

# Erfassung von Erdbebenbemessungsgrössen: Überblick und erste Erfahrungen aus dem Wallis

Autor(en): **Griesser, Jean-Claude / Mayer-Rosa, Dieter / Zwicky, Peter**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

Band (Jahr): **109 (1991)**

Heft 40

PDF erstellt am: **12.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-86020>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

# Erfassung von Erdbebenbemessungsgrößen

Überblick und erste Erfahrungen aus dem Wallis

**Für die Erdbebenbemessung von Bauwerken werden quantitative Parameter benötigt, welche die Bodenbewegung starker Erdbeben an einem Standort bezüglich zeitlichem Verlauf, Dauer und Frequenzinhalt charakterisieren. In der Schweiz ist man noch weitgehend auf ausländische Daten angewiesen. Mit kürzlich registrierten Beschleunigungsaufzeichnungen aus dem Wallis konnten erste Erfahrungen gesammelt werden. Erst das zurzeit in Projektierung befindliche nationale Starkbeben-Instrumentierungsnetz wird es erlauben, die heute gültigen Bemessungsnormen durch lokale Felddaten abzustützen.**

## Erdbeben als Gefährdung

In mehr oder weniger regelmässigen Abständen werden bestimmte Gebiete der Erde von schweren Erdbeben heim-

VON JEAN-CLAUDE GRIESSER,  
DIETER MAYER-ROSA UND  
PETER ZWICKY,  
ZÜRICH

gesucht. In dichtbesiedelten Regionen fordert deren zerstörerische Wirkung meist viele Menschenleben und verur-

sacht grossen Sachschaden. Die zunehmende Bildung von Ballungszentren mit ihren immer empfindlicheren technischen Einrichtungen, die Existenz grosser industrieller Komplexe mit den darin vorhandenen Gefahrenpotentialen lassen uns generell anfälliger gegen Katastrophen werden. Erdbebenwirkungen sind dabei besonders schwerwiegend, da im Erschütterungsbereich alle Objekte plötzlich und gleichzeitig betroffen werden.

Die Schweiz liegt nicht in einem Gebiet mit sehr hoher Erdbebengefährdung.

Das Auftreten starker Erdbeben ist selten, aber nicht auszuschliessen. Dies belegt eine detaillierte Studie für die Schweiz, welche in den Jahren 1975–1978 erarbeitet wurde [1]. Als Resultate liegen Erdbebengefährdungskarten vor, die die standortabhängige Intensitätsverteilung als Funktion ausgewählter, mittlerer Eintretenswahrscheinlichkeiten darstellen (Bild 1). Gebiete mit relativ hoher Gefährdung liegen im Wallis, im Berner Oberland, in der südlichen Zentralschweiz, in der Region von Basel, im Churer und St. Galler Rheintal und im Engadin. Die restlichen Gebiete der Schweiz weisen eine niedrigere Gefährdung auf.

In den letzten 1000 Jahren ereigneten sich in fast allen Teilen der Schweiz Erdbeben, z.T. mit grossen Schäden. Tabelle 1 gibt einen Überblick über die stärksten historischen Erdbeben. Durch die hohe Bevölkerungsdichte und den technologischen Ausbaustand ist in der Schweiz im Falle zukünftiger Erdbeben vergleichbarer Stärke mit grossen Schäden zu rechnen. Eine kürzlich veröffentlichte Studie [2] kommt zum Schluss, dass z.B. das Beben von Basel vom 18. Oktober 1356 heute allein an der Bausubstanz einen Schaden

