



Erdbebenverstärkung des  
EMPA-Gebäudes in Dübendorf  
mit aussenliegenden  
vorgespannten CFK-Lamellen

# Seismische Standortanalyse: Bestehende Gebäude sicher und effizient verstärken

Die Schweiz weist eine niedrige bis mittlere Erdbebengefährdung auf. Dennoch ergibt sich durch die hohe Bebauungsdichte zusammen mit der oft erheblichen Verletzlichkeit der Bauwerke ein deutlich unterschätztes Erdbebenrisiko. Viele bestehende Bauten aus den 1980er-Jahren und früher genügen den derzeit geltenden Ansprüchen an die Erdbebensicherheit nicht. Aber auch neuere Bauten können markante Defizite aufweisen.

Bei Umbauten und Sanierungen von bestehenden privaten und öffentlichen Gebäuden trägt der Bauherr die Verantwortung, die Erdbebensicherheit zu prüfen und gegebenenfalls Ertüchtigungsmassnahmen vorzunehmen. Das heute übliche Prozedere zur Ermittlung der Erdbebenanregung für Gebäude ist in der Tragwerksnorm SIA 261 geregelt. Doch insbesondere bei bestehenden Bauten können sich die häufig konservativen Werte dieser Vorgehensweise nachteilig auf die Kosten-Nutzen-Betrachtung auswirken. Nicht selten resultiert daraus ein höherer Aufwand an Verstärkungsmassnahmen,

als tatsächlich notwendig wäre. Gleichzeitig schränken solche Massnahmen, z. B. Betonscheiben oder Verstrebenungen, die optimale Nutzung ein.

Um ein mögliches Einsparpotenzial von Massnahmen und Baukosten zu ermitteln, lohnt sich die differenzierte Methodik der «Seismischen Standortanalyse». Vor allem bei Umbauten, wo Ertüchtigungen nur eingeschränkt möglich sind, ist dieses Verfahren sinnvoll. Ziel dieser Analyse ist es, die Erdbebenanregung des Gebäudes präzise zu bestimmen. Damit lassen sich in der Folge erforderliche bauliche Massnahmen explizit abgrenzen.

Die Seismische Standortanalyse bildet die Grundlage für eine nachhaltige und effiziente Ertüchtigung bestehender Gebäude. Als renommiertes Unternehmen auf dem Gebiet des Erdbebeningenieurwesens verfügt Studer Engineering GmbH sowohl über qualifiziertes Fachwissen als auch mehrjährige Erfahrung, um dieses anspruchsvolle Verfahren kompetent anzuwenden.



Erdbebenverstärkung des eawag-Gebäudes in Dübendorf mit zwei Wandscheiben im Bereich der Freitreppe



### Ausgangslage und Verpflichtung

Erdbeben gehören in der Schweiz zu den Naturgefahren mit dem grössten Risikopotenzial. Zwar treten sie hierzulande eher selten auf, verursachen aber im Ernstfall erhebliche Schäden. Hauptverantwortlich dafür sind die zahlreichen bestehenden Gebäude, die eine ungenügende Erdbebensicherheit aufweisen. Erst im Jahr 1989 wurde der Erdbebenlastfall für Hochbauten umfangreich normativ geregelt und entspricht heute nach Anpassungen in den Jahren 2003 und 2014 dem internationalen Standard der Erdbebensicherheit. Ein Grossteil der heutigen Bausubstanz wurde jedoch vorher erstellt und ist deshalb nicht explizit auf Erdbeben bemessen. Daraus ergibt sich ein deutliches Defizit in Bezug auf die heute gültige Tragwerksnorm SIA 261.

Eigentümer bestehender Gebäude haben die Verantwortung, bei Umbauten und Sanierungen die Erdbebensicherheit zu prüfen und bei akuten Mängeln Ertüchtigungsmassnahmen zu realisieren.



### Erdbebenanregung nach SIA 261

Das übliche Vorgehen zur Ermittlung der Erdbebenanregung für Gebäude erfolgt entsprechend der Norm SIA 261. Grundwerte der Bodenbeschleunigung sind durch die Erdbebenzonenkarte definiert. Der Baugrund am Standort wird stark vereinfachend einer der fünf Baugrundklassen der Norm SIA 261 zugeordnet. Ausnahmen bilden strukturempfindliche Standorte. Daraus kann sofort die Erdbebenanregung zur weiteren Analyse des Gebäudes bestimmt werden.

