

**Zeitschrift:** Bulletin de la Société Fribourgeoise des Sciences Naturelles = Bulletin der Naturforschenden Gesellschaft Freiburg

**Herausgeber:** Société Fribourgeoise des Sciences Naturelles

**Band:** 88 (1999)

**Artikel:** Erdbeben : Ursachen und Risiko

**Autor:** Mayer-Rosa, Dieter

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-308759>

#### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

#### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

#### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 29.01.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# ERDBEBEN: Ursachen und Risiko<sup>1</sup>

Dieter MAYER-ROSA

Schweizerischer Erdbebendienst, ETH-Hönggerberg, CH-8093 ZÜRICH

## 1. Der Aufbau unserer Erde

Der Aufbau unserer Erde ist schalenförmig, wie wir heute unter anderem aus der Analyse von Erdbebenwellen wissen. Mit der Tiefe nimmt sowohl der Druck als auch die Temperatur rasch zu. Auch die Zusammensetzung des Erdmaterials und der Aggregatzustand ist unterschiedlich in den einzelnen Schalen. Der innere Erdkern im Zentrum der Erde besteht aus Eisen und hat einen Radius von etwa 1400 km. Er ist in festem Zustand, da der extrem hohe Druck hier die Materie so stark verdichtet, dass selbst die sehr hohe Temperatur (etwa 5000° Celsius) das Material nicht aufschmelzen kann. Im umgebenden äusseren Kern, der bis zu einem Radius von etwa 3500 km reicht, liegt dagegen die Temperatur über dem Schmelzpunkt der dort vorhandenen Eisen-Nickel-Legierung, die daher in flüssigem Zustand ist.

Die stoffliche Zusammensetzung ändert sich stark am Übergang vom äusseren Erdkern zum Erdmantel, wobei die im kernnahen Bereich des Erdmantels dominierenden Metalloxyde wieder in festem Zustand sind. Die obersten 100–200 km des Erdmantels sind teilweise aufgeschmolzen und daher im Verlaufe langer geologischer Zeiträume fliessfähig. Gerade diese Eigenschaft ist eminent wichtig für das Verständnis der geologischen Vorgänge an der Erdoberfläche.

Die oberste Schicht der Erde ist relativ fest und wird deshalb auch mit Lithosphäre<sup>2</sup> bezeichnet. Die oberste Schicht der Lithosphäre ist die eigentliche Erdkruste auf der wir leben. Sie ist, verglichen mit dem Erdradius von insgesamt 6371 km, sehr dünn, nur etwa 30 bis 60 km unter den Kontinenten und etwa 5 bis 10 km unter den Ozeanen. Da die Erdkruste leichter ist als der darunterliegende Erdmantel, schwimmt sie in diesem wie ein Eisberg im Wasser.

<sup>1</sup> Gekürzte Fassung des 1986 von der Nationalen Schweizerischen UNESCO-Kommission herausgegebenen Textes.

<sup>2</sup> Griechisch: Steinschale.

In den flüssigen Teilen des Erdinnern können sich nun, angeheizt vom Erdkern und ähnlich wie in einem Topf mit kochender Flüssigkeit auf einer Heizplatte, Strömungen globalen Ausmaßes bilden. Diese bewirken topographische Veränderungen (Gebirge und Gräben) an der Erdoberfläche und letztendlich auch Erdbeben und Vulkanismus.

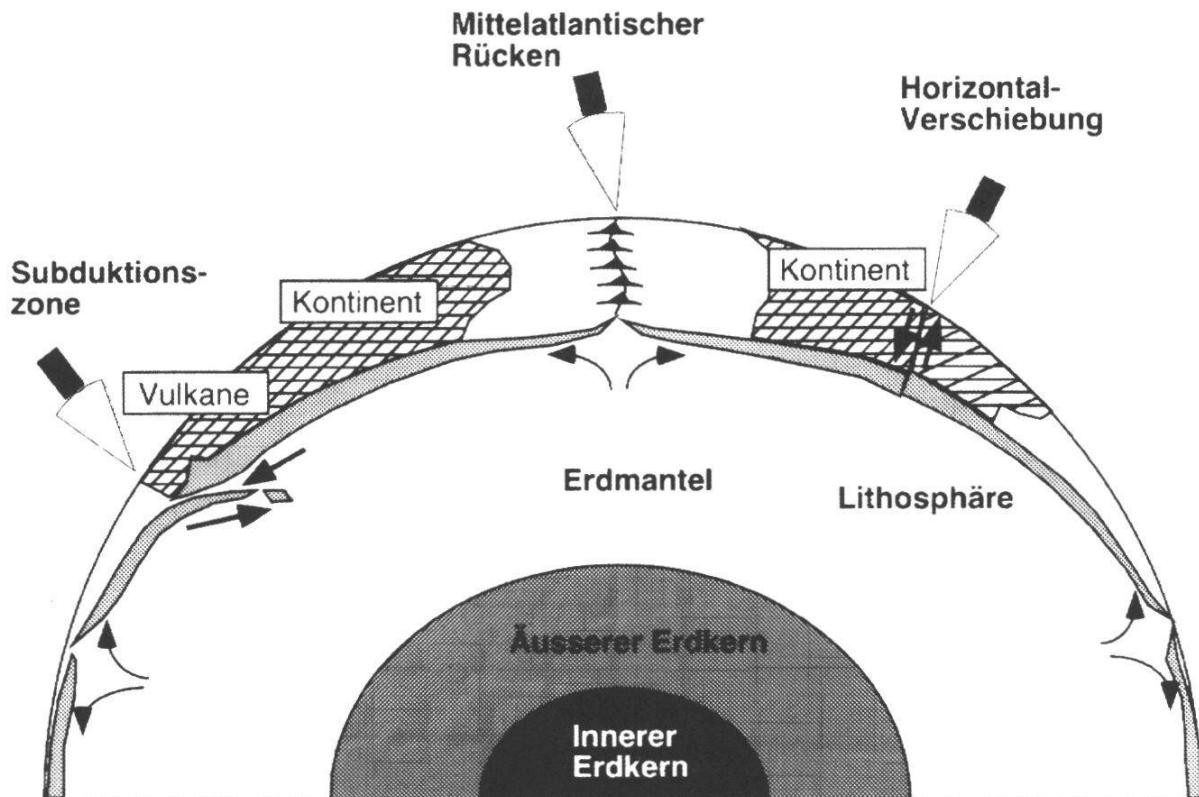


Abb. 1: Querschnitt durch den schalenförmigen Aufbau der Erde. An der Erdoberfläche sind die wichtigsten Vorgänge in den Randzonen der Kontinentalplatten schematisch dargestellt.

Vor mehr als 200 Millionen Jahren bildeten alle Landmassen einen mehr oder weniger zusammenhängenden Urkontinent, Pangäa genannt. Dieser Urkontinent zerfiel im Laufe der Zeit in Teilstücke, die sich langsam und stetig in unterschiedlichen Richtungen bewegten (Abbildung 2).

Dieses Phänomen ist nicht erst jetzt entdeckt worden. Schon im 17. Jahrhundert haben sich Naturforscher und Kartographen immer wieder Gedanken über die verblüffende Ähnlichkeit im Verlauf der gegenüberliegenden Küstenlinien von Südamerika und Afrika gemacht. Eine plausible Erklärung dafür hat erst der deutsche Meteorologe und Polarforscher Alfred Wegener mit seiner für die damalige Zeit revolutionären Theorie von der «Kontinentalverschiebung» gefunden. Seine Idee wurde allerdings von den führenden Geologen seiner Zeit nicht aufgegriffen und weiterverfolgt.