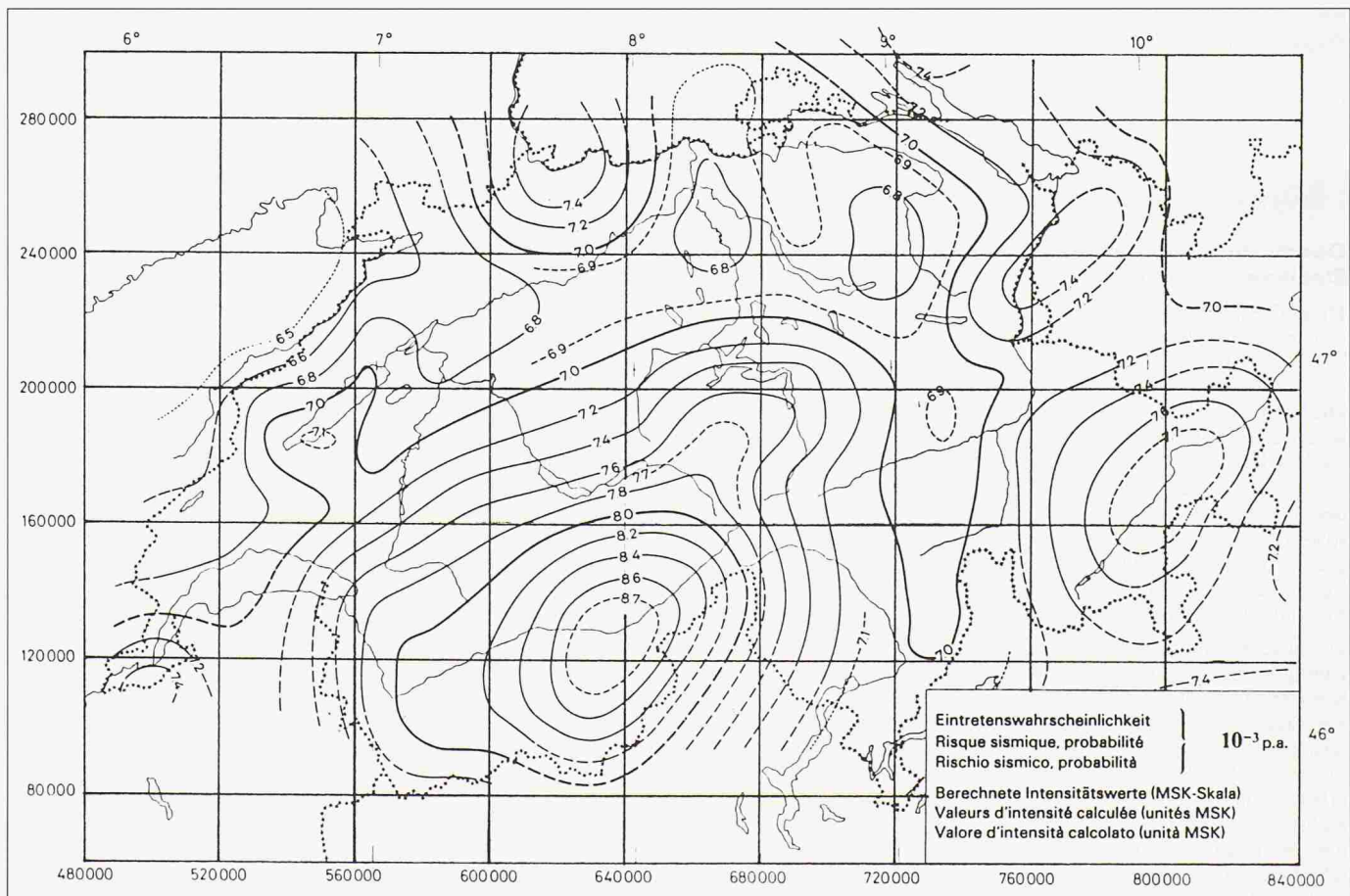


Bild 1. Erdbebengefährdung in der Schweiz: Karte mit Linien gleicher Intensität I (MSK-Skala) für eine mittlere, jährliche Auftretenswahrscheinlichkeit von  $10^{-3}$ . Dies entspricht einer statistischen Wiederkehrperiode von 1000 Jahren (aus [1]).



von 13–47 Mia. SFr. und das Beben im Zentralwallis vom 25. Januar 1946 einen solchen von 0,4–1,9 Mia. SFr. verursachen würde.

In den letzten Jahren wurden deshalb auch in der Schweiz Anstrengungen unternommen, den Erdbebenschutz wichtiger Bauwerke vermehrt zu beachten. So sind zum Beispiel die schweizerischen Kernkraftwerke und zum Teil andere wichtige Bauten für starke Erdbeben dimensioniert worden. In diesem Zusammenhang wurden für die schweizerischen Kernanlagen und für Stauanlagen verschiedene Erdbebenbemessungsgrundlagen erarbeitet [3, 4]. Für die anderen Bauwerke regelt die Erdbebenbestimmung in der Einwirkungsnorm SIA 160 [5, 6] die Berücksichtigung des Lastfalls Erdbeben.

Im folgenden werden die wichtigsten Erdbebenbemessungsgrößen vorgestellt und anhand von ersten Aufzeichnungen aus dem Wallis diskutiert und mit den bestehenden Normen verglichen.

### Wichtige Erdbebenbemessungsgrößen

Für die Erdbebenbemessung von Bauwerken werden quantitative Parameter herangezogen, welche die Bodenbewegung an einem Standort hinreichend charakterisieren [7]. Folgende Signaleigenschaften stehen dabei im Vordergrund:

- der zeitliche Verlauf der Bodenbewegung, d.h. der Bodenbeschleunigung, der Bodengeschwindigkeit und der Bodenverschiebung
- die Dauer der Erdbebenerschütterung
- der Frequenzinhalt der Erdbebenerschütterung

Die gewünschten Parameter lassen sich entweder direkt aus den Bebenaufzeichnungen bestimmen (Bodenbeschleunigung, Dauer) oder aus diesen durch Integration (Bodengeschwindigkeit, Bodenverschiebung) oder durch eine Fourier-Analyse (Frequenzinhalt) herleiten.

Die Bodenbewegungen an einem Standort sind von verschiedenen Einflussfaktoren abhängig. Die wichtigsten Faktoren sind:

- Kenngrößen des Erdbebens: Stärke des Erdbebens, ausgedrückt durch die Magnitude als Mass der Energiefreisetzung oder die Epizentralintensität, Art des Bruchvorganges und Herdtiefe des Erdbebens
- Epizentraldistanz
- Abminderungscharakteristiken regional bestimmt durch die Art und

| Datum           | Epizentral-Intensität (MSK-Skala) | Beobachtungen  |
|-----------------|-----------------------------------|--|
| 1021, Mai       | IX?                               | Starkes Erdbeben mit unbestimmtem Epizentrum, in ganz Zentraleuropa bemerkt.   |
| 1128            | VIII                              | Epizentrum ungewiss. Betrifft die ganze Schweiz sowie Oberitalien und Süddeutschland.  |
| 1356, 18. Okt.  | IX                                | Epizentrum etwa 30 km südwestlich von Basel. Starke Auswirkungen vor allem in der Region Basel und im Jura. Bis in 300 km Entfernung sind Schäden aufgetreten (Burgund). |
| 1601, 8. Sept.  | VIII-IX                           | Epizentrum vermutlich im Gebiet Vierwaldstättersee. Praktisch in ganz Zentraleuropa gespürt.   |
| 1755, 9. Dez.   | VIII-IX                           | Epizentrum im Oberwallis bei Brig/Visp. In der ganzen Alpenregion gespürt, ebenso in Süddeutschland und Oberitalien.   |
| 1774, 10. Sept. | VIII                              | Epizentrum in der Innerschweiz bei Altdorf.  |
| 1855, 25. Juli  | IX                                | Epizentrum im Oberwallis bei Brig/Visp. Stärkstes Erdbeben im 19. Jahrhundert in der Schweiz. In Süddeutschland und Norditalien stark gespürt.                           |
| 1946, 25. Jan.  | VIII                              | Epizentrum beim Sanetschpass (Zentral-Wallis). Stärkstes Erdbeben in der Schweiz in diesem Jahrhundert.  |

Tabelle 1. Die stärksten historischen Erdbeben in der Schweiz

Struktur des geologischen Untergrundes, durch den sich die seismischen Wellen ausbreiten

- Lokale Baugrundeigenschaften und Topographie

Komplexe Untergrundverhältnisse in Kombination mit weichen Bodenschichten können z.B. zu einer markanten lokalen Verstärkung (oder Abschwächung) der Bodenbewegung führen.

