

Erbeben : Entstehung, Auswirkungen, Vorhersage

Autor(en): **Mayer-Rosa, Dieter**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Zivilschutz = Protection civile = Protezione civile**

Band (Jahr): **28 (1981)**

Heft 6

PDF erstellt am: **13.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-366951>

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.

Erdbeben: Entstehung, Auswirkungen, Vorhersage

Dr. Dieter Mayer-Rosa, ETH Zürich

(Aus der «Schweizerischen Ärztezeitung», Heft 10, 11. März 1981).

Zusammenfassung: Das Naturereignis Erdbeben hat gerade in den letzten Jahren durch eine Reihe von Katastrophen wieder ein sehr starkes Interesse nicht nur bei den Forschungsinstituten, sondern auch bei Regierungsstellen, Industrie und internationalen Organisationen erhalten. Insbesondere werden verstärkt Methoden erforscht und entwickelt, mit denen die Erdbebengefährdung eines Gebietes quantitativ ermittelt werden kann und womöglich sogar einzelne starke Erdbeben mit zerstörendem Potential nach Ort, Zeit und Stärke exakt vorhergesagt werden können. Die für die Schweiz seit etwa zwei Jahren existierenden Erdbebenkarten zeigen deutlich, dass insbesondere das Wallis, die Region Basel, die südliche Zentralschweiz, das St.Galler Rheintal und das Engadin eine grössere Erdbebengefährdung aufweisen als zum Beispiel das Mittelland oder das Tessin. In der Schweiz insgesamt muss etwa alle 6 bis 8 Jahre im statistischen Langzeitmittel mit einem Schadenbeben gerechnet werden. Der Schweizerische Erdbebendienst registriert mit seinem hochempfindlichen Stationsnetz jährlich etwa 200 bis 300 Beben in der Schweiz, von denen die Mehrzahl allerdings unter der Fühlbarkeitsgrenze liegen.

Résumé: La catastrophe naturelle qu'est le tremblement de terre s'est produite à nouveau ces dernières années avec une fréquence qui éveilla l'intérêt des instituts de recherche comme des gouvernements, de l'industrie et des organisations internationales. Une attention particulière est vouée au développement de méthodes permettant de calculer les risques quantitatifs de tremblement de terre d'une région et même de prévoir autant que possible l'endroit et le moment précis où des secousses telluriques dévastatrices se produisent ainsi que leur degré d'intensité. Les cartes sismologiques de la Suisse qui existent depuis près de deux ans montrent clairement que le Valais, la région bâloise, le sud de la Suisse centrale, la vallée du Rhin dans le canton de St-Gall et l'Engadine sont des régions plus particulièrement menacées par les séismes que le Plateau ou le Tessin. Sur l'ensemble du territoire helvétique, les statistiques à long terme prévoient un risque de secousses occasionnant des dégâts tous les six à huit ans. Le centre suisse de géophysique de l'ETH à Zurich enregistre – à l'aide d'un matériel d'une haute sensibilité – dans notre pays et par année 200 à 300 secousses dont la plupart il est vrai n'atteignent pas la cote d'alerte.

Einleitung

Die Forschungstätigkeit im Zusammenhang mit dem Naturphänomen «Erdbeben» hat in den vergangenen Jahren einen starken Aufschwung erlebt. Hochschulen, Regierungsstellen, Industrien, aber auch internationale Organisationen befassen sich mit Erdbeben und ihren Schadenwirkungen. Grosse Mittel werden weltweit eingesetzt, um mehr über die Entstehung und die Mechanismen von Erdbeben zu erfahren und um damit bessere Kenntnisse über die Auswirkungen auf die betroffenen Gebiete zu erhalten. Alle diese Anstrengungen haben zum Ziel, die Gefährdung durch Erdbeben «in den Griff» zu bekommen, sei es durch eine bessere Erfassung des Erdbebenrisikos in einem Gebiet, zusammen mit technischen Massnahmen zur Verminderung von Erdbebenschäden, oder durch eine gezielte örtliche und zeitliche Voraussage von Erdbeben und ihrer Stärke. Mit diesen Arbeiten hat man in den letzten Jahren grosse Erkenntnisse gewonnen, und in Ländern wie den USA, Japan, der UdSSR und China wird die Wichtigkeit durch stark unterstützte nationale Forschungsprogramme anerkannt.

Andere Naturgewalten als Erdbeben, wie Überschwemmungen, Wirbelstürme usw., richten für die Menschheit jährlich weitaus grössere Zerstörungen an. Es ist deshalb nicht selbstverständlich, dass diesem Phänomen weltweit solche Aufmerksamkeit geschenkt wird. Es gibt jedoch kein Naturereignis, das in seiner Überraschung und Konzentration der Zerstörung die Wirkung von Erdbeben übertreffen würde. In dieser Beziehung sind Erdbeben in gewisser Weise nur mit den Wirkungen moderner Waffen vergleichbar. Die starken Erdbeben der vergangenen Jahre in Nicaragua, Algerien, Italien und der Volksrepublik China sind erschreckende Zeugen dieser Zerstörungskraft und Unberechenbarkeit. Auch wenn die Wahrscheinlich-

keiten für das Auftreten eines solchen Ereignisses in vielen Gebieten der Erde als gering eingeschätzt werden kann, so sollte doch zum Beispiel der Gedanke an das mögliche Schadenpotential Grund genug sein, die Ursachen genauer zu untersuchen.

