

# Das nationale Starkbeben-Freifeldnetz

Autor(en): **Griesser, Jean-Claude / Heitzmann, Peter / Smit, Patrick**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria**

Band (Jahr): **85 (1993)**

Heft 11-12

PDF erstellt am: **12.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-940017>

## **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.

## Bibliographie

- [1] Pougatsch, H.: Le réseau sismique national d'accélérographes, «wasser, energie, luft» 85. Jahrgang, Heft 5/6
- [2] Smit, P., Mayer-Rosa, D.: Messnetze für Starkbeben, «STZ 4/1993»
- [3] Griesser, J.-C., Heitzmann, P., Smit P.: «Das nationale Starkbeben-Freifeldnetz», «wasser, energie, luft» 85. Jahrgang, Heft 11/12
- [4] Darbre, G. R., Pougatsch, H.: «L'équipement de barrages dans le cadre du réseau national sismique d'accélérographes», «wasser, energie, luft» 85. Jahrgang, Heft 11/12

Adresses des auteurs: Dr Dieter Mayer-Rosa, Service sismologique suisse (SSS), ETH Höggerberg, CH-8093 Zurich, Daniel Kluge, ingénieur civil EPFZ, Division principale pour la sécurité des installations nucléaires (DPSIN), CH-5232 Villigen-HSK, Henri Pougatsch, ingénieur civil EPFL-SIA, Section des grands barrages, Office fédéral de l'économie des eaux (OFEE), Case postale, CH-3001 Berne.

# Das nationale Starkbeben-Freifeldnetz

Jean-Claude Griesser, Peter Heitzmann, Patrick Smit

für die Arbeitsgruppe  
«Nationales Starkbebennetz der Schweiz»

## Résumé: Le réseau national d'accélérographes à mesurer de fortes intensités

Dans le cadre du «réseau national d'accélérographes de la Suisse», un réseau extérieur comprenant 34 stations a été installé en vue de déterminer les caractéristiques des mouvements locaux du sol lors de tremblements de terre de forte intensité. Les stations ont été principalement placées dans les régions potentiellement sismiques et réparties sur l'ensemble de la Suisse dans le but de déterminer les lois d'atténuation. Les appareils fonctionnent d'une manière autonome et les données sont enregistrées sur des cartouches mémoires. Les premières enregistrements ont montré un bon fonctionnement du réseau.

## Abstract: The Swiss national strong-motion network

In the framework of the "Swiss national strong-motion network" a free-field network including 34 stations was installed to determine the characteristics of soil movements during a strong earthquake. The stations are concentrated in the zones with potential seismic activity and distributed over the whole area of Switzerland to get information about attenuation relationships. The instruments operate autonomously and the data are stored on cards. First records demonstrate a satisfactory operating of the network.

## 1. Einleitung

Um über die Erdbebengefährdung in der Schweiz genauere Aussagen als bisher machen zu können, ist es notwendig die Bodenbeschleunigung von starken Erdbeben in der Schweiz und den angrenzenden Gebieten an möglichst vielen Orten ungestört aufzuzeichnen. Das zu diesem

Zweck neu geschaffene Freifeldnetz als Teil des «Nationalen Starkbebennetzes der Schweiz» [1, 2] – ein Messnetz mit landesweit verteilten Bodenbeschleunigungs-Messstationen – hat folgende Hauptaufgaben zu erfüllen:

- Bestimmung wichtiger Eigenschaften der lokalen Bodenbewegung eines Starkbebens (Amplitudenverteilung und Frequenzinhalt der Bodenbeschleunigung sowie Dauer) an möglichst vielen Standorten in der Schweiz,
- Bestimmung des Abminderungsverhaltens der Beschleunigung zwischen seismisch aktiven Zonen und einem Bauwerksstandort,
- Untersuchung des Einflusses der lokalen geologischen Bodenverhältnisse auf die gemessenen Grössen in einzelnen ausgewählten Gebieten.

## 2. Die Evaluation der Messstationen

Die Messstationen wurden 1991 in mehreren Arbeitsschritten ausgewählt. Zuerst wurde aufgrund von ingenieurseismologischen und geologischen Kriterien eine erste Auswahl möglicher Standorte erstellt, die sich für eine Aufnahme von Starkbebenstationen eignen könnten. Parallel dazu mussten Gebäudetypen definiert werden, die für die Installation von Starkbeben-Messgeräten geeignet sind. Hierauf wurden die potentiellen Standorte in den einzelnen Gemeinden besichtigt. Zuletzt wurden, basierend auf den in den einzelnen Schritten erarbeiteten Grundlagen, die zu instrumentierenden Stationen ausgewählt.