Um die Abhängigkeit der charakteristischen Größen der Bodenbewegung von den besprochenen Einflussfaktoren zu bestimmen und damit die Grundlagen für die quantitative Ermittlung der an einem Standort zu erwartenden Erdbe-

benerschütterung zu schaffen, steht heute weltweit eine grosse Zahl von aufgezeichneten Starkbebenaten zur Verfügung, die statistisch ausgewertet und interpretiert werden können.

### Maximale Bodenbewegungen

Die maximalen Bodenbewegungen werden, analog zum gesamten Signalverlauf, von verschiedenen Faktoren beeinflusst. Korrelationen zwischen maximalen Bodenbewegungen und der Standortintensität oder der Magnitude erlauben in Gebieten mit wenig Information über die seismische Bodenbewegung, wie in der Schweiz, aus Intensitätsverteilungen auf maximale Bodenbewegungen zu schliessen. Diese Über-

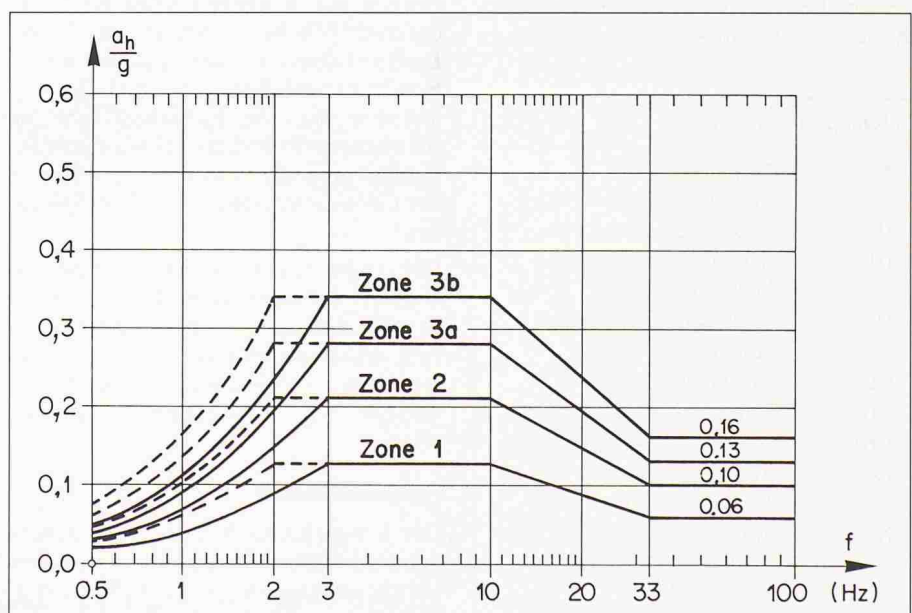


Bild 2. Elastische Bemessungsspektren (Mittelwerte für 5% Dämpfung) für steife Böden (ausgezogen) und mittelsteife Böden (gestrichelt) (nach [6]). Der Kanton Wallis befindet sich in den Zonen 3a und 3b.  $a_h$  = horizontale Beschleunigung,  $g$  = Erdbeschleunigung.



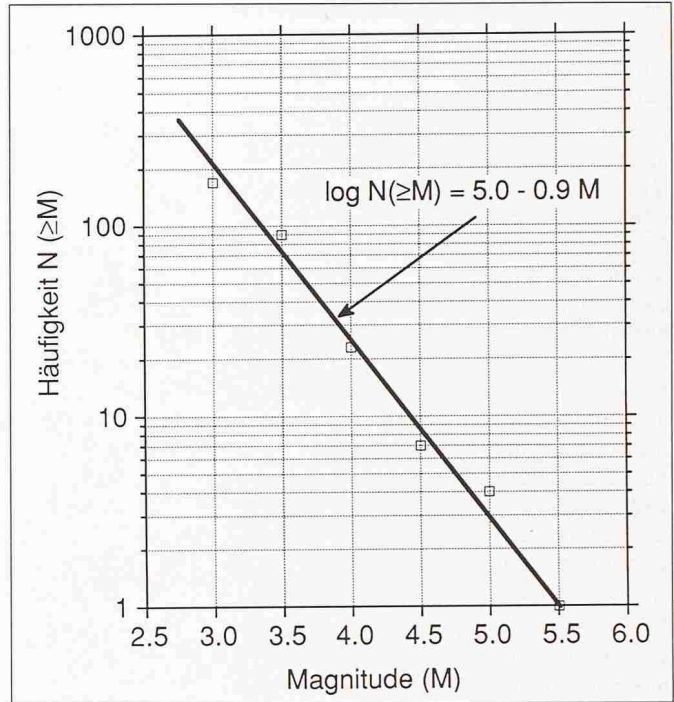
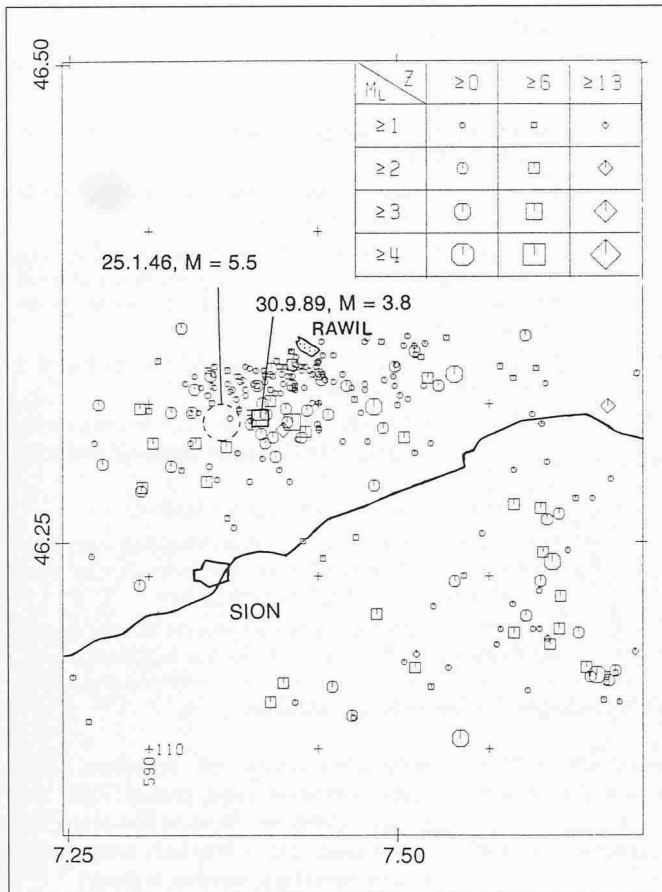


Bild 4. Häufigkeit der Erdbeben im Zentralwallis zwischen 1940 und 1990 mit einer Magnitude  $\geq M$ .