Tab. 1. Die folgenschwersten Beben in diesem Jahrhundert

		Anzahl Tote
April 1906	San Francisco (Kalifornien)	700
August 1906	Valparaiso (Chile)	1500
Dezember 1908	Messina (Italien)	75000
Januar 1915	Avezzano (Italien)	29970
Dezember 1920	Kan-Sou (China)	180000
September 1923	Tokio (Japan)	143000
Dezember 1932	Kan-Sou (China)	70000
Mai 1935	Quetta (Indien)	60000
Januar 1939	Chillan (Chile)	30000
Dezember 1939	Erzincan (Türkei)	23000
Dezember 1946	Hondo (Japan)	2000
Juni 1948	Fukui (Japan)	5131
Februar 1960	Agadir (Marokko)	12000
April 1960	Lar (Iran)	3500
Mai 1960	Südcile	5700
September 1962	Iran	10000
Juli 1963	Skopje (Jugoslawien)	1700
August 1966	Osttürkei	2529
August 1968	Nordostiran	10488
Mai 1970	Nordperu	70000
Dezember 1972	Nicaragua	11000
Mai 1974	Setschuan (China)	20000

Dezember 1974	Pakistan	6000
Februar 1976	Guatemala	23 000
Juni 1976	Irian Yay (West-Guinea)	9000
Juli 1976	Tangshan (China)	300 000
November 1976	Osttürkei	3500
September 1978	Iran	25 000
Oktober 1980	Algerien	20 000
November 1980	Südtalien	3000

Grundbegriffe

Erdbeben sind natürliche Erschütterungen der festen Erde, die von einem im Erdinnern gelegenen Ursprung ausgehen und sich durch die Erde ausbreiten. Sie entstehen, wenn bestimmte Energiebeträge in der Erde plötzlich frei werden. Man unterscheidet, je nach der auslösenden Ursache, tektonische Beben, vulkanische Beben und Einsturzbeben. Mehr als 90% aller Beben sind tektonischen Ursprungs. Sie entstehen, wenn im Erdinnern aufgestaute Spannungen so gross werden, dass bestimmte Teile der Erdkruste über ihre Festigkeitsgrenze hinaus beansprucht werden und unter plötzlichem Bruch eine neue Gleichgewichtslage aufsuchen. Diese «elastische Entspannungstheorie» wurde zum erstenmal um die Jahrhundertwende von A. Reid formuliert und ist heute prinzipiell akzeptiert. Neben den tektonischen Beben spielen die Beben vulkanischen Ursprungs und die Einsturzbeben nur eine lokale und unbedeutende Rolle. Für die Ermittlung des Erdbebenrisikos in Zentraleuropa kommen ausschliesslich tektonische Beben in Betracht.

Der im Erdinnern gelegene Ursprung eines Bebens heisst *Herd* oder *Hypozentrum*. Über ihm, an der Erdoberfläche, liegt das *Epizentrum*. Man spricht demnach folgerichtig von der *Herdtiefe* eines Bebens und von der Epizentral- bzw. Hypozentralentfernung eines Standortes.

Im Herdgebiet eines Bebens treten Verschiebungen auf. In den meisten Fällen sind diese Veränderungen bzw. Verschiebungen auf das Erdinnere beschränkt, und an der Erdoberfläche ist keine bleibende Verformung zu beobachten. In Zentraleuropa gibt es nur wenige Gebiete, wo Erdbeben Verwerfungen an der Erdoberfläche nachgewiesenermassen verursachen. Beim grossen Erdbeben von San Francisco (1906) wurden hingegen Horizontalverschiebungen bis zu 6 m beobachtet.

Das *Schüttergebiet* reicht so weit, wie das Erdbeben ohne instrumentelle Hilfsmittel wahrgenommen werden kann. Das Epizentrum liegt in den meisten Fällen im Zentrum des Schüttergebietes. Mit *Herdgebiet* wird oft der Teil des Schüttergebietes bezeichnet, der die grösste Erschütterung oder auch die grössten Schäden aufweist. Je nach Entfernung des Beobachters vom Epizentrum unterscheidet man zwischen *Lokalbeben* (nur instrumentell), *Nahbeben* (Entfernung weniger als 1000 km) und *Fernbeben* (Entfernung mehr als 1000 km). Unterteilt man Erdbeben nach der Herdtiefe, so kann man von oberflächennahen Beben (in der Erdkruste liegend, 0 bis 50 km tief), mitteltiefen Beben (50 bis 200 km tief) und tiefen Beben (200 bis 600 km tief) sprechen. Ein Grossteil der tiefen Beben liegen im pazifischen Raum, in Mitteleuropa sind nur drei Gebiete mit mitteltiefen und tiefen Beben bekannt: Das Vrancea-Gebiet in Rumänien, das Tyrrhenische Meer (Südtalien) und Südspanien. Im Alpengebiet sind bisher keine tieferen Beben als etwa 30 bis 40 km beobachtet worden.

