

Kann man Erdbeben voraussagen?

Von Univ.-Prof. Dr. Max Toperczer, Wien.

Vortrag, gehalten am 22. Jänner 1964.

Mehrere große Erdbeben, die sich mit teilweise zerstörender Wirkung in der jüngsten Vergangenheit im europäischen Bereich ereigneten und über die in Presse und Rundfunk ausführlich berichtet wurde, haben in Verbindung mit dem Auftreten kleinerer Beben in der weiteren Umgebung von Wien die Aufmerksamkeit und das Interesse der Öffentlichkeit wieder besonders auf diese Naturerscheinung gelenkt. Im Zusammenhang mit solchen Katastrophen wird dann immer auch die Frage erörtert, ob nicht die Möglichkeit bestehe, das Auftreten von Erdbeben vorher zu bestimmen, sie vorauszusagen.

Vor der Beantwortung dieser Frage ist es erforderlich, die wichtigsten Angaben über das Zustandekommen und den Mechanismus der großen Schadensbeben, vor denen der Mensch gewarnt werden will, zusammenzustellen. Aus ihnen ergibt sich dann eigentlich schon von selbst die Antwort auf die gestellte Frage und der Hinweis, in welcher Weise sie auch technisch gelöst werden könnte.

In den meisten Fällen gehören die schadenbringenden Erdbeben zu der Gruppe der tektonischen Beben, in einigen Fällen stehen sie in Verbindung mit der Ausbruchstätigkeit von Vulkanen und werden daher als vulkanische Beben bezeichnet. In allen Fällen aber besteht ein Erdbeben in dem plötzlichen Freiwerden aufgespeicherter, latenter oder potentieller Energie. Im technischen Bereich entspricht dem vulkanischen Beben die Explosion einer Sprengladung, den tektonischen Beben die Vorgänge, die etwa beim Zerbrechen eines festen Körpers auftreten.

Für vulkanische Beben ist eine Bebenvorhersage möglich und tatsächlich werden auch Vulkane, die in dichter besiedelten Gegenden liegen, durch eigene Vulkanobservatorien überwacht und die Bevölkerung auf Grund der laufenden Beobachtungen vor einem bevorstehenden größeren Ausbruch gewarnt. In den meisten Fällen ist so eine zutreffende Ausbruchspрогнose möglich. Damit ist aber auch das Problem der Bebenvorhersage für die Gruppe der vulkanischen Beben gelöst, weil diese immer Begleiterscheinungen eines größeren Ausbruches sind. Kann man also den Ausbruch vorhersagen, so ist damit auch der Zeitpunkt des begleitenden Bebens festgelegt.

Auch die Lage des Bebenherdes ist bei einem vulkanischen Beben von vornherein gegeben; es ist identisch mit dem Vulkan selbst. Bei einem vulkanischen Beben ist also das Problem der Bebenvorhersage vereinfacht, da sowohl der Ort als auch der

Zeitpunkt des Bebens mit einem Ereignis verbunden ist, das sich im Bereich der Erdoberfläche vollzieht. Damit ist es aber auch der Beobachtung viel leichter zugänglich als ein tektonisches Beben.

Bei einem tektonischen Beben liegt der Bebenherd meist in einer gewissen, oft nicht unbeträchtlichen Tiefe, unterhalb der Erdoberfläche. Er ist auch nicht, wie bei einem vulkanischen Beben, an eine bestimmte natürlich vorgegebene Stelle an der Erdoberfläche gebunden. Damit ist gegenüber den vulkanischen Beben das Problem der Bebenvorhersage schon deswegen schwieriger, weil es eine größere Zahl unbekannter Größen enthält.

