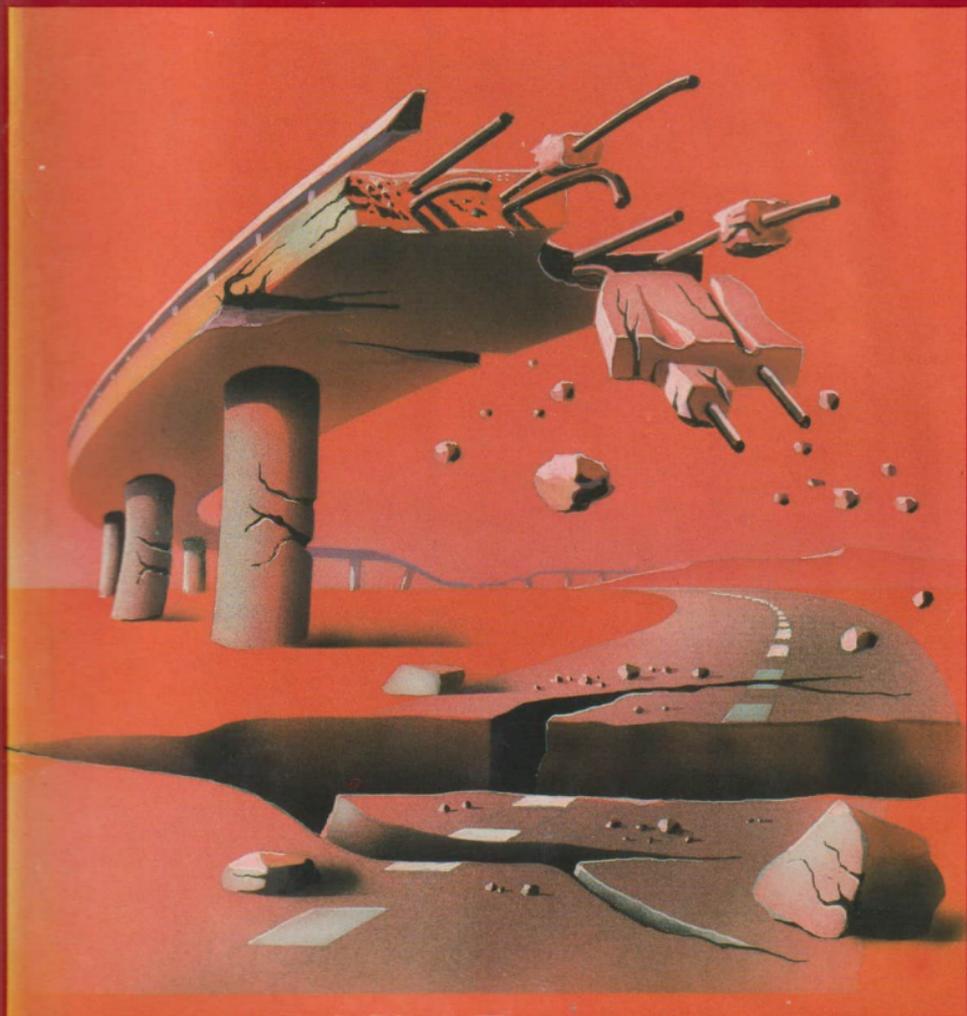


Immer wieder

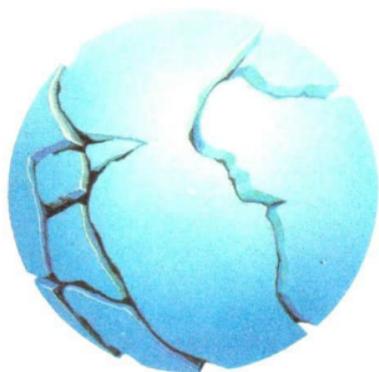
bebt
die Erde

Franz Jacobs



Franz Jacobs

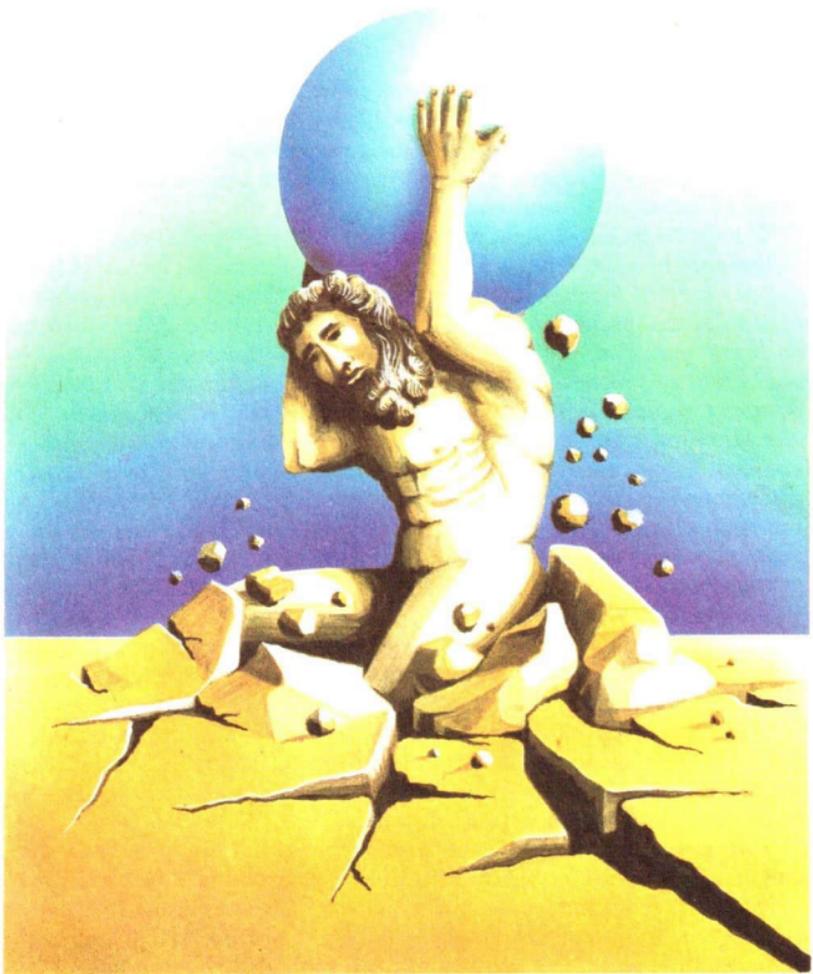
**Immer wieder
bebt
die Erde**



Verlag Neues Leben Berlin

Zeichnungen von Peter Hesse

Der Riese Seismos schüttelt sich



Der große Unbekannte

Seit es die Erde mit ihrer festen Kruste gibt, gehören Erdbeben zu den ständigen Begleitern. In vielen Regionen der Welt müssen die Menschen mit ihnen leben. Unabwendbar und meist unvorhersehbar brechen sie mit Urgewalt aus dem Innern der Erde hervor oder äußern sich nur durch kaum zu spürende Erschütterungen.

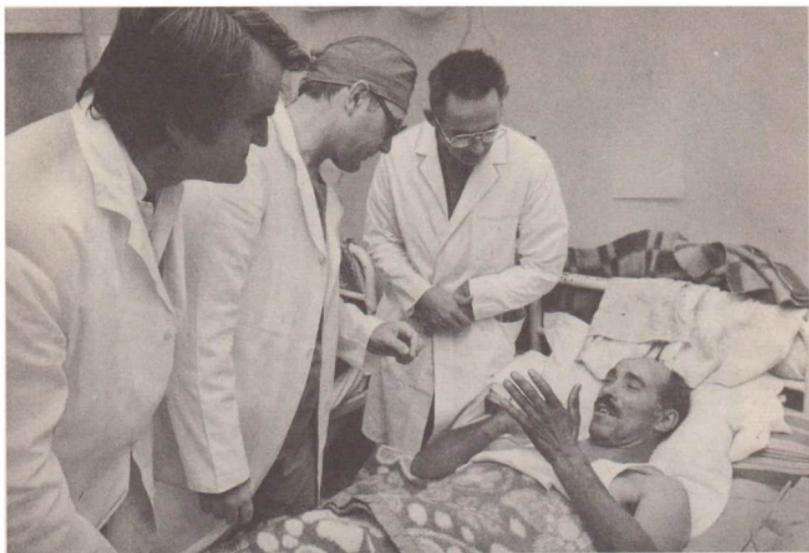
Wie sicher ist der Boden, auf dem wir stehen? Werden die Erdbeben zahlreicher und stärker? Ist die Existenz der Menschheit bedroht? Sollte gar der große Unbekannte in der Tiefe die Erdkugel zersprengen können? In Millionen Jahren wird es eine neue Eiszeit geben. Müssen wir uns auch auf eine „Erdbebenzeit“ einrichten und in ständiger Bebenangst leben? Oder zerbrechen die Kontinente und versinken in den Ozeanen wie einst das sagenhafte Atlantis? Die Geowissenschaftler beobachten, daß das Mittelmeer langsam verschwindet, weil Afrika und Europa bebenknallend gegeneinanderstoßen. Verschieben sich andere Teile der Erdrinde reibend und stoßend wie driftende Eisschollen? Stimmt es, daß Los Angeles auf einer solchen Scholle entlang einem Erdriß nach Norden gezogen wird und in 10 Millionen Jahren am heute noch 500 km entfernten San Francisco mit Bebenknirschen vorbeiwandern wird?

Die Ursachen der Erdbeben liegen unter unseren Füßen. Stürzen unterirdische Hohlräume ein, explodiert vulkanische Glut, oder geraten Berge mit ihren steinernen Wurzeln aneinander? Gibt es Erdspalten, in denen Menschen oder Ortschaften verschwinden können?

Erdbeben treten mal hier, mal dort auf. Wie hoch ist die Erdbebengefährdung für die DDR? Immerhin gewährt die Staatliche Versicherung der DDR für Gebäude ausdrücklich Versicherungsschutz gegen das Risiko des Elementarereignisses Erdbeben!

Gibt es überhaupt einen Schutz vor den Erschütterungen? Was wird aus den Hochhäusern, wenn das große Beben kommt? Wie muß man Häuser, Straßen, Brücken und Städte bauen, damit sie bebensicher sind?

Was tun, wenn ein Beben ausbricht? Hilft nur die Flucht, um nicht Schaden zu nehmen? Als der Riese Seismos im „Faust“ von *Johann Wolf-*



Ärzte aus der DDR in Ouhran (Algerien) nach dem Beben bei El-Asnam im Oktober 1980

gang Goethe (1749–1832) brummend und polternd aus der Tiefe aufsteigt, rufen die Sirenen:

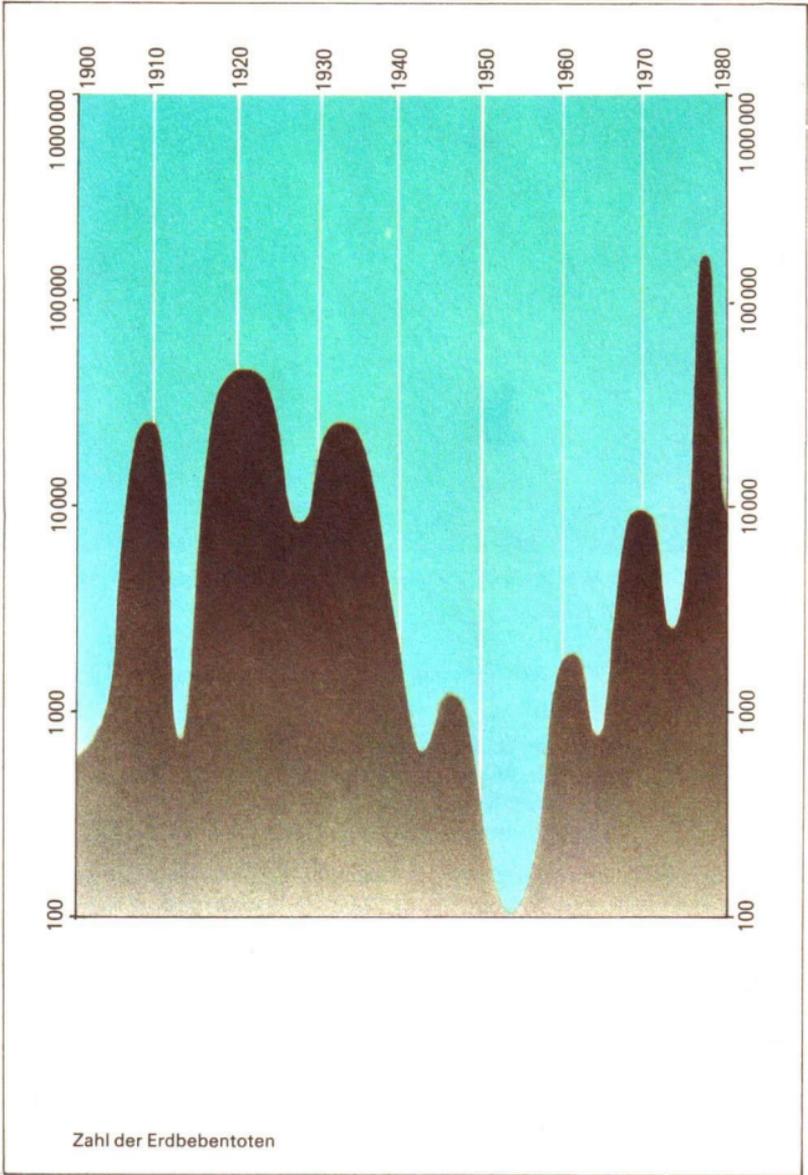
Dort ein freibewegtes Leben,
Hier ein ängstlich Erbeben;
Eile jeder Kluge fort!
Schauderhaft ist's um den Ort.*

Warum entstanden aber gerade in manchen Erdbebenländern dichtbesiedelte Industrie- und Wohngebiete? Weshalb werden Städte wie Taschkent, San Francisco oder Messina nach Erdbeben immer wieder an denselben Stellen über Bebenspaltan aufgebaut?

Warum sind Beben so schwer vorhersagbar? Wie funktioniert deren Prognose? Vermögen Tiere, Erdbeben zu „riechen“ und den Menschen zu warnen?

Sicher setzen Erdbeben riesige Energiemengen frei. Könnte man diese nicht ähnlich der Erdwärme wirtschaftlich nutzen? Warum sind den For-

* Goethe, Berliner Ausgabe, Bd. 8, Berlin und Weimar 1965, S. 394



schern die Erdbeben als „Röntgenaugen“ zur Durchleuchtung der Erdschichten so wichtig?

Fragen über Fragen. Die Wissenschaft von den Erdbeben, die Seismologie (griech. *seismos* = Erdbeben), kann heute schon viele klare Antworten darauf geben.

Kein Weltuntergang durch Erdbeben

Regenwolken, Gewitter, Orkane, Schneestürme oder Waldbrände ziehen sichtbar näher. Sturmflut oder Hochwasser sieht man drohend steigen. Erdbeben aber brechen meist sekundschnell, ohne Vorwarnung aus und treffen auf einen Schlag große Gebiete, ohne daß der Mensch sich ihrer erwehren könnte. *Arnold Montanus* (gest. 1687), ein niederländischer Asienreisender, schrieb unter dem Eindruck des Bebens von Yedo (heute Tokio) im Jahr 1650: „Der Feind kan / durch hohe Waelle / in seinem einfalle gehaemet werden. Bey harten stuermen kan man in den Haefen eine sichere zuflucht finden. Den Feuers bruensten vermag man aus dem Wege zu weichen. Die schaedlichen und giftigen Seuchen reumen wohl Menschen aus den Staedten / doch die Staedte selbst nicht weg. Aber das Erdboeben wirfet wohl in grundlose Koelcke und Gruefte ganzte Laender / Berge / Staedte und Doerfer / und lesset nichts darvon uebrig; oder bedeckt sie mit hohen Molshauffen so gar / daß man weder stiel noch staken darvon siehet.“*

Nach Taifunen und Wirbelstürmen stehen Erdbeben mit durchschnittlich 10 000 Toten je Jahr an zweiter Stelle der todbringenden Naturkatastrophen.

Das Jahr 1976 ist mit mehr als einer halben Million Toten wahrscheinlich das bisher opferreichste des 2. Jahrtausends gewesen, während im Jahr 1961 nur 110 Beben-tote zu beklagen waren.

Was bedeuten diese Zahlen im Vergleich zu anderen unnatürlichen Todesursachen? Jedes Jahr kommen durch Verkehrsunfälle Hunderttausende von Menschen ums Leben. Allein auf den Straßen Indiens gibt es jedes Jahr über 20 000 Verkehrstote, sowohl in der BRD als auch in Frankreich sind es über 10 000, in den USA sterben jährlich etwa 20 000 Menschen durch Schußverletzungen, New York registriert über 2000 Morde im Jahr. Aus Frankreich wird die traurige Bilanz von jährlich 14 000 Toten infolge des Mißbrauchs von Nikotin, Alkohol oder Drogen gemeldet.

* zit. nach: J. Kozák/P. Schmidt, Abbildungen seismologischer Inhalte in europäischen Drucken des 15. bis 18. Jahrhunderts, in: Geschichte der Seismologie, Seismik und Erdgezeitenforschung, Potsdam 1981, S. 91

Naturkatastrophen	Jährliche Opfer (Mittelwerte)
Zyklone, Taifune, Stürme, Orkane	35 000
Erdbeben	10 000
Überschwemmungen	8 000
Gewitter	1 000
Tsunami (seismische Meereswogen)	600
Vulkanausbrüche	300
Hitzewellen, Kältewellen	je 300
Lawinen, Erdbeben	je 300

Die Zahl der Erdbebenopfer ist kleiner als die Zahl der Todesfälle infolge von Schlangenbissen oder Tetanus (Wundstarrkrampf). An versehentlich vergifteten oder verdorbenen Lebensmitteln gehen jährlich mehr Menschen zugrunde als durch die Gewalt der Erdbeben. In den letzten 10 Jahren vor Beginn der chemischen Malariabekämpfung raffte die Anophelesmücke als Krankheitsüberträger mehr Menschen dahin als die Erdbeben in der gesamten Menschheitsgeschichte. Ganz zu schweigen von gesellschaftlich bedingten Todesursachen wie Hunger und Krieg. Nach Angaben von UNICEF, der Kinderhilfsorganisation der UNO, starben allein 1982 täglich (!) 40 000 Kinder an Unterernährung.

Dagegen sind die Erdbeben eine vergleichsweise harmlose Erscheinung. Dennoch rücken sie immer wieder nachhaltig ins Bewußtsein der Bevölkerung, verursachen Entsetzen und Mitgefühl, weil sie erstens häufig eine größere Zahl von Menschen und Bauwerken zur selben Zeit und am selben Ort treffen und zweitens meist das Gleichgewicht einer größeren Menschengemeinschaft schlagartig empfindlich stören.

Chronik der Erdbeben des Jahres 1976

- | | |
|------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 4. Februar | Guatemala
Schwerstes Beben Mittelamerikas in diesem Jahrhundert, 23 000 Tote, 76 000 Verletzte, 1 Million Obdachlose, 6 Milliarden Dollar Schäden |
| 19. März | Afghanistan
49 Tote, starke Zerstörungen |
| 6. Mai | Oberitalien (Friaul)
Schwerstes europäisches Schadenbeben nördlich des Mittelmeerraums, 929 Tote, 2286 Verletzte, |

- 100 000 Obdachlose, 10 Milliarden Dollar Schäden;
Auswirkungen im Südteil der DDR gespürt, Hun-
derte von Nachstößen
17. Mai Usbekistan (Gasli)
Zerstörung der Wüstensiedlung Gasli, 6 Tote,
100 Millionen Rubel Schäden
25. Juni Westirien
6000 Tote im unübersichtlichen Bergdschungel,
6 Dörfer durch Erdrutsche verschüttet
14. Juli Bali
563 Tote auf einer der größten Inseln des Malai-
schen Archipels, 2300 Verletzte
27. Juli Nordostchina (Tangshan)
Eins der schwersten Beben der Menschheitsge-
schichte, mehrere hunderttausend Tote, verhee-
rende Schäden in einem Industriegebiet
16. August Philippinen
Auf der Insel Mindanao 6500 Tote, 90 000 Obdach-
lose, 5 m hohe Tsunami, 160 Millionen Dollar
Schäden
11. September Oberitalien (Friaul)
Starker Nachstoß der seit Mai anhaltenden Beben-
serie, 5 Tote, erneute Zerstörungen
15. September Oberitalien (Friaul)
Nochmaliges Nachbeben, 11 Tote, weitere Zerstö-
rungen
29. Oktober Westirien
Nachstöße des Großbebens vom 25. Juni, 133 Tote
7. November Iran (Provinz Koasan)
17 Tote, schwere Schäden
24. November Türkei (Araratgebiet)
Schwere Verwüstungen in den Gebirgsdörfern
Nordostanatoliens, 5000 Tote

Weitere 12 Beben forderten Todesopfer, 56 verursachten zum Teil be-
trächtliche Sachschäden.



Rettungstrupp im März 1977 in Bukarest

So schlimm Erdbeben auch sein mögen, sie bedrohen keineswegs die menschliche Existenz; denn es gibt keine Anzeichen für eine weltweite Zunahme der Bebengefahr. Häufungen von Erdbeben sind nichts Geheimnisvolles. Ihre räumliche Verteilung läßt sich geologisch erklären. Die am meisten von schweren Beben heimgesuchten Länder sind die Türkei, Iran, Japan, Griechenland, die UdSSR, Peru, Mexiko, Chile, Italien, die USA, China und Jugoslawien.

Im Lauf der Zeit treten manchmal mehr, manchmal weniger Beben auf. Die zufällige Verteilung ist kein Grund zu besonderer Besorgnis. Mit dem Zusammentreffen starker Beben – wie zuletzt im Jahr 1976 – verhält es sich wie in einem Würfelspiel, wenn mehrmals hintereinander eine Sechs erscheint. Das geschieht zwar selten und erregt Erstaunen, aber



In der Altstadt von Gemona nach dem Beben von Friaul (Oberitalien) 1976

niemand kann daraus ableiten, daß mit dem Würfel etwas nicht in Ordnung sei.

Erdbeben sind unvermeidliche und nur sehr schwer vorhersagbare Umweltereignisse. Im Lauf seiner gesellschaftlichen Entwicklung aber hat der Mensch technische und soziale Möglichkeiten geschaffen, sich vor den schlimmsten Wirkungen und ihren Folgeerscheinungen zu schützen.



Solidaritätssendung des FDGB am 15. Oktober 1980 auf dem Flughafen von Algier

Wenn überall für alle bebengerecht gebaut würde, könnten die Zahl der Opfer und die Höhe der Schäden erheblich sinken.

Es wäre falsch, anzunehmen, daß die Erdbeben nur Schaden stiften. Zwar sind noch keine Wege zu ihrer direkten Nutzung als Energiequelle in Sicht, doch schon seit längerer Zeit werden sie als unersetzliche Großexperimente zur Erforschung des inneren Aufbaus unseres Planeten genutzt. Sie verraten den Menschen Geheimnisse über verborgene unterirdische Naturschätze und tragen in sich den Schlüssel für den immer wirksameren Bebenschutz und für künftige Bebenvorhersagen. Der Weg der Erkenntnis aber ist lang und nicht ohne Opfer.

Erdbebenursachen – ein Rätsel?

„Nichts lag in der Luft, was ein Unheil verkünden konnte. Wir hatten uns ruhig schlafen gelegt, als etwas nach fünf Uhr in der Nacht die in der Kammer des Dienstmädchens befindliche Katze ein jämmerliches Geheul

begann, so daß das Mädchen davon erwachte. Sie hörte, wie die Katze in höchster Angst große Sprünge machte und hinaus wollte . . ., als plötzlich mit ungeheurer Gewalt der Boden unter den Füßen senkrecht gehoben wurde, um sogleich wieder mit derselben Plötzlichkeit und einem fürchterlichen Ruck herabzustürzen. Nach jenem ersten senkrechten Stoße mochten wohl 45—50 Sekunden verflossen sein, als unter gräßlichem unterirdischem Geheul und Getöse die Erde in entsetzliche Wirbelbewegung geriet. Das Haus wurde nach allen Seiten gerüttelt und gehoben. Die ganze nach dem Meer zu gelegene Front des Hauses stürzte ein, während die andern Wände stehen blieben . . .

Die niedergestürzte Front ließ den Blick aufs Meer frei. Im Augenblick des zweiten Stoßes, sicher nur wenige Sekunden später, rollte eine mächtige Woge vom Meer ins Land hinein, die das fürchterliche Weltuntergangsgetöse noch erhöhte. Gleich darauf zog sich das Meer um mindestens 50 Meter zurück, so daß weithin der Meeresboden freilag . . . Gegenüber lag die kalabrische Küste. Sonst von einem funkelnden Lichtkranz eingefaßt, war sie jetzt in tiefe Nacht gehüllt. Mit den Lichtern mußte auch drüben alles Leben erloschen sein.“*

So erlebte der italienische Pensionär *de Angelis* den Beginn des Erdbebens von Messina (Sizilien) am Morgen des 28. Dezember 1908.

Nicht alle Beben sind so stark, dauern so lange oder werden von einer Meereswoge begleitet wie das Messinabeben. Jedes hat ein anderes Gesicht. Keins ist die genaue Wiederholung eines vorhergehenden. Die betroffenen Menschen erleben jedesmal neue Überraschungen. Sind deshalb die Erdbeben unlösbare Rätsel?

Den Menschen in der Urgesellschaft, die zwar die Natur viel intensiver als wir, aber ohne Kenntnis der wissenschaftlichen Zusammenhänge erleben, mußte es wohl so scheinen. Sie suchten die Verursacher der Erdbeben in der sie umgebenden Tierwelt oder im Reich der Götter. Wer wollte es den Urvölkern Afrikas und Asiens verdenken, daß sie Elefanten, Stiere, Schlangen, Schildkröten oder Riesenechsen für die geheimnisvollen Erderschütterungen verantwortlich machten? Erinnert doch das Fortschreiten der Bebenwellen sehr an die Bewegung von Tieren. In den Legenden und Mythen Japans begegnet man dem neunköpfigen Drachen Kuzuryu, der in einer Höhle haust und sich wutschnaubend über das Tun der Menschen ärgert, genauso wie der Erdspinne Jushinmushi oder einem bärtigen Riesenwels, der sich unter der schwimmenden Insel Honshu schüttelt. Auf Kamtschatka, der Halbinsel im eisigen Nordpazifik, glaubte man an den Riesen Tuil, der — auf einem Schlitten reitend — un-

* zit. nach: William Herbert Hobbs, Erdbeben, Leipzig 1910, S. 117

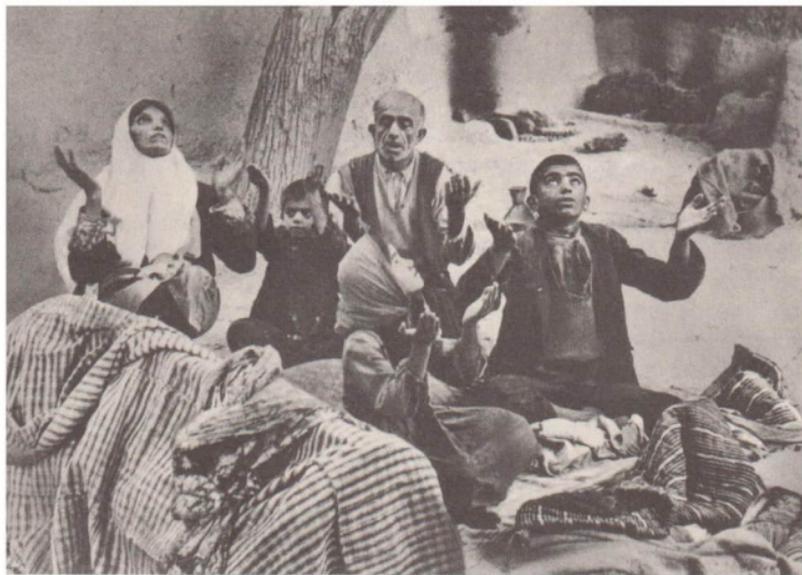
ter der Erde entlangholpert. Nordische Sagen berichten vom Feuergott Loki als Bebenmacher.

In den Sklavereigesellschaften mußte die Religion zur Erklärung der Erdbeben herhalten. Ob Erdgötter in Ägypten, Wettergötter in Assyrien und Babylonien oder Gottheiten in Gestalt von Gestirnen – redegewandte Priester fanden für alles eine Begründung.

Indem Gott eine Erdspalte aufreißen und die Bösewichter verschlingen läßt, wird im Alten Testament die aufrührerische Rotte Korah auf Bitte von Moses gestraft: Da „zerriß die Erde unter ihnen und tat ihren Mund auf und verschlang sie mit ihren Sippen, mit allen Menschen, die zu Korah gehörten, und mit all ihrer Habe“ (4. Mose 16, 31–32). Überhaupt findet man in der Heiligen Schrift nicht wenige Stellen, die sich direkt oder indirekt mit der Naturerscheinung Erdbeben befassen. Über Sodom und Gomorra ließ Gott Schwefel und Feuer regnen und „vernichtete die Städte und die ganze Gegend“ (1. Mose 19, 24–25). Als während Sauls Krieg sein Sohn Jonathan die Philister im Lager von Michmas überrumpelte, entstand ein Schrecken, „und die Erde erbebt“ (1. Sam 14, 15). Auf dem Berg Sinai angelangt, wurde Elias von einem heftigen Sturm überrascht, „der die Berge zerriß und die Felsen zerbrach . . . Nach dem Wind aber kam ein Erdbeben . . . Und nach dem Erdbeben kam ein Feuer“ (1. Kön 19, 11–12), das heißt, Gebäude oder Zelte brannten infolge der umgestürzten Feuerstellen nieder. Die Beispiele ließen sich fortsetzen.

In der griechischen Sagenwelt waren neben dem Riesen Atlas auch Zeus (Gott des Himmels) und sein Bruder Poseidon (Gott der Gewässer) für die Erdbeben „zuständig“. Einen Gott oder Riesen namens Seismos, wie ihn Goethe im „Faust“ auftreten läßt, kannte die Antike nicht.

Die Naturphilosophen im alten griechischen Reich suchten die Beben schon aus dem Zusammenspiel der natürlichen Elemente Wasser, Luft, Feuer und Erde zu erklären. *Demokrit* (460–371 v. u. Z.) hielt die aufweichende Wirkung des Regens auf die harte Erdrinde für die Ursache von Erdbeben. *Anaximenes* (um 585–um 525 v. u. Z.) wagte gar eine Bebenvorhersage aus dem Wechsel von Austrocknung und Niederschlag. Der berühmte *Pythagoras* (540–500 v. u. Z.) glaubte an die allgewaltige Kraft eines Zentralfeuers im Erdinnern. *Epikur* (342/41–271/70 v. u. Z.) vertrat im Gegensatz dazu die Lehrmeinung von der entscheidenden Rolle des Wassers. Die durch Auswaschung geschaffenen Höhlungen und die daraus folgenden Einstürze seien der alleinige Bebengrund. *Metrodoros* (4. Jahrhundert v. u. Z.) hatte ganz richtig Schollenbewegungen der festen Erdkruste in Verdacht und kam damit unseren heutigen Auffassungen von der Hauptursache der Erdbeben schon erstaunlich nahe. Seine Gedanken gerieten aber weitgehend in Vergessenheit.



Überlebende von Erdbebenkatastrophen im Iran suchen Rat bei Allah.

Aristoteles (384–322 v. u. Z.), der bedeutendste Denker der Antike, beschäftigte sich auch intensiv mit dem Wesen der Erdbeben. Er hielt heiße Gase und Dämpfe, die in Hohlräumen unter hohem Druck eingeschlossen waren, für die Quellen der Bebenstätigkeit.

Vor allem die Lehrmeinungen des *Aristoteles* wurden im Mittelalter erneut aufgegriffen, aber nicht entscheidend weiterentwickelt. Viele sahen in Vulkanen die Geschwister der Erdbeben und in ihren Schloten Sicherheitsventile gegen Bebenkräfte. Verstopfte Feuerberge sollten wachsende Erdbebengefahr bedeuten.

Daß sich die führenden Gelehrten zu Beginn der Neuzeit über die Unzulänglichkeit ihres Wissens durchaus im klaren waren, zeigt das ehrliche Bekenntnis des *Johan Rasch* aus dem Jahr 1582: „Ob aber in dem erdrich darinnen . . . die hitz oder kelt mit einander streiten, dardurch solch ein greulich erschrocklich stoßen, schupffen, hupffen, zittern, werffen, fellen, sausen und pfnauen anrichten wie der donner und plitz . . . Oder, ob der wind wider daz wasser oder daz wasser wider den wind . . . gegen einander sich sezen, anstoßen und yrren. Oder, ob vielleicht ein wasser-

gang verfallen, oder ob etwo in der erd ein gewölbe eingegangen sey oder, daz die erdgeister und bergmännlein streiten oder daz der meerfisch Celebrant sich recke und strecke, die erd also unmäßig rüre und bewege, die auf yhme lige und ruhe, oder waz der ursacher sonst sey, dardurch un wez wegen der erdboden also geblöet, getrukt, getrengt und gehebt wird, daz ist bey allen gelehrtesten und berümbtesten Naturforschern noch unerörtert.“*

Dennoch fehlte es schon in dieser Zeit nicht an Vorschlägen, Erdbeben zu verhüten: Beben seien erdinnere Gewitter, die man in die Atmosphäre ableiten müsse. Der Bau von Erd- oder Steinpyramiden als „Bebenableiter“ wurde erwogen, wobei man den ägyptischen und mittelamerikanischen Pyramidenbauten dieselbe Zweckbestimmung andichtete.

Die erste wissenschaftliche Abhandlung über Erdbeben stammt von keinem Geringeren als *John Flamsteed* (1646–1719), dem ersten Königlichen Astronomen Englands und Direktor der berühmten Sternwarte zu Greenwich. Obwohl im eigenen Land fast vollständig von Erdbeben verschont, hatte die Kolonialmacht England dennoch ein handfestes materielles Interesse am Erdbebensgeschehen in ihrem Imperium.

Vollends in den Gesichtskreis des aufstrebenden europäischen Bürgertums geriet das Naturereignis Erdbeben, nachdem 1755 Lissabon unter katastrophalen Opfer in Trümmer gesunken war.

Um die Ursachen der Erderschütterungen zu erkennen, galt es, unzählige Fakten zu sammeln. Europäische Forscher mußten zu diesem Zweck oft weite Reisen unternehmen, und nur selten trat das Ereignis wie auf Bestellung ein.

Charles Darwin (1809–1882), der englische Naturforscher und Begründer der Abstammungslehre, weilte während seiner Weltumsegelung mit der „Beagle“ auch lange Zeit in Chile und trug unter dem 20. Februar 1835 in sein Tagebuch ein:

„Erdbeben in Valdivia . . . Ich war zufällig an Land und lag im Wald hingestreckt, um mich auszuruhen. Es trat plötzlich ein und dauerte zwei Minuten; die Zeit schien aber viel länger zu sein. Das Erschüttern des Bodens war sehr merkbar . . . Man hatte keine Schwierigkeit, aufrecht zu stehen, die Bewegung machte mich aber beinahe schwindlig. Sie war der Bewegung eines Fahrzeugs in kleinen, sich kreuzenden Wellen ähnlich oder noch mehr dem Gefühl, welches man beim Schlittschuhlaufen über sehr dünnes Eis hat, wenn sich das Eis unter den Füßen biegt.

. . . eine einzige Sekunde Zeit hat im Geist ein fremdartiges Gefühl der

* zit. nach: Dr. August Sieberg, Geologische, physikalische und angewandte Erdbebenkunde, Jena 1923, S. 181

Unsicherheit hervorgerufen, welches Stunden von Nachdenken nicht erzeugt haben würden . . .“*

Anschließend ritt Darwin in die stark betroffene Gegend um die Stadt Concepción. Dank seinen genauen Schilderungen der Zerstörungen und vor allem der Landschaftsveränderungen konnten die Geologen ihre Vorstellungen über Erdbeben wesentlich erweitern.

Der deutsche Naturforscher *Alexander von Humboldt* (1769–1859) beschrieb nach seinen Südamerikareisen im Jahr 1843 den tiefen Eindruck, den diese Naturerscheinung auf ihn machte: „Was uns so wunderbar ergreift, ist die Enttäuschung von dem angeborenen Glauben an die Ruhe und Unbeweglichkeit . . . der festen Erdschichten. Von früher Kindheit sind wir an den Contrast zwischen dem beweglichen Element des Wassers und der Unbeweglichkeit des Bodens gewöhnt . . . Wenn nun urplötzlich der Boden erbebt, so tritt geheimnißvoll eine unbekannte Naturmacht als das Starre bewegend, als etwas Handelndes auf. Ein Augenblick vernichtet die Illusion des ganzen früheren Lebens . . . Man traut gleichsam dem Boden nicht mehr, auf den man tritt.“**

Bis zur Aufdeckung der wahren Erdbebenursachen war es noch ein langer Weg. Erst infolge der Erkenntnisse der modernen Geologie und der Fortschritte der Physik und der Feinmechanik konnte der Schleier des Geheimnisses um die Erdbeben gelüftet werden. Geologen, wie *Abraham Gottlob Werner* (1749–1817) und *Eduard Suess* (1831–1914), entwickelten die bahnbrechenden geologischen Theorien. Physiker, wie *Emil Wiechert* (1861–1928) und *Boris Golizyn* (1862–1916), erdachten und bauten die ersten Bebenmeßgeräte.

Erdbeben fügen sich heute als weitgehend gelöste Rätsel in unsere materialistischen Anschauungen von der Erkennbarkeit der Welt. Die Naturerscheinung Erdbeben ist eins der markantesten „Lebenszeichen“ unserer ruhelosen Erde und verdient das besondere Interesse des Menschen; denn sie offenbart ihm die Kraft, aber auch die Gefahren seiner Umwelt.

* Die Reise von Charles Darwin, Leipzig 1981, S. 144

** Alexander von Humboldts Kosmos, Bd. 1, Stuttgart 1877, S. 137

Beben, die die Welt erschütterten

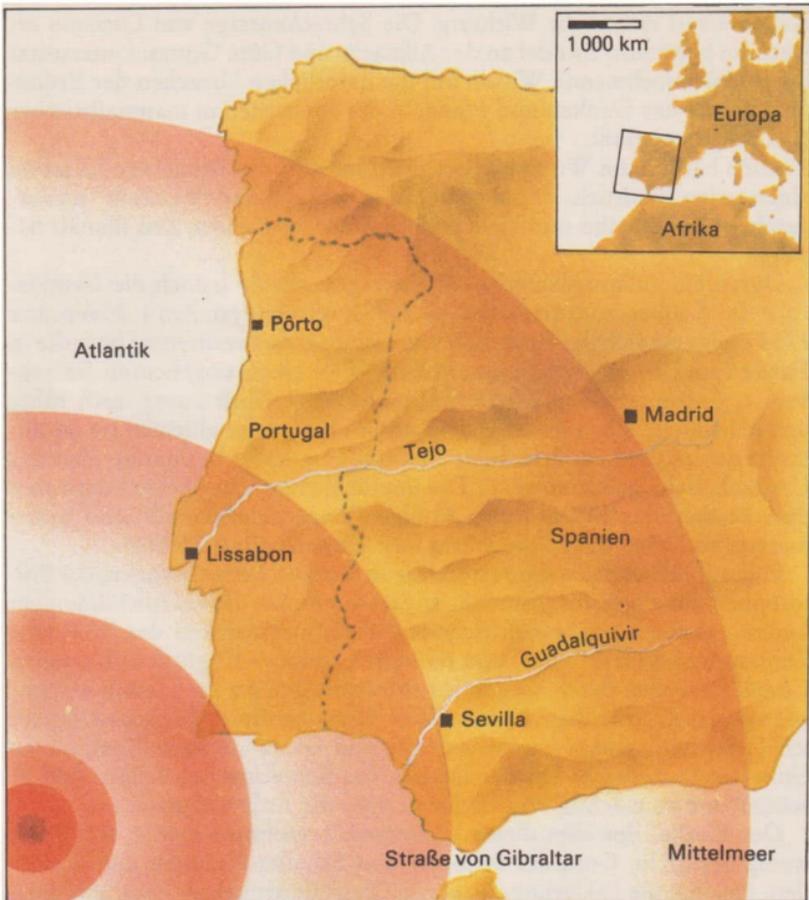


Lissabon 1755 – Zweifel an der Güte Gottes

In der Residenzstadt des portugiesischen Kolonialreichs, dem wegen seines milden südlichen Klimas und seiner malerischen Lage an den Gestaden des Atlantiks gepriesenen Lissabon, pflegte man das Fest Allerheiligen mit besonderer Pracht zu feiern. So auch im Jahr 1755. An diesem Tag – es war der 1. November –, als die meisten Bewohner noch beim Frühstück saßen oder in den Kirchen andächtig ihren Gottesdienst verrichteten, ertönte kurz nach 9 Uhr ein leises unterirdisches Rasseln und Knistern. Die Geräusche nahmen rasch an Stärke zu; der Boden begann fühlbar zu zittern. Kurz danach traf ein erster, schräg von unten kommender Stoß die eben noch friedliche Stadt. Gebäude stürzten zusammen, und im Nu verbreitete sich Todesschrecken. Der Turm des Domes geriet ins Wanken, seine Glocken schlugen an. Wenig später krachte er aufs berstende Gewölbe, Tausende von Betenden unter sich begrabend. Der königliche Palast stand nach dem ersten Stoß nur noch zur Hälfte. Während der unmittelbar folgenden Erschütterung fielen Kirchen, Klöster und steinerne Wohnhäuser zusammen. Eine riesige Staubwolke hüllte die Stadt ein und verbreitete gespenstische Dunkelheit. Jammergeschrei erhob sich. Alles drängte, aus der Stadt herauszukommen. Gegen 10 Uhr entlud sich der zweite Hauptstoß, dem zwischen 11 und 12 Uhr der dritte und bei weitem heftigste folgte. Viele Menschen suchten an den Ufern des Tejo oder am Hafen Zuflucht. Dreimal trat die Flut zurück, dreimal bäumten sich die Wogen des Meeres zu 15 m hohen Bergen auf. Große Schiffe riß es von den Anker, der neue Hafenkai aus Marmor versank mit Tausenden von Flüchtlingen ins schäumende Meer. Was die zuckende Erde nicht vernichtet hatte, zerstörte das Wasser.

Gegen Abend stieg an etwa 30 Stellen dicker Rauch über der Stadt empor. Auffrischender Wind weitete die Flammensäulen schnell zu einem Feuermeer aus. Erst am 5. November erlosch die Feuersbrunst.

Die Katastrophe hatte über 50 000 Menschenleben gefordert. 15 000 der insgesamt 20 000 Häuser Lissabons waren zerstört. In fast ganz Europa bemerkten die Menschen in Gebäuden die Erschütterungen am Pen-



Erdbeben von Lissabon 1755

deln von hängenden Leuchtern und Bildern. Die Meereswoge breitete sich über den Atlantik bis nach Mittelamerika aus. Das Lissabonbeben war in historischer Zeit mit Sicherheit das stärkste in Europa, vielleicht sogar auf der ganzen Erde.

Das Naturereignis hatte auf das Empfinden und Denken des aufstrebenden Bürgertums in der Epoche des Übergangs vom Feudalismus zum

Kapitalismus erhebliche Wirkung. Die Schreckenstage von Lissabon erweckten bohrende Zweifel an der Allmacht und Güte Gottes. Unterstützt durch das zunehmende Wissen um die natürlichen Ursachen der Erdbeben, wurde das Denken und Handeln der Menschen in materialistischer Richtung beeinflusst.

Auch bei Johann Wolfgang Goethe hinterließ das Beben von Lissabon einen tiefen Eindruck. Er hat später in „Dichtung und Wahrheit“ niedergeschrieben, was ihn und viele andere Menschen seiner Zeit damals bewegte:

„Durch ein außerordentliches Weltereignis wurde jedoch die Gemütsruhe des Knaben zum erstenmal im tiefsten erschüttert. Am 1. November 1755 ereignete sich das Erdbeben von Lissabon und verbreitete über die in Frieden und Ruhe schon eingewohnte Welt einen ungeheuren Schrecken . . . Sechzigtausend Menschen, einen Augenblick zuvor noch ruhig und behaglich, gehen miteinander zugrunde, und der glücklichste darunter ist der zu nennen, dem keine Empfindung, keine Besinnung über das Unglück mehr gestattet ist . . . Die unglücklichen Übriggebliebenen sind dem Raube, dem Morde, allen Mißhandlungen bloßgestellt; und so behauptet von allen Seiten die Natur ihre schrankenlose Willkür . . .

Hierauf ließen es die Gottesfürchtigen nicht an Betrachtungen, die Philosophen nicht an Trostgründen, an Strafpredigten die Geistlichkeit nicht fehlen. So vieles zusammen richtete die Aufmerksamkeit der Welt eine Zeitlang auf diesen Punkt, und die durch fremdes Unglück aufgeregten Gemüter wurden durch Sorgen für sich selbst und die Ihrigen um so mehr geängstigt, als über die weitverbreitete Wirkung dieser Explosion von allen Orten und Enden immer mehrere und umständlichere Nachrichten einliefen. Ja vielleicht hat der Dämon des Schreckens zu keiner Zeit so schnell und so mächtig seine Schauer über die Erde verbreitet.

Der Knabe, der alles dieses wiederholt vernehmen mußte, war nicht wenig betroffen. Gott, der Schöpfer und Erhalter Himmels und der Erden, den ihm die Erklärung des ersten Glaubensartikels so weise und gnädig vorstellte, hatte sich, indem er die Gerechten mit den Ungerechten gleichem Verderben preisgab, keineswegs väterlich bewiesen. Vergebens suchte das junge Gemüt sich gegen diese Eindrücke herzustellen, welches überhaupt um so weniger möglich war, als die Weisen und Schriftgelehrten selbst sich über die Art, wie man ein solches Phänomen anzusehen habe, nicht vereinigen konnten.“*

* Goethe, Berliner Ausgabe, Bd. 13, Berlin 1960, S. 34 f.

Messina 1908 – „Keine Worte gibt es . . .“

Der Montag zwischen Weihnachten und Neujahr wurde 1908 für viele Menschen an den Küsten Siziliens und Kalabriens zu einem Schicksalstag. Ein Erdbeben – in seiner zerstörerischen Wirkung kaum vergleichbar – raffte am 28. Dezember 90 000 Menschen dahin. Hunderttausende von Flüchtlingen, darunter Schwerverletzte, Halbverhungerte, vom Erdbeben wahnsinnig Gewordene, verließen in den Tagen nach der Katastrophe auf Schiffen den Ort des Grauens.

Maxim Gorki (1868–1936), der große russische proletarische Schriftsteller, war sofort von seinem Erholungsort Capri nach Neapel geeilt und half im Hafen bei der Aufnahme und Betreuung der Unglücklichen. Unter dem Eindruck der erschütternden Augenzeugenberichte griff er zur Feder und überlieferte uns eine Schilderung des entsetzlichen Geschehens in Messina:

„Am Vorabend der Katastrophe und während der ganzen Nacht hatte der Wind geweht, das Meer hatte seine hohen Wellen wütend gegen die Ufer geschleudert, und die Bewohner Messinas und der kalabrischen Uferstädte hatten, um sich vor der ungewohnten Kälte zu schützen, Türen und Fenster fest verschlossen und lagen in festem Morgenschlummer.

Um 5 Uhr 20 Minuten erzitterte die Erde, ihr erstes Beben dauerte fast zehn Sekunden: das Knistern und Krachen der Fensterrahmen und Türpfosten, das Klirren der Scheiben, das Gepolter der einstürzenden Treppen weckte die Schlafenden, und sie sprangen auf, an ihrem ganzen Körper diese unterirdischen Stöße fühlend, die ihnen plötzlich das Bewußtsein raubten und sie mit jäher, geistlähmender Furcht erfüllten.

Die einen liefen verstört im Zimmer umher, suchten im Finstern Licht zu machen und scharten Frau und Kinder um sich, während rings um sie die Wände prasselnd schwankten, die Konsolen, Gefäße, Bilder, Spiegel sich von den Wänden lösten und auf den Boden fielen, der Boden selbst sich verbog, die Möbel hin und her gerüttelt wurden, die Schränke durch die Zimmer tanzten und umfielen, die Tische umherhüpften und alles von Panik erfüllt, alles den Menschen feindlich gesinnt war und sie mit dem Tode bedrohte. Wie wenn sie von Papier wäre, so zerbarst die Decke, der Stuck fiel herab – überall das Knistern und Krachen des Holzes und das Rollen der Steine, das Weinen der Kinder, Angstgeschrei, schmerzliches Stöhnen. Menschen eilten durch das Dunkel, stießen gegeneinander und fanden keinen Ausweg aus diesem Wirbelsturm, der plötzlich ihre Häuser in schwankende Barken verwandelte und in der Erde unter ihnen wühlte wie in den Wogen des Meeres . . .

Der Staub stieg empor, der Wind wirbelte ihn auf, trieb ihn in die



wahnsinnstarrten Augen, streute ihn auf die Wunden, bedeckte die blutigen Gesichter mit scheußlichen Masken, und kaum hatte sein Unge-
stüm heulend und brausend eine Staubwolke zerstreut, als ein neuer Ein-
sturz erfolgte, ein neuer, gewaltiger, grauer Staubwirbel zu den Wolken
emporstieg und ein Hagel von Steinen, die Menschen zu Boden reißend,
auf die Straße niederprasselte.

Die Erde dröhnte und ächzte dumpf, sie krümmte und bog sich unter
den Füßen und bildete tiefe Spalten – wie wenn dort unten ein gewalti-
ger, seit Urzeiten schlummernder blinder Riesenwurm erwacht wäre und
sich daherwälzte, blind durchs Dunkel kriechend und die Muskeln an-
spannend, daß sie die Rinde der Erde zersprengen und die Gebäude auf
sie herabschütteln, den Menschen und Tieren auf die Köpfe . . .