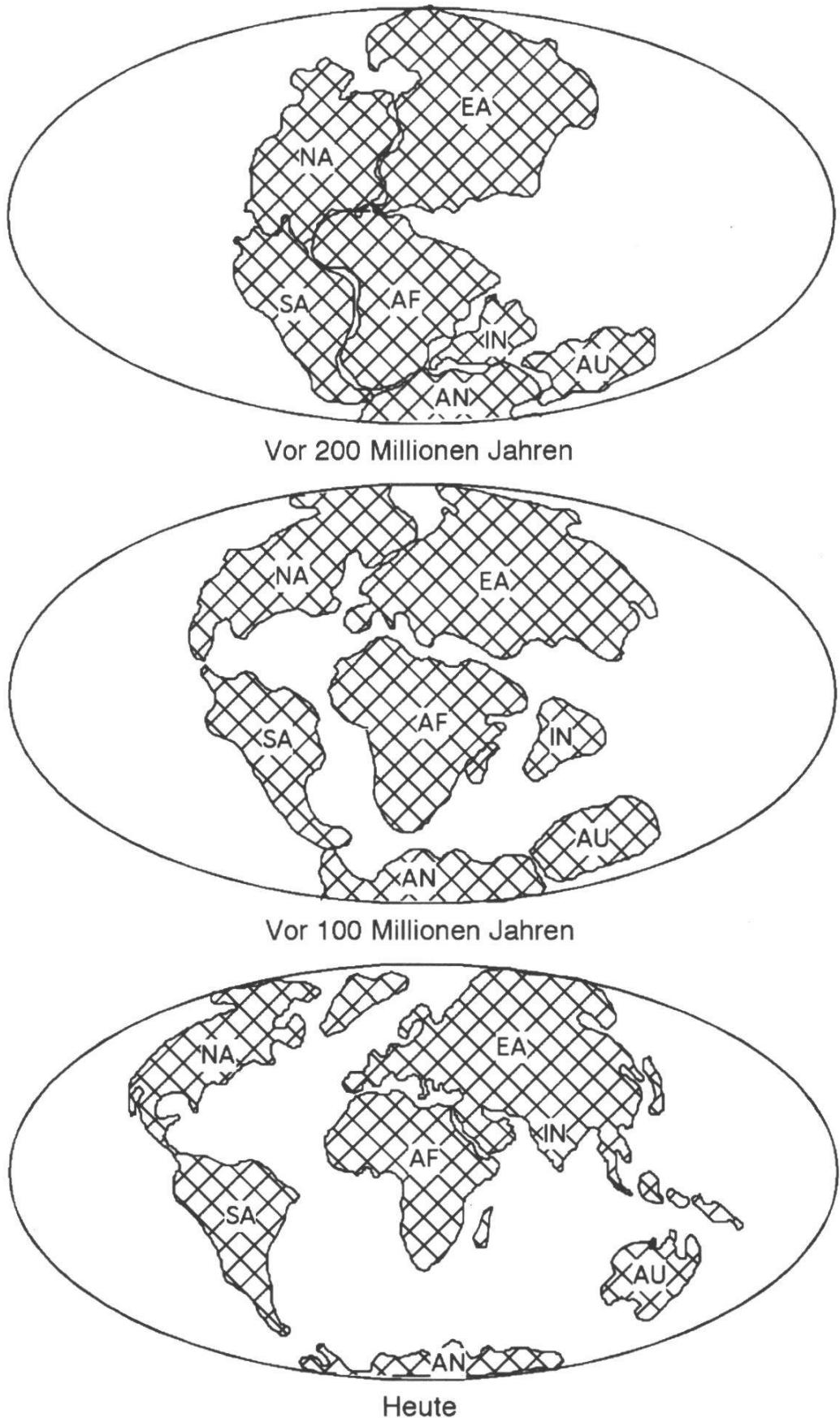


Abb. 2: Momentbilder der Erdgeschichte mit verschiedenen Stadien in der Wanderung der Kontinente während der vergangenen 200 Millionen Jahre.

## 2. Eine bestechende Theorie: die Plattentektonik

Die in den vergangenen 25 Jahren mit grossem technischem Aufwand betriebenen grossräumigen Untersuchungen des Meeresbodens ergaben im Grunde eine Bestätigung von Wegeners genialer Hypothese, dass die Erdoberfläche aus einer Anzahl grösserer und kleinerer Platten besteht. Heute gilt diese als Plattentektonik der Erde bezeichnete Theorie allgemein als die umfassendste erdwissenschaftliche Erkenntnis dieses Jahrhunderts, wobei vor allem die Kontaktzonen zwischen den grossen Erdplatten wichtige Beweise lieferten.

Dieses «Erdpuzzle» besteht aus 7 grossen und etwa 10 bis 15 kleineren Platten, die sich auf der Erdoberfläche in zueinander verschiedenen Richtungen verschieben (Abbildung 3)

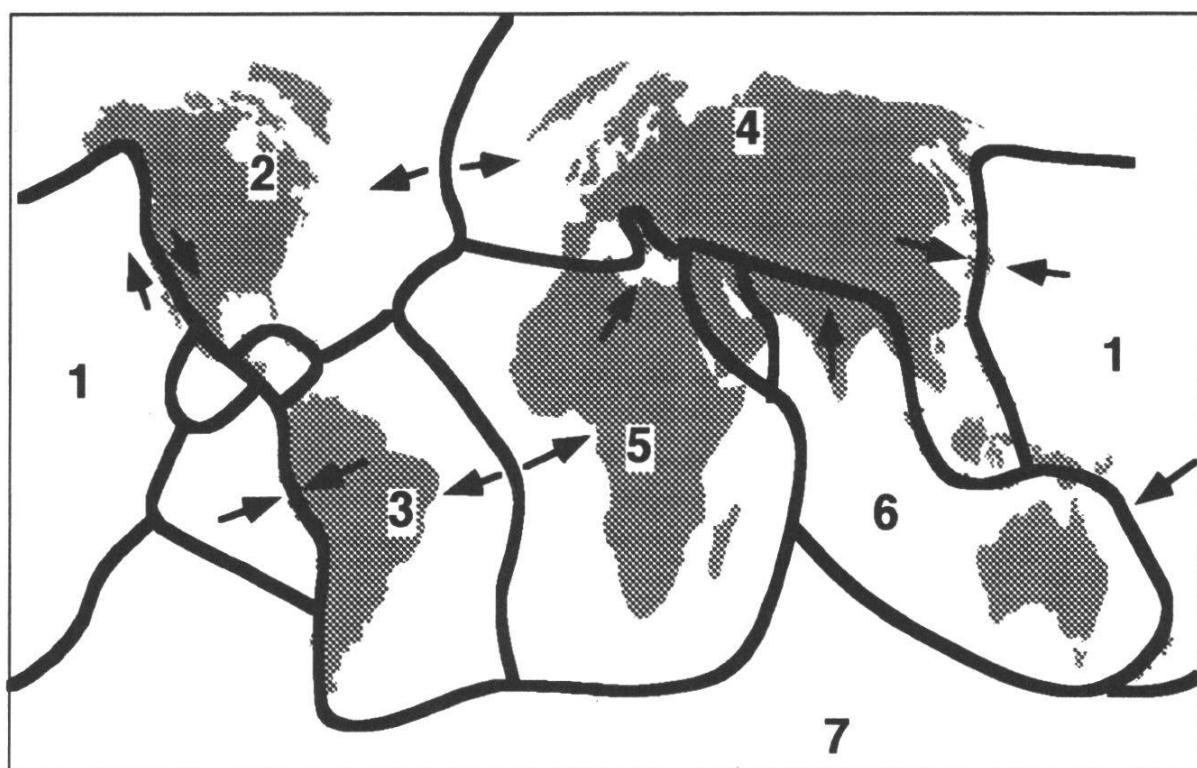


Abb. 3: Plattentektonische Darstellung der Erdoberfläche. Pazifische Platte (1), Nordamerikanische Platte (2), Südamerikanische Platte (3), Eurasische Platte (4), Afrikanische Platte (5), Indo-Australische Platte (6), Antarktische Platte (7).

So entsteht zum Beispiel am Mittelatlantischen Rücken, der sich von Island über die Azoren bis in den südlichen Atlantik hinzieht, ständig neue Erdkruste aus aufsteigendem Magma. Er ist die eigentliche Nahtstelle zwischen Europa und Afrika auf der einen Seite und Nord- und Südamerika auf der anderen Seite. Eine Konsequenz davon ist, dass sich der Atlantik ständig um etwa 5 bis 10 cm pro Jahr ausdehnt.

Das Gegenstück zu den ozeanischen Rücken bilden auf der anderen Seite die Zonen, in denen alte Erdkruste wieder zurück ins Erdinnere gedrückt wird. Da die Erdoberfläche ja insgesamt nicht grösser wird, muss dies in gleicher Masse geschehen wie bei der Entstehung von Erdkruste, nur eben mit umgekehrtem Vorzeichen. Diese sogenannten Subduktionszonen zeigen sich am Meeresgrund oft als Tiefseegräben. Die bekanntesten Zonen dieser Art findet man entlang der Westküste Südamerikas und an der Ostküste Japans.

Neben den beiden beschriebenen Zonen gibt es auch Gebiete, wo die relativ starren Krustenblöcke lediglich aneinander vorbeigleiten, ohne dass neue Erdkruste entsteht oder alte verschwindet. Dabei entstehen allerdings ausgedehnte Bruchzonen, wie das Beispiel der bekannten San Andreas-Zone entlang der Westküste Kaliforniens zeigt, wo grosse Erdbeben stattfinden.

### 3. Wo und wann treten Erdbeben auf?

Die genaue Bestimmung des Ursprungs und der weltweiten Verteilung von Erdbebenherden mit Hilfe äusserst empfindlicher Seismographen hat ganz wesentlich zum tieferen Verständnis der oben beschriebenen Vorgänge beigetragen. Einmal bezeichnet die Position der Epizentren<sup>3</sup> immer deutlich die Umrandungen der Erdkrustenplatten, zum andern kann man aus der typischen Anordnung der Erdbebenherde<sup>4</sup> mit der Tiefe auf abtauchende Platten schliessen. Ausschliesslich entlang der Subduktionszonen treten nämlich bis zu einer Tiefe von 700 km Erdbeben auf. In allen anderen Gebieten werden Erdbeben nur bis etwa 40 oder 50 km Tiefe beobachtet, da in grösserer Tiefe das Erdmaterial fliessfähig wird.

