

Schweizerische Bauzeitung

TEC21

6. Dezember 2024 | Nr. 27

Seismisch standfest

**Ertüchtigung bestehender
Infrastrukturbauten**

Kraft und Verformung:
20 Jahre Baudynamik

Nachweislich stabil:
Stauwehr in Winznau

Einfach schwingen lassen:
Rottenbrücke in Raron

Rundum ertüchtigt:
SBB-Rotonde in Brig





Die SBB-Rotonde in Brig bei Nacht. Seit 120 Jahren dient sie der Wartung von Lokomotiven. Coverfoto von **Andenmatten Soltermann**



Erdbenenertüchtigungsmassnahmen bei Gebäuden ähneln Airbags in Fahrzeugen: Beide kosten Geld, im besten Fall sind sie unauffällig und man hofft, sie nie in Aktion zu sehen. Mittlerweile sind diese Sicherungssysteme etabliert – im Auto wie auch in Neubauten –, wenngleich sie bei Letzteren kaum als Verkaufsargument herhalten. Bei Altfahrzeugen käme allerdings niemand auf die Idee, sie mit Airbags aufzurüsten. Im Gebäudebestand sieht das schon anders aus – Bauten haben denn auch eine längere Nutzungszeit und im Ereignisfall ein höheres Schadenspotenzial. Es gilt also, Altbauten ebenfalls gegen Erdbeben zu wappnen. Bei Umbaumassnahmen muss ein Erdbebennachweis erbracht werden. Üblicherweise kommen hier kraftbasierte Nachweisverfahren zum Einsatz. Gelingen diese nicht, können gewiefte Planende auf verformungsbasierte Ansätze zurückgreifen. Diese bilden das Verhalten der Bauten im Ereignisfall präziser ab. Interessant ist, wie gut manch bestehender Bau bereits auf Erdbeben vorbereitet ist, obwohl dies bei seiner Erstellung noch gar nicht berücksichtigt wurde. Gelingt kein Nachweis, muss am Gebäude nachgebessert werden. Egal ob die Bauten durch Verstärkungsmassnahmen den Kräften widerstehen oder die Objekte die Erdstösse durch eine schwimmende Lagerung unter sich durchlaufen lassen – die Eingriffe sollen möglichst günstig und unauffällig sein – wie Airbags, aber mit einer Haltbarkeit von Jahrzehnten.

Peter Seitz,
Redaktor Bauingenieurwesen



E-DOSSIER BAUDYNAMIK

Artikel aus früheren Heften und weitere Online-Beiträge in unserem E-Dossier auf espazium.ch/de/aktuelles/audynamik

150
JAHRE

TEC21 – Schweizerische Bauzeitung feiert 2024 ihr 150-jähriges Bestehen.

Baugenossenschaft Hombrechtikon
Siedlung Plattenhof, Hombrechtikon
Projektwettbewerb mit Präqualifikation

plan
zeit

Bauvorhaben

Die Baugenossenschaft Hombrechtikon möchte am Plattenhof mit einem Ersatzneubau preisgünstigen Wohnraum schaffen und eine Überbauung mit rund 60 zeitgemässen Wohnungen unterschiedlicher Grösse realisieren. Die Aufgabe zielt auf Projektvorschläge für einen geeigneten Neubau, der sowohl aussen- als auch innenräumlich hohe Qualitäten besitzt und durch seine Gestaltung die Gemeinschaft fördert. Der Ersatzneubau soll in Etappen realisiert werden, damit möglichst viele der heutigen Bewohner*Innen in der Siedlung wohnen bleiben können.

Verfahren

Selektiver, einstufiger Projektwettbewerb mit Präqualifikation von 6 Teams bestehend aus den Fachbereichen Architektur und Landschaftsarchitektur.

Es gilt die Ordnung SIA 142 (2009). Es wird eine Gesamtpreis-summe von 165'000 CHF (exkl. MWST.) ausgerichtet.

Es ist vorgesehen, 2–4 Preise zu vergeben.

Fachjury

- Zita Cotti, Architektin (Vorsitz), Zita Cotti Architektur, Zürich
- Matthias Stücheli, Architekt, Stücheli Pestalozzi Schiratzki Architekten, Zürich
- Matthias Amsler, Architekt, Mirlo Urbano Architekten, Zürich
- Katja Albiez, Landschaftsarchitektin, Albiez de Tomasi, Zürich

Sachjury

- Hans Ruedi Honegger, Präsident Baugenossenschaft Hombrechtikon
- Michael Fuchs, Vorstand Baugenossenschaft Hombrechtikon
- Dominik Bastianello, Wohnbaugenossenschaften Schweiz, Zürich

Bezug der Unterlagen: www.espazium.ch / www.planzeit.ch
Abgabe Bewerbungsunterlagen: 16. Januar 2025

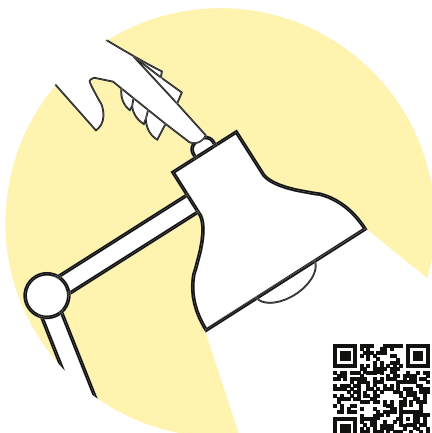
ERDBEBENVERSTÄRKUNG mit Klebebewehrungen



Mehr Infos
zum Konzept

espazium

Entdecken Sie jetzt unsere Services!



Hier!

**espazium – mehr
als ein Verlag**

3 Editorial

7 Wettbewerb

Ausschreibungen/Preis |
Urbane Stimmung im
Hinterhof – Neubau
Bahnhofstrasse Süd,
Sursee

12 Temporäre Bauten

Provisorisch leicht

17 Naturgefahren

Marokko kann auch
hier sein

21 Vitrine

Aktuelles aus der
Baubranche

24 Aus dem SIA

«Alle für eins» –
zum Vernehmlassungs-
start LHO

27 espazium ≡

Aus unserem Verlag

29 Agenda

41 Stellenmarkt

45 Impressum

46 Unvorhergesehenes

Alle Jahre wieder

30 Seismisch standfest



Zwei neue Rampen führen auf die ertüchtigte «Grossi Brigga Gesch» bei Raron VS. Neu ist die **Brücke schwimmend gelagert**.

30 Kraft und Verformung

Peter Seitz Erdbeben können
jederzeit auftreten. Seit 20 Jah-
ren setzt sich die Stiftung für
Baudynamik und Erdbeben-
ingenieurwesen für das
erdbebensichere Bauen ein.

32 Nachweislich stabil

Clementine Hegner-van Rooden
Das Wehr Winznau kann dank
einem Erdbebennachweis als
historisches Bauwerk weiter-
hin seine Aufgabe erfüllen.

34 Einfach schwingen lassen

Hugo Bachmann, Simon Hoffmann
Die Brücke über die National-
strasse A9 bei Raron erhielt
eine schwimmende Lagerung,
was im seismisch aktiven
Gebiet des Rhonetals Vorteile
bietet.

37 Rundum ertüchtigt

Clementine Hegner-van Rooden
Die SBB-Rotonde in Brig wurde
erdbebenertüchtigt – dezent,
aber wirksam.