Die tektonischen Beben kann man in zwei große Gruppen scheiden: in krustale und subkrustale Beben. Die krustalen Beben haben ihren Ursprung in der äußeren Erdkruste, die sich aus einzelnen, festen Schollen zusammensetzt. Die subkrustalen Beben haben ihren Ursprung in den unterhalb der festen Erdkruste liegenden Schichten, die sich wegen des dort herrschenden hohen Druckes und der relativ hohen Temperatur in einem zäh-plastischen Zustand befinden. Die Grenze zwischen diesen beiden Bereichen können wir im Durchschnitt in einer Tiefe von rund 30 km annehmen. Der subkrustale Bereich geht dann in noch größerer Tiefe in den Erdmantel über, der für sich wieder einen eigenen Zustandsbereich der die Erde aufbauenden Materie bildet. Die beiden Bereiche, die die Kruste aufbauen, zusammen bilden die

Tektonosphäre, in dem die tektonischen Vorgänge hauptsächlich stattfinden.

Durch tektonische Vorgänge wird die Oberfläche der Erde ununterbrochen verändert; die Kraftquellen für diese Veränderungen haben ihren Sitz im Innern der Erde, sie werden aber teilweise gesteuert und ausgelöst auch durch die Einwirkung äußerer Kräfte, vor allem durch die Massenverschiebungen, die durch die abtragende Tätigkeit der fließenden Gewässer und der Luftströmungen verursacht werden.

Die augenfälligsten Zeugnisse der tektonischen Tätigkeit sind die großen Gebirgszüge. Aber auch sie sind das Ergebnis winziger Teilbewegungen, die nur durch lange Zeiträume immer in der gleichen Richtung gewirkt haben. Die tektonische Tätigkeit ist nicht gleichmäßig über die Erdoberfläche verteilt; es gibt weite Gebiete auf ihr, in der tektonische Bewegungen nur in sehr geringem Ausmaß auftreten und Zonen, in denen die tektonische Aktivität sehr groß ist. Der Vulkanismus und die Erdbebentätigkeit sind an diese Zonen großer tektonischer Aktivität gebunden.

Ein Großteil der durch die tektonischen Kräfte erzeugten Bewegungen in der Erdkruste geht langsam und stetig vor sich. Wir sind heute in der Lage, diese langsamen Hebungen und Senkungen, die Verbiegungen einzelner Schollenteile auch schon innerhalb kurzer Beobachtungsreihen festzustellen und zu messen.

Ein Teil dieser tektonischen Bewegungen erfolgt

aber plötzlich, ruckweise; in diesen Fällen bewirkt die rasche Auslösung eines vorhergehenden Zwangszustandes ein tektonisches Beben. Das Schollenmosaik, das die äußere feste Erdkruste zusammensetzt, ist nicht überall frei beweglich. Dort, wo das Schollengefüge den langsamen tektonischen Veränderungen genügenden Widerstand entgegensezтtzt, häufen sich in ihm solange Spannungen an, bis diese an der Stelle geringster Festigkeit des Gefüges sich schlagartig ausgleichen können. Dieser Spannungsausgleich bewirkt das Erdbeben.

Aber auch in den tieferen Schichten mit ihrem zähplastischem Verhalten können plötzliche Zustandsänderungen stattfinden, die ihrerseits die Energiequelle für die subkrustalen Beben sind. In den großen Tiefen stehen die die Kruste aufbauenden Massen unter hohem Druck, sie haben daher einen hohen Energieinhalt, der dem einer gespannten Feder zu vergleichen ist. In gewissen kritischen Zustandsbereichen genügen dann kleine Änderungen des Druckes und der Temperatur, um eine Gefügeänderung zu bewirken, die gleichfalls dieselben Vorgänge erzeugt, wie die Auslösung von Spannungen im festen Teil der Erdkruste.

In manchen Bergwerken treten Bergschläge auf. Durch den auflastenden Gebirgsdruck werden plötzlich einige Kubikmeter Gestein aus der Stollenwand in den leeren Stollenraum ausgepreßt, ohne daß im Gesteinsgefüge nennenswerte Narben zurückbleiben.

Ein solcher Bergschlag ist sozusagen ein Kleinstmodell eines tektonischen Bebens. Tatsächlich treten bei Bergschlägen auch an der Erdoberfläche bebenähnliche Bodenerschütterungen auf.