### 2.1 Erste Auswahl möglicher Standorte

Die oben definierten Ziele für das nationale Freifeldnetz führen zu folgenden Kriterien für die Auswahl möglicher Standortgemeinden:

- Um eine grosse Anzahl von Aufzeichnungen zu erhalten, werden die seismisch aktivsten Gebiete der Schweiz bevorzugt instrumentiert.
- Eine möglichst regelmässige Geräteverteilung über die gesamte Schweiz ermöglicht, die Abminderungsbeziehungen der Bodenbeschleunigung zu überprüfen.
- Die geologischen Verhältnisse der instrumentierten Stationen sollen für die Siedlungsgebiete der Schweiz repräsentativ sein. Es sollen dabei Stationen instrumentiert werden, die direkt auf gewachsenem Fels stehen (sog. Felsstandorte), wie auch solche auf geologisch jungem, wenig konsolidiertem Untergrund (sog. Lockergesteinsstandorte). Diese Art von Untergrund neigt dazu, im Gegensatz zu anstehendem Fels, seismische Bodenbewegungen in bestimmten Frequenzbereichen zu verstärken, was lokal zu einer höheren seismischen Gefährdung führen kann. Lockergesteinsstandorte finden sich in der Schweiz unter anderem im Bereich der stark besiedelten grossen Talfüllungen, wie dem Rhone- und Rheintal, und im Bereich von Seeufnern.
- Der Einfluss von kleinräumigen Änderungen von Fels- und Lockergesteinsverhältnissen und die damit verbundene Änderung der seismischen Gefährdung sollen an einigen geeigneten Standorten durch eine enge Gruppierung von Stationen untersucht werden.

Auf der Basis der vorhandenen seismologischen und geologischen Informationen wurden im Laufe der Projektierung des Netzes 43 mögliche Standorte für Starkbebengeräte ausgewählt. Sie verteilten sich auf folgende Regionen: Basel (5 Standorte), Nordostschweiz (4), Innerschweiz (3), St. Galler Rheintal (5), Churer Rheintal (2), übriger Kanton Graubünden (6), Neuenburg (2), Bern (1), Berner Oberland (2), Wallis (11), Genf (1), Tessin (1). Später wurden noch zwei zusätzliche Standorte in Buchs (SG) und Tseu-

zier in die Evaluation einbezogen. Die Standorte wurden so ausgewählt, dass in jeder instrumentierten Region mindestens ein Felsstandort oder ein Lockergesteinsstandort mit gut konsolidiertem Untergrund vorhanden ist. Im St. Galler Rheintal bei Buchs und im Mittelwallis bei Sion wurden die Stationen so gruppiert, dass Profile über das Rhein- resp. das Rhonetal entstanden.

## 2.2 Anforderungen an die Stationsgebäude

Bereits bei Projektbeginn wurde davon ausgegangen, dass die Geräte, aus finanziellen und logistischen Gründen, in bestehenden Gebäuden installiert werden sollen. Im Vordergrund standen dabei Gebäude von Behörden und von öffentlichen oder grossen privaten Unternehmen. Bei diesen Gebäudebesitzern kann in der Regel davon ausgegangen werden, dass der Betrieb der Messstationen langfristig gewährleistet ist.

Bei der Wahl möglicher Gebäudetypen muss darauf geachtet werden, dass das Bauwerk selbst die registrierten Erdbebensignale möglichst wenig beeinflusst. Diese sogenannte Boden-Struktur-Interaktion stellte deshalb ein wichtiges Beurteilungskriterium für die Auswahl der Gebäude dar.

Aufgrund von Instrumentierungserfahrungen aus anderen Ländern sowie der Kenntnis über das Schwingungsverhalten von Bauwerken wurden Kriterien definiert, um wichtige Gebäudetypen bezüglich ihres Schwingungsverhaltens in Fels und Lockergestein zu beurteilen.

Ideale bis gute Gebäudetypen sind:

- 1stöckiges, kleines, nicht unterkellertes Gebäude,
- 1- bis 2stöckiges Gebäude, ohne Keller, leichte aber steife Bauart, Streifenfundation,
- höchstens 2stöckiges Gebäude ohne Keller mit nicht zu steifem und grossflächigem Fundament (ideal für Fels, gut für Lockergestein),
- nicht zu tiefer Schacht (0,5 bis 2 m tief).

Gute bis mässig geeignete Gebäudetypen sind:

- 2- bis 3stöckige Gebäude mit einem massiven Kellergeschoss (gut für Fels, mässig geeignet für Lockergestein),
- 2- bis 3stöckige Gebäude über Terrain, grossflächige, flexible Bauweise mit einem Kellergeschoss (geeignet für Fels, ungeeignet für Lockergestein),

Ungeeignete Gebäudetypen sind z. B.:

- Gebäude mit mehreren Kellergeschossen,
- schlanke, hohe Gebäude,
- grossflächige mehrgeschossige Gebäude mit steifem Fundament,
- Gebäude mit stark asymmetrischem Grundriss.

Aufgrund dieser Resultate und einer Beurteilung häufiger Gebäudetypen in der Schweiz wurden freistehende Transformatorstationen als besonders geeignet angesehen. Folgende Gründe sprachen für diesen Gebäudetyp:

- Die Boden-Struktur-Interaktion dürfte durch die Geometrie und die Bauart minimal sein (1geschossig, oberflächliches Fundament, kleine Dimensionen).
- Transformatorstationen sind in jeder Gemeinde, oft in ähnlicher Bauweise, zu finden. Dadurch kann eine gewisse Standardisierung der Freifeld-Standorte bezüglich ihrer Boden-Struktur-Interaktion erreicht werden.
- Stromversorgung, Blitz- und Überspannungsschutz sind gewährleistet.
- Garantie eines langfristigen Benützungsrechtes.

