestimmte Elemente von sehr hoher Bedeutung für den Betrieb oder für die Ereignisbewältigung in die Bauwerksklasse III einzuteilen.

Erfahrungsaustausch auf Fachebene
Basierend auf den bisherigen Erfahrungen haben das BAFU und das BAV die bei der Zuteilung von Plangenehmigungsdossiers angewandten Kriterien weiter präzisiert. Damit wollen die Bundesbehörden die beschränkten personellen Ressourcen möglichst für die risikorelevanten Projekte einsetzen.

Über die im Rahmen des Plangenehmigungsverfahrens vorgenommenen Beurteilungen der Projekte durch den Fachbereich Erdbeben beim BAFU wird Buch geführt. Gestützt auf die Auswertung der Qualität der Plangenehmigungsdossiers findet auf Fachebene ein regelmässiger Erfahrungsaustausch statt, um den allfälligen weiteren Handlungsbedarf zu bestimmen.

Vollzugshilfen
- *Erdbebensicherheit von Eisenbahnanlagen*; BAV, Richtlinie, 2020
- *Erdbebensicherheit der elektrischen Energieverteilung in der Schweiz*; ESTI/BAV, Richtlinie Nr. 248, 2012, Revision 2020

6.1 Schienenverkehr

Saaneviadukt bei Gümmenen (BE)

Ein landschaftsprägendes Bauwerk wird erdbebensicher

Wer mit dem Zug von Neuenburg nach Bern fährt, überquert bei Gümmenen (BE) das 800 Meter breite Tal der Saane. Von Westen her umfasst das Ensemble des denkmalgeschützten Übergangs einen 400 Meter langen Erddamm, den bekannten Natursteinviadukt mit 22 Brückenbögen, ein 65 Meter weit gespanntes, filigranes Stahlfachwerk direkt über dem Fluss und einen weiteren Steinviadukt mit fünf Gewölben. Bereits nach seiner Fertigstellung im Jahr 1901 galt das landschaftsprägende Bauwerk als ingenieurtechnische Meisterleistung.

Doch der Zahn der Zeit nagte am Stein und Eisen, und die Ansprüche der Bevölkerung an Mobilität und Sicherheit haben seither laufend zugenommen. Die immer schwereren Züge sollten schneller und häufiger fahren, und die in die Jahre gekommenen Teile des Talübergangs mussten ersetzt oder saniert werden. Dabei galt es auch, den Denkmal- und Erdbebenschutz zu beachten.

Reduktion der Verletzbarkeit

Die Erdbebensicherheit war zwar nicht Auslöser des Projekts, spielte bei den Planungs- und Bauarbeiten aber eine wichtige Rolle. Ein starkes Erdbeben hätte der 120 Jahre alten Brücke nämlich schwer zusetzen können. So bestand Gefahr, dass die Lager der Stahlbrücke, welche sämtliche Kräfte auf die Viaduktpfeiler übertragen, in Querrichtung versagen. Zudem hätten Teile des Erddamms ins Rutschen geraten können. Am robustesten sind die beiden Natursteinviadukte. Denkbar wäre hier allenfalls das Herunterfallen einzelner Steine oder ganzer Seitenwände.

Ein grösseres Erdbeben hätte die Bahnlinie Bern-Neuenburg für längere Zeit unterbrochen. Schlimmstenfalls wären eine Entgleisung von Zügen und die komplette Zerstörung der Brücke möglich gewesen.

Brückenlager geben ausreichend Halt

Im Zuge des Doppelspurausbaus und der Erhöhung der Streckengeschwindigkeit auf 160 km/h hat die BLS Netz AG als Bauherrin und Eigentümerin des Baudenkmals von nationaler Bedeutung die Erdbebensicherheit stark verbessert. Der Erddamm wurde verbreitert und dank einer günstigen Korngrössenverteilung des Schüttmaterials auch gegen Erdbeben

Abbildung 52

Das Bahnunternehmen BLS hat den denkmalgeschützten Saaneviadukt auf der Strecke zwischen Bern und Neuenburg auf Doppelspur ausgebaut. Seit 2020 erfüllt der landschaftsprägende Flussübergang nun auch die Anforderungen an die Erdbebensicherheit.

© vistadoc

Abbildung 53

Der kürzere Viadukt wurde seitlich im früheren Baustil mit Natursteinen verbreitert, um die neu doppelt geführten Gleise aufzunehmen.

© Fürst Laffranchi Bauingenieure GmbH

stabilisiert. Besonders aufwändig war die Substanzerhaltung der beiden Steinviadukte. Dazu wurden einzelne Fundamente mittels Zementinjektionen saniert und tragfähiger gemacht.

Die Viadukte müssen neu den zweigleisigen Schottertrog aus Stahlbeton tragen, der rechts und links 3,35 Meter über das Mauerwerk hinausragt. Er ist so konstruiert, dass selbst ein entgleisender Zug nicht von der Brücke fallen kann. Der neue Schottertrog verteilt die vertikal und horizontal wirkenden Kräfte sowohl in der Längs- als auch in der Querrichtung der Brücke. Gleichzeitig wirkt er als Verbindungsglied zwischen den einzelnen Viaduktpfeilern. Dies verbessert das Verformungsverhalten des gesamten Viadukts und insbesondere der Uferpfeiler. Neben dieser statischen Funktion dichtet der neue Schottertrog das darunter liegende Mauerwerk gegen das Eindringen von Wasser ab und verhindert Schäden im Innern der Natursteinpfeiler.

Das Stahlfachwerk im Mittelteil hatte das Ende seiner Nutzungsdauer erreicht und wurde deshalb vollständig ersetzt. Die neue Lagerung, welche die Stahlkonstruktion mit beiden Uferpfeilern verbindet, hält die Konstruktion auch bei einem starken Erdbeben an Ort und Stelle. Weil eine Horizontalbeanspruchung der Topflager auf der Höhe der Lagerbank zu unzulässig grossen Belastungen des Mauerwerks geführt hätte, werden die Horizontalkräfte direkt in den Schottertrog eingeleitet. Dafür wurde der Schottertrog der Saanequerung über Spannglieder mit dem Ortbetonschottertrog des kürzeren östlichen Viadukts verbunden. Die aufgebrachten Vorspannkräfte wurden über Elastomerlager zwischen den beiden Bauwerksteilen abgetragen. Durch den Aufbau mit integrierten Stahlblechen können diese primär aus Kautschuk bestehenden und verformbaren Lager Kräfte, Verdrehungen und Verschiebungen ohne bewegliche Teile aufnehmen und übertragen.

Erdbebenschutz ohne Mehrkosten

Für die Erdbebensicherheit fielen keine Mehrkosten an. Denn sämtliche Massnahmen, die dazu beitrugen, drängten sich im Rahmen der Sanierung und des Ausbaus auf zwei Gleise ohnehin auf. Mit dem heutigen Zustand werden die Normen zu 100 Prozent erfüllt – und zwar ohne Einschränkungen.

Grösste Herausforderung war die Totalsperre des Bahnbetriebs auf diesem wichtigen Streckenabschnitt. Dank einer detaillierten Vorbereitung liess sich der Unterbruch auf fünf Wochen beschränken.

Abbildung 54

Die seitlich geführten Brückenlager sichern das Bauwerk auch bei starken Erdstössen quer zur Brückenachse. In Längsrichtung erfolgt die Kraftabtragung über die Längsverspannung der Schotterträge.

© vistadoc

Abbildung 55

Die BLS liess die Konstruktion des Stahlfachwerks, das die Saane überrückt, komplett ersetzen. Trotz erhöhten Sicherheitsanforderungen, welche den Ersatz wichtiger Bauteile erforderten, hat man das Bauwerk in seinen Grundzügen bewahrt.

© Fürst Laffranchi Bauingenieure GmbH

6.2 Schienenverkehr

Neue Technikkabine der Zentralbahn am Bahnhof Horw (LU)

Grosse Wirkung mit wenig Aufwand

Entlang den Bahnstrecken fallen in regelmässigen Abständen containerartige, fensterlose Gebäude aus Beton, Aluminium oder Holz auf. Es handelt sich dabei um bahntechnische Kabinen, in denen die Technik untergebracht ist, um Weichen, Signale und Perronbeleuchtungen steuern und überwachen zu können. Früher waren Stellwerke oft auffällig hohe Gebäude, in denen das Bahnpersonal die Übersicht wahren musste und Weichen oder Signale von Hand bediente. Heute ist vieles automatisiert und somit elektronisch gesteuert. Die Technik findet in Kabinen und Bahntechnikgebäuden Platz, wo sich meistens keine Menschen mehr dauerhaft aufhalten.

Zentrale Bahninfrastruktur

Allein die Division SBB-Infrastruktur betreibt und unterhält über 500 Technikkabinen und Sicherungsanlagen, um rund 14 000 Weichen und 32 000 Signale zu stellen. Die viel kleinere Zentralbahn in der Innerschweiz kommt mit 24 solcher Anlagen aus.

Im Zuge der Bahnhofsanierung im luzernischen Horw hat die Zentralbahn eine neue Technikkabine gebaut, die alle Sicherungs-, Elektro- und Telekommunikations-Anlagen sowie die dazugehörige Stromversorgung schützt. Sie muss den Anforderungen an Brandschutz, Einbruchschutz, Langlebigkeit und Erdbebensicherheit genügen. Das mit 13 Metern Länge eher grosse Gebäude wurde von einer Spezialfirma hergestellt und in zwei vorgefertigten Teilen geliefert. Ein Pneukran setzte die Kabine auf das vorbereitete Streifenfundament aus Beton. Dieses liegt 50 Zentimeter über der Umgebung, um den Hochwasserschutz der Anlage zu gewährleisten.

Simple Massnahme mit grosser Wirkung

Die Technikkabine in Horw versorgt einen relativ langen Streckenabschnitt von der Luzerner Allmend bis Hergiswil Matt. Bei herkömmlichen Bauten könnte ein Erdbeben zu Schäden und zu einem langanhaltenden Bahnunterbruch führen, weil ein sicherer Betrieb nicht mehr möglich wäre. Im Sinn einer Notmassnahme könnte die Betreiberin nach einem Erdbeben zwar Weichen verschrauben, doch die Transportkapazitäten würden dadurch extrem eingeschränkt. Deshalb ist eine erdbebengerechte Bahntechnik zentral für das Funktionieren des Schienenverkehrs.

Abbildung 56

Neue Technikkabine der Zentralbahn in Horw. Kleine Metallplatten (unten links neben dem Dachablauf) verbinden den Stahlrahmen der Wandelemente mit dem betonierten Fundament, so dass die Konstruktion bei einem Erdbeben nicht verrutscht.

© Zentralbahn

Abbildung 57

Die durchgängig auf dem Boden verschraubten Ständer des Doppelbodens sind biegesteif mit dem Stahlrahmen verbunden.

© Sven Heunert

Dazu bedurfte es jedoch keiner aufwändigen technischen Massnahmen. Berechnungen haben gezeigt, dass angesichts der mässigen Erdbebengefährdung in der Region wenige 20 auf 30 Zentimeter messende Metallplatten von 10 Millimeter Stärke für eine erdbebensichere Ausführung ausreichen. Sie sind an der äusseren Gebäudehülle angebracht und verbinden den Stahlrahmen am Boden der Technikkabine mit dem Betonfundament, so dass die Anlage nicht verrutschen kann. Diese konstruktive Verankerung sowie genügend Spielraum bei den Zuleitungen und Versorgungskabeln sorgen dafür, dass letztere bei Erdstössen nicht abgerissen werden. Die Kosten für die statischen Berechnungen und das Material dieser einfachen, wartungsfreien und effizienten Erdebensicherungsmassnahme belaufen sich pro Objekt auf wenige tausend Franken.

Um auch die Verletzbarkeit der technischen Installationen im Inneren der Kabine zu reduzieren, hat die Zentralbahn besonders gefährdete Elemente wie die Steuerschränke untereinander verschraubt und oben an der Wand fixiert. Die Ständer des gedrungenen Doppelbodens sind durchgängig auf den Boden und biegesteif mit der Rahmenkonstruktion verschraubt.

Abbildung 58

Mehrere solcher Stahlwinkel verbinden die USV-Schränke untereinander – dies führt zu einer grösseren Aufstandsfläche und reduziert damit deren Schlankheit.

© Sven Heunert

Abbildung 59

Sicherung am Kopf eines USV-Schrankes mit Stahlwinkeln an die Wand.