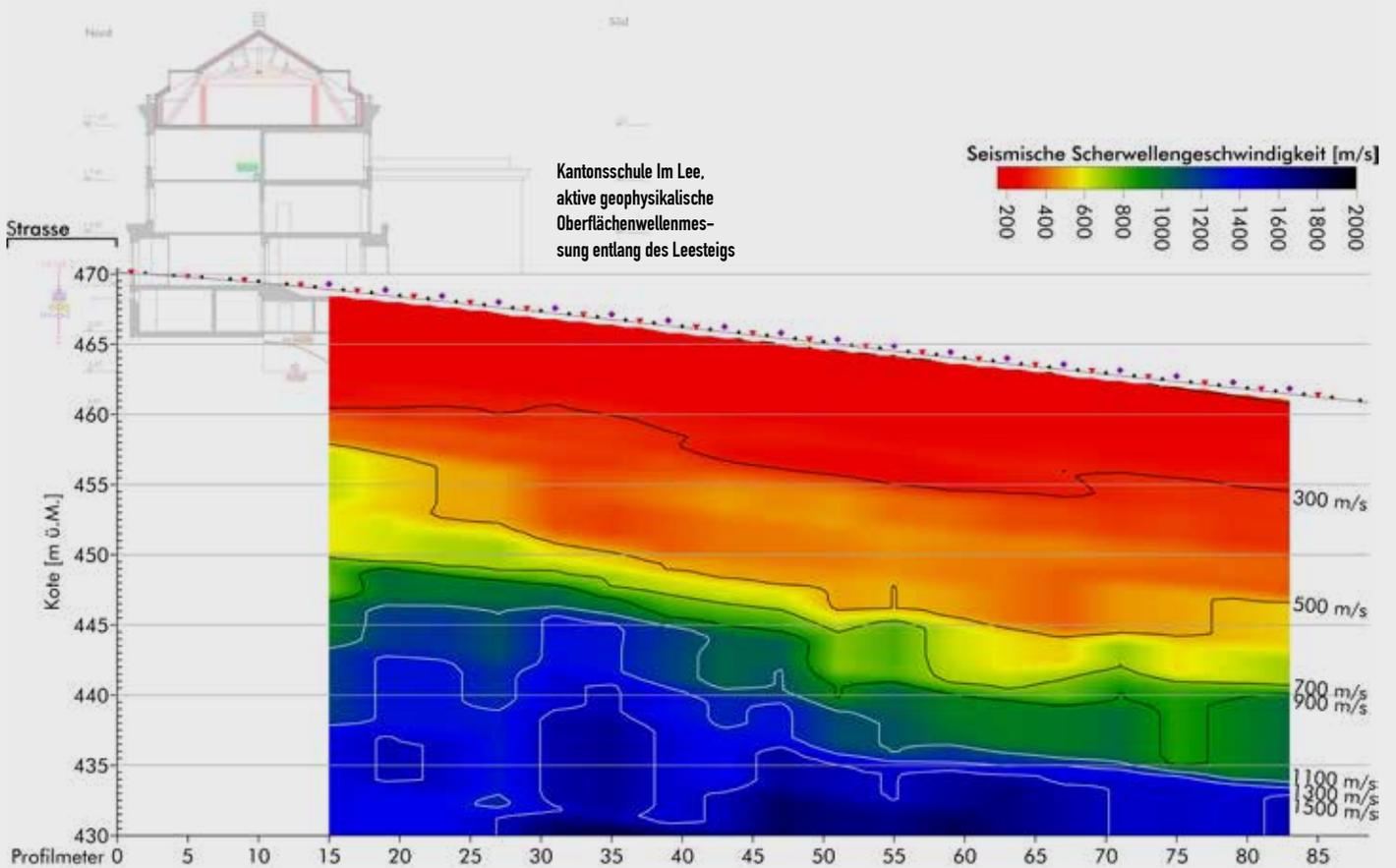
Der Vorteil dieses Vorgehens liegt darin, dass auf eine standortspezifische Untersuchung der lokalen Geologie weitgehend verzichtet werden kann, zumal die seismischen Baugrundklassen in der Schweiz mittlerweile umfangreich kartiert sind. Nachteilig für bestehende Bauten sind die häufig konservativen Werte der Erdbebenanregung. Oft resultiert daraus ein höherer Aufwand zur Ertüchtigung, als tatsächlich notwendig wäre. Bei mittleren und grossen Gebäuden kann dies zu sehr aufwendigen Massnahmen und Kosten führen.