Bild 3. Lokalisierte Erdbeben zwischen 1980 und 1990 im Zentralwallis mit Magnituden  $M \geq 1,5$ . Zusätzlich Lage des Bebens vom 25. Januar 1946.

tragung auf andere geologisch-tektonische Gebiete ist allerdings mit grossen Unsicherheiten behaftet. Es ist deshalb auch für die Schweiz anzustreben, repräsentative Felddaten zu erhalten.

Oft werden aus maximalen Bodenbewegungsgrössen auch «effektiv wirksame» Bewegungen abgeleitet. Damit wird versucht, dem zeitlichen Verlauf der Bodenbewegung – insbesondere der Anzahl und Verteilung der Spitzenwerte, welche eine grosse Zufälligkeit beinhalten – näherungsweise Rechnung zu

tragen. Für die Festlegung der Erdbebeneinwirkung in der neuen SIA-Norm 160 [6] wurde beispielsweise eine effektiv wirksame Bodenbeschleunigung angenommen, die zwei Drittel der maximalen Bodenbeschleunigung entspricht.

**Zeitdauer**

Die Zeitdauer der starken, für Bauwerke massgeblichen Erschütterungsbewegungen von Erdbeben weist als Folge unterschiedlicher Definitionen und Einflussfaktoren eine grosse Variationsbreite auf. Für schweizerische Verhältnisse liegt die Erdbebendauer für schwächere Erdbeben bei wenigen Sekunden und für stärkere Erdbeben in der Grössenordnung von 15–30 Sekunden.

Der Ingenieur verwendet Annahmen über die Zeitdauer eines Erdbebens bei der Festlegung von Beschleunigungs-Zeitverläufen und als Lastdefinition für die relativ aufwendige, dynamische Analyse von Bauwerken im Zeitbereich.

**Frequenzinhalt**

Der Frequenzinhalt einer Bodenbewegung gibt an, welcher Anteil der Gesamtbewegung in welchem Frequenzbereich liegt. Die Standardmethode zur Bestimmung des Frequenzinhalts eines Zeitverlaufes ist die Ermittlung des Fourierspektrums. Für Erdbeben liegt

der dominierende Anteil der Bewegungsenergie im Bereich von 0,5–20 Hz. Die Abhängigkeit des Frequenzbereichs von den unterschiedlichen Einflussfaktoren ist noch schlecht bekannt und Gegenstand weltweiter Untersuchungen. Für den Einfluss einer Bodenbewegung auf das Bauwerk ist der Frequenzinhalt von zentraler Bedeutung.

Der Erdbebeningenieur verwendet den Frequenzinhalt vorwiegend in Form des Verhaltensspektrums. Es repräsentiert die maximale Antwort von gedämpften Einmassenschwingern auf die Bodenbewegung und eignet sich direkt als Erdbebeneingabe für einfache und effiziente Analysemethoden für die Baustruktur. Als Bemessungsgrundlagen werden meist die aus einzelnen Verhaltensspektrern statistisch gemittelten und geglätteten Spektren, sogenannte Bemessungsspektren, verwendet. Bild 2 zeigt Bemessungsspektren gemäss der neuen SIA-Norm 160 [5] für die vier Gefährdungszonen der Schweiz.

**Messung von Erdbebenparametern in der Schweiz**

Seit 1974 existiert in der Schweiz ein Netz mit hochempfindlichen Seismometern zur weltweiten Erfassung und Lokalisation von Erdbeben. Dieses

| Intensität | Auswirkung                                |
|------------|---|
| I          | Unmerklich, nur instrumentell registriert |
| II         | Kaum merklich                             |
| III        | Schwach, nur teilweise beobachtet         |
| IV         | Grösstenteils beobachtet                  |
| V          | Aufweckend                                |
| VI         | Erschreckend                              |
| VII        | Einzelne Gebäudeschäden                   |
| VIII       | Verbreitete Gebäudeschäden                |
| IX         | Teilweise Gebäudezerstörung               |
| X          | Allgemeine Gebäudezerstörung              |
| XI         | Katastrophe                               |
| XII        | Landschaftsverändernd                     |

Tabelle 2. Die MSK-Intensitätsskala (gekürzte Version)



Netz wird vom Schweizerischen Erdbebendienst an der ETH in Zürich betrieben und umfasst heute 22 Stationen. Diese hochempfindlichen Geräte sind aber nicht geeignet, unverzerrte Aufzeichnungen der starken Bodenbewegungen im Nahbereich von Erdbebenherden zu liefern. Es ist üblich, für diese Aufgaben weniger empfindliche und damit kostengünstigere Beschleunigungsmessgeräte, sogenannte Starkbebengeräte, zu verwenden. Heute stehen dafür verschiedene digital aufzeichnende Geräte zur Verfügung.

In der Schweiz sind heute erst wenige Starkbebengeräte in Betrieb. Die schweizerischen Kernkraftwerke sind seit Ende der siebziger Jahre sukzessive mit Beschleunigungsmessern ausgerüstet worden. Von diesen Geräten wurde bisher über eine einzige Erdbebenregistrierung berichtet (Registrierung des Bebens von Mulhouse vom 15.7. 1980 im Kernkraftwerk Beznau [8]). Das erste digital aufzeichnende Starkbebengerät wurde im Frühjahr 1989 durch Basler & Hofmann, Zürich, in Grimisuat, nördlich von Sion, installiert. Mit diesem Gerät konnten seitdem die Bodenbeschleunigungen von fünf Erdbeben im Magnitudenbereich von 2,2–3,8 aufgezeichnet werden. Weitere Geräte sind im Jahre 1990 in Neuenburg und Basel installiert worden.