© Sven Heunert

6.3 Schienenverkehr

Neues Perrondach im Bahnhof Muttenz (BL)

Kluge Ansätze für eine robuste Tragkonstruktion

Der riesige Rangierbahnhof Basel in Muttenz dient vor allem der Formation von Güterzügen im Nord-Süd-Verkehr. Parallel dazu befindet sich der Personenbahnhof Muttenz. Das Labyrinth an Schienen und Weichen wird im Rahmen des 2020 gestarteten Bahnausbauprojekts «Entflechtung Basel-Muttenz» neu geordnet. Hauptziel ist es, den Personen- und Güterverkehr auf der Zufahrt zum Bahnhof Basel SBB einfacher und leistungsfähiger zu gestalten, um mehr Zugverbindungen und Pünktlichkeit zu gewährleisten. Dafür haben die SBB verschiedene Massnahmen eingeleitet. Beispielsweise werden die Bahnhöfe den heutigen Ansprüchen angepasst, eine Brücke instandgesetzt, eine neue 360 Meter lange Eisenbahnbrücke gebaut sowie eine Passerelle für den Langsamverkehr ersetzt.

Erhebliche Erdbebengefährdung

Das Grossprojekt betrifft auch den SBB-Bahnhof Muttenz. Die Modernisierung sollte behinderten- und erdbebengerecht sein und auch das denkmalgeschützte Dienstgebäude Süd gestalterisch einbeziehen. Besonders augenfällig ist der neu erstellte und 230 Meter lange Perron bei Gleis 4 mit seinem 73 Meter langen Dach, das im Osten des alten Dienstgebäudes den Zugang zur neuen Personenunterführung überdeckt. Auf Gleis 4 halten künftig unter anderem die von Basel herkommenden S-Bahn-Züge.

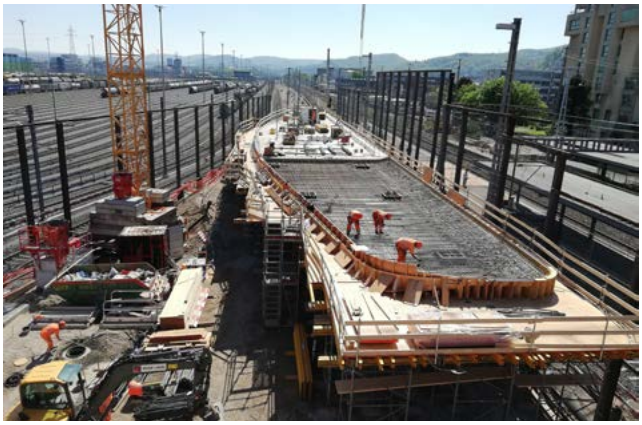
Der Bahnhof Muttenz liegt in der Erdbebenzone Z3a mit einer der schweizweit höchsten Gefährdungen. Die SBB haben die entsprechende Erdbebeneinwirkung bei der Bemessung berücksichtigt und das Perrondach in die Bauwerksklasse II eingeteilt. Ziel ist es, im Ereignisfall sowohl die Personen auf dem Perron zu schützen als auch die Funktionstüchtigkeit sämtlicher Anlagen zu gewährleisten.

Tragkonstruktion mit duktilen Verbindungen

Die Tragkonstruktion des Perrondachs wurde gemäss der für die Region Basel vorliegenden Mikrozonierung dimensioniert, welche vom lokalen Baugrund abhängig ist. Bei der Bauweise hat man darauf geachtet die Kraftübertragungsbereiche – also die Anschlüsse von den Stützen zu den Fundamenten und zum Dach – konstruktiv duktil durchzubilden. Somit lassen sich spröde Versagensmechanismen auch bei stärkeren Erdbeben ausschliessen. Damit das Tragwerk die bei einem Erdbeben auftretenden

Abbildung 60

Die Stahlelemente der Säulen, welche das Perrondach tragen, sind in die Armierungen der Dachkonstruktion eingebunden. Dank ihrer konstruktiv duktil ausgeführten Anschlüsse weist das Tragwerk auch bei einem schweren Erdbeben eine hohe Robustheit auf.



© SBB

Abbildung 61

Das Dach für den neuen Perron 4 am Bahnhof Muttenz ist erdbebengerecht konstruiert. Technische Installationen wie die Beleuchtung der Bahnsteige sind so fixiert, dass ihnen auch starke Erdstösse nichts anhaben.

© SBB

Biegemomente aufnehmen und die Zugkräfte übertragen kann, hat man die Bewehrungseisen mit speziellen – auf dynamische Belastungen geprüfte – Muffen mit den Stahlbauteilen verbunden.

Das neue Perrondach führt vor Augen, dass die Erdbebensicherheit nicht im Widerspruch steht zu ästhetisch und geometrisch komplexen Bauwerken. Mit gut durchdachten Tragwerkskonzepten lassen sich diese Komponenten aufeinander abstimmen. Die geometrisch komplexe Form der Überdachung erforderte allerdings eine präzise Abstimmung zwischen Planungsbüros und Bauunternehmen.

Schutz vor herabfallenden Teilen

Am Perrondach in Muttenz sind verschiedenste Installationen angebracht. Dazu gehören etwa Kabelkanäle, die Beleuchtung, Lautsprecher, schwere elektronische Anzeigetafeln mit den Zuginformationen und weitere Beschilderungen. Um auch im Fall eines Erdbebens einen sicheren Aufenthalt der Bahnreisenden zu gewährleisten, wurden die Montageelemente entsprechend bemessen.

Beim Bahntechnikgebäude in Muttenz steht vor allem die Erdbebensicherheit der technischen Einrichtungen im Zentrum, welche grosse Teile des Bahnverkehrs steuern. So hat man etwa die Schränke im Rechnerraum mit Verschraubungen gegen die Einwirkungen eines Erdbebens gesichert, so dass diese nicht kippen können und auch nach Erdstössen weiterhin funktionsfähig bleiben. Ausfälle des Stellwerks würden nicht nur auf dieser Strecke Probleme verursachen, sondern in der ganzen Nordwestschweiz zu einem Dominoeffekt führen.

Abbildung 62

Die Betonstützen für das Perrondach wurden im Werk vorgefertigt. Sie verfügen im Kopf- und Fussbereich über eingebaute Stahlelemente mit aufgeschweissten Muffen, die eine duktile Kraftübertragung ermöglichen.

© SBB

Abbildung 63

Stützenkopf in der Schalung mit der verlegten und zum Teil über Muffen eingeschraubten Bewehrung.

© SBB

Zivilluftfahrt

7 Auch für Flughäfen gilt ein erhöhter Schutzgrad

In der Luft können Erdstösse dem Flugverkehr nichts anhaben. Gefährdet sind dagegen Anlagen am Boden wie Terminals, Kontrolltürme, Hangars und weitere Infrastrukturen von Flughäfen. Der Bund steht hier zwar nicht als Eigentümer in der Pflicht. Doch aufgrund der landesweiten Bedeutung des Luftverkehrs sieht er sich trotzdem gefordert, Verantwortung zu übernehmen und bei der Planung, Genehmigung und Konzessionierung auch die Erdbebensicherheit zu kontrollieren.

Flughäfen verbessern die Erreichbarkeit einer Region und damit auch ihre Standortgunst. Dies kommt der Wirtschaft zugute, die auf eine enge internationale Anbindung an die wichtigen globalen Drehscheiben des Luftverkehrs angewiesen ist. Auch die Bevölkerung profitiert, wenn die Anfahrt zum Flughafen bei Geschäfts- oder Ferienreisen nicht allzu lange dauert oder wenn der Rettungshelikopter im Notfall rasch zur Stelle ist.

In seinem Bericht über die Luftfahrtpolitik der Schweiz nahm der Bundesrat 2016 eine Lageanalyse vor. Dabei bekräftigte er seinen Willen, die Zivilluftfahrt nachhaltig und vorausschauend zu betreiben. Sie soll sich durch ein hohes Sicherheitsniveau auszeichnen, volkswirtschaftlichen Nutzen bringen, die Mobilitätsbedürfnisse der Bevölkerung und Wirtschaft befriedigen sowie negative Auswirkungen auf Mensch und Natur möglichst vermeiden.

Der Schweizer Zivilluftfahrt stehen gegenwärtig 3 Landesflughäfen, 11 Regionalflughäfen, 49 Flugfelder sowie 25 Helikopterlandeplätze zur Verfügung. 2021 waren hierzulande gut 3000 Flugzeuge immatrikuliert. Im gleichen Jahr nutzten mehr als 20 Millionen Personen einen zivilen Flughafen oder ein Flugfeld zum Ein-, Aus- oder Umsteigen. Diese Zahl ist aber noch stark durch die Einschränkungen im Zuge der Corona-Pandemie beeinflusst, verzeichnete die zivile Luftfahrt vor dem Covid-Ausbruch mit 58 Millionen doch deutlich mehr Passagiere. Zudem wurden rund 500 000 Tonnen Luftfracht und – post im Wert von über 70 Milliarden Franken umgeschlagen.

Entscheidendes Plangenehmigungsverfahren

1998 unterbreitete der Bundesrat dem Parlament eine Botschaft, die darauf abzielte, die Bewilligungsverfahren für eine Reihe von Anlagen zu vereinfachen. Mit Blick auf das Luftfahrtrecht bedeutete dies, dass «die Prüfung aller mit der Infrastruktur zusammenhängenden Fragen im Plangenehmigungsverfahren zusammengefasst» wird. Wichtige Aspekte wie Standort, Ausbaugrösse und Zweck von Flugplätzen definiert dabei der Sachplan Infrastruktur der Luftfahrt (SIL). Details zum Plangenehmigungsverfahren legt die Verordnung über die Infrastruktur der Luftfahrt (VIL) fest. Diese bestimmt denn auch, die Aufsicht liege beim Bundesamt für Zivilluftfahrt (BAZL). Es überwacht «bei den Infrastrukturen der Luftfahrt die Einhaltung der luftfahrtspezifischen, betrieblichen und baupolizeilichen Anforderungen».

Um den Erdbebenschutz der Anlagen am Boden zu verbessern, hat das BAZL unter Federführung des BAFU einen Leitfaden zur «Beurteilung der Erdbebensicherheit bei der Genehmigung von Bauvorhaben der zivilen Luftfahrt» erarbeitet. Dieser orientiert sich am Stand der Technik der massgeblichen SIA-Tragwerksnormen, die einzuhalten sind. Eine Tabelle definiert anhand von Merkmalen die Zuordnung eines Bauwerks zu den jeweiligen Bauwerksklassen (BWK). Ausschlaggebend sind dabei Kriterien wie der Publikumsverkehr – oder die maximale Personenbelegung –, die Funktion der Infrastruktur, gefährdete Sachwerte sowie mögliche negative Auswirkungen auf die Umwelt durch eine allfällige Beschädigung der Anlage.

Zudem führt der Leitfaden die erforderlichen Gesuchsunterlagen im Plangenehmigungsdossier auf. Ab der BWK II bilden

die Nutzungsvereinbarung und Projektbasis – einschliesslich des Tragwerkkonzepts – die Beurteilungsgrundlagen, um zu überprüfen, ob die Erdbebensicherheit eingehalten ist. Während die Nutzungsvereinbarung auf die zentralen Nutzungs- und Schutzziele eines Bauvorhabens eingeht, umfasst der Beschrieb zur Projektbasis die möglichen Gefährdungsbilder, die Eigenschaften des Baugrunds, die getroffenen Annahmen für die Tragwerks- und Berechnungsmodelle sowie die noch als akzeptabel geltenden Risiken. Ein erdbebengerechtes Tragwerkskonzept legt den Grundstein für eine hohe Sicherheit.

Erdbebensicherheit ziviler Fluganlagen

Leitbehörde bei der Erteilung der Genehmigung für einen Flughafenbau ist das BAZL. Der Fachbereich Erdbeben des Bundesamtes für Umwelt (BAFU) beurteilt, ob ein Bauvorhaben den normativen Anforderungen an die Erdbebensicherheit genügt. Das Vorgehen sowie der Leitfaden beruhen auf dem Massnahmenprogramm zum Erdbebenrisikomanagement, das alle vier Jahre vom Bundesrat beschlossen wird.