### Seismische Standortanalyse

Ein interessanter Ansatz für bestehende Gebäude ist die standortspezifische Analyse. Ortsbezogene Betrachtungen im Rahmen einer bodendynamischen Untersuchung sind entsprechend den gültigen Tragwerksnormen nach SIA Merkblatt 2018 bzw. SIA 269/8 zulässig. Bei der Seismischen Standortanalyse geht es im Wesentlichen darum, die Erdbebenanregung und die Amplifikation der Erdbebenwellen in den oberflächennahen Lockergesteinsschichten präzise zu bestimmen und ein standortspezifisches Antwortspektrum als Bemessungsgrundlage zu berechnen.

Die Grundlage für eine Seismische Standortanalyse bilden die vom Schweizerischen Erdbebendienst berechneten Erdbebenbeschleunigungswerte auf Felsniveau. Für Standorte ausserhalb der Schweiz kann die Berechnung der seismischen Gefährdung auf Felsniveau mittels probabilistischer Methoden durchgeführt werden.



Eine Seismische Standortanalyse ist eine genauere Methode als das übliche Vorgehen nach der Norm SIA 261. Sie erfordert ein hohes Mass an spezifischem Fachwissen und Erfahrung.



### Methodik und Vorgehen

Mittels modernster Methoden der seismischen Geophysik werden dynamische Eigenschaften des Baugrunds messtechnisch erfasst. Verschiedene für den Standort angepasste Messverfahren der aktiven und passiven Seismik kommen bei der Messung von Oberflächenwellen zum Einsatz. Mit komplexen Inversionsverfahren von mehreren Zielfunktionen wird eine genaue Bestimmung des standortspezifischen Scherwellengeschwindigkeitsprofils in den obersten Zehnermetern erreicht. Für die geophysikalischen Messungen arbeitet Studer Engineering GmbH mit erfahrenen Geophysikern der Firma roXplore gmbh zusammen. Auf dieser geophysikalischen Datengrundlage wird ein dynamisches Baugrundmodell entwickelt, mit dem die Amplifikation der Erdbebenwellen frequenzabhängig für die oberen Erd-

und Lockergesteinsschichten berechnet wird. Zur Qualitätssicherung der Standortanalyse werden international renommierte Forschungseinrichtungen, wie z. B. die Technische Universität Lulea in Schweden oder die Akademie der Wissenschaften der Tschechischen Republik, beigezogen. Ausserdem bestehen gute Kontakte zum Schweizerischen Erdbebendienst.



### Potenzial und Mehrwert

Studien des Schweizerischen Erdbebendienstes zeigen, dass vor allem im höheren Periodenbereich die Erdbebenanregung der SIA Tragwerksnorm recht konservativ ist (siehe Abb. 1 Faktenblatt Erdbebengefährdungsmodell 2015 für die Schweiz). Abhängig von der spektralen Periode beträgt eine präzise berechnete Erdbebenanregung für einen Standort auf weichem Fels nur ca. die Hälfte im Vergleich zur SIA Tragwerksnorm.

Erfahrungen aus mehreren Projekten bestätigen das Potenzial zur Reduktion der Erdbebenanregung im langperiodischen Bereich auch für

Lockergesteinsstandorte. Die präzisierten Erdbebenanregungen durch Seismische Standortanalysen ergaben zum Beispiel bei Standorten der Baugrundklasse C eine um 30–50% geringere Erdbebenanregung im höheren Periodenbereich als die Standardwerte nach SIA 261. Anregungen im niedrigerperiodischen Bereich können durchaus auch grösser sein als die Normwerte. Im niedrigen Periodenbereich ist die Tragwerksnorm SIA 261 nicht grundsätzlich konservativ.