Gesucht:
Fachredaktor:in /
Kooperationsmanager:in
print/online 60 – 80 %



TEC21

**Engagiert, neugierig,
kritisch?**
**Wir freuen uns
auf Ihre Bewerbung.**

Marokko kann auch hier sein

Das Erdbeben in Marokko, das im Jahr 2023 über 2900 Tote nach sich zog, hatte eine Magnitude von 6.8. Die Schweizer Gesellschaft für Erdbebeningenieurwesen und Baudynamik ging auf Erkundung, um Bauschäden zu untersuchen und daraus Lehren und Wissen für die Schweiz zu generieren.

Text: Meriton Beqiraj, Mylène Devaux, Pia Hannewald

Die Provinz Al Haouz in Marokko gilt als Gebiet geringer bis mittlerer seismischer Aktivität. Und doch bebte die Erde in der Nacht des 8. Septembers 2023. Auch in der Schweiz können Erdbeben dieser Grössenordnung auftreten. Ein Grund mehr, ein Augenmerk auf solche Naturgefahren zu legen und sich als Wissenschaftlerin und Ingenieur ein Bild vor Ort zu machen.

Marokko weist ein komplexes tektonisches Gefüge auf, das durch die Wechselwirkungen zwischen Rif, Atlasgebirge und Anti-Atlas geprägt ist. Das Land erlitt in der Vergangenheit mehrere starke Erdbeben, wie zum Beispiel in Fez (1624) oder Agadir (1731 und 1960). Die Such- und Rettungsaktionen waren während der Erkundungsmission im November 2023 bereits abgeschlossen, die Strassen von Trümmern befreit und in Marrakesch wurde nach der Sicherung der betroffenen Gebäude durch Sofortmassnahmen bereits mit dem Wiederaufbau begonnen.

Die meisten besichtigten Gebäude in Marrakesch und in den ländlichen Gegenden des Atlas waren traditionelle Bauten. Sie bestehen aus Lehm- oder Natursteinmauerwerk oder einer Kombination aus beiden. Diese Gebäude haben in der Regel ein bis drei Stockwerke und verfügen meist über traditionelle Holzböden. Die Tragwerke vieler Gebäude wurden durch Umbauten, etwa mit Stahlbeton, im Laufe der Zeit mehr oder weniger stark verändert und weisen daher eine erhöhte seismische Verletzbarkeit auf.

Natursteinmauerwerk

Die besichtigten Wohngebäude aus Natursteinmauerwerk verfügen



Abgestützte Südostfassade und Minarett der Koutoubia-Moschee in Marrakesch.

über kleine Räume, Fenster- und Türstürze bestehen aus Holz. Das Mauerwerk aus mehreren Lagen unregelmässiger Steine in unterschiedlicher Grösse und Form ist oft mit Lehmörtel verfugt.

Die Erdbebennorm RPCTerre für Marokko trat erst 2011 in Kraft. Viele Gebäude sind daher ohne Grundlagen aus dieser Norm erstellt, traditionelle Gebäude teils gänzlich ohne ingenieurmässige Planung oder Qualitätsprüfung der eingesetzten Materialien. Solche Natursteinbauweisen weisen keine erdbebengerechten Konstruktionsmerkmale auf, sodass die charakteristischen Schadensmuster und Versagensarten beobachtet werden konnten. Dazu gehören vertikale Risse zwischen orthogonalen Wänden, die auf eine unzureichende Verzahnung zurückzuführen sind, die Ablösung von Wandschichten und

das Kippen aus der Ebene. Die Decken sind in ihrer Ebene weich und mit den Wänden mangelhaft verbunden. Daher stabilisieren die Decken die Wände nicht und tragen zusätzlich zu deren Einsturz bei.

Lehmbauten

Stampflehm und Lehmziegelmauerwerk sind zwei Baumaterialien, die in den untersuchten Gebieten häufig verwendet werden, oft auch in Kombination mit Naturstein, wodurch eine gewisse Heterogenität entsteht. Der untere Teil des Erdgeschosses besteht in der Regel aus Natursteinmauerwerk, zum Schutz vor aufsteigender Feuchtigkeit. Vertikale Risse zwischen rechtwinklig aneinander grenzenden Wänden waren auch hier eines der am häufigsten beobachteten Schadensmuster. Die Zugfestigkeit der Lehmbauteile reichte

nicht aus, um die horizontale Last von der aus ihrer Ebene heraus belasteten Wand auf die orthogonale Wand zu übertragen. Der Übergang zwischen verschiedenen Materialien oder die Fugen zwischen Stampflehmblöcken erwiesen sich bei den meisten der untersuchten traditionellen Lehmbauten als Schwachstelle. Wenn die Verzahnung an den Ecken selbst und die Zugfestigkeit der Lehmteile ausreichten, um vertikale Risse zu vermeiden, traten die Risse in den etwas von der Ecke entfernten Fugen auf. Das Umkippen von Wänden war ebenfalls eine häufige Versagensart bei Lehmbauten. Schubrisse in der Ebene wiesen dagegen nur wenige Gebäude auf.

Marrakeschs Kulturerbe

Die Medina (Altstadt) von Marrakesch ist UNESCO-Weltkulturerbe und ein einzigartiges Konglomerat aus Baustilen und Gebäuden. Nicht nur die eigene Struktur und das Material einer Bauteile bestimmt hier ihre seismische Verletzbarkeit. Auch die Position eines Hauses innerhalb des Gebäudeblocks, die geometrischen und strukturellen Merkmale der angrenzenden Bauten und die Verbindungen zwischen ihnen spielen eine wichtige Rolle. Eine häufige Schadenstypologie in der Medina war das Einstürzen von Fassaden.

Sakralbauten wie die besichtigten Moscheen weisen architektonische Merkmale wie Bögen, Kuppeln, Gewölbe, Türme, Minarette, Arkaden und Strebepfeiler auf. Diese strukturelle Komplexität macht sie bei einem Erdbeben sehr verletzlich. Die grösste Moschee der Stadt ist die Koutoubia-Moschee aus dem 12. Jahrhundert. Sie wurde hauptsächlich aus Ziegeln gebaut, Teile der Aussenwände bestehen aus Sandstein. Das 77 m hohe Minarett aus Bruchsandsteinmauerwerk hat eine quadratische Form und ein Verhältnis von Höhe zu Breite von etwa 5 zu 1. Nach dem Beben stellte man Risse im oberen Teil des Minaretts fest, worauf der Turm mit Stahlverstrebungen stabilisiert wurde. Damit versucht man, das Umkippen der Wände bei einem erneuten Beben zu verhindern. Auch Brüstungen wurden gegen ein



Vertikaler Riss in einem **Stampflehm**bau.



Vermörtelte Bollensteine haben im Falle eines Erdbebens **eine unzureichende Verzahnung**. Auch eine ungenügende Einbindung der Decken und Dächer trägt zum Versagen bei.



Einsturz einer Gebäudefassade aus der Ebene in der Medina von Marrakesch.

Kippen aus der Ebene stabilisiert und Abstützungen sichern einige Aussenwände der Moschee.