Das unterirdische Rollen, das Poltern der Steine, das Krachen des Ge-
bälks wird durch das Hilfeschrei, das Stöhnen der Verwundeten, die
wahnsinnigen Rufe der Verzweiflung übertönt. Unaufhörlich steigen im-
mer neue graue Staubwirbel zum Himmel empor, sie hindern am Atmen
und verschleiern den Ausblick, daß man nicht sieht, wo die Gefahr gerin-
ger, wohin man flüchten kann. Von den Balkons stürzen schwere Blu-
menkübel und Bruchstücke der eisernen Gitter herab, aus den Fenstern
springen halbnackte Menschen, bringen die Fliehenden zu Falle und bre-
chen sich selbst Arme und Beine auf dem Pflaster; an den Fenstern der
noch nicht eingestürzten Mauern sitzen und stehen Menschen, halten
sich ängstlich am Gesims fest und schreien um Hilfe, während die erstarr-
ten Hände sich kaum noch an den Vorsprüngen festzuklammern vermö-
gen. Ein Windstoß, eine neue Erschütterung schleudert sie hinab, Men-
schen und Steine fallen durcheinander zu Boden und liegen da, in demsel-
ben Trümmerhaufen. Immer häufiger, immer stärker erzittern die Häuser
und Kirchen, und es ist, als ob eine unsichtbare Sense, deren gewaltigen
Hieben nichts zu widerstehen vermag, sie dicht am Boden nieder-
mähte . . .

Telegraphenstangen stürzen nieder, erschlagen die Menschen und um-
wickeln ihre Leiber mit ihrem dicken Drahte. Die Erde wogt wie das
Meer und schüttelt Paläste, Hütten, Gotteshäuser, Kasernen, Gefäng-
nisse, Schulen von ihrer Brust ab, vernichtet mit jedem Erzittern Hun-
derte und Tausende von Frauen und Kindern, von Reichen und Armen,
von Gebildeten und Ungebildeten, von Gottesgläubigen und Gottesleug-
nern . . .

Überall tönen aus den Trümmern langgedehnte Seufzer und jäh
Schmerzensrufe, und schon vernimmt man das laute Lachen der Wahn-



Kirche von Santa Ninfa im schwerkgeprüften Sizilien

sinnigen, die hastig hin und her rennen, bald auf den Schutthaufen umherhüpfen, bald langsam daherschreiten und singen, dann wieder auf den Steinhäufen sitzen, weinen und beten und aus den seltsam blickenden Augen unheimlich lächelnd ins Feuer starren.

Zitternd eilen die weißen Gestalten der Menschen dahin, kriechend, wie auf Schleichwegen; von allen Seiten aber streckt der Tod tausend

knochige Hände nach ihnen aus, würgt, erdrückt, zermalmt sie und lacht dazu gellend irgendwo im Schoße der Erde, ihren zertrümmerten Körper jäh erschütternd . . .

Im trüben Morgennebel, in den Wolken von Staub und Rauch flammt das hier und da siegreich durchbrechende Feuer immer heller auf, es dringt durch die Vertiefungen zwischen den Steinen, leckt an diesen empor und färbt sie schwarz. Unter ihnen aber tönt immer lauter das Hilfeschrei und das Flehen um einen raschen Tod, denn so manchem droht das entsetzliche Schicksal, lebendig verbrannt zu werden . . .

Die Dämmerung brach herein . . . Und immer noch stürzten Gebäude zusammen – sechs volle lange Stunden währte dieses Einstürzen – und durch die Wolken von Staub und beißendem Rauch, die ein Duft von verbranntem Fleisch und Fett durchdrang, tönte das vielstimmige Ächzen sterbender Menschen . . .

Keine Worte gibt es, um den Schmerz, keine Farben, um das furchtbare Bild der Katastrophe zu malen.

Aber die Trauer ist überflüssig, und die Tränen sind unnötig – denn das Leben ist ein Kampf.

Und so möge denn der stolze Zorn zum Leben bei den Menschen erwachen, er möge in ihnen die Energie des Denkens und Wollens erwecken und sie dahin führen, daß sie alle zu einer einzigen, geschlossenen Kraft sich zusammenschließen, der es beschieden sei, alles der Menschheit Feindliche niederzuwerfen!***

Belice 1968 – Das vergessene Tal der Tränen

Wieder einmal gab es in Europa einen ungewöhnlichen Winter. Während die Urlauber in den norditalienischen Alpen Mitte Januar noch sehnsüchtig auf Schnee warteten, war das sizilianische Bergland seit Tagen mit einer dichten weißen Decke überzogen. Man schrieb Sonntag, den 14. Januar 1968. Auf der größten Mittelmeerinsel hatten sich die Bewohner mißmutig, auf die Kälte schimpfend, in ihren Behausungen verkrochen, als ein Erdstoß jäh die mittägliche Ruhe unterbrach.

Man wußte hier schon immer, was Erdbeben bedeuten, und erinnerte sich stets mit Schauern an die Erzählungen der Alten über Katastrophen, an die Schrecken von Messina 1908 und Palermo 1940. So nahm es nicht wunder, daß auch an jenem Sonntag Tausende von Einwohnern Westsi-

* Dr. M. Wilhelm Meyer/Maxim Gorki, Im zerstörten Messina, Berlin 1909, S. 45 ff.

ziliens nach den ersten Erschütterungen ihre Häuser verließen und die kommende Nacht trotz unwirtlicher Witterung im Freien kampierten. Ihre Vorsicht wurde belohnt; denn sie kamen mit dem Leben davon, als das Unheil über die schlafende Insel hereinbrach.

Um 2.34 Uhr zerriß ein gewaltiger Erdstoß die Stille der Nacht und legte Häuser, Kirchen und Brücken in Trümmer. Mehrere Ortschaften, so Salemi, Gibellina und Montevago, wurden fast völlig zerstört. Wer sich noch in den Gebäuden aufhielt, konnte von Glück reden, wenn er ins Freie gelangte. Alles drängte schreiend weg von den zusammenstürzenden Häusern in die eisige Nacht – manche nur in Schlafanzug oder Nachthemd, kleine Kinder in den Armen. So gut sie konnten, halfen sich die Betroffenen. Beherzte versuchten den verzweifelt schreienden oder stöhnenden Verschütteten und Verwundeten Rettung zu bringen. Alle Verbindungen von den am schwersten betroffenen Bergdörfern zur Außenwelt waren schlagartig abgeschnitten. Es gab keinen Strom, keine Telefonverbindung. Auf den schneebedeckten Feldern und den Berghängen begannen geisterhaft kleine Feuer zu lodern, den Überlebenden spärlich Wärme und Hoffnung spendend.

Am Morgen des 15. Januar erhellte die zögernd aufgehende Morgensonne eine schreckliche Szene. 80 000 Menschen waren betroffen. In einer Trümmerwüste suchten sie nach Angehörigen oder nach brauchbarem Hab und Gut. Viele flohen, vom Grauen gepackt, weiter in die Berge. Man zählte mehrere hundert Tote, Tausende waren verletzt.

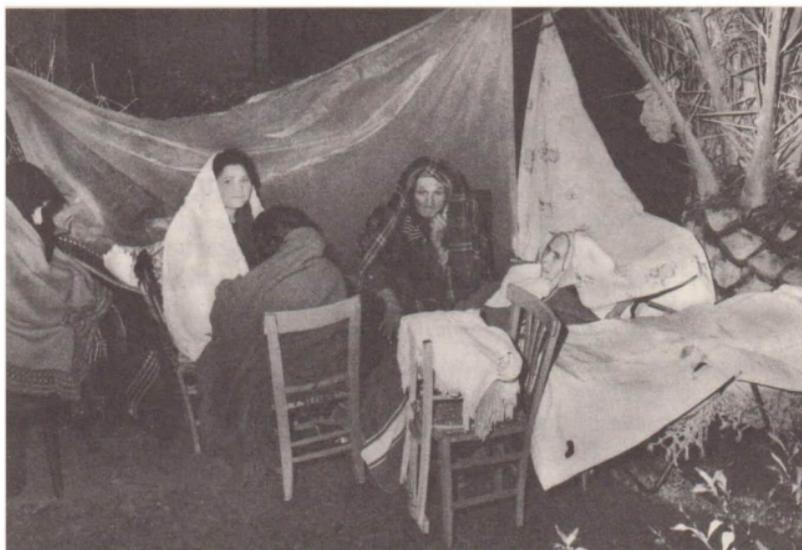
Vom Militärflughafen Ciampino starteten Rettungstrupps mit schwerem Bergungsgerät, Zelten, Decken und Blutkonserven. Zum Glück waren auch manche örtlichen Behörden handlungsfähig geblieben. Erste Notunterkünfte in Bussen entstanden, Lebensmittel wurden beschlagnahmt und verteilt, Feldküchen des anrückenden Militärs linderten hier und da die Not.

Aufopferungsvoll kämpften sich junge Soldaten auf der Suche nach Vermissten in die Schutthaufen, überall nach Klopffzeichen lauschend. In Montevago berichtete ein erschöpfter Carabinieri:

„Wir haben hier allein über 150 Tote ausgegraben. Aber wer weiß, wieviel noch unter den Trümmern begraben liegen und wie viele wir noch lebend auffinden? Immer wieder hören wir hier und dort Stöhnen und Wimmern. Oft ist es nur ein herrenloser Hund. Manchmal sind es Menschen. Dort unter jenem riesigen Trümmerhaufen war ein Altersheim. Vermutlich sind darunter noch 52 Menschen begraben.“*

Am Dienstag verbreiteten neue Erdstöße Angst und Schrecken. Unter

* „Die Abendzeitung“, 8. Februar 1968



Auf Sizilien im Januar 1968

den im Freien lagernden Menschen forderten sie keine Opfer, aber in den behelfsmäßig eingerichteten Krankenhäusern und Notunterkünften brach Panik aus. Zum Glück war das Wetter milder geworden, der Schnee in den Tälern geschmolzen. Westsizilien machte den Eindruck eines riesigen Biwaks. Geschäfte und Schulen blieben geschlossen. Allmählich wurden die Lebensmittel knapp. Am Wochenende spitzte sich die Lage erneut dramatisch zu, nachdem es 2 Tage ununterbrochen geregnet hatte. Wasser und Schlamm drangen in die Zelte, die Temperaturen waren wieder auf den Nullpunkt gesunken, eisiger Wind kam auf. Lastwagen wühlten sich nur noch mit größter Mühe voran, Hubschrauber wurden von Regen und Sturm zurückgeworfen.

In die Zeltstädte und zwischen die 60 000 noch im Freien Kämpierenden kroch jetzt neben Hunger und Kälte auch die Seuchengefahr. An Lungenentzündung und Scharlach erkrankten vor allem alte Leute und Kinder. Nur noch mit der Gasmaske konnten die Bergungsmannschaften arbeiten, der Geruch des Todes lag über dem Land. Die Unterbringung und Evakuierung der 80 000 Obdachlosen wurde zum entscheidenden Problem. Mindestens 15 000 versuchten, sich auf eigene Faust in Schlamm

und Regen zum Ostteil der Insel durchzuschlagen. Getrieben von Not, Angst und Verzweiflung, irrten sie durch das Land.

Das manchem Touristen paradiesisch erscheinende Sizilien gehört zum Armenhaus des mit sozialen Problemen ohnehin überladenen Italiens. In den betroffenen Gebieten lebten meist nur noch Frauen, Kinder und alte Leute. Viele Männer hatten die Insel verlassen, um im industriellen Norden des Landes oder im Ausland Arbeit und Brot zu finden. Die Zeitung „Avanti“, das Zentralorgan der Sozialistischen Partei, schrieb unmittelbar nach dem Beben: „Die Tragödie hat noch einmal eine schon immer bestehende Realität gezeigt, die Realität eines alten Siziliens, das aus Kreide und Stein gebaut ist, das ohne Straßen- und Eisenbahnverbindungen, mit wenigen Krankenhäusern und Gesundheitseinrichtungen ist, ein Sizilien, das im Schlamm ertrinkt, wenn es regnet . . .“* „Paese Sera“, die römische Abendzeitung, klagte an: „Es ist Sizilien, das bezahlen muß, diese unglückselige Insel mit ihrer Geschichte voller Qualen, voll Tyrannen und Invasoren, wo der Hunger ständiger Gast ist . . . Die italienische Republik muß endlich und sofort ihre hundert Jahre alten Schulden an Sizilien bezahlen.“**

Solidarische Hilfe kam vor allem von den Werktätigen. Allgemeiner Gewerkschaftsbund, Kommunistische Partei und Konsumgenossenschaften organisierten eine umfangreiche Hilfskampagne. Das Zentralkomitee der IKP spendete sofort 15 Millionen Lire und entsandte alle IKP-Abgeordneten, die Ärzte waren, nach Sizilien. Auch die internationale Solidarität leistete ihren Beitrag. Sowjetische Düsenmaschinen entluden beinahe pausenlos Hilfsgüter auf den Flughäfen Roms. Aus der DDR traf eine Spende im Wert von 350 000 Mark für die Erdbebenbeschädigten ein.

Durch die weltweite Unterstützung wurde die Not gelindert; die Versäumnisse einer rückständigen Gesellschaftsordnung ließen sich jedoch dadurch nicht beseitigen. Jene behielten Recht, welche schon 1968 nicht an die Verwirklichung des „Planes der sozialen und wirtschaftlichen Wiedergeburt der erdbebenbeschädigten Zone Siziliens“ glaubten. 14 Jahre nach dem Beben waren die Zustände in Belice, in dem Tal der Tränen, noch immer himmelschreiend. 43 000 Einwohner mußten in Baracken leben, durch die im Winter der Wind pfiß und die im südlichen Sommer zu Backöfen wurden. Der Landarbeiter *Francesco Culara* sprach für viele, als er verbittert sein Schicksal schilderte: „Von unseren drei Kindern sind zwei in den Baracken zur Welt gekommen. Sie haben noch nie ein richtiges Haus betreten und kennen keine menschenwürdige Wohnung. Was

* ebenda

** ebenda

ein Wasserhahn ist, wissen sie nur vom Erzählen. Man überläßt uns hier der Vergessenheit. Es ist ein Leben in der Verzweiflung.“*

Nur hin und wieder lenkt ein Skandal das Interesse der Öffentlichkeit für kurze Zeit auf die Opfer von 1968. Die Mittel für den Wiederaufbau flossen zum größten Teil in die Taschen korrupter Beamter, die Baukarten verschwanden auf unerklärliche Weise, ein geplanter Industriekomplex mit 7000 Arbeitsplätzen blieb ein Schubladenprojekt, lediglich 1200 Wohnungen wurden tatsächlich errichtet. Um den gesamten Wohnungsneubau im Erdbebengebiet finanzieren zu können, hätte es nur eines Teiles der Milliarden Lire bedurft, die sich Bauspekulanten allein in Rom in kurzer Zeit durch Mißwirtschaft und Bestechung aneigneten.

Immer wieder protestierten die Betroffenen gegen die Mißstände. Sie bedrängten die Behörden, wandten sich an die Öffentlichkeit, schrieben an Zeitungen, schickten in ihrer Ohnmacht Delegationen in die Hauptstadt. Pater *Antonio Riboldi* organisierte einen „Kinderkreuzzug“ nach Rom. Ganz Italien schien zutiefst erregt, doch die Erfolge blieben kümmerlich.

Wer es wagt, die Übeltäter öffentlich beim Namen zu nennen, riskiert sein Leben. *Marcello Torre*, Christdemokrat und Bürgermeister der Stadt Pagani, wurde nach einer Pressekonferenz von Mafiakugeln durchsiebt aufgefunden. Die Zeitung „L'Unità“, das Zentralorgan der Kommunistischen Partei, schrieb dazu: „Sie haben ihn umgebracht, weil er nicht wollte, daß der übliche Clan die Hände nach den Solidaritätsgeldern ausstreckt, weil er wollte, daß man ehrlich wiederaufbaut.“**

Peru 1970 – Solidarität vermag vieles

Millionen Menschen in der Welt hatten dem letzten Tag im Mai entgegengefiebert. In Mexiko begann am 31. Mai 1970 die 8. Fußball-Weltmeisterschaft. Wie alle Südamerikaner sind auch die Peruaner vom Fußball besessen. Sie zog es an diesem Tag vor Fernseher und Radios, um den Sieg ihrer Mannschaft gegen Bulgarien mitzuerleben.

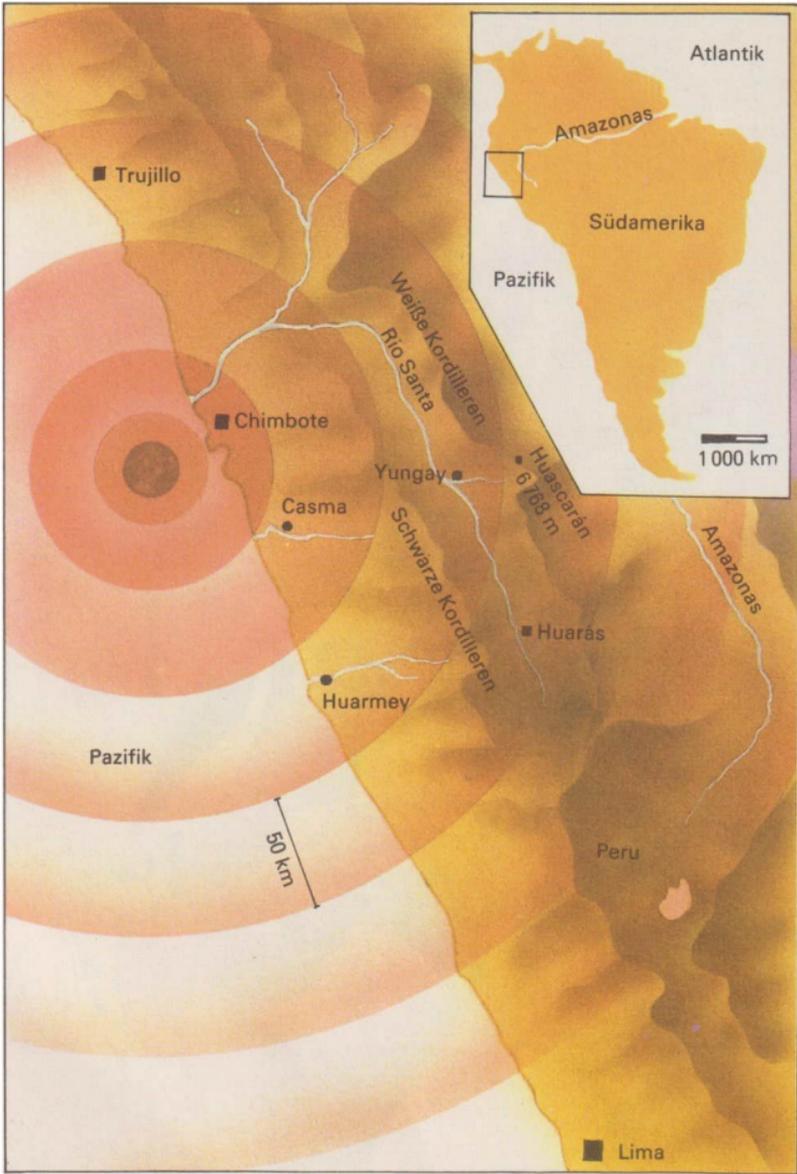
Diejenigen Bewohner der Hauptstadt Lima, welche sich dennoch zu einem Ausflug in die klare Luft der Anden entschlossen, kamen auf den fast leeren Straßen zügig voran. *Mateo Casaverde* befand sich mit einem befreundeten Ehepaar auf einer Autotour durch das reizvolle Gebirgstal

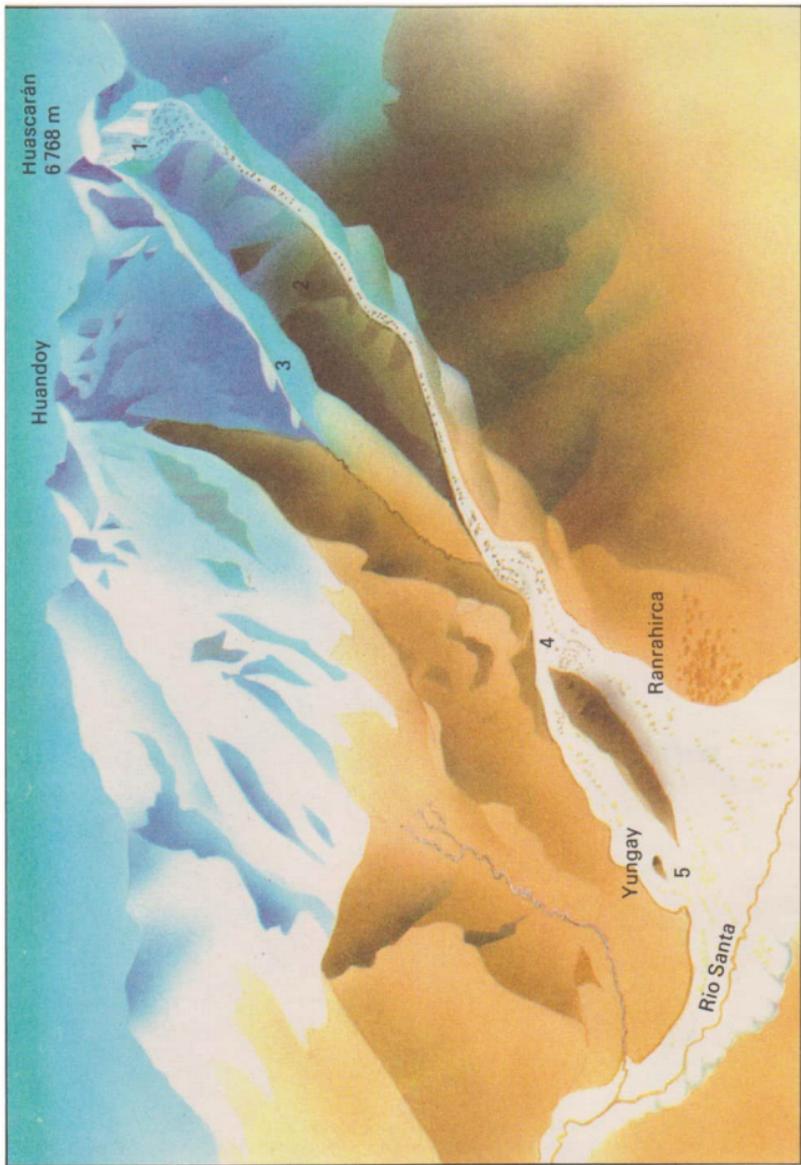
* „Leipziger Volkszeitung“, 28./29. November 1981

** ebenda, 10./11. Januar 1981

des Rio Santa, etwa 200 km nördlich von Lima zwischen den Hochgebirgsketten der Schwarzen und Weißen Kordilleren. Sie hatten das idyllische Städtchen Yungay in 2500 m Höhe erreicht und die herrliche Sicht auf den majestätischen Huascarán (6768 m) zu ein paar Schnappschüssen genutzt. Beim Anblick der schneebedeckten Steilhänge schwatzten sie etwas über Lawinen und die damit verbundenen Gefahren. Man wußte, daß es in dieser Gegend auch verschiedentlich schadenbringende Geröll- und Schlammlawinen gegeben hatte. Über den Fortgang der Ereignisse berichtete Mateo Casaverde später:

Wir wollten Yungay gerade wieder verlassen, als in der Nähe des Friedhofs – der auf einem Hügel liegt –, das Auto plötzlich zu bocken begann. Ich stoppte die Fahrt, um einen Blick unter die Motorhaube zu werfen. In diesem Moment kam mir der Gedanke an ein Erdbeben. Wir verließen das Wageninnere und sahen tatsächlich einige Häuser und eine kleine Brücke eingestürzt. Gerade als ich mich zu den Bergen wendete, hörte ich auch schon ein aus Richtung Huascarán näher kommendes Brausen. Seit Beginn der ersten Erderschütterungen waren etwa 30 bis 40 Sekunden vergangen. Ich sah eine riesige Dunstwolke über dem Berghang und gewahrte mit Schrecken eine mit rasender Geschwindigkeit herunterbrechende Lawine aus Gestein und Eis. Instinktiv begann ich in Richtung auf den etwa 200 m entfernten Friedhofshügel zu rennen. Im Laufen bemerkte ich, daß auch andere Menschen gleich mir hügelwärts liefen. Ich half einer gestürzten Frau wieder auf die Füße und wagte einen Blick zurück. In diesem Moment erreichte die alles Geröll und Gebirgsschutt mitreißende Lawine, aus einem Hochtal kommend, den oberhalb von Yungay errichteten Damm von etwa 200 m Höhe. Dieser hatte der Stadt schon oft Schutz geboten. Darauf brauchte ich jetzt keine Hoffnung zu verschwenden, denn schon schwappte die Lawine wie ein riesiger Ozeanbrecher in fast 80 m Höhe über die Dammkrone. Ich sah Hunderte von Menschen aus allen Richtungen verzweifelt zum Friedhofshügel laufen und hastete weiter. Im Rücken spürte ich plötzlich einen heftigen Wind, der mir vorwärts half, aber mich dabei fast zu Boden riß. Das Donnern und Tosen hatte sich verstärkt. Ich erreichte die Spitze just in dem Moment, als die Lawine an den Fuß des Hügels brandete, ihn umschloß und weiter zum Rio Santa raste. Dort, wo ich noch vor 10 Sekunden war, gab es jetzt keine Rettung mehr. Erschöpft blickte ich in die Runde. Nur 92 Menschen, meist junge Burschen, hatten sich auf der Hügelkuppe wie auf einer Insel in Sicherheit bringen können. Ich erinnere mich an Gesichter von Leuten, die nur wenige Meter hinter mir liefen. Niemals habe ich





sie wiedergesehen. In der brausenden graubraunen Flut wurden Menschen vorbeigespült, die wie schlammbedeckte Monster mit den Elementen kämpften. Es war das Schrecklichste, was ich je erlebte, und nie werde ich es vergessen können.*

Alles, was von Yungay blieb, waren der Friedhofshügel und 4 hohe Palmen an der Plaza des Armas im ehemaligen Zentrum der Stadt. Von den 25 000 Bewohnern überlebten außer den 92 Geretteten nur ein paar Ausflügler die Katastrophe. Unter den Opfern befand sich auch eine zwölköpfige tschechoslowakische Bergsteigergruppe, die weit oberhalb der Stadt ihr Lager aufgeschlagen hatte. Zum Gedenken an die umgekommenen Sportler findet jedes Jahr in unserem Nachbarland der Massenlauf von Liberec statt („Memorial Expedice Peru 70“).

Die von einem Erdbeben ausgelöste Lawine am Huascarán war aber nur Teil einer nationalen Katastrophe. Millionen Peruaner wurden jäh aus ihren Fußballträumen gerissen. 50 000 Tote, 100 000 Verletzte, 800 000 Obdachlose – das ergab die Bilanz des Schreckens.

Um 15.23 Uhr Ortszeit hatte sich 30 km vor der Pazifikküste ein Beben in 40 km Tiefe entladen und in einem Gebiet, dessen Fläche die der DDR weit übertrifft, schwere Schäden angerichtet. Erst nach Tagen konnten Aufklärungsflugzeuge das ganze Ausmaß der Zerstörungen abschätzen. Am schlimmsten zugerichtet war der Küstenstreifen mit den Hafenstädten Chimbote, Trujillo, Casma und Huarney.

Chimbote, bis dahin mit seinem bunten Fischereihafen und dem exotischen Indiomarkt der Stolz Perus, sah trostlos aus. 60 Prozent der Gebäude waren zerstört. Peru hält im Fischfang die erste Stelle in der Welt, und Chimbote hat den größten Hafen des Landes. Hier werden Millionen Tonnen des Kleinfisches Anchoveta verarbeitet. Gerade hatte die junge Revolution von 1968 die privaten Fischmehlfabrikanten enteignet, kämpfte die immer selbstbewußter auftretende Einheitsgewerkschaft der Fischer um die Überführung der Fischfangflotte in staatliches und genossenschaftliches Eigentum. Chimbote war ein wichtiger Trumpf der fortschrittlichen, nationalgesinnten Junta unter General *Juan Velasco Alvarado* bei der wirtschaftlichen und politischen Stabilisierung des Landes.

Wie Chimbote für die Fischerei, war Trujillo ein Symbol für die Umgestaltung der Landwirtschaft. Die im altspanischen Kolonialstil angelegte Stadt ist Zentrum einer bewässerten Oasenlandschaft in der Wüste von

* vgl. „Bulletin of the Seismological Society of America“, 3/1971, S. 516 ff.

Lawinenkatastrophe in den peruanischen Anden während des Erdbebens von 1970

1 = Gletschereis; 2 = Gestein und Geröll; 3 = Camp der tschechoslowakischen Bergsteiger;
4 = Schutzdamm; 5 = Friedhofshügel

Nordperu. Dort begann im Juni 1969 die von den reichen Latifundistas gefürchtete Bodenreform, erhielten erstmals seit der Zeit der Inkas indische Bauern genossenschaftliches Land und einige Hütten, wurde das erste Komitee zur Verteidigung der peruanischen Landreform gegründet. Aber auch um Trujillo hatte das Beben die Hälfte der Gebäude und Anlagen zerstört.

Überall waren Einheiten der Armee den Betroffenen zu Hilfe geeilt, versuchten die an Leid und Entbehrung gewöhnten Menschen des Andenlands ihr Leben wieder in Gang zu bringen. Ohne die internationale Solidarität wäre der Kampf gegen die Folgen der Naturkatastrophe kaum erfolgreich gewesen. Besonders wirksam war die Unterstützung aus der Sowjetunion. Alles, was auf der Liste der dringend benötigten Güter ganz vorn stand, wurde in Moskau in die Riesenleiber der Transporter AN 12 und AN 22 verfrachtet: Medikamente, Feldlazarette, Fertighäuser, mobile Elektrostationen, Hubschrauber, Bulldozer, LKWs, Feldbäckereien . . . Über eine Luftbrücke bugsiierten die Piloten und Funker von Aeroflot ihre bis zu 80 t schweren „fliegenden Krane“ von Moskau ins 15 000 km entfernte Lima. Wochenlang waren ständig etwa 10 Maschinen in der Luft. 25 Stunden dauerte ein Flug von Scheremetjewo über Rabat (Marokko) – Havanna – Bogotá nach Lima. Um von Havanna nach Lima zu fliegen, hätte man nicht die mit ihren Hochgebirgen und Gewitterfronten gefährliche Kordillerenroute über das kolumbianische Bogotá nehmen müssen. Aber die USA versperrten den Solidaritätsflugzeugen die Passage über die von ihnen besetzte Panamakanalzone.

Die leistungsfähigste Technik ist im Katastrophengebiet nutzlos, wenn niemand damit umgehen kann. Woher die Spezialisten nehmen? Auch sie kamen über die Luftbrücke. IL 62-Maschinen brachten Ärzte, Krankenschwestern, Monteure, Kraftfahrer, Elektriker, Köche . . .

Langsam, aber stetig konnte sich das Leben wieder normalisieren.

Managua 1972 – Geier über der Stadt

In Europa dämmerte ein kalter Sonnabendmorgen herauf. Die Menschen hüllten sich in warme Kleidung und schickten sich an, die letzten Weihnachtsbesorgungen zu machen. Tausende Kilometer weiter westlich – in Mittelamerika – war es noch Freitagabend. Über Managua, der Halbmillionenmetropole Nikaraguas, brütete die Hitze. Auch dort traf man



Weihnachtsvorbereitungen. Straßen und Häuser wurden mit Girlanden und Lichterketten geschmückt.

In einem der Häuschen am Stadtrand betrieb der Amateurfunker *Frank Mejia* sein Hobby. Er fand Kontakt zu einem Partner in Miami (Florida). Man begrüßte sich, begann eine Unterhaltung. Inzwischen war es 0.30 Uhr, der 23. Dezember angebrochen. Plötzlich Stille. Dann verzweifelte Schreie nach Hilfe.

„Hier bebte die Erde, ein Stück von hier bricht alles zusammen, überall brennt es, der Boden draußen zittert wie Gelatine, ein Auto fährt in diese Gelatine und versinkt zur Hälfte, die ganze Stadt ist wohl zerstört, verständigt alle, wir brauchen Hilfe, schickt Medikamente und Lebensmittel, vielleicht hat jemand im Zentrum der Stadt die Katastrophe überlebt . . .“

Es waren Mejias letzte Worte. Unmittelbar darauf stürzte das Haus zusammen und begrub die Bewohner.

Das Erdbeben hatte 70 Prozent aller Bauten in Managua zerstört. Die Innenstadt war teilweise dem Erdboden gleichgemacht. 4000 Tote und 17 000 Verletzte fielen der Katastrophe zum Opfer. Seiner Stärke nach ist das Beben in die Statistik nur als mittelschwer eingegangen. Aber der Herd lag unmittelbar unter der Stadt, und die steht auf Vulkanasche und lockerem Schwemmland.

Noch vor Morgengrauen brachen Feuersbrünste aus. Alle Lebenslinien waren zerstört. Keine Elektrizität, kein Telefon, keine Kanalisation, kein Wasser. Die Feuerwehren sahen sich machtlos. Alle Zufahrtsstraßen waren unterbrochen. Rettungskonvois blieben stecken. Wieder waren es Amateurfunker, die die Kontakte zur Außenwelt knüpften.

Nach Tagen gelang es, den Flughafen Las Mercedes anflugbereit zu machen. Erste Hilfstransporte konnten entladen werden. Die Welt atmete auf. Das Schlimmste schien überstanden. Die Regierung gab einen optimistischen Lagebericht, in dessen Mittelpunkt aber eine verdächtige Darstellung der eigenen Tüchtigkeit stand.

In Lateinamerika blieb man mißtrauisch. Man wußte, daß seit 1937 die Familie der Somozas das Land mit unvorstellbarer Brutalität regierte. Jede politische Opposition wurde grausam verfolgt. 55 Prozent der Bevölkerung waren Analphabeten. Die Hälfte aller Menschen starb jünger als 14 Jahre. Der Somoza-Clan teilte sich mit den USA-Monopolen den gesamten Reichtum des Landes (Gold- und Kupferbergwerke, Kaffeeplantagen, Baumwollfelder). *Anastasio Somoza* beherrschte das Land als Diktator, größter Grundbesitzer, Oberbefehlshaber der Nationalgarde und der Armee. Es sollte nicht lange dauern, und die Welt erfuhr die Wahrheit über das Managua nach dem Beben.

Für den Abend des 27. Dezember stand eine Unterhaltungssendung mit beliebten Stars auf dem Programm des größten mexikanischen Fernsehens. Kurz vor 20 Uhr wurde statt dessen ohne Kommentar ein Dokumentarbericht angekündigt. Viele Zuschauer waren enttäuscht, blieben aber dennoch vor den Bildschirmen. Dann erschienen 4 lautlose Szenen. Auf der ersten das zerstörte Managua. Dann der Flughafen Las Mercedes mit Bergen von Hilfsgütern. Davor Menschen und ein Transparent mit der Aufschrift „Wir haben Hunger“. Als drittes eine schloßartige Villa mit breiter Terrasse. Elegant gekleidete Herren mit Whiskygläsern. Einer blickte lächelnd auf ein Blatt Papier. Auf der vierten Szene schließlich das Konsulat Nikaraguas in Mexiko-Stadt mit einer Gruppe von gestikulierenden Personen.

Die Lautlosigkeit, mit der die Bilder gezeigt wurden, erzeugte eine besondere Spannung. Dann ertönte die Stimme eines Sprechers. Es war geschmuggeltes Filmmaterial, der erste Augenzeugenbericht, der bald als Anklage um die Welt ging. Während Menschen im zerstörten Managua bittere Not litten, stapelten sich die Hilfsgüter. Der zufriedene Herr vor seiner kugel- und bebensicheren Villa war der Diktator selbst. In den Händen hielt er ein Telegramm des US-Präsidenten *Richard Nixon*, in dem dieser seinem Günstling Somoza und dessen Familie seine Anteilnahme aussprach. Warum sollte Mr. Präsident auch mit den wirklichen Opfern fühlen? Schließlich war das brennende Managua nur eine Kleinigkeit gegen die US-Flächenbombardements Weihnachten 1972 auf Hanoi, Haiphong und andere nordvietnamesische Städte. Der Sprecher des mexikanischen Fernsehens kommentierte auch noch die vierte Szene. Ärzte – gleich welcher Nationalität – erhielten keine Einreise nach Nikaragua, wenn sie ein kubanisches Visum in ihrem Paß hatten. Es hätten „kommunistische Agitatoren“ sein können.

Somozas Hauptsorge galt tatsächlich den Menschen – und zwar denen in den überfüllten Gefängnissen. Die letzten Bebenstöße waren noch nicht abgeklungen, da begannen Geheimpolizisten und Nationalgardisten schon mit erbarmungslosen Todesjagden auf entflozene Häftlinge und andere Mißliebige. Gesetzliche Grundlage? Schießbefehl gegen „Plünderer“! Jeder, der eine Waffe tragen durfte, durfte auch ballern. Agence France Presse schrieb über „erbarmungslose Erschießungen von Menschen und Ratten“. Begünstigt durch das Verhalten der Machthaber, kam es zu einer Explosion der Kriminalität und Korruption. Schließlich dienten auch alle Maßnahmen Somozas seiner eigenen hemmungslosen Bereicherung. Verteilung der Hilfsgüter? Ja, aber über den Familienklüngel zu den Schiebern vom schwarzen Markt. Neuaufbau der zerstörten Gebäude? Ja, aber zu spekulativen Bedingungen auf Somoza-Grund.



Das ehemals dichtbesiedelte Zentrum Managuas 7 Jahre nach dem Beben: Nur die Lage der Straßen erinnert an alte Geschäftigkeit.

Evakuierung der Bevölkerung? Ja, aber auf Somoza-Lastwagen für 130 Dollar je 100 km. Arme hatten die Freiheit, mit den Leichen und tollwütigen Ratten in der Stadt zu bleiben, über der noch 3 Wochen danach die Geier kreisten.

Das war Managua 1972. Im Jahr 1979 kamen die Sandinistas und jagten auch die Somoza-Geier zum Teufel.

Tangshan 1976 — Norman Bethune lebt

Pünktlich um 23.44 Uhr verließ am 27. Juli 1976 der Expresß Nr. 129 Peking — Daliän die chinesische Hauptstadt. Die 1400 Insassen waren froh, der Backofenhitze, die seit Tagen über der Millionenstadt lastete, entronnen zu sein. Keiner ahnte, wie lang und beschwerlich die Reise werden sollte. Die beiden jungen Lokführer Dschang und Liu steuerten den Zug mit knapp 100 km/h in zügiger Fahrt nach Osten. Bald dämmerte am wolkenlosen Horizont das Morgenrot herauf. Es würde wieder ein heißer Tag werden.

Inzwischen war es 3.41 Uhr. Noch 5 km bis zur 800 m langen Brücke über den Luanhe. Plötzlich wurden die Augen der beiden spähenden Lokführer durch Lichtblitze geblendet. Gleich darauf erschienen einige Kilometer vor ihnen Stichflammen und Rauchsäulen. Die Signallichter sprangen von Grün auf Rot und erloschen dann. Als wenige Sekunden später Erschütterungen den Expresß packten und aus den Gleisen werfen wollten, hatte der geistesgegenwärtige Dschang schon die Notbremsung eingeleitet. Das mag vielen Reisenden das Leben gerettet haben; denn noch vor der Brücke kam der Zug auf freier Strecke zum Stillstand. Durch die Bremsung hatte es lediglich Verletzte gegeben.

Schnell wurde es zur Gewißheit: Ein Erdbeben hatte sich ausgetobt und das Industriegebiet Tangshan, in dem man sich befand, aufs schwerste in Mitleidenschaft gezogen. An eine Weiterfahrt war vorerst nicht zu denken. Sofort wurden Hilfeleistungen für die Verletzten organisiert, Trinkwasser beschafft, Nahrungsmittel unter den Reisenden gesammelt und an die Bedürftigsten verteilt. Für die Kinder und alten Leute konnte im Freien gekocht werden. Diszipliniert harrte man aus, bis nach Tagen die Weiterfahrt mit LKWs möglich wurde.

Das Beben brachte katastrophale Folgen, weil es sowohl stark als auch oberflächennah (Herdiefe 10 km) war und sich in einem dichtbesiedelten Gebiet ereignete. Außer dem Expresß Nr. 129 waren 27 weitere Züge in der Unglücksnacht betroffen. 7 wurden in voller Fahrt umgeworfen, die

meisten entgleisten. 98 Prozent aller Wohnungen waren zerstört, 90 Prozent der Industrieanlagen total vernichtet, allein 10 000 größere Schornsteine umgestürzt.

In der Zweimillionenstadt Tangshan, einem bedeutenden Zentrum der Kohle-, Stahl- und Zementindustrie, hatte fast ein Viertel der Bevölkerung das Beben nicht überlebt oder rang mit dem Tod. Wahrscheinlich war das die opferreichste Naturkatastrophe in der Geschichte der Menschheit. Dennoch wurden Hunderttausende durch heldenhaften Kampf gerettet.

Der dreiundzwanzigjährige Funker Wu war beim ersten Erdstoß wie viele andere in seiner Kaserne instinktiv aufgesprungen und gelangte ins Freie. Das Ausmaß des Unglücks um sich herum begreifend, schlug er sich noch zweimal ins berstende Haus durch und barg seinen Sender. Um 4.03 Uhr gelang ihm der Kontakt mit Peking. Um 4.15 Uhr kamen aus dem Krisenstab die ersten Anweisungen.

Soldaten der chinesischen Volksarmee drangen zu Fuß – manche zentnerschwere Lasten schleppend – bis ins Zentrum der völlig abgeschnittenen Stadt vor. Tausende von Medizinern und Sanitätern eilten freiwillig herbei. Zehntausende von Schwerverletzten lagen in den Trümmern. Die Tage nach dem Beben blieben äußerst schwül und absolut windstill. Die Seuchengefahr hing wie ein Damoklesschwert über der Stadt.

Im Freien mußte operiert werden, nachts mit Taschenlampen. Es gab Krankenschwestern, die 2 Tage und 2 Nächte auf den Beinen waren, operierende Ärzte, die 24 Stunden keine Nahrung zu sich nahmen, um nicht durch das Entfernen der Atemmaske kostbare Zeit zu verlieren. „Norman Bethune ist unser Vorbild“, hörte man von vielen während des Kampfes um die Überlebenden von Tangshan. Der kanadische Chirurg *Norman Bethune* (1890–1939) hatte als Antifaschist am Freiheitskampf des spanischen Volkes teilgenommen und seit 1938 mit leidenschaftlicher Hingabe den Sanitätsdienst der gegen die japanischen Okkupanten kämpfenden chinesischen Volksbefreiungsarmee aufgebaut. Er war der erste Arzt in der Geschichte der Medizin, der Bluttransfusionen auf dem Schlachtfeld durchführte.

Zur Zeit des Bebens befanden sich 30 000 Bergleute der Nachtschicht in den Kohlengruben. 20 000 konnten aus eigener Kraft entkommen, der Rest blieb eingeschlossen, darunter viele Frauen. Eine besonders kritische Lage bestand im Kohlenrevier Kailuan. Die Förderanlagen waren zerstört, der Strom total ausgefallen, die Bewetterung und Entwässerung zusammengebrochen, das Grundwasser stieg bedrohlich. Man suchte und fand im komplizierten Stollensystem Überlebensbereiche, schlug sich zu den Röhren der Luftschächte durch. Auf Metalleitern kletternd, die Ver-

letzten an Stricken und Riemen mit sich hievend, erreichte einer nach dem anderen das Tageslicht. Nach 14 Tagen und 12 Stunden konnten aus der Dschaogödschuang-Grube auch die letzten 5 Kumpel geborgen werden. Es war Glück, daß im Berg keiner vom Beben erschlagen wurde, es war eine menschliche Leistung, alle lebend herauszubekommen.

Bereits am 7. August hatte die Madjiagou-Grube die Kohleförderung wieder aufgenommen, am 11. August kam Strom aus dem Kraftwerk, am 25. August, 12.20 Uhr, floß der erste Stahl aus dem Hochofen.

Vor allem wurden Wohnungen schnell und bebengerecht gebaut. Getrennt von den Industriekomplexen, wuchsen die Wohnsiedlungen. Schon 1982 war aus Trümmern und Asche das neue Tangshan vollständig fertiggestellt.

Bukarest 1977 – „Ihr seid in meiner Nähe“

Anfang März ist in der Donauebene zwischen Karpaten und Balkan der Frühling nicht mehr weit. Der 4. März 1977 war ein Freitag, und in der rumänischen Metropole Bukarest konnten die Schneereste des Winters und die nur wenig über null Grad ansteigenden Temperaturen der guten Stimmung keinen Abbruch tun. Hauptthema zum Feierabend in den Betrieben und auf den Straßen: Würden am kommenden Wochenende schon die ersten warmen Vorfrühlingstage zu erleben sein?

Vor den Kinos, Restaurants und Tanzlokalen der Innenstadt herrschte am Abend reges Treiben. Im Konzertsaal des Rundfunksinfonieorchesters lauschten die Besucher klassischer Musik. Auch die Tontechniker an den Aufzeichnungsmaschinen waren voller Konzentration. Genau um 21.21 Uhr fingen die Mikrofone ein langsam stärker werdendes Grollen ein. Schon wollte der Aufnahmeleiter an eine technische Störung glauben, da erfaßten starke Erschütterungen das Gebäude, und ein ohrenbetäubendes Krachen begann. Das Orchester brach ab, und die weiterlaufende Tontechnik zeichnete eine knappe Minute lang die gräßlichen Töne eines schweren Erdbebens auf.

Noch bevor die Bebenegeräusche aufhörten, waren Stadt und Umgebung schlagartig in pechschwarze Finsternis getaucht. Nichts erhellte das unheimliche Geschehen.

Der Karpatenherd – ein Erdbebenknoten an der östlichen Ausbuchtung des Karpatenbogens im Norden Rumäniens – hatte sich wieder einmal nachhaltig bemerkbar gemacht. In etwa 104 km Tiefe werden dort von Zeit zu Zeit Reste einer alten, spröden und viele Kilometer dicken

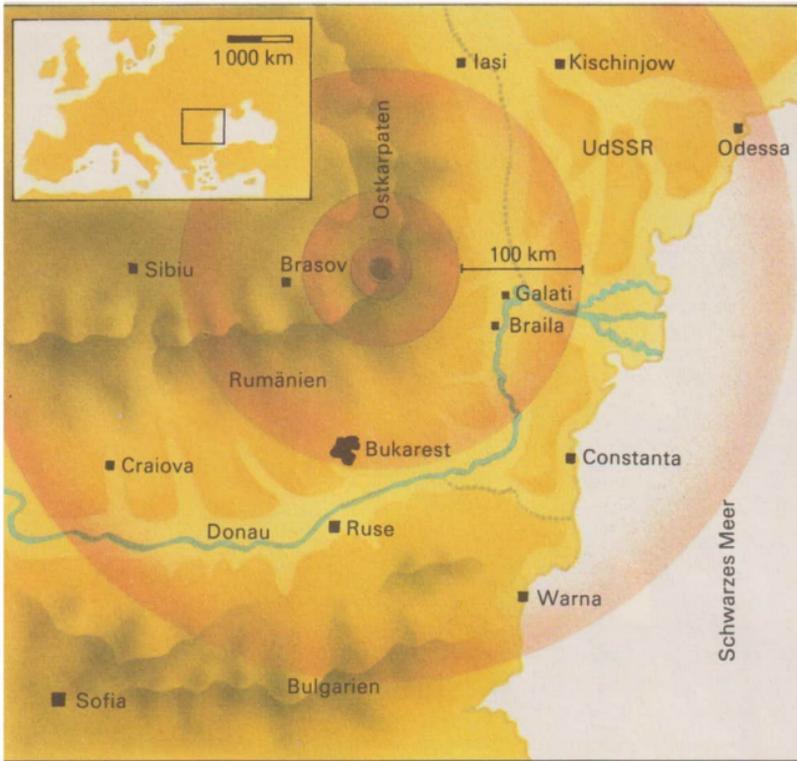
Gesteinsplatte aufgebrochen, die, statt nach oben als Gebirge aufgefaltet zu werden, unter die Ostkarpaten abgetaucht ist. Zuletzt hatte 1940 ein zerstörendes Beben mehrere hundert Menschenleben gefordert. Die Fachleute wußten, daß der Herd wahrscheinlich alle 50 bis 100 Jahre aktiv werden würde. Aber was nützte diese Kenntnis am 4. März 1977? Schäden entstanden an jenem Tag auf einer Fläche von über 80 000 km², was etwa drei Vierteln des Territoriums der DDR entspricht. Auch die Stärke des Bebens gehört zu den Rekordwerten in Europa.

Die lautlose Finsternis über dem Land dauerte nur Sekunden. Bald standen petrochemische Kombinate in Ploesti, Brazi und Teleajen in Flammen. In den Städten begann es zu lärmern. Zuerst hörte man bloß das Schreien der verzweifelten Menschen, dann die Motoren von Autos, Sirenen von Krankenwagen und Feuerwehren. Autoscheinwerfer versuchten, Licht in das unheimliche Dunkel zu bringen. Endlich begannen auch die ersten Notstromaggregate zu rattern. Schweres Bergungsgerät wurde herangeschafft.