Über 90 Prozent aller Erdbebenenergie wird im zirkumpazifischen Feuergürtel rund um den Pazifik freigesetzt, oft verbunden mit vulkanischer Aktivität. Die dominierenden Erdbebengebiete in Europa liegen überwiegend im Mittelmeerraum, in der Kollisionszone zwischen der afrikanischen und eurasischen Platte. Bekannte Erdbebengebiete sind die nordafrikanische Kastenzone, der italienische Stiefel einschliesslich Sizilien, der südliche Teil der Alpen, Jugoslawien, Griechenland und die Türkei. Die Schweiz liegt gerade am nördlichen Ende des sogenannten adriatischen Sporns<sup>5</sup>, der gleichsam einen fingerförmigen, nördlichen Fortsatz der afrikanischen Platte darstellt. Speziell die Alpenregion gehört damit zum direkten Einflussbereich der plattentektonischen Vorgänge im Mittelmeerraum, und darin liegt auch die Hauptursache für die Erdbeben in diesem Gebiet. Nördlich der Alpen sind häufig Erdbeben zu beobachten, die im Zusammenhang mit der Tektonik des

<sup>3</sup> Ort an der Erdoberfläche, direkt über dem Erdbebenursprung.

<sup>4</sup> Erdbebenursprung im Erdinnern.

<sup>5</sup> Erdkrustenblock zwischen Italien und Jugoslawien.

südlichen Rheingrabens<sup>6</sup> stehen. Dieser gehört zu einer ganzen Serie von ähnlichen Grabensystemen, die sich, mit Unterbrechungen, von Skandinavien bis nach Ostafrika verfolgen lassen.

Wie sieht es nun mit der Häufigkeit von Erdbeben aus? Gibt es Zeitepochen, in denen mehr oder auch weniger Erdbeben als normal auftreten? Bei oberflächlicher Betrachtung sieht es doch so aus, als ob die Zahl der starken Beben in den letzten Jahren zugenommen hatte. Dieser Eindruck täuscht aber, wie man aus der Zusammenstellung der in diesem Jahrhundert tatsächlich registrierten sehr starken Erdbeben in Abbildung 4 sieht.

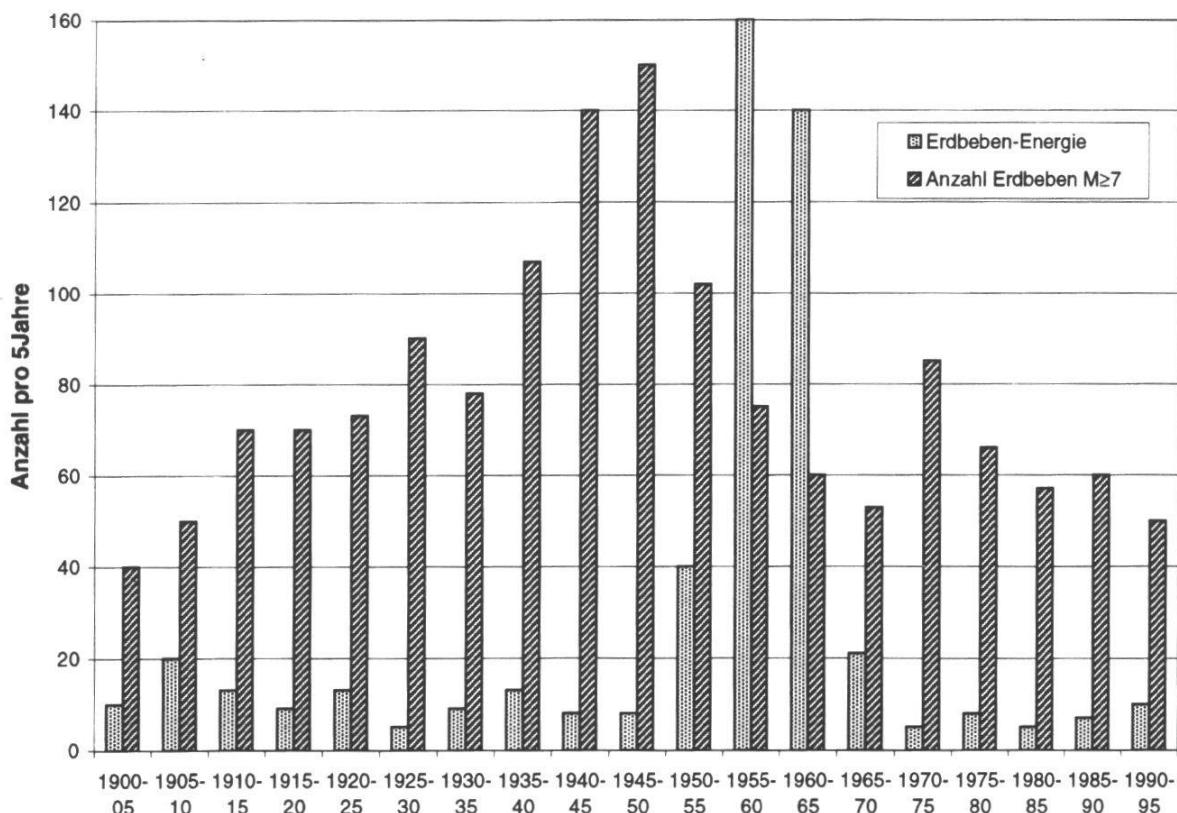


Abb. 4: Anzahl grosser Erdbeben (Magnitude grösser als 7) und dadurch freigesetzte Energie in diesem Jahrhundert. Die Energieeinheiten entsprechen nicht einer bestimmten Skala. In einem Balken sind jeweils fünf Jahre zusammengefasst.

Man kann zwar eine erhöhte Zahl von Erdbeben um 1940 bis 1950 feststellen, in den vergangenen 30 Jahren aber war die weltweit registrierte Anzahl ziemlich konstant. Das Maximum an Energie, das insgesamt durch die Erdbeben freigesetzt wurde, ist allerdings nicht in der gleichen Zeit zu finden, sondern erst etwa 10 Jahre später, nämlich zwischen 1955 und 1965. In diese Epoche fallen vor allem die zwei stärksten jemals registrierten Beben, 1960 in Chile und 1964 in Alaska (jeweils Magnitude 9!), die wesent-

<sup>6</sup> Grossflächig absinkende Erdkrustenzone zwischen Schwarzwald und Vogesen.

lich zu dem Energiemaximum beigetragen haben. In den letzten 20 Jahren ist aber auch die Energie wieder relativ konstant geblieben. Es sollte allerdings betont werden, dass sich die Anzahl in Abbildung 4 auf die sehr starken Beben bezieht. Bei den schwächeren Beben kann es regional durchaus anders aussehen. Historische Erdbebenkataloge ergeben zum Beispiel für die Schweiz vor allem um die Jahrhundertwende eine erhöhte Aktivität.

#### 4. Über Magnitude und Intensität von Erdbeben

Die gemessene Magnitude und die beobachtete Intensität sind die zwei wichtigsten Angaben über die Starke eines Erdbebens. Sie geben einerseits die Energie und andererseits die Auswirkung eines Erdbebens wieder und werden sehr oft verwechselt.

Die Magnitude ist ein Mass für die im Erdbebenherd frei gewordene Energie und wird mit Hilfe der Aufzeichnungen von Seismographen<sup>7</sup> bestimmt. Sie wird meistens in der viel zitierten Richterskala<sup>8</sup> festgelegt. Die Magnitudenskala selbst ist unbegrenzt, praktisch haben aber die stärksten bisher registrierten Erdbeben höchstens den Wert 9 erreicht. Die kleinsten registrierbaren Erdbeben können auf der anderen Seite sehr wohl negative Werte von etwa minus 2 haben, was mit der logarithmischen Einteilung der Skala zusammenhängt. Man ist heute sicher, dass es eine maximal mögliche Magnitude für Erdbeben gibt. Diese wird nicht überschritten, da die Erde Spannungen nur bis zu einer bestimmten naturgegebenen Grenze speichern kann, die durch die Bruchfestigkeit des Gesteins bestimmt ist. Wie die Magnitude mit der freigesetzten Energie zusammenhängt zeigt Tabelle 1.

Tabelle 1: Erdbebenmagnitude, Energie und Sprengkraft

| <b>Erdbeben</b> | <b>Magnitude</b> | <b>Energie in Millionen kWh</b> | <b>Sprengstoff Tonnen TNT</b> |
|-----------------|------------------|---------------------------------|-------------------------------|
| Brig 1960       | 5                | 0.3                             | 200                           |
| Agadir 1960     | 6                | 10                              | 6 000                         |
| El Asnam 1980   | 7                | 300                             | 200 000                       |
| Mexiko 1985     | 8                | 10 000                          | 6 000 000                     |
| Chile 1960      | 9                | 300 000                         | 200 000 000                   |

<sup>7</sup> Geräte zur Aufzeichnung von Erdbebenwellen.