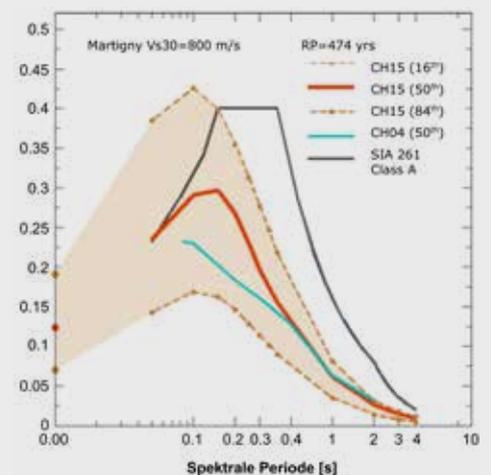


Abb. 1: Vergleich der seismischen Gefährdung mit der Erdbebenanregung nach SIA 261 für einen Standort auf weichem Fels in Martigny (Schweizerischer Erdbebendienst 2015)



Ambassador House Opfikon – Stand der Umbauarbeiten im August 2015

Erklären lassen sich diese Differenzen zwischen SIA 261 und standortspezifischem Spektrum hauptsächlich mit den neuen Erkenntnissen der letzten Jahre bezüglich der seismischen Gefährdung in der Schweiz sowie den teilweise konservativen Ansätzen der SIA Tragwerksnorm. Das grundsätzlich geforderte Sicherheitsniveau der Tragwerksnorm SIA 261 mit einer Referenz-Wiederkehrperiode der Erdbebenanregung von 475 Jahren bleibt auch bei einem standortspezifischen Antwortspektrum gewährleistet.

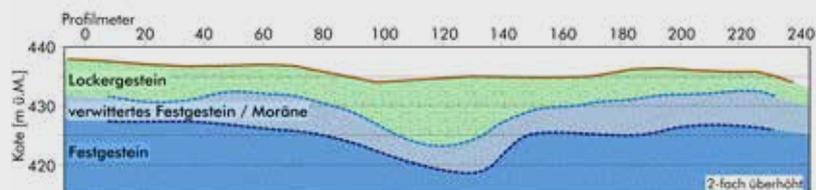
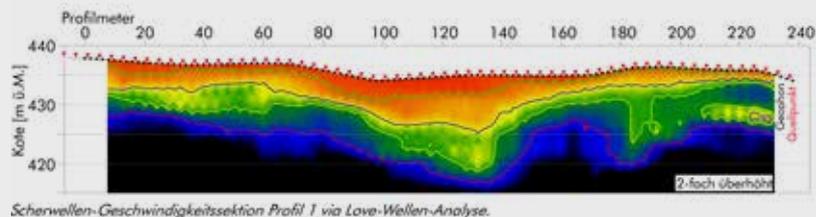
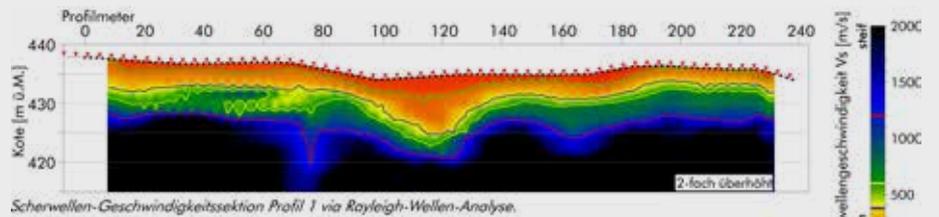


### Mehrwert für den Bauherrn

Durch eine präzisierte Erdbebenanregung und unter Anwendung entsprechender Berechnungsverfahren der Tragstruktur lassen sich mögliche Defizite der Tragsicherheit genauer beurteilen. Der Umfang allfälliger Ertüchtigungsmassnahmen lässt sich somit optimieren. Dabei können nicht nur Geld und Bauzeit gespart, sondern auch betriebliche Abläufe weniger eingeschränkt und Unterbrüche reduziert werden.