Relevanz für die Schweiz

Trotz grossen Unterschieden zwischen der marokkanischen und der schweizerischen Bausubstanz lassen sich aus den Beobachtungen auch Erkenntnisse zur Verwundbarkeit der Gebäude hierzulande gewinnen. Die Schäden an den umgebauten Gebäuden zeigen die Anfälligkeit und Komplexität von Aufstockungen. Die Beobachtungen zum Versagen natürlicher Materialien wie Mauerwerk und Lehm sind hinsichtlich des nachhaltigen und ökologischen Bauens relevant. Und auch historische Gebäude mit ihren schlanken Fas-

saden oder Türmen sind seismisch anfällig. Ob Minarett in Afrika oder Kirchturm in Europa – ein Erdbeben macht keinen Unterschied – höchstens die Bauweise. •

Meriton Beqiraj, Résonance Ingénieurs-Conseils, Carouge,
Mylène Devaux, Hochschule für Technik und Architektur, Freiburg,
Pia Hannewald, Résonance Ingénieurs-Conseils, Carouge



Der vollständige Bericht über die Erkundungsmission ist in französischer Sprache erschienen:
M. Beqiraj, G. Cortés, M. Devaux, A. Imtiaz, E. Lattion, S. Saloustros, H. Sehaqui et Y. Zhu, **Rapport de la mission de reconnaissance SGEB, Séisme du 8 septembre 2023, Al Haouz, Maroc, SGEB 2024.**

Kraft und Verformung

Dass moderne Bauten in der Schweiz auf Erdbeben ausgelegt sind, ist mittlerweile Standard. Bleiben noch die vielen Bestandsbauten, von historischen Denkmälern bis Zweckbauten aus dem 20. Jahrhundert. Auch sie gilt es auf den Lastfall eines Bemessungserdbebens zu prüfen. Im besten Fall kann es dabei bleiben, ohne dass bauliche Eingriffe nötig sind.

Text: Peter Seitz

Teile des Daches der Kirche in Chippis stürzten beim Walliser Erdbeben am 25. Januar 1946 ein. **Der Kirchenbau war zu diesem Zeitpunkt erst 26 Jahre alt.**

In der Schweiz ist das Bewusstsein für Erdbeben noch relativ jung. Es bebte in der Vergangenheit zwar immer wieder einmal – grosse Schadensereignisse waren allerdings selten. Zwischen dem grossen Beben von Basel im Jahr 1356 und dem Ereignis in Visp 1855 lagen immerhin 500 Jahre – und heute gehört Visp bereits wieder der fernen Vergangenheit an. Im Jahr 1976 rüttelten die Erdbeben in Friaul allerdings die Fachwelt auf. Das Erdbebeningenieurwesen etablierte sich und Erdbebennachweise hielten schliesslich Einzug in die Normen. Einen bedeutenden Anteil zu dieser Entwicklung trugen auch gemeinnützige Einrichtungen bei: Die Schweizer Gesellschaft für Erdbebeningenieurwesen und Baudynamik SGEB besteht bereits seit über 40 Jahren (vgl. «Öfter als gedacht», TEC21 11/2023) und

heuer kann die Stiftung für Baudynamik und Erdbebeningenieurwesen stolz auf ihr 20-jähriges Jubiläum blicken (vgl. «20 Jahre Stiftung für Baudynamik und Erdbebeningenieurwesen», S. 31). Die Stiftung bildet nicht nur ein Kompetenzzentrum in Sachen Baudynamik; durch die Auszeichnungen «Seismic Award» und «Baudyn Award» (vgl. espazium.ch/de/aktuelles/baudynamik) verschafft sie der Erdbebenproblematik hierzulande auch Aufmerksamkeit in der Öffentlichkeit.

Dass diese Aufmerksamkeit gegenüber der Naturgefahr Erdbeben nicht übertrieben ist, zeigte in jüngerer Zeit das Erdbeben von Aquila im Jahr 2009. Auch bei diesem Ereignis ging von vielen Bestandsbauten Gefahr aus. Dies ist kein Zufall: Historische Gebäude haben den horizontalen Kräften, die bei einem Beben auftreten, oft zu wenig entgegensetzen. Und für modernere Kon-

zepte – statt gegen die Einwirkung Widerstand zu leisten, der Einwirkung «aus dem Weg zu gehen» – sind sie oft noch weniger geeignet. Für Ingenieure und Planende bedeutet dies, dass es bei Bestandsbauten in Sachen Erdbeben noch jede Menge zu tun gibt. Wird ein Bauwerk umgebaut, instand gesetzt oder erweitert, muss ein Erdbebennachweis geführt werden. Gelingt dieser nicht, sind kreative Lösungen zur Ertüchtigung der Bauten gefragt – und das oft im Spannungsfeld von Wirtschaftlichkeit, Sicherheit, Ästhetik und Denkmalschutz.

Wunderwaffe Verformungsbasiert

Als «kraftbasiert» bezeichnet man das klassische Erdbebennachweisverfahren. Kräfte, die im Erdbeben auftreten können, werden auf die zu untersuchende Bauteile aufgebracht und diese daraufhin berechnet. Versagt ein entsprechendes Bauteil durch Überlastung, ist der Nachweis nicht gelungen, was meist zu kostspieligen Anpassungen der Bauteile führt.

Ein moderneres Nachweisverfahren ist verformungsbasiert. Dieses erlaubt ein realistischeres Abbild

des Bauwerks als das kraftbasierte Verfahren. Die Bauwerksverformung aufgrund eines Erdbebens wird dem Verformungsvermögen der Bauteile gegenübergestellt. Dabei werden Plastifizierungen im Material explizit in Kauf genommen und das Versagen einzelner Bauteile ebenfalls berücksichtigt. Vor allem für redundante Systeme ergibt das grosse Vorteile in Sachen Erdbebennachweis: Wenn überbeanspruchte Elemente eines Bauwerks ausfallen, aber noch Tragreserven vorhanden sind, die die Belastungen aufnehmen, kann der verformungsbasierte Nachweis noch gelingen. Dies vermindert nicht nur finanzielle Aufwendungen für Ertüchtigungen, sondern freut auch die Denkmalpflege – werden doch Eingriffe in den Bestand minimiert oder bestenfalls sogar verhindert. •

Peter Seitz, Redaktor Bauingenieurwesen



E-DOSSIER BAUDYNAMIK

Artikel aus früheren Heften und weitere Online-Beiträge in unserem E-Dossier auf espazium.ch/de/aktuelles/audynamik

20 Jahre Stiftung für Baudynamik und Erdbebeningenieurwesen

Seit 20 Jahren widmet sich die Stiftung für Baudynamik und Erdbebeningenieurwesen dem Ziel, Schweizer Bauwerke erdbebensicher zu machen. Der Stiftungsrat, bestehend aus dem Gründer der Stiftung, Prof. Dr. Hugo Bachmann, Dr. Martin Koller und Dr. Dario Somaini, tagte erstmals am 13. Dezember 2004 an der ETH Höggerberg und fasste wegweisende Beschlüsse, die der Stiftung seither als Leitlinien dienen: Da bei der Umsetzung von Forschungsergebnissen in die Baupraxis beträchtliche Defizite bestehen, ist eine Ausrichtung der Stiftungsaktivitäten auf die Förderung der Kompetenzen im Bereich Baudynamik und Erdbebeningenieurwesen in der schweizerischen Baupraxis zu legen. Vor allem Nischen mit erheblichem Entwicklungspotenzial sind zu suchen und zu unterstützen. Vorhaben, die durch anerkannte Forschungsinstitute gefördert werden können, sollen nicht berücksichtigt werden.