Die tektonischen Beben sind gebunden an Vorgänge in den mehr oder minder großen Tiefen der Erdkruste. Um sie vorherzusagen, müssen also meßbare Vorgänge im Bereich der Erdoberfläche aufgefunden werden, die in eindeutiger Weise mit den Vorgängen in der Tiefe verbunden sind. Für die vulkanischen Beben liegen die Verhältnisse günstiger, da hier die Bebenursache in der Erdoberfläche selbst ihren Sitz hat. Es soll daher zunächst die Vorhersagemöglichkeit für diese Bebengruppe besprochen werden, weil sich daraus auch Hinweise für die Lösung des wesentlich schwierigeren Problems der Vorhersage tektonischer Beben ergeben werden.

Ein Vulkanausbruch wird erzeugt durch die plötzliche Energieabgabe des im Vulkanschlot empordringenden Magmas. Er besteht aus einer oder mehreren Explosionen. Die Energieentbindung erfolgt erst in der Nähe der Erdoberfläche. Das Empordringen des Magmas kann aber schon vorher erkannt werden. Das Magma ist ja eine gashaltige Gesteinsschmelze, die zunächst langsam aus der Tiefe emporsteigt und dabei viele Hindernisse zu überwinden hat. Bei der Überwindung dieser mechanischen Hindernisse, die sich dem Empordringen des Magmas in den Weg stellen, kommt es nun schon zu geringfügigen Boden-

erschütterungen, zu Mikrobeben, die sich verstärken und meist auch häufiger auftreten, je mehr sich das Magma der Erdoberfläche nähert. Diese Mikrobeben sind zunächst sinnlich nicht wahrnehmbar, können jedoch durch empfindliche Seismographen aufgezeichnet werden. Bei Annäherung an die Erdoberfläche kann durch in die Seiten des Vulkans eingebaute Mikrophone bei entsprechender Verstärkung die Bewegung der Magmamassen auch akustisch wahrgenommen werden. Vor dem Ausbruch verstärken sich dann die Bodenerschütterungen und können u. U. auch direkt wahrgenommen werden.

Nun hat ein jeder Vulkan einen bestimmten Ausbruchsmechanismus, d. h. die zeitliche Aufeinanderfolge und die Stärkezunahme der dem Ausbruch vorhergehenden Kleinbebentätigkeit steht in einer bestimmten Beziehung zu dem Zeitpunkt des tatsächlichen Ausbruchs. Aus diesen an der Erdoberfläche meßbaren Anzeichen kann daher der bevorstehende Ausbruch und daher auch das ihn begleitende Beben mit großer Sicherheit vorhergesagt werden. Der Ort des Bebens ist dabei nicht zu bestimmen, da dieser durch den Vulkan selbst festgelegt ist.

Zweifellos müssen nun auf Grund ganz einfacher physikalischer Überlegungen auch einem tektonischen Beben vorbereitende Vorgänge vorhergehen; sind diese durch Messungen von der Erdoberfläche aus zu erfassen, so kann darauf auch eine Bebenvorhersage für diese Bebengruppe gegründet werden. Bei den

krustalen Beben müssen sich im Schollengefüge anwachsende Spannungen zeigen, bei den subkrustalen Beben müssen ebenso vorbereitende Zustandsänderungen erfolgen. Die Schwierigkeit liegt aber darin, daß hier die vorbereitenden Vorgänge in großer Tiefe stattfinden und an der Erdoberfläche dadurch nur ganz winzige Veränderungen bewirkt werden können, die überdies im gleichen oder noch größerem Ausmaß auch durch andere, von außen auf die Kruste einwirkende Kräfte verursacht werden können.

Aus den Aufzeichnungen mehrerer Erdbebenwarten kann nicht nur der Ort, sondern auch die Tiefenlage eines Bebenherdes bestimmt werden. Der Bebenherd ist dabei der Mittelpunkt jenes Raumgebietes, in dem die Energiequelle des Erdbebens liegt. Am Ostrand der Alpen haben nun die größeren Beben alle eine Herdtiefe von 30—40 km. Die einleitenden Vorgänge bei einem tektonischen Beben sind aber mit einer zunächst kleinen Energieentfaltung verbunden, in manchen Fällen handelt es sich nur um stetig ablaufende Druckbeanspruchungen oder geringfügigste Verbiegungen.