Stärke und Skalen

Für die Beschreibung der Bebenstärke sind heute vor allem zwei Angaben im Gebrauch: Die *Intensität* und die *Magnitudo*. Die Magnitudo wird aus instrumentellen Aufzeich-

nungen (*Seismogramme*), die Intensität aus der direkten Auswirkung des Bebens (z.B. auf Menschen, Gebäude und Landschaft) ermittelt. Man bezeichnet diese ohne Instrumente beobachteten Auswirkungen als *makroseismisch*. Während die Magnitudo einen bestimmten Wert pro Erdbeben hat, der die freigewordene *Energie* im Herd wiedergibt, variiert die Intensität je nach Beobachtungspunkt. Die Intensität ist am grössten im Epizentralgebiet und nimmt gewöhnlich mit zunehmender Epizentralentfernung ab. Die Intensität ist somit kein Herdparameter im engeren Sinn wie zum Beispiel die Herdzeit, die Herdtiefe und die Magnitudo.

Die neueste und vollständigste Version einer Intensitätsskala wurde 1964 von den Autoren *Medvedev* (UdSSR), *Sponheuer* (DDR) und *Kárník* (CSSR) herausgebracht. Diese Skala wird abgekürzt als «MSK-64-Skala» bezeichnet und ist in *Tabelle 2* wiedergegeben. Sie wird in Europa aufgrund der Empfehlung der Europäischen Seismologischen Kommission einheitlich verwendet. Auch für das Projekt Erdbebenrisikokarten der Schweiz wurde die MSK-64-Skala verwendet, da sie als Grundlage zur Aufbereitung historischer Daten sehr detaillierte Beschreibungen enthält.

Die Intensität ist als direktes Mass für die zerstörende Wirkung eines Erdbebens an der Erdoberfläche diejenige Grösse, die der vom ingenieurmässigen Standpunkt aus interessierenden «Schadenwirkung» eines Erdbebens wahrscheinlich am nächsten kommt. Nachteilig bei der Verwendung dieser Grösse ist, dass die Erfassung und Beurteilung im einzelnen eher subjektiv ist und daher bei einer Gesamtbearbeitung vieler verschiedener Daten und Autoren grosse Erfahrung voraussetzt. Für kurze Zeitabschnitte bis 100 Jahre ist die Verwendung der instrumentell bestimmbar Magnitudo oft vorteilhafter, vor allem, wenn sehr viele Messwerte, wie zum Beispiel in Kalifornien, infolge der sehr hohen seismischen Aktivität im Gebiet der San-Andreas-Verwerfung vorliegen.

Daten über Schadenaufzeichnungen können in makroseismischen Karten verwendet werden, aus denen wiederum sogenannte Isoleisten-Karten entstehen. *Isoleisten* sind Kurven, die Gebiete abgrenzen, in denen eine bestimmte Intensität aufgetreten ist.

Die Definition der Magnitudo eines Erdbebens durch C. Richter in den dreissiger Jahren war ein wesentlicher Schritt vorwärts in der quantitativen Erfassung von Erdbebenparametern. Die Berechnung der Magnitudo erfolgt dadurch, dass aus dem Seismogramm die maximale Amplitude der Bodenbewegung abgelesen und zum Beispiel auf die sogenannte Richter-Skala normiert wird. Die Magnitudo ist eine charakteristische Grösse für jedes Erdbeben (oder Explosion), sie wird von mehreren Stationen bestimmt und gemittelt. Selbst im besten Fall muss man mit einem Fehler von etwa 0,2 bis 0,3 Magnitudeneinheiten bei einer so bestimmten Magnitudo rechnen. Die Magnitudo hat theoretisch gesehen keine Grenze nach oben. Praktisch sind allerdings bis jetzt weltweit keine grösseren Erdbeben als Magnitudo 9 aufgetreten. Es kann angenommen werden, dass die begrenzte Festigkeit der Erdkruste keine Erdbeben mit unendlich grosser Magnitudo zulässt; es ist allerdings bis heute unklar, wo diese Grenze liegt.

Eine Magnitudenerhöhung um eine Einheit bedeutet eine dreissigmal höhere Energie. Es ist daher klar, dass Erdbeben der Magnitudo +1 bis +9 einen enormen Energiebereich umfassen. Ein Erdbeben der Magnitudo 6,8 entspricht zum Beispiel einer Energie von etwa 290 Millionen kWh. Ein Erdbeben der Magnitudo 9 ergibt demgegenüber etwa die tausendfache Energie, entsprechend etwa dem mittleren jährlichen Energieverbrauch der Schweiz.