Zumindest die Landesflughäfen sind aufgrund ihrer Bedeutung und des hohen Publikumsverkehrs der BWK II zugeordnet, für die gemäss der SIA-Tragwerksnorm ein erhöhter Schutzgrad vorzusehen ist. Hingegen gehören Gebäude von zahlreichen kleineren Flugfeldern der BWK I an. Bauten mit einer zentralen Bedeutung für die Ereignisbewältigung, wie zum Beispiel die Feuerwehr auf einem Flughafenareal, sind in die BWK III einzuteilen. Gemäss dem Leitfaden sind hierfür noch die Berechnungen zur Beurteilung einzureichen.

Vollzugshilfe

- *Beurteilung der Erdbebensicherheit bei der Genehmigung von Bauvorhaben der Zivilluftfahrt*; BAZL / BAFU, Leitfaden, 2020

7.1 Zivilluftfahrt

Aéroport de Genève (GE)

Internationales Drehkreuz mit viel Zulauf

Der Landesflughafen Cointrin verbindet die Region Genf mit den wichtigsten Metropolen auf dem Globus. Über 140 Destinationen werden von hier aus angeflogen. Vor Ort sind rund 3000 multinationale Unternehmen und 350 nichtstaatliche Organisationen tätig – unter ihnen Schwergewichte wie die Weltgesundheitsorganisation WHO und die Welthandelsorganisation WTO.

Vor dem Corona-bedingten Einbruch stiegen im Jahr 2019 knapp 18 Millionen Passagiere im Flughafen Genf ein, aus oder um. Über 33 000 Arbeitsplätze hängen direkt oder indirekt von Aktivitäten auf dem Flughafen ab. 11 000 davon befinden sich auf seinem Gelände und sind auf die 200 vor Ort angesiedelten Firmen verteilt. Diese Menschen erwarten, dass sie hier auch bei einem Erdbeben in Sicherheit sind.

Neuer Terminal ersetzt Provisorium

In den 1970er-Jahren erfolgte der massivste Ausbau des 1920 errichteten Flughafens Cointrin. Damals entstanden vier neue Hotels mit insgesamt 1150 Zimmern sowie drei internationale Geschäftszentren. Ein 1975 errichteter und von Anfang an als provisorische Lösung gedachter Pavillon wurde durch den 2021 vollendeten neuen Ostflügel (Aile Est) ersetzt. Wie die vorherige Lösung ist auch der Neubau vorwiegend für Grossflugzeuge und interkontinentale Verbindungen bestimmt. Weil viele Menschen den Terminal frequentieren, gehört er zur Bauwerksklasse II. Die entsprechenden Anforderungen und die Gegebenheiten des Baugrundes flossen in die Berechnungen für das Tragwerk des Gebäudes ein. Damit ist seine Standfestigkeit auch bei einem Erdbeben garantiert.

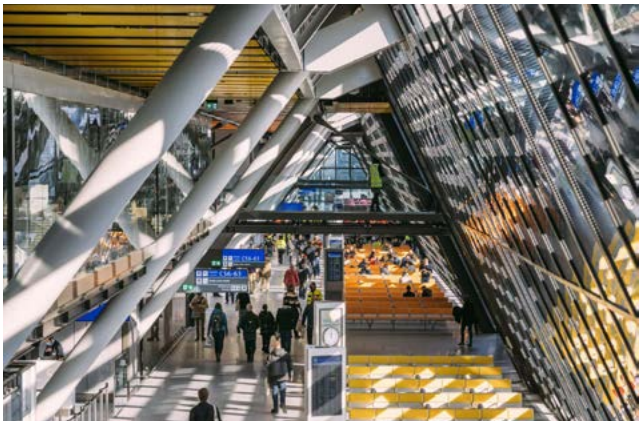
Ungeachtet seiner gewaltigen Dimensionen fällt die Eleganz des im Querschnitt trapezförmigen Baukörpers mit seinen überhängenden Wänden aus Stahl und Glas auf. Der hohe architektonische Anspruch zog spezielle Massnahmen nach sich, die auch im Erdbebenfall Stabilität gewährleisten. Denn die Tragfähigkeit des Gebäudes musste jeweils in der Längs- und Querrichtung separat berechnet werden.

Aufgrund seiner Länge von über 500 Metern wurden alle 80 Meter Dehnungsfugen in die horizontalen Stahlträger eingefügt, damit die Struktur die Verformungen aufgrund der Temperaturveränderungen aufnehmen kann.

Bei einem Erdbeben sind solche unterteilten Bauten verletzbar, da die einzelnen Gebäudeteile aufgrund

Abbildung 64

Überhängende Wände aus Stahl und Glas prägen das trapezförmige neue Flughafengebäude.



© Joas Souza

Abbildung 65

Dank der Dehnungsfugen kann sich der Bau in Längsrichtung an Temperaturschwankungen anpassen. Die STU kommen bei plötzlichen dynamischen Lasten wie Erdbeben zum Einsatz.

© zVg INGÉROP Paris

gegenläufiger Bewegungen aneinanderstossen. Die am Ostflügel vorgesehenen seismischen Vorrichtungen halten das gesamte Gebäude zusammen und verhindern so, dass sich die Blöcke in Längsrichtung unterschiedlich zueinander bewegen. Damit wird der Zusammenstoss eines Gebäudeteils mit einem anderen verhindert.

In Querrichtung wird der Terminal durch eine trapezförmige Stahlkonstruktion stabilisiert, die aus zwei unverformbaren Dreiecken besteht. Die Kraftübertragung der Geschossdecken auf das Stahlwerk erfolgt mittels sogenannter Schock-Übertragungs-Einheiten oder STU. Diese enthalten viskose Flüssigkeiten und ermöglichen freie Verschiebungen unter langsam wirkenden Belastungen, welche etwa infolge von Temperaturschwankungen auftreten. Kommt es jedoch – wie bei einem Erdbeben – zu plötzlichen und hohen dynamischen Lasten, so verbinden die STU die Decken starr mit dem Aussteifungssystem. Die Funktionsweise ist mit einem Löffel im Honig vergleichbar. Zieht man ihn langsam aus dem Glas, geschieht dies mühelos, doch bei schnellen Bewegungen wird es viel schwieriger.

Fluchtwege müssen frei bleiben

Im Innern des Terminals ging es vornehmlich darum, bei einem Erdbeben den Absturz oder das Kippen von Decken, Paneelen oder Trennwänden zu verhindern. Denn dadurch könnten Personen verletzt oder Fluchtwege blockiert werden. Aufgrund der grossen möglichen Fallhöhe galt es, die an den Decken hängenden schweren Paneele besonders zu sichern. Auch Fassadenelemente wurden zusätzlich befestigt, damit sie bei einem Erdbeben nicht auf Passanten stürzen können.

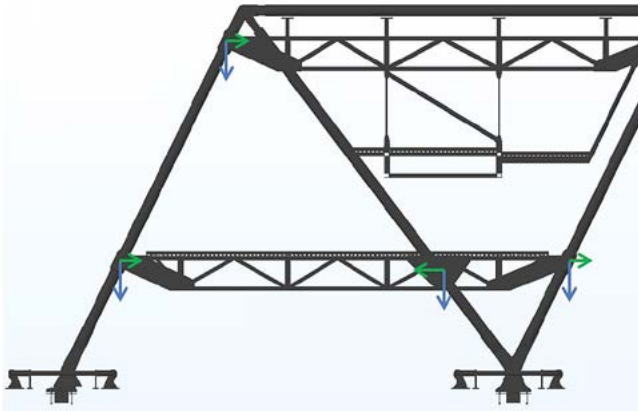
Speziell gesichert sind überdies Hohlböden mit Leitungsführungen. Sollten sie sich bei einem Erdbeben auffalten, könnten nämlich auch die darunter liegenden Kabel Schaden nehmen. An Wänden und Decken fixiert hat man auch die Notstrom- und sonstigen elektrische Anlagen, Informatikschänke, Feuerschutzgeräte, Beleuchtungselemente sowie Heizungskomponenten.

Eine Anlage im steten Wandel

Seit Eröffnung des ersten Flughafens in Cointrin vor gut hundert Jahren haben sich die Anlagen stetig weiterentwickelt. Diese Dynamik ist auch an den Nebengebäuden erkennbar, die nicht direkt mit dem Flugbetrieb zusammenhängen. Nachdem man das anfangs der 1980er-Jahre auf zwei Etagen errichtete Parkhaus P 51 2002 um drei Stockwerke erhöht hatte, folgten 2021 Arbeiten zur Erdbebensicherung. Insbesondere verstärkte man die Langträger zwischen den Fundamenten sowie das Stahlgerüst des Tragwerks. Zudem wurden die Stützkonsolen des Stahlbaus saniert, um den Einsturz der Geschossdecken zu verhindern. Ausserdem erhielt der Stahl einen Schutzanstrich, welcher die Korrosion des Metalls unterbindet.

Abbildung 66

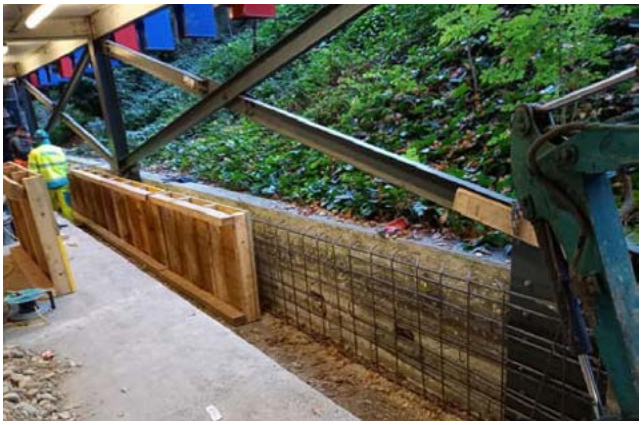
In Querrichtung stabilisiert eine trapezförmige Stahlkonstruktion, die aus zwei unverformbaren Dreiecken besteht, den Terminal.



© zVg INGÉROP Paris

Abbildung 67

Nachträglich eingebaute Stahlkreuze und stärker armierte Grundmauern steifen das Parkhaus P 51 beim Genfer Flughafen aus.



© Perretan et Milleret

7.2 Zivilluftfahrt

Flugplatz in Gstaad-Saanen (BE)

Hightech in Holz

Das Militär stand dem Flugplatz Gstaad-Saanen Pate: Nachdem sich die Armee zu Beginn des Zweiten Weltkriegs in die Alpen – ins sogenannte Reduit – zurückgezogen hatte, blieben die Armeeflugplätze im Mittelland ohne ausreichenden Schutz zurück. Daher mussten auch in den höheren Lagen Flugplätze errichtet werden. 1939 konnte der neue Fliegerstützpunkt in Gstaad bezogen werden. Nach dem Krieg erhielten – zunächst ausnahmsweise, später immer öfter – auch zivile Flugzeuge eine Start- und Landeerlaubnis. Das rief die Touristikbranche auf den Plan. 1965 übernahm eine erste zivile Betreiberin die Verantwortung für den Flugplatz, bevor 1986 die Flugplatzgenossenschaft Gstaad-Saanenland (FGGS) aus der Taufe gehoben wurde. 2011 ging der Flugplatz ganz in deren Besitz über. Die FGGS stellt heute den zivilen Flugbetrieb sicher, der mit Taxiflügen, Materialtransporten, Charterflügen, Heliskiing und Helikopterrettungen stark im Dienst des Tourismus steht.

Fit gemacht für heutige Ansprüche

Schon anfangs des neuen Jahrtausends mehrten sich die Klagen über die altmodische Infrastruktur, die heutigen Ansprüchen nicht mehr genügte. Man bemängelte veraltete Toiletten, Risse in den Hangarmauern, die fehlende Enteisungsanlage und weitere Mankos. 2015 stimmte die Gemeinde einer Generalsanierung der Flugplatzgebäude zu. Im Juli 2018 wurden die neuen Bauten eröffnet: vier Hangars, davon einer für Helikopter, sowie ein zweigeschossiges Terminal.

Der Flugplatz befindet sich in einem Gebiet, das der Baugrundklasse C zugewiesen werden kann. Der Untergrund ist somit etwas weniger stabil als Fels, verhält sich aber bei Erschütterungen träger als wenig verdichteter Feinsand oder gar Schwemmmaterial aus Flüssen. Der nördlich ans potenzielle Erdbebengebiet Wallis grenzende Übergang ins Mittelland – das heisst die Region des Pays d'Enhaut, wo sich Gstaad befindet – liegt in der zweithöchsten Erdbebenzone Z3a. Weil der Flugplatz jedoch keine grossen Passagierströme zu bewältigen hat, wurden seine Bauten in die Bauwerksklasse I eingeteilt.