<sup>8</sup> Formel zur Berechnung der Erdbebenstärke nach Prof. Charles Richter, USA.

Zum Vergleich: Die Atombombe von Hiroshima hatte eine Sprengkraft von etwa 20 Tausend Tonnen herkömmlichen Sprengstoffs (TNT). Ein sehr schwaches Erdbeben mit einer Magnitude von minus 2 würde in dieser Tabelle nur eine verschwindend kleine Energie haben, die etwa einem Ziegelstein entspricht, der aus einem Meter Höhe auf den Boden fällt. Zwischen dem kleinsten und grössten Erdbeben ist also in Bezug auf die Energie ein weit gröserer Unterschied, als die Magnitudenwerte auf den ersten Blick vermuten lassen. Einer Zunahme um eine Magnitudeneinheit entspricht nämlich die 30-fache Energie.

Durch langjährige Untersuchungen hat man weiterhin ein universelles Naturgesetz entdeckt: Es gibt sehr viel mehr kleine als grosse Erdbeben, wobei sich das Verhältnis mit einer relativ einfachen mathematischen Beziehung beschreiben lässt. Dieses Gesetz ist grafisch in Abbildung 5 für die jährlich weltweit auftretenden Erdbeben dargestellt. Man kann natürlich auch für ein kleineres Gebiet solch einen mathematischen Zusammenhang errechnen, wenn man einen zuverlässigen Erdbebenkatalog zugrunde legt.

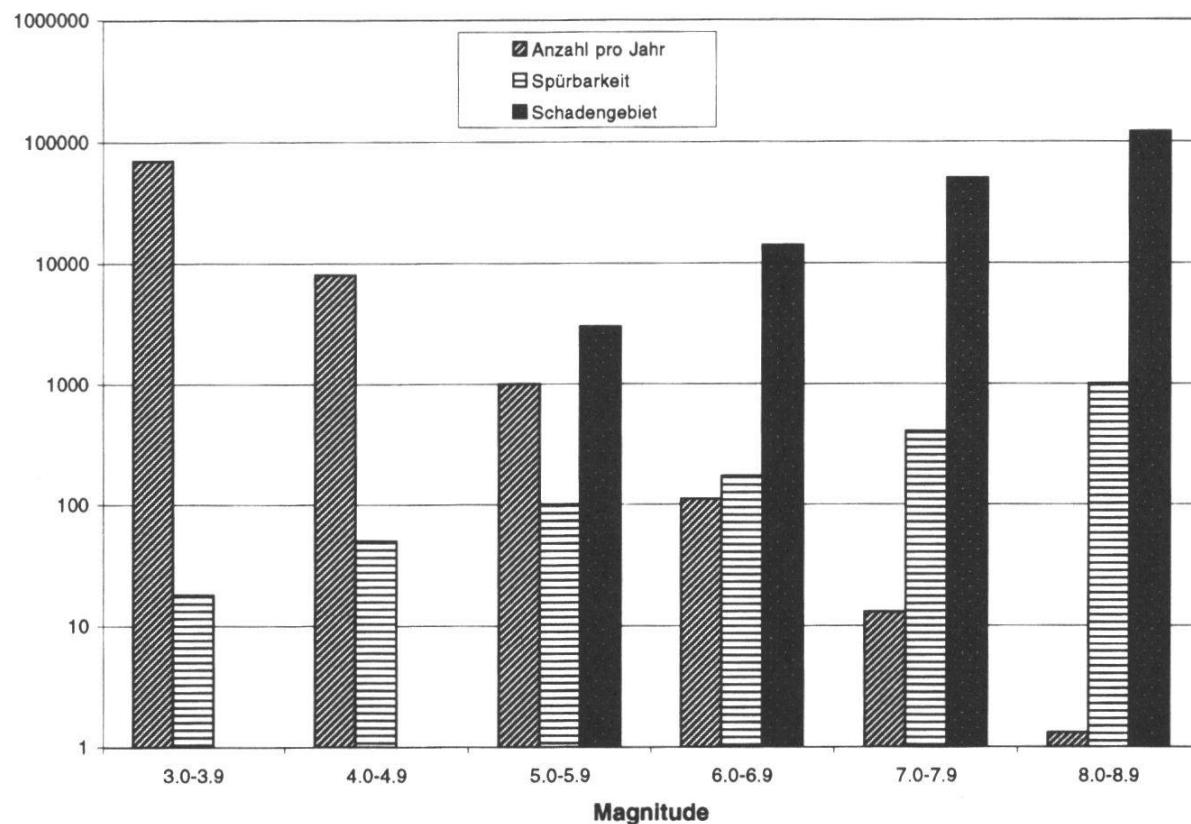


Abb. 5: Häufigkeit, Schadengebiet und Spürbarkeitsgrenze. Darstellung der weltweiten Erdbebenhäufigkeit pro Jahr für bestimmte Magnitudenbereiche. Außerdem sind die Ausdehnung des Schadengebietes (Quadratkilometer) und die Spürbarkeitsdistanz (km) für jede Magnitudenstufe eingezeichnet. Da erst ab Magnitude 5 Schäden zu erwarten sind, ist kein Schadengebiet für die darunterliegenden Magnituden angegeben.

Damit ist es prinzipiell auch möglich, aus der Anzahl tatsächlich registrierter kleiner Beben auf die Wahrscheinlichkeit eines grösseren Bebens in diesem Gebiet zu schliessen, wenn man die spezifisch gültige Gesetzmässigkeit kennt. Natürlich bleibt dies immer eine statistische Aussage und sollte nicht verwechselt werden mit einer – bisher noch nicht realisierbaren – zuverlässigen Erdbebenvorhersage.

Die Wahrscheinlichkeit für ein grösseres Erdbeben in einem bestimmten Gebiet wächst zudem, wenn über eine sehr lange Zeit kein solches stattgefunden hat, obwohl dies nach der Statistik langst hatte eintreten müssen. Aufgrund einer ähnlichen Theorie sind mehrere grosse Beben in China in den Jahren 1971 bis 1975 erfolgreich vorausberechnet worden. Zur genauen und zuverlässigen Erdbebenvorhersage nach Ort, Zeit und Starke müssen allerdings weit mehr Faktoren berücksichtigt werden, wie zum Beispiel Bodendeformationen, Änderungen im Grundwasser, Anomalien des magnetischen und elektrischen Erdfeldes und Variationen der Schallgeschwindigkeiten in der Erde. Das Verhalten dieser Faktoren vor grossen Erdbeben ist nach wie vor noch nicht genau bekannt und wird daher weltweit intensiv erforscht. Es ist klar, dass einzelne Erfolge auf diesem Gebiet wissenschaftlich sehr wohl eine Sensation darstellen können, für die Brauchbarkeit zählt aber eher die Zuverlässigkeit von Vorhersagemethoden ohne die bislang häufige Fehlprognosen.

Im Gegensatz zur Magnitude beschreibt die Intensität die Auswirkung eines Bebens an der Erdoberfläche und ändert sich von Ort zu Ort je nach der Entfernung zum Epizentrum und der Bodenbeschaffenheit. Sie kann ohne Instrumente, lediglich anhand von Wahrnehmungen während und nach einem Beben, festgelegt werden. Dies ist natürlich besonders von Vorteil, wenn die Starke eines historischen Erdbebens ermittelt werden soll, für das zwar keine instrumentellen Aufzeichnungen, dafür aber detaillierte Schadenbeschreibungen vorhanden sind. Das Mass für die Intensität ist durch eine heute in Europa allgemein gültige 12-stufige EMS92-Skala<sup>9</sup> festgelegt (siehe Tabelle 2). Einer der Pioniere auf diesem Gebiet war übrigens auch der Schweizer F. A. Forel, nach dem die lange Zeit (1900 bis 1964) gebräuchliche 10-stufige Rossi-Forel-Skala<sup>10</sup> benannt ist. Mit allen diesen Skalen kann man im Grunde dasselbe tun, nämlich einem bestimmten Schaden eine Zahl – die Intensität – zuordnen. Leichte Bauschäden sind ab Intensität VI zu erwarten. Hingegen ist ein Beben schon ab etwa Intensität III deutlich spürbar.

<sup>9</sup> Europäische Makroseismische Skala von 1992.

<sup>10</sup> Nach M. S. de Rossi und F.A. Forel (1881).