Tab. 2. Seismische Intensitätsskala MSK 1964

Grad	Stärke	Wirkungen auf		
		Personen	Gebäude	Natur
I	unmerklich	nicht verspürt		
II	sehr leicht	vereinzelt verspürt		
III	leicht	vor allem von ruhenden Personen deutlich verspürt		
IV	mässig stark	in Häusern allgemein verspürt, aufweckend	Fenster klirren	
V	ziemlich stark	im Freien allgemein verspürt	Verputz an Häusern bröckelt ab, hängende Gegenstände pendeln, Verschieben von Bildern	
VI	stark	erschreckend	Kamine und Verputz beschädigt	vereinzelt Risse im feuchten Boden
VII	sehr stark	viele flüchten ins Freie	mässige Schäden, vor allem an schlechten Gebäuden, Kamine fallen herunter	vereinzelt Erdbeben an steilen Abhängen
VIII	zerstörend	allgemeiner Schrecken	viele alte Häuser erleiden Schäden, Rohrleitungsbrüche	Veränderungen in Quellen, Erdbeben an Strassendämmen
IX	verwüstend	Panik	starke Schäden an schwachen Gebäuden, Schäden auch an gut gebauten Häusern, Zerberstern von unterirdischen Rohrleitungen	Bodenrisse, Bergstürze, viele Erdbeben
X	vernichtend	allgemeine Panik	Backsteinbauten werden zerstört	Verbiegen von Eisenbahnschienen, Abgleiten von Lockerboden an Hängen, Aufstau neuer Seen
XI	Katastrophe		nur wenige Gebäude halten Stand, Rohrleitungen brechen	umfangreiche Veränderungen des Erdbodens, Flutwelle
XII	grosse Katastrophe		Hoch- und Tiefbauten werden total zerstört	tiefgreifende Umgestaltung der Erdoberfläche, Flutwellen

Verteilung

Bei der geographischen Verteilung der starken Erdbeben ergibt sich die bemerkenswerte Tatsache, dass offensichtlich etwa 70% aller Beben im Breitenbereich $35^\circ \text{N} \pm 10^\circ$ liegen. Dieser Bereich enthält Japan, China, Zentralasien, den Mittleren Osten und den Mittelmeerraum. Die Zahl der durch Erdbeben verursachten Toten liegt prozentual noch höher, was natürlich mit der Besiedlungsdichte dieser Gebiete zusammenhängt. Die Stärke eines Bebens wird von der Öffentlichkeit meist aufgrund der aufgetretenen Schäden eingeschätzt. Dass dies zu einem falschen Bild führen kann, zeigt zum Beispiel das Erdbeben von Agadir (1960). Dieses Beben wird allgemein als sehr stark eingeschätzt, obwohl die seismologisch bestimmte Magnitude lediglich 5,7 war. Der Grund für die starken Zerstörungen ist einfach darin zu sehen, dass dieses Erdbeben relativ nahe an der Oberfläche und in dicht besiedeltem Gebiet

stattgefunden hat. Dies gilt beispielsweise auch für die Erdbeben von Skopje (1963) und Taschkent (1966).

Die weitverbreitete Meinung, dass die Seismizität der Erde in den letzten Jahren angestiegen sei, kann aufgrund der gemessenen Daten der grossen Beben in diesem Jahrhundert widerlegt werden. Das Mittel der jährlich freigesetzten Energie über die letzten 70 Jahre beträgt etwa $6 \cdot 10^{24}$ erg, wobei zwischen 1925 und 1930 ein etwas niedrigeres und zwischen 1950 und 1966 ein etwas höheres Niveau vorliegt.

Pro Jahr werden auf der ganzen Erde gegen eine Million Erdbeben registriert. Dazu gehören natürlich auch sehr viele schwache Beben, die vom Menschen nicht wahrgenommen werden und nur an einer der mehr als 1000 weltweit existierenden Erdbebenstationen aufgezeichnet werden. Es zeigt sich dabei, dass die Epizentren in mehreren deutlich ausgeprägten Zonen angeordnet sind,