In nächster Zeit ist geplant, in der Schweiz ein nationales Starkbeben-Instrumentierungsnetz von etwa 30–40 Stationen zu realisieren. Bei der Auswahl der Geräte werden neben den technischen Kriterien (Speicherzeit, Digitaltechnik, einfache Bedienung und Wartung) auch die ingenieurspezifischen und seismologischen Gesichtspunkte berücksichtigt. Dieses neue Netz sollte u.a. folgende Aufgaben wahrnehmen:

- Bestimmung der Charakteristiken (z.B. Amplitude, Frequenz und Dauer) der lokalen Bodenbewegung eines Starkbebens an möglichst vielen Standorten in der Schweiz
- Bestimmung der Gesetzmässigkeiten für die Abnahme der Beschleunigung zwischen den seismisch aktiven Zonen und einem Bauwerkstandort
- Untersuchung des Einflusses der lokalen Untergrundverhältnisse auf die gemessenen Grössen in einzelnen ausgewählten Gebieten.

Damit wird es mit der Zeit möglich sein, die wichtigsten Lücken in der Erfassung lokaler ingenieurseismologischer Parameter und deren Umsetzung in Bemessungsgrössen für die Schweiz zu schliessen.

Nachfolgend werden anhand einer Starkbebenaufzeichnung aus dem Wallis die oben besprochenen Parameter

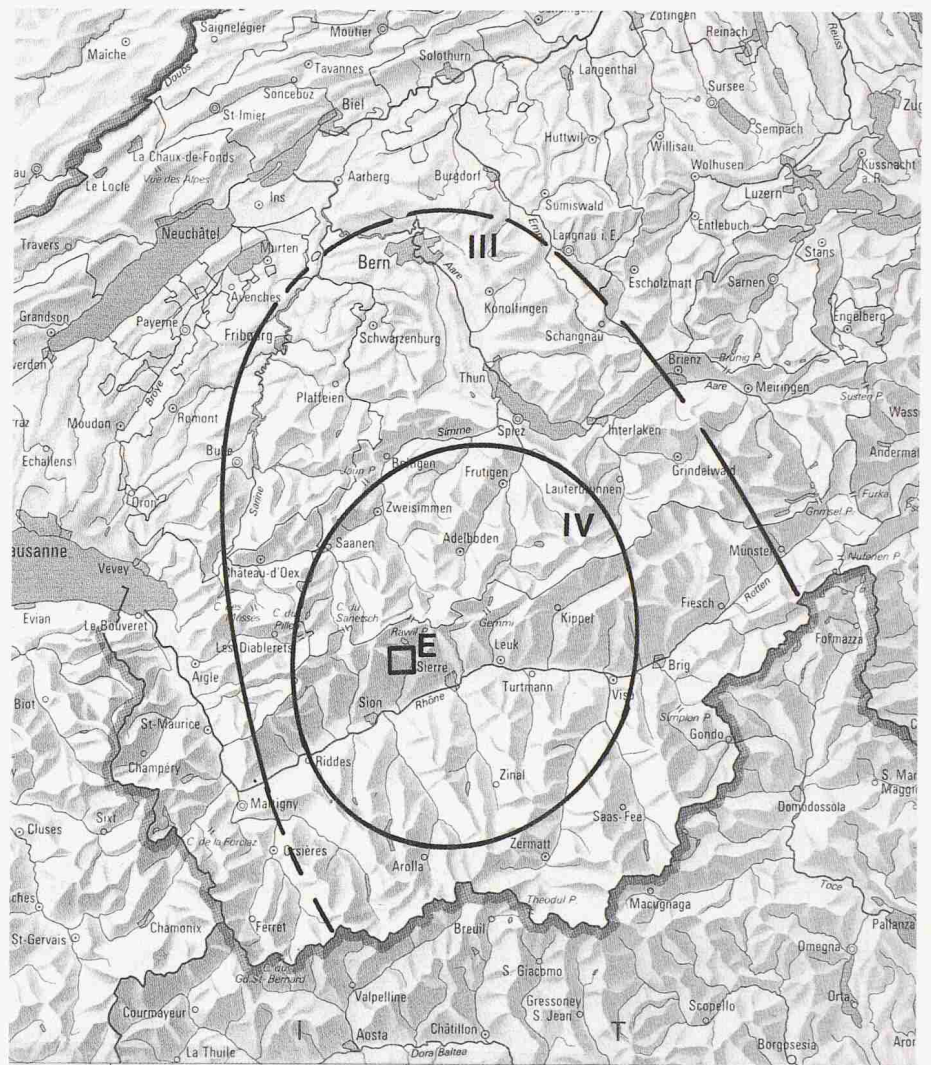


Bild 5. Isoseistenkarte (Linie gleicher Intensität) des Bebens vom 30. September 1989, E = Epizentrum. (Reproduziert mit Bewilligung des Bundesamtes für Landestopographie vom 8.10.1990)

ermittelt und diskutiert. Vorgängig wird die seismische Situation des Kantons Valais kurz vorgestellt.

### Seismizität und seismische Gefährdung im Wallis

Der zentrale Teil des Wallis um Sion-Sierre ist in diesem Jahrhundert ohne Zweifel das seismisch aktivste Gebiet der Schweiz. Verglichen mit anderen europäischen Ländern wie Italien und Griechenland kann das Gebiet als mittelmässig gefährdet eingestuft werden. Das grösste Beben in diesem Jahrhundert in der Schweiz ist am 25. Januar 1946 aufgetreten und hat in Sion-Sierre direkte Schäden in Höhe von etwa 5 Millionen Franken (Preisbasis 1946) verursacht. Die Auswirkungen im Epizentralgebiet dieses Bebens können in der Intensitätsskala (MSK-Skala) mit VIII eingestuft werden. Die Magnitude (= Stärke in der Richterskala) betrug etwa  $M = 5,5$ . Seit 1946 bis heute sind immer wieder – allerdings schwächere

– Beben in diesem Gebiet verspürt worden.