Tabelle 2: Seismische Intensitätsskala (EMS92)

| Grad<br>Stärke           | Wirkung auf                                       |  |   |
|--------------------------|---|--|---|
|                          | Personen  | Gebäude  | Natur   |
| I (unmerklich)           | nicht verspürt                                    |  |   |
| II (leicht)              | vereinzelt verspürt                               |  |   |
| III (leicht)             | vor allem von ruhenden Personen deutlich verspürt |  |   |
| IV (mässig stark)        | in Häusern allgemein verspürt, aufweckend         | Fenster klingen  |   |
| V (ziemlich stark)       | im Freien allgemein verspürt                      | Verputz bröckelt ab, hängende Gegenstände pendeln, Verschieben von Bildern   |   |
| VI (stark)               | erschreckend                                      | Kamine und Verputz beschädigt  | vereinzelt Risse in feuchtem Boden                      |
| VII (sehr stark)         | viele flüchten ins Freie                          | massige Schaden an schlechten Gebäuden, Kamine fallen herunter   | vereinzelt Erdrutsch an steilen Abhängen                |
| VIII (zerstörend)        | allgemeiner Schrecken                             | viele alte Häuser erleiden Schaden, Rohrleitungsbrüche, starke Schäden an schwachen Gebäuden, Schäden auch an gut gebauten Häusern, Bruch unterirdischer Rohrleitungen | Veränderungen in Quellen, Erdrutsche an Strassendämmen  |
| IX (verwüstend)          | Panik   | Backsteinbauten werden zerstört  | Bodenrisse, Bergstürze, viele Erdrutsche                |
| X (vernichtend)          | allgemeine Panik                                  |  | Verbiegen von Eisenbahnschienen, Erdrutsch              |
| XI (Katastrophe)         |   | nur wenige Gebäude halten stand, Rohrleitungen brechen   | Veränderungen des Erdbodens, Flutwellen                 |
| XII (grosse Katastrophe) |   | Hoch und Tiefbauten werden total zerstört  | tiefgreifende Veränderung der Erdoberfläche, Flutwellen |

Die höchste Intensität, das heisst die grössten Schäden, werden meist im Epizentralgebiet beobachtet. Mit zunehmender Entfernung vom Zentrum des Bebens werden dann die Intensitäten immer kleiner. In Abbildung 6 sind die Intensitätsverteilungen einiger historischer Beben in der Schweiz dargestellt. Wie man sieht, sind die sogenannten Isoseistenlinien<sup>11</sup> eher unregelmässig. Dies ist auf den unterschiedlichen Einfluss des Untergrundes oder den speziellen Mechanismus der Beben zurückzuführen. Daher treten bei einem starken Beben in benachbarten Ortschaften oft sehr unterschiedliche Schäden auf. Das Erdbeben 1985 in Mexiko hat sogar gezeigt, dass 350 Kilometer

<sup>11</sup> Linien, die ein Gebiet mit der gleichen Intensität einschliessen.

entfernt vom Epizentrum in Mexiko-Stadt, durch extrem ungünstigen weichen Untergrund verursacht, grössere Schaden aufgetreten sind als im eigentlichen Epizentralgebiet an der Westküste.

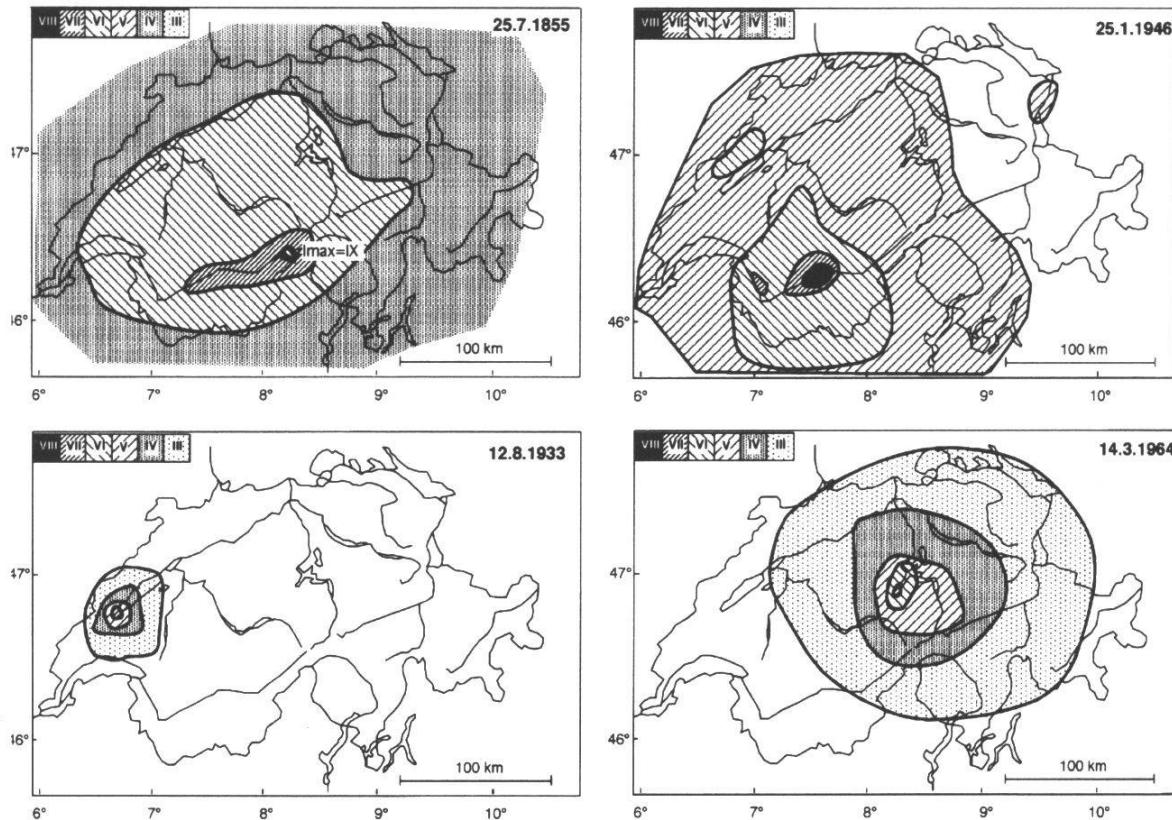


Abb. 6: Isoseistenkarten (Schadenverteilung) von starken Beben in der Schweiz. Die Beben von 1855 und 1946 im Wallis sind die jeweils stärksten Beben im 19. und 20. Jahrhundert in der Schweiz.

Magnitude, Intensität und Grösse des Schadengebietes hängen immer in typischer Weise voneinander ab. Einfach ausgedrückt: Je starker das Beben, um so grösser ist im allgemeinen das gesamte Schadengebiet. Definiert man das Schadengebiet eines Erdbebens genauer durch diejenige Fläche, in der Intensität VI oder grösser beobachtet wird, dann ergibt sich der in Abbildung 5 gezeigte Zusammenhang zwischen Magnitude und der Grösse des Schadengebietes. Ein Erdbeben der Magnitude 5 bis 6 in der Richter-Skala würde zum Beispiel ein Schadengebiet von nahezu der Grösse des Kantons Zürich aufweisen und mit Sicherheit auch in der übrigen Schweiz deutlich gespürt. Solche Informationen sind sehr nützlich, um die Ausdehnung eines betroffenen Gebietes im Hinblick auf Hilfsmassnahmen abschätzen zu können.

## 5. Die Bestimmung des Erdbebenrisikos

Das Erdbebenrisiko wird grundsätzlich durch drei Faktoren bestimmt, die unabhängig voneinander untersucht werden müssen:

1. die objektiv vorhandene Erdbebengefährdung (d. h. wie häufig während einer bestimmten Zeit an einem Ort eine bestimmte seismische Erschütterung auftritt),
2. die Schadenanfälligkeit von Bauten (d. h. wie widerstandsfähig Gebäude gegen diese seismischen Erschütterungen sind), und
3. der Schadenwert (d. h. wie hoch der durch das Erdbeben verursachte mögliche Schaden an Personen und Gütern ist).

Wenn die bisher aufgetretene Erdbebenhäufigkeit in einem Gebiet bekannt ist (etwa wie in Kapitel 4 beschrieben), können zusammen mit speziellen geologischen Karten als erstes die sogenannten seismogenetischen Zonen<sup>12</sup> festgelegt werden. Berücksichtigt man weiterhin die Abschwächung der Erschütterungen mit zunehmender Entfernung vom Epizentrum und ebenfalls die spezifische Beschaffenheit des Untergrundes, so lässt sich das Ergebnis für einen oder ggf. mehrere Orte berechnen. Seit 1978 existieren derartige Karten der Erdbebengefährdung für die Schweiz<sup>13</sup>, aus denen für jeden beliebigen Ort die Wahrscheinlichkeit des Auftretens einer bestimmten Intensität, stellvertretend für ein charakteristisches Schadenbild, entnommen werden kann. Sie dienen zur Ausarbeitung von Zonenkarten für Baunormen.