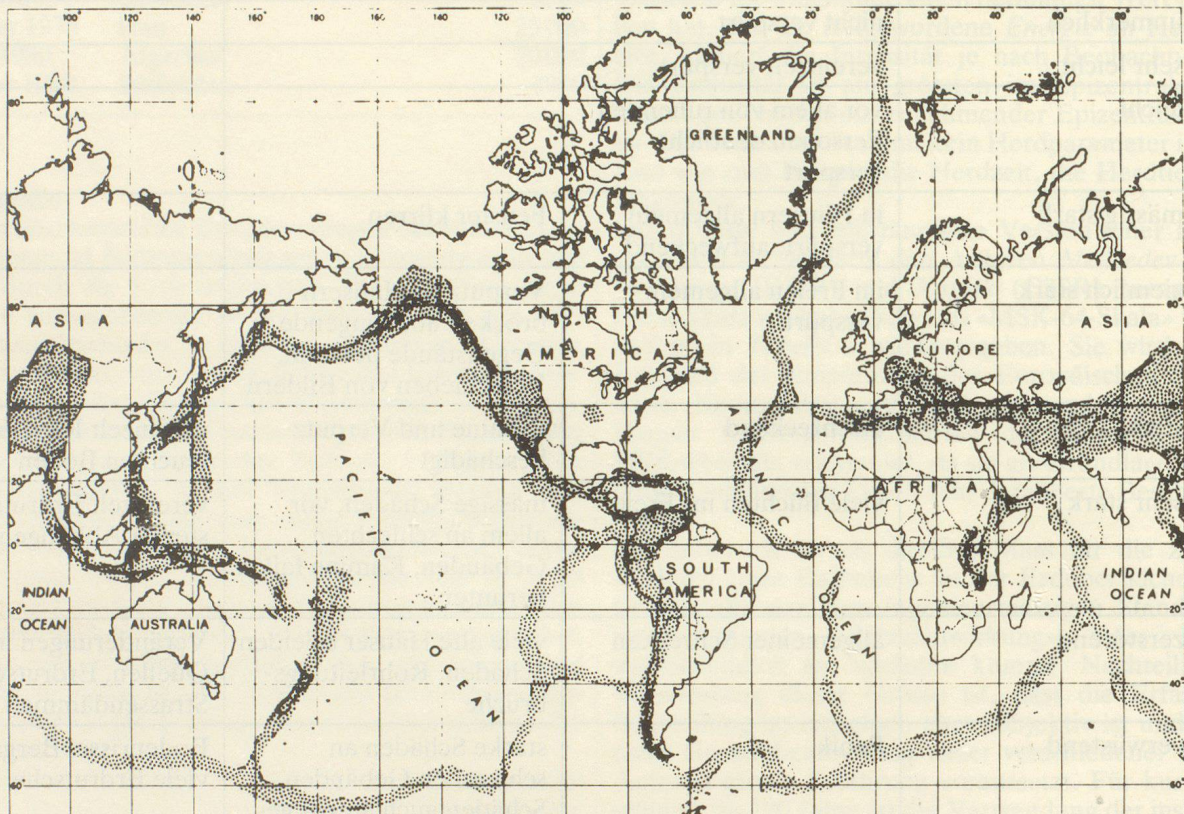


Abb. 1. Weltweite Verteilung von Erdbeben entlang von Zonen, welche die acht grossen Platten der Erdkruste begrenzen. Mehr als 80% aller Beben finden auf dem Gürtel rings um den pazifischen Ozean statt

und zwar in Gebieten mit junger Gebirgsbildung (Anden, Himalaja, Alpen, Apenninen) und weiterhin in den sogenannten mittelozeanischen Rücken zonen. In der Abbildung 1 tritt einmal der «zirkumpazifische Gürtel» deutlich hervor, zu dem die Erdbebengebiete in Südamerika, Kalifornien, Alaska, Japan, auf den Philippinen und Fidschi-Tonga gehören, zum andern erkennt man die Mittelmeer-Himalaja-Zone, die sich über Nordafrika, Italien, die Alpen, die Balkanländer, die Türkei, Iran bis hin nach China zieht. Die bekanntesten mittelozeanischen Rücken zonen liegen im Nord- und Südatlantik und im Indischen Ozean. Diese Erdbebenzonen begrenzen jeweils grosse Gebiete, die sogenannten Lithosphärenplatten, die etwa 100 km mächtig sind und sich relativ zueinander mit einer Geschwindigkeit von einigen Zentimetern pro Jahr bewegen. In den Zonen junger Faltengebirge bewegen sich dabei die Platten aufeinander zu, in den mittelozeanischen Rücken zonen driften die Platten auseinander, wobei sich neue Erdkruste aus Magmamaterial des Erdinnern bildet. Die Erdoberfläche besteht im ganzen aus acht grossen und mehreren kleinen Platten.

Erdbebengefährdung in der Schweiz

Die Erdbeben in der Schweiz gehören grosstektonisch gesehen zur Nahtzone zwischen der eurasischen und afrika-

Tab. 3. Die Schadenbeben in der Schweiz in diesem Jahrhundert

Ort	Datum	Zeit	Epizentrum	Intensität (MSK)
Bern	2.11.1913	1.50	47°13'/7°24'	VI-VII
Chur	22.12.1913	11.38	46°46'/9°26'	VI
Engadin	9.12.1917	21.40	46°36'/9°54'	VI
Brig	15.4.1924	12.48	46°15'/7°55'	VII
Brig	21.4.1924	22.24	46°15'/7°55'	VI
Jura	8.1.1925	2.45	46°52'/6°30'	VII+
Yverdon	1.3.1929	10.32	46°46'/6°45'	VII+
Yverdon	12.8.1933	9.56	46°46'/6°45'	VII-VIII
Sierre	25.1.1946	17.31	46°19'/7°30'	VIII
Sierre	26.1.1946	3.15	46°19'/7°30'	VII
Sierre	4.2.1946	4.11	46°19'/7°30'	VII
Sierre	30.5.1946	4.41	46°19'/7°30'	VII
Sion	19.5.1954	9.34	46°16'/7°17'	VII
Sierre	29.7.1954	4.42	46°17'/7°30'	VI
Brig	23.3.1960	23.08	46°21'/8°05'	VII-VIII
Sarnen	17.2.1964	12.19	46°57'/8°13'	VII
Sarnen	14.3.1964	2.37	46°57'/8°13'	VII
Glarus	29.9.1971	7.19	46°59'/8°57'	VII