Auch unter Schneelast erdebensicher

Holz erfüllt bei sämtlichen Bauten des Flugplatzes eine ästhetisch und funktional tragende Rolle. Denn abgesehen davon, dass es ein nachhaltiges und einheimisches Baumaterial ist, bietet es auch statisch grosse Vorteile. Beim zweistöckigen Terminal in massiver Bauweise trägt eine Struktur aus Brettschichtholz und dazwischen eingefügten

Abbildung 68

Eine Struktur aus Brettschichtholz und dazwischen eingefügten Holzkastenelementen trägt das Flachdach des Terminals.

© PIRMIN JUNG Schweiz AG

Abbildung 69

Die symmetrisch im Grundriss angeordneten und im Fundament verankerten Aussteifungsverbände aus Holz führen zu einer geringen Torsionsanfälligkeit.

© PIRMIN JUNG Schweiz AG

Hohlkastenelementen das Flachdach. Die Hangars wurden vollständig in Holzbauweise erstellt. Aufgrund ihrer quadratischen Grundrisse und der symmetrischen Aussteifung jedes einzelnen Gebäudes für sich tritt bei einem Erdbeben keine Torsion auf, sodass sich die Bauten nicht verdrehen. Bleiben die Verformungen geringfügig, kann damit gerechnet werden, dass sich die Hangartore nicht verkeilen und sich daher auch nach einem Ereignis problemlos öffnen lassen.

Bei der Berechnung der Erdbebeneinwirkung musste der erhöhten Schneelast Rechnung getragen werden. In höheren Lagen ist ein Anteil der auf dem Dach liegenden Schneelasten mit zu berücksichtigen, da dieses Gewicht bei einem Erdbeben ebenfalls mitschwingt und die Trägheitskräfte verstärkt, die es abzutragen gilt.

Nicht tragende Bauteile, die auf Personen herabstürzen, das Tragwerk der Gebäude beschädigen oder wichtige Anlagen beschädigen könnten, wurden in den aus Holz gefertigten Strukturen erdbebensicher befestigt. Beim Obergeschoss des Terminals und insbesondere auch bei den Hangars gingen die Fachleute von der Statik der Bauten aus, um geeignete Fixierpunkte für die Heizungs- und Sanitärrohre zu berechnen. An diesen Stellen brachte man sogenannte Ausholzungen an – also Verstärkungen durch zusätzliches Holz. Das für die Montage zuständige Personal erhielt eigens angefertigte Pläne für die genauen Standorte der Rohrbefestigungen. Bei Gebäuden in der Bauwerksklasse I muss die Gebrauchstauglichkeit infolge eines Erdbebens nicht nachgewiesen werden. Man nimmt somit in Kauf, dass sich der Flugplatz nach einem Ereignis nur eingeschränkt oder gar nicht nutzen lässt. Allerdings muss die Standfestigkeit der Gebäude gewährleistet bleiben, da der Schutz der Menschen das oberste Ziel ist.

Abbildung 70

Holz erfüllt eine ästhetisch und funktional prägende Rolle. Wo Heizungs- und Sanitärrohre durchführen, wurde die Holzstruktur durch sogenannte Ausholzungen verstärkt.

© PIRMIN JUNG Schweiz AG

Abbildung 71

Bei der Berechnung der Erdbebeneinwirkung musste man auch die im Berggebiet zu erwartende Schneelast berücksichtigen.

© Jaggi® Architektur und Innenarchitektur

7.3 Zivilluftfahrt

Rega-Basis in Gordola (TI)

Der Erdbebenschutz ist unsichtbar in die Wände eingebaut

Das Tessin ist für die Schweizerische Rettungsflugwacht Rega ein anspruchsvolles Gelände: Wer hier einen Helikopter navigiert, muss über bewaldeten Hängen, schmalen Tälern, aber auch über ausgedehnten Wasserflächen den Überblick behalten. Da über 80 Prozent der Kantonsfläche bewaldet sind und die Helikopter dort nicht landen können, müssen die Crews oft auf die Rettungswinde zurückgreifen. Wichtige Auslöser ihrer Einsätze sind zum Beispiel Verkehrs- und Arbeitsunfälle, Verletzungen auf Bergtouren und Skipisten oder Badeunfälle. Im Jahr 2023 flog die Crew der Tessiner Rega-Basis 768 Einsätze.

Zwei Rettungsorganisationen in einem Gebäude

Seit 2013 verfügt die Tessiner Crew über eine Basis, die modernste Standards erfüllt. Sie liegt in Gordola, nahe bei Locarno. Gemäss der Erdbebengefährdungskarte befindet sich das Gebiet in der Zone Z1a mit der niedrigsten Erdbebengefahr in der Schweiz.

Das Rega-Gebäude ist in die Bauwerksklasse II eingeteilt und weist einen annähernd quadratischen Grundriss von rund dreissig auf dreissig Metern auf. Es besteht aus einem Hangar für zwei Rettungshelikopter AgustaWestland da Vinci, um den herum in U-Form insgesamt elf Räume angeordnet sind – darunter ein Aufenthaltsraum, eine Küche, mehrere Büros, eine Werkstatt sowie eine Garage für die Ambulanzfahrzeuge. Denn ein Trakt im modular aufgebauten Center wird von der SALVA genutzt, der Ambulanz für Locarno und die benachbarten Täler. Im oberen Geschoss befinden sich vier Schlafzimmer mit je einem Bad für die Crew-Mitglieder, welche auf Pikett sind und im Notfall unverzüglich aufbrechen müssen.

Eine Architektur, die dem Erdbebenschutz entgegenkommt

Sichtbeton prägt die Architektur der Rega-Basis, was es den Ingenieuren erleichtert hat, den Schutz vor Erdbebenschäden gleich in das Tragwerk zu integrieren. Denn alle Betonwände – auch diejenigen im Innern des Gebäudes – sind tragend und übernehmen eine stabilisierende Funktion. In den Wandenden, wo es zu erhöhten Zug- und Druckkräften kommt, befinden sich die sogenannten Erdbeben-Bewehrungskörbe. Diese starten bereits aus der Bodenplatte und werden in der Wand bis ins Dachgeschoss geführt.

Abbildung 72

Sichtbeton prägt die Architektur des Rega-Basis in Gordola bei Locarno.

© Rega

Abbildung 73

Dank der regelmässigen Geometrie und der Ausführung in Ortbeton besteht ein erdbebengerechtes Tragwerkskonzept.

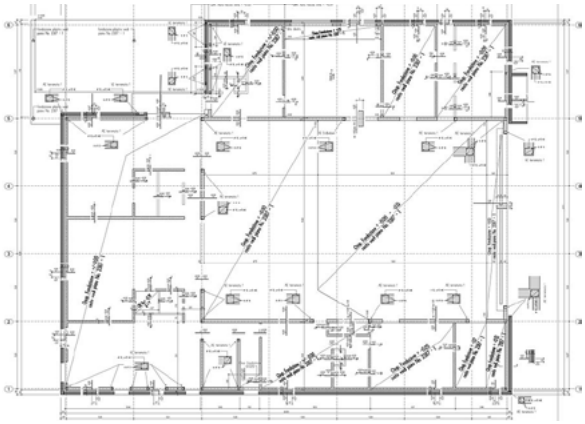
© Rega

Um die Bewehrungskörbe fest mit dem Fundament zu verbinden, stülpt man sie über sogenannte Anschlusseisen, die aus der Bodenplatte ragen. Dabei werden jeweils vier dieser L-förmigen Anschlusseisen mittels Armierungsbügeln zusammengebunden und in die Wandenden versetzt. Im Erdgeschoss und im ersten Stock hat man je gut zwanzig solcher Bewehrungskörbe eingebaut.

Dazu haben die Ingenieure spezifische Berechnungen durchgeführt und in den daraus hervorgehenden Plänen nicht nur die genaue Platzierung der Anschlusseisen, sondern auch die Durchmesser der benötigten Armierung vermerkt. Diese Verstärkungen, die dem Gebäude von aussen nicht anzusehen sind, dienen seiner Gesamtstabilität. Somit kann die Rega-Basis nicht nur Erdstösse, sondern auch heftige Windböen schadlos überstehen.

Abbildung 75

Um den erhöhten Druck- und Zugkräften standzuhalten, wurden in den Wandenden Erdbeben-Bewehrungskörbe einbetoniert. In den Plänen sind nicht nur die genaue Platzierung der Anschlusseisen, sondern auch die Durchmesser der benötigten Armierungen vermerkt.



© Martinelli, Lafranchi und Partner

Abbildung 74

Sämtliche Wände sind tragend und übernehmen eine stabilisierende Funktion.

© Rega

Abbildung 76

Die punktuelle Verstärkung der Armierung trägt dazu bei, allfällige Zugkräfte in den Wänden zu verankern.

© Martinelli, Lafranchi und Partner

Erdgasversorgung

8 Kaum verletzbare Gasleitungen

Anders als in Katastrophenfilmen kommt es bei Erdgasleitungen selten zu Explosionen und verheerenden Bränden durch Erdbeben. In der Schweiz liegt der Schwerpunkt der getroffenen Sicherheitsvorkehrungen auf den Gebäuden von Rohrleitungsanlagen. Insbesondere die Druckreduzier- und Messstationen sollen möglichst erdbebensicher sein, um die von der Erdgasversorgung ausgehenden Risiken zu mindern.

Von den Förderquellen im Norden Europas fliesst das Erdgas unter Hochdruck mit 16 bis 70 bar durch die Schweiz. So lange es in den Hochdruck-Pipelines transportiert wird, handelt es sich um unverzolltes Gut. Wo es aber ins Netz der lokalen Betreiber gelangt, befinden sich Zollmessstationen, von denen es hierzulande insgesamt 18 gibt. Dort wird mit plombierten Messgeräten die Menge des entnommenen Gases genau erhoben und die entsprechende Zollgebühr berechnet. An den Übergabestellen ins regionale Verteilnetz senken zudem die Druckreduzier- und Messstationen (DRM) den Druck des Gases auf maximal 5 bar.

Die Gasversorgung im Blickpunkt der Behörden

Bereits 2012 liess das BAFU im Rahmen des Massnahmenprogramms «Erdbebenvorsorge» die Verletzbarkeit der Gasinfrastrukturen durch Erdstösse ausleuchten. Unter anderem stellt der Bericht die Erfahrungen aus grösseren Erdbeben im Ausland den geologischen, technischen und organisatorischen Rahmenbedingungen im Inland gegenüber.

Übertrage man die weltweiten Erfahrungen auf die Schweiz, liege man «gewissermassen auf der sicheren Seite», so der Bericht. Denn hierzulande seien etwa die Bodenverhältnisse günstiger – das heisst weniger empfindlich für Setzung und Verflüssigung – als etwa in Italien, wo starke Beben in der Vergangenheit verheerende Schäden verursacht haben.

Auch aus technischer Perspektive bestätigt sich dem Bericht zufolge, dass Hochdruck-Transportleitungen in der Schweiz eine geringe Verletzbarkeit gegenüber Erdbeben aufweisen. Zudem ist bei uns die Gefahr gering, dass die durch seismische Erschütterungen verursachten Verwerfungen bis an die Erdoberfläche reichen. Wie Fachleute zudem empfehlen, sollten auf potenziell instabilem Gelände die Rohre in der Fallrichtung verlegt sein. Dies gewährleistet, dass allenfalls durch Erdbeben hervorgerufene Murgänge oder Hangrutsche über die Rohre hinweg gleiten, ohne grösseren Schaden anzurichten.

Ein besonderes Augenmerk schenkt die Analyse dem Übergang auf Brücken, wo sich Untergrund und Bauwerk durch ein Erdbeben gegeneinander verschieben können. In der Schweiz gibt es rund hundert Sonderobjekte, die von einer Hochdruckleitung über- oder durchquert werden. Allerdings weisen die meisten eine geringe Spannweite auf, sodass die Gefahr von Verschiebungen kaum ins Gewicht fällt.

Ferner bestätigen die Erfahrungen aus dem Ausland, dass Austritte von Erdgas und die gefürchteten Gasbrände nach Erdbeben erstens selten auftreten und zweitens nahezu immer auf Korrosionslecks zurückzuführen sind. Wenn man also Pipelines gut wartet, sodass ihr Material nicht verschleisst, schützt man sie zugleich vor Erdbebenschäden.