Neue Anforderungen

Im Jahr 2005 nahm die Stiftung ihre Tätigkeit auf, zu einer Zeit, als das Thema des erdbebensicheren Bauens in der Schweiz zunehmend an Bedeutung gewann. Gründe hierfür waren einerseits die neuen SIA-Tragwerksnormen «Swisscodes» (2003), die das erdbebensichere Bauen bei Neubauten auf den aktuellen Wissensstand brachten, und das SIA-

Merkblatt 2018 (2004), das erstmals die verhältnismässige Betrachtung der Erdbebensicherheit bei bestehenden Bauten regelte. Andererseits begann der Bund zu Beginn des 21. Jahrhunderts, eine Systematik zur Erfassung und zum Umgang mit dem Erdbebenrisiko bei seinen Gebäudebeständen zu entwickeln, die seither von vielen privaten und öffentlichen Immobilienbesitzern übernommen wurde. Auch der Einsatz neuer und leichter Materialien, der Wunsch nach filigraneren und weiter spannenden Tragwerken sowie die zunehmende Verdichtung der Bebauung, gepaart mit Nutzungsmischungen, führten zu höheren Anforderungen an das Wissen der Ingenieure im Bereich der Baudynamik. In beiden Bereichen, Erdbebeningenieurwesen und Baudynamik, gibt es nach wie vor grosse Wissensdefizite bei den am Bau Beteiligten.

Bewusstsein schaffen

Bauliche Massnahmen zur Sicherstellung der normgerechten Erdbebensicherheit bei Neubauten sowie Ertüchtigungsmassnahmen bei bestehenden Gebäuden sind im Erdbebenfall die einzige Möglichkeit, Menschenleben zu retten, Verletzte oder Obdachlose bestmöglich zu vermeiden und Sachschäden zu reduzieren. Die frühzeitige Erkenntnis eines potenziellen Schwingungs- bzw. Erschütterungsproblems in einem Bauwerk ist die Grundvoraussetzung für eine effiziente Problemlösung. Ein wesentlicher Teil der Stiftungsarbeit ist die Verbreitung praxisnahen Wissens. Besonders hervorzuheben sind die von der Stiftung veröffentlichten Faltblätter, die wertvolle Informationen zu Aspekten der Erdbebensicherheit und Baudynamik bieten. Bereits 2006 erschien das erste

Faltblatt in zweiter Auflage, mit 200000 deutschsprachigen und 70000 französischsprachigen Exemplaren. Das Bundesamt für Umwelt beteiligte sich massgeblich an der Erarbeitung der ersten beiden Faltblätter und übernimmt den Grossteil der Kosten der physischen Verteilung aller Faltblätter.

Stipendien

Bis heute hat die Stiftung mehrere motivierte und gut qualifizierte Bauingenieurinnen und Bauingenieure für mehrmonatige Weiterbildungsaufenthalte an renommierten ausländischen Universitäten unterstützt. Bereits im Jahresbericht 2004/05 wurde die Absicht für diese Stipendien entsprechend formuliert. Vertiefte Studien an Universitäten in England, Indien, Italien und Chile wurden so ermöglicht.

Auszeichnungen

Ingenieurleistungen werden oft nur beschränkt wahrgenommen und in der Öffentlichkeit kaum gewürdigt. Die Stiftung machte es sich daher bereits früh zur Aufgabe, Personen, die sich um die Baudynamik verdient gemacht haben, ins Licht der Öffentlichkeit zu rücken. Alle zwei bis drei Jahre vergibt sie daher den Innovationspreis «Baudyn Award». Und auch Bauten, die vorbildlich mit dem Thema der Erdbebensicherheit umgehen, finden Aufmerksamkeit: Alle drei Jahre wird hierfür der mit 15000 Franken prämierte Architektur- und Ingenieurpreis «Seismic Award» vergeben. •

Dr. Martin Deuring, Dr. Daniel Gsell, Martin Hitz, Dr. Sanja Hak
von der Stiftung für Baudynamik und Erdbebeningenieurwesen

Nachweislich stabil

Kein Handlungszwang dürfte das optimale Ergebnis jeder vertieften Erdbebenuntersuchung sein. Der Betreiberin des Wehrs Winznau wurde dieses Glück zuteil. Wenn auch erst im zweiten Anlauf, nach einer verformungs- statt kraftbasierten Untersuchung.

Text: Clementine Hegner-van Rooden



Das Stauwehr Winznau: Der Erhalt des Wehrgangs mitsamt der Schützen bedurfte weiterführenden Erdbeben-Analysen.

I m Auftrag des Elektrizitätswerks Olten-Aarburg erstellte die Zürcher Firma Locher & Cie zwischen 1913 und 1917 das Wehr Winznau mit seinen fünf Wehröffnungen in Eisenbeton. Es diente als Stau- und Regulierbauwerk des Kraftwerks Niedergösgen. Der Bau des Wehrs und auch des Kraftwerks war in Anbetracht der damals verfügbaren Mittel technisch sehr anspruchsvoll. Um die Anlage im Fluss zu gründen, kamen Senkkästen zur Anwendung. Diese waren teilweise aus Stahl gefertigt; in den Kriegsjahren kam aufgrund der knappen Verfügbarkeit stattdessen Beton zum Einsatz. Das Wehr selbst besteht aus Stampfbeton, der gemäss den Erkundungen eine gute Qualität aufweist. Die Architektur der gesamten Kraftwerksanlage orientierte sich an der Formgebung des Eisenbetons, was sich an der ornamentalen Gestaltung der Fassaden nachvollziehen lässt.

Aufgrund der kompletten Erneuerung der Kraftwerkszentrale im Jahr 2000 konnte die Stromproduktion massgeblich erhöht werden. Bereits früher erfolgte die Umstellung der Schützen vom manuellen auf den automatischen Betrieb.

Durch Umbau nutzloser Wehrgang

Im Rahmen der Unterstellung des Stauwehrs unter die Stauanlagenverordnung des Bundes und im Zuge der Neukonzessionierung der Anlage wurde ein Umbau der Wehranlage geplant. Das Dotierkraftwerk mit einer Turbine zur Nutzung der Restwassermenge sollte ersetzt und für die vergrösserte Restwassermenge ausgelegt werden. Zudem sollten aus Gründen der Erdbebensicherheit die bestehenden Doppelhubschützen durch neue Segmentschützen ersetzt werden.

Die unzureichende Erdbebensicherheit ergab sich aus der Masse des markanten Wehrgangs, in dem die Schützenantriebe untergebracht sind. Seine Erdbebensicherheit wurde 2010 kraftbasiert überprüft. Dabei stellte sich heraus, dass die Wehrbrücke in Fliessrichtung beim Bemessungsbeben – es wurde eine Wiederkehrperiode von 5000 Jahren zugrunde gelegt – eine deutlich unzureichende Kippsicherheit aufweist. Die resultierende Kraft aus Eigengewicht und Erdbebenersatzkraft am Fuss des Wehrbrückenpfeilers kam ausserhalb des Querschnitts zu liegen – das Bauwerk hätte rechnerisch kippen können.

2013 wurde das Umbauprojekt eingereicht und anschliessend bewilligt. Da der Einbau der neuen Segmentschützen beschlossen war, opponierte der Solothurner Heimatschutz nicht gegen den Abriss des Wehrgangs, denn er hätte seine Funktion durch den Einbau der neuen Segmentschützen verloren. Entsprechend wurde auch der statische Zustand und insbesondere die Erdbebensicherheit dieses Bauteils nicht weiter untersucht.