Um einen möglichen Einfluss der durch die elektrischen Installationen verursachten elektromagnetischen Felder auf die Starkbebengeräte zu prüfen, konnten in der Gemeinde Ermatingen zwei Transformatorstationen und eine Messstation des Kantons im September 1991 für zwei Wochen mit Starkbebengeräten ausgerüstet werden. Die Versuche wurden in Zusammenarbeit mit dem Elektrizitätswerk Ermatingen durchgeführt. Die Abklärungen ergaben keinerlei Beeinflussung der Geräte oder der Aufzeichnungen. Sowohl beim Dauerbetrieb als auch bei den Schaltversuchen, bei denen die Transformatoren vom Netz ab- und zugeschaltet wurden, konnte keine Fehlfunktionen und auch keine Störsignale festgestellt werden.

Induktionsmessungen zeigten, dass der Einfluss der Induktion bereits in einer Distanz von 2 m von den Kabeln vernachlässigt werden kann.

Bezugnehmend auf die oben beschriebenen Kriterien und Untersuchungsergebnisse können freistehende Transformatorstationen somit als geeignete Standortgebäude angesehen werden.

## 2.3 Evaluation der Stationen

Die Evaluation der Stationen begann im Frühsommer 1991 mit einer schriftlichen Anfrage an die potentiellen Stationsgemeinden. Dabei wurde die prinzipielle Bereitschaft für die Übernahme einer Station erkundet und zugleich versucht, erste mögliche Standortobjekte zu bestimmen. Als Standortobjekte kamen nicht nur Transformatorgebäude in Frage.

Folgende Anforderungen an die Stationen wurden definiert:

- Das Stationsgebäude hat maximal drei Stockwerke über Terrain und höchstens ein Kellergeschoss.
- Die Zugänglichkeit muss ganzjährig gewährleistet sein,
- Der vorgesehene Standortraum muss ein Betonfundament haben.
- Ein Netzanschluss sollte vorhanden sein oder einfach durchgeführt werden können.
- Gewährleistung einer möglichst unverzerrten Aufzeichnung im Frequenzbereich von 0,4–25 Hz (minimale Boden-Struktur-Interaktion).
- Bodenunruhe unter 0,0001g.
- Die lokalen geologischen Verhältnisse sollten, zumindest generell, bekannt und dokumentiert sein.
- Der Aufstellungsstandort hat den Geräten Schutz vor Beschädigung zu bieten (auch im Erdbebenfall).
- Es steht eine Person zur Kontrolle der Geräte zur Verfügung.

Die Reaktionen auf die Anfragen waren überwiegend positiv. Nach dieser ersten Kontaktnahme wurden 40 Gemeinden in die Evaluation miteinbezogen. Sie wurden in der Zeit zwischen August und Dezember 1991 besucht. Im Zentrum stand dabei die Besichtigung möglicher Standortgebäude. Um eine einheitliche Beurteilung der Gebäude durchführen zu können, wurde eine Checkliste für Freifeld-Standorte entwickelt. Folgende Informationen wurden dabei erfasst:

- generelle Standortinformationen,
- geologische und topographische Situation,
- Gebäudeinformationen,
- Informationen zum Standortraum,
- vorhandene Infrastruktur,
- Information zur Gerätebetreuung,
- notwendige Bauten und Installationen.

Tabelle 1. Charakteristika der Freifeldstationen: Name, SED-Code, Koordinaten, lokaler Untergrund und Gebäudetyp.