Die Rettung von Menschenleben bildete die dringendste und schwierigste Aufgabe. Von manchen mehrstöckigen Häusern in Bukarest waren die Fassaden abgestürzt, und die dahinterliegenden Wohnungen hingen im Freien. Waghalsige Klettereien mußten riskiert werden; denn noch immer rutschten vereinzelt Decken oder Zwischenwände zusammen. Meterhoch türmten sich an manchen Stellen die Schuttberge. Äußerste Vorsicht war geboten. Stundenlang kämpften Dutzende von Menschen in der Magistrale Calea Victoriei am eingestürzten Casata-Gebäude um das Leben eines dreijährigen Kindes. Eingeschlossen zwischen abgestürzten Betonplatten, Möbeln und Mauerwerk, hätte ein falscher Handgriff der Retter seinen Tod bedeutet. Als der Morgen des Sonnabends graute, konnte das Kind der Mutter unverletzt in die Arme gegeben werden.

Nicht überall fanden sich die Angehörigen wieder glücklich vereint. Die 6 Jahre alte *Mihaela Vasilescu* lag besinnungslos neben einem Haus, das nur noch ein Schutthaufen war. Von den Eltern entdeckte man keine Spur mehr. Das Kind aber war unverletzt. Der Krankenwagenfahrer *Eugen Georgiade* brachte es zu seiner eigenen Familie: „Wenn die Eltern nicht mehr leben, kann die Kleine bei uns bleiben.“

Aus dem erhofften Frühlingsspaziergang der Bukarester war nichts geworden. Auch das Wetter blieb kalt und unfreundlich, die Strapazen der Eingeschlossenen vervielfachend. Am Sonntag, fast 48 Stunden nach dem Beben, konnte man 108 Menschen lebend aus den Trümmern bergen. Wo es noch Hoffnung gab, wurde der Wettlauf mit der Zeit immer dramatischer; denn mit jeder Stunde schwanden die Überlebenschancen. Der Kletterartist des Bukarester Filmstudios, *Tudor Stavru*, hatte bereits

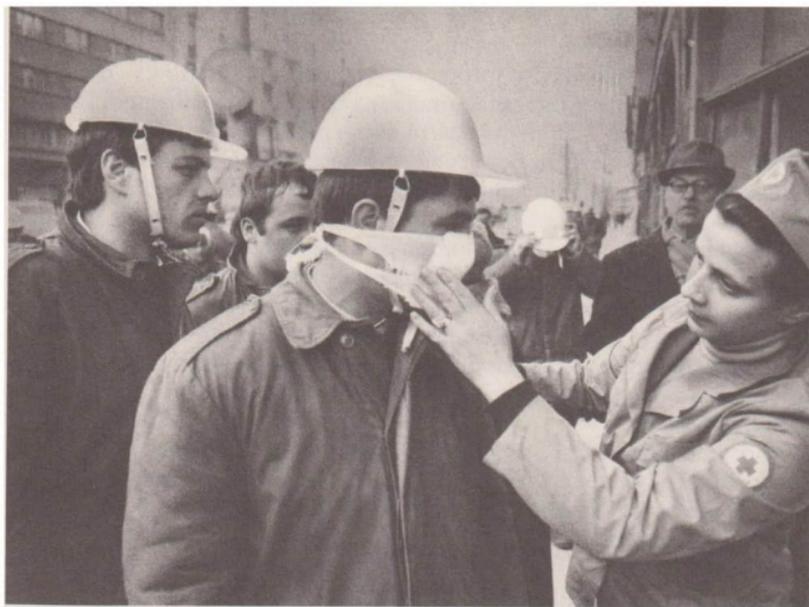


Erdbeben von Bukarest 1977

10 Menschen gerettet, als er selbst verunglückte und seinen Opfermut mit dem Leben bezahlte.

Am Dienstagabend – nach 94 Stunden – fand man unter den Trümmern eines Hauses der Lipscani-Straße eine dreiköpfige Familie. Der Mittwoch schien erfolglos zu bleiben, da entdeckte kurz vor Mitternacht eine Alpinistengruppe in der 5. Etage eines ehemals neunstöckigen Hauses eine eingepferchte junge Frau, die noch Lebenszeichen von sich gab. In schwindelerregender Höhe begann der verbissene Kampf um ihre Rettung gegen ein Gestrüpp von Eisen und Beton. Die Frau war am Ende der Kräfte, aber man konnte ihr Wasser und Zucker reichen. Noch 5 Stunden dauerte es – der Erfolg stand mehrfach in Frage –, bis am Donnerstag-





Freiwillige Helfer werden in Bukarest medizinisch ausgerüstet.

morgen die zweiundzwanzigjährige Studentin *Livia Negulescu* völlig erschöpft und durchfrozen aus ihrer Zwangslage befreit wurde.

Bis Freitagabend – eine Woche nach dem Beben – waren 1543 Opfer zu beklagen. Es bestand so gut wie keine Aussicht mehr, noch Leben unter den Trümmern zu finden.

In den am schwersten betroffenen Städten Bukarest, Zimnicea, Craiova und Ploești begannen sich die Verhältnisse allmählich wieder zu normalisieren. Es gab Strom, Wasser, Gas, Heizung; die Versorgung mit Lebensmitteln war nicht zusammengebrochen. Die 100 bis 150 m hohen Staudämme an den Flüssen Argeș, Ialomita, Doftana und Bistrița hatten die Erschütterungen ebenso unbeschädigt überstanden wie das Wasserkraftwerk am Eisernen Tor. Der Kernreaktor in Măgurele – 14 km südlich von Bukarest – war unversehrt geblieben, obwohl im selben Ort das Hotel und ein elfstöckiges Verwaltungsgebäude schwer gelitten hatten.

Wohnhaus im Zentrum von Bukarest

Insgesamt waren 32 897 Wohnungen zerstört; 34 582 Familien benötigten ein neues Obdach. Schulen, Internate und viele Privatwohnungen nahmen die Geschädigten sofort auf, so daß Evakuierungs- oder Obdachlosenprobleme größeren Ausmaßes gar nicht erst auftraten. Bis zum 12. März konnten 1200 Neubauwohnungen bezugsfertig an Erdbebenopfer übergeben werden. Bereits am 8. März hatte die Staatsführung beschlossen: Allen rumänischen Bürgern, deren Wohnungen und Eigentum durch das Erdbeben vernichtet wurden, wird der sozialistische Staat kostenlos eine neue Wohnung schaffen und diese mit den nötigen Einrichtungen einschließlich Radio und Fernsehapparat ausstatten. Alle Geschädigten, die ihr Hab und Gut verloren haben, erhalten auf Kosten des Staates Bettwäsche, Geschirr, Bestecke, Küchengeräte und Kleidung. Alle Personen, deren Wohnungen durch das Erdbeben zerstört wurden, erhalten einen Sondererholungsurlaub von 10 Tagen in Kurorten oder Sanatorien des Landes.

Woran niemand mehr zu glauben gewagt hatte, trat dann doch ein. In Bukarest wurden noch 2 Menschen aus den Trümmern lebend geborgen: in der Alexandru-Sahia-Straße nach 9 Tagen die Lehrerin *Elena Enache* und beim Beseitigen der letzten Ruine der neunzehnjährige Mechaniker *Sorin Crainic*, der 11 Tage ohne Essen und Trinken überlebte. Beide hatten bis zuletzt die Hoffnung nicht aufgegeben. Als man die achtundfünfzigjährige Elena Enache in einem schützenden Hohlraum entdeckte, fand sie sogar die Kraft zu ein paar Worten an ihre Befreier: „Ich habe mit meinem Kofferradio die ganze Schlacht zur Rettung von verschütteten Menschen verfolgt. Ich erwartete euch und hatte immer die Gewißheit: Ihr seid in meiner Nähe.“

Kampanien 1980 — „Es regnet auf den, der schon naß ist“

„Wie soll ich den Leuten erklären, daß es Gottes Ratschluß war, ihre geliebten Angehörigen während einer Messe zu sich zu nehmen“, klagte Pater *Don Salvatore Pagliuca* aus Balvano bei Potenza. In seiner Kirche waren am 23. November 1980, einem Totensonntag, 70 Gottesdienstbesucher von herabstürzenden Trümmern erschlagen worden, als gerade der Klingelbeutel herumging.

Wieder einmal hatte ein schweres Erdbeben ausgerechnet den unterentwickelten Süden Italiens getroffen. Die Provinzen Kampanien und Ba-

* „GEO“, 4/1981, S. 65



Erdbeben von Kampanien 1980

silicata verzeichnen das geringste Prokopfeinkommen im ganzen Land. Projekte zur wirtschaftlichen und sozialen Entwicklung dieses Gebiets blieben stets in Ansätzen stecken. Und nun die schreckliche Naturkatastrophe. „Piove sul bagnato“ – es regnet auf den, der schon naß ist. 97 Städte und Dörfer hatten schweren Schaden erlitten: 3000 Tote, 8000 Verletzte, 400 000 Obdachlose und 2 Millionen Menschen in halbzerstörten Wohnungen.

Zum Glück lag das Zentrum des Bebens in einer dünnbesiedelten Bergregion. Gerade das aber machte die Rettung der am schlimmsten Betrof-

fenen besonders schwierig. Winklige, steile, enge Bergstraßen, deren Befahren schon im Sommer mit dem PKW zu einem Abenteuer wird, bedeuten für die mit ihren LKWs und Kranwagen mutig Herbeieilenden in Schnee, Kälte und Dunkelheit ein riskantes Unternehmen.

Aber Italien war gewillt zu helfen. „Belice darf sich nicht wiederholen“, appellierte Staatspräsident *Alessandro Pertini* im Fernsehen an seine Landsleute. Die Regierung besaß gute Vorsätze. *Giuseppe Zamberletti*, der bereits mit Umsicht und Tatkraft die Rettungsarbeiten 1976 in Friaul (Oberitalien) organisiert hatte, errichtete als Sonderkommissar in Neapel am Rand des Bebebgebiets einen Einsatzstab. 20 000 Soldaten, Feuerwehrleute und Polizisten standen unter seinem Kommando, dazu 600 Militärfahrzeuge, 55 Hubschrauber, 5 Feldlazarette, 259 Feldküchen.

Die Lebenslinien, wie Strom-, Wasser- und Telefonleitungen, waren glücklicherweise fast vollständig intakt geblieben. Aber die Bruchsteinmauern der Gebäude hatten sich wieder einmal als denkbar ungünstig erwiesen. Es galt deshalb vor allem, die Menschen unter den Trümmern hervorzuholen. Doch nur zögernd liefen die Arbeiten an. Der tüchtige Zamberletti konnte zwar die unfähigen Präfekten der Bezirke Salerno und Potenza durch Generäle ersetzen, die Schwerfälligkeit des gesamten Beamtenapparats aber ließ sich nicht über Nacht beseitigen.

In der Gemeinde Laviano hatte jeder dritte der ehemals 3000 Einwohner das Beben und seine Folgen nicht überstanden. „Sicher ist nur“, klagte Bürgermeister *Salvatore Torsiello*, „daß viele noch leben könnten, wenn hier sofort Hilfe gekommen wäre. Aber am ersten Tag rückten nur 20 Soldaten vom Heer an, die hatten nicht mal Schaufeln mit, die hatten nichts.“* In Oliveto Citra wurden der dreiundsiebzigjährige *Pasquale Calzaretta*, seine Frau und seine Schwester am fünfzehnten Tag nach dem Beben nur durch Zufall gerettet – bei einer technischen Inspektion des Kellers ihres zusammengestürzten Hauses. Viel zu hoch lag die Zahl jener, welche unverletzt unter dem Schutt erstickten, verdursteten oder verhungerten.

In manchen Orten waren die Journalisten schneller als die Rettungstrupps. Statt Brot hielten sie den Leuten Mikrofone hin, statt wärmender Kleidung spendeten sie tröstende Worte. Dennoch kurbelten auch sie eine beispielhafte landesweite private Unterstützung an, ersehnt und wertvoll, aber nur ein Tropfen auf den heißen Stein.

Bald wurde die Obdachlosigkeit zum Problem Nummer eins. Hunderttausende hausten in Zelten, Ställen, Containern, Bussen, Eisenbahnwag-

* „Leipziger Volkszeitung“, 10./11. Januar 1981



Gebirgsdorf in Kampanien

gons, ausgedienten Schiffen, Schulen, Bibliotheken, Museen. Viele Quartiere waren unbeheizt, die Insassen hatten kaum Hausrat, nur die nötigste Kleidung. Der Winter stand vor der Tür. Sonderkommissar Zamberletti besaß einen gutausgedachten Plan, der sich aber nur zum Teil verwirklichen ließ. Zehntausende konnte man an der Küste südlich von Neapel in Hotels und Touristenkomplexen unterbringen. Weiterhin gab es dort

20 000 im Winter leerstehende private Zweitwohnungen. 60 000 Verzweifelten hätte sofort für ein paar Monate geholfen werden können. Der Staat bot den Eigentümern in einem eindringlichen Appell an deren Mitgefühl zugleich günstigste Mietbedingungen an. Vergebens. Daraufhin sickerten die ersten Gerüchte von einer Beschlagnahme durch, und schon eilten die Besitzer mit ihren in teure Pelze gehüllten Ehefrauen und nach der letzten Mode gekleideten Sprößlingen zu einer makabren Protestdemonstration herbei. „Nur über unsere Leichen“, schrien sie in der wohl ersten öffentlichen Manifestation ihres Lebens.

Die Umsiedlung der Bebenopfer stieß auch vielerorts auf den Widerstand der Betroffenen. Viele Überlebende wußten noch Angehörige unter den Trümmern, die sie zumindest begraben wollten. Die meisten aber bewegte das, was „Il Messaggero“ schrieb: „Die Menschen glauben nicht mehr an Versprechungen, sie haben Angst, nicht mehr zurückkehren zu können oder nichts mehr vorzufinden, weder die Reste ihres Besitzes noch das Vieh.“*

Nicht alle konnten sich gegen das ungewisse Schicksal in der Fremde zur Wehr setzen. Gewissenlose „Vermittler“ grasten Krankenhäuser, Heime und Lager nach elternlosen Kindern ab und verschoben die Waisen wie Schmuggelware bis in die USA. Als die Polizei davon erfuhr, war es für viele schon zu spät.

In Neapel, etwa 100 km westlich des Bebenzentrums, fand sich auf den ersten Blick kaum Schaden: ein paar teilweise eingestürzte Häuser, nur wenige Verletzte. Aber die verrottete Bausubstanz der Altstadt und der Hafenviertel hatte die vielbesungene Stadt am Fuß des Vesuvs seit Jahren zu einer Stadt auf Krücken gemacht. Das Erdbeben vom November 1980 und die vielen Nachstöße schlugen nun auch die Krücken weg. Immer mehr Gebäude mußten geräumt werden. Im März 1981 war die Zahl der Notwohnenden auf 120 000 gestiegen. Die Viertel Montecalvario und Stella standen fast völlig leer. In vielen Straßen erschienen Schilder „Achtung, Einsturzgefahr!“, dann „Durchfahrt verboten!“, und schließlich wurden die Straßeneingänge und -ausgänge zugemauert.

Der Sommer 1981 brachte drückende Hitze über die Wohnwagen- und Barackenlager in Kampanien und Basilicata. Die Hoffnungen auf raschen Wiederaufbau und wirtschaftliche Sanierung schwanden immer mehr. Auch den extrem heißen Sommer 1982 mußten noch 360 000 in Notunterkünften überstehen. Trotz ständig fließender Gelder war die Bautätigkeit vielerorts nicht effektiv, weil die Baufirmen vor allem am Profit interessiert sind. So wurden ohne Rücksicht auf die lokalen Bedürf-

* ebenda

nisse bei Sant' Angelo de' Lombardi viel zuviel Fertighäuser in die Landschaft gesetzt, in Balvano mußten Wohnhäuser abgerissen werden, da man sie unüberlegt auf rutschgefährdetem Baugrund errichtet hatte.

Immer wieder lösen Skandale Empörung aus. 180 Millionen Lire „Erdbebengelder“ wurden in Ottaviano unweit Neapels für die Restaurierung des historischen Medici-Schlusses mit seinen Hunderten von Zimmern, ausgedehnten Gärten und Orangenplantagen abgezweigt. Gebäude und Boden sind Privatbesitz von *Raffaele Cutolo*, Chef der berühmten Mafia-Gruppe „Neue Camorra“. Cutolo dirigiert seit Jahren aus dem Gefängnis ein ganzes Heer von Mördern und Erpressern, die den Palast wie eine Festung nutzen.

Im krisengeschüttelten Italien bedurfte es keiner Hellseherei, um den Teufelsstrudel Erdbeben – Obdachlosigkeit – Arbeitslosigkeit vorherzusagen. Das Beben hatte viele Arbeitsplätze zerstört, die mit moderner Technik arbeitenden fremden Baufirmen brachten die meisten Arbeitskräfte gleich mit. Nach einem Jahr war im Bebengebiet die Zahl der Arbeitssuchenden auf eine halbe Million gestiegen. Allein in Neapel mußten 60 000 kleine Handwerksbetriebe, Läden und Werkstätten schließen.

Jeden November, wenn sich der Tag des Unglücks jährt, formieren sich in den Straßen von Neapel, Salerno, Avellino und Potenza kilometerlange Kolonnen von Demonstranten. Sie fordern, dem Dauernotstand ein Ende zu bereiten.

Gesichter der Erdbeben



Wehe, wenn sie losgelassen

Bis heute weiß man nicht, wie und wo die sagenhafte Insel Atlantis untergegangen ist. Wenn es sie gegeben hat, dann war gewiß ein Erdbeben an ihrem Verderb beteiligt.

Vor der Küste des sowjetischen Schwarzmeerkurorts Suchumi lag auf einer Landzunge einst die altgriechische Stadt Dioscurias. Nach einem schweren Erdbeben wurde sie auf den Grund des Meeres gezogen.

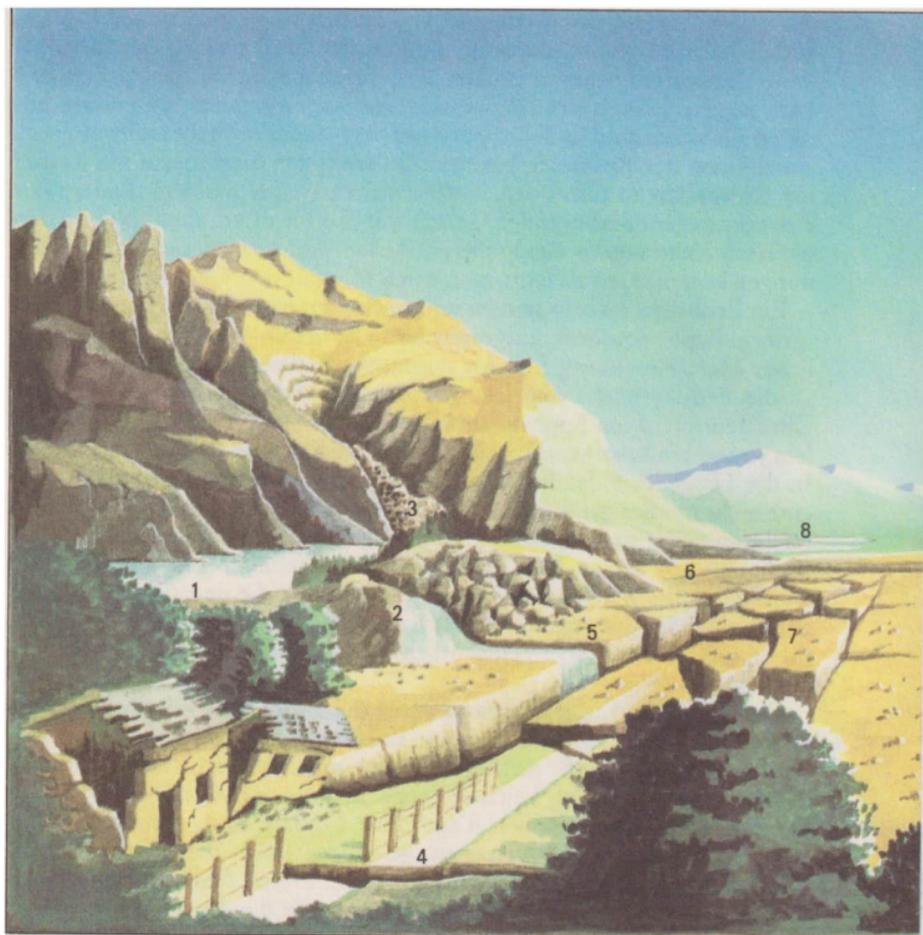
Aus der jüngeren Vergangenheit sind uns spektakuläre Erdbebenverschiebungen (auch Verwerfungen genannt) an Gesteinsblöcken auf dem Festland bekannt geworden. Im japanischen Neotal senkte sich 1891 eine riesige Scholle plötzlich um 6 m in die Tiefe. Gleichzeitig rutschte sie um 2 m zur Seite. Die Verschiebungsfläche konnte über 112 m an der Erdoberfläche verfolgt werden. Ihre Tiefenerstreckung blieb unbekannt. Beim San-Francisco-Beben 1906 betrug die maximale horizontale Blockverschiebung an einer geschlossenen, 400 km langen Erdspalte (San-Andreas-Verwerfung) 6 m, während nur ganz unwesentliche senkrechte Versetzungen beobachtet wurden. Beim Chilebeben 1960 riß längs der Pazifikküste die Erde auf und bewegte zwei Schollen der Erdkruste an einer über 1000 km langen Linie. Diese stellt nur das Oberflächenbild einer gewaltigen, in große Tiefe reichenden Bruchzone dar. 1964 schoben sich Teile einer viele Kilometer dicken Gesteinsscholle des Pazifiks ruckartig auf etwa 800 km breiter Front mit 9° Neigung rund 20 m unter Alaska. Auf einer glücklicherweise kaum besiedelten Landfläche von über 20 000 km² blieben schwerste Verwüstungen zurück.

Verwerfungen erfolgen nicht in jedem Fall plötzlich und sprunghaft. Die Erdkruste zeigt an vielen Stellen langlebige Bruchzonen, die seit Jahrmillionen bestehen und fast ständig mehr oder weniger aktiv sind. Hier treten fühlbare Erdbeben oft nur im Abstand von mehreren Jahren auf. Dazwischen überwiegt das bebenfreie Gleiten. Parallel zum Südufer des Schwarzen Meeres bewegen sich an einer 1200 km langen Kontaktfläche 2 riesige Erdkrustenschollen teils gleitend, teils ruckartig aneinander vorbei. Geologen ermittelten eine horizontale Gesamtverschiebung

seit 60 Millionen Jahren von 400 km. Flußläufe werden versetzt, Täler bilden sich neu, perlschnurartig angeordnete Seen entlang der fast linearen Verwerfungslinie entstehen und vergehen in solchen „lebenden“ Landschaften. Auch aus Neuseeland, Alaska, Kolumbien und vielen anderen Gebieten sind größere oder kleinere dieser erdbebenschwangeren Bruchlinien der Erdkruste bekannt. Im weitesten Sinn haben wir es hier mit Erdspalten zu tun. Diese klaffen nicht tief auseinander, sondern der Kontakt gegenüberliegender Gesteinsblöcke bleibt erhalten. Nur in den obersten Zentimetern des lockeren Bodens kann es zu sichtbaren Dehnungen kommen, so als hätte man einen Pflug durchs Gelände gezogen.

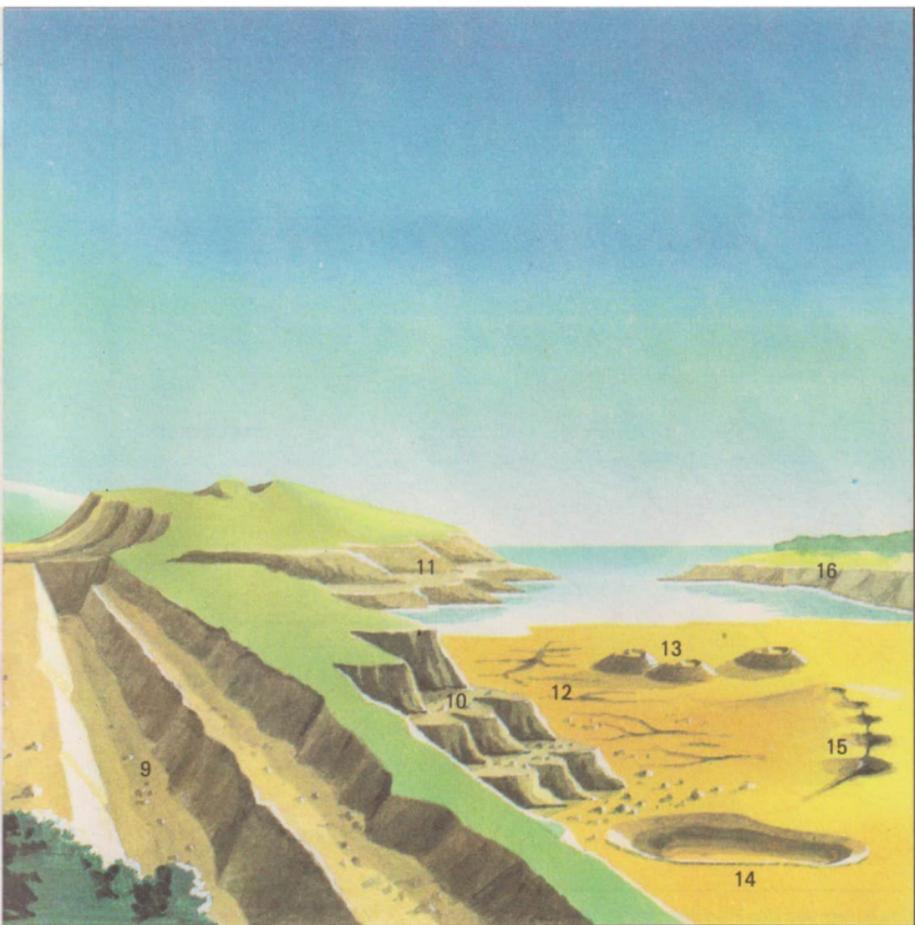
Ein Erdbeben setzt in seinem unterirdischen Herd, dem Hypozentrum (griech. hypo = unter), aufgespeicherte Bewegungsenergie unterschiedlicher Menge ruckartig frei. Als seismische Wellen gelangt diese Energie an die Erdoberfläche und löst dort eine Vielfalt von Bewegungen aus. Über dem Herd, im Epizentrum (griech. epi = auf, oben), sind es vor allem von unten kommende Stöße, die Landschaft und Bauten erschüttern. In der Umgebung des Epizentrums geht die Stoßwirkung allmählich in eine nicht minder gefährliche Wellenbewegung über. Die Wellenhöhe erreicht auch bei starken Beben nur wenige Zentimeter; die Abstände der Wellenkämme liegen im Kilometerbereich. Gebäude und Gegenstände werden häufig in Schaukelbewegungen versetzt, die dem Stampfen eines Schiffes bei Seegang nicht unähnlich sind. Von höhergelegenen Beobachtungspunkten kann man gelegentlich Wälder wie windbewegte Kornfelder schwanken sehen.

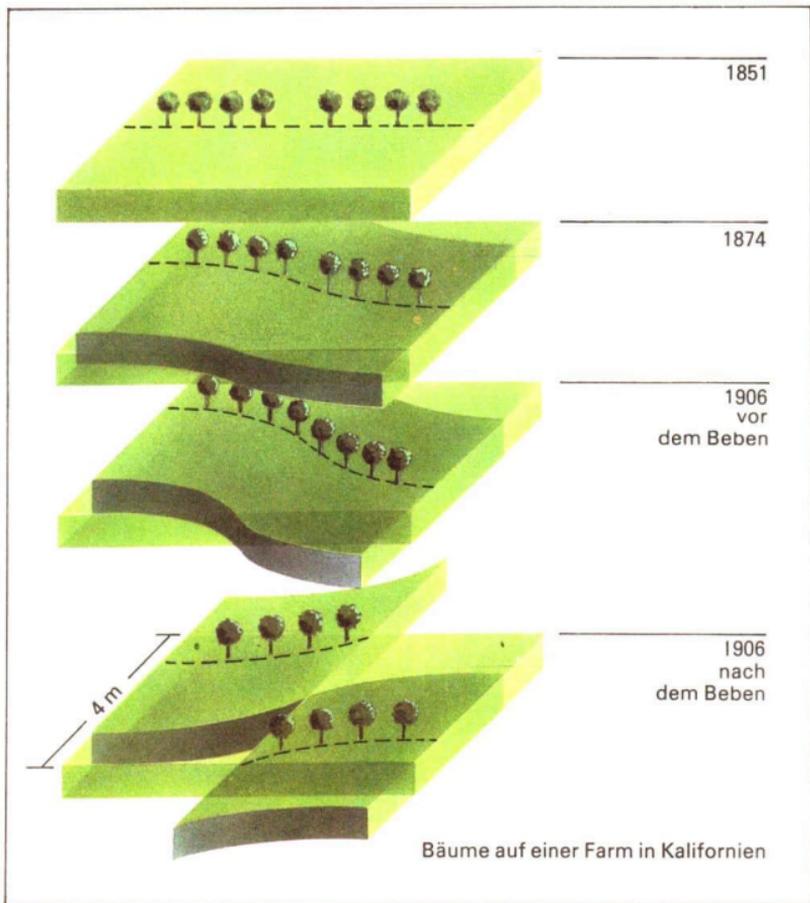
Die Dauer der Erdbebenbewegungen in Herdnähe ist kürzer als oft angenommen. Einzelstöße dauern nur Bruchteile einer Sekunde. Kurz hintereinander auftretende stärkere Schwingungen überschreiten selten den Zeitraum einer Minute. Leichte Nachstöße, die sich als schweres Zittern bemerkbar machen, können Tage oder Monate nach dem Hauptstoß noch vom selben Herd ausgehen. So wurde nach dem Friaulbeben in Oberitalien vom 6. Mai 1976 bis Jahresende eine Nachbebenserie von mehr als 550 Einzelereignissen beobachtet, die die Bevölkerung wieder und wieder in Schrecken versetzte. Nicht immer begleiten abklingende Nachbeben ein Hauptbeben. Umgekehrt weist in manchen Erdbebengebieten allmählich anschwellende Bebenaktivität auf einen baldigen Hauptstoß hin. Wo sich der schlummernde Riese Seismos auf diese Art verrät, bieten sich besonders günstige Ansatzpunkte für eine erfolgreiche Vorhersage. Es gibt auch Schwarmbeben oder Erdbebenschwärme, die ihre Energie ohne deutlichen Hauptstoß portionsweise über Monate oder gar Jahre hinweg „abstottern“. Speziell von den Vogtländischen Schwarmbeben wird noch zu sprechen sein.



Landschaftsveränderungen durch Erdbeben (nach Sieberg)

1 = Abdämmung eines Flusses; 2 = Wasserfall; 3 = Erdbeben; 4 = Verschiebungsbruch;
 5 = Verschwinden eines Wasserlaufs; 6 = leergelaufenes Flußbett; 7 = Klüfte; 8 = Teiche;
 9 = Grabenbruch; 10 = Staffelbruch; 11 = Uferabbruch; 12 = Bodenrisse; 13 = Schlamm-
 kegel; 14 = Erdfall; 15 = Schlammdecke; 16 = gehobener Strand





Das Beben von San Francisco zerriß die Erde.

Die meisten Bebenherde bleiben tief in der Erde unseren Blicken verborgen. In Dutzenden oder gar Hunderten von Kilometern Tiefe finden jene ruckartigen Blockverschiebungen statt, von welchen die seismischen Wellen ausgehen. Liegen die Herde nur wenige Kilometer tief, so spricht man schon von Flachherden. Selten bricht ein Herd gar bis zur Erdoberfläche durch und offenbart uns Teile seines Antlitzes. Geschieht das, dann

bringt ein solches Ereignis markante Landschaftsveränderungen mit sich und bedeutet in bewohnten Gebieten stets Tod und Zerstörung.

Im Gelände verheilen diese natürlichen Wunden relativ schnell. Einebende Verwitterung und in feuchten Gegenden besonders der Pflanzenwuchs tragen dazu bei, daß derartige Erdbebenspuren nach Jahren meist nur noch vom geübten Auge des Seismologen oder Geologen erkannt werden.

Neben den durchbrechenden Herden sind es vor allem die von der Tiefe ausgehenden kräftigen seismischen Wellen, die die Erdoberfläche verändern. Freilich hängen die Folgeerscheinungen dieser Erschütterungen nicht nur von der Kraft und Tiefe des Herdes ab, sondern werden durch Bodenbeschaffenheit, Geländere relief und Gewässernetz verstärkt oder abgeschwächt.

Erdbeben und Felsstürze, die sich lawinenartig von Steilhängen lösen, werden häufig von Erdbeben entfesselt. Die katastrophalste Geröll- und Schlammlawine raste Sekunden nach den Stößen des Perubebens 1970 in den südamerikanischen Anden mit einer Geschwindigkeit von 200 km/h zu Tal. Der Nordgipfel des Huascarán hatte 30 Millionen Tonnen seiner Last freigegeben.

Als 1923 in Tokio nach dem Beben eine verheerende Feuersbrunst ausbrach, existierte das einige Kilometer vor den Toren der Stadt gelegene Dorf Nebukawa bereits nicht mehr. Eine Million Kubikmeter Erde waren ins Rutschen geraten und hatten ein 150 m breites und 6 km langes Tal mit einem Gefälle von 10 Prozent in 5 Minuten durchflossen und alles Menschenwerk verschüttet.

Gesteins-, Schlamm- und Erdlawinen, Bergrutsche oder ähnliche von Erdbeben ausgelöste Massenbewegungen treten meist bei größeren Hangneigungen auf. Aber auch im fast flachen Land kann es zu Bodenfließen von erheblichem Ausmaß und katastrophaler Wirkung kommen, wenn lockerer Boden feucht und von ganz bestimmter kritischer Teilchengröße ist. Im kalifornischen San Francisco (1906) und im japanischen Niigata (1964) gerieten auf diese Weise Wohnhäuser und ganze Stadtbezirke „ins Schwimmen“. Liegen zum Bodenfließen neigende Gebiete im Gebirge, dann nimmt das Unheil oft rasend schnell seinen Lauf. In China sollen im Jahr 1556 beim erdbebenbedingten „Kollaps“ einer Lößterrassenlandschaft 800 000 Menschen im Schlamm begraben worden sein.

Stärkere Erdbeben wirken sich in der Regel besonders auf das Gewässernetz aus. Seen können versickern oder auslaufen, Flüsse oder Bäche umgelenkt oder angestaut werden. Vor allem der durch Abriegelung hervorgerufene Anstau von fließendem Wasser hat die Bedeutung einer Zeitbombe, deren Effekt oft größer als das Beben selbst ist. 8 Tage nach dem

Beben von Assam (Indien) im August 1950 verwüstete in den Bergen des Himalaja eine bis zu 7 m hohe Flutwelle Hunderte von Ortschaften. Die Wassermassen rissen über 500 Menschen in den Tod. Das eigentliche Beben hatte 150 Menschenleben gekostet.

Besonders im Hochgebirge ist während der Schneeschmelze eine sofortige gründliche „Nachsorge“ erforderlich. So steigen aus den Gebirgsdörfern des Kaukasus und Mittelasiens nach jedem Beben Kundschafter in die Welt der Felsen, um mögliche Gefahren von angestautem Wasser und Eisschlamm rechtzeitig zu erkennen. Heute werden sie dabei durch Luftaufklärer und Satelliten unterstützt.

Auch unterirdisches Wasser können Erdbeben stören. Quellen versiegen oder brechen neu auf. Gelegentlich hat man beobachtet, daß aus Spalten oder Brunnen Wasser stoßförmig herausgequetscht und emporgespritzt wird. Nach einem Beben am Baikalsee war das Land plötzlich auf einer Fläche von 250 km² überflutet. An vielen Stellen bildeten sich Springquellen. Wo Brunnen fest mit Holzdeckeln verschlossen waren, sollen diese wie Korke von Sektflaschen in die Höhe geflogen sein. Im Tal der Struma (Bulgarien) erreichten Wassersäulen nach dem Erdbeben im Jahr 1904 auf Grund solcher Springbrunneneffekte Höhen bis zu 6 m. Auf Island, der Insel der Geysire, sind neuauftretende heiße Quellen nach Erdbeben keine Seltenheit. Aber auch das Gegenteil kann eintreten. Während des Erdbebens von 1897 erlitten beinahe alle Geysire Islands Störungen. Der berühmte Strokkur, der bei dem Erdbeben von 1789 entstanden war, stellte plötzlich seine Tätigkeit ein und versiegte.

An Flüssen, Binnenseen und Meeresküsten sind Uferabbrüche eine häufige Folge kräftiger Erdbeben. Im Jahr 373 v. u. Z. soll auf diese Weise die griechische Stadt Helike vom Meer verschlungen worden sein. Mitte September 1716 versank nahe der chinesischen Stadt Nanking ein Landstreifen von 10 km Länge und 2 km Breite mit allen Hütten und 30 Menschen im Jangtsekiang. Beim Erdbeben von Lissabon 1755 stürzte der von einer großen Menschenmenge besetzte Hafenkai ins Meer.

Weiträumige Landhebungen oder -senkungen nach Erdbeben fallen an der Küste am ehesten auf, da der Meeresspiegel eine feste Marke darstellt. So berichtet Charles Darwin in seinem Tagebuch am 5. März 1835 über Spuren des Erdbebens zu Valdivia (Chile): „Auf der Insel S. Maria . . . war die Erhebung größer; an einer Stelle fand Kapitän FitzRoy Massen faulender Miesmuscheln noch an den Felsen haftend, zehn Fuß über dem Hochwasserstand, während vorher die Einwohner bei Springebben nach diesen Muscheln hatten tauchen müssen.“*

* Die Reise von Charles Darwin, a. a. O., S. 148



Das Beben von Rowmari (Indien) 1897 hinterließ Strudellöcher und Tümpel.

In Japan wurden 1927 beim Tangobeben Küstenhebungen von 80 cm und 1923 beim Tokiobeben sogar von 150 cm beobachtet. Im Binnenland sind ruckartige Hebungen oder Senkungen größerer Landesteile nur durch Feinmessungen vor und nach Bebenereignissen nachweisbar. Sie erreichen jedoch selten den Zentimeterbereich, wie bei den Anhebungen von Teilen der südlichen Himalajakette nach dem Beben im Kangratal 1905.

Der Untergang der Insel Atlantis erscheint aus der Sicht der Erdbebenforschung ebenso möglich wie das Zerschneiden von Ländern und Kontinenten oder die schlagartige Zerstörung größerer Siedlungen. Allerdings ist vor allem gegenüber älteren Berichten Vorsicht geboten. Viel Unwahrscheinliches über die Wirkungen des Dämons Erdbeben wurde von Generation zu Generation übertragen. Unverstandenes mischt sich oft mit Übertriebenem oder Gefälschtem.

Niemals sind Menschen, Tiere oder gar ganze Ortschaften in plötzlich aufreißenden und wieder zusammenklappenden Erdspalten verschwunden. Der letzte schauerliche „Augenzeugenbericht“ eines solchen Ereignisses stammt aus dem Japan des Jahres 1783. Auch das Ausschleudern von Gestein an durchbrechenden Erdbebenherden tritt kaum auf. Meist führen nicht Dehnungen, sondern Pressungen im Lockerboden unmittelbar unter der Erdoberfläche zu geringfügigen Auswürfen von Sand oder Schlamm. Echter Vulkanismus, der glutförmiges Tiefengestein an die Oberfläche transportiert, ist an Erdbebenspalten höchst selten.

Erdbebenwellen ziehen niemals drehend und strudelnd wie ein Wirbelsturm übers Land. Häufig beobachtet man jedoch in Schüttergebieten, das heißt in Gebieten, wo ein Erdbeben gefühlt wird, deutlich um ihre senkrechte Achse gedrehte Gegenstände wie Denkmale, Grabsteine, Türme oder Essen. Diese Bewegungen lassen sich durch einfache geradlinige Kraftwirkungen erklären. Auf der Unterlage angestoßen und ins Rutschen gekommen, einseitig durch Reibung oder Dübel gehemmt, können sie seismische Drehbewegungen vortäuschen.

Die Vorstellung von „versteinerten“ oder „eingefrorenen“ Bebenwellen beruht ebenfalls auf einem Irrtum. Bleibende sichtbare wellenförmige Verformungen von Gesteinen, Eisenbahnschienen oder Straßen sind meist durch Bodensetzungen und Stauchungen (Schraubstockwirkung) als Folge bebenbedingter Massenverlagerungen hervorgerufen worden. So entstanden die regelmäßigen 1 bis 2 m langen und 10 cm hohen Wellen, die 1908 im Pflaster der Hafenstraße von Messina erhalten blieben, durch Stauchwirkungen der schräg in die Tiefe versinkenden Kaimauer.

Mit Recht lehnt man heute zeitgenössische Darstellungen des Walliser Erdbebens von 1755 ab, nach denen das bis zu 3553 m hohe Bergmassiv des Simplon beträchtlich niedriger geworden sein soll. Größere sprunghafte Höhenänderungen einzelner Berge oder ganzer Gebirgsketten sind wegen der inneren Festigkeit der Gesteine in den Hochgebirgen höchst unwahrscheinlich.

Nicht allzu häufig kommen vorübergehende oder gar bleibende Änderungen der Farbe, des Mineralgehalts oder der Temperatur von Quellen durch zuströmendes fremdes Grundwasser vor. Die meisten Angaben über Veränderungen bekannter Heilquellen anlässlich großer, weitentfernter Beben sind der Sensationslust und dem Konkurrenzkampf zuzuschreiben. So halten die Berichte über Änderungen der Heilquellen von Teplice anlässlich des Lissabonbebens von 1755 einer ernsthaften Kritik ebensowenig stand wie gelegentliche Meinungen über die Beeinflussung des Sprudels von Karlovy Vary durch Beben im Süden Europas. Allerdings steht die Schüttung, das heißt die in einer bestimmten Zeit geför-

derte Wassermenge, mancher Heilquellen in Beziehung zu den Vorgängen in nahe gelegenen Bebenherden. Die Erdbebenvorhersage macht bereits von solchen Zusammenhängen Gebrauch.

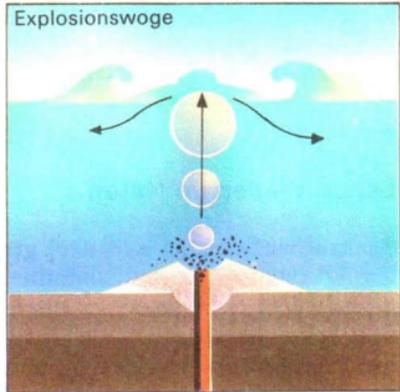
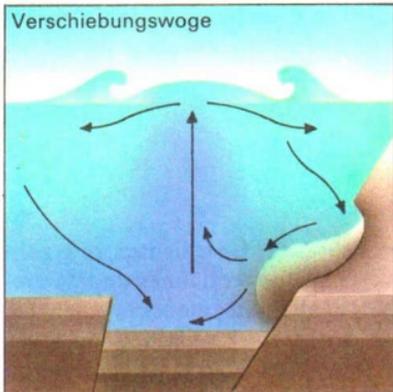
Lange Wellen im Hafen

So mancher Seemann weiß nach großer Fahrt tolle Geschichten zu erzählen. Wie staunen da die Landratten, wenn Klabautermänner und Seeungeheuer jede Schiffsreise zu einem heldenhaften Abenteuer werden lassen. Sollte jemand am Wahrheitsgehalt der Storys zweifeln, dann greift der Fahrensmann zu einem garantiert wirkenden Mittel: Er erzählt von Seebeben. Wenn ein Beben schon auf der festen Erde alles durcheinanderwerfen kann, wie unvorstellbar schrecklich mag das alles auf hoher See sein? Man denkt mit Schauern an haushohe Wellen, die durch die Ozeane gepeitscht werden. Bedrohen sie nur die Küsten, oder könnten sie auch wie ein Orkan über die Kontinente spülen?

Die Geophysiker wissen heute mit Sicherheit, daß die meisten Bebenherde unter dem Meeresboden liegen. Die Wirkungen der unterseeischen (submarinen) Beben können sehr verschieden sein. Brechen die Herde von unten nicht bis zum Meeresboden durch – und das ist meistens der Fall –, so wird lediglich die Energie der seismischen Wellen teilweise auf das Wasser übertragen. Es entstehen nahezu senkrecht nach oben laufende stoßartige Druckwellen, die sich an der Meeresoberfläche in einem meist lokal begrenzten Gebiet fühlen oder messen lassen.

Auf dem Festland werden häufig selbst küstennahe Seebeben infolge starker Dämpfung nicht mehr wahrgenommen. Auf dem Meer treten meist nur kurze Stöße auf, aber in der Regel von deutlichen Schallgeräuschen begleitet. Es handelt sich entweder direkt um Bebenshall oder um Ächzen und Knirschen des von den seismischen Stoßwellen getroffenen Schiffskörpers.

Seebeben bleiben unsichtbar. Der Seegang im Schüttergebiet verändert sich nicht – eine Tatsache, die beim Seemann immer wieder Verwunderung hervorruft, aber physikalisch zu erklären ist. Im Gegensatz zum seitlich wehenden Wind kommen die Bebenkräfte direkt von unten und wirken nur wenige Sekunden. Berühmt-berüchtigt sind die beträchtlichen Fehldiagnosen bei der Wahrnehmung von Seebeben auf Schiffen geworden. Knirschende und schleifende Geräusche wurden bei ruhiger See für Zeichen von Bodenberührung gehalten und veranlaßten zu Eintragungen in die Schiffskarten. In den vergangenen Jahrhunderten waren die Oze-



Entstehung der seismischen Wogen (Tsunami)

ane übersät von solchen „Untiefen“. Erst die systematisch durchgeführten Tiefseelotungen stellten die Ordnung wieder her. Die Gebiete der scheinbaren Riffe und Klippen lagen meist über Tiefseegräben mit mehreren Kilometern Wassertiefe.

Ganz so harmlos, wie es auf hoher See scheinen mag, sind die Seebeben trotzdem nicht. Manche von ihnen bergen in sich ein fürchterliches Geheimnis, das erst nach Minuten oder Stunden an fernen Küsten offenbar wird.

Am Ozeanboden finden ab und zu durch Beben verursachte Bodenverschiebungen oder vulkanische Explosionen statt. Die wirkenden Kräfte übertragen sich auf den Wasserkörper und gelangen an die Meeresoberfläche. Dort lösen sie nur wirre, kurzperiodische Erregungen des Wasserspiegels aus. Manchmal wurden auch kleinere aufsteigende Wassersäulen oder spritzende Fontänen beobachtet. In jedem Fall aber kommt es zu einer schildförmigen Aufwölbung des Wasserspiegels, die schnell wieder zurückgeht. Fast ebenso rasch verschwinden die anfangs heftigen Wellenbewegungen. Scheinbar hat damit das Ereignis seine Energie verbraucht und sein Ende gefunden.

Doch der Schein trügt. Als Folge der Aufwölbung breiten sich in konzentrischen Ringen weitgespannte Übertragungswellen aus. Sie sind nur wenige Zentimeter oder Dezimeter hoch. Der Abstand von Wellenberg zu Wellenberg erreicht 100 bis 1000 km. Trotz einer Geschwindigkeit von 200 bis 300 m/s bei 6 bis 8 km Wassertiefe, also fast der Geschwin-

digkeit des Schalles in der Luft, führt das zu Periodenlängen von fast einer Stunde. So lange dauert es, bis sich die Meeresoberfläche einmal um einige Zentimeter gehoben und gesenkt hat. Wenige Schwingungen genügen, um den gesamten Ozean zu überqueren. Solche Wellen können auf hoher See nicht gefühlt werden. Doch in Küstennähe geschieht etwas Unerwartetes. Ein grandioses, aber leider oft auch verderbenbringendes Naturschauspiel beginnt. Mit dem Abbremsen der Wellen wird die Wellenhöhe größer und größer. Schiffe nehmen mehrere Kilometer vor der Küste bereits eine leichte Dünung wahr. Über Untiefen türmen sich die seismischen Wogen zu Brechern und Sturzseen. Direkt an der Küste flutet das Wasser zunächst einige Minuten lang zurück, um dann mit katastrophaler Brandung wiederzukehren. Maxim Gorki schilderte, was daraufhin am 28. Dezember 1908 in Messina geschah:

„Eine Woge von maßloser Höhe hat sich zum Himmel erhoben – mit ihrer Brust hat sie den halben Himmel verdeckt, duckt sich, den weißen Kamm schüttelnd, nieder, fällt einknickend auf den Strand und bedeckt mit ihrer furchtbaren Wucht die Häuser und Trümmerhaufen. Sie zerdrückt und erwürgt die Lebenden und gleitet, den Halt am Ufer verlierend, in die Tiefe zurück, alles, was sie gepackt hat, mit sich fortreisend – Trümmer von Booten, Türen und Möbelstücke, Frauen und Kinder, Priester, Arbeiter, Soldaten, Studenten – das ganze Ufer hat sie glatt abgespült und tritt nun wieder zurück, weit ins Meer, um dann von neuem, diesmal schon mit geschwächter Kraft, gegen die Felsen zu schlagen und denen den Rest zu geben, die noch am Leben geblieben sind.“*

Besonders gefährdet sind Meeresbuchten und Flußmündungen, also gerade für Fischerei und Verkehr günstige Stellen. Manch kleine Hafenstadt hat durch haushoch hereinbrechende seismische Wogen ein jähes Ende gefunden. Vor allem die Bewohner der Küsten des Stillen Ozeans müssen seit Menschengedenken mit diesen Gefahren leben. Häufig schlagen starke Erdbeben vor Alaska (1946, 1964) oder vor Südamerika (1896, 1960) Stunden später auf Hawaii oder an der pazifischen Ostküste (Japan, Philippinen) als seismische Wogen noch einmal zu. Aus dem Japanischen stammt die heute international übliche Bezeichnung für seismische Wogen: Tsunami – lange Wellen im Hafen.