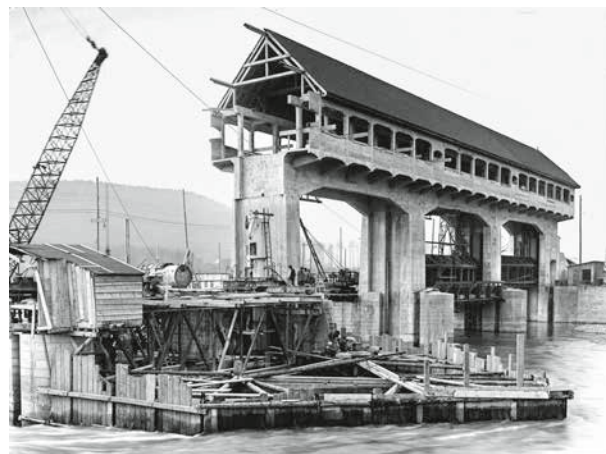
Verformungsbasiert statt kraftbasiert

Nach Inkrafttreten der neuen Konzession und Baubewilligung im Jahr 2022 ging es mit der Projektierung weiter. Die statischen Berechnungen und die konstruktive Bearbeitung wurden hierbei vertieft und die Bauherrschaft überprüfte das Umbauprojekt nochmals, da sich der Einbau von Segmentschützen als technisch anspruchsvoll erwies. Vielmehr kam der Gedanke auf, ein Hub-schützensystem einzubauen, um der ursprünglichen Konzeption der Anlage besser gerecht werden zu können. Da aber die Erdbebensicherheit einen Erhalt des Wehrgangs und der Wehrbrückenpfeiler auszuschliessen schien, sah sich die Bauherrin veranlasst, eine neue, über die Wehrschwelle ragende Konstruktion der Schützenführungen und des Schützenantriebs zu planen.

Diese Projektänderung bedingte aber eine Nachgenehmigung, weshalb es frühzeitig zu Gesprächen mit dem Solothurner Heimatschutz kam. Die Bauherrin liess sich überzeugen, den Nachweis der Erdbebensicherheit gemäss einer neuen SIA-Norm nochmals kritisch zu prüfen und ein verformungsbasiertes Verfahren statt eines kraftbasierten anzustreben. Die Nachweise führte Dr. Armand Fürst von Fürst Laffranchi Bauingenieure zusammen mit dem Erdbebenexperten Dr. Thomas Wenk. Dank erster positiver Resultate wurden schliesslich auch die materialtechnologischen Untersuchungen ergänzt, die die offenen Fragen zur Materialqualität des Wehrgangs und der Wehrbrückenpfeiler beantworten konnten.

Beste Option: nichts tun

So war es möglich, den Erdbebennachweis unter Berücksichtigung der Vorgaben des Bundesamts für Energie (BFE) zu erbringen. Gemäss den verformungsbasierten Berechnungen sind beim Bemessungsbeben maximale Kopfverschiebungen auf der Höhe des Wehrgangs von 1 bis 2 cm zu erwarten. Das Verformungsvermögen bei einer zyklischen Kippbewegung der Wehrpfeiler, dem «rocking», ist demgegenüber um ein Vielfaches grösser als ursprünglich ermittelt, und die Beanspruchungen am Fuss der Pfeiler bei der Zielverschiebung bleiben gering. Dank dem selbstzentrierenden Verhalten beim «rocking» und den geringen Beanspruchungen sind zudem kaum residuale Verformungen nach dem Beben zu erwarten. Die Sicherheit ist damit zu keinem Zeitpunkt infrage gestellt und der Betrieb der Schützen ist auch nach einem Bemessungsbeben uneingeschränkt möglich.



Das Wehr Winznau im Bau (oben) und heute.

Die geführten Pushover-Nachweise – sie wurden mittels nichtlinearen Zeitverlaufsrechnungen sowohl in Fließrichtung als auch quer dazu plausibilisiert – zeigten, dass das Verformungsvermögen selbst unter Berücksichtigung kleiner Betondruckfestigkeiten in Zonen mit mangelhaftem Betongefüge gross ist. Somit ist keine Ertüchtigung der Konstruktion erforderlich. Das Stauwehr kann samt den bestehenden Tafelschützen und deren Antrieben mit den üblichen Instandsetzungsmassnahmen als Zeitzeuge des Kraftwerkbaus für eine Nutzungsperiode von weiteren 70 Jahren bestehen bleiben. Das BFE als Aufsichtsbehörde hiess den Verzicht auf Erdbebenertüchtigungsmassnahmen gut. Der Heimatschutz würdigte die Entscheidung der Bauherrin, das Wehr nachhaltig zu erhalten, mit dem Solothurner Heimatschutzpreis. •

Clementine Hegner-van Rooden,
dipl. Bauing. ETH, Fachjournalistin BR



Instandsetzung Stauwehr Winznau

Bauherrschaft
Alpiq Hydro Aare,
Olten

Tragwerksplanung
Fürst Laffranchi Bau-
ingenieure, Aarwangen

Einfach schwingen lassen

Die Dynamik grosser Balkenbrücken unter Erdbeben und deren zweckmässige Lagerung sind ein anspruchsvolles Fachgebiet. Spezielle Erdbebenlager müssen horizontal weich sein, um eine gedämpfte Schwingung zu ermöglichen. Mit solchen Lagern konnte die «Grossi Brigga Gesch» bei Raron VS optimal ertüchtigt werden.

Text: Hugo Bachmann, Simon Hoffmann



Die Grossi Brigga Gesch führt über die A9, die SBB-Strecke und die Rhone. Die neuen Anschlussrampen verlaufen parallel zur A9.

Brücken gehören oft zu überlebenswichtigen Infrastrukturbauten, den sogenannten «Lifelines». Darunter versteht man Bauwerke, Anlagen und Einrichtungen, die im Katastrophenfall, etwa im Fall eines schweren Erdbebens, funktionstüchtig bleiben müssen. Verkehrsverbindungen kommt hier natürlich eine besondere Bedeutung zu.

Schwimmende Lagerung

Durch Erdbeben können Brücken in horizontaler und vertikaler Richtung zu Schwingungen angeregt und durch entsprechende Erdbebenkräfte beansprucht werden. Eine vertikale Anregung führt im Allgemeinen nicht zu Problemen, da für vertikale Kräfte dank der üblichen Bemessung für Schwerelasten meist erhebliche Reserven vorhanden sind. Eine horizontale Anregung hingegen stellt oft schon bei relativ kleiner maximaler Bodenbeschleunigung eine wesentliche Gefährdung dar. Konventionelle Lager, Stützen und Widerlager von Balkenbrücken reagieren meist sehr empfindlich auf horizontale Kräfte und Verschiebungen. Es können erhebliche Schäden entstehen, bis hin zum Absturz des Brückenträgers.