Station	Code	Koordinaten		Untergrund	Gebäudetyp
Ayent-Fortunoz	SAYF	46.289N	7.418E	Fels *	Trafostation
Basel-Tropenhaus	SBAT	47.560N	7.583E	Lockergestein	Gewächshaus
Bergün-Toua	SBET	46.594N	9.762E	Fels	Trafostation
Beringen-Armbruststand	SBEA	47.700N	8.597E	Fels	Schützenhaus
Bettingen-Gewerbehaus	SBEG	47.572N	7.666E	Fels	Gewerbe-Wohnhaus
Binningen-Sternwarte (SED)	SBIS	47.543N	7.583E	Lockergestein	Sternwarte
Birsfelden-Friedhof	SBIF	47.556N	7.629E	Lockergestein	Friedhofsgebäude
Brig-Glis Dorf	SBRG	46.312N	7.978E	Lockergestein	Trafostation
Brione-Banca Raiffeisen	SBRR	46.299N	8.792E	Fels	Gewerbehaus
Buchs-Altendorf	SBUA	47.160N	9.470E	Lockergestein	Trafostation
Buchs-Gewerbestrasse	SBUG	47.175N	9.482E	Lockergestein	Trafostation
Buchs-Malbun	SBUM	47.147N	9.435E	Fels	Trafostation
Chur-Tittwiesenstrasse	SCUT	46.861N	9.527E	Lockergestein	Trafostation
Davos-Am Stein	SDAS	46.803N	9.830E	Fels	Trafostation
Felsberg-Altendorf	SFEA	46.847N	9.473E	Fels *	Trafostation
Gams-Gasenzen	SGAG	47.212N	9.451E	Lockergestein	Trafostation
Genf-Marziano	SGEM	46.194N	6.131E	Lockergestein	Trafostation
Kerns-Hobiel	SKEH	46.904N	8.273E	Fels	Trafostation
Laupen-Eigerweg	SLAE	46.901N	7.242E	Lockergestein	Trafostation
Martigny-Verdan	SMAV	46.101N	7.089E	Lockergestein	Trafostation
Sachseln-Widi	SACW	46.861N	8.218E	Lockergestein	Trafostation
Salins-Turin	SALT	46.219N	7.365E	Fels	Trafostation
Sarnen-Gewerbezentrum	SARG	46.900N	8.252E	Lockergestein	Trafostation
Schaffhausen-Tanscherhalde	SCHT	47.713N	8.655E	Lockergestein	Trafostation
Schweizerhalle-Ciba Geigy	SCHC	47.534N	7.669E	Lockergestein *	Trafostation
Scuol-Clozza	SCUC	46.799N	10.305E	Fels *	Trafostation
Sion-Mayennets	SIOM	46.230N	7.363E	Lockergestein	Trafostation
Sion-Valère	SIOV	46.236N	7.365E	Fels	Trafostation
Stalden-Merjen	STAM	46.229N	7.863E	Fels	Trafostation
St-Maurice-Reservoir	SMAR	46.209N	6.991E	Fels	Reservoir
Tseuzier	STSW	46.346N	7.433E	Fels	Stollen
Vaz-Muldain	SVAM	46.695N	9.527E	Lockergestein *	Trafostation
Yverdon-Jordils	SYVJ	46.778N	6.638E	Lockergestein	Trafostation
Zernez-PTT Mehrzweckanlage	SZEM	46.701N	10.102E	Fels	Mehrzweckanlage
Zürich-Hönggerberg (SED)	SZUH	47.409N	8.512E	Lockergestein	Hochhaus
Zweisimmen-Dorf	SZWD	46.554N	7.372E	Lockergestein	Trafostation

\* genaue geologische Abklärung noch erforderlich

Pro Gemeinde wurden mindestens drei mögliche Gebäude besichtigt und gemäss Checkliste erfasst. Zusätzlich wurden die Bodenunruhe und die Empfangsqualität für den Langwellen-Zeitzeichen-Empfänger (DCF-77) getestet. Im Falle von Transformatorstationen wurden zudem Zonen mit geringer Induktion ermittelt.

Auf der Basis dieser Informationen wurden schliesslich 34 Standorte für eine Installation ausgewählt. Tabelle 1 enthält eine Zusammenstellung dieser Standorte; ihre geographische Verteilung ist aus Bild 1 ersichtlich. 25 Stationen befinden sich in Transformatorstationen (Bild 2), die restlichen 9 in anderen geeigneten Gebäudetypen. Aufgrund der heute verfügbaren Informationen steht je die Hälfte der Stationen auf Lockergestein und auf Fels. Bei einigen Stationen sind aber noch zusätzliche geologische Abklärungen notwendig, um eine definitive Zuordnung vornehmen zu können.

### 3. Die Instrumentierung des Freifeldnetzes

#### 3.1 Das Starkbebengerät des Freifeldnetzes

Es ist weltweit üblich, dass für Aufgaben, wie sie oben beschrieben sind, im Vergleich zu Seismographen sehr viel weniger empfindliche und aufwendige Beschleunigungsmessgeräte eingesetzt werden. Diese erfassen an jedem Standort die Bodenbeschleunigung in zwei zueinander senkrecht stehenden horizontalen sowie in der vertikalen

Achse und speichern die Daten in digitaler Form für die spätere Auswertung. Da die Aufzeichnung und Abspeicherung immer nur beim Eintreten eines Ereignisses ausgelöst wird, muss der Zuverlässigkeit des Betriebes eine sehr hohe Priorität beigemessen werden. Um die Betriebs- und Unterhaltskosten möglichst niedrig zu halten, musste zudem eine einfache, effiziente Datenspeicherung gefunden werden, die es erlaubt, die Daten ohne grossen zeitlichen Aufwand auszutauschen. Weiterhin muss gewährleistet sein, dass die Auswertung der Daten nach ingenieureisemologischen Kriterien und gemäss internationalen Massstäben möglich ist. Dies kann erreicht werden, indem alle relevanten Parameter des Gerätes bei jedem Ereignis mit aufgezeichnet werden.

Bei der Auswahl des Gerätes für das nationale Starkbeben-Freifeldnetz erwiesen sich die im Laufe der Jahre beim Erdbebendienst erworbenen Erfahrungen beim Betrieb von Starkbeben-Messnetzen in Armenien, Georgien und der Türkei als besonders wertvoll. Im weiteren wurden mit verschiedenen Laborversuchen und Testmessungen unter realistischen Umweltbedingungen die zur Auswahl stehenden Starkbebengeräte unter besonderer Berücksichtigung der oben erwähnten Gesichtspunkte geprüft und gemeinsam mit den Herstellern verbessert. Nach Abschluss dieser Versuche steht mit dem nun eingesetzten Instrument Smach-SM2 der Firma SIG AG in Lausanne ein Gerät zur Verfügung, das einen zuverlässigen und kostengünstigen Betrieb gewährleistet.