Lehren für die Organisation

Die Verletzbarkeitsstudie im Auftrag des BAFU unterbreitet zudem eine Reihe organisatorischer Empfehlungen. Demnach sind Kommandoposten der Gasversorgung in erdbebensicheren Gebäuden einzurichten, und sämtliche wichtigen Netzpläne gilt es ebenfalls in erdbebensicheren Bauten und darüber hinaus möglichst in mehrfachen Exemplaren an verschiedenen Orten aufzubewahren. Ferner müsse man DRM-Stationen ausserhalb des Einflussbereichs von Gebäuden errichten, die bei einem Erdbeben einstürzen oder anderweitig Schaden nehmen könnten. Schliesslich seien die Schieber zur Unterbrechung des Gasflusses so zu kennzeichnen, dass sie auch

nach dem Einsturz umliegender Bauten auffindbar bleiben. Ausserdem müsse man sie so konzipieren, dass sie auch nach einem Erdbeben noch funktionstüchtig sind.

Ein Merkblatt für erdbebensichere Anlagen
Unter anderem aufgrund der Verletzbarkeitsstudie entwarf das BAFU das Merkblatt «Nachweis der Erdbebensicherheit bei Gebäuden von Nebenanlagen von Rohrleitungsanlagen unter Bundesaufsicht». Dieses will sicherstellen, dass «keine relevante Menge von flüssigen oder gasförmigen Brenn- oder Treibstoffen unkontrolliert aus der Rohrleitungsanlage austreten» kann. Das Merkblatt definiert das «Vorgehen zur erdbebensicheren Projektierung von Gebäuden» und gibt Hinweise für ein erdbebengerechtes Tragwerk und die Installation der sekundären Bauteile. Es schliesst mit einem Formular ab, das beim Neubau oder der Erweiterung von Rohrleitungsanalgen auszufüllen und zusammen mit dem Plangenehmigungsgesuch bei der entsprechenden Behörde einzureichen ist.

In der Praxis bewährt sich das Merkblatt als Grundlage für die summarische Beurteilung und die Sicherung von Anlagen. So bezieht sich beispielsweise das Ausführungsprojekt für die Station La Tène (siehe Fallbeispiele) ausdrücklich darauf. Auch im Rahmen der Instandsetzung der Anlagen in Ruswil wird die Verletzbarkeitsstudie des BAFU zitiert.

Zuständigkeiten
Das Bundesamt für Energie (BFE) beaufsichtigt die Erdgas- und Erdölrohrleitungen in der Schweiz. Es überwacht die Risiken, die mit dem Bau und dem Betrieb von Rohrleitungsanlagen mit einem Druck von mehr als 5 bar und einem Aussendurchmesser von mehr als 6 cm (Hochdruckanlagen) verbunden sind. Darüber hinaus hat das BFE die Oberaufsicht über Leitungen im Verantwortungsbereich der Kantone. In der Praxis ist das Eidgenössische Rohrleitungsinspektorat (ERI) die technische Aufsichtsbehörde für alle Rohrleitungsanlagen. Es ist nicht Teil des BFE, sondern als unabhängige Instanz im Schweizerischen Verein für technische Inspektionen (SVTI) integriert.

Das erwähnte Merkblatt entstand in Zusammenarbeit von BAFU, ERI und BFE. Letztlich erteilt das BFE die Bewilligung für den Bau und den Betrieb von Rohrleitungsanlagen, doch wird im Plangenehmigungsverfahren auch das BAFU angehört.

Insgesamt erstreckt sich das unterirdische Gasnetz der Schweiz über nahezu 20 500 Kilometer Leitungen. Davon entfallen rund 2300 Kilometer auf Pipelines mit einem Druck von mehr als 5 bar. Diese werden von den beiden Aktiengesellschaften Transitgas und Swissgas sowie von vier Regionalgesellschaften betrieben. Für die übrigen rund 18 000 Kilometer Leitungen mit einem Druck von weniger als 5 bar sind regionale und lokale Gasverteiler zuständig, die dabei den Richtlinien des Schweizerischen Vereins des Gas- und Wasserfaches (SVGW) folgen.

Gesetzliche Grundlagen und Leitlinien
Die Rohrleitungssicherheitsverordnung RLSV hält fest, die Rohrleitungsanlagen seien gegen mechanische Einwirkungen – mithin auch gegen Erdbeben – zu schützen. Auch die ERI-Richtlinie berücksichtigt den Erdbebenschutz, insbesondere bei der Bemessung von Gebäuden gemäss der Tragwerksnorm der SIA.

Anlagen im Druckbereich von über 5 bar – das heisst DRM- und Verdichterstationen – gehören der ERI-Richtlinie zufolge in die Bauwerksklasse III, für welche die höchsten Sicherheitsstandards gelten. Besondere Bedeutung kommt dabei den Schiebern zu. Diese müssen auch nach einem Erdbeben funktionstüchtig bleiben, damit sich der Gasfluss im Notfall unterbrechen lässt, um ein Ausströmen von Erdgas aus dem beschädigten Verteilnetz zu verhindern.

Vollzugshilfe
- *Nachweis der Erdbebensicherheit bei Gebäuden von Nebenanlagen von Rohrleitungsanlagen unter Bundesaufsicht*; BAFU, Merkblatt, 2021

8.1 Gasversorgung

Erdbebenmelder für die Gasversorgung in der Region Basel (BS)

Alarmierung durch ein Frühwarnsystem

Das dichte Netz an Gasleitungen, das den Untergrund der Region Basel durchwebt, ist im Besitz der Industriellen Werke Basel (IWB). Die Firma versorgt die Region mit Wasser, Telekommunikationsdiensten, Erdgas, Strom, Fernwärme und vielem mehr. Zur Kundschaft der IWB gehören zum einen Private und zum anderen Betriebe, wie etwa Spitäler oder Unternehmen, welche Erdgas für ihre Produktion benötigen. Käme der Gasfluss zum Erliegen, hätte dies also nicht nur zur Folge, dass es in den Wohnungen ungemütlich kühl würde. Spitäler könnten ihre Instrumente nicht mehr sterilisieren und viele Industrie- und Gewerbebetriebe kämen nicht darum herum, ihre Produktion stillzulegen. Dies können Pharmaunternehmen oder handwerkliche Betriebe sein, wie zum Beispiel eine Firma, die Bauprodukte herstellt. Die IWB beziehen das Erdgas vom Gasverbund Mittelland GVM. In dessen Leitungen fliesst es mit einem Druck von 50 bis 70 bar. In fünf Übergabestationen, wo das Gas in die Leitungen der IWB gelangt, wird der Druck auf 5 bar gesenkt. Eine nochmalige Druckreduktion von 5 bar auf die gewünschten Kundenbedürfnisse erfolgt bei sogenannten Kundenanlagen. Generell betreiben die IWB ein 40 mbar-Netz für die kleineren Endkunden.

Wertvolle Sekunden gewinnen

In der Region Basel ist man sensibel für die Erdbebenproblematik – gehört der Graben am Oberrhein doch zu den aktivsten Erdbebengebieten im deutschsprachigen Raum. 2012 wurden daher alle fünf DRM-Stationen am Übergang der Leitungen vom GVM zu IWB mit je drei Erdbebenmeldern ausgestattet – eine Pionierleistung für die Schweiz. Die drei Alarmsysteme arbeiten an jeder Station unabhängig voneinander, was die Gefahr von Fehlalarmen minimiert. Dabei kennt jede Station den Status der anderen, weil alle sowohl über Funk als auch über Glasfaserleitungen miteinander verbunden sind. Aus Sicherheitsgründen verfügen die fünf Warnsysteme zudem über eine unabhängige Notstromversorgung.

Die Erdbebenmelder sind in der Lage, die schwachen, für Menschen nicht wahrnehmbaren, Erschütterungen zu detektieren, die einem Erdbeben vorangehen – die sogenannten Primärwellen (Kompressionsraumwellen). Dank eines Algorithmus, der im Frühwarnsystem eingebaut ist, kann dieses die Stärke der zerstörerischen Oberflächenwellen (Rayleigh- und Love-Wellen) abschätzen. Die Sekundärwellen (Scherraumwellen) breiten sich langsamer

Abbildung 77

Das Hauptgerät des Erdbebenfrühwarnsystems in der Übergabestation Schönenbuch (BL) der Industriellen Werke Basel (IWB).

© IWB

Abbildung 78

Springt das Erdbebenfrühwarnsystem an, werden die Leitungen durch die beiden auf der rechten Seite angeordneten Ventile automatisch geschlossen.

© IWB

aus als die Primärwellen, die somit den Standort des Frühwarnsystems früher erreichen. Dadurch lassen sich vor dem eigentlichen Erdbeben wertvolle Sekunden gewinnen.

Wenn nun zwei der jeweils drei Erdbebenmelder im IWB-System Erdbebenwellen registrieren, schliesst sich das Sicherheitsabsperrventil der jeweiligen DRM-Station automatisch, sodass ein einzelner Sektor des Versorgungsgebiets vom Gas abgekoppelt wird. Gleichzeitig wird ein Signal an die Leitzentrale übermittelt. Um im ganzen Versorgungsgebiet der IWB die Gaszufuhr zu stoppen, müssen mindestens zwei der fünf DRM-Stationen ein Signal dezentral an alle übrigen Stationen senden.

Dem System attestiert eine im Jahr 2013 im Auftrag des BAFU veröffentlichte Studie einen beträchtlichen Nutzen. Dies, obschon die Untersuchung zum Schluss kommt, übers Ganze gesehen seien in der Schweiz Systeme zur Erdbebenfrüherkennung wenig dienlich. Denn hierzulande betrage die Entfernung zwischen den zu schützenden Stellen und dem Epizentrum eines Bebens durchschnittlich bloss zehn bis zwanzig Kilometer. Die zerstörerischen Oberflächenwellen folgen daher sehr rasch, innerhalb weniger Sekunden, auf die Sekundär- und Primärwellen. Diese Zeitspanne reicht, um Sicherheitsventile zu schliessen – kaum aber für weitergehende Reaktionen und definitiv nicht, um aus Gebäuden zu fliehen.

Für den Ernstfall gerüstete Spezialteams

Mit der Technik allein ist es nicht getan. So verfügen die IWB über einen Ereignisstab, der bei einer Havarie – verursacht etwa durch einen Flugzeugabsturz, einen terroristischen Anschlag oder eben ein Erdbeben – die Arbeit aufnimmt. Vordringliches Anliegen ist es in einem solchen Fall, die Versorgungssicherheit zu gewährleisten, die ganzen Anlagen vor Schäden zu bewahren und diese – im Fall einer Stilllegung – möglichst rasch wieder hochfahren zu können.

Abbildung 79

Wird das Sicherheitsventil infolge eines Fehlalarms geschlossen, lässt es sich über die Not-Freischaltung im gelben Kästchen manuell wieder öffnen.

© IWB

Abbildung 80

Gasleitungen der Druckstufe 5 bar in der Anlage Schönenbuch (BL). Hier fliesst das Erdgas vom Transportnetz des Gasverbundes Mittelland in den orange gestrichenen Rohren in das Versorgungsnetz der IWB mit den gelben Leitungen.

© IWB

8.2 Gasversorgung

Nachrüstung der Verdichter- und Zollmessstation Ruswil (LU)

Sichere Schaltzentrale für den Gastransport in Europa

In der ländlichen Idylle des Luzerner Rottals befindet sich das Schweizer «Nervenzentrum» des europäischen Gastransports von Norden in den Süden – die Verdichter- und Zollmessstation Ruswil. Betrieb und Gebäude sind dank der vor einigen Jahren durchgeführten Nachrüstung inzwischen gut vor Erdbeben geschützt.

Die Zollmess- und Verdichterstation Ruswil liegt etwa auf halber Strecke der Pipeline, welche die Gasfelder Nordeuropas mit Italien verbindet und dabei die Alpen beim Griespass quert. Aufgabe der Anlage ist es, die Menge des durch die Pipeline fliessenden Gases zu regeln. Denn dessen Volumen ändert sich abhängig vom Druck: Wird dieser erhöht, kann mehr Gas durch die Leitung fliessen. Als Zollmessstation erfüllt die Anlage in Ruswil auch die Aufgabe, die Menge des Gases zu messen, die von der Transportpipeline ins regionale Versorgungsnetz fliesst.