In Bild 3 sind die lokalisierten Erdbeben der letzten 10 Jahre in einem Fenster von etwa  $40 \times 40$  km dargestellt. Darin zeigt sich deutlich eine Häufung von Bebenherden in Ost-West-Richtung zwischen der Rhone und etwa der Linie Sanetsch–Rawil. Obwohl das Beben von 1946 mangels guter Daten nicht genau lokalisiert werden konnte, muss doch nach heutiger Kenntnis angenommen werden, dass der Herd in dieser Zone lag. Mehrere deutlich sichtbare geologische Verwerfungen entlang dieser Zone sowie die zahlreichen Erdbeben im Tiefenbereich zwischen 1 und 15 km deuten darauf hin, dass es sich hier um eine tiefreichende aktive Bruchzone in der Erdkruste handelt.

Trägt man die Häufigkeit von Erdbeben logarithmisch auf, so ergibt sich der in Bild 4 ersichtliche lineare Zusammenhang. Diese Gesetzmässigkeit ist weltweit beobachtet worden und wird zur Berechnung der Erdbebengefährdung (Eintretenswahrscheinlichkeit



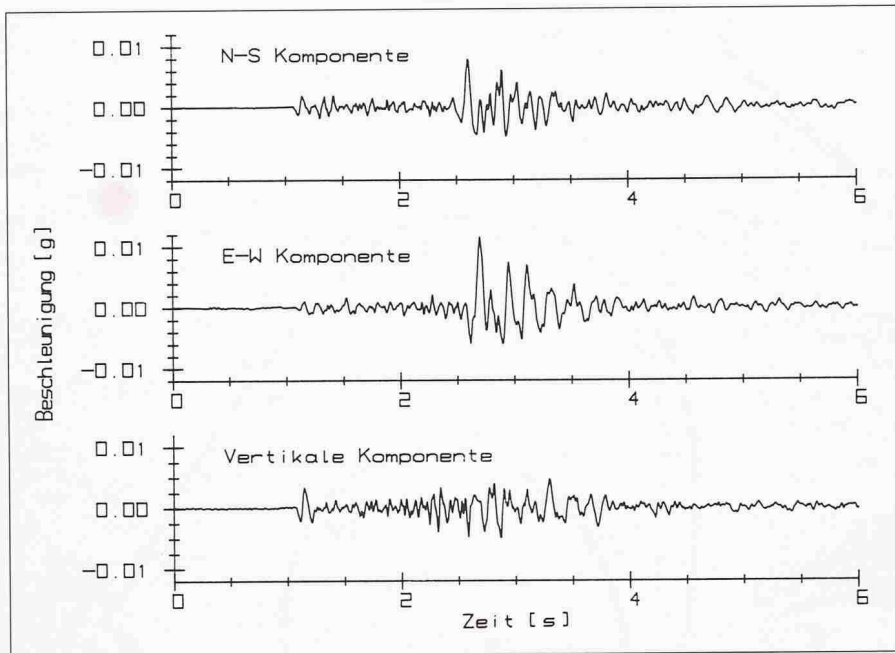


Bild 6. Beschleunigungs-Zeitverlauf des Bebens vom 30.9.1989 ( $M = 3.8$ ) an der Station in Grimisuat (Epizentraldistanz 6 km).

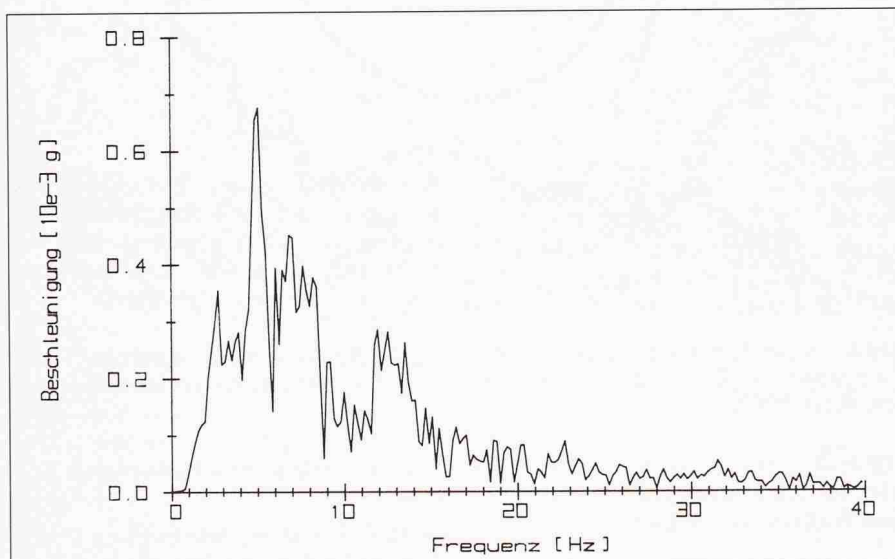


Bild 7. Fourier-Amplituden-Spektrum der Ost-West-Komponente des Bebens von Bild 6.

von Erschütterungen) in einem Gebiet herangezogen.

Nach dieser Grafik tritt ein Erdbeben mit der Magnitude 5,5 (wie 1946) im Mittel etwa alle 50 Jahre mindestens einmal auf, kleinere Erdbeben dagegen wesentlich häufiger. So ist ein Erdbeben mit Magnitude 3, das zwar deutlich gespürt wird, aber noch keine Schäden hervorruft, etwa 4mal pro Jahr zu erwarten. Das Auftreten von Erdbeben erfolgt allerdings nicht gleichmässig mit der Zeit, sondern unterliegt oft starken Schwankungen. Im Wallis gab es Zeitperioden, die wesentlich aktiver waren, als im Mittel aus der Graphik zu entnehmen ist. Dies gilt vor allem für die Zeit um und nach der Jahrhundertwende. Nach etwa 1960 hat die Aktivität stark abgenommen und beträgt heute nur etwa die Hälfte des langzeitlichen Mittelwertes.