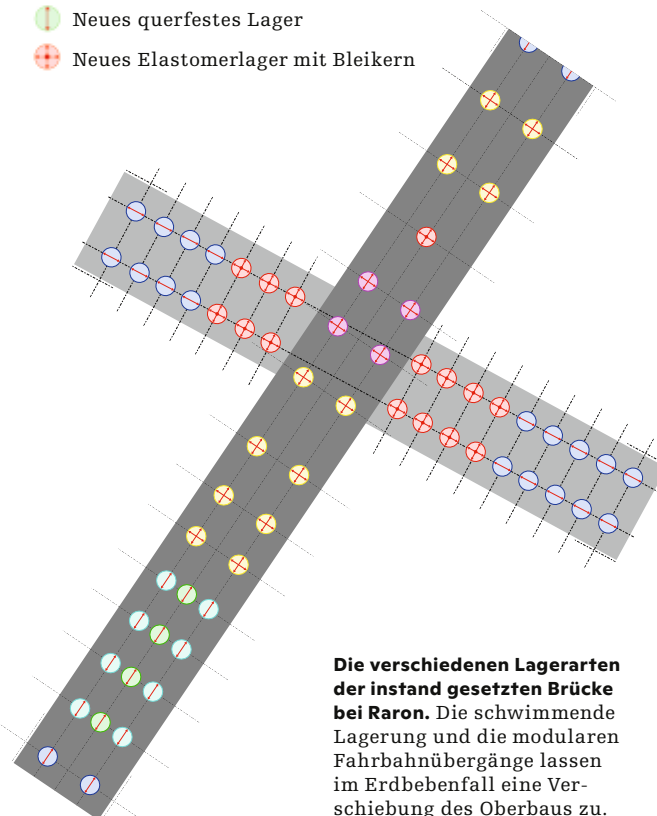
Ein zeitgemässer Grundsatz zur Erdbebensicherung von Balkenbrücken und deren erdbebengerechter Lagerung ist es, keine in Längs- und Querrichtung festen Lager anzuordnen. Sie erleiden bei Erdbeben enorme Kräfte und werden oft zerstört. Viel zweckmässiger ist eine sogenannte «schwimmende Lagerung» auf speziellen, in allen horizontalen Richtungen weichen Erdbebenlagern. Damit kann der Überbau (Brückenbalken) von den Bodenbewegungen weitgehend isoliert und die auf ihn einwirkenden Kräfte stark reduziert werden. Die Fahrbahnübergänge bei Dilatationsfugen müssen die nötigen Spielräume in Brückenlängsrichtung und die Aufnahme der dynamischen Kräfte in Querrichtung gewährleisten. Die Grundidee der Erdbebensicherung durch schwimmende Lagerung ist folglich, das Bauwerk in kontrollierter Weise einfach schwingen zu lassen, anstatt es an seinen Lagern festhalten zu wollen.

Die Erdbebenertüchtigung der Rottenbrücke in Raron VS

Im letzten Jahrhundert wurden Schweizer Brücken meist noch ohne Berücksichtigung von Erdbebeneinwirkungen bemessen. Somit erfüllen sie nicht die Anforderungen, die heute an neue Bauwerke gestellt werden. Eine Erdbebenertüchtigung erfahren Bestandsbrücken meist erst im Zuge von Sanierungsarbeiten oder Umbauten. Dabei ist die Änderung des Lagerungskonzepts zu einer schwimmenden Lagerung eine bewährte Massnahme. Ein aktuelles Beispiel ist die Überführung über den Rotten und die Autobahn bei Raron VS, die auf der nördlichen Seite mit einem Halbanschluss ergänzt wurde.

1974 als Stahl-Verbundkonstruktion erstellt, wurde die Brücke bis 2023 saniert und mit zwei neuen,

-  Neues querfestes Kalottenlager
-  Neues Kalottenlager
-  Umgebautes querfestes Linienkipplager
-  Umgebautes Linienkipplager
-  Neues querfestes Lager
-  Neues Elastomerlager mit Bleikern



Die verschiedenen Lagerarten der instand gesetzten Brücke bei Raron. Die schwimmende Lagerung und die modularen Fahrbahnübergänge lassen im Erdbebenfall eine Verschiebung des Oberbaus zu.

monolithisch angeschlossenen Anschlussrampen versehen. Dabei änderte sich das Lagerungssystem der Brücke grundlegend. In sechs Achsen ersetzte man querfeste Linienkipplager und in zwei Achsen querbewegliche Linienkipplager durch allseitig bewegliche Kalottenlager. In Längsrichtung war das Bestandsbauwerk im Bereich der Autobahn durch ein festes Topflager gehalten worden. Neu ermöglicht ein allseitig verformbares Elastomerlager mit Bleikern zur Energiedissipation eine Bewegung des Oberbaus. Auch die beiden neuen Rampen wurden in insgesamt sieben Achsen auf solche Lager gestellt.

Elastomerlager mit Bleikern

Elastomerlager mit oder auch ohne Bleikern bewirken bei Erdbeben eine Dämpfung der Schwingungen des darauf gelagerten Bauwerks und können das Bauwerk durch ihre Rückstellkraft ganz oder teilweise wieder in die ursprüngliche Lage zurückführen. In der Schweiz und nördlich der Alpen kamen solche Lager erstmals 1998 bei der Erdbebenertüchtigung von zwei grossen Flüssiggastanks im Wallis sowie später bei der Erdbebenertüchtigung des Feuerwehrgebäudes Basel 2007 zum Einsatz. Die Dimensionierung der Lager (Höhe, Durchmesser, Schubmodul, Dämpfungsmass usw.) erfordert eingehende dynamische Berechnungen auch



Ein verformbares Elastomerlager mit Bleikern im Prüfstand (oben) und eingebaut unter der Abfahrtsrampe der Brücke zur A9 (unten).



Eine Lamellenfuge mit Fuse-Element beim Einbau. Bei starker horizontaler Belastung im Fall eines Erdbebens gibt das Abdeckblech eine grosse Fuge frei.

unter Benützung einschlägiger Erdbebenzeitverläufe. Die Lager bestehen aus relativ weichem, mit Stahlplatten bewehrtem Gummi (Elastomer) und müssen vor ihrem Einbau eingehenden Testversuchen und Zertifizierungen unterzogen werden.

Spezielle Fahrbahnübergänge

Die neue Bewegungsfreiheit der Brücke inklusive der neuen Rampen machte Änderungen bei den Fahrbahnübergängen notwendig. Bei den Widerlagern der Brücke wurden die bestehenden Fahrbahnübergänge durch moderne modulare Übergänge mit Lärminderung ersetzt und längere Gleitplatten angeordnet. Auch die Widerlager der neuen Rampen sind derart ausgestattet und darüber hinaus mit neuartigen Elementen für erdbebenbedingte Bewegungen versehen.

Diese sogenannten Fuse-Elemente werden lediglich im Falle schwerer Erdbeben aktiviert. Die relativ grossen Erdbebenbewegungen treten, anders als die meist deutlich geringeren Temperaturbewegungen, nur wenige Male und mit grossem zeitlichen Abstand auf. Fahrbahnübergänge direkt auf solch grosse Bewegungen auszulegen, wäre somit unwirtschaftlich und würde einen unnötig hohen Wartungsaufwand mit sich bringen. Im Dauerzustand erlaubt der Fahrbahnübergang die üblichen Verschiebungen in Längsrichtung der Brücke infolge Temperatur, Schwinden, Kriechen und Bremskräften von Fahrzeugen. Im Erdbebenfall jedoch werden – im Sinne einer Sollbruchstelle – die Schrauben zur Befestigung des Abdeckblechs abgeschert. Das Blech schnellt hoch und gibt einen viel grösseren Spielraum frei, sodass die Brücke auf den nachgiebigen Erdbebenlagern ungehindert schwingen kann. Danach bleibt die Brücke mit geringen Einschränkungen befahrbar, und der Fahrbahnübergang kann ohne grossen Aufwand und in kurzer Zeit wieder vollständig hergestellt werden. •