Bild 1. Nationales Starkbebennetz der Schweiz: Freifeldstationen und instrumentierte Anlagen (mit Anzahl der installierten Stationen).

Jede Freifeldstation besteht grundsätzlich aus folgenden Komponenten (Bild 3):

- einem Sensor als Umformer der Bodenbewegung in eine elektrische Spannung. Die Sensoren für die drei Achsen bestehen je aus einem Masse-Federsystem mit einer Eigenfrequenz von 10 Hz und einem Dämpfungsgrad von 67%, die dank einer speziellen Elektronik eine verzerrungsfreie Aufzeichnung der Beschleunigung der Bodenbewegung im Frequenzbereich zwischen 0,2 Hz und 80 Hz ermöglichen,
- einem Aufzeichnungsgerät, in dem die gesamte Stromversorgung, eine Verstärker- und Filterstufe für jeden Aufzeichnungskanal, ein Analog-Digital-Wandler, eine Speicher- und eine Überwachungseinheit untergebracht sind.

Es ist geplant, ausgewählte Stationen zusätzlich auszurüsten, und zwar mit:

- Empfänger für Zeitzeichen (DCF-77 oder GPS),
- Modem oder Natel C (entsprechende Abklärungen sind noch im Gange).

Da die zu erwartenden maximalen Bodenbeschleunigungen in der Schweiz regional stark variieren, muss der Messbereich des Sensors und damit der Dynamikumfang des Messsystems an jedem Standort optimal eingestellt werden. Der Messbereich der Sensoren, die Abtastrate des Analog-Digital-Wandlers sowie die obere Grenzfrequenz der Filterstufen können beim verwendeten Starkbebenegerät ohne grossen Aufwand entsprechend den Bedürfnissen am Messort angepasst werden (Tabelle 2).

Sobald die Bodenbeschleunigung einen programmierten Schwellenwert überschreitet, wird das Speichersystem aktiviert und die Bodenbewegung aufgezeichnet. Da die Ersteinsätze eines Starkbebens häufig zu schwach sind, um das Messsystem rechtzeitig zu aktivieren, werden die Messdaten nach der Ereigniserkennung zuerst in einen Zwischenspeicher abgelegt. Die Bodenbewegung vor dem Zeitpunkt der eigentlichen Triggerung wird ebenfalls aufgezeichnet. Die Grösse dieses Zwischenspeichers und die zeitliche Verlängerung der Aufzeichnung nach Unterschreiten des Schwellenwertes kann ebenfalls programmiert werden. Als Datenträger werden sogenannte Speicherkarten mit einer Kapazität von 256 kB verwendet. Um die Speicherkapazität des Datenträgers optimal auszunutzen zu können, werden die Messdaten komprimiert und nach dem Multiplexverfahren gespeichert. Die Kapazität der verwendeten Speicherkarten reicht für eine Daueraufzeichnung von 15 bis 20 Minuten.

Tabelle 2. Technische Spezifikation des Starkbebenegerätes des Freifeldnetzes.

	Freifeld-Typ
Sensor	elektrodynamisch
Eigenfrequenz	10 Hz
Dämpfung	67 %
Kanäle	3
Frequenzbereich	0,2–30 Hz; 0,2–50 Hz
Messbereich	5 % g; 10 % g; 20 % g; 50 % g *
Auflösung	12 bit
Abtastrate	128/s; 256/s
Dynamikbereich	>70 dB
Filter	30 Hz; 50 Hz
Filtertyp	5-Pol Butterworth
Trigger	Amplituden-Schwelle
Datenspeicher	256-kB-Speicherkarte
Selbsttest	System- und Sensortest
Autonomie	ca. 72 h

\* g = Erdbeschleunigung = 9,81 m/s<sup>2</sup>

In programmierbaren Zeitabständen wird eine vollautomatische Selbstdiagnose und Eichung der Sensoren durchgeführt. Die Eichung besteht im wesentlichen aus einem Testsignal, das in die Sensorelektronik eingespielt wird. Durch diesen genau definierten, auf elektronischem Weg herbeigeführten Erschütterungsvorgang wird die seismische Masse des Sensors ausgelenkt. Das daraus resultierende und durch das Aufzeichnungsgerät gespeicherte Signal liefert bei der Auswertung der Testsignale und der Ergebnisse der Selbstdiagnose genaue Angaben über den technischen Zustand des Starkbebenegerätes. Zudem wird der aktuelle Gerätezustand mit Hilfe von zwei Leuchtdioden und einer Flüssigkristallanzeige «visualisiert» und kann ohne zusätzliche Hilfsmittel kontrolliert werden.



Bild 2. Transformatorstation Bergün-Toua. Da diese Station nur im Winter zur Beleuchtung der Schlittelbahn in Betrieb ist, musste zur Sicherstellung der Stromversorgung der Starkbebenstation während des Sommerhalbjahres eine Solaranlage installiert werden.