Stellenweise haben Tsunami Höhen von 30 bis 40 m erreicht. Auch als 1883 in der Sundastraße zwischen Sumatera und Djawa ein Teil des Inselvulkans Krakatau explodierte, wurde eine riesige vulkanisch-seismische Wasserwoge ausgelöst. Die Sendboten dieses bisher gewaltigsten Tsunami hat man an den Küsten sämtlicher Weltmeere beobachten können.

* a. a. O., S. 51

Aber eben nur an den Küsten der Ozeane und bei weitem nicht überall zerstörerisch. Für echte Landratten besteht also keine Sintflutgefahr durch Seebeben!

Am Orinoco brüllten die Krokodile

Gleichgewichtsstörungen bei Reisen mit der Bahn, dem Bus oder dem Flugzeug können Übelkeit hervorrufen. Gegen Seekrankheit sind nur wenige Menschen gefeit. Kann man auch von den Erschütterungen eines Erdbebens Kopfschmerzen bekommen?

Der Mensch ist bei einem Erdbeben häufig Belastungen ausgesetzt, die nicht selten tiefgreifende psychologische Wirkungen hinterlassen. Schreckensneurosen aller Art infolge der ausgestandenen Angst, wie Schwindelgefühl, Ohnmacht, Schlaganfall oder Frühgeburt, werden oft selbst von sonst harmlosen Beben hervorgerufen. Schon mancher ist tatsächlich nicht durch den Bebenstoß, sondern vor Schreck vom Stuhl oder aus dem Bett gefallen. Schreckhaftigkeit, Angstzustände, Schlaflosigkeit, nervöse Erregbarkeit oder Erdbebenträume halten zum Teil über lange Zeit an. Das vom Erdbeben arg strapazierte Nervenkostüm des Menschen verleitet zu mancherlei Selbsttäuschung. In Berichten von Erdbeben spielen sie, abgesehen von Sensationslust, eine nicht unerhebliche Rolle. Insbesondere wird sehr oft die Dauer eines Bebens überschätzt. Statt 10 bis 20 Sekunden geben die Zeugen mehrere Minuten an.

Je nach Stärke und Entfernung des Bebens, Zeitpunkt, Standort und Empfindlichkeit des Beobachters sind Bebenwahrnehmungen durch den Menschen sehr unterschiedlich. Starke Erdbeben werden über Tausende Kilometer Entfernung verspürt. Als sich im Jahr 1755 bei Lissabon die Erde aufbäumte, wurde die amerikanische Ostküste jenseits des Atlantiks merklich erschüttert. Ein tiefer Bebenherd unter Kolumbien ließ 1970 den gesamten südamerikanischen Kontinent spürbar erzittern. Das Erdbeben von Bukarest 1977 schreckte noch in Moskau und Leningrad die Bewohner auf, und mancher Bürger unseres Landes nimmt gelegentlich Fernwirkungen oberitalienischer Erdbeben wahr.

Im folgenden geht es vorrangig um die Einflüsse von leichten bis mittleren Beben, wie sie auch bei uns in Mitteleuropa hin und wieder zu verspüren sind.

Das Gleichgewichtsorgan reagiert auf Erschütterungen, das Ohr vermag Erdbebengeräusche aufzunehmen, und schließlich kann das Auge bebenbedingte Lichterscheinungen erfassen.

Gegen von unten kommende Stöße ist der Mensch namentlich im Sitzen oder Liegen empfindlich. Im Stehen treten zuweilen Gefühle des Versinkens oder Anhebens wie im Fahrstuhl auf. Stärkere Stöße können im wahrsten Sinn des Wortes Personen „in die Knie zwingen“. Zittern des Bodens wirkt oft wie ein leichter elektrischer Strom, der über Füße und Beine in den Körper fließt.

Auf waagerechte Bodenverschiebungen reagiert der Mensch stärker als auf senkrechte. Ähnlich einem Gebäude ist sein Organismus vor allem auf vertikale Belastungen eingerichtet. Rasche horizontale Bodenbewegungen um Millimeter wirken auf den Menschen schon verstörend. Gegen seitliche Bewegungen ist er empfindlicher als gegen solche von vorn oder hinten — vermutlich weil erstere im Leben seltener vorkommen. Rütteln und Schaukeln des Bodens unterscheiden sich oft kaum von der Bewegung eines Schiffsdecks. So verursachen Erdbeben mitunter „Seekrankheit“.

Die mechanischen Erschütterungen des Bodens können indirekt sichtbar sein, wenn Gebäude und Gegenstände zu eigenen Schwingungen angeregt werden. Hausgeräte, Lampen, Bilder geraten schnell ins Pendeln; sie stellen im Prinzip Erdbebenmelder dar. Das Schwanken von Wänden, Mauern, Hausgiebeln und Gebäuden ist jedoch oft eine falsch ausgelegte Wahrnehmung. Vor allem schwankt der Beobachter, nicht das Bauwerk.

Fast mit jedem Erdbeben ist ein aus der Tiefe kommendes Geräusch oder Getöse verbunden. In Herdnähe verursachen die unterirdischen Massenverlagerungen einen kurzen, explosionsartigen Knall oder eine langgezogene Tonfolge wie bei dem Rollen des Donners oder dem Heulen des Windes.

In einer gewissen Entfernung vom Herd setzen die sich ausbreitenden elastischen Erdbebenwellen Gesteinsschollen und Felsblöcke gegeneinander in Bewegung. Das Aufreißen und Reiben in den Klüften erzeugt hörbare Schallwellen, ähnlich einer angeschlagenen Glocke oder einem tönenden Streichinstrument. Verschiedenheiten in Klangfarbe, Schallstärke und Tonhöhe sind normale, gesteinsbedingte Erscheinungen.

Die Wahrnehmungen von Gleichgewichtsorgan und Trommelfell gehen ineinander über und vermischen oder ergänzen sich. Das Gleichgewichtsorgan übernimmt die Funktion des Trommelfells im seismischen Schwingungsbereich (Infraschall, weniger als 20 Schwingungen je Sekunde). Das Ohr registriert die Luftschwingungen oberhalb dieser Grenze. Bei nicht allzuweit entfernten Herden wird zuerst meist ein sehr tiefer Erdbebenschall von unten gehört. Dann folgen kurze Erschütterungen (mehrere Schwingungen je Sekunde), ähnlich dem Rumpeln eines schwerbeladenen Wagens auf holprigem Pflaster. Später kommen längere



Bebenluft bei El-Asnam (Algerien) nach dem Beben von 1980

Schwingungen von etwa Sekundendauer hinzu, die nach mehrmaligem Auf- und Abschwellen bis zur Unfühlbarkeit nachlassen. Der Schall kann noch einige Sekunden länger hörbar sein.

Eine solche Schilderung wirft zwei Fragen auf. Warum nimmt man die Geräusche wahr, bevor man die Bodenerschütterung empfindet, obwohl sich die Wellen in Gesteinen etwa zehnmal schneller als in Luft ausbreiten? Warum hört man den Schall von unten kommen, auch wenn der Bebenherd in seitlicher Entfernung liegt? Für diese scheinbaren Widersprüche gibt es einfache Erklärungen. Der Erdbebenherd sendet immer ein Wellengemisch aus. Die schnellsten durch die Erde direkt zum Beobachter laufenden Wellen sind nicht die kräftigsten und werden von einer bestimmten Entfernung an nicht mehr gespürt. Ihre Energie aber verwandelt sich beim Erreichen der Erdoberfläche teilweise in Schall. Den kann

das empfindliche Ohr noch wahrnehmen. Nach dem Brechungsgesetz tritt der Bebenschall immer senkrecht aus dem Boden. Erst später treffen von der Seite energiereichere Oberflächenwellen ein, deren Bewegungen spürbar sind.

Oft stimmen die Gebiete gleicher Erschütterungen nicht mit den Gebieten gleicher Schallstärke überein. Das Schallzentrum liegt manchmal kilometerweit vom Schütterzentrum entfernt. Da Erschütterungen und Schall auf verschiedenen Wegen durchs Gestein laufen, werden sie unterschiedlich gedämpft und gelenkt. Auch infolge von Reliefunterschieden an der Erdoberfläche kommt es selbst auf engem Raum zu Verzerrungen in Form von Verstärkung (Brennglaswirkung) oder Abschwächung (Schattenbildung).

Meinungsverschiedenheiten bei Richtungseinschätzungen von Beben gehen häufig noch auf andere objektiv bedingte Täuschungen zurück. Wie Orientierungsläufer im Gelände meiden die seismischen Wellen im Untergrund Zeitverluste, indem sie Hindernisse auf rascheren Wegen umgehen. Auch Erdbebenenergie nimmt den schnellstmöglichen Weg zum Ziel. Das ist nicht immer der kürzeste, also nicht der geradlinige, da die Gesteine ganz unterschiedliche seismische Wellengeschwindigkeiten besitzen. An einem Beobachtungspunkt ist die Ankunftsrichtung der Bebenenergie dadurch häufig nicht gleich der Richtung zum Herd. Mancher, der ein Beben erlebte, hat sich über die wahre Lage des Herdes auf diese Weise erheblich täuschen lassen.

In der Nacht zum 17. November 1911 ereignete sich in Süddeutschland eins der stärksten Beben in Mitteleuropa. Zur gleichen Zeit kam der Sternschnuppenschwarm der Leoniden zu prächtigster Entfaltung. Geschäftstüchtige Leute zeichneten deren Spuren in Landschaftsfotografien ein und verkauften in den nächsten Tagen — als alle noch unter dem Einfluß des erlebten Bebens standen — ihre sensationellen „Erdbebenfotos“.

Behauptungen über die Wahrnehmung von Lichterscheinungen vor, während und nach Erdbeben waren stets umstritten. Sie lassen sich aber nicht von der Hand weisen; denn bei den seismischen Vorgängen im Schoß der Erde kann Elektrizität infolge Druck, Reibung oder Luftionisierung entstehen. Allerdings sind die Effekte sehr schwach und die Möglichkeit von Falschbeobachtungen sehr groß. Man denke nur an die Vielzahl atmosphärisch bedingter Leuchterscheinungen, wie das Wetterleuchten bei Ferngewittern. Oft lodern unmittelbar bei den ersten Erdstößen Stichflammen in Gebäuden auf, deren Widerschein von fernen Beobachtern teilweise früher als die Erschütterung selbst bemerkt wird.

Durch die zunehmende Elektrifizierung in Stadt und Land steigt nach Erdbeben auch die Wahrscheinlichkeit erschütterungsbedingter Kurz-

schlüsse an schwingenden Leitungen oder in Umspanneinrichtungen. Blitzähnliche Effekte werden dann häufig den Erdbeben direkt zugeschrieben. Schon vor über 50 Jahren sagte der deutsche Geophysiker *August Sieberg* (1875–1945), „daß gerade die Lichterscheinungen eins der dunkelsten Kapitel in der Erdbebenkunde bilden“*. Dem ist aus heutiger Sicht nichts hinzuzufügen.

Wie die Menschen verspüren natürlich auch Tiere die Bebenwirkungen. Sowohl die Haustiere wie die Wildtiere zeigen sonderbares, ungewöhnliches Verhalten. Häufig beachten selbst scheue Tiere die Gegenwart des Menschen nicht, lassen aber alle anderen Anzeichen von Angst erkennen. Alexander von Humboldt erlebte ein Erdbeben in Südamerika, während dessen die sonst stummen Krokodile laut brüllend die Flüsse verließen.

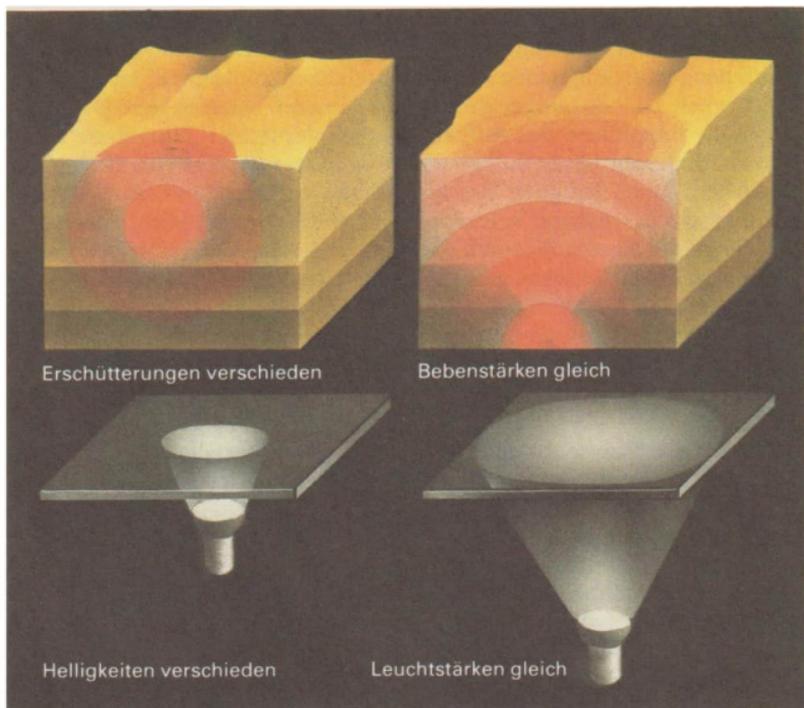
Die Erdbebenskalen

Erdbeben werden nach Stärkegraden, den makroseismischen Intensitäten (griech. makro = groß), eingeteilt. Diese sind kein absolutes Maß für die Energie der Beben, sondern beschreiben lediglich die Schütterwirkungen an der Erdoberfläche. Zwei Beben gleicher Energie werden unterschiedliche Intensitäten hervorrufen, wenn ihre Herdtiefe oder das umgebende Gestein verschieden sind. Man nehme zum Vergleich eine Milchglascheibe als Erdoberfläche und setze eine Lichtquelle als Bebenherd unter die Scheibe. Bei geringerem Abstand (flacher Herd) ist die Helligkeit stärker, bei „tiefem Herd“ dagegen schwächer, aber die ausgeleuchtete Fläche größer.

Die Herdlage und die Herdstärke aus den Merkmalen der vom Beben „ausgeleuchteten“ Erdoberfläche zu bestimmen bildet die wichtigste Aufgabe der makroseismischen Bebenbewertung. Diese erfolgt in Stärkegraden von 1 bis 12, ist also eine nach unten und oben abgeschlossene Skala. Die niedrigen Grade beschreiben vor allem die Fühlbarkeit schwacher Bebenwirkungen auf Menschen im Freien oder in Gebäuden. Bei den mittleren Gradern kommen schwache, aber bereits schädliche Einwirkungen auf Bauwerke hinzu. Die höchsten Grade sind starken, meist katastrophalen Veränderungen an Bauten und in der Landschaft vorbehalten.

Die Skalenangaben haben beschreibenden Charakter. Sie sind physikalisch nicht exakt, doch für jeden Menschen anschaulich. Da sie auf sub-

* Dr. August Sieberg, a. a. O., S. 120



Helligkeiten und Erschütterungen an der Oberfläche spiegeln nur scheinbar die wahren Stärken der Quellen in der Tiefe wider.

jektiven Wahrnehmungen und Schilderungen beruhen, hat ihre Bewertung und Zuordnung stets mit Vorsicht zu erfolgen. Auch objektive Fehlerquellen beim Beurteilen der Intensität eines Erdbebens sind nicht unerheblich. Während gut ausgeführte Bauwerke einem Beben ohne Schaden widerstehen können, erleiden Bauten vom gleichen Typ infolge von Materialfehlern oder konstruktiven Mängeln Zerstörungen. Ebenso verständlich ist der Einfluß unterschiedlichen Grundes auf die Standfestigkeit von Gebäuden oder die Rutschneigung von Hängen.

Der technisch interessierte Leser mag mit Recht einwenden, daß heute dank hochentwickelten Instrumenten der Erschütterungsmeßtechnik eine objektive physikalische Messung der auftretenden Bebenwirkungen und damit der Bebenstärke möglich sei. Doch trotz aller Bemühungen kom-

men die Seismologen von den auf menschlichen Beobachtungen beruhenden Intensitätsskalen nicht los. Dafür gibt es verschiedene Gründe. Um die Bebengefährdung einer Region einschätzen zu können, muß die Beben-tätigkeit als langzeitiger geologischer Prozeß bekannt sein. Dafür ge-nügen die instrumentellen Aufzeichnungen der letzten Jahrzehnte nicht. Alle überlieferten Beben sollten einbezogen werden. Da von älteren, hi-storischen Beben lediglich Beschreibungen vorliegen, ist ein Vergleich nur über die Einpassung in makroseismische Skalen möglich. Außerdem sind heute die Kosten für moderne seismologische Meßgeräte sehr hoch. Unzählige Spezialseismometer für Starkbewegungen müßten wegen der internationalen Vergleichbarkeit in allen Bebenregionen der Erde aufge-stellt und von Fachleuten stets arbeitsbereit gehalten werden. Aus ökonomischen Gründen sind solche Aufwendungen heute erst in wenigen Ge-bieten vertretbar, so im Süden der Sowjetunion, in Japan, Italien und Ka-lifornien.

Die makroseismischen Intensitätsskalen werden auch in der Zukunft unentbehrlich sein. Sie sind jedoch nicht für ewig festgeschrieben, son-dern müssen von Zeit zu Zeit den veränderten Lebens- und Baugewohn-heiten angepaßt werden. Waren es früher Schäden an Burgen, Mühlen, Stadtmauern, Wehrtürmen oder Zugbrücken, so dienen heute Verände-rungen an Hochhäusern, Industrieanlagen, Stahlkonstruktionen als Maßstab. Bebenskalen ändern sich nicht nur mit der Zeit, sondern auch mit dem Ort. Nicht alle Länder bewerten ihre Beben nach den gleichen Maßstäben. Bei Pressemeldungen aus Erdbebengebieten ist daher immer eine gewisse Vorsicht geboten.

Der älteste Versuch, eine Skala zur Bestimmung der Bebenstärke auf-zustellen, ist uns aus dem Jahr 1564 von dem italienischen Kartenzeichner *Giacomo Gastaldi* (1500–1568) überliefert. Er fertigte zugleich an Hand der Wirkungen eines Bebens bei Nizza die erste Bebenkarte an. Der prak-tische Nutzen von Bebenkarten, in die man flächenhaft die Linien glei-cher Bebenstärke (Isoseisten) einzutragen versuchte, blieb zu jener Zeit gering. Den Anstoß zu systematischer Forschungsarbeit gab der deutsche Mathematiker *P. N. C. Egen* (1793–1849). Er unterschied 5 Stärkegrade und ermittelte im Februar 1828 aus Intensitätslinien das Epizentrum eines Erdbebens im Rheinland. Damit widerlegte er damalige Behauptungen, es habe sich bei den Erschütterungen um Begleiterscheinungen eines gleichzeitigen Vesuvausbruchs gehandelt. Die erste, bereits recht modern aufgebaute Bebenskala wurde 1883 von *Michele Stefano de Rossi* (1834–1898) und *François Alphonse Forel* (1841–1912) aufgestellt. Sie ist noch heute in der Schweiz gültig und besonders für schwache Beben gut geeignet. Weite Verbreitung fand eine 1897 von dem Italiener *Giuseppe*

Mercalli (1850–1914) entworfene Skala, die der Jenenser Seismologe August Sieberg seit 1912 mehrfach weiterentwickelte (*Mercalli-Sieberg-Skala*). In den USA werden Beben nach der Modifizierten *Mercalli-Skala* (MMS) bewertet, die *Omori-Skala* berücksichtigt die besonderen Verhältnisse in Japan.

Eine höhere internationale Verbindlichkeit wurde in Europa durch die Skala MSK 64 (kurz: *MSK-Skala*) erreicht. Sie ist ein Gemeinschaftswerk der Seismologen *Sergej Medwedew* aus der UdSSR, *Wilhelm Sponheuer* (1905–1980) aus der DDR und *Vit Karnik* aus der CSSR und wurde erstmals 1964 vorgestellt. Zu Ehren der Schöpfer sind die Anfangsbuchstaben ihrer Namen in der Abkürzung MSK verewigt.

Trägt man die beobachteten Stärkegrade eines Bebens in eine Karte ein, so ergibt sich meist ein gutes Bild von der Lage des Epizentrums. Das Hypozentrum kann aus der seitlichen Intensitätsabnahme berechnet werden.

Es hat in der Vergangenheit nicht an Versuchen gefehlt, die Erfahrungswerte der makroseismischen Intensitäten in die physikalisch exakten Meßgrößen der auftretenden Bodenschwingungen (Dauer, Weite, Geschwindigkeit, Beschleunigung) umzurechnen und umgekehrt. Für Näherungslösungen wurden brauchbare Diagramme entwickelt.

Die Intensität eines Bebens läßt sich nicht am besten durch die Schwingungsweite der Bodenbewegungen wiedergeben. Dauert nämlich eine Einzelschwingung sehr lange, so ist sie nicht zu spüren. Niemand würde Notiz nehmen, wenn sich sein Heimatbezirk als Ganzes im Verlauf von Minuten oder Stunden um mehrere Zentimeter hebt und senkt. Auch die Schwingungsgeschwindigkeit ist nicht immer ein verlässlicher Anzeiger für spürbare Intensitäten. Wir wissen alle, daß man im gut gefederten Abteil eines Zuges oder gar in der Kabine eines Flugzeugs Geschwindigkeiten nicht schätzen kann. Anders verhält es sich bei Geschwindigkeitsänderungen (Beschleunigungen), wie sie beim Anfahren und Abbremsen auftreten. So verwundert es nicht, daß Intensitäten eines Bebens bevorzugt in Einheiten der Beschleunigung angegeben werden.

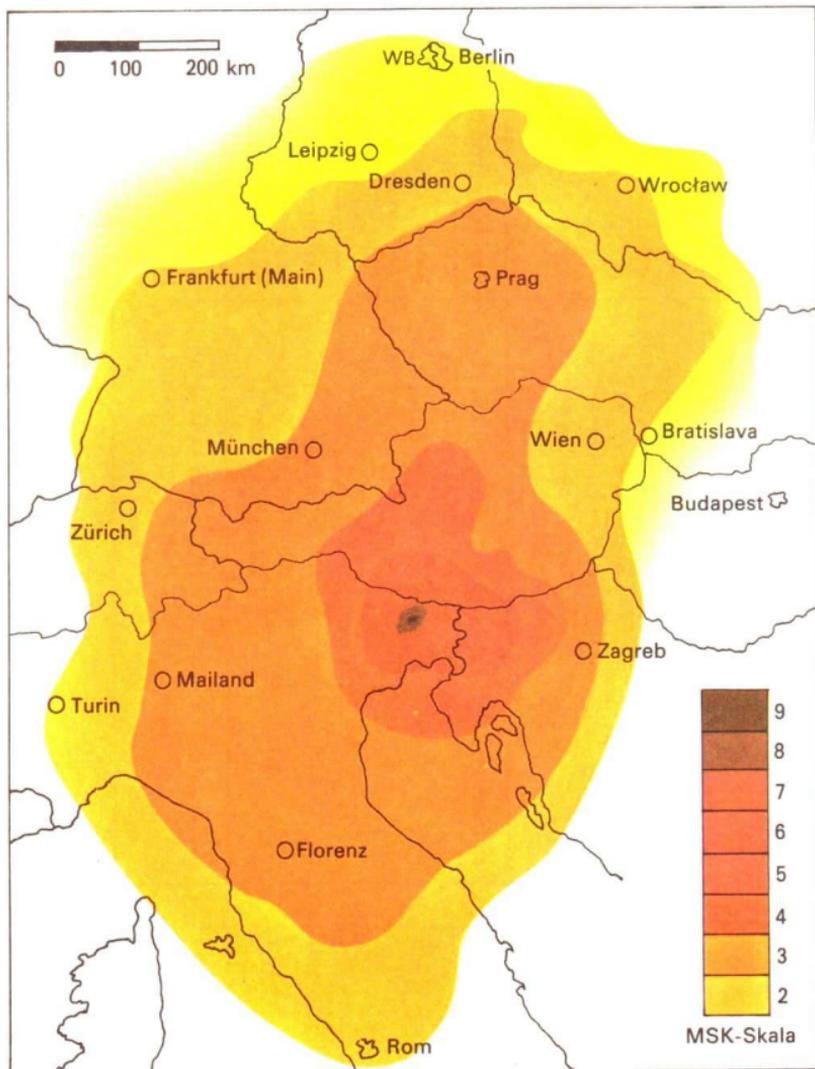
Aber auch mit Beschleunigungswerten lassen sich nur die Wirkungen eines Bebens an der Erdoberfläche und nicht die wahre Stärke in der Tiefe oder die freigesetzte Energie ausdrücken. Intensitäten und Beschleunigungen sind sehr stark von der Herdentfernung abhängig und damit relative Größen. Die nach Wahrnehmungen und Zerstörungen bemessene Intensitätsskala reicht nicht aus, weiter entfernte oder auch schwache Beben noch bewerten zu können. Außerdem erlaubt die Einteilung in nur 12 Klassen keine sehr feinen Unterscheidungen.

Es war das Verdienst des amerikanischen Seismologen *Charles Francis*

Seismische Intensitätsskala MSK 64

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, Bilder verschoben sich	
VI	stark	erschreckend	Kamine und Verputz werden 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, unterirdische Rohrleitungen zerbrechen	Bodenrisse, Bergstürze, viele Erdbeben
X	vernichtend	allgemeine Panik	Backsteinbauten werden zerstört	Verbiegen von Eisenbahnschienen, Abgleiten von Lockerböden 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



Intensitäten des Erdbebens von Friaul 1976

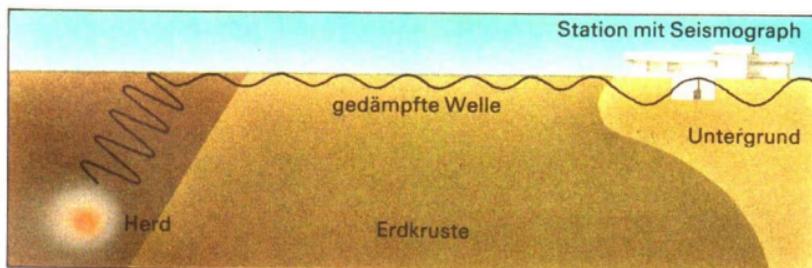
Richter, im Jahr 1935 die seismologische Magnitude (lat. magnus = groß) „erfunden“ zu haben. Richter beschäftigte sich in der Stille seiner

Bebenstation mit der Astronomie als Hobby und kannte von dort den Begriff Magnitude zur Beschreibung der wahren Leuchtstärke eines Sternes unabhängig von seiner scheinbaren Helligkeit. Die von uns am Himmel beobachteten Helligkeiten der Gestirne täuschen über deren wahre Leuchtstärken, da die Objekte unterschiedlich weit entfernt sind. Sirius erscheint uns nur deshalb als hellster Fixstern, weil er – gegenüber anderen mit größerer Magnitude – der Erde näher liegt.

Um das Wesen der Erdbebenmagnitude zu verstehen, kann auch eine irdische Lichtquelle als Vergleich dienen. Man versuche, an einem neblig-trüben Abend von draußen aus einiger Entfernung die Leuchtstärke der Lampe in einem Zimmer zu schätzen. Das bereitet trotz Brille einige Schwierigkeiten. Dem Seismologen geht es ähnlich, wenn er aus der mitunter kaum erkennbaren Bewegungsweite der Erdbebenwellen an seiner Station auf die wahre Bebenstärke schließen will. Die Entfernungen spielen in beiden Fällen eine große Rolle, aber auch die Herdumgebung (die Gardine im Zimmer), die Dämpfung der Wellen unterwegs (der Nebel) und schließlich die Empfindlichkeit (die Sehschärfe) der Bebenmesser (Augen) sowie die Durchlässigkeit des Stationsuntergrunds (der Brille).

Man kann die Magnitude eines Bebens nicht fühlen, aber auch nicht di-

Die Magnitude eines Bebens ist vergleichbar mit der Leuchtstärke einer Lichtquelle.



rekt messen. Gemessen wird an der Station nur die Größe der Bodenbewegungen in Millimetern oder Mikrometern. Für jede Station sind das in der Regel zunächst andere Werte, andere „scheinbare“ Helligkeiten des fernen Bebenblitzes. Dann erfolgt die manchmal recht komplizierte Rückrechnung auf den Herd. Man muß die Periode der Schwingungen, die Entfernung und die Tiefe des Herdes, die Eichkurven der Geräte und die Besonderheiten des Stationsuntergrunds kennen.

Die in Pressemeldungen bei Angaben nach der Richter-Skala immer wieder auftauchende, Verwirrung stiftende Formulierung „nach oben offen“ ist überflüssig. Je stärker das Beben, desto größer die Schwingung und damit die Magnitude auf der Richter-Skala. Zum Vergleich: Je wärmer die Luft, desto höher die Temperatur auf der Celsius-Skala. Kein Wetterbericht aber spricht von der „nach oben offenen“ Celsius-Skala.

Zerreißproben in der Erdkruste



Wie das Mittelmeer verschwindet

Der Planet Erde rast bei einer mittleren Geschwindigkeit von etwa 30 km/s einmal im Jahr um die Sonne. Mitteleuropa dreht sich mit der Überschallgeschwindigkeit von 1200 km/h einmal am Tag um die Erdachse. Diese planetaren Bewegungen rufen keine Erdbeben hervor, da sich die Erde als Ganzes bewegt.

Infolge der Anziehungskräfte von Mond und Sonne hebt und senkt sich die Wasserhülle alle 12 Stunden um durchschnittlich 120 cm und die Gesteinhülle um etwa 40 cm. Bis heute aber ließen sich keine deutlichen Abhängigkeiten zwischen den Perioden der Gezeiten und dem Auftreten von Erdbeben nachweisen. Die elastische Erde kann diese Hiebe „wegstecken“.

Bewegungen in der Lufthülle (Atmosphäre) sind jedem als Wind mit Geschwindigkeiten bis zu 40 m/s bekannt. In der Wasserhülle (Hydrosphäre) wurden Geschwindigkeiten der großen Ozeanströme von mehreren Zentimetern je Sekunde gemessen. Für manchen überraschend, weil durch die menschlichen Sinnesorgane nicht wahrnehmbar, ist die Tatsache, daß sich auch die großräumigen Bestandteile unserer festen Erde (zum Beispiel die Kontinente) langsam, aber unaufhörlich gegeneinander bewegen. Die Geschwindigkeiten liegen bei Millimetern je Jahr. Zur Veranschaulichung wollen wir uns eines Zeitraffertricks bedienen. Nehmen wir einmal an, vor 20 Millionen Jahren hätten Raumforscher eine Filmkamera von einem feststehenden Satelliten auf einen bestimmten Punkt der Erde gerichtet. Nur alle 10 Jahre wäre eine Momentaufnahme geschossen worden. Dann stünde heute ein Film mit normaler Laufgeschwindigkeit von 24 Stunden Länge zur Verfügung. Er würde uns das geologische Werden und Vergehen der Erdoberfläche plastisch vor Augen führen. Der sowjetische Seismologe *Alexander Gangnus* beschreibt das so: „Wir würden dann etwas sehen, was der Oberfläche eines kochenden Breies ähnelt. Der Strom von Berggrutschen und Bergstürzen an den Steilhängen der Berge würde in ein einziges Brodeln zusammenfließen. Die stärksten Erdbeben, die einmal in 100 bis 1000 Jahren den Lauf der Flüsse ändern

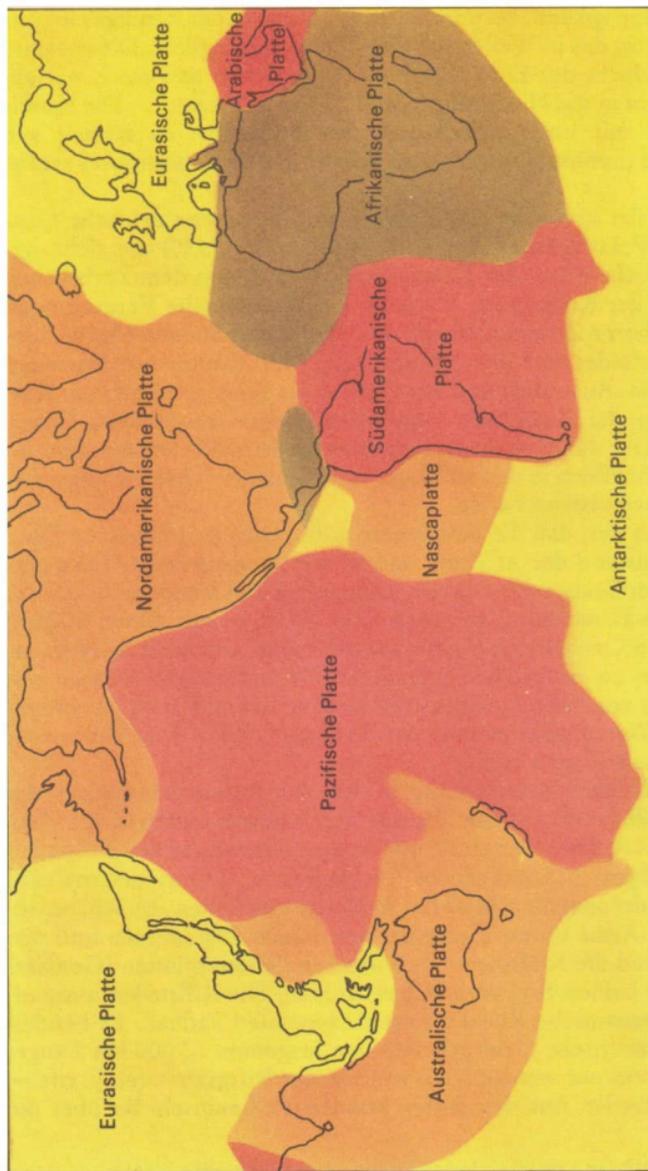
und Gebirgszüge spalten, verwandelten sich dann in ein ständiges unaufhörliches Zittern, das in Wellen die Oberfläche entlanglief. Die gesamte äußere Deckschicht der Erde würde ununterbrochen und rasch wie ein reißender Strom in die Niederungen und Meere abfließen . . . Die Kontinente würden mit hoch aufschäumenden Bugwellen so schnell wie Schlachtschiffe dahinschwimmen und Wirbel in dem Gesteinsbrei erzeugen.“*

1913 stellte der später im Grönlandeis umgekommene deutsche Geophysiker und Polarforscher *Alfred Wegener* (1880–1930) die richtungweisende Hypothese von der Kontinentaldrift auf, von dem Zerbrechen und Wandern der Kontinente. Wegener hat als erster die Vermutungen über einen früheren Zusammenhang von Afrika und Südamerika wissenschaftlich begründet und die heutige Lage der Kontinente Eurasien, Afrika, Amerika, Australien und der Ozeane als Schnappschuß vom Auseinanderdriften der Einzelteile eines ehemaligen Urkontinents Gondwana erklärt. Der damit ausgelöste Streit wissenschaftlicher Anschauungen gipfelte schließlich in den sechziger und siebziger Jahren in einer Revolution der Geowissenschaften.

Heute wissen wir, daß die Kontinente aufbrechen und Ozeanen Platz machen. So entstand der Atlantik, und so reißt gegenwärtig Afrika entlang den großen Grabenseen Njassa, Tanganjika und Victoria auf. Das in der nördlichen Fortsetzung gelegene Rote Meer ist mit seinen 300 km Breite schon ein Ozeanbaby, ebenso wie der Baikalsee an einem sich öffnenden Riß mitten im eurasischen Kontinent. Veränderungen werden erst nach Millionen von Jahren deutlich werden, so daß uns auch das mögliche Ablösen Westeuropas entlang den heutigen Tälern von Rhone und Rhein nicht beunruhigen muß.

Die erstaunlichsten Beobachtungen über das Auseinandergleiten der Erdkruste wurden nicht auf den Kontinenten, sondern mitten in den Ozeanen gemacht. Die feste Gesteinskruste ist dort dünner. An den Rißstellen quillt glutflüssiges, basaltähnliches Tiefengestein empor, erstarrt und wird von nachdrängendem Material seitwärts geschoben. Es scheint so, als ob kräftige Arme unsere Erdkruste von innen aufstemmten und den Ozeanboden und die Kontinente in Form von Gesteinsplatten (Geoplaten) auf einem heißen Brei verschieben wollten. Die Rißstellen umspannen als mittelozeanische Rücken unseren gesamten Erdball. Es handelt sich um untermeerische Gebirgsketten von insgesamt 65 000 km Länge, deren Scheitel ein nur wenige Kilometer breiter Riftgraben (engl. rift = Spalt) aufgesetzt ist. Aus den Riften können Vulkaninseln bis über die

* Aleksandr Gangnus, *Die Erde bebt*, Moskau/Leipzig · Jena · Berlin 1980, S. 241 f.



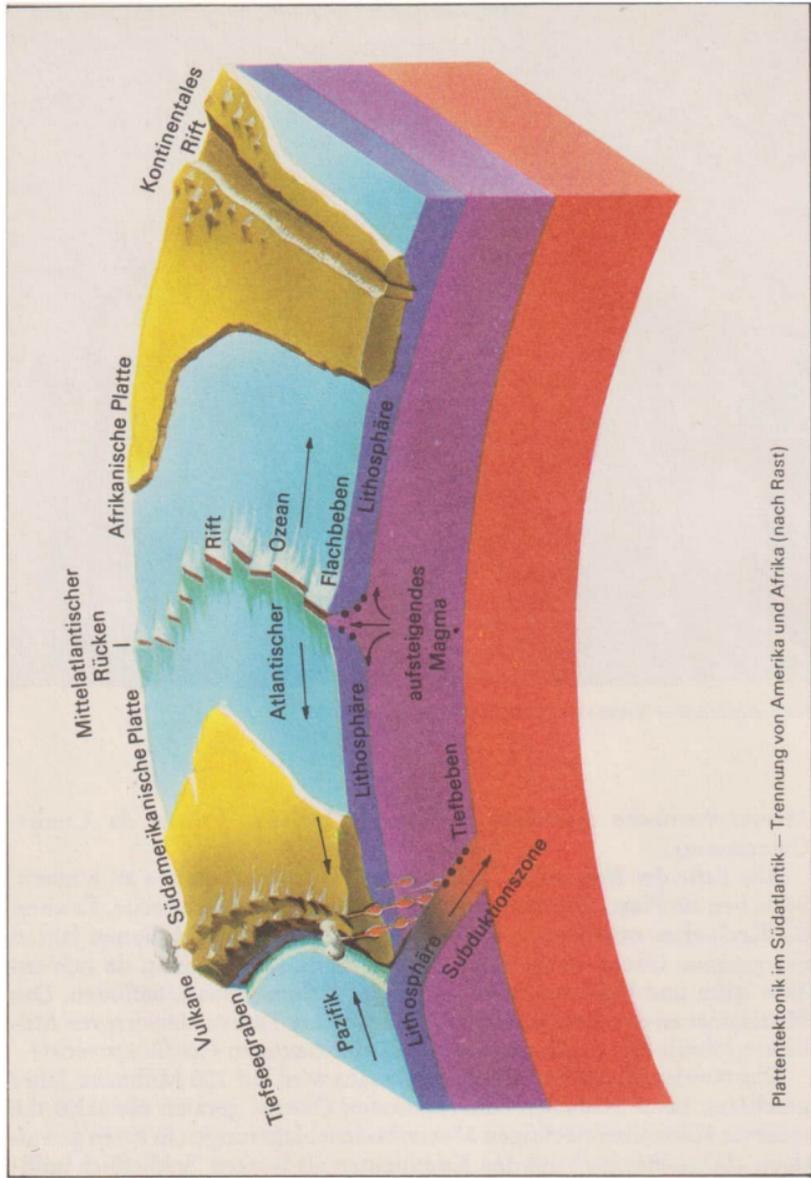


Mittelozeanischer Rücken zwischen Südamerika und Afrika

Meeresoberfläche aufsteigen (Island, St. Helena, Tristan da Cunha, Osterinseln).

Alle Riffe der Erde sind Konkurrenten. Um sich entfalten zu können, brauchen sie Platz. Die starken schieben die schwachen beiseite. Erlahmt die Kraft eines ozeanischen Rifts, dann wird in ein paar Millionen Jahren der gesamte Ozean sterben. Ein Schließungsprozeß beginnt, da sich andere Riffe und Ozeane noch in kräftiger Öffnungsphase befinden. Das Mittelmeer ist der Rest des ehemaligen Ozeans Tethys, der sich vor Millionen Jahren vom heutigen Atlantik bis zum heutigen Pazifik erstreckte.

Das durchschnittliche Alter eines Ozeans wird auf 200 Millionen Jahre geschätzt. Beim Schließen eines alternden Ozeans geraten zunächst die mehrere Kilometer mächtigen Meeresbodenablagerungen in einen gewaltigen „Schraubstock“, mit den Kontinenten als Backen. Schließlich koll-



Plattentektonik im Südatlantik – Trennung von Amerika und Afrika (nach Rast)

dieren (lat. collidere = zusammenstoßen) auch die Kontinente selbst und falten Hochgebirge wie Alpen und Himalaja auf. Horizontalkräfte werden dabei in Vertikalbewegungen umgewandelt.

Wir dürfen aber beim Betrachten dieser Bewegungen nie den Zeitmaßstab vergessen. Der Pamir rückt einschließlich seiner 50 km tiefen Gebirgswurzel mit 1,5 bis 2 cm jährlich auf den Tienschan zu. In einer Million Jahren sind das 15 km. Was wird aus den dazwischenliegenden Gesteinen?

Die Alpen wachsen heute im Mittel um Bruchteile eines Millimeters je Jahr. Obwohl sich ein Meter je Jahrtausend immer noch nicht bemerkbar macht, ergeben sich nach einer Million Jahren 1000 m Höhenzuwachs. Wenn das Mittelmeer ganz geschlossen ist, werden die Alpen sicherlich den Himalaja samt dem 8840 m hohen Tschomolungma überragen. Teils sind die Bewegungen fließend, teils kommen sie zum Stillstand. Aber die Natur macht auch Sprünge. Gebirgsmassive oder unterirdische Gesteinsplatten von mehreren Kubikkilometern, die sich nur um wenige Millimeter sprunghaft bewegen, rufen schon gewaltige Erdbeben hervor. Wenn an tiefreichenden Bruchflächen zwei Geplatten aneinander vorbeigleiten, kann es in ungewissen Abständen zu verheerenden Plattenspielen kommen. Angrenzende Teile verhaken sich und fetzen beim Überschreiten einer kritischen Spannung ähnlich Tausenden von reißen Stahlseilen ab.

Beim Aufeinandertreffen ozeanischer und kontinentaler Platten der Gesteinskruste erfolgt eigenartigerweise nicht immer ein Frontalzusammenstoß. Es gehört zu den großen Entdeckungen der zweiten Hälfte unseres Jahrhunderts, daß das Innere der Erde sich am Rand der Ozeane wie ein Schlund (Tiefseegräben) öffnen und die auf die Kontinente zu-driftende ozeanische Erdkruste in riesigen Portionen wieder verschlucken kann. So wird auch klar, warum sich die tiefsten Stellen der Weltmeere (um 10 km Wassertiefe) nicht unter den Weiten der Ozeane befinden. Besonders an den Rändern des Pazifiks strömt auf mehreren hundert Kilometern breiten Subduktionszonen (lat. subducere = unterführen) erkalteter Ozeanboden wie auf einem Förderband schräg unter die Kontinente, wird zermalmt, aufgeheizt und später wieder geschmolzen. Den Zerstörungsprozeß begleiten heftige Erdbeben, die wie eine knirschende Rolltreppe die Vorgänge in der Tiefe signalisieren. Überflüssige, gasreiche Aufschmelzungsprodukte werden über den Abtauchzonen in Vulkan-schlotten nach oben gepreßt. Der vulkanische Feuergürtel rings um den Pazifik markiert die unterirdischen Subduktionszonen.

Neben Seitwärtsbewegungen können Geplatten oder Teile von ihnen auch Bewegungen nach oben oder unten ausführen, was ebenfalls häufig

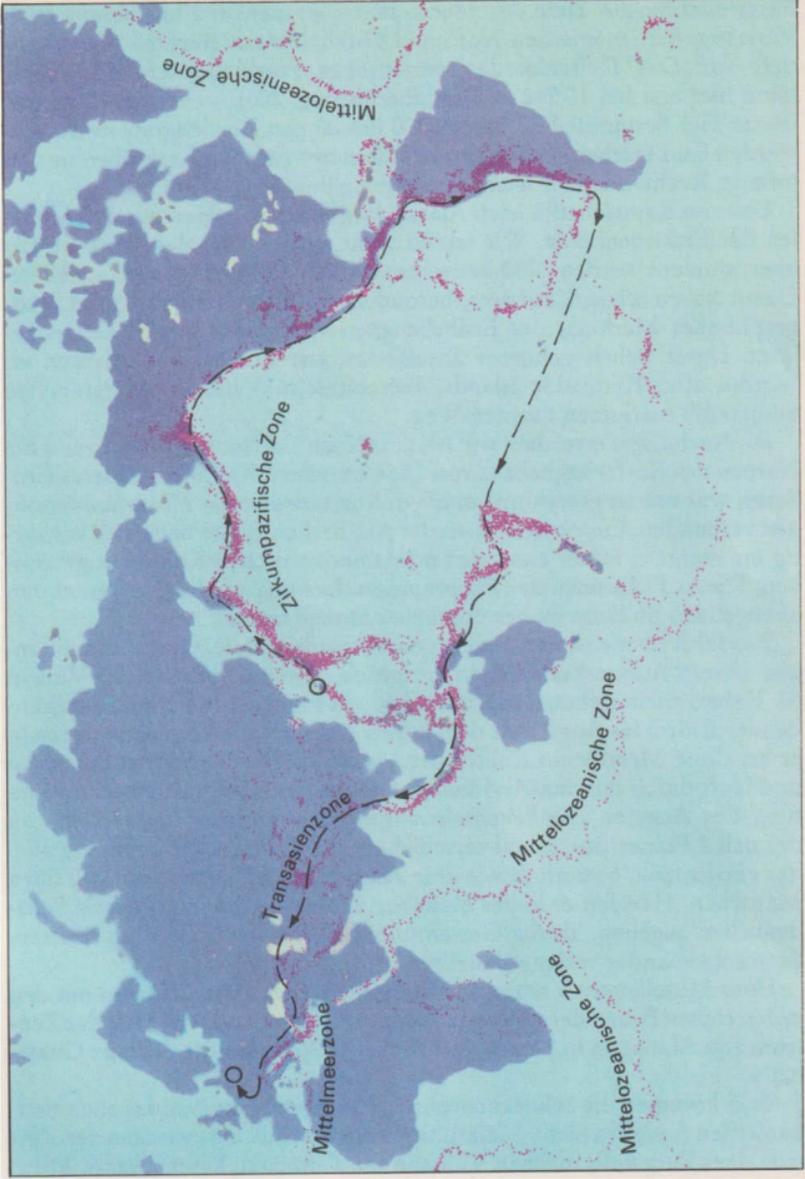
von Erdbebenaktivität begleitet ist. So hat sich die Norddeutsch-Polnische Tiefebene in den letzten Millionen Jahren mehrmals um jeweils 1 bis 3 km gesenkt und wieder angehoben. Man schließt das aus den in Bohrungen angetroffenen Gesteinsschichten, ohne daß heute solche Veränderungen direkt gemessen werden können. Die Hauptursachen aller großräumigen Bewegungen und damit letztlich auch der Erdbeben liegen unterhalb der nur etwa 100 km dicken Gesteinshülle. Dort gibt es sich langsam drehende riesige Wirbelwalzen eines mehrere tausend Grad heißen Materiebreis hoher Dichte. Aufheizung und Abkühlung kocht und rührt diesen „Brei“ immer wieder durch und schafft Bewegung. Das Erdinnere ist seit Milliarden von Jahren ein Atomofen mit Hochdruckreaktor und gigantischem Dauerbrenner, der seine Heizenergie als Selbstversorger aus den radioaktiven Zerfallsprozessen der chemischen Elemente bezieht.

Eine seismologische Weltreise

Eine seismologische Weltreise (besser Erdreise) soll uns aus Raumfahrerperspektive die Länder und Landschaften etwas näher bringen, in denen die Erdbeben zum Alltag gehören. Wir beginnen über Japan, umrunden den Pazifik im Uhrzeigersinn und schwenken nördlich von Australien auf eine Route, die uns über Indien zum Mittelmeer und schließlich nach Mitteleuropa führt.

Unser Startland Japan ist nicht nur die bedeutendste Erdbebenregion überhaupt, sondern auch ein Land, das viel für die Entwicklung der wissenschaftlichen Seismologie und den Erdbebenschutz getan hat. Noch 1923 kamen im flammenden Inferno nach dem großen Tokiobeben vom 1. September 140 000 Menschen ums Leben. 1982 arbeiteten in Japan bereits 65 Kernreaktoren, deren Sicherheit genau wie die der himmelwärts strebenden Hotel- und Bürobauten von den japanischen Wissenschaftlern und Technologen garantiert wird. Nördlich von Japan erblicken wir die Inselketten der Kurilen und die Halbinsel Kamtschatka. Schon dort nehmen wir eine Erscheinung wahr, die uns rund um den Pazifik begleiten wird. Zu unserer Linken ragen rauchende, zuweilen Lava und Gase ausstoßende Vulkanriesen empor. Der Feuergürtel des Pazifiks umschließt den Bebgürtel. Das ist kein Zufall. Die Vulkane als Geschwister der Erdbeben werden uns noch besonders interessieren. Da wir auf unserer

Seismologische Weltreise entlang von Haupterdbebenzonen



Reise auch in die Tiefe der Meere sehen können, fiel uns bereits beim Verlassen der japanischen Nordinsel Hokkaido zur Rechten die Witjas-tiefe auf. Das Tiefseelot des sowjetischen Forschungsschiffs „Witjas“ hatte hier erst bei 10 542 m Grundberührung. Nun stellen wir fest, daß dieses Tief Bestandteil des über 1000 km langen Kurilengrabens ist, und werden bald merken, daß mehrere Kilometer tiefe Tiefseeegräben uns zu unserer Rechten immer wieder entgegengähnen.