Die Schadenanfälligkeit von Gebäuden hängt von verschiedenen Faktoren ab, die von der Qualität des Baugrundes über konstruktive und materialtechnische Aspekte bis hin zur Inneneinrichtung reichen. Sie kann ganz wesentlich durch die Beachtung geeigneter Baumassnahmen – einfachen wie komplizierten – verringert werden. Ebenso können Personenschäden durch richtiges Verhalten vor, während und nach einem Erdbeben entscheidend beeinflusst werden (Kapitel 9).

Ausser den direkt sichtbaren Schäden müssen auch andere indirekte Verluste durch Betriebsausfälle, Arbeitslosigkeit oder Produktionsunterbrechungen für die Festlegung des gesamten volkswirtschaftlichen Schadens in Betracht gezogen werden. Die stärksten historischen Erdbeben in der Schweiz würden heute unter der Annahme, dass sie am gleichen Ort und mit gleicher Stärke stattfänden, Schadenkosten im Milliardenhöhe verursachen.<sup>14</sup> Untersuchungen in den USA haben ergeben, dass interessanterweise die mittelstarken Beben den insgesamt grössten Schadenanteil verursachten,

<sup>12</sup> Begrenzte Gebiete mit erhöhter Erdbebenaktivität.

<sup>13</sup> Erdbebengefährdung der Schweiz 1:500 000. Geophysikalische Karten der Schweiz Nr. 8. Zu beziehen beim Bundesamt für Landestopographie, Wabern.

<sup>14</sup> Quelle: Schweiz. Rückversicherung 1985.

weil sie wesentlich häufiger auftreten als maximalen Beben. Das bedeutet aber auch, dass schon relativ bescheidene Schutzmassnahmen gegen mittelstarke Beben den langzeitlich entstehenden Gesamtschaden beträchtlich herabsetzen können.

## 6. Wie gross ist die Erdbebengefährdung der Schweiz?

In der Schweiz muss erfahrungsgemäss im Zeitraum von 100 Jahren durchschnittlich etwa mit folgender Bebenhäufigkeit gerechnet werden:

| Anzahl Beben in 100 Jahren: | Magnitude (Richter Skala): | Maximale Intensität | Auswirkungen                |
|-----------------------------|----------------------------|---------------------|-----------------------------|
| 10000                       | 2                          | II bis III          | nicht verspürt              |
| 1000                        | 3                          | IV                  | leicht verspürt             |
| 100                         | 4                          | V bis VI            | erschreckend                |
| 10                          | 5                          | VII                 | mässige Schäden             |
| 1                           | 6                          | VIII bis IX         | mittlere bis starke Schäden |

Grössere Erdbeben mit Intensität VIII, in einzelnen Fällen mit IX, hat es in der Geschichte der Schweiz immer wieder gegeben, wie die Tabelle 3 mit den starken Erdbeben in der Schweiz seit 1850 zeigt. Interessante Informationen über historische Erdbeben sind meist in Stadt und Kirchenchroniken zu finden, in denen die Schäden und Auswirkungen sehr anschaulich, aber oft nicht sehr objektiv, beschrieben werden. Das in vielen Büchern erwähnte Beben von Basel am 18. Oktober 1356 war das stärkste jemals nördlich der Alpen aufgetretene Ereignis dieser Art. Im Ratsbuch von Basel wird dieses folgendermassen beschrieben (Originalzitat): «Man sol wissen, dass dise Stat von dem Erdpidem zerstöret und zerbrochen wart, und beleib anhein Kilche, Turne noch steinin Huss, weder in der Stat noch in den Vorstetten ganz, und wurdent grösselich zerstöret. Auch viel der Burggrabe an viel Stetten in.»

Tabelle 3: Die stärksten Erdbeben von 1850 bis heute in der Schweiz: (Intensität in der EMS92 – Skala grösser als VII)

| Datum           | Epizentralgebiet       | Intensität |
|-----------------|------------------------|------------|
| 1853 11. August | Solothurn, Aaretal     | VII        |
| 1855 25. Juli   | St. Niklaus, Vispertal | IX         |
| 1855 26. Juli   | St. Niklaus, Vispertal | VIII       |

|      |               |                         |      |
|------|---------------|-------------------------|------|
| 1855 | 28. Juli      | St. Niklaus, Vispatal   | VII  |
| 1855 | 28. Oktober   | St. Niklaus, Vispatal   | VII  |
| 1857 | 28. August    | Tarasp, Vulpera         | VII  |
| 1874 | 1. Dezember   | Vispatal, Zermatt       | VII  |
| 1880 | 4. Juli       | Brig, Oberwallis        | VII  |
| 1881 | 27. Januar    | Bern                    | VII  |
| 1881 | 25. November  | Monthey                 | VII  |
| 1885 | 13. April     | Zweisimmen, Simmental   | VII  |
| 1898 | 22. Februar   | Grandson, Yverdon       | VII  |
| 1898 | 6. Mai        | Frutigen, Kandertal     | VII  |
| 1898 | 14. Juni      | Sargans, Vaduz          | VII  |
| 1905 | 29. April     | Chamonix, Martigny      | VII  |
| 1905 | 13. August    | Chamonix, Martigny      | VII  |
| 1905 | 25. Dezember  | Churwalden, Thusis      | VII  |
| 1910 | 26. Mai       | Delémont                | VII  |
| 1915 | 25. August    | Martigny, St. Maurice   | VII  |
| 1924 | 15. April     | Brig, Vispatal          | VII  |
| 1925 | 8. Januar     | Orbe, Yverdon           | VII  |
| 1929 | 1. März       | Molondin, Donneloye     | VIII |
| 1933 | 12. August    | Moudon                  | VII  |
| 1946 | 25. Januar    | Rawilpass, Mittelwallis | VIII |
| 1946 | 26. Januar    | Rawilpass, Mittelwallis | VII  |
| 1946 | 30. Mai       | Siders, Sitten          | VII  |
| 1960 | 23. März      | Brig, Vispatal          | VII  |
| 1964 | 17. Februar   | Sarnen, Kerns           | VII  |
| 1964 | 14. März      | Sarnen, Kerns           | VII  |
| 1971 | 29. September | Näfels, Mollis, Glarus  | VII  |

Das in der Folge ausgebrochene Feuer wütete etwa eine Woche lang in der Stadt und vergrösserte den Schaden beträchtlich. Im Umkreis von 30 km wurden ausserdem mehr als 20 Burgen zerstört, und sogar in 300 km Entfernung im Burgund traten noch Beschädigungen an den Stadtmauern auf. Aufgrund dieser Informationen kann man recht zuverlässig den Gesamtschaden abschätzen, selbst wenn die mittelalterliche Bauweise nicht genau bekannt ist. Weiterhin können wir den Beschreibungen entnehmen, dass dieses Beben im Epizentralgebiet südlich von Basel etwa die Intensität IX erreicht haben muss. Insgesamt waren in den vergangenen zwei Jahrhunderten die meisten starken Erdbeben allerdings im Wallis zu verzeichnen.

Eine vereinfachte Erdbebengefährdungskarte der Schweiz ist in Abbildung 7 wiedergegeben. In ihr sind vier Gefährdungszonen unterschieden, auf der Auswertung aller bekannten Erdbeben in der Schweiz vom Jahr 1200 bis heute basieren. Während in der Nordschweiz die Gebiete mit der

geringsten Gefährdung liegen, ist das Wallis relativ am stärksten betroffen. Anders ausgedrückt, besagt die Karte, dass in den Zonen 1, 2, 3 und 4 entsprechend einmal, zweimal, dreimal oder viermal im Mittel pro 100 Jahre mit einer Erdbebenerschütterung der Intensität VI oder mehr gerechnet werden muss. Die Zone 4 in der Schweiz weist aber zum Beispiel immer noch eine wesentlich niedrigere Erdbebengefährdung als die aktivsten Erdbebengebiete in Italien, Jugoslawien oder Griechenland auf. Ganz anders kann es allerdings aussehen, wenn das Risiko, das heisst die möglichen Schaden, betrachtet werden. Eine Wiederholung des Bebens von 1356 in Basel würde heute in der Region wohl Schaden in Milliardenhöhe verursachen. Auf der anderen Seite gibt es auch kein Gebiet in der Schweiz ohne eine gewisse Erdbebengefährdung.