In Ruswil erzeugen vier Gasturbinen den erforderlichen Druck für den reibungslosen Transport des Gases durch die 300 Kilometer lange Leitung Richtung Süden. Durch die Pipeline flossen 2021 gut 4,6 Milliarden Kubikmeter Gas. Seit 2017 ist es von Ruswil aus möglich, die übliche Richtung des Gasflusses zu ändern – also Gas vom Süden nach Norden zu befördern, was die Versorgungssicherheit in Europa verbessert hat.

Bau, Wartung und Betrieb der Erdgaspipeline liegen in der Verantwortung der Transitgas AG. Fachleute erkennen bei den ausschliesslich aus Stahlrohren bestehende Pipeline der Transitgas AG kein nennenswertes Risiko durch Erdbebenschäden. Für die Zollmessstation ist die Swissgas AG zuständig.

Überprüfung der Erdbebensicherheit

Die Verdichterstation Ruswil umfasst insgesamt elf Anlageteile, darunter Büros, zwei Kontrollgebäude, ein Lager sowie verschiedene technische Installationen. Aufgrund geologischer Daten gilt der Untergrund – eine standfeste Moräne aus der letzten Eiszeit – als stabil und wenig problematisch. Angesichts der Grundwasserverhältnisse und der geotechnischen Merkmale des Bodens lässt sich auch eine Bodenverflüssigung ausschliessen.

2016 haben Fachleute die Erdbebensicherheit sämtlicher Komponenten überprüft und anschliessend die empfohlenen Sicherungsmassnahmen umgesetzt. Dabei ging es insbesondere darum, wichtige Elemente wie

Abbildung 81

Die Erweiterung des zweistöckigen Bürogebäudes der Transitgas bot eine Gelegenheit, um seine Erdbebensicherheit zu verbessern.

© C. Schiess, Schiess ITI AG

Abbildung 82

An der westseitigen Aussenmauer wurde eine fest mit der Bodenplatte und beiden Geschossdecken verbundene Betonscheibe angebracht.

© C. Schiess, Schiess ITI AG

Steuerschränke oder Stationen für die Notstrombatterien zu sichern, damit sie bei einem Beben nicht kippen können. Wo es nicht möglich war, sie an einer Wand zu fixieren, kamen Befestigungen an der Decke zum Einsatz. Nebeneinander stehende Schränke hat man verbunden, was ihre Standfestigkeit durch die breitere Auflage wesentlich verbessert. Ausserdem wurden Hohlböden, unter denen Leitungen durchführen, durch waagrechte Streben auf der Bodenplatte gegen ein mögliches Auffalten gesichert.

Sanierung des Bürogebäudes

Die umfangreichsten Arbeiten betrafen das zweistöckige Bürogebäude der Transitgas AG. Seit seiner Konstruktion in den 1970er-Jahren hat man es bereits mehrmals leicht umgebaut. Mit dem 2002 abgeschlossenen grossen Ausbau des letzten Teilstücks der Pipeline über den Griespass wuchs auch der Bedarf an Arbeitskräften. Die deshalb unumgängliche Erweiterung des Bürogebäudes bot Gelegenheit, die Erdbebensicherheit zu verbessern. So durchliefen nur wenige aussteifende Wände beide Geschosse. Ausserdem war die stark beanspruchte Decke über dem Erdgeschoss relativ dünn, und die Betonwände der Parterre-Räumlichkeiten reichten nicht bis zur Unterkante der Decke.

Durch räumliche Rochaden im bestehenden Gebäude liessen sich bereits zusätzliche Arbeitsplätze gewinnen. Ausserdem errichtete die Transitgas einen zweigeschossigen Anbau, der zugleich der Erdbebensicherung dient. Der zweigeschossige nordöstliche Komplex erhielt Aussenwände in Massivbauweise, wodurch das ganze Gebäude ausgesteift wurde. Zusätzlich brachte man an der westseitigen Aussenmauer eine Betonscheibe an, die nun fest mit der Bodenplatte und beiden Geschossdecken verbunden ist. Durch diese stärkenden Eingriffe am Tragwerk, die allesamt ausserhalb des bestehenden Gebäudes erfolgten, ist es gelungen, dieses weitgehend gegen Schäden durch Erdbeben abzusichern.

Geschützte Zollmessstation

Auch die Zollmessstation von Swissgas in unmittelbarer Nachbarschaft der DRM-Station galt es, vor Erdbebenschäden zu schützen. Die Wände des relativ hohen Baus waren zwischen Betonpfeilern allein aus Kalksandstein gemauert worden. Um das Gebäude gegen Erdbebenschäden abzusichern, verankerte man zwei Diagonalen aus Stahl in die Betonpfeiler, welche nun die gemauerten Wände versteifen.

Abbildung 83

Um die Zollmessstation von Swissgas gegen Erdbebenschäden abzusichern, verankerte man zwei Diagonalen aus Stahl in die Betonpfeiler, welche nun die gemauerten Wände versteifen.

© C. Schiess, Schiess ITI AG

Abbildung 84

Detailaufnahme der im Mauerwerk verankerten Stahldiagonalen, welche die Erdbebensicherheit der Zollmessstation verbessern.

© C. Schiess, Schiess ITI AG

8.3 Gasversorgung

Druckreduzier- und Messstation La Tène (NE)

Erdbebensichere «Schuhkartons»

Wie ein überdimensionierter Schuhkarton sieht sie aus, die neue DRM-Station in La Tène. Nach zehnmonatiger Bauzeit ging sie im September 2020 in Betrieb und ersetzt die veraltete Anlage in Marin-Epagnier. Die Leitung Gampelen-La Tène und die von der DRM-Station Chaumont kommende Verbindung versorgen unter anderen die Stadt Neuenburg mit Erdgas. Dort heizen über 70 Prozent der Haushalte mit diesem Energieträger.

Nebst dem Gasraum als Herzstück der Anlage sind im Neubau Räume für die Heizung und die elektrischen Anlagen sowie ein Reserveraum untergebracht. Stündlich fliesst ein Volumen von 6000 Kubikmeter Gas durch die DRM-Station, wobei sein Druck von 64 auf 5 bar gesenkt wird.

In der Tiefe verankerter Betonbau

Die Tragfestigkeit des Gebäudes stand allein schon wegen des Untergrunds im Fokus der Fachleute: Der Boden ist stark torfhaltig, sodass er sich im Lauf der Zeit setzen wird. Daher wurde die 30 Zentimeter dicke Bodenplatte aus Beton mit 24 Pfählen aus verformungsfähigem Gusseisen rund 15 Meter tief im Untergrund verankert. Diese duktilen Pfähle widerstehen hohem Druck und bieten entsprechende Sicherheitsreserven – auch gegenüber der horizontal wirkenden Einwirkung eines Erdbebens.

Für die Installation der sekundären Bauteile befolgte man die Empfehlungen aus dem Merkblatt «Nachweis der Erdbebensicherheit bei Gebäuden von Nebenanlagen von Rohrleitungsanlagen unter Bundesaufsicht» des BAFU. Sämtliche Elektroschränke wurden erdbebengerecht fixiert, die Notstrombatterien sind am Boden montiert und können somit nicht herunterfallen. Zudem verhindern Zwischeneinlagen, dass sich die spröden Batteriegehäuse gegenseitig beschädigen.

Das Gestell mit den Rohrleitungen steht frei auf dem Boden. Diese können sich bei einem Erdbeben also unabhängig vom Tragwerk des Gebäudes bewegen und die Schwingungen aufnehmen, ohne beschädigt zu werden.

Bestehendes Gebäude nachträglich gesichert

Während es sich bei der DRM-Station La Tène um einen Neubau handelt, wurde die 1980 erstellte DRM-Station Chaumont im Jahr 2019 saniert. Die Erdbebensicherung war ein wichtiges Ziel dieser Arbeiten – besteht doch spätestens bei einem Bauprojekt eine Veranlassung, die Erdbebensicherheit zu überprüfen. Die präventiven

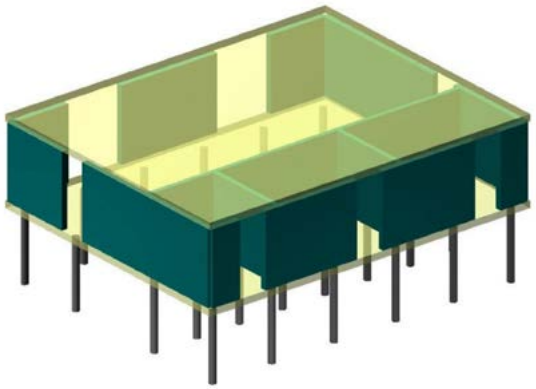
Abbildung 85

Die DRM-Station von La Tène wurde auf stark torfhaltigem Grund errichtet, der sich mit der Zeit setzen dürfte.

© zVg Gasverbund Mittelland AG

Abbildung 86

Die Bodenplatte aus Beton der DRM-Station von La Tène wurde mit 24 Pfählen aus verformungsfähigem Gusseisen rund 15 Meter tief im Untergrund verankert.



© zVg Gasverbund Mittelland AG

Massnahmen gegen Erdbebenschäden wurden in diesem Fall aus freien Stücken und im Interesse der Werkeigentümerschaft umgesetzt.

Die ursprüngliche Konstruktion der Station war denkbar einfach: Man hat zwei vorfabrizierte Betonkasten mittels eines Pneukrans auf ein vorgängig angefertigtes Fundament gestellt. Anschliessend wurden die beiden Betonmodule mit geschweissten Netzen zu einer Einheit verbunden.

Allerdings fehlte eine mechanische Verbindung zwischen den Betonmodulen und dem Fundament – mit Blick auf die Erdbebensicherheit ein erheblicher Mangel. Um dieses Manko zu beheben, wurden an drei Seiten des Baus dicke Stahlbleche von 60 Zentimetern Länge und 30 Zentimetern Höhe angebracht. Mit Verbundankern an der Bodenplatte und an den Betonwänden befestigt, fügen sie das Tragwerk des Baus mechanisch mit dem Fundament zusammen.

Zudem sanierte man auch die Fuge zwischen den beiden Betonmodulen. In den Zwischenraum eingefügtes Holz wurde entfernt, sodass dieser nun breit genug ist, um bei einem Erdbeben einen Zusammenprall der beiden Gebäudeteile zu verhindern. Auch die Installation der Elektroschränke, Notstrombatterien und Rohrleitungen erfolgte erdbebengerecht.

Abbildung 87

Bei der DRM-Station in Chaumont wurden an drei Seiten des Baus Stahlbleche angebracht, die das Betonmodul mit dem Fundament verbinden.

© zVg Gasverbund Mittelland AG

Versorgung und Entsorgung

9 Die Grundversorgung möglichst sicherstellen

Gemeinden, kommunale Verbände sowie Unternehmen im Mehrheitsbesitz der Kantone und des Bundes stellen in der Schweiz die Grundversorgung mit wichtigen Dienstleistungen sicher. Dazu gehören etwa die Versorgung mit Trinkwasser, Strom und Kommunikationsdiensten, aber auch die Entsorgung von Abwasser oder Abfällen. Einige dieser Leistungen sind auch bei Erdbeben von eminenter Bedeutung.

Ver- und Entsorgungsanlagen decken ein breites Feld an Leistungen ab und stellen in der Schweiz die Grundversorgung der Bevölkerung mit wichtigen Gütern und Dienstleistungen sicher. Die Versorgung der Menschen mit Trinkwasser, Fernseh- und Handysignalen gehört ebenso dazu, wie die Entsorgung von Abwasser und Kehricht. Als Beispiele sind hier die Abwasserreinigung dargestellt sowie eine Heizzentrale und Rechenzentren, die eine Grundvoraussetzung für alle digitalen Dienstleistungen in unserem Land bilden.

Hoher Ausbaugrad wichtiger Anlagen

Die Schweiz ist in vielerlei Hinsicht bestens mit Versorgungsanlagen ausgestattet. Bei den Anschlüssen ans Breitbandnetz schwingt sie von allen Ländern der Organisation für wirtschaftliche Entwicklung und Zusammenarbeit (OECD) oben aus. Im Jahr 2021 verfügten über 99 Prozent der Haushalte über einen Breitband-Internetzugang. Zudem nutzen mehr als 99 Prozent der 15 bis 29-Jährigen das Internet, während es bei den über 60-Jährigen immer noch rund 85 Prozent sind. Die Mobilfunknetze decken rund drei Viertel der Landesfläche ab. 98 Prozent der Schweizer Bevölkerung griffen 2021 denn auch über ihr Handy auf das Internet zu.