Je tiefer die Herdlage eines Bebens ist, umso schwerer wird es, die einleitenden Vorgänge von der Erdoberfläche aus festzustellen, umso schwieriger auch ist es, das Epizentrum des künftigen Bebens, also jenen Bereich an der Erdoberfläche, in dem die größten Wirkungen auftreten werden, festzulegen.

In technischer Beziehung ist das Problem der

Bebenvorhersage bei tektonischen Beben heute noch nicht vollständig gelöst, doch können wir wenigstens die Richtlinien festlegen und die Methoden angeben, auf die eine künftige Bebenvorhersage aufgebaut werden könnte. Eine Bebenvorhersage wird nur dann möglich sein, wenn es gelingt, von der Erdoberfläche aus den Ablauf des tektonischen Geschehens möglichst lückenlos zu kontrollieren. Das tektonische Geschehen äußert sich in Mikrobewegungen der Erdkruste. Diese Bewegungen können sowohl durch innere, als auch durch äußere Ursachen bewirkt werden. Unsere Messungen müssen daher so angelegt werden, daß wir zwischen diesen beiden Ursachengruppen möglichst gut unterscheiden können.

Die normalen Bewegungen, die durch tektonische Kräfte erzeugt werden, sind sehr klein. Sie bewirken Verschiebungen, Höhenänderungen und Neigungen des Erdbodens an der jeweiligen Beobachtungsstelle. Vertikalverschiebungen und Neigungen bewirken aber auch äußere Kräfte, die wechselnde Belastung der Erdkruste durch den äußeren Luftdruck, die regelmäßige Einwirkung der durch die wechselnde Stellung von Sonne und Mond erzeugten Änderungen der Schwerkraft, der Gezeitenkräfte. Die täglichen Krustenschwankungen bewirkt durch die Gezeitenkräfte, betragen im Durchschnitt etwa 10 cm, können aber auf das Doppelte ansteigen. Die Krustendeformationen infolge der wechselnden Belastung durch den Luftdruck können noch größere vertikale Ver-

lagerungen zur Folge haben. Alle diese Bewegungen erfolgen aber in wechselnder Richtung und dadurch können sie von den eigentlichen tektonischen Vorgängen unterschieden werden, bei denen die Krustenverlagerungen an sich zwar noch viel kleiner sind, aber stets in der gleichen Richtung fortschreiten.

Die Messung der für eine erfolgreiche Bebenvorhersage notwendigen winzigen Veränderungen ist an sich ein schwieriges Problem. Vertikalbewegungen können mit Hilfe des Präzisionsnivelllements festgestellt werden, doch müssen immer einige Jahre verstreichen, bis die kleinen vertikalen Bewegungen, die Hebungen und Senkungen einzelner Schollenteile, sich zu einem meßbaren Betrag angesammelt haben. Die horizontalen Verschiebungen können unter den gleichen Bedingungen ebenfalls durch die modernen Methoden der geodätischen Landesvermessung erfaßt werden. Diese Messungen geben einen Einblick in den Bewegungszustand des Schollengefüges. Dadurch können tektonisch aktive Gebiete von den in Ruhe verharrenden unterschieden werden. Nur die tektonisch aktiven Gebiete sind aber erdbebengefährdet.

Damit aber ist nur ein Hinweis auf eine vorhandene Anlage zum Auftreten von Erdbeben gegeben, aber noch kein Hinweis auf die tatsächliche Neigung, daß in nächster Zeit Erdbeben auftreten werden. Dazu bedarf es eines Netzes von besonderen Erdbebenstationen, die nicht zur Aufzeichnung von normalen Erdbeben bestimmt sind, sondern die die für die