Prof. Dr. Hugo Bachmann, Stiftung für Baudynamik und Erdbebeningenieurwesen

Dr. Simon Hoffmann, mageba Services & Technology



**Vollanschluss Raron,
Sanierung Grossi Brigga Gesch**

Bauherrschaft
DMRU, Dienststelle für
Nationalstrassenbau,
Glis

Bauingenieure
Diggelmann + Partner,
Bern

Unternehmung
Frutiger, Thun

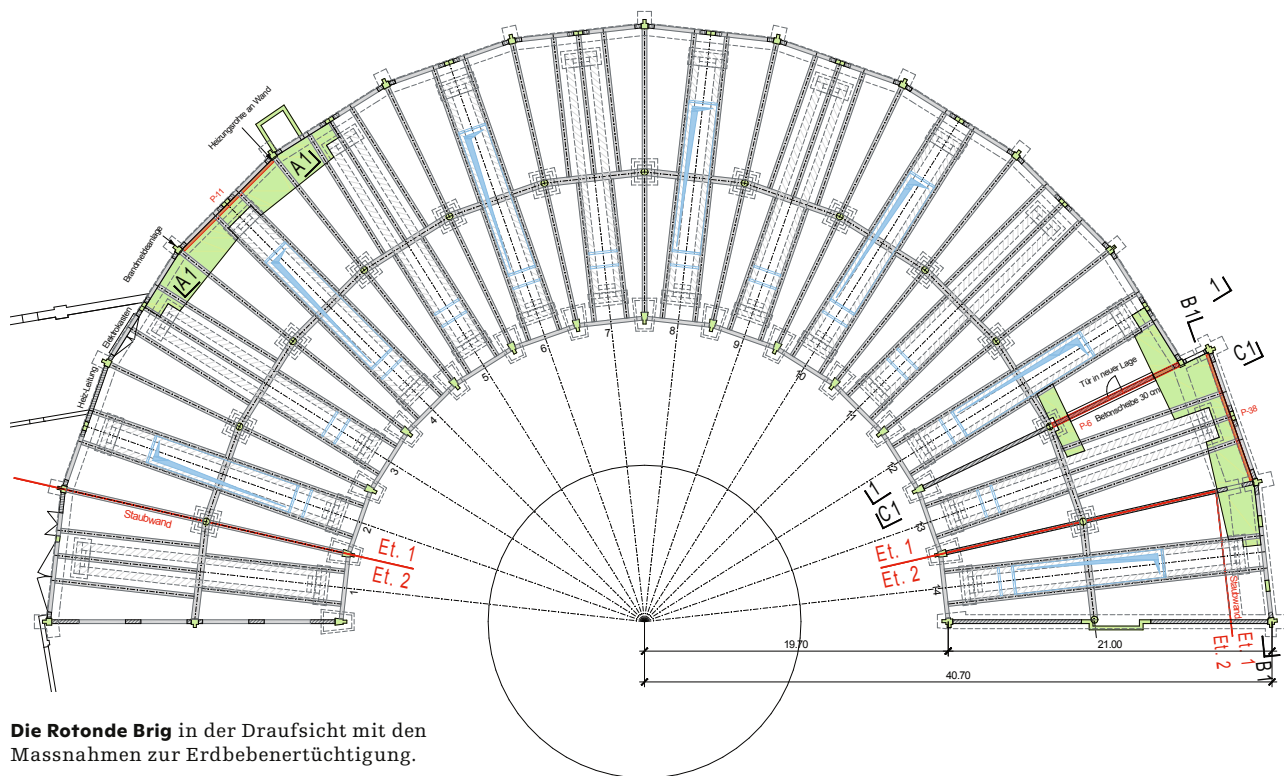
Lager, Fahrbahnübergänge
mageba, Bülach

Vermessung
Rudaz + Partner, Visp

Rundum ertüchtigt

Eine Stahlbetonwand und einige Stahlträger reichten aus, um die SBB-Rotonde in Brig erdbebensicher zu ertüchtigen. Dank der sorgfältig überlegten Einfügung bleibt der Charakter des denkmalgeschützten Baus erhalten.

Text: Clementine Hegner-van Rooden



Die Rotonde in Brig ist ein herausragendes Zeugnis der schweizerischen Ingenieurbaukunst und Eisenbahngeschichte. 1904 erbaut, wird die historische Infrastrukturanlage der SBB trotz ihres hohen Alters noch heute als Reparaturstandort für Lokomotiven genutzt. Sie gehört zu den wenigen erhaltenen Beispielen des sogenannten «französischen Remisentyps» und ist in der Schweiz ein Pionierbau des patentierten Systems von François Hennebique. Die in den frühen 1890er-Jahren innovative Eisenbetonbauweise prägte den späteren, modernen Stahlbetonbau massgeblich. Die Tragkonstruktion aus Stahlbetonstützen und Rippendecken besticht durch ihre Schlankheit, Effizienz und Dauerhaftigkeit (vgl. «Die Rotonde – als Beton noch besonders war», S. 38).

Der Bau mit einem Durchmesser von 80 m entstand parallel zur Eröffnung des Simplontunnels. Über eine zentrale Drehscheibe können die Lokomotiven zur Wartung auf die 14 Segmente verteilt werden. Jedes Segment der Remise enthält eine Arbeitsgrube und verfügt über grosse Dachfenster für das Tageslicht. Trotz moderner Zugmodelle und verlängerter Waggons, die den Raum teilweise beschränken, ist die Remise auch nach 120 Jahren noch voll funktionsfähig.

Ertüchtigung des originalen Tragwerks

2021 wurde das denkmalgeschützte Gebäude umfassend instand gesetzt, wobei neben der Restaurierung auch eine Erdbebenertüchtigung im Fokus stand. Es galt, die Bauwerksstabilität zu erhöhen, ohne die Nutzung ein-

Die Rotonde – als Beton noch besonders war

Die SBB-Rundremise in Brig zählt zu den wenigen ihrer Art in der Schweiz, die noch in ihrer ursprünglichen Funktion als Instandhaltungsdepot dienen.

Ihr Tragsystem besteht aus radial und tangential angeordneten Stabelementen. Schlanke Stützen mit Stahlfüssen zur Krafteinleitung, Durchlaufträger als Unterzüge und darauf lagernde Rippendecken machen die Tragkonstruktion aus. Die Tragstruktur als Stahlbetonskelettbau ist klar ablesbar und steht auf einem Fundament in Form von gedrunenen Viadukten, die mit dem Aushubmaterial aus dem Simplontunnel aufgeschüttet wurden.

Die Betonbauweise erfolgte nach dem System des französischen Ingenieurs François Hennebique, das er 1893 auch in der Schweiz patentieren liess. Zur damaligen Zeit war die Bauweise innovativ, da sie durch Bewehrungsseisen ein monolithisches Trägersystem ermöglichte. Der Ansatz bestand in der Kombination von Beton und Verstrebungen aus Eisenstäben, um eine höhere Festigkeit und Flexibilität zu erreichen. Dieses System führte zu einer effizienteren Nutzung des Materials und ermöglichte die Konstruktion langlebiger und wirtschaftlicher Bauwerke, was den Betonbau weltweit revolutionierte. Im Beton der Remise bestehen die Eisen aus geraden Stangen (D10 – D40 mit «Adhäsionslänge» 25D), von denen die Hälfte über dem Auflager aufgebogen ist. Die Stangen sind zusätzlich von Schubbewehrungen aus Flacheisen umfasst, und die Stützen haben am Kopf konsolartige Aufweitungen zur Reduktion der Beanspruchung der Träger. • (cvr)

zuschränken oder das Erscheinungsbild beziehungsweise den architektonischen Charakter der Anlage erheblich zu verändern. Die erforderlichen Eingriffe sollten zurückhaltend wirken, durften aber bei näherer Betrachtung durchaus erkennbar sein.