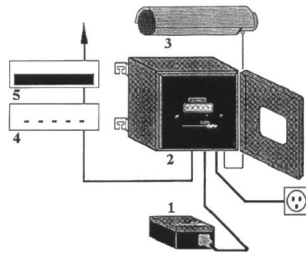


Bild 3. Blockschema einer Starkbebenstation des Freifeldnetzes. 1 Sensor, 2 Aufzeichnungsempfänger, 3 Zeitzeichenempfänger, 4 Modem, 5 Natel C.

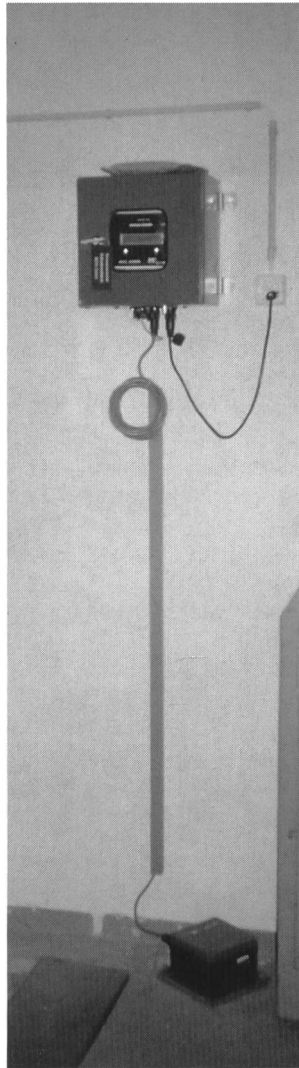


Bild 4. Starkbebengerät in einer Transformatorstation im Industriequartier von Buchs SG.

Um unter allen Witterungsbedingungen einen zuverlässigen und störungsfreien Betrieb zu gewährleisten, wurde die gesamte Elektronik in spritzwasserfeste Aluminiumgehäuse eingebaut. Da die meisten Starkbebengeräte in Transformatorstationen untergebracht sind, ist ein wirksamer Überspannungs- und Störspannungsschutz unerlässlich. Deshalb musste der Sensor zum Fundament des Gebäudes isoliert montiert und mit dem Aufzeichnungsgerät kurzgeschlossen werden. Da die gesamte Elektronik des Starkbebengerätes nur an einem Punkt direkt mit der Gebäudeerde verbunden ist, können Potentialdifferenzen zwischen den Gerätekomponenten praktisch nicht auftreten. Die Stromversorgung erfolgt aus einer gepufferten Akku-Batterie, die aus dem 220-V-Netz ständig geladen wird. Dank der Batterie können Netzausfälle, wie sie nach starken Beben häufig auftreten, überbrückt werden; die Autonomie der Stromversorgung beträgt 72 Stunden.

### 3.2 Installation und Inbetriebnahme

In der Zeit zwischen Mai und August 1992 wurden sämtliche Starkbebengeräte des Freifeldnetzes an den vorgesehenen Standorten installiert. Eine Ausnahme bildete die Station Tsezuzier (STSW), die erst im Oktober 1993 installiert wurde. Bild 4 zeigt das Starkbebengerät in einem Transformatorhaus im Industriequartier von Buchs SG, das auf konsolidiertem Untergrund, aber nicht auf Fels steht. Der Sensor ist auf der Bodenplatte fixiert, während das eigentliche Aufzeichnungsgerät an der Wand montiert

ist. Der Aufstellungsort und die Kabelführungen mussten so gewählt werden, dass mögliche Induktionen durch elektromagnetische Felder der Transformatoren und Hochspannungskabel den Registrierbetrieb nicht beeinträchtigen. Die jeweils eingestellten Instrumentenparameter, namentlich der Messbereich, richten sich nach den zu erwartenden maximalen Bodenbeschleunigungen am Standort, die aus historischen Erfahrungen ermittelt wurden. Die Untersuchung der Abminderung der Bodenbewegung von Starkbeben setzt voraus, dass die Triggerschwellen der Starkbebengeräte möglichst niedrig eingestellt werden. Bei den meisten Stationen wurde deshalb der Schwellenwert bei 0,5 % g (g = Erdbeschleunigung) programmiert.

Anlässlich des Testbetriebes zwischen September 1992 und Februar 1993 wurden die Instrumentenparameter an jeder Station generell empfindlicher eingestellt. Mit Hilfe der während dieses Zeitraumes gewonnenen Daten konnte die zeitliche Änderung der Bodenruhe erfasst und die generelle Standorteignung überprüft werden. Aufgrund der während des Testbetriebes gewonnenen Erfahrungen musste der ursprüngliche Standort in Zweisimmen wegen hoher Bodenruhe zugunsten eines «ruhigeren» Standortes (SZWD) aufgegeben werden. Bei den Stationen Sarnen (SARG) und Martigny (SMAV), die in der Gewerbe- und Industriezone der jeweiligen Standortgemeinden installiert sind, wurden zahlreiche Fehltriggerungen beobachtet, die eindeutig auf die erhöhte Bodenruhe zurückzuführen sind. Die jeweiligen Standorte wurden jedoch aus verschiedenen Gründen beibehalten, die Gefahr von Fehltriggerungen und Datenverlusten konnten dank Anpassung der Triggerschwellen und Erhöhung der Kapazität der Speicherkarten stark reduziert werden. In St.Maurice (SMAR), Brione (SBRG) und Scuol (SCUC) musste mit baulichen Massnahmen die Fundation der Sensoren verbessert werden (Bild 4).