gewöhnlichen Seismographen unmerklichen Ultramikrobeben anzeigen sollen. Es ist also die Aktivität dieser Kleinstbeben durch sie zu überwachen. Beim Auftreten starker Spannungen in der Kruste kommt es schon vor den eigentlichen Beben zu solchen Ultramikrobeben, zu kleinsten Bruch- und Verlagerungsvorgängen im Krustengefüge. Dieses „Knistern“ kann man aber nun nichtmehr von der Erdoberfläche aus beobachten, weil hier die technischen Erschütterungen durch Maschinen und den Verkehr, die Erschütterungen, die der Wind an der rauhen Erdoberfläche erzeugt, viel stärkere Bodenerschütterungen hervorrufen als es die sind, die diese „Kleinstbeben“ zustandbringen. Man muß solche Beobachtungsstationen in die Kruste selbst, in tiefe Schächte verlegen und sie müßten natürlich innerhalb des gefährdeten Gebietes in größerer Zahl vorhanden sein, weil man durch sie ja auch die Stelle des zukünftigen Großbebens erst ermitteln muß.

Wahrscheinlich besteht auch ein Zusammenhang zwischen der auflebenden Bebentätigkeit bzw. den sie verursachenden tektonischen Vorgängen und den Erdstromsystemen und den Variationen des erdmagnetischen Feldes. Nach japanischen Beobachtungen können sehr kurzperiodische Schwankungen mit sehr kleiner Amplitude des geomagnetischen Feldes auf ein bald folgendes Beben hinweisen. Doch sind hier die Zusammenhänge noch nicht soweit geklärt, um darauf eine erfolgreiche Vorhersage aufzubauen. Aber

auch solche Beobachtungen erfordern völlig störungsfreie Räume, sind also in dicht besiedelten Gebieten — und solche sind ja in erster Linie durch ein Vorhersagesystem zu schützen — kaum aufzufinden.

Um also ein auch technisch wirksames Vorhersagesystem einzurichten und zu unterhalten, ist ein sehr aufwendiges und kostspieliges Netz von Stationen und Beobachtern einzurichten. Vor allem in Japan, das ja oft durch starke Beben heimgesucht wird, hat man sich auch mit der finanziellen Seite dieser Angelegenheit beschäftigt und ist zu sehr hohen Beträgen gekommen.

Dazu kommt noch, daß auch ein nach den modernsten Gesichtspunkten und ohne Rücksicht auf die Kosten eingerichtetes Netz eines Erdbebenwarndienstes zunächst noch wenig Nutzen bringen würde. Ebenso wie ein jeder Vulkan einen ihm eigentümlichen Ausbruchsmechanismus hat, der erst aus den Beobachtungen einiger Vulkanausbrüche abgeleitet werden kann, müssen erst die Mechanismen der Großbebenherde mit Hilfe des Beobachtungsnetzes untersucht und erforscht werden, um dann aus den Beobachtungsdaten die weitere Tätigkeit dieser Herde vorhersagen zu können.

Wie notwendig wären exakte meteorologische Kenntnisse zur Zeit der Segelschiffahrt gewesen und doch hat sich eine exakte Meteorologie und damit auch eine erfolgreiche Wettervorhersage erst im Zeitalter der Maschinentechnik entwickeln können und

die Wettervorhersage strebt auch heute, nach mehr als 80-jähriger Erfahrung, noch immer nach einer weiteren Verbesserung ihrer Grundlagen und technischen Einrichtungen. Auf ähnlich lange Entwicklungszeiten müßte man auch bei einer Erdbebenvorhersage rechnen, weil es sich hier um ein Problem von mindestens gleicher Schwierigkeit handelt.

Der Nutzen einer gut arbeitenden Bebenvorhersage wäre aber bei genauer Überlegung ein sehr problematischer. Denken wir uns, ein derartiges System wäre ausgearbeitet und auch in Betrieb. Vor einem Großbeben würde nun die Bevölkerung der im Bebenbereich gelegenen Siedlungen gewarnt werden. In dichtbesiedelten Gegenden wäre aber eine vollkommene Evakuierung des bedrohten Gebietes technisch kaum durchführbar. Die Gebäude und technischen Einrichtungen könnten aber im Warngebiet in keiner Weise vor der eventuellen Beschädigung und Zerstörung gesichert werden. Lediglich die Zahl der Menschenopfer, die eine solche Katastrophe fordert, wäre wahrscheinlich infolge der rechtzeitig erfolgten Warnung geringer. Eine Erdbebenvorhersage bietet eben keinen Erdbebenschutz.