Bei wertvollen Gebäuden mit prognostizierten aufwendigen Ertüchtigungsmassnahmen und umfangreichen Eingriffen in die Tragstruktur ist eine Seismische Standortanalyse schnell lohnenswert. Zu empfehlen ist, diese bereits in den Prozess der Erdbebenüberprüfung und Planung von Ertüchtigungsmassnahmen miteinzubeziehen, insbesondere für:

- sich abzeichnende umfangreiche bauliche Ertüchtigungsmassnahmen > CHF 200'000.–
- betriebliche Einschränkungen, die eine weitere Nutzung des Gebäudes infrage stellen
- denkmalgeschützte Gebäude



Geophysikalische  
Oberflächenseismik,  
Ergebnisse einer  
ADAM-2D-Messung



Kantonsschule  
Im Lee, Winterthur

## Referenzprojekte

### **Folgende Projektbeispiele zeigen die erfolgreiche Anwendung der Seismischen Standortanalyse:**

- Pumpspeicherkraftwerk Atdorf, Deutschland: Bestimmung der Erdbebenamplifikation am Standort des Abschlussdammes II des Unterbeckens (2011).
- Einlaufbauwerk Elzmündung, Deutschland: Bestimmung der Erdbebenamplifikation am Standort der Rhein-Hochwasser-Entlastungsanlage (2013).
- Pumpspeicherkraftwerk Eggbergbecken, Deutschland: Bestimmung der Erdbebenamplifikation am Ringdamm des Oberbeckens (2014).
- Gebäude in Wallisellen, Schweiz: Seismische Standortanalyse mit Einsparpotenzial von ca. 50% (2014)
- Ambassador House Opfikon, Schweiz: Seismische Standortanalyse mit Einsparpotenzial von ca. 50% (2014)
- Kantonsschule Im Lee, Winterthur, Schweiz: Seismische Standortanalyse mit Einsparpotenzial von ca. 30% (2015)

## Dienstleistungen im Bereich Erdbebensicherheit

**Aufgrund hoher Fachkompetenz, langjähriger Erfahrung und eines internationalen Netzwerks gehört Studer Engineering GmbH zu den anerkannten Unternehmen auf dem Gebiet des Erdbebeningenieurwesens. In Bezug auf die Erdbebensicherheit bestehender Gebäude werden folgende umfassende Dienstleistungen angeboten:**

- Seismische Standortanalysen
- Erdbebenüberprüfung bestehender Gebäude
- Entwicklung optimierter Ertüchtigungskonzepte

Geschäftsführer Dr. Thomas Weber ist Lehrbeauftragter für Bodendynamik an der ETH Zürich und auf Fragen der Standortdynamik spezialisiert.

Studer Engineering GmbH ist ein Tochterunternehmen der Synaxis AG Zürich und eingebunden in die Synaxis-Gruppe.



Analyse der Erdbebenverstärkung in den oberflächennahen Erdschichten für die Kantonsschule Im Lee, Winterthur

## Weitere Kompetenzen

- Probabilistische und deterministische Gefährdungsanalysen für beliebige Standorte weltweit
- Beratung bei der Festlegung von Bemessungsgrundlagen bezüglich Erdbeben ausserhalb normativer Vorgaben
- Analyse des Erdbebenverhaltens von Spezialbauwerken, Installationen und Anlagen mit Schwerpunkten
  - Industrieproduktions- und Chemieanlagen
  - Energie-, Erdgas- und Wasserversorgung
  - Abwasseranlagen
  - Talsperren und Wasserkraftanlagen
- Geotechnisches Erdbebeningenieurwesen mit Analyse von Dämmen, Böschungen und Stützbauwerken
- Klassische Geotechnik mit Analysen von Foundationen, Böschungen und Baugruben in Bezug auf Standicherheit, Verformungen und Durchsickerung
- Beratung im Bereich Erdbebensicherheit, z. B. Gutachten, Beurteilungen und Due Diligence-Abklärungen

## Kontakt

### Studer Engineering GmbH

Dr. Thomas Weber

Thurgauerstrasse 56

8050 Zürich

Telefon: 044 481 06 00

E-Mail: [weber@studer-engineering.ch](mailto:weber@studer-engineering.ch)