Um von Kamtschatka nach Alaska zu gelangen, folgen wir den Signalen der Erdbebenherde. Wir setzen nicht an der schmalen Beringstraße über, sondern werden 2000 km weiter südlich die Aleuten entlangelotet. Damit haben wir ein weiteres, besonders im Westen ausgeprägtes, geographisches Merkmal des Erdbebengürtels um den Pazifik kennengelernt. Unter Beben geborene Inselketten wie Kurilen und Aleuten im Nordpazifik, Kermadec Islands, Fidschiinseln, Vanuatu, Marianen im Südpazifik markieren unseren Weg.

Bei Anchorage erreichen wir Alaska. Noch sind im Landschaftsbild die Narben des Karfreitagbebens von 1964 zu sehen. Kaum ein anderes Erdbeben war mit so gewaltigen ober- und unterirdischen Massenbewegungen verbunden. Ein riesiger Span der pazifischen Platte hatte sich ruckartig um mehrere Meter unter den nordamerikanischen Kontinent geschoben. Dieses Phänomen der Plattenunterschiebung wird auf unserem nun anliegenden Südkurs immer deutlicher zutage treten.

Zunächst aber nehmen andere, nicht minder interessante Erscheinungen unsere Aufmerksamkeit in Anspruch. Links ist gerade der Vulkan St. Helens wieder einmal ausgebrochen, da springt uns ein unheilverkündender Erdriß ins Auge. Aus dem kalten Nordpazifik kommend, erreicht er bei Cape Mendocino Kalifornien, quert die Bucht von San Francisco und läuft durch das San-Andreas-Tal nahezu parallel zur Küste in Richtung Los Angeles. Die bebenschwangere San-Andreas-Verwerfung, an der sich 2 Platten horizontal verschieben, verklemmen und ruckartig wieder entspannen, beeinflußt wie eine Zeitbombe das Leben von Millionen Menschen. 1906 hat es in der Stadt San Francisco das letzte große Schadenbeben gegeben, als die Gesteinsblöcke längs der Spalte um mehrere Meter aneinander entlangschnellten.

Über Mittelamerika sehen wir Millionenstädte, deren Namen mit den opferreichen Beben der siebziger Jahre verbunden sind. 1972 fiel das Zentrum von Managua in Schutt und Asche. 1976 trafen die Schläge Guatemala.

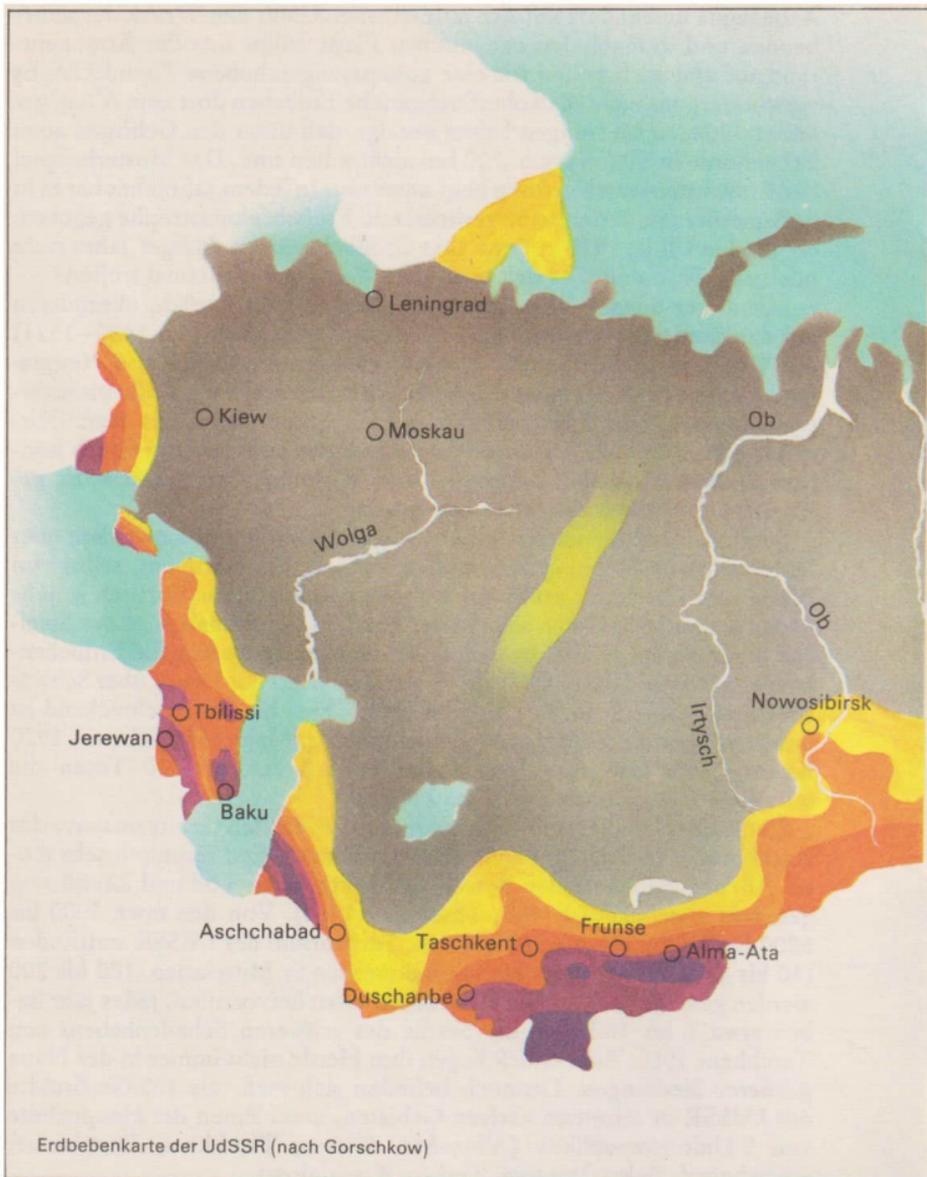
Bald kommen die schneebedeckten Hochgebirgsketten der südamerikanischen Anden in Sicht. Majestätisch wie Wachtürme zwischen den Zinnen eines Burgwalls machen Vulkane wie Cotopaxi, Chimborazo, Misti,

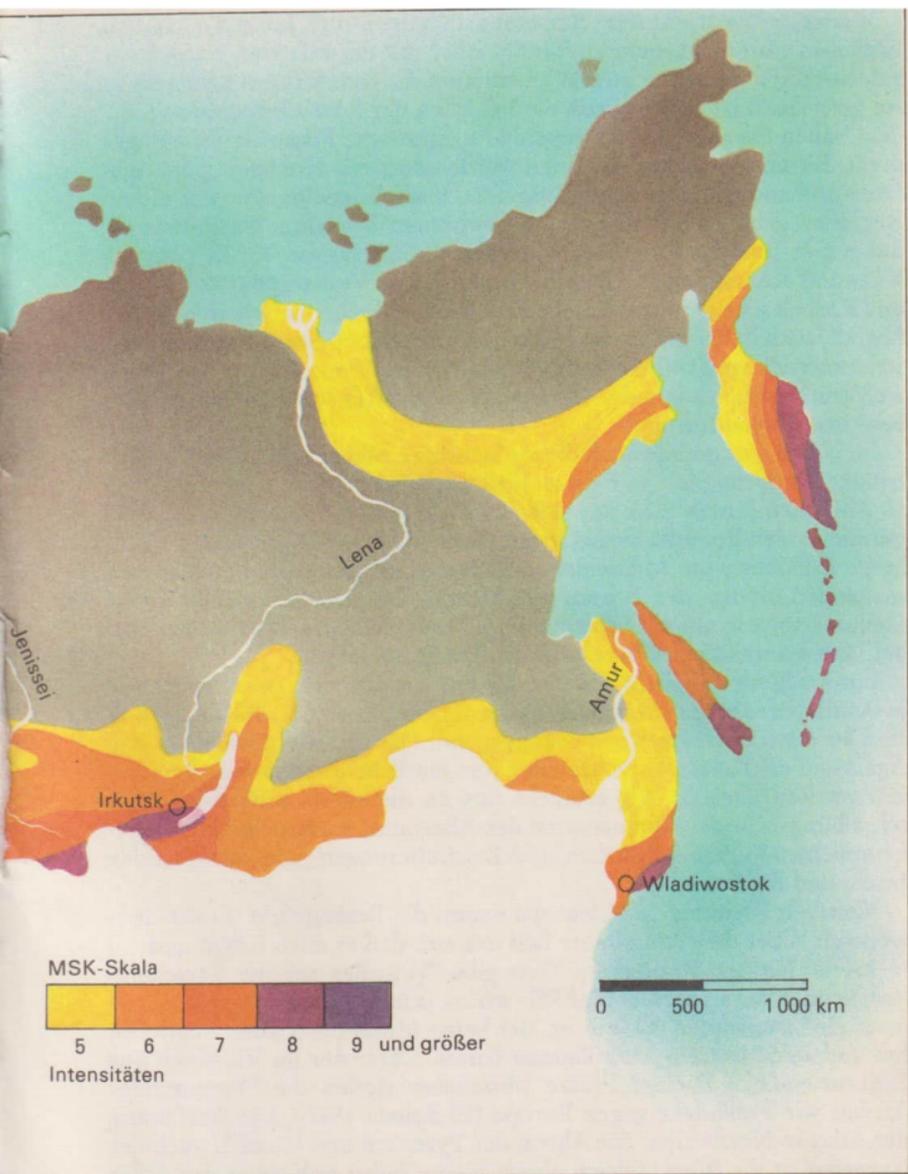
Aconcagua und andere auf sich aufmerksam. Unter dem Druck der schiebenden und drängelnden ozeanischen Platte stülpt sich der Kontinentrand auf und wirft Falten wie eine zusammengeschobene Tischdecke. Es verwundert uns nicht, daß oberflächennahe Erdbeben dort zum Alltag gehören. Genaue Messungen haben gezeigt, daß unter den Gebirgen auch Bebenherde in Tiefen bis zu 700 km nicht selten sind. Das Musterbeispiel der Erdkrustenverschluckung liegt unter uns. In jedem Jahrzehnt hat es in Südamerika mindestens eine verheerende Erdbebenkatastrophe gegeben. So 1960 in Chile, 1970 in Peru. Das Großbeben der achtziger Jahre steht noch aus. Wann wird es sich ereignen? Wen wird es diesmal treffen?

Mit dieser bangen Frage lassen wir Südamerika zurück, überqueren auf der Route des Weltumseglers *Fernão de Magalhães* (um 1480–1521) die Wasserwüste des Südpazifiks und entdecken nördlich von Neuseeland die Inselwelt Melanesien. Auch dort finden wieder Erdkrustenverschluckungen und Energieentladungen größten Ausmaßes statt. Nirgends gibt es so viele Tiefherdbeben wie in der Südsee. Zum Glück können sie kaum Schäden anrichten. Ihre Wirkungen erreichen stark gedämpft nur spärlich besiedelte Inselgruppen.

Südlich der Philippinen verlassen wir den Pazifik und schwenken über Südostasien in Richtung Indien. Der indische Subkontinent, selbst von Beben fast verschont, preßt mit mehreren Zentimetern Vortrieb je Jahr nach Norden, von Osten schiebt der Pazifik. Der Himalaja ist der Spielball der globalen Kräfte. In seinem Vorland ereignete sich die Erdbebenkatastrophe von Assam 1950, im Hinterland wirkt der Druck über Schwächezonen in der Erdkruste bis weit nach China hinein. Erschreckend ist immer wieder die Zahl der Menschenopfer (im Jahr 1556 Schensi, 1920 Kansu, 1976 Tangshan, mit wahrscheinlich fast 500 000 Toten die schwerste Naturkatastrophe aller Zeiten).

Auch die scheinbar unter Schnee und Eis erstarrten Gebirgsmassive des Karakorum, Tienschan, Pamir und Hindukusch sind seismisch sehr mobil. Allzuoft haben sie den Bewohnern Mittelasiens Tod und Zerstörung gebracht (Aschchabad 1948, Taschkent 1966). Von den etwa 3000 bis 5000 Erdbeben, die jährlich auf dem Territorium der UdSSR stattfinden (10 bis 15 täglich), ereignen sich die meisten in Mittelasien. 100 bis 200 werden gespürt und können Gebäudeschäden hervorrufen. Jedes Jahr haben etwa 5 bis 10 Beben die Stärke des schweren Schadenbebens von Taschkent 1966. Zum Glück liegen ihre Herde nicht immer in der Nähe größerer Siedlungen. Dennoch befinden sich mehr als 100 Großstädte der UdSSR in seismisch aktiven Gebieten, unter ihnen die Hauptstädte von 9 Unionsrepubliken (Alma-Ata, Frunse, Taschkent, Duschanbe, Aschchabad, Baku, Jerewan, Tbilissi, Kischinjaw).



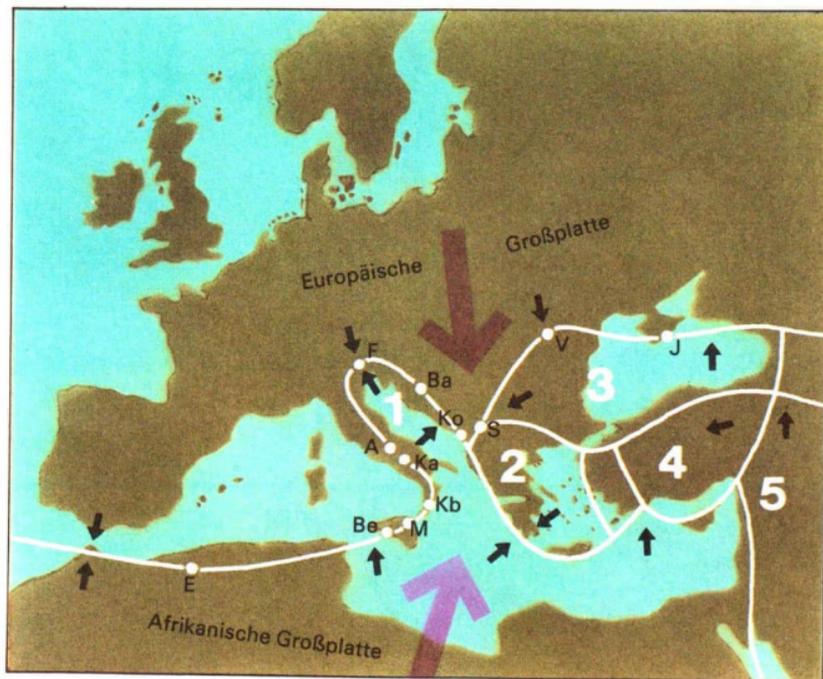


Weiter im Westen unserer Reiseroute läßt der Druck Indiens nach, und Erdbeben sind nicht mehr so häufig. Aber mit der relativen Ruhe ist es bald vorbei; denn schon im Iran übernimmt die vom Rift des Roten Meeres getriebene arabische Platte die Funktion der Schraubstockbacke, die den Nahen Osten gegen die riesenhafte eurasische Platte als Widerlager preßt. Bis ins türkische Kleinasien werden dadurch Hochgebirge aufgefaltet und unterirdische Beben ausgelöst. Erdbebenmeldungen aus diesen Regionen gehören fast schon zum gewohnten Bild aktueller Pressemeldungen in Europa (Qir 1968, Muradiye 1976, Naghan 1977). Nur der Kaukasus schlummert seit Jahren ein wenig. Der Vulkanismus von Elbrus und Kasbek scheint erloschen, die Erdbeben sind seltener geworden. Aber überall, auch in der Nähe von Städten, Kurorten und Seen, begegnet man steinernen Zeugen früherer heftiger Aktivitäten. Wann wird es wieder soweit sein? Erleben wir in der Gegenwart nur die Ruhe vor dem großen Beben- und Vulkansturm?

Im Norden ist gerade noch die ins Schwarze Meer ragende Krim zu erkennen. Ursprünglich war diese Halbinsel viel größer, doch vor etwa 10 Millionen Jahren sank der südliche Flügel des Krimgebirges an einer tiefreichenden Bruchfläche ins Meer. Noch heute schieben sich die Krimberge Millimeter um Millimeter in Richtung auf den sich allmählich absenkenden Boden des Schwarzen Meeres. Manchmal bröckelt etwas Steilufer ab, wie am 12. September 1927, als Teile des Schwalbennestes bei Jalta während eines Bebens in die Fluten stürzten.

Europa kommt in Sicht. Es wird für uns wichtig sein, zu erfahren, wie es in unserer näheren Umgebung mit dem Umweltrisiko Erdbeben bestellt ist. Der erste Eindruck wirkt beängstigend. Das östliche Mittelmeer, die Ägäis und die Küsten Griechenlands sind mit Bebenherden wie von Sommersprossen übersät. Wir erinnern uns an die vielen Katastrophenbeschreibungen in den Dokumenten des Altertums, an Berichte von ungeheuerlichen Vulkanausbrüchen und Erschütterungen, von versinkenden Inseln und Städten.

Weiter in Richtung Mitteleuropa nimmt die Bebengefahr glücklicherweise ab. Über dem Mittelmeer fällt uns auf, daß es auch Bebenherde in mehreren hundert Kilometern Tiefe gibt. Weist das auf alte Verschlukungszonen der Erdkruste hin? Wir wissen ja inzwischen, daß das Mittelmeer ein „sterbender“ Ozean ist, der keine Mittel mehr zum Überleben hat und seine letzten Jahrillionen fristet. Unter der im Vergleich zur Erdkrustendicke flachen Pfütze Mittelmeer stoßen die Plattenränder Afrikas wie Prellböcke gegen Europa (El-Asnam 1980). Die Auffaltung des Atlas in Nordafrika, der Alpen, der Pyrenäen und letztlich auch der Karpaten ist ihr Werk. Gleich einem Finger bohrt sich unter der Adria



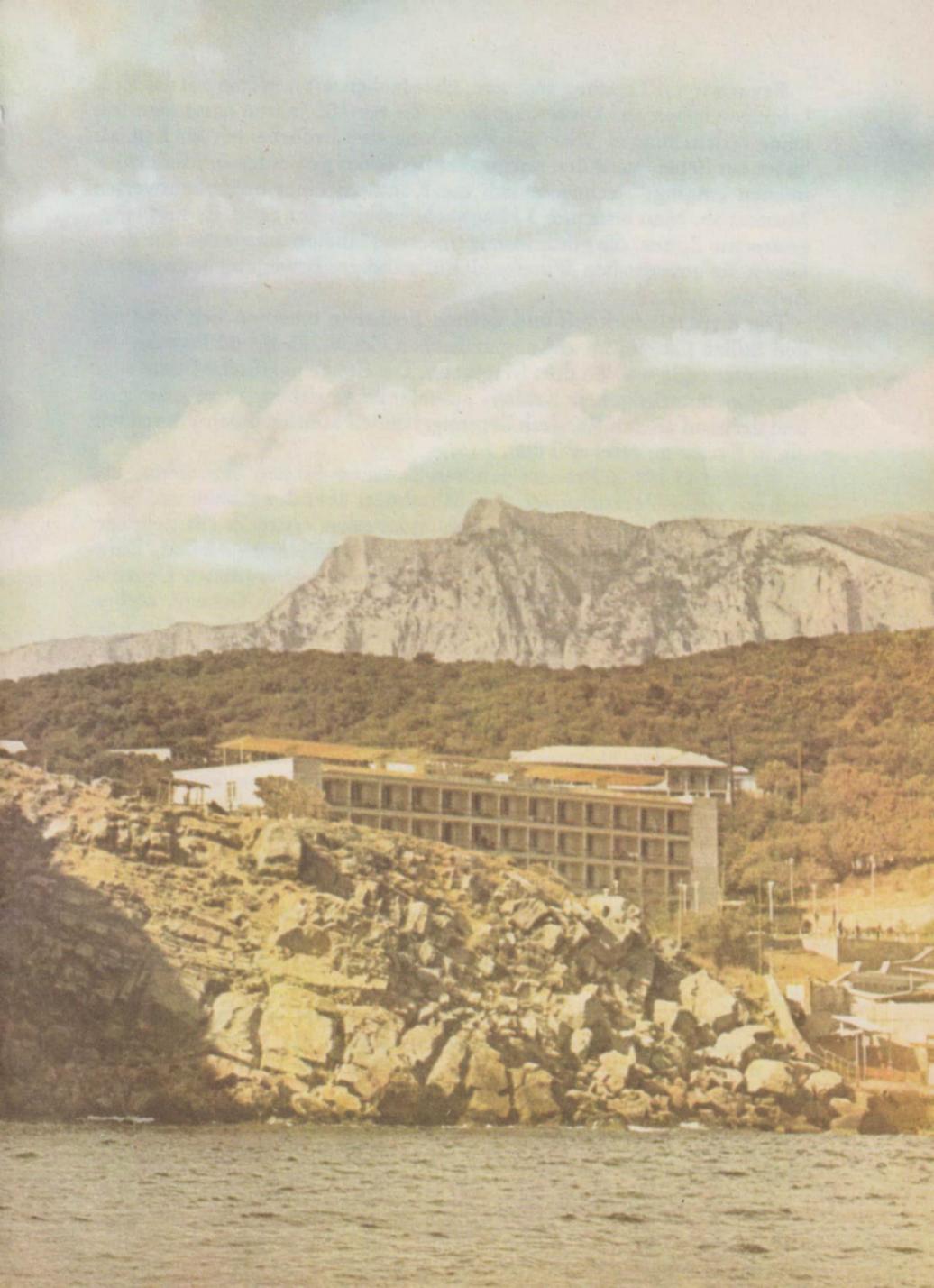
Ursachen der Erdbeben in Europa

Kleinplatten: 1 = Adriaplatte; 2 = Balkan-Ägäis-Platte; 3 = Schwarzmeerplatte; 4 = Türkische Platte; 5 = Arabische Platte

Starkbeben: E = El-Asnam 1980; Be = Belice 1968; M = Messina 1908; Kb = Kalabrien 1783; Ka = Kampanien 1980; A = Abruzzen 1915; F = Friaul 1976; Ba = Banja Luka 1969; Ko = Kotor 1979; S = Skopje 1963; V = Vrancea (Bukarest) 1977; J = Jalta 1927

eine Zacke der Afrikaplatte in den Bauch Europas. Wie schmerzhaft das Bohren ist, beweisen die schrecklichen Erdbebenwunden entlang diesem Sporn in Italien und Jugoslawien (Belice 1968, Messina 1908, Kampanien 1980, Friaul 1976, Banja Luka 1969, Montenegro 1979, Skopje 1963). Würden wir jetzt unsere Reise über die Straße von Gibraltar nach Westen fortsetzen, hätten wir etwa bei Lissabon (stärkstes europäisches Beben 1755) einen schmalen, nach Westen führenden Erdbeben-„Trampelpfad“ erreicht. Dieser markiert die Fortsetzung der Plattengrenze zwischen Europa und Afrika. Auf ihm könnten wir über die Vulkaninseln der Azoren Anschluß an die zahlreichen Erdbebenherde des Mittelatlantiks gewinnen. Aber wir wollen ja unsere Reise in Mitteleuropa beenden.





Bevor wir zur Landung ansetzen, überdenken wir noch einmal das Erdbebensgeschehen aus kosmischer Sicht. Bis vor 100 Jahren hatte man fast keine Vorstellungen über die Verteilung der Erdbebenherde. Erst als kaum ein Beben mehr den immer empfindlicher gewordenen Meßinstrumenten entging, zeichneten sich die Konturen eines bemerkenswerten Musters ab. Man erkannte 3 Hauptbebengebiete der Erde. Es sind langgestreckte Zonen, die gürtelförmig unseren Planeten umwinden. Sie markieren die unverheilten Wunden der in ständiger Bewegung befindlichen Erdhaut.

Die meisten, stärksten und tiefsten Erdbeben ereignen sich rund um den Stillen Ozean, im zirkumpazifischen Gürtel. 75 bis 80 Prozent der Gesamtenergie werden dort freigesetzt. Die riesige pazifische Platte wird von den unterirdischen Kräften auseinandergetrieben, zerrt schiebend und drehend an den Rändern der umgebenden kontinentalen Platten wie ein in Ketten gefesselter Titan.

Weitere 15 bis 20 Prozent gehören zu einem breiten Bebenband, das sich mit vielen Verästelungen vom Mittelmeer über den Nahen und Mittleren Osten, Hinterindien bis nach Indonesien erstreckt (Mittelmeer-Transasiatische Zone). Dort sind die Kontinentalplatten Afrikas, Eurasiens und Indiens Sieger über den altersschwach gewordenen Urozean Tethys geblieben und kommen einander nun selbst ins Gehege, zerbrechen mit viel Erdbebengetöse ihre Ränder und falten die alpinen Hochgebirge auf.

Für die dritte Erdbebenzone, die girlandenförmig die Weltmeere durchziehenden mittelozeanischen Rücken, bleiben nur 5 bis 7 Prozent der Bebenenergie. Das ist zunächst erstaunlich; denn dort haben ja die plattentreibenden Motoren ihren Platz, finden nachweislich die heftigsten Bewegungen statt. Die Gesteine unter den Ozeanen lassen es aber nur zu höchstens mittelstarken, oberflächennahen Beben kommen. Sie reagieren plastischer als die erdgeschichtlich älteren und spröderen Kontinente und bilden lediglich eine wenige Kilometer starke Kruste auf dem fließfähigen Erdmantel.

Trägt man all diese Herde als Punkte in die Ozeankarte ein, dann ergibt sich ein faszinierendes Bild. Wie Leuchtfeuer von Funkbojen markieren sie genau die Lage der auseinanderklaffenden mittelozeanischen Rücken.

Nur etwa 1 Prozent aller Erdbeben ereignet sich außerhalb der 3 Haupterdbebenzonen. Es scheint, als schlafe das Innere der großen Kontinente wie ein seismisches Dornröschen. Der Prinz, der es weckt, wird noch Jahrtausende auf sich warten lassen. Aber es gibt ihn, wie der allmählich von Nord nach Süd zerbrechende Kontinent Afrika zeigt.

In den steil aufragenden Hochgebirgen (Alpen, Himalaja, Anden, Kordilleren, Pamir, Hindukusch) finden mehr Erdbeben statt als in den weiten Ebenen (Sibirisches Tiefland, Kongobecken), auf den Hochplateaus (Brasilianische Hochebene, Australische Tafel, Kanadischer Schild, Antarktis) oder unter den weiten ozeanischen Tiefseebecken (Sargassobekken, Angolabecken, pazifische Becken). Zwischen Beben­tätigkeit und Relief besteht eine deutliche Abhängigkeit: ruhiges Relief gleich ruhiger Untergrund. Starke Höhen­gegensätze weisen immer auf aktive unterirdische Kräfte hin. Sind sie erlahmt, dann bleiben auch die Erdbeben aus. Verwitterung und Abtragung ebnet in geologisch nicht allzu langer Zeit die Gebirge wieder ein.

Aber wir wollen nun unseren seismischen Kosmosflug im Gebiet zwischen Alpen und Skandinavien, zwischen Nordsee und Karpaten beenden. Obwohl bloß wenige hundert Kilometer entfernt von einer der 3 Hauptbebenzonen, müssen wir Bebenherde hier fast mit der Lupe suchen.

Im Vogtland wackelten die Möbel

Nur ein verschwindender Bruchteil der globalen Bebenenergie wird in Mitteleuropa freigesetzt. Am beben­trächtigsten ist ein Grabenbruchs­system, das aus dem Gebiet des französischen Rhonetals über Bodensee, Oberrheingraben, Niederrheinische Bucht bis in die Nordsee zieht. Geologen vermuten ein entstehendes Rift, das einmal Westeuropa vom Kontinent trennen kann. 1356 fand bei Basel das stärkste mitteleuropäische Beben statt (Maximalintensität nach MSK-Skala $I_{\max} = 10$). Der „liebe Tod von Basel“ holte 300 Menschen weg – für unsere Breiten ein Jahrtausendereignis. Kaum ein Dutzend Erdbebenopfer hat es hier sonst seit Menschengedenken gegeben. Wie unbedeutend sich das stärkste mitteleuropäische Beben im Weltmaßstab ausnimmt, zeigt ein Blick in die Statistik der Erdbebenenergien. Was in Mitteleuropa vielleicht alle 1000 Jahre als einmaliger Schlag passiert, geschieht auf dem gesamten Planeten im Durchschnitt jeden dritten Tag!

Das stärkste Beben der neueren Geschichte im mitteleuropäischen Raum ereignete sich am Morgen des 3. September 1978 auf der Schwäbischen Alb südlich von Stuttgart ($I_{\max} = 7$ bis 8). Menschen kamen nicht zu Schaden. Die Schwäbische Alb wird von einer von Nord nach Süd verlaufenden Bruchlinie unterquert, und gelegentliche leichte, aus 5 bis 10 km Tiefe kommende Erschütterungen machen sie heute zum „Erdbebenzen-

trum“ Mitteleuropas. Das ist insofern interessant, als bis 1911 dort keinerlei Beben bemerkt wurden. Das Gebiet galt als völlig erdbebensicher, und man hätte es damals bei der Projektierung für Industriestandorte besonders empfohlen. Die Erschütterungen der stärksten Beben auf der Schwäbischen Alb werden auch vereinzelt im Südwesten der DDR gespürt.

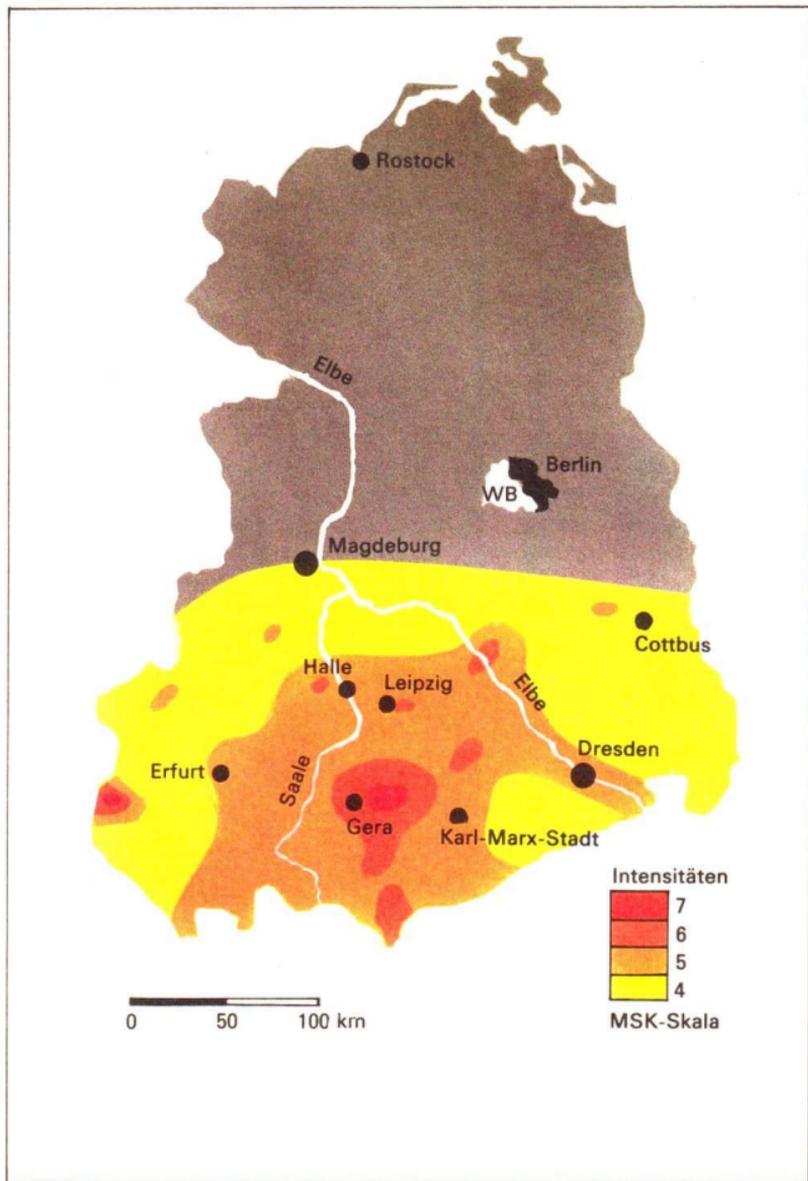
Auf dem Gebiet der DDR soll unsere seismogeographische Reise ihren Abschluß finden. Schon von weitem erkennen wir ein Mosaik von Dutzenden zerbrochenen Gesteinsblöcken, aus denen die Rumpfe alter, stark eingebneter Faltengebirge (Erzgebirge, Thüringer Wald, Harz) herausragen. Im Norden ist alles durch Ablagerungen (Sedimente) von einigen Kilometern überdeckt. Wir wissen, daß die geologischen Epochen mit starken Krustenbewegungen und heftigen Vulkanausbrüchen mehrere hundert Millionen Jahre zurückliegen. Verbergen sich noch heute Erdbebenkräfte in der Tiefe, und können uns auch aus der Entfernung kommende Erschütterungen Schaden zufügen?

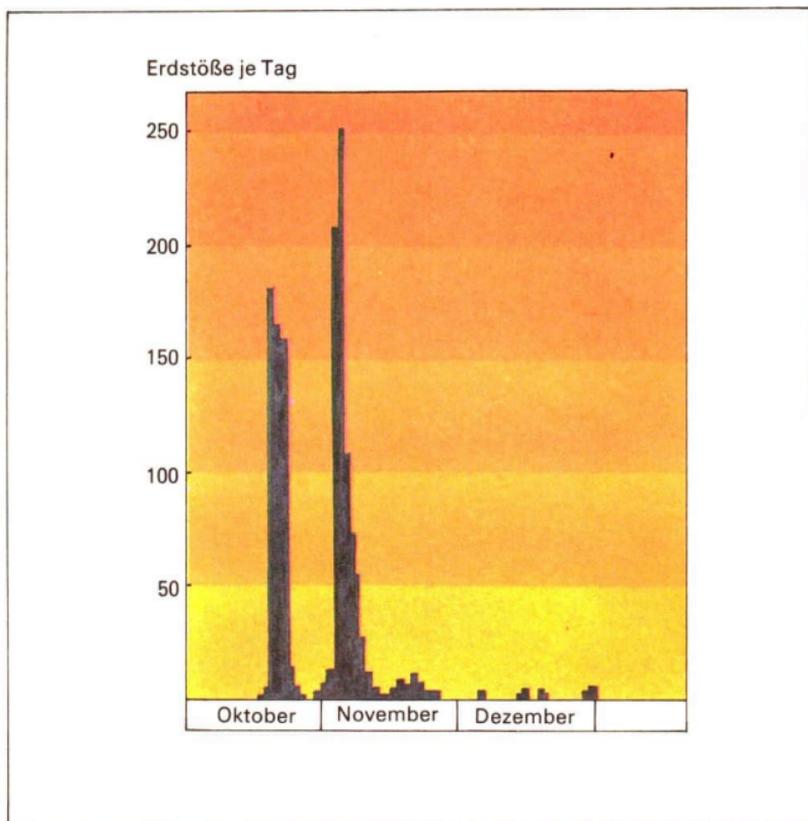
Die Erdbebengefährdung des Territoriums der DDR ist gering, jedoch nicht zu vernachlässigen. Durch entfernte Beben eingestrahlte Erschütterungen, die zwar von einzelnen Menschen gefühlt werden, aber noch niemals Schaden angerichtet haben, erreichen uns gelegentlich aus Oberitalien (500 km), der Schwäbischen Alb (300 km) und dem Niederrheingebiet (250 km). Wohlgemerkt, hier sind allein die fühlbaren Wirkungen gemeint. Die empfindlichen Meßinstrumente unserer Erdbebenwarten registrieren Bebenwellen vom gesamten Planeten.

Erdbebenherde unter unseren Füßen wurden seit dem Jahr 1500 zuverlässig nur im Südteil der heutigen DDR nachgewiesen. Zentren der Aktivität sind das Vogtland mit seinen Schwarmbeben und eine Zone unmittelbar nördlich davon. Sie liegen im Gebiet der Ausläufer von seismisch schwach wirksamen geologischen Bruchlinien, die aus dem Böhmerwald und dem Oberpfälzer Wald bis in den sächsisch-thüringischen Raum reichen.

Das Vogtland um Klingenthal und Bad Elster ist seismisch besonders bemerkenswert. Dort befindet sich das bekannteste europäische Zentrum von Schwarmbeben. Das sind teils fühlbare, teils nur mit Instrumenten meßbare Kleinstbeben, die in dichter Folge von verschiedenen eng benachbarten Herden als Einzelstöße ausgehen. Solche Bebenschwärme können über Wochen andauern. Zu manchen Zeiten häufen sie sich, zu anderen bleiben sie aus. Die bekanntesten Schwärme im Vogtland ereig-

Maximale Erschütterungen auf dem Gebiet der DDR in den Jahren 1500 bis 1980 (nach Grünthal)





Schwarmbeben im Vogtland gegen Ende des Jahres 1908

neten sich in den Jahren 1900, 1903, 1908, 1962. Deutschland war dadurch zu Beginn des Jahrhunderts scheinbar eins der bebenreichsten Länder der Erde. Allein während des fünfundneunzigstägigen Erdbebenschwarms vom 13. Februar bis zum 18. Mai 1903 erschütterten 44 kräftige (Intensität bis 6) und 645 schwächere, aber zeitlich und örtlich bestimmbare Stöße das obere Vogtland. Sie waren begleitet von noch weit mehr nicht gezählten, schwächsten Erzitterungen oder auch nur unterirdischen rollenden Geräuschen.

Carl Hermann Credner (1841–1913), Leipziger Geologe und einer der

Pioniere der internationalen Erdbebenforschung, berichtet über die Nacht vom 4. zum 5. März 1903 im Vogtland: „Ein heftiger ruckartiger Stoß weckt die meisten Bewohner . . . aus dem Schlaf; erschreckt fahren sie empor, viele aus den Betten, manche flüchten voller Furcht auf die Straße, andere brennen angsterfüllt Lampen an und bleiben den Rest der Nacht hindurch wach; die Häuser knarren und krachen in ihren Fugen, Türen springen auf, Betten und Möbel wackeln, das Porzellan- und Glasgeschirr klirrt, die Fenster erzittern, Öfen und Türen klappern, Uhren bleiben stehen, Hängelampen pendeln. Das alles wird begleitet von einem außergewöhnlich langen, 10 bis 15 Sekunden anhaltenden Crescendo-Decrescendo-Donnerrollen oder wird gefolgt von solchem und Zittern des Bodens.“* Angst und Schrecken wurden mancherorts vermehrt durch ein furchtbares Geräusch, das wie wildes Brüllen klang.

Seit 1962 sitzen die Seismologen von den Stationen Plauen, Klingenthal, Bad Elster und Erlabrunn auf neue Kleinstbeben an. Viele gehen ihnen jährlich ins Netz der Meßgeräte. Makroseismische, also spürbare Aktivitäten sind gegenwärtig selten.

Im Südwesten des Territoriums der DDR hat mit Beginn unseres Jahrhunderts die Zahl der Erdbeben auffällig zugenommen. Am frühen Nachmittag des 23. Juni 1975 ereignete sich im Werra-Kalirevier eins der stärksten Erdbeben, die je in Bergbaugebieten stattfanden. In der Nähe des kleinen Ortes Sünna (Kreis Bad Salzungen) wurde in einigen hundert Metern Tiefe das Gestein auf einer Fläche von fast 3,5 km² zerstört. Die Maximalintensität erreichte den Stärkegrad 7 der MSK-Skala. In Sünna selbst traten Bauwerkschäden auf. Noch im fast 200 km entfernten Raum Halle—Leipzig konnten viele Menschen das Beben durch leichtes Schwanken mancher Gebäude fühlen. In einzelnen Hochhäusern der Städte Köln und Frankfurt (Main) wurde Alarm gegeben. 202 Erdbebenwarten aus allen Teilen der Erde hatten die Erschütterungen mit ihren Instrumenten registriert und die Welt Datenzentren informiert. Selbst von der 17 000 km entfernten Antarktisstation Scott Base war eine Meldung gekommen.

Die Linienführung der seismischen Karte der DDR wird vor allem von den Erschütterungen geprägt, die als Folge eines Erdbebens am 6. März 1872 bei Gera die Bewohner im Umkreis von mehreren hundert Kilometern erschreckten. Dieses Beben war seit 500 Jahren das heftigste in unserem Raum und ist als Mitteldeutsches Erdbeben bekannt geworden. Das Gebiet der Erschütterungen reichte von Berlin im Norden bis nach Mün-

* Hermann Credner, Der vogtländische Erdbebenschwarm vom 13. Februar bis zum 18. Mai 1903 und seine Registrierung durch das Wiechertsche Pendelseismometer in Leipzig, Leipzig 1904, S. 455

chen im Süden, von Frankfurt (Main) im Westen bis zum damaligen Breslau (heute Wrocław) im Osten. In der Nähe des Epizentrums, zwischen Ronneburg und Schmölln – das Hypozentrum lag in 8 bis 9 km Tiefe –, wurde der Stärkegrad 7,5 nach der MSK-Skala beobachtet.

Ein Augenzeuge, der sich im Moment des Ereignisses in der Fürstlichen Bibliothek in der höchsten Etage des Residenzschlosses Osterstein befand, berichtete: „Während der wenigen Augenblicke war es kaum möglich, sich aufrecht zu erhalten, und dabei ein so furchtbares Krachen und Prasseln vernehmbar, daß der erste Gedanke auf den Einsturz sämtlicher tiefer liegenden Etagen gerichtet war . . . In den verschiedenen Bibliothekräumen waren Tausende von Büchern umgefallen und lagen zum Theil zerstreut auf den Dielen umher. Der Eindruck dieser, in einem Nu hervorgebrachten Verheerung war unbeschreiblich. Die Thurmuhr des Ostersteins schlug unmittelbar nach dem Ereignis vier Uhr. 4 Uhr . . . machten sich in unserer Stadt die Schwingungen eines Erdbebens in Bestürzung erregendem Grade bemerkbar. Ihre Dauer . . . war . . . mit einem derartigen explosionsartigen Dröhnen verbunden, daß Jedermann zunächst an den Einsturz über sich befindlicher Lokalitäten, oder wenigstens an den einer benachbarten Wohnlichkeit dachte.“*

Im Schullehrerseminar zu Waldenburg (Kreis Glauchau) erregte das Beben panischen Schrecken: „Weil der behandelte Stoff nicht besonders interessant war, so versanken bei dem warmen Wetter und der schwülen Luft im Zimmer viele Zuhörer in Schlaf . . . Herr Oberlehrer M. examinierte eben über Grammatik der deutschen Sprache. Da begann mit Einem Male die Decke zu beben. Es donnerte über uns, als bräche das Dach zusammen . . . Die Folge davon war, daß Alle, Lehrer wie Schüler, in wilde Flucht geriethen . . . Im Gedränge kamen Viele zum Fallen, selbst zwei Oberlehrer . . . Etliche glaubten, das Ende der Welt sei da und blieben daher ruhig, die Hände zum Gebete gefaltet, stehen. Viele kamen aber auch auf den richtigen Gedanken: es ist ein Erdbeben. Besonders wurde ich dadurch erschreckt, daß ich die ganze Masse mehr auf allen Vieren zur Thüre hinaus sich wälzen sah. Einer öffnete sogar in der Todesangst das Fenster, stieg hinaus, kletterte . . . bis zum Blitzableiter und glitt an demselben etwa 20 Ellen hoch herunter.“**

Auch schwächere Beben können in unseren Breiten mancherlei Überraschungen hervorrufen, da sie sehr selten sind und wider alle Erwartungen auftreten. So machte sich in der Frühe des 17. August 1905 in Leipzig „ein rasch anschwellendes unterirdisches Donnerrollen hörbar, es erreicht die

* Karl von Seebach, Das Mitteldeutsche Erdbeben vom 6. März 1872, Leipzig 1873, S. 91 f.

** ebenda, S. 71

Wohnstätten, ein heftiger Stoß erschüttert dieselben und setzt sie für einige Sekunden in schwankende, wellenförmige und rüttelnde Bewegung, auf die noch ein zweiter, schwächerer Stoß folgt . . . , im Freien befindliche Personen . . . schwanken selbst beim Gehen oder im Stehen und vermochten sich kaum auf den Füßen zu halten . . . Die Mehrzahl der Bewohner liegt noch im Schlaf. Aus diesem werden viele plötzlich aufgeschreckt . . . Die Betten schaukeln derart, daß die in ihnen Liegenden von einer Seite zur anderen, in mehreren Fällen sogar herausgeworfen werden. Flüssigkeiten spritzen über den Rand von Gefäßen, hier und da ertönen Hausklingeln, der Klöppel einer Kirchturmglöcke in Reudnitz schlägt an. Gleichzeitig mit den Menschen werden Pferde, Hunde und Vögel von angstvoller Unruhe erfaßt.“*

Ähnliches wiederholte sich in Leipzig am 27. Juni 1914 gegen 3 Uhr morgens. Wieder erzeugten die Erschütterungen Verwirrung unter den Bürgern, wie aus Meldungen an die damalige Leipziger Erdbebenwarte zu ersehen ist: „Männer, Frauen und Kinder wurden aus tiefem Schlafe geweckt, empfanden im Rücken einen Stoß, hatten das Gefühl, als würden sie aus dem Bette geschleudert . . . Ein anderer glaubt, laute Tritte auf dem Korridor zu hören und ist über diese Rücksichtslosigkeit seines, wie er meint, vom Skatklub heimkehrenden Wirtes empört . . . Wirtshaussgäste laufen auf die Straße, um das Auto zu sehen, das plötzlich gegen die Hausecke gefahren zu sein scheint. . . . In der Thomasiusstraße springt eine Katze fauchend auf und weckt ihre Besitzerin, zwei Stieglitze und ein Papagei fallen von ihren Sitzstangen . . . Auf dem Bahnhof Connewitz vernahm der Nachtdiensthabende ein Klirren in den aufgeschichteten Stahlschienen und befürchtete ein Unglück, da alles knirschte und prasselte . . . In Lindenau wurden allgemein zwei Stöße wahrgenommen . . . Ein Bademeister glaubte, es habe jemand im Erdgeschoß den Geldschrank umgeworfen; er schoß den Revolver ab, um den vermeintlichen Dieb zu verschrecken . . . In Lindenthal fielen in einer Schankwirtschaft die auf Tische gestellten Stühle herab und die Likörflaschen im Schranke um . . .“**

68 Jahre vergingen, bis am frühen Morgen des 20. Februar 1982 erneut ein Leipziger Erdbeben für Gesprächsstoff sorgte. Im Stadtgebiet und in den Vororten waren viele Bewohner durch einen heftigen, aber nicht nach Explosion oder Düsenjäger klingenden Knall oder durch herannahende Geräusche und Erschütterungen geweckt oder aufgeschreckt worden. Aus Tausenden von Wahrnehmungen, die teilweise die Intensität 4

* Hermann Credner, Die Sächsischen Erdbeben während der Jahre 1904 bis 1906, Leipzig 1907, S. 341 f.

** Franz Ertzold, Die sächsischen Erdbeben während der Jahre 1907—1915, Leipzig 1919, S. 374 f.

der MSK-Skala überschritten, erkannte man wieder den Herd von 1905 und 1914 als „Übeltäter“. Er liegt in der Nähe des Völkerschlachtdenkmalms etwa 5 km tief im Verborgenen. Mit dem Denkmal selbst oder den unter der Stadt in geringer Tiefe lagernden Braunkohlenflözen hat er nichts zu tun. In der 41 km entfernten Erdbebenstation Collm sowie in 15 weiteren mitteleuropäischen Stationen begannen Sekunden später die Instrumente anzuschlagen. Am Collmberg bei Oschatz betrug die maximale Bodenbewegung 1 μm bei 3 Schwingungen je Sekunde. Daraus errechneten die Seismologen die Stärke des Bebens zu $M = 2,4$.

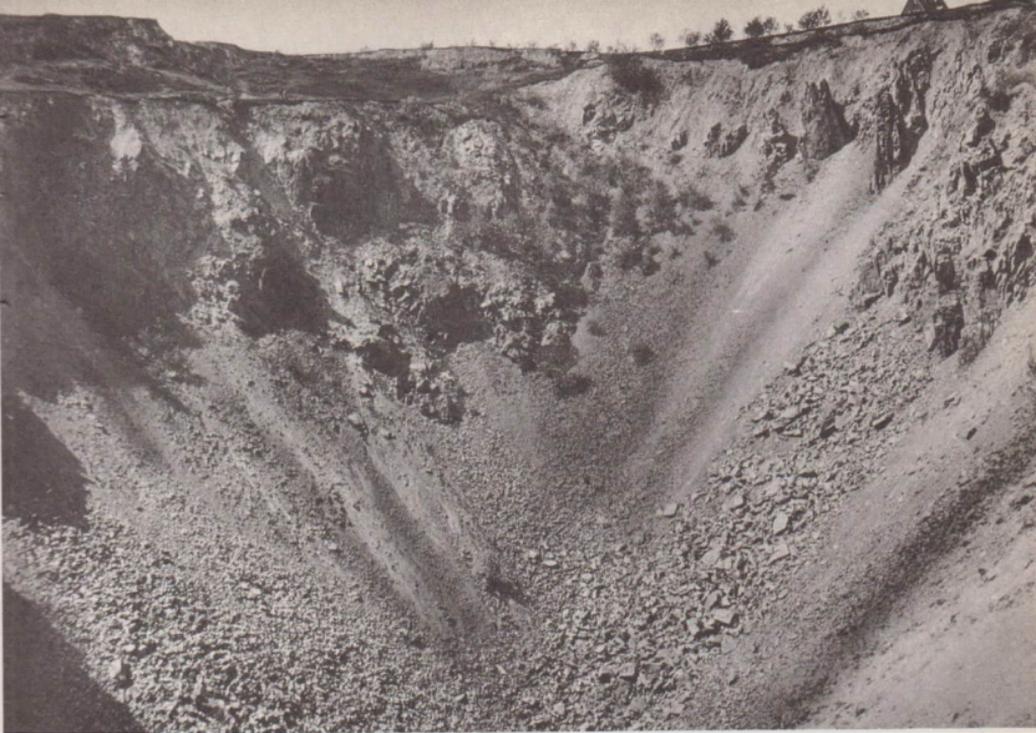
Ein Vergleich mit dem globalen Geschehen zeigt, welch Zwerg uns da ärgern wollte. Was in der Messestadt Leipzig fast als Jahrhundertereignis die Gemüter bewegte, geschieht auf der Erde tausendmal am Tag, also beinahe in jeder Minute. Ganz zu schweigen von der freigesetzten Energie, sie trägt nur etwa ein Milliardstel zur seismischen Jahresbilanz bei.