Auch was die Versorgung mit sauberem Wasser betrifft, befindet sich unser Land in einer privilegierten Situation. Doch Trinkwasser wird in Katastrophengebieten rasch einmal zum raren Gut. Dies wäre auch im Wasserschloss Schweiz nicht anders – zumal hierzulande jede Person durchschnittlich nahezu 140 Liter Trinkwasser am Tag verbraucht. Knapp ein Drittel davon fliesst in die WC-Spülung. Nicht eingerechnet ist zudem der Wasserverbrauch von Landwirtschaft, Gewerbe und Industrie.

97 Prozent aller Liegenschaften sind an eine Kanalisation angeschlossen. Der Wert dieses imposanten Bauwerks im Untergrund der Schweiz wird auf etwa 125 Milliarden Franken geschätzt. Das verbrauchte Wasser fliesst über öffentliche und private Leitungen von 130 000 Kilometern Länge in die rund 800 Abwasserreinigungsanlagen (ARA). Von dort gelangt es gereinigt wieder in Flüsse und Seen.

Zuständigkeiten als Spiegel des Föderalismus

In der föderalen Schweiz sind die Besitzverhältnisse zahlreicher Anlagen verflochten. Während die Anlagen für die Kommunikation im Besitz verschiedener privater Firmen sind – mit der Swisscom als starke staatsnahe Akteurin –, wird die Abwasserentsorgung durch die Gemeinden sichergestellt, die sich dazu oft in Zweckverbänden zu regionalen Organisationen zusammenschliessen.

Rund 190 privatwirtschaftliche oder öffentlich-rechtlich organisierte Unternehmen aus der ganzen Schweiz und aus dem Fürstentum Liechtenstein bilden laut dem Verband für Kommunikationsnetze Suissedigital das Schweizer Kommunikationsnetz. Neben klassischen Telekommunikationsfirmen wie der Swisscom sind vornehmlich Energieunternehmen und Kabelfernsehanbieter auf diesem Feld aktiv. Sie besitzen und unterhalten Kupfer- und Glasfaserkabel, über die sie insgesamt drei Millionen Haushalte mit Fernsehen, Radio, Internet und Festnetz sowie teilweise auch Mobilfunk versorgen. Als Konzessionärin für die Grundversorgung hat die Kommunikationskommission des Bundes die Swisscom ernannt.

Kläranlagen und Kanalisation wiederum wurden zu einem grossen Teil in den 1970er-Jahren erbaut und vom Bund grosszügig mitfinanziert: So gelang es, zwischen 1960 und 2005 den Anteil der an Abwasserreinigungsanlagen angeschlossenen Haushalte von rund 12 auf gut 97 Prozent zu steigern. Für den Unterhalt der Anlagen zur Abwasserreinigung (ARA) sind die Gemeinden zuständig.

Entsorgung und Versorgung im Fokus des Bundes

Im Auftrag des BAFU hat sich die GmbH Studer Engineering bereits 2012 mit den möglichen Auswirkungen von Erdbeben auf Abwassersysteme auseinandergesetzt. Im Rahmen dieser Studie wurde zunächst die Verletzbarkeit bestehender Anlagen überprüft. Daraus leiteten die Fachleute Empfehlungen zur Erdbebensicherheit ab und entwickelten Kriterien, um die potenzielle Umweltgefährdung infolge von Erdstössen zu beurteilen. Zudem wurde ein mehrstufiges Überprüfungskonzept bestehender Anlagen entworfen. Damit zielte die Studie darauf ab, im Abwassersektor das Bewusstsein für die Erdbebenproblematik zu schärfen und die Selbstverantwortung der Verantwortlichen zu fördern. Der Verband Schweizer Abwasser- und Gewässerschutzfachleute (VSA) und eine repräsentative Auswahl von Betreibern verschiedener Kläranlagen unterstützten und begleiteten die Studie aus Sicht der Praxis.

In der Folge entfaltete der BAFU-Bericht aus dem Jahr 2012 bis auf kantonale Ebene seine Wirkung. So zitiert ihn beispielsweise das Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft (AWEL) des Kantons Zürich 2018 im Leitfaden «Erdbebenprävention bei Anlagen der Wasserversorgung und Abwasserentsorgung».

2019 hat das BAFU einen Bericht zum Notfall- und Kontinuitätsmanagement bei Erdbeben veröffentlicht. Diese Publikation führt unter anderem Schäden auf, die bei grösseren Erdbeben im Ausland an Wasser- und Abwasserinfrastrukturen aufgetreten sind – so etwa 2009 im italienischen L'Aquila oder 2011 im neuseeländischen Christchurch. Das Dokument thematisiert zudem zu befürchtende Schäden als Folge von Kabelbrüchen und Rechnerausfällen an Kommunikationsanlagen. Deren Verletzbarkeit hat die Bewältigung von Erdbebenschäden im Ausland verschiedentlich erschwert. Wie entsprechende Erfahrungen zeigen, ist den sekundären Bauteilen bei Telekommunikationsanlagen – wie etwa Schaltschränken und Notstromaggregaten – besonderes Augenmerk zu schenken.

Anwendungshilfe

- *Erdbeben und Infrastrukturen – Abwassersysteme*; Studie im Auftrag des BAFU, 2012

9.1 Versorgung und Entsorgung

Abwasserreinigungsanlage Opfikon (ZH)

Mit Klammern und Stahlwinkeln gegen Erdbebenkräfte

Die 1962 eröffnete ARA Kloten Opfikon umfasste zunächst eine mechanische und biologische Reinigungsstufe, ergänzt durch eine Schlammfaulung. Die Phosphatfällung kam später dazu. 1989 begannen Erweiterungsarbeiten – nicht zuletzt, um damit dem Bevölkerungswachstum im Umkreis der Anlage zu entsprechen. Dies betrifft insbesondere die Städte Kloten und Opfikon sowie den Flughafen Zürich. Nebst erweiterten Kapazitäten verfügte die ARA nun auch über weitere Verfahrensstufen, insbesondere zur Nitrifikation, Denitrifikation, Filtration und zur Entwässerung und Trocknung des Klärschlamms. 2017 nahm man die nächste Sanierung und Erweiterung der ARA in Angriff. Als eine der ersten Kläranlagen in der Schweiz erhielt sie eine biologische Stufe mit granulierter Biomasse sowie eine Behandlungsstufe zur Elimination von Mikroverunreinigungen (EMV).

Im Rahmen des ARA-Ausbaus wurde die Erdbebensicherheit sowohl ihrer bestehenden als auch der neuen Bauten überprüft. Dort, wo aneinandergrenzende Gebäudeteile durch Dehnungsfugen voneinander getrennt sind, hat man auch die Berechnungsmodelle an den entsprechenden Stellen unterteilt und die Erdbebensicherheit der einzelnen Gebäudeteile getrennt modelliert. So lässt sich das tatsächliche Verhalten der Bauten im Fall eines Erdbebens realistisch erfassen.

Bei der Überprüfung zeichneten sich die bestehenden Bauten dadurch aus, dass sie die gültigen Tragwerksnormen und somit die Anforderungen an die Erdbebensicherheit allesamt erfüllen. Die einzigen nicht tragenden Wände in diesen Gebäuden sind zudem U-förmig gebaut, sodass sich ein Kippen während eines Erdbebens im konkreten Fall ausschliessen lässt.

Auf dem Gelände der Kläranlage fallen die kreisrunden Faultürme ins Auge. Wasser und Schlamm, die sich im Innern befinden, würden bei einem Erdbeben in Schwingung geraten und zusätzlichen Druck auf die Wände ausüben. Im Modell lässt sich allerdings nachweisen, dass der kreisförmige Grundriss der Faultürme eine optimale Lastabtragung gewährleistet und somit keine grösseren Schäden drohen.

Abbildung 88

Der kreisrunde Grundriss der Faultürme garantiert bei einem Erdbeben eine optimale Lastabtragung.

© TBF und Partner

Abbildung 89

Am Boden verschraubte Komponenten in der Schlammvorbehandlung. Die im Boden eingefügten runden Aussparungen stellen sicher, dass die hier durchführenden Rohre keinen Schaden nehmen, wenn sie bei einem Beben in Vibration geraten.

© TBF und Partner

Nachbesserungen im Neubau

Etwas nachzubessern gab es im neuen Vorreinigungsgebäude. Die nicht tragenden Wände aus Kalkstein hätten bei einem Erdbeben einstürzen können. Sie wurden deshalb mit Stahlwinkeln am Wandkopf fixiert.

Zudem waren verschiedene Komponenten – beispielsweise Pumpen, Gebläse, aber auch Abluftrohre, Auffangwannen sowie Abluftwäscher und -ventilatoren – nicht gegen ein Verschieben gesichert. Sie wurden nachträglich mittels Klammern oder Winkeln mit dem Boden verschraubt, sodass sie nun nicht mehr verrutschen können.

Auch auf dem Dach des Neubaus stiessen die Fachleute auf gewisse Schwachstellen. So hatten sich die dort stehenden Biofilter während eines Unwetters auf ihren Sockeln verschoben. Entsprechend wurden die Filter an allen vier Ecken mit Stahlprofilen befestigt. Zudem hat man auch die Abluftleitungen zum Wärmetauscher und den Wärmetauscher selbst so gesichert, dass sie auch bei einem Erdbeben nicht weggleiten können.

Mehrheitlich dokumentiert der Überprüfungsbericht allerdings erdbebengerechte Lösungen. Die Elektro- und Lüftungsinstallationen etwa wurden von Anfang an ausreichend mit dem Tragwerk oder mit dem Boden verschraubt. Die Lüftung hat man flexibel an der Decke befestigt, und Elektroschränke untereinander verbunden, sodass sie dank der breiten Auflagefläche nicht kippen können.

Abbildung 90

Im Pumpenraum sind die Halterungen der Rohrleitungen am Tragwerk fixiert.

© TBF und Partner

Abbildung 91

Die biologische Stufe in der erneuerten Kläranlage. Dank der hohen Qualität des Betons, der auch einem Erdbeben standhalten wird, konnten die neuen Reaktoren auf der alten Struktur errichtet werden.

© TBF und Partner

9.2 Versorgung und Entsorgung
Datenzentrum der EPFL (VD)

Erdbebensicherheit und Nachhaltigkeit unter einem Dach

Die Schweiz gilt als innovativstes Land der Welt. 2022 hat sie beim Europäischen Patentamt 8442 Patente angemeldet. Zu dieser Erfolgsgeschichte tragen die hiesigen Universitäten und Hochschulen massgeblich bei. Sie sind für ihre Forschung- und Entwicklungsarbeit auf optimal ausgestattete Hörsäle, Labors, Rechenzentren und weitere Anlagen angewiesen – Infrastrukturen, die es vor Schäden durch Erdbeben zu bewahren gilt.

Gut 17 000 Immatrikulierte – vom Grundstudium bis Stufe Dissertation – zählt die Universität von Lausanne (UNIL). Dazu kommen rund 13 500 Studierende und Doktorierende aus über 120 Ländern, welche die EPFL (École polytechnique fédérale de Lausanne) besuchen. Mit den insgesamt nahezu 1000 Unterrichtenden machen sie das im Westen von Lausanne gelegene Gebiet zwischen Renens und Ecublens (VD) zu einem betriebsamen Hotspot der Geisteskraft.

Kühlen mit Wasser aus dem Heizsystem

Die EPFL hat für ihr neues Datenzentrum Synergien mit ihrem Kühl- und Heizsystem geschaffen. Das im auffälligen roten Gebäude nahe der Metro-Haltestelle UNIL-Sorge untergebrachte Datenzentrum befindet sich ein Stockwerk über der Heizzentrale. Es stellt Rechen- und Speicherkapazitäten für die Hochschule bereit und beherbergt als jüngstes von insgesamt drei Datenzentren besonders sensible, kritische und energieintensive Infrastrukturen.

Das Gebäude der BWK II mit erhöhten Anforderungen an die Tragsicherheit befindet sich an gleicher Stelle wie das frühere Wärmekraftwerk, doch handelt es sich im Wesentlichen um einen Neubau. Fassade und Dach sind lückenlos mit Photovoltaik-Paneelen bedeckt, die 200 kWp Leistung erbringen. Das Datenzentrum befindet sich im Obergeschoss über dem neuen Wärmekraftwerk der EPFL.