Die Bauingenieure entwickelten sieben Ertüchtigungsvarianten. Mehrere Lösungsansätze zeigten die statisch optimale Position der Verstärkungselemente auf. Zentrale Herausforderung war es, die Erdbebensicherheit durch gezielte Eingriffe signifikant zu steigern. Das Gebäude – es liegt in der Erdbebenzone 3b und ist der Bauwerksklasse BWK II-i zugeordnet – erreichte nur einen Erfüllungsfaktor $\alpha_{\text{eff}} = 0.12$. Gefordert war aber ein Mindestfaktor von $\alpha_{\text{min}} \geq 0.40$ (vgl. «Erfüllungsfaktor α_{eff} », S. 39). Massnahmen waren also zwingend, zudem wurde die Infrastrukturfunktion des Bauwerks als bedeutend eingeschätzt. Dank statischer Analyse mit dem Pushover-Verfahren wurde klar, dass sich mit verhältnismässig geringem Aufwand ein Erfüllungsgrad von $\alpha_{\text{int}} = 1$ erreichen lässt.

Aus dem Variantenstudium kristallisierte sich folgende Lösung heraus: Der Ersatz einer gemauerten Zwischenwand durch Sichtbeton und die Einpassung neuer Stahlverbände im Bereich von zwei Fassadensegmenten. Auf diese Weise konnten das Massen- und das Steifigkeitszentrum näher zueinander gerückt werden, wodurch das Gebäude im Erdbebenfall möglichst wenig durch Torsion beansprucht wird.



Luftbild der Rotonde in Brig.



Erfüllungsfaktor α_{eff}

Das Ergebnis einer rechnerischen Untersuchung der Erdbebensicherheit nach Norm SIA 269/8 *Erhaltung von Tragwerken – Erdbeben* ist der Erfüllungsfaktor α_{eff} . Er beschreibt, inwieweit die Anforderungen an die Erdbebensicherheit gemäss den gültigen Tragwerksnormen beim überprüften Bauwerk erfüllt sind, und dient zur Beurteilung der Erdbebensicherheit in drei Wertungen (nach BAFU):

Ungenügend: Bei einem Erfüllungsfaktor $\alpha_{\text{eff}} < 0.25$ für «normale» resp. < 0.4 für bedeutende und lebenswichtige Bauwerke (wie z. B. Schulen oder Akutspitäler) ist die Erdbebensicherheit ungenügend. Es sind zwingend Massnahmen zu ergreifen, um die Mindestanforderungen bei bestehenden Bauten von $\alpha_{\text{min}} = 0.25$ für «normale» bzw. 0.4 für bedeutende und lebenswichtige Bauwerke einzuhalten.

Mangelhaft: Bei einem Erfüllungsfaktor α_{eff} , der zwischen 0.25 (resp. 0.4) und 1.0 liegt, ist die Erdbebensicherheit mangelhaft. Die Erdbebensicherheit ist weitergehend zu verbessern, wenn sich bei der Gegenüberstellung von Kosten und Nutzen die Verhältnismässigkeit von Massnahmen nachweisen lässt. Dabei ist grundsätzlich die Erfüllung des normgemässen Zustands für Neubauten anzustreben.

Normgemäss: Bei einem Erfüllungsfaktor $\alpha_{\text{eff}} \geq 1.0$ ist die Erdbebensicherheit gemäss geltenden Normen gegeben. Die Anforderungen an Neubauten sind zu 100% erfüllt. Es besteht kein Handlungsbedarf.

Wichtig zu wissen ist: Eine normgemässe Erdbebensicherheit ($\alpha_{\text{eff}} \geq 1$) bedeutet nicht, dass das Bauwerk ein Erdbeben unbeschadet übersteht. Das Ziel ist der Personenschutz und die Schadensbegrenzung.

Die Gewährleistung der Funktion des Bauwerks fordert die Norm nur bei den Bauwerken mit lebenswichtiger Infrastrukturfunktion. Das sind v. a. diejenigen Bauwerke, die im Erdbebenfall zur Rettung von Menschenleben benötigt werden. •

Y. Mondet, D. Piskas, F. Hürzeler



Instandsetzung SBB-Rotonde, Brig

Bauherrschaft
SBB, Brig

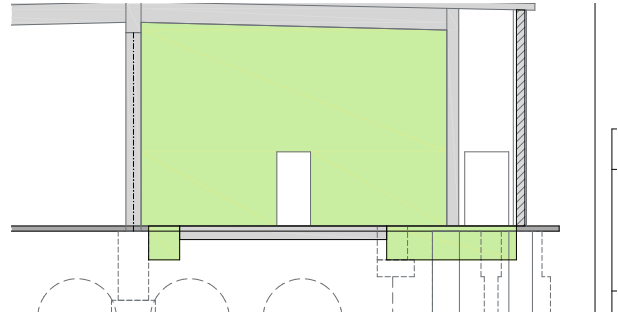
Architektur
Vomsattel Wagner
Architekten, Visp

Tragwerksplanung
Borgogno Eggenberger
Bauingenieure, St. Gallen

Unternehmung
Gombau Hoch- und Tiefbau,
Münster VS

Weitere Beteiligte
Speiser Metallbauplanung,
Thun

Kleinstmöglicher sichtbarer Eingriff in den Bestand: Eines von zwei aussteifenden A aus Stahlprofilen an der Fassade (links) und eine neue, radial angeordnete Stahlbetonwand (unten) stabilisieren das Gebäude im Erdbebenfall.



Neu und Alt verschmelzen

Bei den beiden Fassadensegmenten bilden nun neue, A-förmige Verstrebungen aus Standard-Stahlprofilen zusammen mit den bestehenden Stahlstützen und dem darüberliegenden Betonriegel eine Scheibe, die die rechnerisch anzusetzenden horizontalen Erdbebenkräfte übernimmt.

Die roh belassenen und nur geölten Verstärkungen, die als Augenstäbe ausgeführt wurden, sind mit den bestehenden, radial angeordneten Betonunterzügen über eine einbetonierte Kopfplatte mit Kopfbolzendübeln kraftschlüssig verbunden. Dadurch können die punktuell grossen Kräfte gleichmässig in die bestehende Decke eingeleitet werden. Neue und ursprüngliche Tragwerkselemente verschmelzen ineinander. An den Füssen der Stahlverbände gelangen die Horizontal- und Vertikalkräfte über Stahlschwerter, die ebenfalls mit Kopfbolzendübeln versehen sind, in die neuen Streifenbetonfundamente.

Eine zusätzliche vertikale Aussteifung bekam das Bauwerk mit der neuen, radial stehenden Stahlbetonwand, die eine gemauerte Zwischenwand ersetzte und auf der bestehenden Arkadenkonstruktion fundiert ist.

Zurückhaltende Eingriffe mit grosser Wirkung

Die klugen Ertüchtigungsmassnahmen konnten den kulturellen Wert des Bauwerks bewahren und erfüllen gleichzeitig die Anforderungen an die Sicherheit. Für ihre zurückhaltende und dennoch wirkungsvolle Erdbebenertüchtigung wurde die Rotonde 2024 mit dem alle drei Jahre vergebenen Seismic Award der Stiftung für Baudynamik und Erdbebeningenieurwesen ausgezeichnet. So wird eine gute Baukultur gefördert, die das historische Erbe schützt und für die Zukunft stärkt – im übertragenen und im wahrsten Sinne des Wortes. •

Clementine Hegner-van Rooden,
dipl. Bauing. ETH, Fachjournalistin BR