Wann, wo und mit welcher Intensität werden die nächsten Beben bei uns auftreten? Die Wissenschaftler können eine Aussage darüber nicht mit Bestimmtheit, sondern nur mit Wahrscheinlichkeit machen. Solche Wahrscheinlichkeitswerte sind Mittelwerte, die für längere Zeiträume gelten. Wie es scheint, wurden etwa von 1870 bis 1930 auf dem Gebiet der heutigen DDR so viel seismische Kräfte aufgezehrt, daß es einer erneuten Aufspeicherung in noch mindestens 50 Jahren bedarf, ehe sich wieder ein größerer „seismischer Blitz“ entladen kann.

Herdgeheimnisse

Die Vorgänge in den Zentren der Erdbeben, in den Bebenherden, blieben den Menschen lange Zeit verborgen. Noch vor 100 Jahren stritt man sich heftig, ob Einstürze oder Explosionen die letzten Ursachen der Beben seien. Heute weiß man mit Sicherheit, daß nicht einmal 5 Prozent zu diesen Bebenarten gehören.

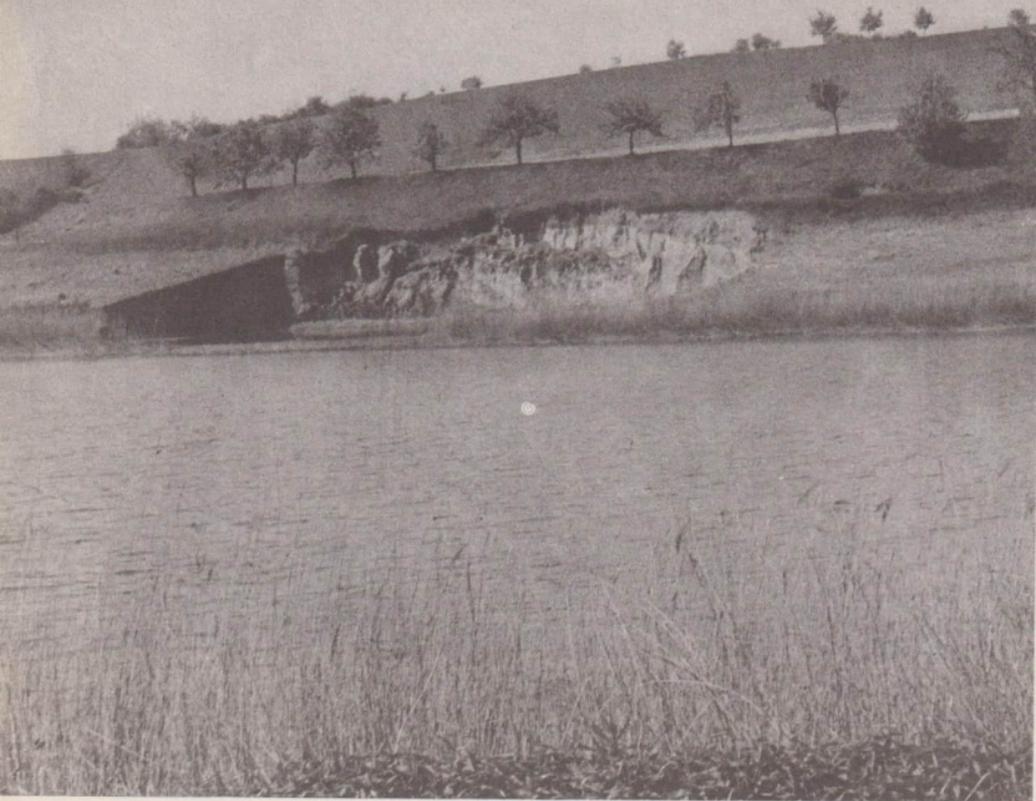
Einsturzbeben sind relativ seltene und örtlich beschränkte Bebenerschütterungen beim Zusammenbruch unterirdischer Hohlräume. Zirkulierende Grundwasser, seltener vulkanische Kräfte, schaffen gleich emsigen Maulwürfen die Hohlräume in oft jahrhundertelanger Arbeit. Die Gesteinsmassen, die dabei ausgeräumt werden, sind überraschend groß. Jedes Jahr fördern die Quellen von Karlovy Vary 30 000 m^3 Salz, im Raum Eisleben wurden zeitweilig jährlich über eine Million Kubikmeter Salzgestein ausgelaugt. Das entspricht einem Hohlraum, in den man das Wasser der Bassins von mehr als 1600 Volksschwimmhallen mit 25 m \times 12,5 m Fläche einlaufen lassen könnte.



Einsturztrichter (Pinge) über altem Erzabbau bei Altenberg (Osterzgebirge)

Vorsicht, Einsturzgefahr! heißt es auch in der Nähe von Vulkanen. Die vulkanische Förderung von Lava oder Lockermassen vermag bei zeitweise fehlendem Nachschub bedeutende Hohlräume zu schaffen. Beim Ausbruch des Spaltenvulkans Laki auf Island im Jahr 1783 wurden – begleitet von heftigen Erschütterungen – mehr als 12 km^3 Lava und Asche ausgestoßen. Der Krakatau schleuderte 1883 18 km^3 Lockermassen in die Luft. Auf Kamtschatka hat der 4900 m hohe Kljutschewskaja Sopka in den 5000 Jahren seines Bestehens dem Schoß der Erde mindestens 340 km^3 Lava und Asche entrissen. Mit der geförderten Menge ließe sich das gesamte Gebiet der DDR über 3 m hoch bedecken. Hätte sich unter dem Vulkan ein Hohlraum gebildet, dann wäre dieser über hunderttausendmal größer als der Kessel des Leipziger Zentralstadions.

Bei auslaugungsbedingten Einsturzbeben brechen zuweilen großflächige Decken von mehreren Quadratkilometern herunter. Das betrifft be-



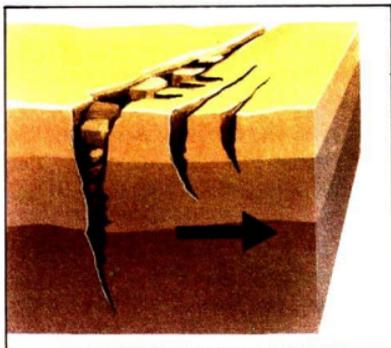
Durch Auslaugung entstandener Erdfall am Bindersee nahe der Fernverkehrsstraße F 6 bei Rollsdorf (Kreis Eisleben)

vorzugt leichtlösliche Sedimentgesteine wie Salz, Gips und Kalk. Die zur Grotten- und Höhlenbildung neigenden Karstlandschaften Mittel- und Südeuropas sind besonders einsturzgefährdet. Aber es kann auch nicht verwundern, wenn im Tiefland nördlich unserer Mittelgebirge in den über 220 Millionen Jahre alten unterirdischen Salzablagerungen Hohlräume entstehen und mit seismischem Lärm zusammenstürzen.

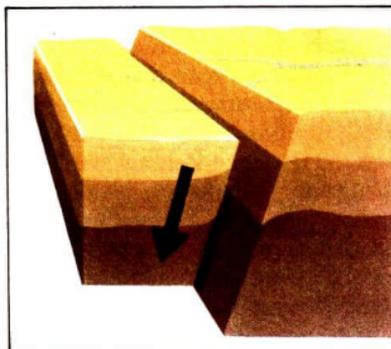
Ähnlich den Einsturzbeben sind Ausbruchs- oder Explosionsbeben relativ seltene und in ihrer Wirkung örtlich begrenzte Erschütterungen. Sie

treten als Begleiter von Vulkanausbrüchen auf und werden deshalb auch vulkanische Beben genannt. Physikalisch handelt es sich um Explosionen infolge Entgasung der glutflüssigen Lava in der Nähe der Erdoberfläche. Erdbeben sind häufig Vorboten von Vulkanausbrüchen, wenn die hochsteigende Glut die umgebenden Gesteinsmassen unter Druck, Hitze und

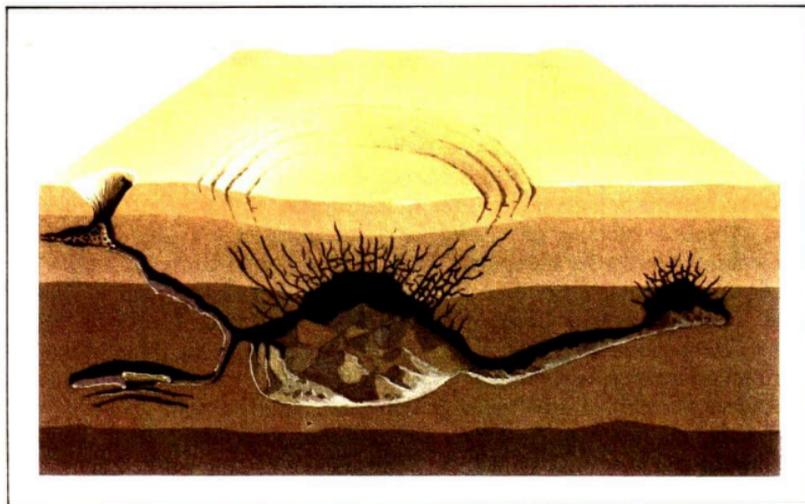
Erdbebenherde



Zerrungsbeben



Verschiebungsbeben



Einsturzbeben

chemischen Reaktionen mechanisch zertrümmert. Solche Beben können sich Wochen oder Monate vorher bemerkbar machen. Als Beispiel seien die Ereignisse genannt, die dem Ausbruch des Vulkans Soufrière auf der Antilleninsel St. Vincent am 7. Mai 1902 vorausgingen.

Bereits im Februar 1901 setzten in Entfernungen bis zu 8 km vom Krater Schwärme örtlicher Beben ein, die von Geräuschen aus dem Erdinnern begleitet wurden. Da auf der Insel Erdbeben selten waren, kamen den Bewohnern Befürchtungen, die sich verstärkten, als von der zweiten Aprilhälfte 1902 an die Erdstöße häufiger und heftiger wurden. Erste Vorbereitungsmaßnahmen und Evakuierungen begannen. Gegen Mittag des 6. Mai sah man dem Krater die ersten Dampfballen entsteigen. Am 7. Mai folgte statt des erwarteten Lavaflusses ein heftiger Glutwolkenausstoß, der immerhin noch 1600 Opfer forderte. Eigentümlicherweise waren zur gleichen Zeit auf der 150 km entfernten Insel Martinique in der Umgebung des Berges Mont Pelée ähnliche seismische Warnsignale zu beobachten. Der französische Gouverneur der Insel hatte jedoch alle Befürchtungen der Bewohner des am Fuß des Berges liegenden St. Pierre in den Wind geschlagen, um wegen bevorstehender Wahlen am 11. Mai die Bevölkerung in der Stadt zu halten. Am frühen Morgen des 8. Mai 1902, nur wenige Stunden nach dem Soufrièreausbruch, barst der Gipfel des Berges mit gewaltigem Gedröhn, und eine ungeheure Glutwolke brach hervor. Sie erreichte in wenigen Sekunden als gigantische Feuerwalze die unvorbereitete Stadt und verbrannte oder erstickte 40 000 Menschen.

Zu den stärksten vulkanischen Beben kommt es, wenn während der Eruption (lat. erumpere = hervorbrechen) der Vulkanschlot verstopft und die nachdrängenden Lava- und Gasmassen die Hindernisse wegsprennen. Solches geschah am 15. Juli 1888 im Norden der japanischen Hauptinsel Honshu. Zwar hatte sich am Morgen dieses Tages der als längst erloschen geltende Vulkanberg Bandaisan durch unterirdisches Grollen bemerkbar gemacht, aber Erschütterungen waren nicht zu spüren. Plötzlich erbebt das Land im Umkreis von 150 km. Im selben Augenblick wurde der Hauptgipfel des 1800 m hohen Vulkans durch eine Explosion zerfetzt. Über eine Million Kubikmeter Gestein flogen in die Luft. Der Asche- und Gesteinsregen begrub zahlreiche Dörfer mitsamt ihren Einwohnern 10 m tief. Vor, während und nach dem Beben hatte es nur einen einzigen fühlbaren Hauptstoß gegeben.

Anders verhielt es sich beim gewaltigsten aller bekannt gewordenen Vulkanbeben, das dem Ausbruch des größten Einzelbergs der Erde, des Schildvulkans Mauna Loa auf der Hawaii-Insel Hilo, am 7. April 1868 vorausging. Die vorbereitenden Beben machten sich vom 27. März an bemerkbar, zuerst leicht, dann immer stärker werdend, mit Zwischenzeiten

von nur wenigen Minuten. Einen außerordentlich starken Stoß brachte der Nachmittag des 2. April. Der Boden rollte in großen Wellen. Häuser, Mauern und Schornsteine wurden niedergeschmettert. Menschen und Tiere vermochten nicht mehr aufrecht zu bleiben. Zu Boden geworfen, mußte man die Arme ausbreiten, um nicht ins Rollen zu kommen. Eine seismische Woge, deren Höhe diejenige der Kokospalmen am Strand übertraf, brach 1 bis 3 km weit landeinwärts, alles mit sich schleppend. Gegen Abend des 7. April 1868 riß in 1130 m Höhe des 4170 m hohen Berges eine 1,5 km lange Spalte auf und goß 4 Tage lang dünnflüssige Lava mit einer Geschwindigkeit von 25 m/s hangabwärts bis ins Meer.

Besonders genaue Schilderungen des Zusammenwirkens von vulkanischen und seismischen Ereignissen sind uns vom Vesuv überliefert. Während des katastrophalen Ausbruchs im Jahr 79 befand sich der römische Schriftsteller *Gajus Caecilius Plinius der Jüngere* (61 oder 62—um 113) im Norden des Golfes von Neapel auf dem Landsitz des Befehlshabers der römischen Flotte, seines Onkels *Plinius des Älteren* (23—79). In zwei Briefen an den römischen Geschichtsschreiber *Tacitus* (um 55—um 120) hat Plinius der Jüngere der Nachwelt die wohl erste ausführliche Beschreibung eines Vulkanausbruchs überliefert. Bemerkenswert an den Aufzeichnungen ist weiter, daß er auch den seismischen Wahrnehmungen besondere Sorgfalt widmete, obwohl diese sicher deutlich hinter den vulkanischen zurücktraten.

Nach jahrhundertelanger Ruhe war der Vesuv gegen Mittag des 24. August 79 zu neuem Leben erwacht. Eine ungewöhnlich große weiße Wolke hatte sich wie eine Pinie über der Spitze des Berges erhoben. Bald begann es Asche und Bimssteine zu regnen, die ersten leichten Erdschütterungen traten auf. Plinius der Ältere wollte seinen Mut als unerschrockener Militär beweisen und setzte an Bord eines kleinen Schiffes über die Bucht nach Stabiae, einer am Fuß des Vesuvs liegenden Stadt. Obwohl dort alles vor dem drohenden Unheil auf der Flucht war und Schwefeldämpfe bereits das Atmen erschwerten, ließ er sich bei einem Freund ein Bad bereiten und speiste gelassen. Plinius der Jüngere, damals 18 Jahre alt, erlebte die herannahende Katastrophe auf den in scheinbar sicherer Entfernung gelegenen Ländereien des Onkels. Da Erdbeben in Kampanien nichts Ungewöhnliches waren, nahm man auch dort die Warnsignale nicht ernst und legte sich abends wie gewöhnlich zur Ruhe. Die Erdstöße gewannen jedoch an Heftigkeit, so daß man das Haus verließ und sich auf den Hof begab. Gegen Morgen wurden die Erschütterungen so stark, daß die Menschen in dichten Haufen aus der Stadt flüchteten. „Vieles gab es auch hier, was uns staunen, was uns erschrecken ließ. Die Wagen, die wir hatten hinausbringen lassen, wurden auf völlig ebe-

nem Felde hin und her geworfen, und selbst, als man Steine unterlegte, blieben sie nicht fest stehen. Auch das Meer gewährte einen Anblick, als ob es sich selbst verschlänge und durch die Erderschütterungen zurückgetrieben würde. Wenigstens war das Gestade vorgerückt, und es befanden sich darauf viele auf dem trockenen Sande zurückgebliebene Seetiere. Auf der anderen Seite zerbarst eine schreckliche Wolke, aus der geschlängelte Feuermassen nach allen Seiten herauszuckten . . .“*

Die Katastrophe hatte begonnen. Nach wenigen Stunden pausenlosen Ascheregens waren blühende Städte wie Pompeji und Herculaneum mit Tausenden von Einwohnern untergegangen. Plinius den Älteren fand man 3 Tage später tot am Strand von Stabiae. Er hätte sich retten können und mußte seine leichtsinnige Fehleinschätzung der vulkanischen und seismischen Vorboten mit einem grauenvollen Tod bezahlen.

Während mit den meisten Erdbeben keine Vulkantätigkeit verbunden ist, lassen sich umgekehrt bei einem Vulkanausbruch fast immer Erdbeben beobachten. Neben den explosiven, also vulkanischen Beben im engeren Sinn kann es gleichzeitig durch Hohlraumbildung zu Einsturzbeben und durch die gewaltigen Vulkankräfte zur Auslösung (Triggerung) von tektonischen (griech. tektonikos = zum Bau gehörig) Beben kommen.

Umgekehrt vermag ein Erdbeben auch Geburtshelfer oder Beschleuniger eines Vulkanausbruchs zu sein. 16 Minuten vor Ausbruch des Vulkans Sakura-shima auf Kyushu (Japan) am 12. Januar 1914 hatte nachweislich das tektonische Kagoshimabeben dem Vulkanschlot die Förderwege freigerissen.

Im Gegensatz zu den Einsturz- und Vulkanbeben spielen die tektonischen Beben eine Hauptrolle. Der Mechanismus, der das Krachen im Gebälk der Erdkruste auslöst, war lange Zeit geheimnisumwittert. Heute weiß man, daß es Sprödbrüche im Gestein sind, die infolge von mechanischen Spannungen entstehen. Ähnlich dem belasteten Werkstück bei den Verfahren der Materialprüfung im Labor kommt es durch Druck oder Zerrung erst zu langsamer Verformung oder Verbiegung und dann am kritischen Punkt zum Bruch. Am besten stellen wir uns ein tektonisches Beben als einen Zerreiß- oder Zerschervungsvorgang mit elastischem Rückstoß vor. Dabei gilt es aber zu beachten, daß sich das Ganze meist unter starkem allseitigem Druck abspielt, der schon in einigen Kilometern Tiefe mehreren Millionen Pascal entspricht.

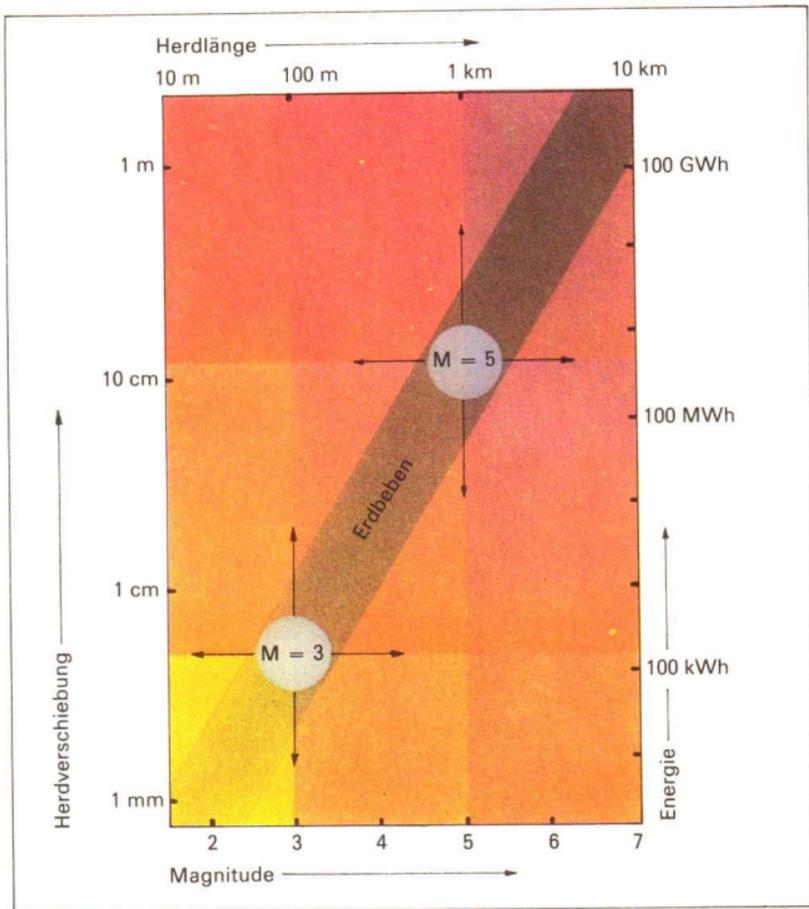
Selbst granitisch harte Gesteine beginnen sich unter mechanischen Spannungen im Lauf der Zeit zu verformen. Gesteinsphysiker fanden ihre Berechnungen bestätigt, als sie feststellten, daß mit kreisrundem Quer-

* zit. nach: Horst Rast, Vulkane und Vulkanismus, Leipzig 1980, S. 99



Vulkan Momotombo in Nicaragua

schnitt niedergebrachte Festgesteinsbohrungen in tektonisch aktiven Gebieten nach Jahren stark elliptische Querschnitte aufwiesen. Stete Kraft verformt auch Stein. Das langsame Fließen oder Kriechen ist der Normalfall in den scheinbar so festen Gesteinen. Tektonische Erdbeben sind lediglich „Betriebsstörungen“ beim Spannungsausgleich. Sie treten auf, wenn Reibung die Kriechbewegung behindert. Dann kommt es zu Verha-



Erdbebenherde – wie stark, wie verschoben, wie lang, wie energiereich?

kelungen und Verkeilungen unzähliger Gesteinsmoleküle, die sich nur durch Auseinanderbrechen wieder voneinander befreien können. Tektonische Herde sind deshalb häufig an langgestreckten und tiefreichenden Bruchzonen in der Erdkruste zu finden. Sie können jahrelang „schlafen“, wenn die Bruchzone durch Haftreibung gebremst ist, um dann plötzlich hier oder dort lokal wieder anzurucken.

Der einzelne Bebenherd ist geometrisch nicht punktförmig. Flächenhafte Herde sind typisch für viele oberflächennahe geologische Verwerfungen, Volumenherde vor allem, wenn in den zähplastischen Erdmantel hineingesunkene Schollen der spröderen Erdkruste zermalmt werden. Der eigentliche Bruchvorgang beginnt mit der Bildung von Mikrorissen an den schwächsten Stellen des verspannten Gesteinspakets. Ähnlich wie nach dem Ritzen einer unter Spannung stehenden Glasplatte breitet sich eine fortschreitende Bruchfront gleich einer Kettenreaktion aus. Je weiter die vom Zentrum nach außen abklingenden Bewegungen vordringen, je größer also die Herdfläche oder das Herdvolumen, desto stärker ist das Beben. Da gewaltige Massen beteiligt sind, können schon gegenseitige Verrückungen benachbarter Teilchen von wenigen Zentimetern genügen, um schwere Schadenbeben hervorzurufen. Mit durchschnittlichen Bruchgeschwindigkeiten von 1 bis 3 km/s wird der Herdbereich durchjagt. Der Bruchvorgang kommt ähnlich der Wirkung einer Scheibenbremse durch Gleitreibung oder durch zunehmende Gesteinsfestigkeit zur Ruhe. Statt in Wärmeenergie wird die Bewegung aber vor allem in seismische Wellenenergie umgewandelt.

Es ist das Schicksal der Seismologen, daß sie in ihre Forschungsobjekte nicht hineinschauen können. Nur selten bricht ein Herd bis zur Oberfläche durch und lüftet ein wenig sein Inkognito. Glücklicherweise hat die geologische Verwitterung einige erloschene Bebenherde aus dunkler Erdtiefe und verflössenen Zeitaltern freigelegt, so daß die Geologen manches zur Verhaltensforschung über Bebenherde beitragen konnten.

Ein wesentlicher Fortschritt beim Ausfüllen der „Personalkartei“ von Bebenherden wurde in den letzten beiden Jahrzehnten erreicht. Aus instrumentellen Bebenaufzeichnungen (Seismogrammen) versuchen die Seismologen wie Kriminalisten die Handschriften der unsichtbaren Jünger des Seimos zu entziffern und Porträts ihrer Gesichter nach Form, Größe und Bewegungsart zu entwerfen.

Nicht zuletzt ist man dadurch heute in der Lage, natürliche Beben von künstlichen zu unterscheiden. Diese Tatsache hat entscheidende militärpolitische Bedeutung bei der Durchsetzung des von den Friedenskräften angestrebten generellen Verbots auch unterirdischer Kernwaffenexplosionen.

Um weit entfernte oder tief gelegene Bebenherde „sichtbar“ zu machen, sind freilich außerdem die Kenntnis der Ausbreitung und die Aufzeichnung seismischer Wellen erforderlich.

Signale aus der Ferne



Wellensalat im Erdinnern

Der Seismologe ähnelt dem Arzt, der dem Patienten auf den Brustkorb klopft und diesen abhört, ohne ihn zu öffnen. Das Klopfen übernehmen die Erdbeben. Weit abgelegen von den Schüttergebieten der Erdbebenherde, helfen uns Instrumente beim „Abhören“ von Beben. Betrachten wir die Aufzeichnungen eines Erdbebens, dann sehen wir nicht nur einen einzelnen Impuls, sondern ein Auf und Ab von vielen Wellengruppen. Je weiter weg sich der Herd befindet, desto schwächer sind zwar die Ausschläge der Meßfühler, aber um so „bunter“ ist das Bild. Das kann nur an der ungleichmäßigen Ausbreitung der Wellen liegen. Beobachten wir doch auch, wie das Wellenbild in der Umgebung eines ins Wasser geworfenen Steines mit zunehmender Entfernung immer vielseitiger wird.

Aus dem scheinbaren Wirrwarr der Bebenaufzeichnungen ergab sich unser Wissen vom inneren Aufbau des Planeten Erde. Der Erdkörper besteht in größerer Tiefe aus unzähligen Schichten. Sie werden zusammengefaßt zu Kruste, Mantel und Kern. Die Kruste mit durchschnittlich nur 20 bis 40 km Dicke vereinigt nicht einmal ein Prozent der Masse und des Volumens der gesamten Erde. Im Vergleich zum Durchmesser unseres Planeten ist die feste Erdkruste dünner als die Schale des Eies. Sie ähnelt einer erkalteten Haut um einen weißglühenden Materieball, der allein durch die Anziehungskraft seiner Massen und keineswegs durch seine Materialfestigkeit zusammengehalten wird.

Gesteinsbildner in der Erdkruste sind am häufigsten die chemischen Elemente Sauerstoff, Silizium, Aluminium, Eisen, Kalzium, Natrium, Kalium und Magnesium. Unterhalb der Erdkruste schließt sich bis 2900 km Tiefe der Erdmantel an. Er besteht außen vorwiegend aus basischen Silikaten, die nach innen in Druck- und Hochdruckoxide übergehen. Der Erdkern verhält sich in den äußeren Teilen metallisch-flüssig, im Innern bei etwa 5000 °C Temperatur und über 300 GPa (Gigapascal) Druck metallisch-fest. 300 GPa bedeuten 3000 t/cm². Das ist etwa gleich der Last aller 50 000 Einwohner einer Mittelstadt – wie Wismar, Eisenach, Freiberg – auf der Fläche eines einzigen Pfennigs. Unter diesem

Druck geben auch die Hüllen der stärksten Atome nach und ändern ihre physikalischen und chemischen Eigenschaften. Hauptbestandteile des Erdkerns sind Eisen und Nickel mit geringen Beimengungen an Schwefel und vielleicht etwas Silizium und Sauerstoff.

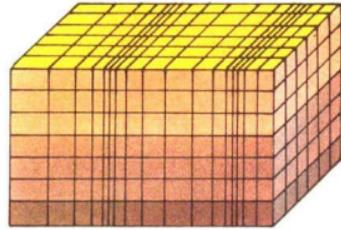
Nicht nur die Laufzeit, sondern auch die Richtung der vom Bebenherd ausgehenden und durch das Erdinnere eilenden seismischen Raumwellen ist durch die Tiefenverteilung der physikalischen Größen Geschwindigkeit und Dichte vorprogrammiert. Mit vielfacher Überschallgeschwindigkeit müßte ein Düsenflugzeug durch die Lüfte jagen, um das Tempo der durch die Erde laufenden Erschütterungswellen zu erreichen. Diese sind etwa zehn- bis vierzigmal schneller als der Schall in der Luft. Die Geschwindigkeiten bleiben nicht konstant, sondern ändern sich mit der Tiefe unregelmäßig. Dadurch kommt es zu Krümmungen, Reflexionen, Brechungen, Dämpfungen und Aufspaltungen der Wellenstrahlen.

Seismische Wellen gehören zu den elastischen Wellen. Ihre Energie wird in der Erde durch stoßende und schwingende Teilchen weitergegeben. Obwohl Verwandte des Schalles, bleiben sie für uns meist unhörbar, da das menschliche Ohr nicht nur für hohe (Ultraschall), sondern auch für tiefe Töne (seismische Wellen) unempfindlich ist. Die hohen Töne entsprechen den schnellen, die tiefen den langsamen Schwingungen.

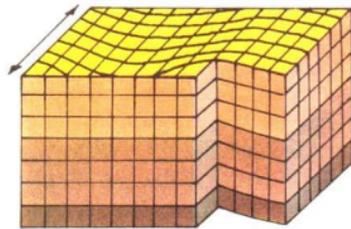
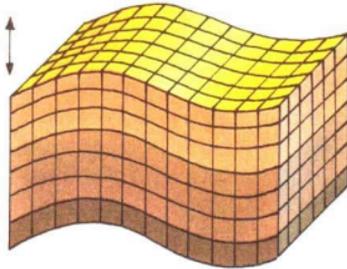
Erdbebenherde senden stets ein Gemisch verschieden „tönender“, aber eben an der unteren Hörbereichsgrenze liegender Wellen aus. Mit wachsender Entfernung werden besonders die höheren Töne gedämpft. Von einer entfernt spielenden Kapelle hören wir auch nur noch die Baßgeige. Eine seismische Welle büßt auf ihrem Weg nichts an Geschwindigkeit ein, doch die von ihr angeregten Gesteinsteilchen schwingen immer langsamer. In Herdnähe sind es mehrere Schwingungen je Sekunde. Schwingt der Boden nur sehr langsam (viele Sekunden oder gar Minuten für jedes einzelne Hin und Her), dann haben die Wellen schon viele Tausende von Kilometern zurückgelegt.

Ein Erdbebenherd gibt den Gesteinsteilchen auch unterschiedliche Schwingungsrichtungen mit auf den Weg. Die Schwingbewegungen können in der Erde längs (Verdichtungs- oder Längswellen) oder quer (Scherungs- oder Querwellen) zur Ausbreitungsrichtung erfolgen. Querwellen treten nicht in Gasen und Flüssigkeiten auf, da sich diese nicht quer verformen, also nicht verbiegen oder verdrehen lassen. Luft, Wasser und auch der wie eine Flüssigkeit auf Wellen reagierende Erdkern sind daher durch ihre Druckfestigkeit elastisch. Wie elastisch Luft ist, spürt jeder, der einmal versucht, eine an der Öffnung verschlossene Luftpumpe ruckartig zusammenzudrücken, oder dem die Luft aus den Gummireifen seines Fahrzeugs entwichen ist.

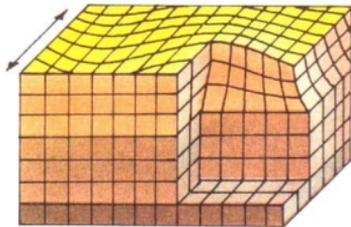
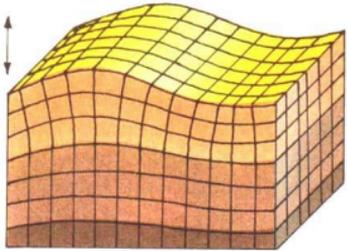
Längswelle



Querwellen



Oberflächenwellen



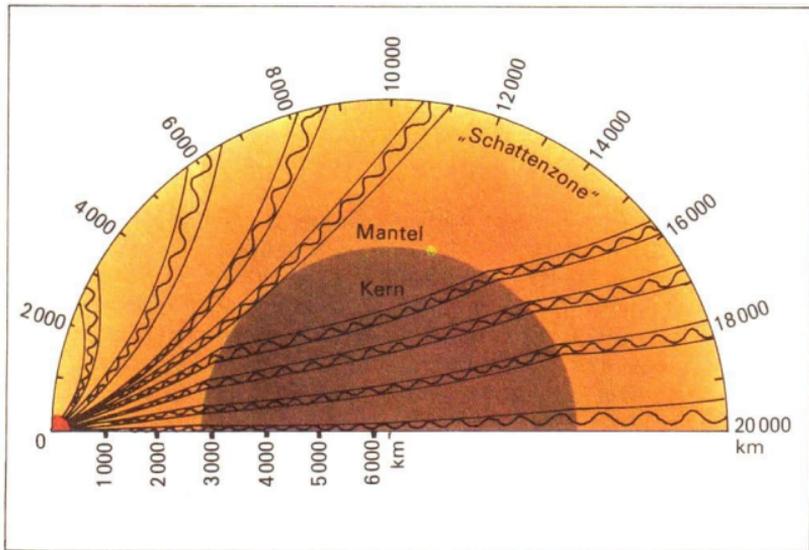
Kombinationen von Längs- und Querwellenbewegungen treten nur an der Erdoberfläche auf. Diese Oberflächenwellen lassen sich am besten mit den Meereswellen oder den Bewegungen eines Puddings vergleichen. Da sich die Längswellen etwa 1,7mal schneller als die Querwellen ausbreiten, werden sie auch P-Wellen genannt (lat. primus = der Erste). Die Querwellen bekamen den Namen S-Wellen (lat. secundus = der Zweite).

Die physikalischen Gesetze sind sehr streng, aber für alle gleich. Will eine Welle in der Erde von einer festen Schicht in die andere schlüpfen, so kann sie das nur, wenn sie sich vierteilt und teilweise ihren Charakter und ihre Richtung ändert. Nach dem Brechungsgesetz muß eine Längswelle – genau wie eine Querwelle – beim Passieren einer Grenzfläche zu zwei Teilen als Längs- und Querwelle weiterlaufen. Die zwei restlichen Teile werden nach dem Reflexions- oder Spiegelungsgesetz ebenfalls als Längs- und Querwelle in die Schicht zurückgeworfen, aus der die Welle kam. In den flüssigen Bereichen der Erde haben die „Gesetzeshüter“ an den Schichtgrenzen einen leichteren Dienst als im Festgestein. Es gibt dort keine Querwellen. Nur von den Längswellen muß der gebrochene und reflektierte Anteil zweigeteilt werden.

Wie bei einem Massenlauf starten alle Wellen zur selben Zeit. Je nach Vorwärtskommen zieht sich die Schar weit auseinander. Einen bestimmten Kontrollpunkt durchlaufen sie zu verschiedenen Zeiten und in unterschiedlicher Verfassung. Manche sind dann schon durch Dämpfung oder mehrfache Teilung auf der Strecke geblieben. Im Unterschied zu einem Massenlauf besitzen Erdbebenwellen kein Endziel, sondern laufen nach allen Richtungen, bis sich ihre Energie verzehrt hat.

Der Erdkern wirkt durch seine an der Kerngrenze sprunghaft niedrigere Wellengeschwindigkeit als Sammellinse mit Brennpunkt und Schattenzone. Diese Tatsache konnte zu Beginn unseres Jahrhunderts nach den damals über die Erde noch dünn verteilten Bebenaufzeichnungen nur vermutet werden. Es war der deutsche Geophysiker *Beno Gutenberg* (1889–1960), der im Jahr 1914 die Existenz des Erdkerns aus Seismogrammen bewies. Er errechnete dessen Außengrenze (2890 km) mit einer heute kaum übertroffenen Genauigkeit und schloß aus dem Fehlen von Querwellen auf den flüssigen Zustand.

Die Oberflächenwellen sind zwar die langsamsten, aber wegen ihrer geringeren Dämpfung verursachen sie die meiste Bewegung. Da die Erde eine Kugel ist, können sie jede Meßstation auf einem kurzen und einem entgegengesetzten langen Weg erreichen. Verfügen sie über genügend

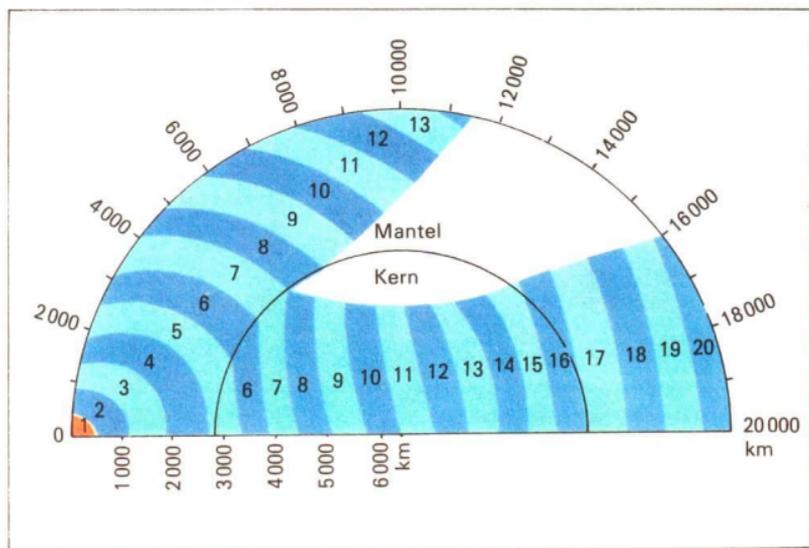


Wellenwege (ausgewählte Längswellen)

Energie, dann laufen sie noch nach Stunden als Wiederkehrwellen mehrmals um die Erde.

Welche Laufzeiten haben Wellen von weit entfernten Beben? Eine Grafik der Laufzeitpläne in Abhängigkeit von der Entfernung gibt darüber Aufschluß. Laufzeitpläne sind die „Fahrpläne“ der Erdbebenwellen. Sie unterscheiden sich von anderen Fahrplänen nur dadurch, daß sie sich nie ändern und von den Wellenzügen der Erdbeben immer genau eingehalten werden. Wir erkennen, daß uns aus rund 10 000 km Entfernung (etwa aus Japan oder aus Mittelamerika) die P-Wellen nach 13, die S-Wellen nach 24 und die starken Oberflächenwellen erst nach mehr als 50 Minuten erreichen. Eine Welle vom Herd durch die Erde zum 180° entfernten Punkt ist etwa 20 Minuten unterwegs.

Der Seismologe benutzt ausführliche Laufzeitpläne, um aus den Ankunftszeiten auf die Entfernung der zunächst noch unbekanntten Herde zu schließen.

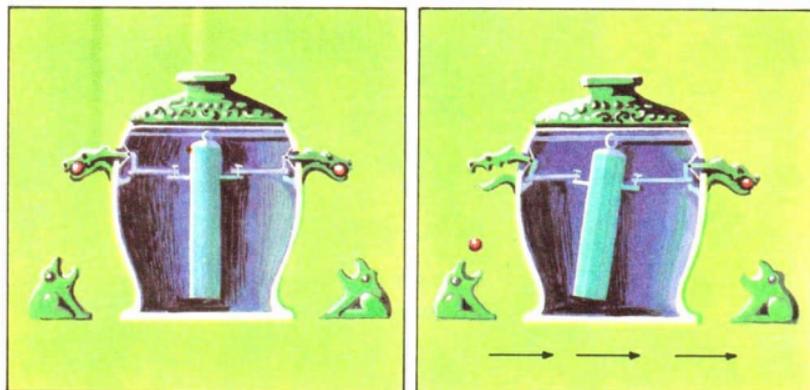


Wellenlaufzeiten in Minuten (ausgewählte Längswellen)

Ein Wetterhahn für Erdbeben

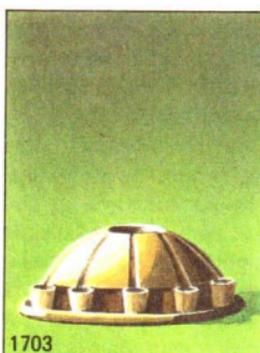
Bei einem schadenbringenden Erdbeben ist schnelle Hilfe derer nötig, die abseits vom Schütterzentrum von den Zerstörungen verschont blieben. Schon vor über 2000 Jahren gab es in China ein gut funktionierendes Melde- und Hilfssystem unter der Obhut von Behörden in den Residenzstädten. Manchmal aber eilten die Bergungstrupps in die falsche Richtung, da die menschlichen Sinne über die wahre Herkunft der Erschütterungen getäuscht wurden. Ein „Wetterhahn für Erdbeben“ mußte erfunden werden, ein Seismoskop (griech. skopein = sehen).

Im Jahr 132, während der Han-Dynastie, gelang es dem Astronomen und Mathematiker *Chang Heng* (78–139) in der Stadt Sian, den ersten Erdbebenmelder mit Richtungsanzeiger zu konstruieren und in Betrieb zu setzen. Wie ein Weinfäß von fast 2 m Durchmesser aussehend und aus feiner Bronze gearbeitet, enthielt dieser in seinem Innern wahrscheinlich ein schwingfähiges Hebelsystem. Von der Konstruktion ist uns nichts überliefert. Nach alten Zeichnungen wurde im Pekinger Nationalmuseum eine Nachbildung angefertigt. Auf dem mit Ornamenten und Moti-



Ältere Erdbebeninstrumente (Seismoskope)

ven aus der Tier- und Pflanzenwelt reichverzierten Rand befanden sich gleichmäßig verteilt 8 Drachenköpfe mit je einer Metallkugel in den Mäulern. Traf ein Bebenstoß ein, dann schlug das Hebelsystem die Kugel in jenem Drachenkopf an, welcher in Richtung auf die ankommende Erschütterung schaute. Unter jedem Drachenkopf saß ein Frosch, in dessen geöffneten Schlund die Kugel mit scharfem Klang hineinfiel. Das Seismoskop erwies sich sehr schnell als nützlich. Als eines Tages eine Kugel in einem Froschmaul lag, ohne daß die Bewohner der Stadt ein Beben verspürt hatten, wurden jedoch Zweifel laut. Erst nach Tagen kam aus dem 700 km westlich gelegenen Rosei die Kunde von einem schweren Erdbe-



ben nach Sian. Zeit und Richtung stimmten mit der Anzeige des Seismoskops überein. Man konnte also dem Instrument vertrauen, und die Regierung beauftragte einen Oberschreiber, Erdbebenbeobachtungen damit anzustellen.

Mit dem Niedergang der altchinesischen Kulturen waren auch die Seismoskope des Chang Heng spätestens im 9. Jahrhundert vergessen. Erdbebenmelder mußten in Europa neu erfunden werden. Das geschah dann oft nach anderen Wirkprinzipien, aber mit zunehmender Empfindlichkeit und Genauigkeit.

Statt Kugeln verwendete der Franzose *Jean de Hautefeuille* (1647 bis 1724) 1703 Quecksilber. Vom Rand einer mit Quecksilber gefüllten Schüssel führten sternförmig Ablaufkanäle in kleine Gefäße. Bei einem Erdbeben schwappte Quecksilber in die Auffangbehälter. Die Bebenstärke konnte nach der abgelaufenen Menge geschätzt werden. Wollte man den Zeitpunkt des Bebens ermitteln, mußte man das Überlaufseismoskop ständig beobachten.

Bald war das Uhrmacherhandwerk zu einer solchen Blüte gelangt, daß man begann, die Seismoskope mit Uhrwerken zu koppeln. Der Italiener *Cavalli* brachte 1784 unter den Abflußröhren uhrengetriebene Drehscheiben an, so daß das Quecksilber in nach Stunden und Minuten bezeichnete Näpfchen abströmen konnte. Nachdem sich der Ire *Robert Mallet* (1810–1881) 1851 bereits eines schwingenden Pendels bedient hatte, stellte der Italiener *Timoteo Bertelli* (1826–1905) 1870 erstmals ein Seismoskop bisher nie erreichter Empfindlichkeit vor. Bei seinem Gerät wurden die Schwingungen eines an einem Faden pendelnden Gegenstands durch ein Mikroskop stark vergrößert sichtbar gemacht. Einen weiteren Fortschritt brachte 1888 die Idee, das waagrecht schwingende Fadenpendel durch eine senkrechte Spiralfeder mit angehängter Masse zu ergänzen und den von der Seite oder von unten kommenden mechanischen Stoß des Erdbebens durch Einschalten eines Stromkreises in einen Stromstoß zu verwandeln. Damit waren das Auslösen einer Klingel und das Anhalten eines Uhrwerks kein Problem mehr.

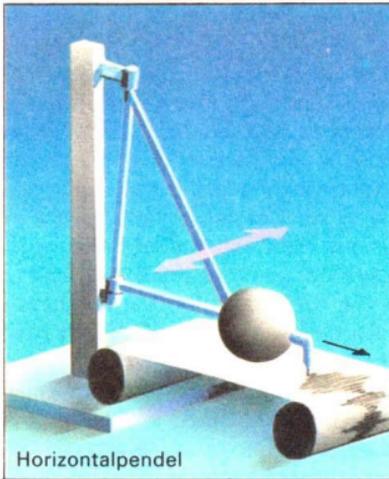
Die Konstruktion der Seismoskope hatte am Ende des 19. Jahrhunderts eine hohe Perfektion erreicht. Dennoch blieb ihr Wert für die Erdbebenforschung gering. Die Empfindlichkeit reichte nicht aus, um auch schwächere Beben in einiger Entfernung zu erkennen, und die meisten Geräte reagierten nur einmal auf einen der ersten oder der stärksten Stöße. Sie gaben ein Beben als einmaligen „Bewegungsblitz“ wieder und waren nicht in der Lage, die Erschütterungen als zeitlich andauernde Bodenbewegungen aufzuzeichnen oder gar noch Angaben über ihre Stärke zu liefern.

Allein bei sehr starken Beben werden Schüttergebiete von 500 bis 1000 km Durchmesser erfaßt. In größerer Entfernung sind Erdbebenschwingungen ausgesprochene Leisetreter und Schleicher. Vor der Meßtechnik stand die Aufgabe, Bewegungen im Nanometerbereich (1 Milliarde nm = 1 m) zu erfassen und zu speichern. Die Schwingungsweiten sind tausendmal kleiner als der Durchmesser eines menschlichen Haares. Die besondere Schwierigkeit liegt in der Langsamkeit dieser Bewegungen. Sie vollziehen sich in Perioden von Sekunden oder Minuten. Dagegen ist Schneckentempo schon D-Zug-Geschwindigkeit. Würden wir die bei uns gemessene Bodenbewegung eines Pazifikbebens von einem Mikrometer bei einer Periode von 20 Sekunden längs eines Metermaßes immer in der gleichen Richtung ohne Dämpfung auftragen, dann würde es bei dieser Geschwindigkeit einen ganzen Tag dauern, ehe der erste Zentimeter vollendet ist.

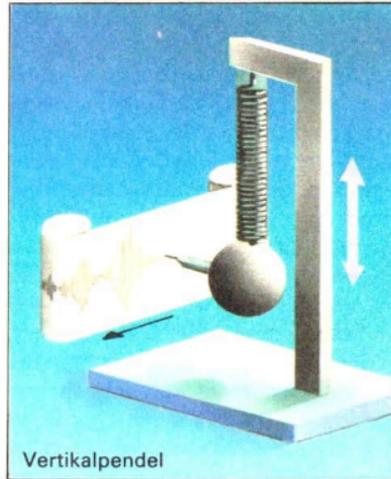
Aber die Gerätebauer lösten auch solche Probleme und schufen mechanische Empfangsantennen für Erschütterungen, die man als Wunderwerke an Empfindlichkeit, Zuverlässigkeit und Präzision bezeichnen kann. Diese Seismographen (griech. graphain = schreiben) arbeiten nach einem denkbar einfachen Prinzip. Erkennen und Aufzeichnen von schwachen Bodenbewegungen erfolgen durch einen ruhenden Vergleichskörper. Eine mehr oder weniger schwere Masse wird in einem Gehäuse oder an einer Stütze so angebracht, daß sie die Bodenbewegungen möglichst wenig mitmacht. Die nahezu frei hängende träge Masse ist der ruhende Bezugspunkt. Die fest mit dem Erdboden verbundene Aufhängung schwingt im Rhythmus der Bodenerschütterungen. Zwischen Masse und Aufhängung findet eine Relativbewegung statt. Sie wird vergrößert und über einen Hebelarm auf Papier aufgezeichnet, und schon haben wir das Seismogramm in den Händen. Wir überzeugen uns allerdings leicht, daß dies alles nicht ohne Probleme zu bewältigen ist, wenn wir einmal selbst „Seismograph“ spielen. Angenommen, wir sitzen im fahrenden Auto und wollen schreiben. Das Auto ist der schwingende, rüttelnde und stoßende Erdboden, unser Körper die träge Masse, der schreibende Arm entspricht dem Hebelsystem und der Briefbogen dem Registrierpapier. Die Schriftzüge unseres Textes dürften dann eine gewisse Ähnlichkeit mit einem (allerdings unleserlichen) Seismogramm haben.