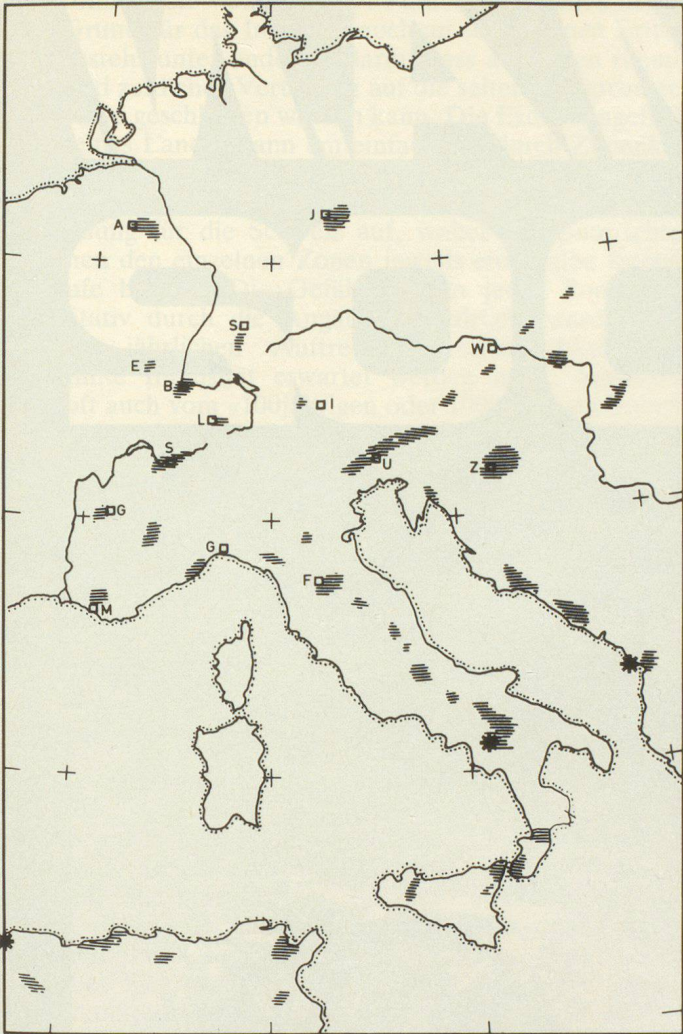


Abb. 2. Auf der Karte sind die in den letzten 100 Jahren besonders aktiven Erdbebengebiete in Zentraleuropa eingezeichnet. Die letzten Beben in Jugoslawien (15. April 1979), in El Asnam (10. Oktober 1980) und Süditalien (23. November 1980) sind mit einem Stern und die grösseren Städte mit den jeweiligen Anfangsbuchstaben gekennzeichnet

nischen Platte, die nach neueren Untersuchungen von den Azoren über Gibraltar, Algerien, Tunis, Sizilien, Italien, Südostfrankreich, die Schweiz, Jugoslawien, Griechenland, die Türkei bis hin nach China verfolgt werden kann. Das Niveau der Erdbebenaktivität in der Schweiz entspricht etwa dem der angrenzenden Nachbarländer, ist aber eindeutig niedriger als zum Beispiel in Jugoslawien oder Griechenland. Trotzdem muss an dieser Stelle gesagt werden, dass auch in der Schweiz grössere Schadenbeben stattfinden können, wie das die Geschichte gezeigt hat (siehe Tab. 3). Danach muss im langzeitlichen Mittel in der Schweiz alle sechs bis acht Jahre mit einem grösseren Beben gerechnet werden. Seit dem Beben von 1971 im Kanton Glarus ist allerdings kein Beben mehr mit Intensität VII oder grösser aufgetreten, wenn man einmal von dem Ereignis vom 15. Juli 1980 bei Mülhausen (Elsass) absieht. Zu den besonders gefährdeten Gebieten in der Schweiz müssen das Wallis, die Region Basel, das St. Galler Rheintal, die südliche Zentralschweiz und das Engadin gezählt werden. Neben den grösseren Erdbeben in diesen Gebieten werden jährlich etwa 200 bis 300 kleinere Beben vom Schweizerischen Erdbebendienst an der ETH Zürich registriert. Der Erdbebendienst hat zu diesem Zweck ein hochmodernes und sehr empfindliches Netz von derzeit 15 Erdbebenstationen, in der ganzen Schweiz verteilt, installiert, mit dem auch noch Erschütterungen registriert wer-