Einen solchen einzurichten ist viel wichtiger als die Vorhersage von Beben und diesen Weg gehen auch die Techniker in Gebieten, bei oder in denen Großbebenherde liegen und häufige Schadensbeben auftreten. Das wichtigste Schutzmittel ist dabei die erdbebensichere Bauweise. Eine solche ist heute

durchaus möglich, auch im Bereich des Wohnungsbaues. Natürlich wird es immer wieder besondere Katastrophen geben, bei denen auch richtig gebaute Häuser teilweise zerstört werden, doch treten schwere Beben maximaler Leistung sehr selten auf und die Wahrscheinlichkeit, daß sie dicht besiedeltes Gebiet treffen, ist gering. Denn gerade das häufigere Auftreten starker Beben ist wieder eine Sicherung gegen das Eintreten schwerster Katastrophen. Die aufgespeicherten Spannungsenergien werden schon in geringeren Raten ausgelöst, statt sich noch weiter bis zum Eintreten schwerster Katastrophen anzuhäufen.

Die moderne Bautechnik gestattet Wohnhäuser zu errichten, die auch schweren Erdbeben bis zum Grad 10 der empirischen Bebenskala, also bis zu Beschleunigungen von etwa einem Zehntel der Erdbeschleunigung, wenn auch beschädigt, doch unzerstört standhalten können. Große Bauwerke, wie etwa Stahlskelettbauten und ähnliche Konstruktionen halten ebenfalls, wie die Erfahrungen aus den japanischen Bebengebieten gezeigt haben, auch schweren Beben stand. Daß bei den gewöhnlichen Großbeben Häuser zerstört werden, ist bei heute gebauten Häusern nur mangelnder Voraussicht zuzuschreiben. Althausbestand ist gegen Beben viel anfälliger, da Ziegelmauerwerk auch bei guter Ausführung schon bei Stärkegraden zwischen 7 und 8 zerstört werden kann.

Bei den letzten österreichischen Beben haben auch

tatsächlich nur Althäuser teilweise kleine Schäden erlitten, neu gebaute Häuser sind durchwegs unbeschädigt geblieben. Dies hängt auch damit zusammen, daß ältere Häuser meist auch eine Reihe latenter Bauschäden enthalten, die bei einer zusätzlichen dynamischen Beanspruchung, wie sie die Trägheitskräfte bei einem Beben bewirken, akut werden.

Besser als eine Beben vorhersage ist der Bebenschutz, wie ihn eine sachgemäße Bauweise und richtiges menschliches Verhalten bei einem Beben bieten. Gerade das kopflose Verlassen von Häusern fordert meist die größte Zahl an Opfern, die auf der Straße von den abfallenden leichten und losen Bauteilen, wie abfallenden Schornsteinen und Dachziegeln getroffen und dabei verletzt und getötet werden.

Hier in Österreich sind starke Erdbeben nach der bisher vorliegenden Erfahrung nicht zu befürchten. Soweit die Überlieferung reicht, ist die Zahl der Menschenopfer, die bisher Erdbeben auf unserem Bundesgebiet gefordert haben, sehr gering und in den meisten Fällen handelt es sich dabei um Zufallsopfer, die nicht in den Häusern sondern auf der Straße den Tod gefunden haben. Jedenfalls ist die Zahl der Toten durch Einwirkung von Erdbeben verschwindend gering gegen die Zahl der Verkehrsoptfer. Und diese ließen sich durch vorbeugende Maßnahmen sicher viel leichter vermeiden als die Folgen von Naturkatastrophen. Die österreichischen Bauordnungen nehmen heute Bedacht auf die bei Erdbeben wirkenden Kräfte

und danach ordnungsmäßig errichtete Häuser können bezüglich der hier auftretenden Beben als erdbebensicher bezeichnet werden.