### Das Beben vom 30.9. 1989: Erste ingenieurseismologische Auswertungen

#### Seismologische Daten

Zwischen dem 27. September und dem 2. Oktober 1989 trat bei Montana eine kleine Erdbebenserie auf, die am 30. September mit einem Beben der Magnitude 3,8 ihren Höhepunkt erreichte. Registriert wurde ein schwaches Vorbeben mit Magnitude  $M = 1,6$  sowie drei Nachbeben mit Magnitude  $M = 2,2$ ,  $1,6$  und  $1,5$ . Letztmals hat am 7. Januar 1989 ein Beben mit der Stärke  $M = 3,8$  stattgefunden.

Die räumlichen Auswirkungen des Hauptbebens am 30. September 1989 wurden mit den üblichen Fragebogen des Schweizerischen Erdbebendienstes ermittelt. Danach ist im Epizentralgebiet um Montana die Intensität IV-V aufgetreten. Bild 5 zeigt die Verteilung der beobachteten Intensitäten in einer sogenannten Isoseistenkarte. Dies sind Linien, die Gebiete mit einer bestimmten Intensität einschliessen. Nach den vorläufigen Auswertungen können die Linien für Intensität IV und III mit einiger Sicherheit festgelegt werden. Darüber hinaus wurde das Beben vereinzelt sogar bis Genf, Neuenburg und Zürich verspürt, und zwar überwiegend in oberen Stockwerken von Gebäuden.

Alle 22 Stationen des Schweizerischen Erdbebendienstes haben dieses Erdbeben sehr deutlich registriert, wobei allerdings die nächstliegenden Seismometer bis etwa 50 km Distanz (Stationen Sion, Dixence, Mattmark und Emosson) aus technischen Gründen übersteuert waren und die maximalen Amplituden nicht aufzeichneten. Eine

#### Literatur

- [1] Sägesser, R. und Mayer-Rosa, D.: «Erdbebengefährdung in der Schweiz», Schweiz. Bauzeitung (SBZ), Heft 7, 1978.
- [2] B. Porro, A. Schraft: «Investigation of Insured Earthquake Damage». Natural Hazards 2, p. 173-184, 1989.
- [3] Basler & Hofmann: «Erdbeben-Bemessungsspektren für schweizerische Kernanlagen». Schlussbericht für die Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen, April 1984.
- [4] A. Ziegler: «Bemessungsgrundlagen für Stauanlagen im schweizerischen Alpenraum». Mitteilung Nr. 130 des Institutes für Grundbau und Bodenmechanik, ETH Zürich, 1985.
- [5] SIA: «Einwirkungen auf Tragwerke». SIA-Norm 160, Ausgabe 1989.
- [6] SIA: «Die Erdbebenbestimmungen der Norm SIA 160». Dokumentation zur Studientagung der SGEB vom 27. Oktober 1989 in Zürich, SIA-Dokumentation D 044.
- [7] Berger, E., Rast, B., Baumgartner, G.: «Umsetzung der seismischen und geologisch-tektonischen Erkenntnisse in Erdbeben-Bemessungsgrößen für den Ingenieur». Vortrag gehalten am Symposium «Erdbeben - Risikofassung, Schadenminderung, Hilfe» in Brig, 7.-10. April 1986.
- [8] Tinic S., Langer V.: «Evaluation of Effects of the Mühlhausen Earthquake of 15.7. 1980 on the Nuclear Power Plant Beznau, Switzerland». Proceedings of Ninth World Conference on Earthquake Engineering, Tokyo, Volume VI, p. 793-798, 1988.



vollständige Auswertung dieser Signale im Nahbereich des Bebenherdes ist daher nicht möglich.

### Ingenieurseismologische Auswertung

Das Starkbebengerät in Grimisuat wurde durch das Hauptbeben am 30.9. 1989 gestartet und hat die maximalen Bodenbeschleunigungen vollständig aufgezeichnet. Die Distanz zwischen Station und Epizentrum beträgt ca. 6 km, die Herdtiefe lag bei 6 km, und die Intensität am Mess-Standort hat IV erreicht. Das Beben war somit für einen grossen Teil der Bevölkerung in den Gebäuden gut wahrnehmbar. Bild 6 zeigt den Beschleunigungs-Zeitverlauf der drei Aufzeichnungskomponenten (Nord-Süd, Ost-West, vertikal). Die Maximalbeschleunigungen liegen bei 0,5 bis 1,2% g (= 5–12 cm/s<sup>2</sup>). Die grössten Ausschläge wurden an der Ost-West-Komponente gemessen. Die maximalen Bodengeschwindigkeiten liegen bei 2,5 mm/s und die maximalen Bodenverschiebungen bei ca. 0,2 mm. Die repräsentative Signaldauer beträgt 3–4 s, wobei die stärksten Amplituden innerhalb einer Sekunde erfolgen.

Bild 7 zeigt als Beispiel das Fourier-Amplituden-Spektrum der Ost-West-Komponente. Für die ingenieurseismologische Auswertung stehen die Frequenzen bis ca. 30 Hz im Vordergrund. Die stärksten Frequenzanteile liegen zwischen 3 und 8 Hz sowie zwischen 12 und 15 Hz. Darüber erfolgt eine kontinuierliche Abnahme bis über 30 Hz. Dieser Frequenzverlauf ist typisch für eine herdnahe Aufzeichnung eines mittelstarken Bebens. Tiefe Frequenzen (unter 2 Hz) werden dabei nicht stark angeregt. Da die Station Grimisuat zudem auf Fels steht, ist eine baugrundbedingte Verstärkung tiefer Frequenzen ebenfalls nicht zu erwarten.

### Verhaltensspektren

Mit den an der Station Grimisuat aufgezeichneten Bodenbeschleunigungswerten wurden die Verhaltensspektren berechnet. Die dabei erhaltenen Spektralwerte erreichen je nach Komponente 6–10% der SIA-Bemessungswerte für die Gefährdungzone 3a [5]. Bezüglich der Stärke lag dieses Beben somit beträchtlich unter dem des SIA-Bemessungsbebens.