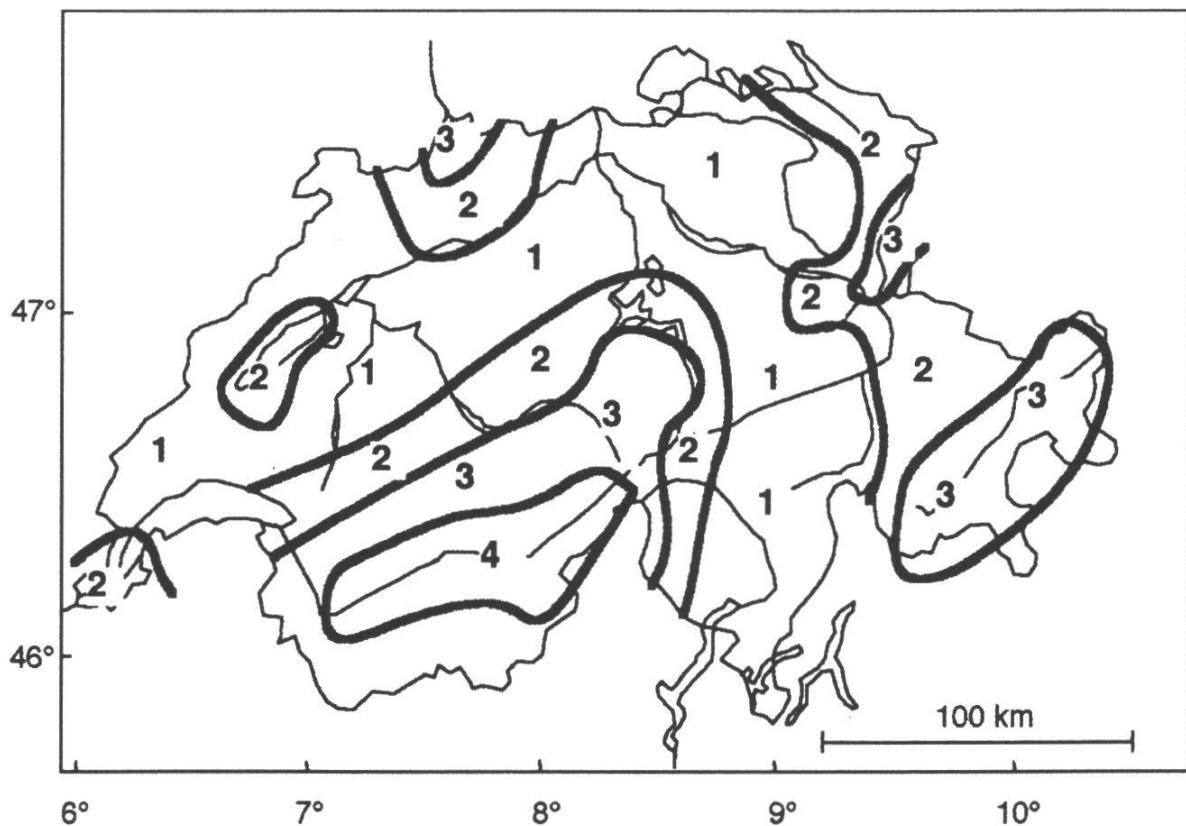


Abb. 7: Die Erdbebengefährdung der Schweiz, aufgeteilt in vier Zonen, mit (1) kleiner, in (2) mässiger, in (3) mittlerer und in (4) erhöhter Gefährdung.

## 7. Wie reagieren Gebäude bei Erdbeben?

Gebäude (zum Beispiel Häuser mit wenigen Stockwerken, Lagerhallen) sind normalerweise so konstruiert, dass sie vor allem das eigene Gewicht tragen können und es dabei möglichst gleichmässig auf die Grundmauern verteilen. Infolgedessen sind sie auch gegen zusätzliche, senkrecht wirkende

Erdbebenkräfte im allgemeinen ganz gut geschützt. Erdbeben verursachen aber auch Schwingungen im Untergrund, die in waagrechter Richtung auf das Fundament eines Gebäudes einwirken können. Da Gebäude relativ starre Gebilde sind, geben sie in der Regel diesen Kräften nicht genügend nach, wodurch sehr oft gerade in horizontaler Richtung die grösseren Beanspruchungen auftreten. Dagegen sind aber die meisten Gebäude viel weniger gerüstet als gegen senkrechte Beanspruchung.

Im folgenden sollen nun ein paar der prinzipiellen Faktoren besprochen werden, die einen wesentlichen Einfluss auf den Schadenverlauf bei einem Erdbeben haben. Der Konstruktionstyp, und dabei hauptsächlich der Grundriss, ist der erste wichtige Faktor. Jedes Gebäude mit einem nicht-symmetrischen Grund und Aufriss ist von vorneherein stärker gefährdet. Ein hohes Gebäude, das mit einem niedrigen zusammengebaut ist, aber auch Säulen, Wände und Luftschächte, die nicht symmetrisch zum Grundriss angebracht sind, können zum Beispiel das Schadenpotential vergrössern. Solche Gebäude schwingen oder reagieren in sehr komplizierter Weise, was meist nicht exakt im voraus berechnet werden kann.

Des weiteren ist die Qualität des Baumaterials und der Bauausführung von grossem Einfluss. Gerade in dieser Hinsicht ist eine Überprüfung oft schwierig. Ein Gebäude ist generell immer so sicher wie das schwächste tragende Element! Die Erfahrungen bei den grossen Beben der vergangenen Jahre im Mittelmeerraum und in Südamerika haben gezeigt, dass ein Grossteil aller Schäden gerade auf die Vernachlässigung dieser bautechnischen Grundregeln, beziehungsweise auf das Fehlen einer wirksamen Kontrolle zurückzuführen ist, obwohl die gesetzlichen Grundlagen für erdbebengerechtes Bauen gegeben sind. Die moderne Bautechnik verfügt heute sehr wohl über eine ganze Reihe von wirksamen Massnahmen, um mit vernünftigem Aufwand Schäden an Gebäuden zu verringern, oder zumindest deren totalen Einsturz zu verhindern. Eine völlig erdbebensichere Bauweise wäre nicht sinnvoll und überdies unerschwinglich teuer.

Unter dem Schadenmass bei einem Erdbeben versteht man allgemein die Anzahl beschädigter Gebäude in einem bestimmten Gebiet, ausgedrückt zum Beispiel in Prozent. Das Schadenmass kann sehr unterschiedlich ausfallen, je nach Intensität des Bebens und je nach Schadenanfälligkeit des Bautyps. Teilt man die Bauten in verschiedene Standardtypen ein, wie in Abbildung 8, dann zeigt das Schadenmass einen jeweils charakteristischen Verlauf. In dieser Darstellung werden die Intensitätsstufen VII bis X berücksichtigt, da nur für sie zuverlässige Schadenerhebungen vorliegen.

Bemerkenswert ist nun weniger der zu erwartende Unterschied im Schadenmass zwischen den einzelnen Bautypen, als vielmehr der sehr positive Einfluss von erdbebengerechter Bauweise, das heisst der gezielten Herabsetzung der Schadenanfälligkeit. Eine erdbebengerechte Bauweise kann vielfach schon durch die Einhaltung traditioneller Bauregeln erreicht werden, bei

komplizierten oder funktionell wichtigen Bauten aber sind immer besondere Berechnungen erforderlich. In praktisch allen Fällen, die normale Bauten betreffen, geben die Schweizerischen Baunormen (SIA) über die erforderlichen Massnahmen Auskunft.