Zum Kühlen der Server nutzt das Datenzentrum Wasser, dem im Heizsystem der Hochschule die Wärme entzogen wurde. Es fliesst durch die Türen der Serverschränke und führt so deren Wärme ab. Das bei diesem Vorgang wieder auf rund 25 Grad erwärmte Wasser wird erneut in den Heizungskreislauf eingespeist. Damit können etwa

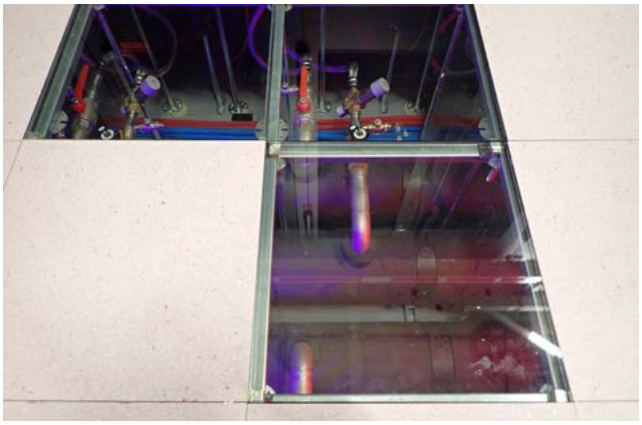
Abbildung 92

Die Serverschränke im Datenzentrum der EPFL stehen auf Metallrahmen, die in der Bodenplatte verankert sind.

© OECOCOM, Lucienne Rey

Abbildung 93

Unterhalb des Zwischenbodens befinden sich die Wasserleitungen für das Kühlsystems des Datenzentrums.



© OECOCOM, Lucienne Rey

80 Prozent der von den Servern erzeugten Wärme zu Heizzwecken genutzt werden.

Feste Rahmen für die Serverschränke

Im Datenzentrum sind die bis zu 2 Tonnen schweren Serverschränke mit den Racks untergebracht. Sie stehen auf festem Grund – jeder auf einem in der Bodenplatte verankerten Metallrahmen. Diese Konstruktion ermöglicht es, unterhalb des Zwischenbodens die Wasserleitungen für das Kühlsystem des Datenzentrums zu führen.

Unterhalb der Decke des Datencenters verlaufen Energieschienen sowie die Strom- und Glasfaserkabel für die Signalübertragung. Die auf Metallprofilen aufliegenden Energieschienen sind mit Metallstoppern gegen ein Verrutschen oder Herunterfallen gesichert.

Vorkehrungen gegen Stromunterbrüche

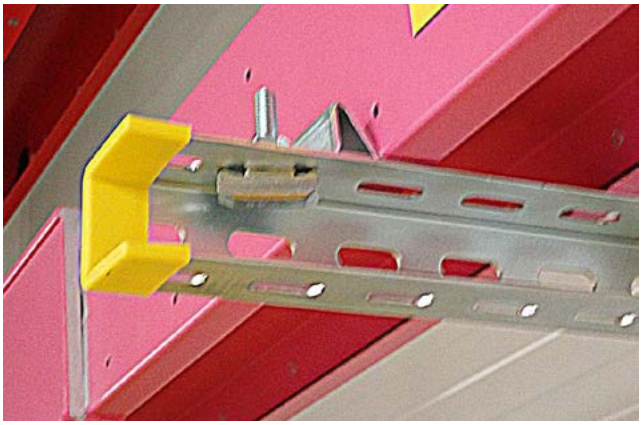
Unmittelbar neben dem Datenzentrum stehen die vier Container der Energiezone mit der Notstromanlage. Es handelt sich dabei um eine batteriegestützte unterbrechungsfreie USV-Stromversorgung. Registriert die Anlage einen Stromunterbruch, so springt innert weniger Sekunden die Notstromgruppe ein. Sie versorgt das Datenzentrum ersatzweise mit der benötigten Elektrizität. Bleibt die normale Stromzufuhr über längere Zeit aus, so lassen sich die Server damit kontrolliert und ohne Datenverluste herunterfahren.

Zwei der je rund 14 Tonnen schweren USV-Container liegen auf einer Metallstruktur, die mit Stahlblöcken gegen Verschiebungen gesichert ist. Zwei weitere Container auf dem Dach enthalten Filter und Abluftkamine, weshalb sie etwas höher sind als die Container mit der Notstromgruppe. Damit sie nicht kippen können, hat man sie mit einem Metallprofil von Dach zu Dach miteinander fixiert.

Batterien sind nicht die einzige Option für eine unterbrechungsfreie Stromversorgung. So wurde beispielsweise die Notstromversorgung im Rechenzentrum des Bundes in Frauenfeld (TG) mit einer dynamischen USV-Anlage realisiert. Sie nutzt nicht Batterien als Energiespeicher, sondern eine Schwungmasse. Diese wird ständig durch einen Elektromotor angetrieben und weist eine hohe Rotationsenergie auf. In der kurzen Zeitspanne zwischen einem Stromausfall im Netz und dem Anspringen des Generators gibt die Schwungmasse ihre Rotationsenergie an diesen ab. Das Schwungrad dient also dazu, die Notstromversorgung rasch zu starten und gleichzeitig die kurze Stromlücke zu überbrücken.

Abbildung 94

Metallstopper verhindern, dass die Energieschienen im Datenzentrum verrutschen oder herunterfallen können.



© OECOCOM, Lucienne Rey

Abbildung 95

Damit die Container der Notstromgruppe bei einem Erdbeben nicht kippen können, sind sie mit einem Metallprofil von Dach zu Dach miteinander verbunden.

© OECOCOM, Lucienne Rey

9.3 Versorgung und Entsorgung

Heiz- und Kühlanlage der Waadtländer Hochschulen (VD)

Energie aus dem See

Die Nähe zum Genfer See legte es den Waadtländer Hochschulen nahe, diesen als Energielieferanten zu nutzen. Bereits 1978 entschieden sich UNIL und EPFL für die damals noch visionäre Technik, um ihre Gebäude mit Seewasser zu kühlen. 1986 stattete sich die EPFL mit Wärmepumpen aus, um auch die Heizung umweltfreundlich auszurichten. Am Ende seines Parcours durch verschiedene Heiz- und Kühlanlagen gelangt das Wasser teilweise ins Flüsschen Sorge und zum Teil direkt in den See zurück.

Nach über 30 Betriebsjahren war die Anlage technisch überholt und erfüllte die Anforderungen an die Nachhaltigkeit nicht mehr. 2019 leiteten die Verantwortlichen deshalb den jüngsten Ausbauschritt ein.

Standfeste Leitungen

Um die Heiz- und Kühlinfrastruktur zu modernisieren, war es zunächst erforderlich, mehr Energie – und folglich auch mehr Wasser – aus dem See zu beziehen. Die 1978 installierte Leitung wurde deshalb durch eine neue Pipeline ergänzt. Die ab dem Seeufer in der Erde verlegten Leitungen werden auf den letzten 800 Metern von der Pumpstation zum Wärmekraftwerk durch eine Galerie geführt. Dieses der BWK II zugewiesene Bauwerk beeindruckt durch seine Dimensionen: In der Breite misst die Galerie 7 Meter und erlaubt mit einer Höhe von gut 2 Metern den aufrechten Gang. Die Anlagen im Innern gehören zum Teil der UNIL und teils der EPFL.

Im Stollen ruhen die Stahlrohre für das Kühl- und das Heizungswasser auf Metallschienen, die im Abstand von 7 Meter auf Stützen aufliegen. Bei der Überprüfung der alten Leitung von 1978 bemängelten die Fachleute, die durchschnittlich alle 80 Meter angebrachten Stabilisierungen der Stützen seien ungenügend. Die Folgen einer mangelhaften Befestigung könnten bei einem Erdbeben umso gravierender sein, als das Wasser im Innern der schweren Stahlrohre deren Schwingungen verstärken würde.

Die kritisierten Halterungen bestanden aus einfachen T-förmigen Trägern, die mittels Bolzen am Boden befestigt waren. Aufgrund ihrer Konstruktion waren sie nicht in der Lage, Bewegungen in der Längsrichtung der Galerie aufzufangen. Inzwischen hat man die Träger durch diagonale Streben verstärkt. Wo Leitungen durch Kurven führen, wurden sogar mehrere zusätzliche Streben eingebaut. Dadurch sind die Träger nun in der Lage, allfälligen Erdbewegungen standzuhalten, die parallel zur Galerie verlaufen.

Abbildung 96

Metallbänder und -winkel fixieren die Expansionsgefässe an der Wand.

© OECOCOM, Lucienne Rey

Abbildung 97

Nachträglich angebrachte diagonale Streben verstärken die Stützen, auf denen das Tragsystem der Pipelines aufliegt. In den Kurven hat man noch zusätzliche Streben in die Stützen eingebaut.

© OECOCOM, Lucienne Rey

Doppelte Pumpleistung und ein neues Heizsystem

Das neue Pumpsystem ist darauf ausgerichtet, die Bedürfnisse von UNIL und EPFL bis ins Jahr 2040 zu decken. Damit es seine Leistung erbringen kann, benötigt es Pumpen, die in der Lage sind, das zusätzlich erforderliche Wasser aus dem See zu beziehen. Dazu wurde die alte Pumpstation durch eine direkt angebaute zweite Station ergänzt. Die beiden Bauten der BWK II, die teilweise in den Boden eingelassen sind, passen sich gut ins Gelände ein und sind vom See aus nicht zu sehen. Ein am Boden fixierter Metallrahmen sorgt dafür, dass sich die Pumpen auch bei einem Erdbeben nicht verschieben.

Zum Schutz gegen Stösse, wie sie eine schlagartig veränderte Fliessgeschwindigkeit des Wassers verursachen kann, braucht es Druckschlagdämpfer. Dabei handelt es sich um Behälter, die im Innern über eine gasgefüllte Blase verfügen. Als elastisches Element vermag dieses plötzliche Druckunterschiede, wie sie etwa beim Ausfall einer Pumpe auftreten könnten, aufzunehmen und zu dämpfen und damit Schäden an den anderen Elementen des Heiz- und Kühlsystems zu verhindern. Die Druckschlagdämpfer sind mit starken Dübeln im Boden verankert und stehen auf Kunststoffsockeln, welche die Vibrationen dämpfen. Die wasserführenden Rohre sind in regelmässigen Abständen an der Decke oder an der Wand verschraubt.

Abbildung 98

Der Transformator für die Energieversorgung der Pumpen steht gesichert auf Schienen, sodass er sich für Wartungsarbeiten bewegen lässt.

© OECOCOM, Lucienne Rey

Der Transformator für die Energieversorgung der Pumpen steht auf Schienen, die es ermöglichen, ihn für Wartungsarbeiten zu bewegen. Damit er auch bei einem Erdbeben an Ort und Stelle bleibt, hat man ihn mit fest am Boden verschraubten Halterungen fixiert. Die Schaltschränke im Pumphaus wurden sowohl am Boden als auch an den tragenden Wänden befestigt, sodass ein Kippen ausgeschlossen werden kann.

In der thermischen Zentrale arbeiten die Wärmepumpen mit natürlichem Ammoniak als Kältemittel. In einem ausgeklügelten System mit Kompressoren, Kondensatoren und Wärmetauschern wird dem Seewasser Wärme entzogen. Anschliessend dient es dank seiner tieferen Temperatur dazu, die Server im Datenzentrum der EPFL zu kühlen. Die Pumpen liegen auf Schienen, die mit starken Bolzen am Boden verankert sind.

In der von Grund auf erneuerten Heizanlage hat man ebenfalls Vorkehrungen gegen Erdbebenschäden ergriffen. So sind die Expansionsgefässe, die bei temperaturbedingten Volumenänderungen des Wassers dessen konstanten Druck sicherstellen, mit Metallbändern und – winkeln an der Wand festgeschraubt.

Wie in der Pumpstation sind die Schaltschränke auch im Wärmekraftwerk an den Wänden und untereinander fixiert, so dass sie auch bei einem Erdbeben weder kippen noch sich verschieben können.

Im Normalfall zu 100 Prozent klimaneutral

Die vier Wärmepumpen der EPFL erzeugen mit dem Seewasser eine Leistung von 24 MW. Damit kommt die Hochschule nun gänzlich ohne fossile Brennstoffe aus. Einzig im Fall einer Panne oder bei Revisionsarbeiten greift sie auf zwei Gasheizkessel zurück. Dank des neuen Heiz- und Kühlsystems reduziert die EPFL ihren jährlichen CO_2-Ausstoss um 1800 Tonnen.