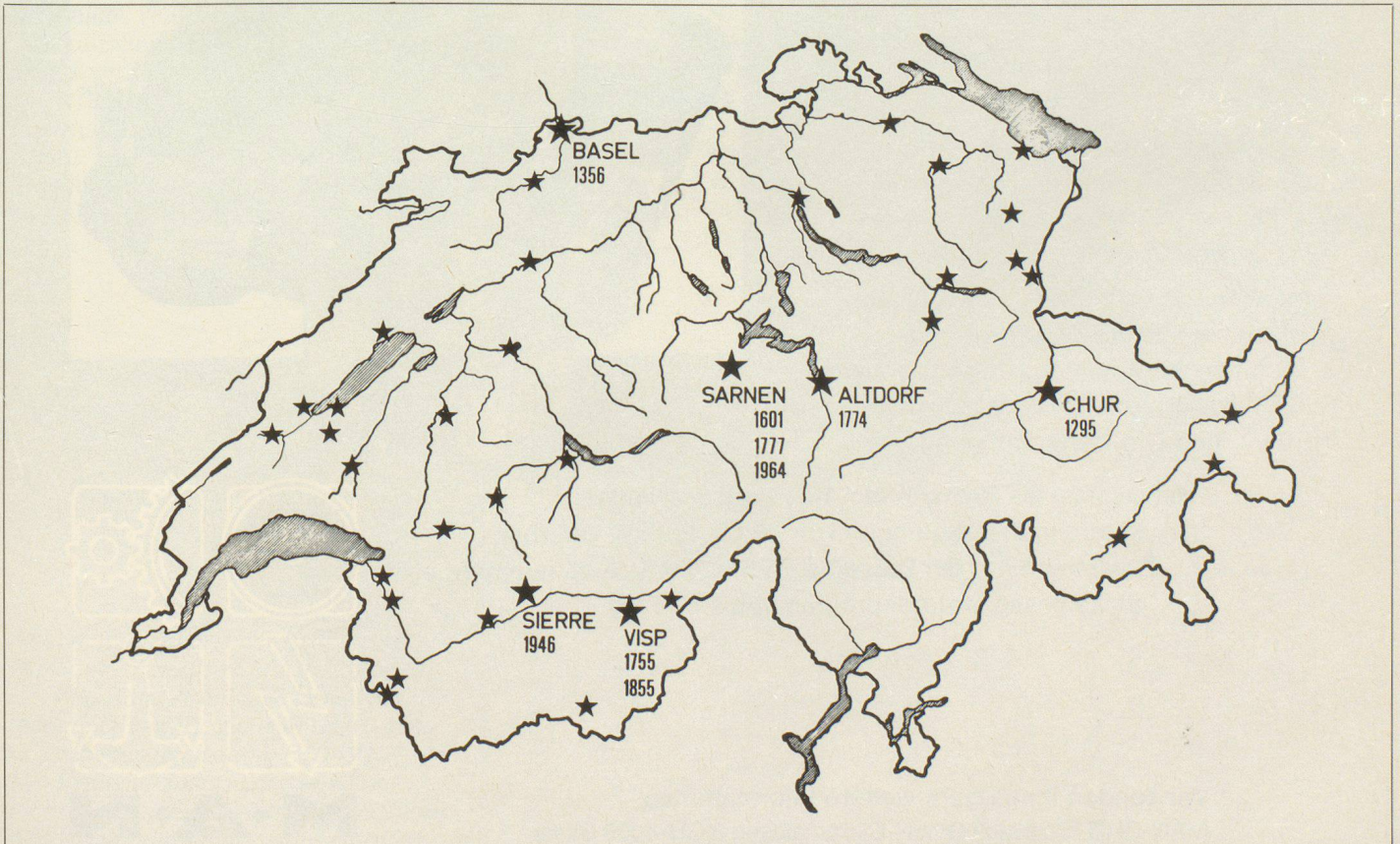


Abb. 3. Zentren grösserer historischer Erdbeben in diesem Jahrhundert. Die grössten überhaupt bekannten Beben sind mit der Jahreszahl ihres Auftretens gekennzeichnet. Alle Beben haben zu Schäden geführt

den können, die weit unter der Fühlbarkeitsgrenze liegen. Der Grund für das Interesse auch an sehr kleinen Erdbeben besteht unter anderem darin, dass aus deren räumlicher und zeitlicher Verteilung auf die selteneren grösseren Ereignisse geschlossen werden kann. Die Erdbebengefährdung eines Landes kann am einfachsten durch Zonenkarten beschrieben werden. Die Karte in *Abbildung 4* weist dementsprechend vier Zonen unterschiedlicher Erdbebengefährdung für die Schweiz auf, wobei der Unterschied zwischen den einzelnen Zonen jeweils eine halbe Intensitätsstufe beträgt. Die Gefährdung in jeder Zone kann quantitativ durch die Angabe ausgedrückt werden, mit welcher jährlichen Auftretenswahrscheinlichkeit eine bestimmte Intensität erwartet werden muss. Statistisch wird oft auch vom «100jährigen oder 1000jährigen Beben» gesprochen, obwohl damit sehr oft die irrierte Annahme verknüpft ist, dass, wenn einmal ein entsprechendes Beben stattgefunden hat, für die nächsten 100 oder 1000 Jahre Ruhe herrscht. Das ist natürlich nicht der Fall, wie unter anderem das prominente Beispiel im Friaul mit zwei gleich starken Beben der Intensität IX im Mai und September 1976, die dem «50jährigen» Beben entspricht, drastisch vor Augen führte. Zonenkarten dieser Art sind sehr gut geeignet, um beispielsweise bei der Neufassung von Bauvorschriften oder für Versicherungszwecke berücksichtigt zu werden.