Werden die trägen Massen der Seismographen möglichst frei und reibungslos aufgehängt, dann besteht die Kunst der Seismogrammerstellung „nur noch“ in geeigneter Vergrößerung und Aufzeichnung der Relativbewegungen. In jedem Fall unterscheidet sich der schreibende Seismograph vom meldenden Seismoskop durch den „Briefbogen“.

Der erste arbeitsfähige Bebenschreiber wurde 1879 von *James Alfred*



Horizontalpendel



Vertikalpendel

Meßprinzip von Seismographen

Ewing (1855–1935) in Japan verwendet. Die Aufzeichnung geschah mechanisch auf rotierende Kreisscheiben. Der Engländer *John Milne* (1850 bis 1913) verlängerte 1894 die Hebelarme, um die Bewegungen deutlicher darzustellen, und der deutsche Geophysiker *Emil Wiechert* schuf Seismographen mit kurzen Registrierarmen und Hebelsystemen, die Vergrößerungen bis zum Vieltausendfachen ermöglichten. Noch heute sind auf manchen Erdbebenwarten Wiechert-Seismographen als technische Denkmale in Betrieb und ergänzen wirkungsvoll ihre moderneren „Kolleger“. Allerdings ist jede mechanische, also kitzelnde Aufzeichnung mit Reibung der Hebelwerke und des Schreibstifts verbunden. Diese Reibung mit Hilfe schwächster Bebenimpulse zu überwinden erfordert tonnenschwere Massen und setzt der Konstruktion natürliche Grenzen.

Die berührungsfreie, optische Registrierung bahnte den Weg zu kleineren und gleichzeitig empfindlicheren Geräten. Schon am 17. April 1889 gelang es *Ernst August von Rebeur-Paschwitz* (1861–1895), in Potsdam mit einem fotooptisch registrierenden Pendelapparat ein Beben aus Japan auf Papier zu bannen. Die erste Registrierung eines Fernbebens war eine Welt Sensation und leitete eine Wende in der Erdbebenforschung ein. Jetzt konnte man von Europa aus in die Erdbebenküchen des Pazifiks, Südamerikas und anderer Gegenden „hineinriechen“. Was das Teleskop

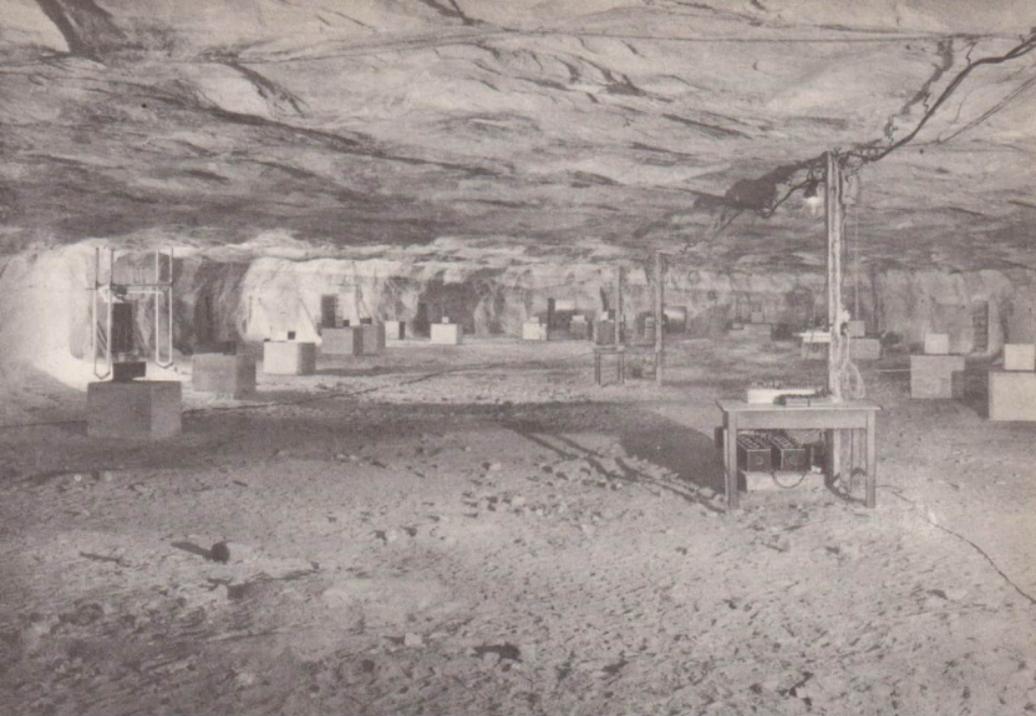
für das Himmelsgebäude war, das wurde der Seismograph für das Erdinnere.

Im Jahr 1904 kam der russische Seismologe Boris Golizyn auf die bahnbrechende Idee, die Bodenbewegungen elektrisch zu messen und zu verstärken. Er entwickelte außerdem die dazugehörige Theorie und förderte den Gerätebau. Das in der Elektrotechnik bei der Herstellung von Motoren und Generatoren genutzte Induktionsprinzip zur Umwandlung von mechanischer in elektrische Energie wurde die Grundlage des elektrodynamischen Seismographen. Endlich konnte man die Bodenbewegungen in jeder beliebigen Richtung durch Drehen der Geräte aufnehmen. So wie in der Elektroakustik die Schallwellen von Richtmikrofonen empfangen, in Schaltkreisen verstärkt und über Lautsprecher wiedergegeben oder auf Tonbänder aufgezeichnet werden, lassen sich Erdbebenwellen durch Seismographen in nutzbare Informationen umwandeln. Auf diese Weise gelang es, die Errungenschaften von der Elektrotechnik, Elektronik bis zur heutigen Mikroelektronik auch in der Seismologie zu nutzen. Während die Verkleinerung der Geräte noch immer weitergeht, ist es nicht sinnvoll, die Verstärkung elektronisch beliebig hochzutreiben. Man verstärkt dabei nicht nur die Signale der Beben, sondern zugleich das „Rauschen“ der ständig durch Verkehr, Industrie und Witterung bedingten Bodenunruhe.

Die Verkleinerung der Erdbebenmesser hat Militärstrategen des Pentagons aufmerksam werden lassen. Auf einem automatisierten Gefechtsfeld, so rechnen sie, könnten winzige Bebenmesser – besser als Sensoren (Meßfühler), die auf Licht, Geräusch, Magnetismus, Infrarot, Druck oder Chemikalien reagieren – zu unbemannten Horchposten werden. Im Hinterland oder zwischen den Fronten abgesetzt, sollen sie gegnerische Truppen- und Gerätebewegungen über Funk oder Spionagesatelliten anzeigen.

Besuch einer Erdbebenstation

Nachdem wir schon eine Menge über Erdbeben erfahren haben, wollen wir einmal eine Erdbebenstation näher kennenlernen. Die wichtigsten Erdbebenwarten der DDR arbeiten in Moxa (Bezirk Gera), Collm (Bezirk Leipzig) und Berggießhübel (Bezirk Dresden). Auf der gesamten Erde sind es über 500 an der Zahl. Obwohl sie weit voneinander entfernt liegen, haben sie viele Gemeinsamkeiten. Der Besuch einer modernen Station ließe sich wie im folgenden vorstellen.



Seismometersaal der Untertagestation Tiefenort (Kreis Salzgungen) des Zentralinstituts für Physik der Erde Potsdam im stillgelegten Teil eines Kalibergwerks

Als Großstädter müssen wir früh aufstehen, um rechtzeitig am Ziel zu sein. Nur in der Gründerzeit der Erdbebenaufzeichnungen gab es arbeitende Seismographen in städtischen Institutionen und Laboratorien. Bald wurden Industrie- und Verkehrserschütterungen stärker als die feinen Signale von den fernen Kontinenten und Ozeanen und vertrieben die Bebenhorcher in die Stille der ländlichen Natur.

Nach einer guten Stunde auf der Fernstraße biegen wir in eine Nebenstraße ein, passieren einige Dörfer und folgen endlich einem schmalen Asphaltweg, der leicht bergan zu einem ausgedehnten Waldgebiet führt. Das vertraute Naturschutzzeichen mit der Eule mahnt uns am Waldrand zur Vorsicht. Noch ein paar Kurven und Anstiege, und vor uns steht auf einer Lichtung ein schmuckes zweistöckiges Gebäude. Kein Forsthaus, wie man unschwer an dem Herrn im weißen Kittel erkennt, der uns in der Tür erwartet.

„Seismologisches Observatorium“ lesen wir an der Pforte, und da begrüßt uns auch schon der diensthabende Seismologe. Wir atmen erst einmal die klare Luft ein und lauschen auf die wohltuende Stille. Ja, ruhig müsse es hier sein, meint der Wissenschaftler. Das gilt nicht so sehr für die Schallerscheinungen in der Luft, sondern mehr für das seismische Rauschen der Erde. Uns fällt auf, daß hier und da aus dem kargen Waldboden nackter Fels ragt. Wir stehen auf festem und kompaktem Gestein, dessen Wurzeln bis tief in die Erdkruste reichen. Man habe lange gesucht, um für die Meßgeräte ein seismisch so klares Fenster in die Tiefe zu finden, bestätigt der Seismologe unsere Vermutungen. Lockerer Sandboden sei da ungeeignet.

Während wir einen großen hellen Arbeitsraum – mit auffällig vielen Karten an den Wänden und einem riesigen Globus in der Ecke – betreten, erfahren wir gleich das Neueste: „Heute nachmittag war auf den Philippinen ein starkes Erdbeben.“ Verblüfft schauen wir auf die Uhr. Wir hatten uns doch beeilt. Tatsächlich ist es erst kurz nach 9 Uhr. Unser Gastgeber lächelt, er habe die ostasiatische Ortszeit gemeint, und dort breche ja schon der Abend herein. So wird uns auch gleich klar, daß man alle Bebenzeiten von Ortszeit auf Weltzeit (UTC = Universal Time Coordinated = Koordinierte Universalzeit) umrechnen muß, um sie vergleichen zu können. Das große Karfreitagbeben in Alaska vom 27. März 1964, 17.36 Uhr Ortszeit, wurde in Mitteleuropa am Ostersonnabend registriert. Manches morgendliche Japanbeben wird bei uns scheinbar schon am Abend des vorhergehenden Tages aufgenommen. Leider nur Uhrengaukelei und keine Erdbebenvorhersage . . .

Während wir noch unsere Schulkenntnisse über Zeitzonen auf dem Globus auffrischen, hat der Hausherr bereits die Tastatur eines Fernsehgeräts bedient, auf dessen Bildschirm Elektronenstrahlen, in mehreren parallelen Linien zappelnd, vorüberhuschen. Fernsehen einmal anders. Hier laufen die Kabel von den Seismographen zusammen, hier lassen sich die in elektrische Impulse umgewandelten Erschütterungen als Schwingungen sichtbar machen. Davon haben die Pioniere der seismischen Gerätetechnik von Ewing bis Golizyn nicht einmal träumen können. Da – auf Kanal 5 erscheint gerade die starke Oberflächenwelle des Philippinenbebens. Gleichzeitig schlägt auf dem Flur eine Klingel kurz an. Eine nützliche Spielerei des Elektronikers sei das einmal gewesen, bekommen wir erläutert. Starke Wellenzüge werden durch ein akustisches Signal eingeläutet. Das erspart unnützes Warten am Sichtgerät.

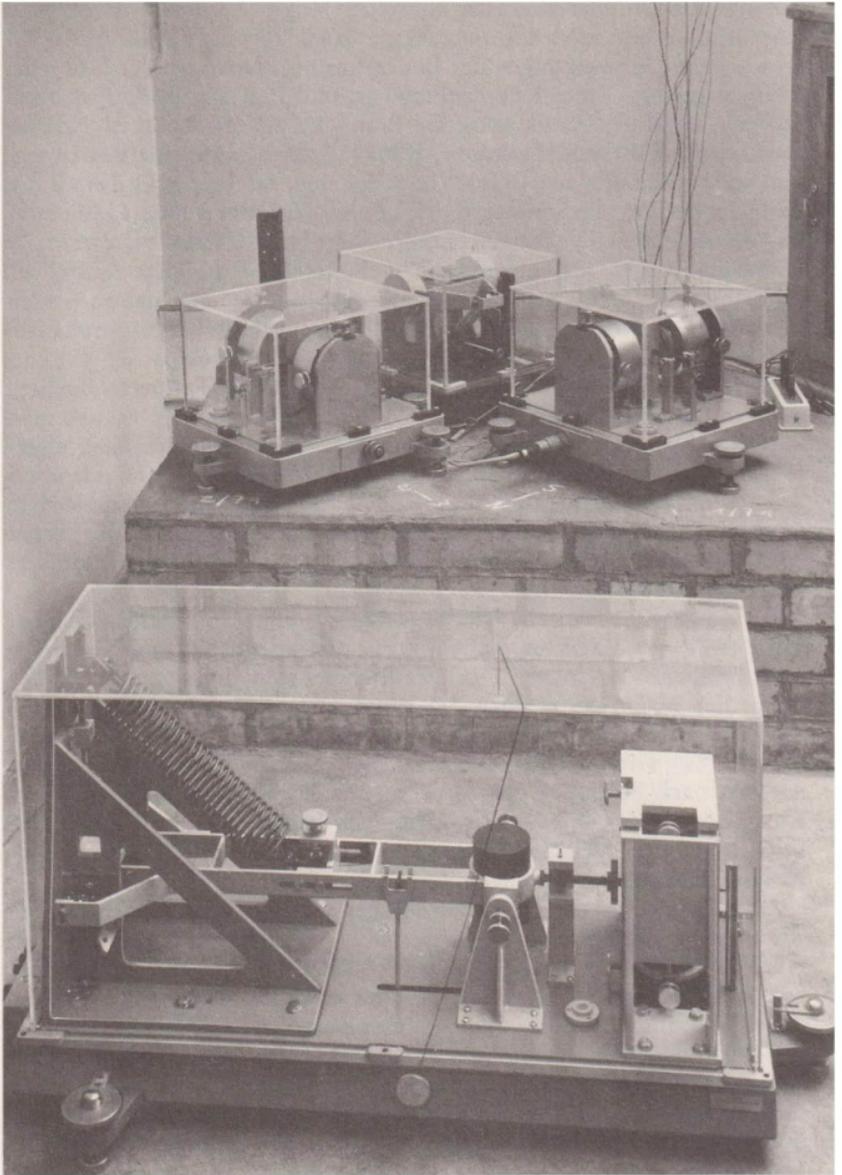
Der Seismologe prüft schnell alle Kanäle durch. Wir erfahren, daß etwa ein Dutzend nach Empfindlichkeit, Richtung und Auflösung verschiedene Seismographen auf der Station arbeiten. Während zum Beispiel

Kanal 5 auf Oberflächenwellen mit einer langen Periodendauer bis zu einer Minute besonders anspricht, zeigt Kanal 7 gerade die kürzeren und schwächeren Schwingungen der Bodenunruhe. Nachts sei der Störpegel deutlich geringer, meint der Seismologe und fügt hinzu, daß man bei Stürmen im Nordatlantik selbst die Brandung an der Steilküste Norwegens seismisch belauschen könne. Kanal 12 zeigt kaum eine Bewegung, und wir vermuten einen Defekt. Im Gegenteil, erfahren wir, das sei der Stolz der Station, ein Seismograph im Bohrloch einige hundert Meter unter unseren Füßen. Die Aufzeichnung erfolge fast störungsfrei, aber leider könne man wegen des Aufwands nicht alle Geräte in die Tiefe versenken.

Wichtige Aufgaben erfüllen auch die Außenposten der Station – kleinere und meist weniger empfindliche Geräte an Meßstellen, wo eine örtliche Überwachung von Erschütterungen wünschenswert ist. 25 km entfernt von der Station befindet sich in den Bergen eine Talsperre. Sie liegt in einem geologisch durch Brüche im Gestein gestörten Gebiet, und man hat vorsichtshalber von dort 3 Seismographen zur Überwachung angeschlossen. Aber bisher ist seismisch alles ruhig geblieben, und wir überzeugen uns am Sichtgerät, daß auch heute kein Grund zu irgendwelchen Maßnahmen besteht. Ja, der Bildschirm sei schon eine große Hilfe gerade bei der Schnelldiagnose von ankommenden Erschütterungen, bestätigt unser Seismologe.

Aber nun wollen wir endlich das Herzstück der Station sehen, den Geräteraum mit den Seismographen. Dazu müssen wir das Haus verlassen und uns über die Lichtung zu einem unscheinbaren, bunkerähnlichen Gebäude am Waldrand begeben. Im Hauptgebäude würde die Arbeitsunruhe die Meßgeräte stören. Ein paar Stufen führen in die Tiefe, eine schwere Tür wird geöffnet, und wir stehen in einem Vorraum, durch den wir erst nach Schließen der Außentür weitergeschleust werden. Unser Gastgeber erklärt, daß die Seismographen empfindliche Primaballerinen seien, die nur bei gleichbleibender Temperatur und Luftfeuchtigkeit ordnungsgemäß „tanzen“. Kein Luftzug darf stören.

Dann öffnet sich das Heiligtum. Als erstes fällt uns der tonnenschwere Wiechert-Seismograph in einem breiten Glasschrank auf. Die anderen Geräte sind nicht größer als Handkoffer. Ringsum Stille. Nichts ist zu hören, keine Bewegung zu sehen. Allenfalls kann das geübte Auge noch an Auslegern aufgehängene Spulen erkennen, innerhalb deren wir die schwingenden Massen vermuten. Wie in einem Museum stehen die Kostbarkeiten auf flachen, aber massigen Betonsockeln. Diese haben keine Verbindung zum Fußboden, sondern sind direkt in den Fels eingelassen. Sonst würde unser Besuch auf den Registrierungen ein mittelschweres Beben vortäuschen.



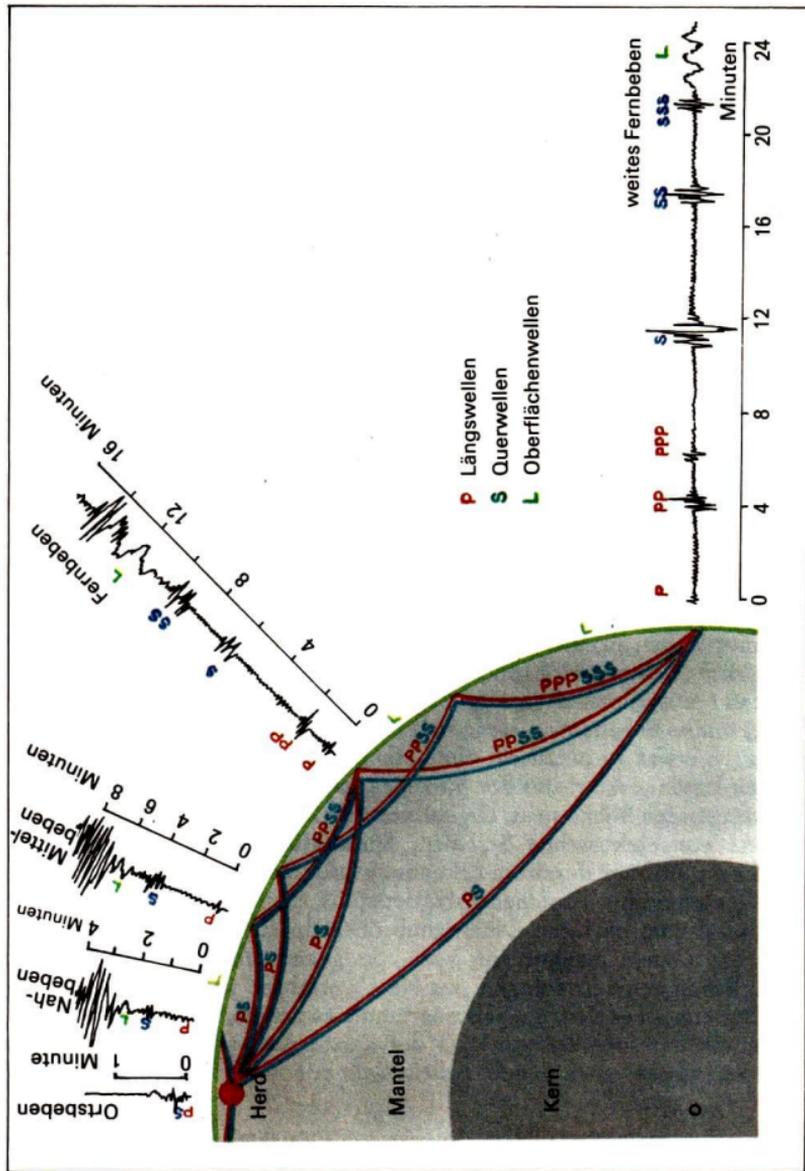
Aber wo sind sie denn, die Registrierungen, die Seismogramme, die uns die Geheimnisse des Erdinnern verraten sollen? Die lasse man sich per Stromkabel ins Hauptgebäude kommen, erläutert der Fachmann und fügt hinzu, daß wir eigentlich keine Erdbebenschreiber oder Seismographen, sondern Erdbebenmesser oder Seismometer (griech. metrein = messen) vor uns haben.

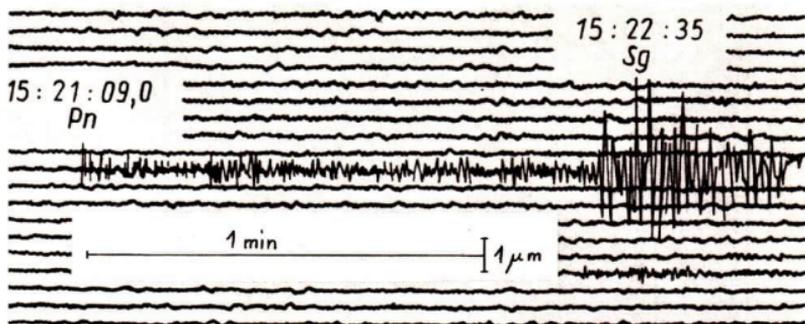
Behutsam schließen wir wieder die Türen, verlassen das Kellergewölbe und gehen zurück in das Hauptgebäude. Natürlich ist der Stationsdienst leichter, wenn die Mitarbeiter nicht bei jedem Wetter ins Freie müssen, um zu den Aufzeichnungen zu gelangen. Schon haben wir den Registrierungsraum erreicht. Als erstes warnt uns ein Verbotsschild an einer Seitentür vor allzu großer Neugier. Dahinter scheint die Dunkelkammer zu liegen. Dort überträgt ein beweglicher Lichtstrahl die Schwingungen auf empfindliches Fotopapier, das auf langsam rotierende Trommeln gespannt ist.

Seit einiger Zeit wird auch auf Magnetband registriert, berichtet unser Begleiter. Erst jetzt bemerken wir, daß wir in einem Raum stehen, der einem kleinen Rechenzentrum ähnelt. Magnetbandlaufwerke surren, auf der Anzeigekonzole eines Kleinrechners flammen farbige Lämpchen auf. Die Signale von den Seismometern werden hier als Zahlenfolgen verschlüsselt und mit dem Zeitzeichen auf Magnetbändern gespeichert. So lassen sich die Daten aufbewahren und sind für eine spätere Spezialbehandlung zugänglich. Führt das nicht bei der Dauerregistrierung so vieler Seismographen zu einer Riesenhalde von beschriebenen Magnetbändern? Natürlich, deshalb wird rund um die Uhr auch in Parallelschrift auf die breiten Fotopapierstreifen aufgezeichnet. Die Magnetbänder nehmen nur ausgewählte Bebenereignisse in sich auf. Das sei doch heute kein Problem mehr, so etwas automatisch, ohne Handschaltung am Sichtgerät, ablaufen zu lassen, erklärt uns der hinzugekommene Elektroniker, als er unsere fragenden Blicke sieht. Digitalisierung (Zahlenverschlüsselung) eines Pakets von elektrischen Signalen, Speicherung im „Gedächtnis“ des Rechners, Abfrage durch ein Erkennungsprogramm aus dem Rechenhirn, die Gesuchten ins Töpfchen (Magnetband), der Rest bleibt im Speicher und wird vom nächsten Datenschub überschrieben, erneut Abfrage ... und das Ganze beginnt von vorn. So gehen jährlich etwa 2000 bis 3000 Beben den Seismologen „ins Netz“, erfahren wir.

Aber nun sei es Zeit, die Seismogramme zu zeigen, meint unser Führer; denn um derentwillen werde ja der ganze Aufwand betrieben. Dazu könnten wir es uns in seinem Arbeitszimmer etwas bequemer machen.

Seismometer am Geophysikalischen Observatorium Collm (Kreis Oschatz) der Karl-Marx-Universität; im Vordergrund ein Vertikalseismometer





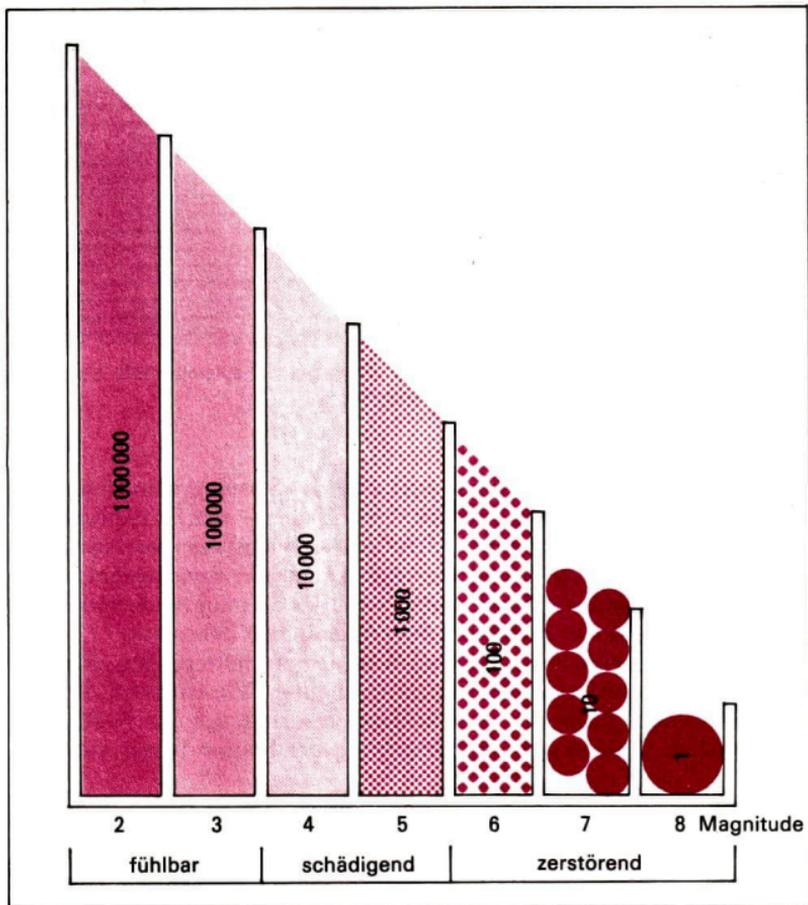
Seismogramm eines Bebens von Friaul am Nachmittag des 15. September 1976, aufgenommen am Observatorium Collm (nach Tittel und Merkel)

Für uns ist schon einiges vorbereitet. Hier ein Seismogramm von einem Fernbeben aus der Südsee. Die einzelnen Wellen – der Seismologe sagt Phasen dazu – sind weit auseinandergezogen. Buchstabenkombinationen kennzeichnen die Phasen, und wir erinnern uns der verschiedenen Wellenwege durch die Erde. Ganz anders sieht das Seismogramm von einem nur 500 km (Luftlinie) entfernten oberitalienischen Beben aus.

Dann betrachten wir die Aufzeichnung der Erschütterungen einer wenige Kilometer entfernten Steinbruchsprengung. Wir erfahren, daß solche künstlichen „Erdbeben“ sehr willkommen sind, um den Aufbau der geologischen Schichten in der Umgebung der Station besser zu erforschen.

Schließlich möchten wir wissen, wie stark und wie häufig die Beben auf der Erde sind. Es gebe eine Faustregel, meint der Seismologe ein wenig zögernd. Sie sei nicht sehr genau, Abweichungen von 10 bis 20 Prozent kämen vor. Wir drängen ihn trotzdem; denn uns genügt eine ungefähre Angabe. Also gut, hier die Anzahl der Beben je Jahr: 1 Beben mit Magnitude $M = 8$, 10 mit $M = 7$, 100 mit $M = 6$, 1000 mit $M = 5$, 10 000 mit $M = 4$, 100 000 mit $M = 3$. . .

Eine exakte Umrechnung der Magnituden in Intensitäten ist aus physikalischen Gründen nicht möglich. Die Intensitäten sind Schätzgrößen der Wirkungen, die Magnituden Meßgrößen der Herdstärke. Aber, so ergänzt unser Seismologe, es gebe eine aus vielen Einzeluntersuchungen gut gesicherte Formel, mit der sich aus der Magnitude die Energie be-



Anzahl der Beben je Jahr

rechnen lasse. Wir bekommen eine Grafik in die Hand gedrückt, aus der wir die Maßzahlen der Magnitude in Energie und gleichzeitig in Tonnen des Sprengstoffs TNT (Trinitrotoluol) umrechnen können. Demnach entsprechen zum Beispiel die stärksten Beben mit einer Magnitude über 8 dem gesamten Jahresenergieverbrauch der Menschheit. Bei den stärksten mitteleuropäischen Beben der Magnitude 5 bis 6 verpufft nutzlos in Se-

kundenschnelle die Energie von etwa 1000 t TNT. Das sind etwa 1000 Milliarden Joule oder eine Million Kilowattstunden. Damit könnten etwa 20 000 PKWs je 100 km auf der Autobahn fahren oder eine Großstadt einen Tag mit Elektroenergie versorgt werden. An eine praktische Nutzung von Erdbebenenergie ist jedoch selbst in den kühnsten Träumen nicht zu denken.

Rechnen wir Erdbebenenergie in Bewegungsenergie des freien Falles um, dann müßte ein Granitfelsen von der Masse des Leipziger Völkerschlachtdenkmal 10 cm fallen, um das Leipziger Beben von 1982 hervorzurufen. Bei einem Beben wie in Posterstein bei Gera im Jahr 1872 betrüge die Fallhöhe der gleichen Masse schon 3 km.

Bevor wir das Blatt mit den Magnitude-Energie-Beziehungen sorgfältig verstauen, merken wir uns noch, daß eine Änderung der Magnitudenwerte nicht die gleiche Änderung der Energiewerte bewirkt. Ein Beben mit einer um 1 höheren Magnitude setzt die dreißigfache Energie frei — nicht, wie wir glaubten, die doppelte Energie. Letzteres geschieht bereits bei 0,2 Magnitudeneinheiten. 2 Magnitudeneinheiten entsprechen der tausendfachen, 3 Magnitudeneinheiten der dreißigtausendfachen Energie.

Unser Seismologe springt auf, als plötzlich ein Summen ertönt. 11 Uhr! Er muß zum Fernschreiber. Während es nebenan zu klappern beginnt, klärt uns ein Techniker auf, daß jetzt die Wochenergebnisse unserer Station zu den Welt Datenzentren nach Moskau, Edinburgh und Washington durchgegeben werden. Das geschieht in einer Kunstsprache ähnlich der von Fluglotsen.

In den Regalen hatten wir schon dicke Bände mit der Aufschrift „Bulletin“ gesehen und erfahren nun, daß es Erdbebenkataloge sind, die die überarbeiteten Daten aller an die Zentren meldenden Stationen von den Kontinenten und vielen Ozeaninseln enthalten. Erdbeben muß man mit Meßnetzen fangen. Je dichter die Maschen geknüpft sind, desto höher ist die Ausbeute. Allein in der Sowjetunion wuchs die Anzahl der seismischen Stationen von 17 im Jahr 1917 auf über 200 im Jahr 1977 an.

Daß in den Weltkatalogen unter 10 000 vom Computer richtig erkannten und zugeordneten Beben auch einmal ein Irrläufer auftaucht, vermerken die Seismologen mit Schmunzeln. So wurde der Herd eines Erdbebens vom 15. März 1974 ins Gebiet des Fichtelbergs gelegt, weil der unkritische Computer Fehleinschätzungen von Bebenphasen durch einige mitteleuropäische Stationen für bare Münze nahm. Zum Glück hatte das Beben auf einer unbewohnten Südseeinsel nahe den Fidschis stattgefunden.

Ein berühmter Seismologe hat einmal die Erdoberfläche mit einer

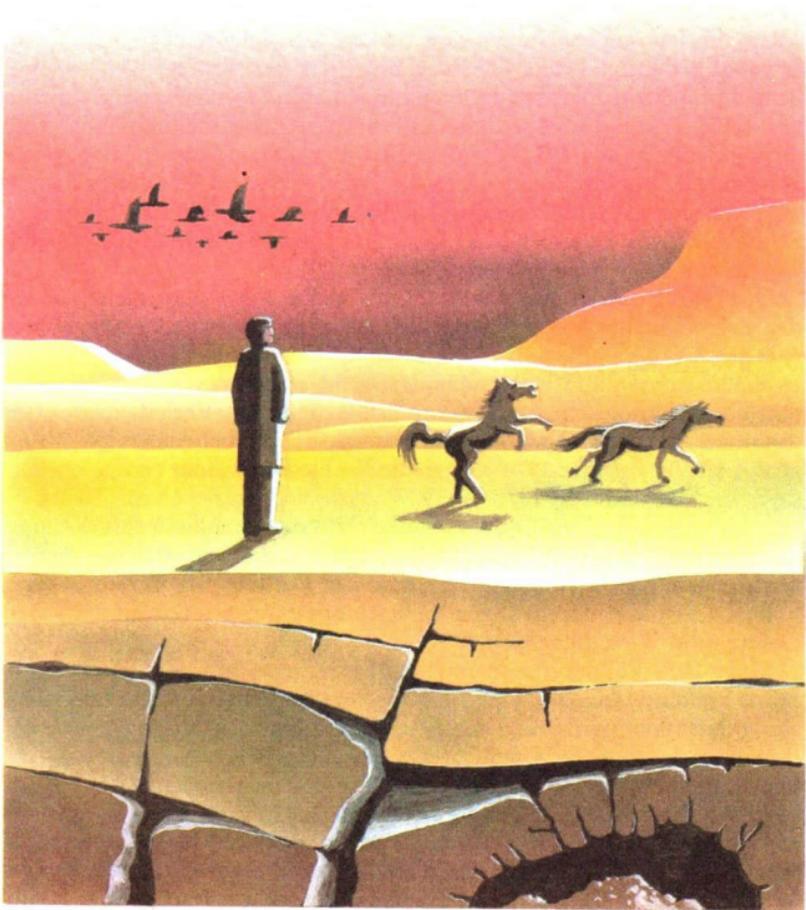
Röntgenplatte verglichen. Das Erdbeben ist die Röntgenstrahlquelle. Die Stationen stellen die Silberbromidkristalle dar. Je mehr es sind, desto schärfer wird das Bild vom Innern. Die „fotochemische Entwicklung“ der Röntgenaufnahme erfordert Überlegungen und Berechnungen. Es bedarf noch vieler „Röntgenblitze“ und des kriminalistischen Spürsinnns der Wissenschaftler, um das Erdinnere so klar zu erkennen, daß wir gesicherte Vorhersagen für künftige Beben treffen können.

Der internationale Austausch seismologischer Angaben zwischen den Datenzentren und auch zwischen Stationen vieler Länder geschieht über Fernschreiber, Briefpost, Funk oder Satelliten. Wir erinnern uns der zahlreichen Antennen auf dem Dach des Gebäudes, in dem wir uns befinden. Seismologische Datenerfassung und -übermittlung ist Hoheitsaufgabe jedes Landes und wird von den Spezialorganisationen der UNO gesteuert. Der Datenaustausch bildet ein nachahmenswertes Beispiel täglich mit Erfolg praktizierter wissenschaftlicher Zusammenarbeit von Staaten unterschiedlicher gesellschaftlicher Systeme.

Inzwischen hat unser Seismologe seine Meldungen durchgegeben, und wir erfahren von ihm, daß die Erdbebenforschung einen nicht unwesentlichen Beitrag zur Sicherung des Friedens leistet. Heute lassen sich unterirdische Kernexplosionen bis zu einer Sprengkraft, die einer Tonne TNT entspricht, durch seismologische Stationen noch in mehr als 1000 km Entfernung erfassen und orten. An den charakteristischen Merkmalen ihrer Erschütterungswellen werden sie erkannt und entlarvt. Das gilt auch für Kernwaffentests, die durch allerlei Tricks, wie Erdbebenvortäuschung oder Zündung während eines Bebens, verschleiert werden sollen. Damit ist jenen der Boden entzogen, welche Kernexplosionen als unkontrollierbar hinstellen wollen.

So wird deutlich, daß die brennenden Probleme unserer Zeit nicht vor der Waldidylle eines seismologischen Observatoriums haltmachen. Wir verabschieden uns von unseren freundlichen Gastgebern in der Gewißheit, daß man hier allzeit auf seinem Posten steht.

Erdbebenvorhersage – Traum oder Wirklichkeit?



Erste Erfolge

Wo sich asiatisches Festland und Stiller Ozean berühren, liegt das Gelbe Meer. Es hat seinen Namen von den trüben, lehmreichen Fluten des Hwangho, der sich in eins der Randmeere des Pazifiks ergießt. Das Land ist nicht nur fruchtbar, sondern auch reich an Bodenschätzen. Millionen von Menschen bietet es seit alters bevorzugte Lebensbedingungen. Eine ertragreiche Landwirtschaft und eine leistungsfähige Industrie haben sich entwickelt. Aber die Randgebiete des Pazifiks gehören zu den seismisch aktivsten der Erde. Die Gefahren der Erdbeben lauern dort überall im Schoß der Tiefe. Das seismische Risiko für Mensch und Material ist hoch. Oft kommt es zu Schadenbeben.

Dort, wo die Halbinsel Liaodong ins Gelbe Meer ragt, gleichsam an der Schweißnaht zweier unterschiedlicher Landgebiete, treten immer wieder „Reibereien“ auf. 1970 erklärten die Wissenschaftler dieses Gebiet zu einem besonderen Untersuchungsobjekt wegen der hohen Bebengefährdung. Geologische Studien zur Erforschung des Verhaltens der Gesteine im Untergrund wurden angefertigt, die Erdbebenaktivität genau analysiert. Im Februar 1974 kamen die Fachleute zu einer ersten Vorhersage: Im Zeitraum von 1975 bis 1977 werde sich ein Beben der Stärke $M = 6$ nach der Richter-Skala ereignen. Für den dichtbesiedelten Landstrich wäre das eine Katastrophe. Es galt, Ort und Zeitpunkt des Bebens noch genauer zu bestimmen. Die Zahl der Forscher wurde auf 300 erhöht. Tausende von freiwilligen Beobachtern unterstützten mit einfachen Geräten die Wissenschaftler.

Mitte 1974 konnte man bereits mit Sicherheit sagen, daß sich die gesamte Halbinsel Liaodong langsam aus dem Meer heraushebt und gleichzeitig nach dem nordwestlichen Festland abkippt. Die Zahl der mit empfindlichen Instrumenten meßbaren schwachen Beben nahm ständig zu. Die Magnetometer, Geräte zur Messung des magnetischen Verhaltens der Erde, zeigten immer höhere Werte an. Im Juni 1974 wurde erstmals die Bevölkerung von den staatlichen Behörden offiziell über das herannahende Beben informiert. Mit der Warnung setzte eine breite Aufklärungskampagne ein. Erste Schutzmaßnahmen wurden vorbereitet. Neben Er-

schütterungs-, Neigungs- und Magnetfeldmessungen umfaßte das Prognoseprogramm die Überwachung von Brunnen.

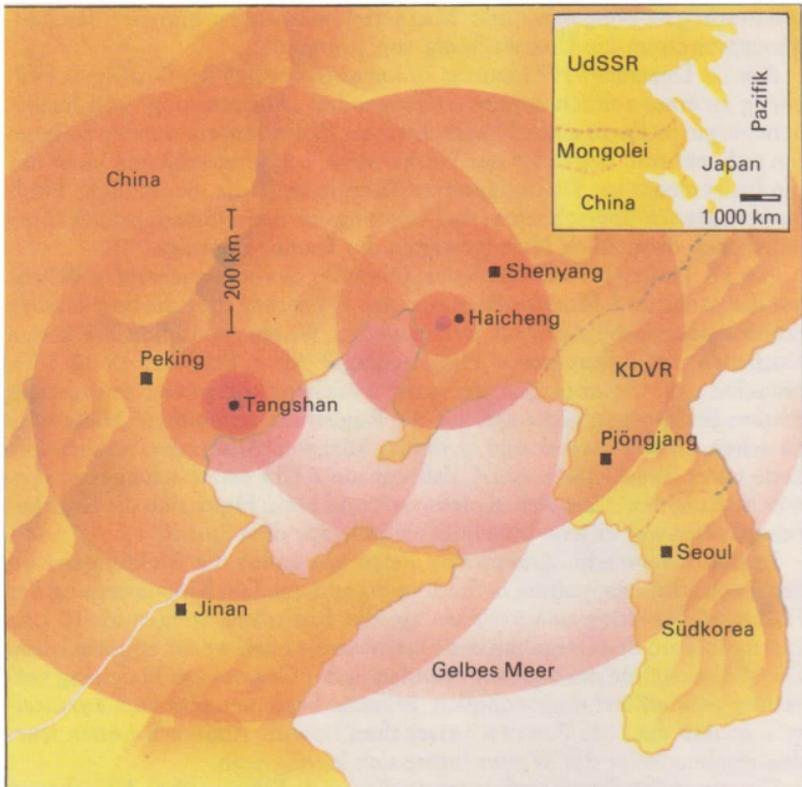
Am 22. Dezember 1974 kam es 70 km nordwestlich der Großstadt Haicheng zu einer zeitlich zusammenhängenden „Abstotterung“ von Erdbebenenergie in Form eines Bebenswarms. Kurz hintereinander ereigneten sich mehrere Beben bis zur Stärke $M = 4,8$. Jetzt schlugen nicht nur die Instrumente an. Die freigesetzte Energie hatte die menschliche Fühlbarkeitsgrenze überschritten. Auf Meetings in den Dörfern und Städten wurde den drohenden Naturgewalten der Kampf angesagt.

Am 13. Januar 1975 ließ sich der Zeitpunkt des bevorstehenden Bebens auf die nächsten 5 Monate einengen. Am 1. Februar stieg die bereits stark erhöhte seismische Aktivität nochmals an. Waren das schon die ersten Vorbeben des gefürchteten Hauptschlags? Ab 3. Februar, 18.30 Uhr, brauchten die Seismologen der nahe Haicheng gelegenen seismischen Station Shihpengyu nicht erst auf die Registrierstreifen ihrer Meßgeräte zu sehen. Immer stärker und in immer kürzeren Abständen rumorte die Erde unter ihren Füßen. Am 4. Februar um 8 Uhr setzte schlagartig seismische Ruhe ein. Kein Beben mehr weit und breit. Hatte sich die Erde beruhigt, oder war es jene unheimliche Stille vor dem Sturm?

In den Überwachungszentralen liefen pausenlos die Meldungen von den Beobachtungspunkten in Stadt und Land ein. Die Kippbewegung der Halbinsel Liaodong nahm weiter zu, die Erdströme stiegen ab 10 Uhr sprunghaft an, der Gasegehalt des Quellwassers blieb weiter abnorm hoch. Die Wasserstände der meisten Brunnen in der Gegend um Haicheng verhielten sich äußerst ungewöhnlich. Manche begannen plötzlich anzusteigen, so daß man die Pumpen ausschalten konnte. Andere Brunnen wurden trocken, oder das Wasser färbte sich lehmig-trüb.

Eine merkwürdige Unruhe war an diesem 4. Februar über die Lebewesen gekommen. Viele Gänse hörten nicht auf zu schnattern, Hunde kläfften auffälliger als sonst, manche Schweine ließen sich nicht zum Fressen bewegen. Vielerorts schnaubten Kühe und Pferde in ungewohnter Weise. Ratten, sonst eine Plage in diesem Gebiet, waren schon seit Tagen wie vom Erdboden verschwunden. Schlangen kamen mitten im Winter aus ihren Schlaflöchern hervor. Auch manche Menschen fühlten, daß „etwas in der Luft lag“.

Bereits um 3 Uhr morgens hatten sich die diensthabenden Seismologen zu dem verantwortungsschweren Entschluß durchgerungen, die Behörden der Provinz zu benachrichtigen. Ihre Warnung: Das erwartete Starkbeben werde mit hoher Wahrscheinlichkeit am selben Tag stattfinden. Dramatische Stunden standen bevor. Am Morgen waren alle Stadtkomitees und Kommunen benachrichtigt. Um 10.30 Uhr gab man Katastrophen-



Erdbeben von Haicheng 1975 und Tangshan 1976

alarm. Die Einwohner wurden evakuiert, materielle Werte nach Möglichkeit gesichert. Medizinische Trupps gingen in Bereitschaft, Stützpunkte der Ersten Hilfe waren aufgebaut, Bedürftige fanden in Zelten Notunterkunft.

Es war ein frostklarer Wintertag. Voll Sorge erwarteten die meisten Menschen unter freiem Himmel die hereinbrechende Nacht. Um 19.36 Uhr Ortszeit nahte ein unterirdisches Grollen, der Boden begann zu vibrieren. Dann ein furchtbarer Schlag – der Hauptstoß. Eine Fläche von 1000 km², auf der mehr als eine halbe Million Menschen wohnten, wurde schwer in Mitleidenschaft gezogen. Allein in der 100 000 Einwoh-

ner zählenden Stadt Haicheng, in deren unmittelbarer Nähe das Epizentrum des Bebens lag, waren 90 Prozent der Gebäude zerstört. Im gesamten Bebengebiet betrug der mittlere Beschädigungsgrad der Bauwerke über 50 Prozent. Hunderttausende waren obdachlos geworden, die Zahl der Toten oder Verletzten aber blieb mit einigen Hunderten verhältnismäßig gering. Nach 1 bis 2 Minuten war die Erde wieder ruhig. Ein Erdbeben der Stärke $M = 7,3$ hatte sich ausgetobt.

In Haicheng gelang 1975 die erste große erfolgreiche Erdbebenvorhersage in der Geschichte der Menschheit.

An der Eisenbahnlinie, die von Peking nach Haicheng führt, liegt etwa beim Kilometer 250 die Millionenstadt Tangshan. Anfang der siebziger Jahre hatte auch hier – wie in fast ganz Nordchina – die Erdbebentätigkeit zugenommen. Seit 1972 bestand ein umfangreiches Programm zur Beobachtung von Erdbebenvorläufern. Im Juni 1974 und Januar 1976 wurden mittelfristige Vorhersagen für die nächsten Jahre gegeben. Man wußte Anfang 1976, daß sich mit großer Wahrscheinlichkeit noch im selben Jahr im Gebiet um Tangshan ein Starkbeben mit mindestens $M = 6$ nach der Richter-Skala ereignen würde. Angestrengt arbeitete ein Stab von Fachleuten an der dringend benötigten Kurzzeitvorhersage. Man kann ein riesiges Industrie- und Siedlungszentrum höchstens für Tage, aber nicht für Monate oder Jahre evakuieren.

Die Lage war undurchsichtig. Nach dem erfolgreich vorhergesagten Haichengbeben vom Februar 1975 traten verstärkt Schwarmbeben auf, auch wechselten schwache und mittlere Beben in scheinbar ungeordneter Folge einander ab. Die Seismologen erkannten kein System einer seismischen Entwicklung zu einem Starkbeben. Nach jedem mittelstarken Beben konnte man Abklingeffekte beobachten, die sich allmählich wieder aufschwangen. Eine klare Trennung zwischen den einzelnen Bebenreihen war nicht möglich. Auch die Beobachtung der elektrischen und magnetischen Veränderungen, der Quellentätigkeit und des Verhaltens der Tiere erlaubte keine eindeutigen Schlüsse.

Schon war die Jahresmitte überschritten, ohne daß die Verantwortlichen genügend Gründe für eine unmittelbare Katastrophenwarnung hatten. Da schlug am 28. Juli 1976 um 3.42 Uhr Ortszeit die Natur zu. 15 km unter der Stadt Tangshan entfesselte sich ein Beben der Stärke $M = 7,8$. Binnen weniger Sekunden wurden auf einer Fläche von 47 km^2 alle Bauwerke total vernichtet, auf 350 km^2 lagen die Schäden bei 80 Prozent, auf 1800 km^2 war die Hälfte der Wohn- und Industriebauten zerstört. Nach unsicheren Schätzungen hatten fast eine halbe Million Menschen ihr Leben verloren. Das waren wahrscheinlich die höchsten Verluste an Menschenleben, die jemals von einem Erdbeben verursacht wurden. Trotz vie-



Bewohner Pekings verließen ihre Wohnungen aus Furcht vor neuen Erdstößen nach dem Tangshanbeben.

ler Anzeichen, die das kommende Unheil ahnen ließen, konnten die Wissenschaftler den genauen Zeitpunkt nicht vorhersagen; ihnen fehlte das Glück, das auch der Tüchtige haben muß.