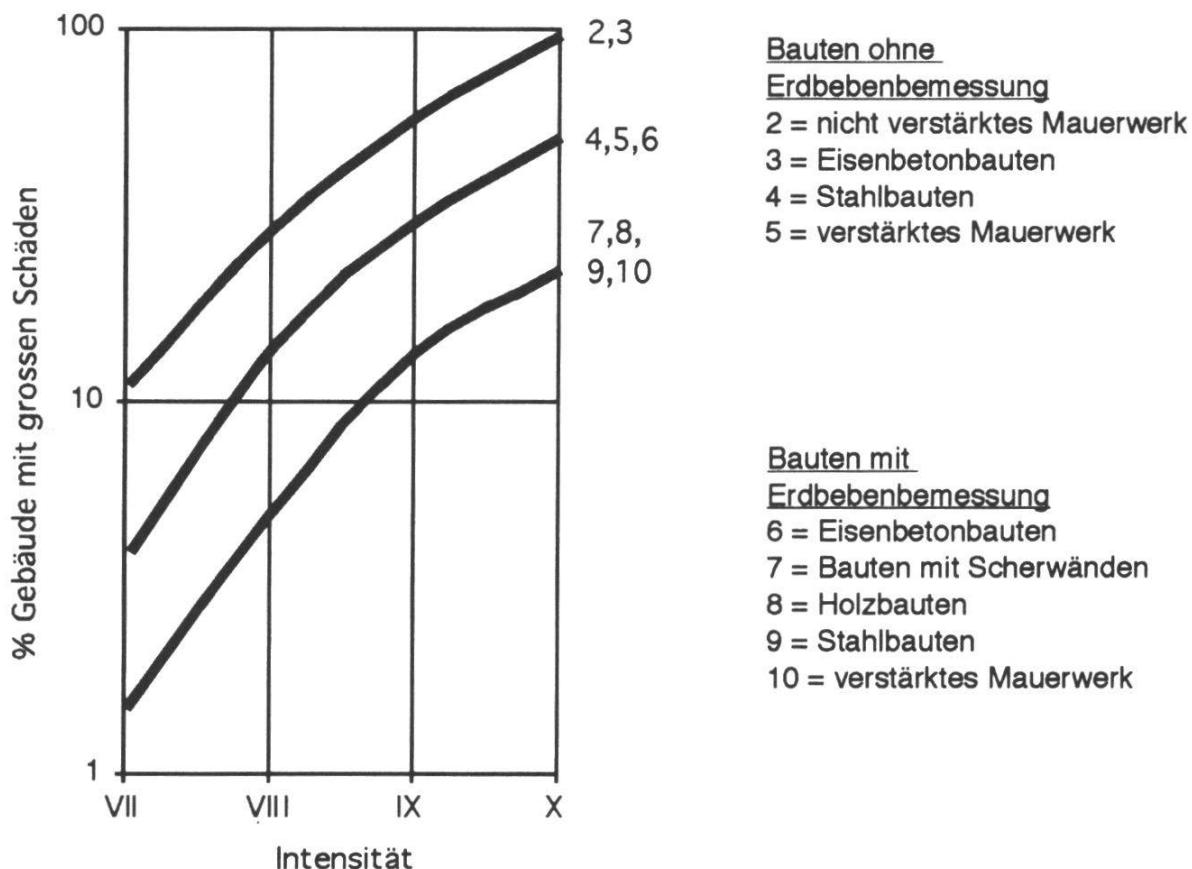


Abb. 8: Das Schadenmass. Prozentualer Anteil von Gebäuden mit schweren Schäden bei verschiedenen Erdbebenintensitäten. Dargestellt ist der Einfluss von unterschiedlicher Bauweise und erdbebengerechter Konstruktion.

## 8. Das Erdbebenrisiko bei Spezialbauten

Die Beachtung von Baunormen unter Berücksichtigung der etwas vereinfachten Erdbebenzonen, wie sie in Abbildung 7 dargestellt sind, genügt in den meisten Fällen, um den gewünschten Minimalschutz gegen Erdbebenwirkungen zu erhalten. Es gibt allerdings Bauten, die hier vom Gesetzgeber ausdrücklich ausgenommen sind. Für diese sind immer spezielle und weit aufwendigere Abklärungen und Massnahmen gegen Erdbebenwirkungen erforderlich. Zu solchen Bauten zählen Kernkraftwerke und grosse Stauanlagen. In beiden Fällen sind die akzeptierbaren und vom Gesetzgeber zugelassenen Risiken weit tiefer als für normale Bauten. Für Kernkraftwerke muss zum Beispiel nachgewiesen werden, dass sie ohne wesentlichen Schaden einer Erdbebenerschütterung standhalten, die am

Standort im statistischen Mittel nur einmal in einem Zeitraum von 10 000 Jahren oder mehr zu erwarten ist. Man spricht hier vom sogenannten Sicherheitsbeben<sup>15</sup>, bei dem das Werk immer noch «dicht» bleiben muss und ausserdem problemlos abgeschaltet werden kann. Sowohl die notwendigen dynamischen Analysen<sup>16</sup> als auch die baulichen Massnahmen sind sehr anspruchsvoll in diesen Fällen.

Die Mehrzahl der grossen Stauanlagen in der Schweiz liegt im Alpengebiet und damit – im Gegensatz zu den Kernanlagen – in den Zonen mit relativ hoher Erdbebengefährdung. Der Einfluss von Erdbeben auf die Talsperren und deren Umgebung wurde zum Zeitpunkt der Erbauung nach dem jeweiligen Stand der Technik berücksichtigt, meist indem man eine zusätzliche sogenannte statische Erdbebenersatzlast<sup>17</sup> miteinbezog, die etwa 10 bis 15 Prozent des Eigengewichts der Mauer beträgt. Auch hier sind aufwendige Computerprogramme für die dynamische Berechnung einer Staumauer oder eines Staudamms erforderlich.

Bei Deponien für nuklearen Abfall ist es vor allen Dingen wichtig, langsame Verschiebungen in der Erdkruste, die über grosse Zeiträume (mehr als 100 000 Jahre) hinweg auftreten können, einigermassen zuverlässig abzuschätzen. Aussagen über die geologische Sicherheit solcher Deponien können erst nach langjährigen und aufwendigen Forschungen gemacht werden.

## 9. Wie kann man sich vor Erdbeben schützen?

Die Wahrscheinlichkeit, dass ein zerstörendes Beben in der Schweiz auftritt, ist gering. Es muss aber sehr wohl mit leichten bis mittleren Schadenbeben gerechnet werden. Gegen die Auswirkungen solcher Erdbeben kann sich jedermann individuell und wirkungsvoll schützen. Es gibt dafür eine Reihe von einfachen Verhaltensregeln, die sich in der Praxis gut bewahrt haben. Da Erdbeben in der Regel nur zu kurz andauernden heftigen Erschütterungen führen, ist es wichtig, sofort und überlegt zu reagieren und zu handeln. Die entsprechenden Verhaltensregeln in anderen Ländern, wie zum Beispiel in Italien oder in Japan, sind zwar den jeweiligen lokalen Gegebenheiten angepasst, sehen aber in ihren Grundzügen ganz ähnlich aus wie die hier wiedergegebenen Regeln für die Schweiz.

<sup>15</sup> Vom Gesetzgeber festgelegt.

<sup>16</sup> Berechnung des Schwingungsverhaltens einer Konstruktion bei wellenförmiger Anregung.

<sup>17</sup> Berechnung der Verformung einer Konstruktion bei Annahme einer konstanten Last.

## Verhaltensregeln bei Erdbeben

### *Vorsorgemassnahmen:*

- Sich überlegen, welche Vorsorgemassnahmen man treffen kann und wie man sich bei einem Beben verhalten würde.
- Feststellen, wo sich die Hauptschalter und -hahnen für elektrischen Strom, Wasser und Gas befinden, wer sie bedienen könnte und wie man sie bedient (vom Hausmeister instruieren lassen).
- Gebäude und Wohnungen (Heim und Arbeitsplatz) auf lockere Kamine, Ofenrohre, Dachziegel und Verputzteile an Wänden und Decken überprüfen und diese Mängel und Schäden beheben.
- Wichtige Telefonnummern (Polizei, Feuerwehr, Arzt, Spital usw.) gut sichtbar notieren.
- Notgepäck (persönliche Ausweise, persönliche Medikamente usw.) bereithalten.

### *Zweckmassiges Verhalten während eines starken Erdbebens:*

- Im Innern von Gebäuden rasch einen sicheren Platz aufsuchen, wie im Türrahmen, unter einem soliden Tisch, Pult oder Bett, zum Schutze vor herabfallendem Verputz und unbefestigten Einrichtungsgegenständen.
- Nicht zu den Ausgängen stürzen.
- Im Freien weg von Aussenwänden (Abstand mindestens eine halbe Gebäudehöhe).

### *Massnahmen nach einem Erdbeben:*

- Ruhe bewahren und feststellen, ob jemand in der Umgebung verletzt wurde und gegebenenfalls Erste Hilfe leisten.
- Auf Nachbeben gefasst sein, daher nicht zu früh mit den Aufräumungsarbeiten beginnen.
- Vorsicht vor vom Dach herunterfallenden losen Teilen; weg von Aussenmauern.
- Nicht nutzlos telefonieren, da das Netz in diesem Falle Hilfs und Rettungsdiensten zur Verfügung stehen muss.
- Gebäude und Umgebung auf mögliche Feuerherde überprüfen (offene Kamine, elektrische Kurzschlüsse, beschädigte Gasleitungen). Feuerherde nach Möglichkeit löschen und der Feuerwehr melden.
- Feststellen der Schaden am Gebäude und Mitteilungen an die Polizei oder an die bezeichnete Meldesammelstelle, wenn gefährliche Schäden vorliegen.
- Nicht mit dem Auto herumfahren, um Schäden zu besichtigen; wichtige Lösch- und Rettungsaktionen dürfen nicht gestört werden.
- Anordnungen und Empfehlungen des Ordnungs, Rettungs und Hilfsdienstes beachten.

## **Ergänzende Literatur**

- B. BOLT, 1995. Erdbeben, Schlüssel zur Geodynamik. Spektrum Akademischer Verlag Heidelberg ISBN 3-86025-353-0, 218 S.
- G. SCHNEIDER, 1975. Erdbeben. F. Enke Verlag Stuttgart, 406 S.
- C.M.R. FOWLER, 1996. The Solid Earth. An Introduction to Global Geophysics. Cambridge University Press, ISBN 0-521-38590.3, 472 S.
- R. SAEGESSER und D. MAYER-ROSA, 1977. Erdbebenrisikokarten der Schweiz. ASK-Bericht, Schweizerischer Erdbebendienst ETH-Zürich, 120 S. Gekürzte Fassung des 1986 von der Nationalen Schweizerischen UNESCO-Kommission herausgegebenen Textes.