Erdbebenvorhersage

Unter der direkten Erdbebenvorhersage versteht man die Angabe von Ort, Zeit und Stärke eines zukünftigen Bebens. In verschiedenen stark erdbebengefährdeten Ländern wie den USA, Japan, Russland und China werden grosse personelle und finanzielle Anstrengungen unternommen, um diesem Ziel erfolgreich näherzukommen. Es soll aber nicht verschwiegen werden, dass trotz einigen spektakulären Erfolgen, wie zum Beispiel in China, eine zuverlässige und wissenschaftlich fundierte Vorhersage noch nicht realisiert ist. Man kennt zwar inzwischen die physikalischen Grössen, die sich vor einem grösseren Beben verändern können, und hat auch die Instrumente für deren Messung; es bestehen aber noch empfindliche Wissenslücken über den eigentlichen auslösenden Mechanismus bzw. die Kriterien für den Auslösezeitpunkt. Im übrigen verhalten sich die Erdbeben von Fall zu Fall auch verschieden. Änderungen im physikalischen Umfeld wer-

den nämlich bei einem Beben beobachtet, beim andern wiederum nicht. Dadurch war es auch möglich, dass das Tangshan-Beben (1976) in China völlig unvorhergesehen eintreten konnte und eine grosse Zahl von Menschenleben kostete, während im gleichen Gebiet ein Jahr früher das Haicheng-Beben erfolgreich vorhergesagt werden konnte. Es ist bekannt und in einer grösseren Zahl von Fällen auch bestätigt worden, dass vor einem starken Beben vor allem folgende Beobachtungen gemacht werden: Veränderungen der Erdoberfläche, Änderung des Spiegels und der chemischen Zusammensetzung des Grundwassers, Anomalien in den erdmagnetischen und elektrischen Feldern, Änderung in Zahl und Stärke von Vorbeben, Änderung der Wellengeschwindigkeit in der Erdkruste und anomales Verhalten von Tieren. Da eine Vorhersage ohne Folgemaassnahmen im Prinzip wertlos ist, soll ein Problem im Zusammenhang mit der Erdbebenvorhersage hier besonders betont werden. Geeignete Massnahmen können von reinen Vorsorgemaassnahmen im persönlichen Bereich bis hin zu Produktionsstilllegungen und Evakuierung ganzer Gebiete reichen. Die Verantwortung für solche Massnahmen muss von einem breiten Gremium, bestehend aus Fachleuten aus Wissenschaft, Politik, Administration und Hilfsorganisationen, getragen werden und nicht nur von einer Gruppe von Wissenschaftlern. Die Gefahr besteht nun darin, dass nach einigen nicht erfolgreichen Vorhersagen, das heisst Nichteintreten des Bebens, die Bereitschaft zur Vorsorge abnimmt und dann im Fall einer erfolgreichen Vorhersage nicht mehr vorhanden ist. Die Zuverlässigkeit von Erdbebenvorhersagen muss also sehr gross sein, bevor sie veröffentlicht werden können.

In der Schweiz besteht zurzeit kein nationales Programm zur Erdbebenvorhersage wie in den obengenannten Ländern, es werden aber schwerpunktmässig besonders erfolgversprechende Methoden wissenschaftlich untersucht und die Zusammenarbeit im internationalen Rahmen gesichert, wie zum Beispiel neuerdings durch die Mitarbeit in der Expertengruppe des Europarats für ein europäisches Programm zur Erdbebenvorhersage. Es kann damit gerechnet werden, dass in etwa fünf bis zehn Jahren eine Vorhersage von grösseren Beben mit genügender Zuverlässigkeit realisiert werden kann. Bis dahin benötigt die Forschung noch beträchtliche Anstrengungen, die vom Verständnis einer breiten Öffentlichkeit getragen werden muss.

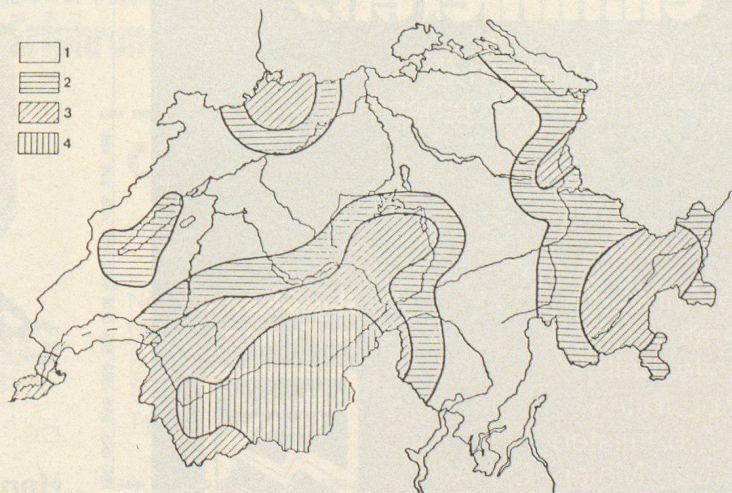


Abb. 4. Zonenkarte der Erdbebengefährdung. Zone 1: relativ geringe (V-VI), Zone 2: mässige (VI), Zone 3: mittlere (VI-VII), Zone 4: relativ grosse Erdbebengefährdung (VII-VIII). Die Erdbebenintensitäten in Klammern sind Maximalwerte, die statistisch mindestens einmal pro Generation erwartet werden müssen. Sie sind in der MSK-Skala festgelegt