Nach Ablauf der Testphase wurden die noch verbliebenen Installationsarbeiten von den jeweiligen Elektrizitätswerken und dem Erdbebendienst durchgeführt, nämlich:

- Montage einer Dreifach-Steckdose unmittelbar neben dem Starkbebengerät,
- Vorbereitung eines Kabelkanals für das Sensor- und Netzkabel,
- Neuprogrammierung des gesamten Starkbebengerätes,
- Programmierung der Messparameter, die für den Routinebetrieb vorgesehen sind.

Einige Stationen werden zu einem späteren Zeitpunkt zusätzlich mit einem Empfänger für Zeitzeichen (DCF-77 oder GPS) und Modem oder Natel C ausgerüstet. Diese Zusatzgeräte erlauben einerseits eine genaue Erfassung der Laufzeiten registrierter seismischer Wellen, andererseits ist dank der Verbindung via Modem oder Natel C nach einem Erdbeben eine rasche Datenabfrage sowie eine einfache und schnelle Kontrolle des Instrumentes von der Zentrale in Zürich aus gewährleistet. Bei denjenigen Stationen, die nicht mit einem Modem oder Natel C ausgerüstet werden, ist vorgesehen, dass die Speicherelemente halbjährlich vom Personal des zuständigen Vertragspartners (z. B. Elektrizitätswerk) ausgetauscht und dem Erdbebendienst zur Auswertung zugestellt werden. Während der ersten Betriebsjahre wird zusätzlich der technische Zustand des Starkbebengerätes alle drei Monate visuell geprüft.

### 3.3 Registrierungen

Bereits im Verlauf des ersten Betriebsjahres wurden mehrere Erdbeben mit Epizentren im Sankt Galler Rheintal, im Voralberg, in Norditalien und in der Nord- und Zentral-

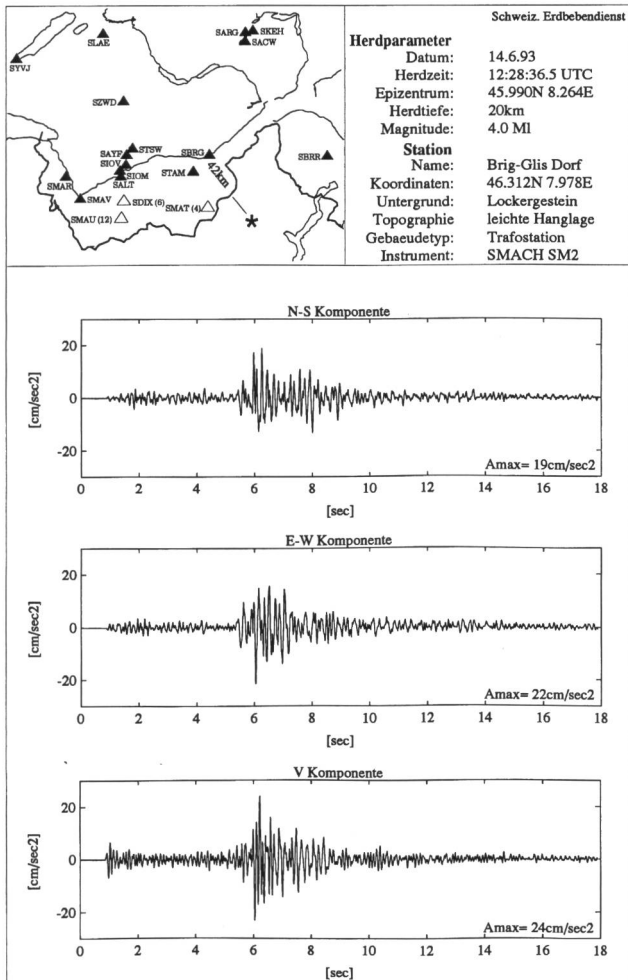


Bild 5. Beschleunigungs-Zeitverlauf des Bebens vom 14. Juni 1993, aufgezeichnet an der Freifeldstation Brig-Glis Dorf (SBRG). Die Starkbebenstation gründet auf Lockergesteinen von mindestens 100 m Mächtigkeit.