Um die Form der Bemessungsspektren mit den errechneten Verhaltensspektren zu vergleichen, wurden die SIA-Bemessungsspektren für die Region Sion (Gefährdungzone 3a) auf die drei richtungsbezogenen gemessenen Starrkörperbeschleunigungen des Bebens (grösser 33 Hz) skaliert. Bild 8 zeigt die Verhaltensspektren mit 5% Dämpfung.

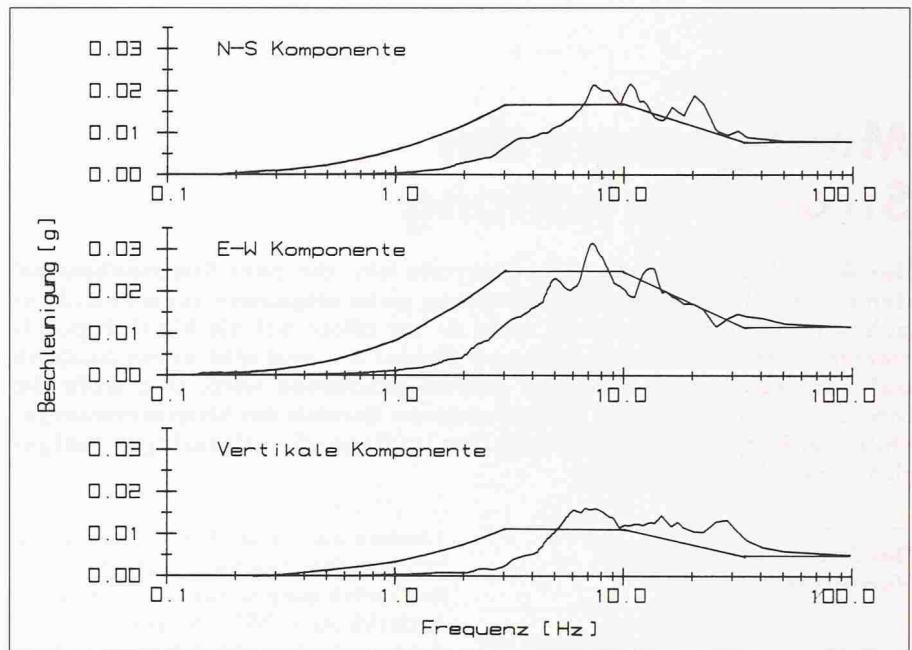


Bild 8. Verhaltensspektren des Bebens vom 30.9.1989 bei 5% Dämpfung. Vergleichend dargestellt sind die auf die Starrkörperbeschleunigung normierten SIA-Spektren der Region Sion (Zone 3a).

Bei der Interpretation ist zu berücksichtigen, dass es sich bei Bemessungsspektren um Mittelwertbildungen aus einer ganzen Reihe von Aufzeichnungen handelt, während das Verhaltensspektrum eine Einzelmessung repräsentiert. Das Bemessungsspektrum zeigt gegenüber dem Verhaltensspektrum einen höheren Anteil an Frequenzen unter 5 Hz. Dies ist damit erklärbar, dass das Bemessungsspektrum weitgehend auf Signalverläufen von starken Beben basiert, welche vermehrt tiefere Frequenzen anregen als ein Beben mit einer Magnitude von 3,8.

Die Frequenzanteile zwischen 5 Hz und 20–30 Hz sind beim Verhaltensspektrum dominierend, während sie bei den Bemessungsspektren deutlich abnehmen. Dies hängt damit zusammen, dass für deren Ermittlung weitgehend Signale verwendet wurden, bei denen die Distanz zwischen Erdbebenherd und Messstation grösser sind als im Wallis. Bei weiter entfernten Gebieten werden die hochfrequenten Signalanteile auf dem Weg im Untergrund stärker gedämpft, so dass sie anteilmässig an der Energie der seismischen Welle zurückfallen. Ob im Wallis, wo häufiger kurze Epizentraldistanzen vorkommen, generell damit gerechnet werden muss, dass grössere Anteile an hochfrequenten Signalen vorkommen, müssen weitere Messungen erweisen. Abweichendes Verhalten gegenüber den Bemessungsspektren könnte auch im Bereich von weichen Lockergesteinen auftreten, wo oft Aufschaukelungen von tiefen Frequenzen beobachtet werden.

### Schlussfolgerungen

Zur Festlegung von Erdbebenbemessungsgrössen für die Baustrukturen ist man in der Schweiz vorerst noch fast vollständig auf ausländische Daten aus seismisch aktiven Gebieten angewiesen. Für die Erdbebenbemessungsgrössen in der aktuellen Einwirkungsnorm SIA 160 stellt sich die Frage, wie zutreffend sie die lokal vorhandene Gefährdung wiedergibt. Standortsspezifische Abweichungen vom Bemessungsspektrum der Norm, welche sich sowohl konservativ wie optimistisch auswirken, können als Folge spezifisch gewichteter Einflüsse auftreten. Um diese Einflüsse zu quantifizieren und die Bemessungsspektren auf wirkliche, aus dem Gebiet stammende Felddaten abzustützen, kommt dem geplanten Starkbebennetz eine wichtige Bedeutung zu. Die vorgesehenen etwa 30 verschiedenen Standorte in der Schweiz decken die minimalen Anforderungen an die Datenerfassung ab. Für die Beantwortung wichtiger Fragen, wie dem Einfluss von unterschiedlichen Untergrundverhältnissen, können daraus lediglich erste Anhaltspunkte gewonnen werden und bedürfen somit noch weitergehender Messanstrengungen.

Adressen der Verfasser: Dr. sc. nat. J.-C. Griesser, dipl. sc. nat. ETH, und P. Zwicky, dipl. Bauing. ETH, Basler & Hofmann AG, Ingenieure und Planer SIA/ASIC, Forchstrasse 395, 8029 Zürich; Dr. D. Mayer-Rosa, dipl. Phys., Schweizerischer Erdbebendienst, ETH Höggerberg, 8093 Zürich.