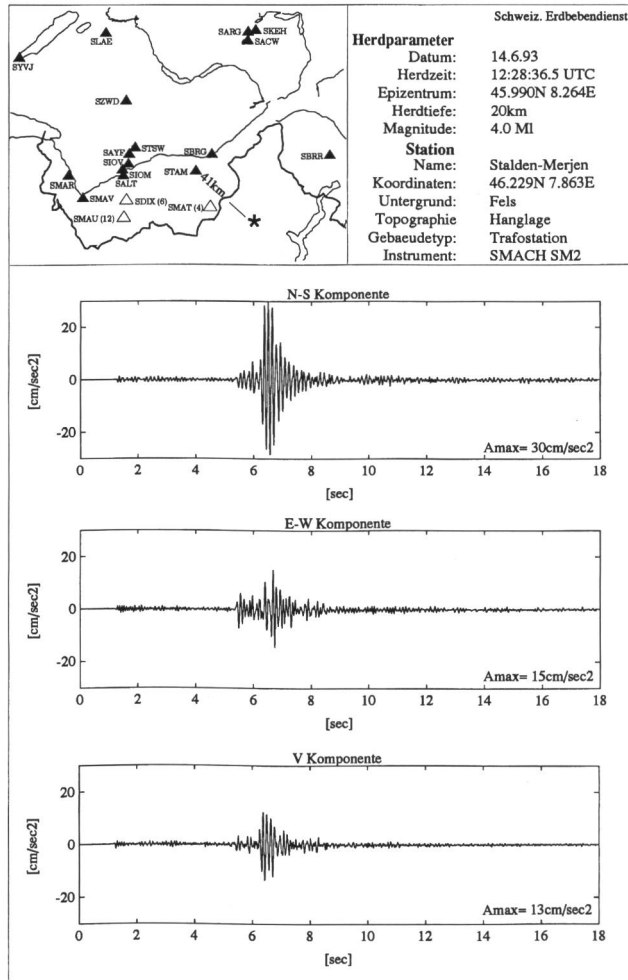


Bild 6. Beschleunigungs-Zeitverlauf des Bebens vom 14. Juni 1993, aufgezeichnet an der Freifeldstation Stalden-Merjen (STAM).

schweiz registriert. Die wichtigsten Kennwerte der registrierten Erdbeben und Aufzeichnungen sind:

- Magnitudenbereich 2,0 bis 4,6 (Ml)
  - Epizentralbereich 0 bis 100 km
  - Anzahl Beschleunigungs-Zeitverläufe 25
  - Maximal beobachtete Bodenbeschleunigung 0,08 g
- Für das Erdbeben am 14. Juni 1993 bei Domodossola wurden die folgenden Herdparameter errechnet:
- Entstehungszeit 12:28:36.5 (UTC)
  - Epizentrum 45.990 N 8.264 E
  - Herdtiefe 20 km
  - Magnitude 4,0 MI

Dieses Erdbeben wurde in den Starkbebenstationen Stalden (STAM), Brig (SBRG) und Brione (SBRR) sowie einigen Starkbebenstationen in den Talsperren Mattmark (SMAT), Grande Dixence (SDIX) und Mauvoisin (SMAU) registriert. Da die Ankopplung der Sensoren an den Untergrund zur Zeit des Erdbebens ungünstig war, muss die Aufzeichnung der Station Brione (SBRR) als nicht repräsentativ betrachtet werden. Die Registrierungen an den Stationen Brig (SBRG) und Stalden (STAM) sind aus den Bildern 5 und 6 ersichtlich.

Wie schon erwähnt, neigen die mächtigen Talfüllungen in den Alpentälern bei starken Bodenerschütterungen zu Aufschaukelungen. Dabei können die Amplituden vergrößert und die zeitliche Dauer der Bodenerschütterung, insbesondere im unteren Frequenzbereich wesentlich verlängert

werden. Da die Abstrahlwinkel und die Epizentralentfernungen der beiden Brig (Lockergestein) und Stalden (Fels) praktisch identisch sind, müssen die vom Erdbebenherd ausgehenden seismischen Wellen ebenfalls identisch sein. Die Unterschiede im Signalcharakter der Registrierungen von Brig und Stalden weisen deshalb auf Aufschaukelungseffekte im lokalen Untergrund von Brig hin.

Sämtliche Starkbebenaufzeichnungen werden beim Erdbebedienst gesammelt, bearbeitet und in einer eigens dafür entwickelten Datenbank archiviert. Die Registrierungen des Freifeldnetzes werden jeweils in einem Jahresbulletin veröffentlicht. Sie sind danach, mit gewissen Einschränkungen, für Interessierte verfügbar.

[1] Pougatsch, H., Mayer-Rosa, D., & Kluge, D. (1993): Développement du réseau sismique national d'accélérographes. «wasser, energie, luft», 85. Jahrgang, Heft 11/12.

[2] Darbre, G. R.; Pougatsch, H. (1993): L'équipement de barrages dans le cadre du réseau national sismique d'accélérographes. «wasser, energie, luft», 85. Jahrgang, Heft 11/12.

Die Arbeitsgruppe «Nationales Starkbebenetz der Schweiz» möchte allen Beteiligten für ihre Mithilfe beim Aufbau des Freifeldnetzes bestens danken.

Adressen der Autoren: Dr. Jean-Claude Griesser, Basler und Hofmann, Ingenieure und Planer AG, Forchstr. 395, CH-8029 Zürich; Dr. Peter Heitzmann, Landeshydrologie und -geologie, CH-3003 Bern; Patrick Smit, Schweizerischer Erdbebedienst, Institut für Geophysik, ETH Hônggerberg, CH-8093 Zürich.