Im Süden Mexikos, wo die Gebirgsketten der Südlichen Sierra Madre den Pazifischen Ozean erreichen, liegt der Bundesstaat Oaxaca. Dieses Gebiet gehört nicht nur zu den landschaftlich reizvollsten, sondern auch zu den seismisch aktivsten Regionen der Welt. Schadenbeben sind nicht selten. So hatte im August 1968 in der Küstenstadt Pinotepa Nacional ein Beben mit der Magnitude 7,5 größere Gebäudeschäden angerichtet. Danach ereignete sich jahrelang kein stärkeres Beben mehr. Mitte 1973 hörten auch die in dieser Gegend sehr häufigen, ungefährlichen Kleinbeben auf. Totale seismische Ruhe war eingetreten. Das veranlaßte 1977 eine Gruppe von Erdbebenforschern der Universität Texas unter der Leitung von *Masakazu Ohtake*, in einer europäischen geophysikalischen Zeitschrift die Vermutung zu äußern, daß sich in Kürze ein Starkbeben der Magnitude 7 bis 8 im Raum von Pinotepa Nacional ereignen werde. Die Wissenschaftler bezeichneten ein bedrohtes Gebiet von 10 000 km², machten aber keine konkrete Zeitangabe. Immerhin war dies die erste Vorhersage dieser Art in einer internationalen wissenschaftlichen Zeitschrift.

Am 7. Februar 1978 schickten daraufhin 2 Touristen Briefe an den Präsidenten Mexikos und den Bürgermeister von Pinotepa Nacional. Aus falsch verstandenen Fakten wurde hierin ein mit großen Flutwellen verbundenes Starkbeben in der Stadt für den 23. April 1978 „vorausgesagt“. Der Inhalt der Briefe drang an die Öffentlichkeit, verbreitete sich rasch und wurde durch Gerüchte weiter entstellt. Die über den wahren Sachverhalt nicht informierte Lokalpresse tat ein übriges. Eine regelrechte Erdbebenpsychose brach aus. Viele Menschen verkauften ihr Hab und Gut und verließen ihre Wohnungen, um sich in anderen Städten in Sicherheit zu bringen. Bodenspekulanten tauchten auf und erwarben Land zu billigen Preisen. Auch die Nachbarstaaten Guerrero, Michoacán und Puebla wurden von der Erdbebenpanik erfaßt.

Am 10. April 1978 prangte auf der Titelseite einer der größten Tageszeitungen der Metropole Mexiko-Stadt die Schlagzeile „Universität von Texas sagt großes Mexikobeben voraus“. In dem Artikel war zu lesen, daß das bevorstehende Beben in Oaxaca stärker als die Katastrophen von Managua 1972 und Guatemala 1976 sein würde. Obwohl eine genaue Zeitangabe fehlte, brachte jeder, der es wollte, den 23. April ins Spiel. Und es waren viele. Besonders an der mexikanischen Pazifikküste von Acapulco bis Salina Cruz blühten die phantastischsten Storys und lösten überhitzte Reaktionen aus.

Der 23. April war ein Sonntag, heiß und sonnig in Pinotepa Nacional. Vernünftige Leute hatten immer wieder versucht, die erregten Gemüter zu beruhigen. *Moises Cabrera Tellez*, der Bürgermeister, hatte, entrüstet über die Panikmacherei, zu Ruhe und Disziplin gemahnt. Immerhin gelang es ihm und seinem Stadtrat, den Anteil der geflüchteten Bevölkerung mit 20 Prozent relativ niedrig zu halten. Meist handelte es sich dabei um begüterte Bürger oder Zugereiste. Der Großteil der Bevölkerung, ohnehin an Erdbeben gewöhnt, hatte sich doch entschlossen, der Gefahr ins Auge zu sehen. *Eliseo Jimenez Ruiz*, der Gouverneur des Staates Oaxaca, war mit anderen Politikern eigens nach Pinotepa Nacional gekommen, um durch seine Anwesenheit ein Beispiel zu geben. Man hatte ein Volksfest mit Tanzgruppen und Musikanten organisiert, um die Menschen abzulenken. Vorsichtshalber wurde empfohlen, sich im Freien aufzuhalten. Alles verlief ohne Zwischenfälle. Lediglich um 17.40 Uhr vernahm man ein leises unterirdisches Grollen, das, wie sich später herausstellte, von einem 100 km landeinwärts gelegenen schwachen Beben stammte. Kurz nach Mitternacht schaute Jimenez Ruiz dann doch etwas erleichtert auf die Uhr, dankte für die Gastfreundschaft und empfahl sich mit seinem Gefolge in die Landeshauptstadt Oaxaca. Die Katastrophe hatte nicht stattgefunden.

Anfang November 1978 wurde von 3 Wissenschaftlern der Universidad Nacional Autónoma de México im Küstengebiet von Oaxaca ein Verbundsystem von tragbaren Seismometern aufgebaut, um dort der Erde auch die leisesten Töne abzulauschen. Nachdem man 2 Wochen lang eine für weitere Prognosen sehr aufschlußreiche Mikrobewertung registriert hatte, ereignete sich das von den Forschern um Ohtake angekündigte Beben am 28. November des Jahres bei Puerto Ángel innerhalb des seismischen Meßnetzes. Es hatte die erwartete Magnitude 7,5, richtete leichte Schäden an und wurde noch Hunderte von Kilometern entfernt in Mexiko-Stadt gefühlt.

Das Geschehen von Oaxaca 1978 zeigt die Widersprüchlichkeit in der Bewertung von Bebenvorhersagen. Für die meisten „Betroffenen“, die die Zusammenhänge nicht kannten, war es eine fehlgeschlagene Prognose, für die Wissenschaftler ein ermutigender Erfolg auf ihrem mühsamen Weg der Erkenntnis.

Zwischen den riesigen immergrünen Dschungelwäldern des Amazonasgebiets und der schier endlosen blauen Wasserwüste des Stillen Ozeans recken sich die schneebedeckten Faltegebirgsketten der Anden in den Himmel. Dort, knapp unterhalb des Äquators, leben im südamerikanischen Staat Peru 14 Millionen Menschen. Die meisten von ihnen sahen dem Jahr 1981 mit besonderer Sorge, ja Angst entgegen. Zwar hatten in den letzten 400 Jahren allein 90 schwere Erdbeben das Land erschüttert, aber man war an sie gewöhnt und irgendwie auch immer mit ihren Folgen fertig geworden.

Je näher das Jahr 1981 rückte, desto hartnäckiger jedoch setzte sich in den Köpfen – zumindest breiter Kreise der städtischen Bevölkerung – ein Gerücht fest und verbreitete Unruhe. Das Schreckgespenst von einem katastrophalen Erdbeben, dem Jahrhundertbeben in Südamerika, nahm immer mehr Gestalt an, wirkte von Monat zu Monat bedrohlicher. Im Jahr 1980 tauchten in manchen peruanischen Zeitungen schon Horrorschilderungen von einem „bevorstehenden Weltuntergang“ auf.

Gab es tatsächlich ernst zu nehmende Anzeichen für ein besonderes Erdbeben, und wer brachte die Prognose unter die Leute? Niemand wußte es genau zu sagen.

Im Jahr 1975 hatte der amerikanische Physiker *Brian Brady* in einer Fachzeitschrift die These vertreten, daß sich zwischen Juni und September 1981 in der Nähe der peruanischen Hauptstadt Lima ein Erdbeben der Stärke 8,5 auf der Richter-Skala ereignen könne. Er gründete seine Behauptungen auf die Tatsache der Bewegungen des südamerikanischen Kontinents gegen den Stillen Ozean. Damit ist die Verschluckung des viele Kilometer mächtigen Ozeanbodens unter dem Küstenstreifen, auf

dem auch Peru liegt, verbunden. Es treten Reibungen auf, die zu Spannungen führen und sich von Zeit zu Zeit in Form von Erdbeben entladen. Brady glaubte ein Verfahren gefunden zu haben, aus diesen Bewegungen und der Beobachtung vieler größerer und kleinerer Erdbeben der letzten Jahre den Ort, die Stärke und den ungefähren Zeitpunkt des nächsten Superbebens abschätzen zu können. In einem Gespräch mit der in Lima erscheinenden Zeitschrift „Caretas“ soll er sich 1980 auf den Monat Juni 1981 festgelegt haben. Der genaue Zeitpunkt des Beginns der Katastrophe sei dann nach weiteren Verbesserungen seiner Hypothese auf den 28. Juni 1981 präzisiert worden. Das Epizentrum des Bebens sollte in der Fischerstadt Pisco liegen.

Was der Wissenschaftler tatsächlich gesagt hatte und was journalistische Sensationsgier hinzudichtete, konnte niemals genau geklärt werden. In der Öffentlichkeit verfehlten aber derartige „wissenschaftliche Enthüllungen“ nicht ihre Wirkung, zumal die Peruaner sehr genau wußten, daß ihr Land seit 1940 etwa alle 10 Jahre von einem schweren Beben heimgesucht wurde. Das bisher schlimmste, von 1970, hatte mehr als 50 000 Menschenleben gefordert. In der Hauptstadt selbst war es immer relativ ruhig geblieben. Doch 1974 hatte es in der Umgebung von Lima, wo der Boden aus lockeren Felsbrocken, Sand und Schlamm besteht und nur die großen Neubauten durch diese Schicht hindurch im festen Untergrund verankert sind, 80 Tote und einen Sachschaden von mehreren Millionen Dollar gegeben. Neunmalkluge werteten dieses Ereignis im nachhinein als letzten „Warnschuß“.

Namhafte Seismologen, auch des Auslands, meldeten erhebliche Bedenken gegenüber der scheinbaren Exaktheit der Vorhersage an. Maßgebliche Persönlichkeiten Perus ersuchten die USA um eine Stellungnahme. Ein dort gebildeter Expertenrat erklärte sich außerstande, die Prognose zu widerlegen oder aber zu bestätigen. Der Direktor der Zivilverteidigung Perus, Konteradmiral *Edmundo Masias*, sagte: „Brady betreibt mit simplen Wahrheiten Spekulation. Jeder weiß, daß Peru eines der erdbebengefährdetsten Gebiete der Welt ist. Das nächste Beben kommt bestimmt, aber wann und wie stark es sein wird, das hat noch niemand mit Sicherheit vorhersagen können.“* „Wie auch immer“, schloß sich der Präsident des Peruanischen Roten Kreuzes, *Juan Garland Combe*, an, „wir sind gegen Panikmacherei und müssen doch auf alles vorbereitet sein.“** Im April 1981 schließlich erstattete der angesehene peruanische Anwalt *Cesar Augusto Lozano* bei einem Gericht in Lima

* „Die Wahrheit“, 28. April 1981

** ebenda

eine nicht alltägliche Anzeige. Er warf dem US-Physiker vor, in Peru Unruhe ausgelöst zu haben, und forderte Ersatz für einen Schaden von mehreren Millionen Dollar, der durch das Ausbleiben Zehntausender von Touristen entstehe.

Ein ganz normaler Tag wurde der 28. Juni 1981 für Peru freilich nicht. Der Radiosender Miraflores in der Hauptstadt Lima begann an diesem neblig-trüben Sonntag seine stündlichen Nachrichtensendungen immer wieder mit der Bemerkung, das Beben habe sich nicht ereignet und eine Flutwelle vom Pazifik sei nicht in Sicht. Jeder könne seinen normalen Sonntag erleben, scherzten die damit sicher auch bewußt für weitere Beruhigung sorgenden Sprecher. Sie gehörten zu denen, die nicht auf die Bebengerüchte hereingefallen waren. Dann vermeldeten sie kleinere Erdstöße aus Griechenland, die aber keiner vorhergesagt hatte. Staatspräsident *F. Belaunde Terry* hatte als Herausforderung an alle Panikmacher just für diesen Tag die Einweihung des neuen Fischereikomplexes „La Puntilla“ in Pisco angeordnet und war mit Ministern, Diplomaten und Journalisten dort erschienen.

Dennoch standen die Hochhäuser in den Residenzvierteln Limas und an der Küste am Wochenende leer. Wer es sich leisten konnte, war rechtzeitig in die Ferienorte oder gar bis in die benachbarte ekuadorianische Hauptstadt Quito geflüchtet. In den vorhergegangenen 14 Tagen waren alle Flüge ins Ausland ausgebucht gewesen. Seit Monaten schon brachten die aus Nordamerika und Europa kommenden Düsenjets kaum Touristen ins Land. Viele Charterflüge waren gestrichen worden. In Cuzco und Machu Picchu, Zentren der alten Inkakulturen, wurden an diesem Wochenende die traditionellen Indiofeste ohne die sonst üblichen vielen tausend ausländischen Besucher gefeiert.

Das große Beben aber blieb aus. Lediglich bei Pucallpa und Tacna, wohin sich manche Hauptstädter in Sicherheit gebracht hatten, gab es leichte Erdstöße der Stärke 4 bis 5 auf der Richter-Skala. Radio Miraflores beendete in der Nacht zum Montag seine Sendung mit der Feststellung, daß die „berühmte Vorhersage des Scharlatans Brady“ endgültig zusammengebrochen sei.

Ende gut, alles gut? Kein Beben, also auch kein Schaden? So einfach war die Sache nicht. Staatspräsident Terry erklärte in einem Interview, seinem gerade erst im wirtschaftlichen Aufbau begriffenen Land sei übel mitgespielt worden. Allein die Einbußen auf dem Gebiet des Tourismus müßten auf mindestens 300 Millionen Dollar geschätzt werden. Etliche Bauvorhaben meist ausländischer Unternehmen waren — zumindest vorläufig — eingestellt worden. Trotz großer Wohnungsnot blieben im Sommer 1981 in Peru viele Wohnungen leer; denn besonders Hochhäuser lie-

ßen sich nicht mehr verkaufen oder vermieten. Konteradmiral Masias, der seine Verbände der Zivilverteidigung vorsichtshalber den ganzen Tag in Alarmbereitschaft gehalten hatte, sprach ebenfalls von einem großen Schaden für Peru. Allerdings sah er auch Positives. Die Zivilverteidigung sei besser organisiert worden, und die Bevölkerung habe ihr „Erdbebenbewußtsein“ auffrischen können. Jedermann wisse jetzt wieder, wie er sich verhalten müsse. In öffentlichen Einrichtungen und Schulen war Erdbebenalarm wochenlang geübt worden.

Die hitzigen Debatten über die „Schuldfrage“ hielten noch Monate an. Der Präsident der Rechtsanwälttekammer von Lima forderte die amerikanische Justiz auf, Prognosen à la Brady in Zukunft unter Strafe zu stellen. Andere machten die unseriösen Berichterstattungen der Presse verantwortlich.

Die Vorhersage von Erdbeben gehört zu den schwierigsten Aufgaben der modernen Naturwissenschaften. Dabei sind sehr komplexe Probleme zu lösen. Die Seismologen allein würden mit ihren Instrumenten und ihrem Wissen auf verlorenem Posten stehen. Von gesellschaftlich befriedigenden, vor allem rechtzeitigen Vorhersagen und effektiven Warnsystemen sind wir heute noch ein gutes Stück entfernt. Vorläufig haben wir erst einzelne Treffer zu verzeichnen, die dem Dämon Erdbeben etwas von seiner erschreckenden Überraschungswirkung nehmen. Sein Verhalten zu berechnen und aktive oder passive Schutzmaßnahmen zu ergreifen ist eine der wichtigsten Aufgaben der internationalen wissenschaftlich-technischen Zusammenarbeit.

Bittere Rückschläge in Form von fehlgegangenen oder unterlassenen Erdbebenprognosen werden auch in Zukunft nicht ausbleiben. Gilt es doch, Vorhersagen über den zeitlichen Ablauf physikalischer und chemischer Prozesse zu machen, die sich meist in vielen Kilometern Tiefe unter der Erdoberfläche abspielen – dort, wo wegen der enorm hohen Drücke vom Veltausendfachen unseres normalen Atmosphärendrucks und Temperaturen von mehr als 1000 °C wohl niemals eine Meßsonde – geschweige denn ein Lebewesen – wird hingelangen können. Wie wenig weiß jeder von uns selbst über die Vorgänge, die sich in seinem eigenen Körper abspielen oder abspielen werden. Und wieviel schwieriger ist eine „Fernprognose“ über das Verhalten des unzugänglichen Erdinneren.

Doch es besteht kein Grund zu Pessimismus, kennt doch die Geschichte der Naturwissenschaften genügend Beispiele glänzender, nicht für möglich gehaltener Vorhersagen. Die zuweilen recht derben „Streiche“ in der Luft- und Wasserhülle unseres Planeten werden häufig schon aufgedeckt, bevor es zu unerwarteten Schäden kommt. In vielen Ländern

der Erde arbeiten heute Beobachtungs- und Warndienste, die bereits manche Katastrophe abwenden konnten. Das rechtzeitige Orten und Verfolgen von Gewittern, Tornados, Hurrikanen, Taifunen oder Blizzards gelingt vielfach mit Satelliten und Bodenstationen. Gleiches gilt für Sturmfluten und Meereswogen. Kein Schiff dürfte heute mehr das Schicksal des Überseedampfers „Titanic“ ereilen. Jeder Eisberg, der in Schifffahrtsgewässern auftaucht, wird beobachtet und seine genaue Position allen Kapitänen über Funk mitgeteilt. Selbst Vulkanausbrüche wurden schon auf Tage oder Wochen vorhergesagt.

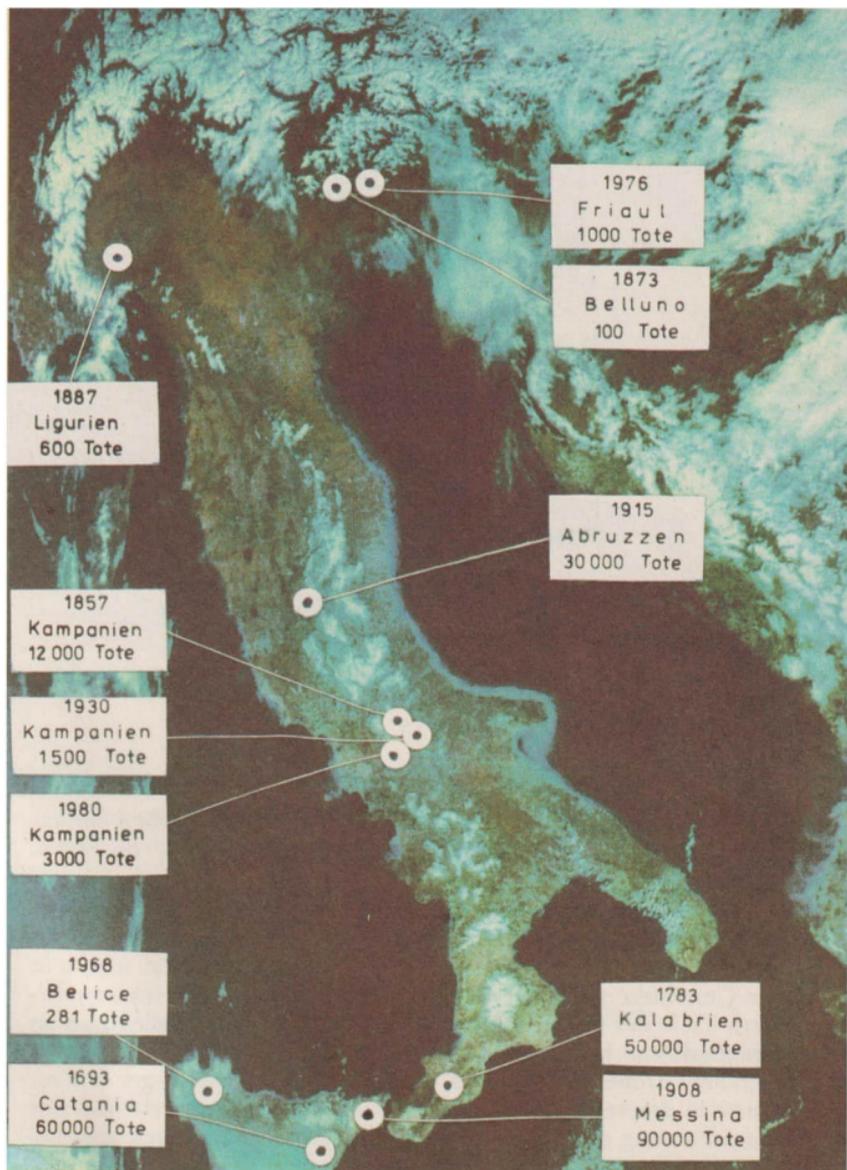
Vom Klosterbruder zum Computer

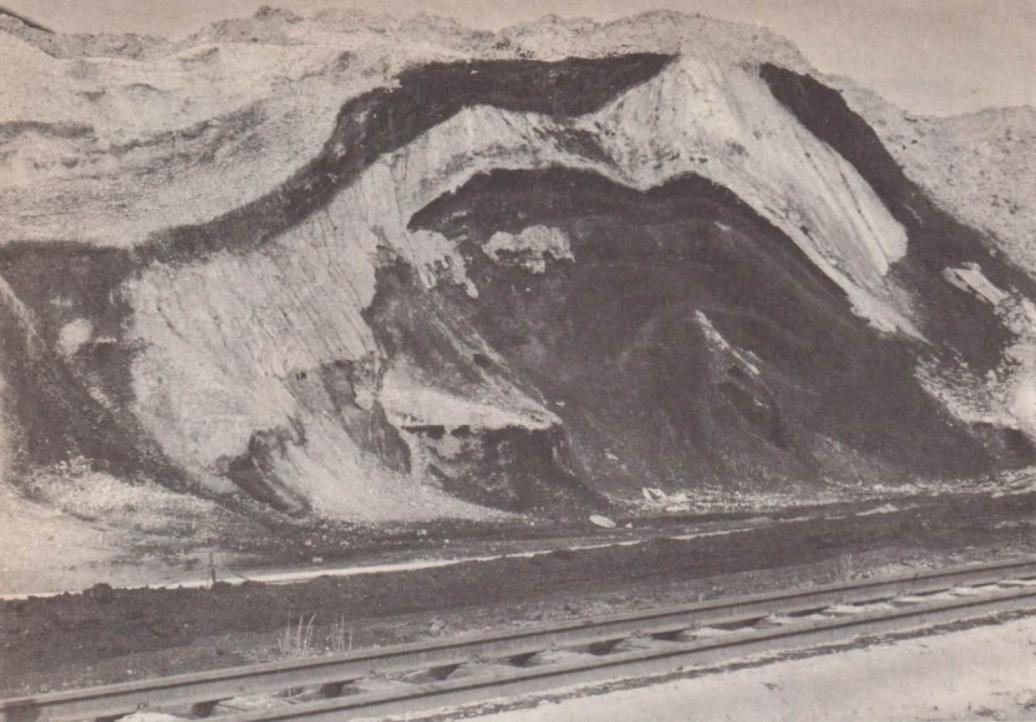
Wie zweckmäßig ist doch ein Terminkalender. Man schaut hinein, erfährt, was auf einen in den nächsten Tagen und Wochen zukommt, und richtet sich darauf ein. Wie schön wäre es für die Seismologen, einen Kalender für bevorstehende Erdbeben zu besitzen! In ihren Kalendern (Katalogen) sind bisher nur die Beben eingetragen, die bereits stattgefunden haben. Mit diesen „abgehakten Terminen“ treiben sie Bebenverhaltensforschung, um die Ereignisse der Zukunft abschätzen zu können. Je umfangreicher die Kenntnis über Gegenwart und Vergangenheit, desto besser die Vorhersage für die Zukunft. Leider gibt es erst seit etwa 80 Jahren instrumentelle Aufzeichnungen. Um auch ältere Kalenderblätter der Erdbebenkataloge mit Daten zu füllen, muß man nach verlässlichen Überlieferungen historischer Erdbeben suchen.

Wo aber ist über zeitgenössische Ereignisse Buch geführt worden? Doch meist nur in Klöstern oder in den größeren Städten. Unser Beobachtungsnetz hat dadurch viele lokale „Löcher“. Aber es weist auch zeitliche Lücken auf. Kriege, Plünderungen, Brände sowie baubedingte Umlagerungen haben viele Dokumente vernichtet. In Mitteleuropa lassen sich manche Chroniken nur bis zum Dreißigjährigen Krieg zurückverfolgen. Dennoch sind allein im Erdbebenbeobachtungskatalog der Schweiz, die nicht zu den bebenaktiven Ländern Europas zählt, mehr als 2800 historische Beben verzeichnet. Der Erdbebenkatalog des Territoriums der heutigen DDR enthält immerhin etwa 200 Beben aus der Zeit vor 1900.

Vergleicht man historische Bebenbeschreibungen, so taucht eine weitere Schwierigkeit auf. Die Formulierungen der Auswirkungen eines Bebens sind in allen Fällen stark subjektiv gefärbt. Nur zu oft trieb die Phan-

Aus der Beben Geschichte Italiens (Satellitenfoto)





Versteinerte Spuren von erdinneren Kräften an Braunkohlenflözen in einem Tagebau des Bezirks Halle

tasie wunderliche Blüten. Häufig wird beim Lesen solcher Überlieferungen nicht einmal klar, ob es sich wirklich um die Schilderung von Erdbeben handelt.

Es fehlt gegenwärtig auch nicht an Versuchen, unbestechliche steinerne Zeugen der Beben­­tätigkeit vergangener Zeiten zu befragen. Sichere Anzeichen starker Beben finden die Geologen hin und wieder in solchen Gesteinskörpern, die vor vielen Millionen Jahren in mehreren Kilometern Tiefe der Erde geologisch „gestreßt“ und anschließend bis an die Erdoberfläche herausgehoben wurden. Die fossilen (lat. fossilis = ausgegraben) Erdbeben helfen uns, die gewaltigen Umwälzungen unserer Erdkruste in den vergangenen geologischen Epochen zu verstehen. Für eine Einschätzung der gegenwärtigen seismischen Gefährdung aber liegen sie zu weit zurück. Diese Zeugen berichten über eine Situation, die

sich mit der heutigen nicht mehr vergleichen läßt. Die Taten sind gleichsam längst verjährt.

Das Interesse gilt mehr den „frischen Delikten“, den geologisch sehr jungen Erdbeben. Um eine Zahl zu nennen: den Beben der letzten Jahr-million. Das ist eine Zeit, in der sich am Aufbau der Erde nichts Grundle-gendes verändert hat. Eine Million Jahre sind im Tagebuch unseres Pla-neten etwa 20 Sekunden. Zu jeder geologischen Veränderung gehört der Faktor Zeit.

Wie aber soll man Spuren von Erdbeben an der Erdoberfläche oder in relativ frischen – der Geologe sagt jungen – oberflächennahen Aufschüt-tungen finden? Jeder kennt die Einflüsse der Witterung, des Windes, des Regens, der Sonneneinstrahlung, des Pflanzenwuchses. Ja, wenn dieses Problem auf dem Mond zu lösen wäre . . . Unser Trabant hat keine Atmo-sphäre, kein Wasser, keine Verwitterung, keine Vegetation. Gewaltsame und plötzlich einsetzende Veränderungen der Oberfläche bleiben dort un-vergleichlich länger erhalten. Das beste Beispiel sind die schroffen Mond-krater, von denen die meisten bereits vor Hunderten von Jahr-millions als Folge des ständigen kosmischen Bombardements entstanden.

Lange herrschte die Meinung, daß die Erde diese Geheimnisse nicht preisgeben würde. Aber auch hier behielten nicht die Zweifler, sondern die Optimisten recht. Am 9. Februar 1971 ereignete sich in der Nähe von San Fernando (Kalifornien) ein starkes Erdbeben. Die Erschütterungen hatten den Van-Norman-Staudamm so in Mitleidenschaft gezogen, daß die angestauten Wassermassen abgelassen werden mußten. Bald darauf entdeckten Geologen zu ihrer Überraschung auf dem tonig-schlammigen Boden des ehemaligen Sees deutliche Deformationen, die nur von den Stößen des Erdbebens stammen konnten. Es handelte sich um „Minirut-schungen“, die in den oberen Millimetern des wassergesättigten, frischen Bodensatzes erfolgt waren. Das Beben hatte seine Fahrte ähnlich dem Trittsiegel eines flüchtigen Wildes unmittelbar am Seeboden hinterlassen. Die Ton-, Sand- und Schlammablagerungen der nächsten Jahre würden sie unversehrt bedecken. Müßte man dann nicht auch in tieferen Schich-ten solche „eingefrorenen“ Beben finden?

Schon 1958 hatte der englische Seismologe *Philip Henry Kuenen* diese Vermutung ausgesprochen und mit Experimenten im Aquarium auch glaubhaft gemacht. Tatsächlich fand man in tieferen und damit älteren Sedimenten des nach dem San-Fernando-Beben trockengelegten Van-Norman-Stausees weitere „Narben“ von Erdbeben. Besonders günstig war der Umstand, daß man sogar das Jahr ihres Entstehens ermitteln konnte. Ähnlich der Altersbestimmung von Bäumen nach der Jahrringme-thode lassen sich tonige Sedimente durch Auszählung von Warven datie-

ren. Warven sind die in manchen Sedimenten auftretenden Hell-Dunkel-Wechsellagerungen infolge jahreszeitlicher Schwankungen der Ablagerungsbedingungen. Jede Jahresschicht besteht aus einer dunkleren und einer helleren Lage. Im Van-Norman-Stausee hatten sich deutliche Erdbebenspuren aus den Jahren 1930 und 1952 erhalten.

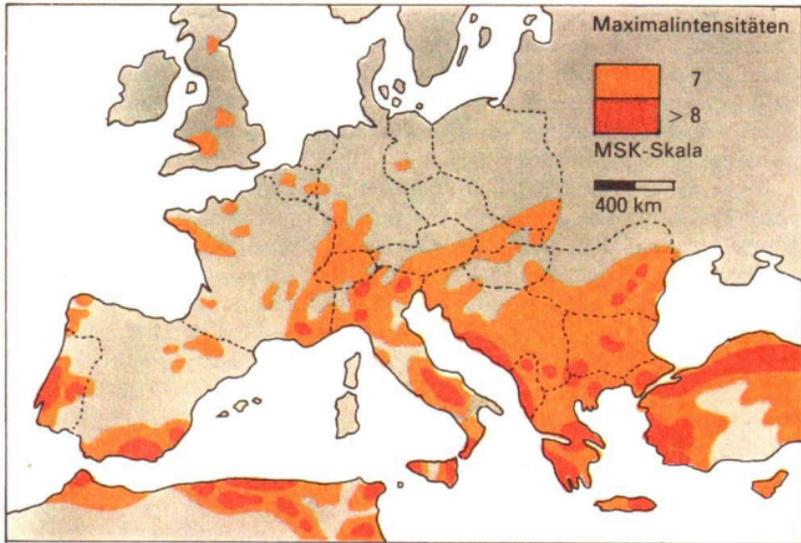
Mit Hilfe von Bohrungen in Seen und Staubecken, aber auch an der Stelle ehemaliger Wasserbecken entdeckten die Forscher weitere, gut datierbare Erdbebenspuren. Obwohl nicht überall mit gleichem Erfolg anwendbar, bietet die Seebodenanalyse in einigen Gebieten doch die Möglichkeit, Licht ins Dunkel der Vergangenheit zu bringen und die Erdbebenkataloge zu erweitern.

Die nächsten Aufgaben bestehen nun darin, die mühsam gewonnenen Daten der Kataloge (im günstigsten Fall Ort, Datum, Stärke, Herdtiefe, Schüttergebiete, Schäden – kurz, die räumliche, zeitliche und energetische Bebenverteilung) zum Sprechen zu bringen, ihnen Aussagen über das seismische Risiko des jeweiligen Gebiets zu entlocken.

Die Gefahr liegt nahe, daß man vor lauter Bäumen den Wald nicht sieht. Mathematik und Rechentechnik, speziell Wahrscheinlichkeitsstatistik und Großcomputer, helfen den Seismologen, aus einer Vielzahl von Einzelergebnissen charakteristische Mittelwerte abzuleiten und diese in die Zukunft auszuweiten.

Sagen Computer Erdbeben voraus? Eine häufig gestellte Frage im Zeitalter der mikroelektronischen „Superhirne“. Wenn so direkt gefragt wird, muß die Antwort lauten: Nein! Großrechenanlagen sind in der Erdbebenforschung ein wertvolles, in zunehmendem Maß unentbehrliches Hilfsmittel – aber eben bloß ein Hilfsmittel, damit die Menschen nicht jahrhundertlang rechnen müssen, um zu brauchbaren Resultaten zu kommen. Eine vorausschauende Beben einschätzung ist nur so gut wie die zur Verfügung stehenden Programme und – was häufig vergessen wird – wie die eingespeisten Daten. Die Ergebnisse werden Wissenschaftlern, Politikern, Planern und Architekten in Form von Karten zur Verfügung gestellt, auf denen die Zonen gleicher Schadens- oder gleicher Beben erwartung eingetragen sind. Diese Risiko- oder Gefährdungskarten bilden die Grundlage für geeignete Schutzmaßnahmen.

Trotz Computerunterstützung liefert die Erdbebenstatistik nur Wahrscheinlichkeitsaussagen über Ort, Stärke und längere Zeiträume. Der für die Erdbebenwarnung so wichtige genaue Termin bleibt zunächst die große, drohende Unbekannte. Aber auch hier ist die Wissenschaft im letzten Jahrzehnt erfreulich vorangekommen. Es gilt, das schlafende Ungeheuer sorgfältigst zu beobachten, seine „Schlafgewohnheiten“ zu erkennen und insbesondere den Zeitpunkt des Erwachens rechtzeitig zu signa-



Erdbebengefährdung in Europa

lisieren. Studium der Erdbebenvorläufer zum Zweck der Erdbebenvorhersage heißt die große und schwierige Aufgabe, die sich nicht allein die Seismologen gestellt haben.

Geheimnisvolle Lichter

Ein Erdbeben bricht nicht „aus dem Stand“ hervor. Es braucht eine bestimmte Vorbereitungszeit, die Jahre dauern kann. Die Veränderungen, die sich dabei im Schoß der Erde abspielen, laufen nur sehr langsam ab. Sie setzen um so früher ein, je stärker das am Ende auftretende Beben ist. Leider sind die damit verbundenen Effekte äußerst gering. Hochempfindliche Meßgeräte müssen an den richtigen, den „neuralgischen“ Punkten installiert werden. Es bedarf langer und präziser Meßreihen, und vor allem müssen es die Forscher lernen, sie zu deuten. Die Fremdeinflüsse – man spricht vom Rauschen – sind erheblich größer als die gesuchten Signale, die „Musik“. Die Vorboten des erwachenden Bebens gilt es herauszufiltern. Nach der Identifizierung erfolgt die Bewertung. Man will ja die

Stärke und den möglichst genauen Zeitpunkt vorhersagen. Probleme über Probleme türmen sich auf. Sie zu lösen erfordert nicht nur hohen technischen Aufwand, sondern auch wissenschaftlichen Vorlauf. Beides steht — sehen wir von regional begrenzten Testgebieten in den mittelasiatischen Sowjetrepubliken und in Kalifornien ab — noch nicht in ausreichendem Maß zur Verfügung.

Bevor wir uns mit den Bebenvorläufern befassen, die zur Überwachung besonders kritischer, bebengefährdeter Regionen dienen, noch ein paar Worte zu möglichen Vorböten globaler Erdbebenetätigkeit. Damit sind Änderungen des seismischen Verhaltens der Gesamterde gemeint, periodisch oder episodisch wiederkehrende „Schüttelfröste“ unseres Planeten.

Die zuweilen geäußerte Behauptung, zwischen Erdbebenetätigkeit und außerhalb des Planetensystems befindlichen kosmischen Quellen bestünden Zusammenhänge, gehört in den Bereich der Fabel. Gleiches gilt für Mondphasen und „kritische Erdbebenetage“. Schon um 1870 verkündet, werden solche „Prognosen“ ähnlich der „Wettervorhersage“ aus Mondstellungen trotz aller Mißerfolge immer wieder versucht und immer wieder geglaubt.

Könnten aber nicht die Planeten Kraftquell und Auslöser von Erdbeben sein, insbesondere wenn mehrere von ihnen in Konjunktion stehen, das heißt mit Sonne und Erde auf einer Achse gleichsam wie auf einer Perlenschnur aufgereiht sind? Da müßte sich doch auch die Anziehungskraft auf die Erde summieren. Flutwellen, Überschwemmungen, Erdbeben werden eintreten . . .

Bis heute ist aber noch nicht einmal klar, ob die Gezeiten — bedingt durch Anziehungskraft von Mond und Sonne — nicht nur als Verursacher von Ebbe und Flut, sondern auch als Erdbebenauslöser in Frage kommen. Allen Scharlatanen, die sogar die Planeten mit Erdbeben in Verbindung bringen, seien die Worte des deutschen Philosophen *Immanuel Kant* (1724—1804) aus dem Jahr 1756 entgegengehalten: „Wenn man die übrige Planeten . . . noch dazu nimmt und sie alle in Conjunction betrachtet, so wirds offenbar, daß sie noch lange nicht um eine halbe Haaresbreite die Aufschwellung der Wasser, die der Mond und die Sonne gemeinschaftlich hervorbringen, vermehren können . . . Die Planeten sind vor dem Richterstuhle der Vernunft von der Anklage losgesprochen, einigen Antheil an der Ursache der Verwüstung gehabt zu haben, die uns in den Erdbeben widerfährt . . . Lasset uns also nur auf unserem Wohnplatze selber nach der Ursache fragen, wir haben die Ursache unter unsern Füßen.“*

* Kant's gesammelte Schriften, Bd. I, Berlin 1910, S. 468 f.

Im Jahr 1973 berichtete eine sowjetische Wochenzeitschrift über ein Experiment zur Erdbebenprognose aus Mittelasien: „Die im allgemeinen düstere, wüstenartige Runou-Schlucht liegt im weißen Licht der Pamir-Sonne. Sie ist das Ziel mit der Ausrüstung für eine neue Phase des Experiments schwer beladener Fahrzeuge. Schweißüberströmte betonieren dunkelbraungebrannte Arbeiter und wissenschaftliche Mitarbeiter eilig das Fundament für einen neuen Hochleistungsgenerator. Die Geophysiker haben zu einem Schlag gegen den riesigen Gebirgszug Peter I. ausgeholt. Ein großartiges Schauspiel bahnt sich an. Ein ganzer Strom von Elektrizität – einige Millionen Watt – wird sich in das Innere des Berges ergießen! Der Impuls dieser Leistung wird durch einen magnetohydrodynamischen (MHD-) Generator, eine hervorragende Schöpfung sowjetischer Wissenschaftler, Ingenieure und Arbeiter, erzeugt.“*

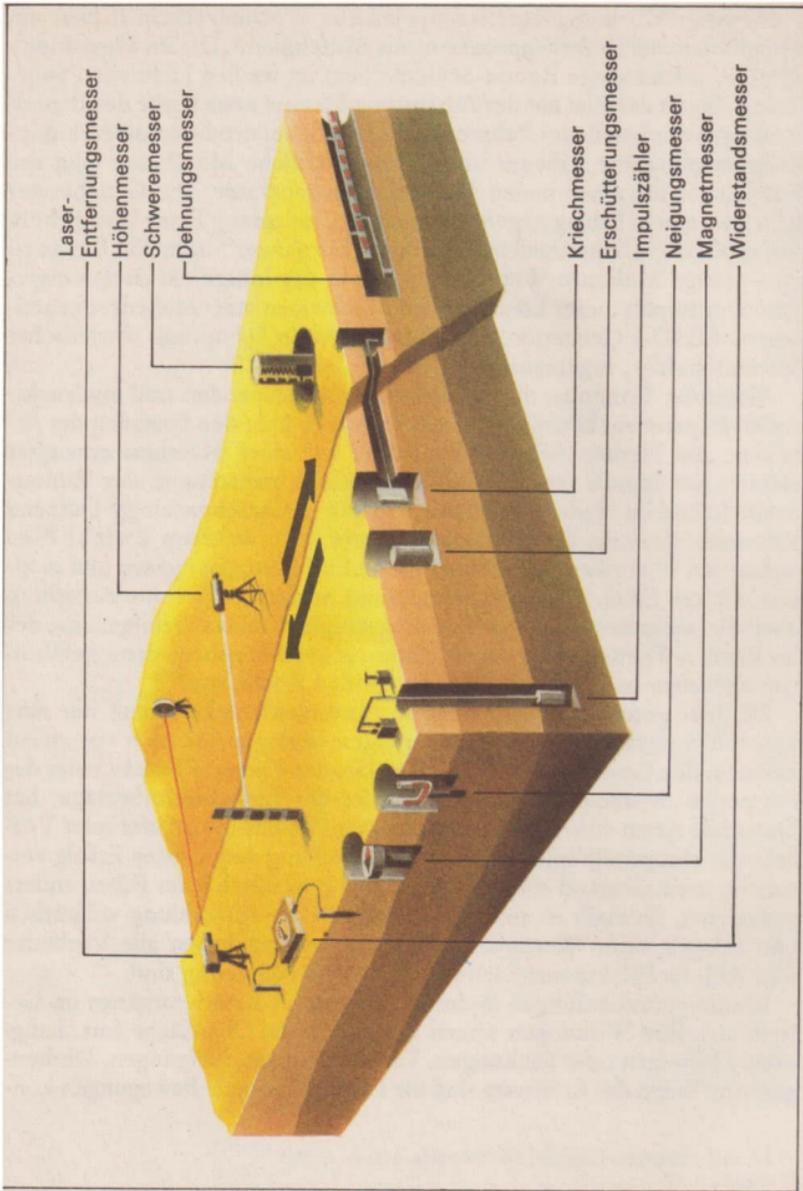
Alexander Gangnus, der an diesem beispielgebenden und eindrucksvollen Experiment beteiligt war, schrieb später über den Fortgang der Arbeiten: „Im Herbst 1973 durchstach ein von einer Maschine erzeugter elektrischer Impuls von unglaublicher Stärke zunächst in der Runou-Schlucht und im Herbst 1974 dann in Gazor-Tschaschma einige Dutzend Kilometer Gesteins des Gebirgszugs Peter I. Zu welchem Zweck? Man wollte den Widerstandsabfall über große Entfernungen messen und so etwas wie ein EKG (Elektrokardiogramm) ermitteln. Es sollte Aufschluß über die seismologische Vorbereitungstätigkeit dieses Gebirgszugs, der im Pamir – Tienschan zu den wichtigsten gehört, geben; denn gefährliche Erdbeben bereiten sich auf einer großen Fläche vor.“**

Die hier geschilderte Messung der Stromleitfähigkeit kann nur eine von vielen physikalischen Veränderungen anzeigen, die sich vor einem Beben in den Gesteinen abspielen. Der Japaner *Tsuneji Rikitake*, einer der führenden Seismologen auf dem Gebiet der Erdbebenvorhersage, hat Dutzende Arten von Vorläufern gefunden. Welcher Vorläufer oder Vorbote die Hauptrolle spielt, welche Untersuchung den meisten Erfolg verspricht, wird niemand vorher sagen können, weil sich jedes Beben anders vorbereitet. Deshalb ist eine Reihenfolge in der Aufzählung willkürlich und spiegelt keine Wertigkeit wider. Gemeinsam haben alle Vorläufer nur, daß die Effekte meist schwach und selten eindeutig sind.

Spannungsanhäufungen in der Erde lösen oft Kriechvorgänge im Gestein aus. Ihre Wirkungen setzen sich bis an die Oberfläche fort. Langsame Hebungen oder Senkungen, Verschiebungen, Neigungen, Drehungen von Teilen der Erdkruste sind die Folge. Maximale Bewegungen kön-

* zit. nach: Aleksandr Gangnus, Die Erde bebt, a. a. O., S. 56 f.

** ebenda, S. 57





Wissenschaftler bringen in Tadshikistan automatisch arbeitende Seismographen zur Früherkennung von Beben in einen Stollen.

nen mehrere Zentimeter jährlich betragen. Erste Anzeichen treten je nach Bebenstärke Jahre oder Tage vorher auf. Erfolgreiche Vorhersagen aus Krustenbewegungen gelangen in Mittelasien (Duschanbe 1967), Kalifornien (Hollister 1974), China (Haicheng 1975).

Viele starke Beben zeigen „Frühstartnervosität“ und schicken schwache Vorboten voraus. Das nahende Hauptbeben verrät sich durch ein charakteristisches „Knistern im Gebälk“, bevor es zum Bruch kommt. Seismographen sprechen aber oft schon Jahre vorher an und zeigen unmittelbar vor dem Hauptstoß die gefürchtete Ruhe vor dem Sturm (Buka-

rest 1977). Den Zeitpunkt richtig zu bestimmen ist daher schwierig. So kann ein stärkeres Vorbeben bereits für das Hauptbeben gelten, und der eigentliche Hauptstoß trifft die Bevölkerung Tage später, nachdem Katastrophenentwarnung erfolgte. Gelungene Vorhersagen durch Überwachung der Vorbebenetätigkeit wurden aus Kalifornien (San Fernando 1971), Tadshikistan (Garm 1974), Mexiko (Oaxaca 1978) gemeldet.

Jedes Erdbeben hat seine eigene „Handschrift“. Die Bruchvorgänge, die es hervorrufen, sind in der Mehrzahl Zerreiß- oder Zerquetschungsvorgänge. Je nach der Anordnung der beteiligten mechanischen Kräfte unterscheidet man verschiedene Bebentypen.

In manchen Bebengebieten ist der Übergang von den schwachen Beben der Vorphase zum starken Beben der Hauptphase mit charakteristischen Änderungen verbunden — ähnlich wie bei einem Gewitter, wenn unmittelbar vor dem Losbrechen die Windrichtung plötzlich umschlägt. Änderungen im Bebentyp (häufig zusammen mit einer Herdwanderung von unten nach oben) wurden in verschiedenen Gegenden der Erde als Starkbebenvorboten beobachtet (Usbekistan, Nevada, Aleuten).

Wer sich mit Muskelkraft von einem Ort zum anderen bewegen will, weiß, daß seine Geschwindigkeit nicht nur von der aufgewendeten Kraft abhängt. Aus welcher Richtung und mit welcher Stärke der Wind weht, wollen insbesondere die Läufer und die Radfahrer wissen. Physikalisch gesprochen: Die Geschwindigkeit ist abhängig vom Widerstand des Mediums, in dem die Bewegung stattfindet. Bei der Ausbreitung von akustischen oder seismischen Wellen gelten ähnliche Gesetze. Nicht allein die Gesteinsart, sondern auch die Höhe der Temperatur und vor allem die des Druckes beeinflussen die seismischen Geschwindigkeiten.

Nun bedeutet aber die Vorbereitung eines Erdbebens gerade Anhäufung von Spannungen, also ungleiche Druckverhältnisse im Herdgebiet. Man brauchte folglich bloß die dortigen Wellengeschwindigkeiten im Gestein zu messen und hätte ein ideales Barometer (Druckmesser) für die Bebenprognose. Gegen diese Theorie ist nichts einzuwenden. Aber wo soll man die Meßgeräte installieren? Auch die tiefsten Bohrungen kratzen noch nicht an den Türen, hinter (besser: unter) denen sich die meisten Erdbeben vorbereiten. Meist lassen sich nur auf einer größeren Meßfläche die Geschwindigkeiten der an der Erdoberfläche von fernen Herden ankommenden Wellen beobachten. Man schließt dann aus deren Änderungen auf Zustandsänderungen im Stationsuntergrund. Tatsächlich gibt es eine Reihe positiver Vorhersagen aus Neuseeland (Gisborne 1966), Tadshikistan (Chait 1966), China (Sichi 1970, Haicheng 1975).



Untersuchung des seismischen Gesteinsverhaltens unter Tage in der Station Tiefenort des Zentralinstituts für Physik der Erde Potsdam

Unsere Erde ist ein großer zweipoliger Dauermagnet. Die Hauptquellen des Magnetfelds liegen im Erdkern. Dem Hauptfeld überlagern sich Zusatzfelder aus Gesteinen der Erdkruste. Man hat die überraschende Entdeckung gemacht, daß sich vor manchen Erdbeben dieser Gesteinsmagnetismus um fast ein halbes Promille verändert (20 bis 40 Nanotesla) — und das an Meßstationen, die bis zu 10 km vom Bebenherd entfernt lagen.

Der Erdboden und auch die tieferen Schichten können schwache Ströme selbst erzeugen und leiten. Seit vielen Jahren überwacht man in den meisten Bebengebieten die natürliche Erdelektrizität und hat vereinzelt auffällige Veränderungen des Stromregimes vor dem Ausbruch von Erdbeben erkannt, so in China (Liaodong 1974) und Kalifornien (Holliester 1974). Die Größe der Meßeffekte, die man den heraufziehenden Erdbeben zuordnet, liegt im Millivolt- oder Milliamperebereich.

Die magnetischen und elektrischen Überwachungsmethoden haben für die Bebenvorhersage den großen Nachteil, daß sehr viele „nichtseismi-

sche“ Einflüsse eingehen. Störungen reichen von elektrischen Strömen der Industrieanlagen bis zur elektromagnetischen Sonnenaktivität. Die Ermittlung der „Täter“ und ihrer „Tatanteile“ ähnelt häufig einer Kriminalstatistik mit hoher Dunkelziffer, von Fehlgriffen ganz zu schweigen.

Magnetische und elektrische Messungen im Nanotesla- oder Millivoltbereich lassen sich auch von Amateuren ohne größere Hilfsmittel leicht ausführen, so daß hier günstige Möglichkeiten bestehen, Hobbyforscher in die Bebenvorhersage einzubeziehen.

Schon in alten Beschreibungen von Erdbeben tauchen immer wieder Hinweise auf geheimnisvolle Leuchterscheinungen auf. Tanzende Lichtpunkte, wandernde Feuerbälle, illuminierte Berge, Himmelsglühen, aus Spalten zuckende Flammen wurden mit Beben in Verbindung gebracht. Lange hielt man sie unter Naturwissenschaftlern für reine Phantastereien. Ein Erdbeben – so die Meinung der meisten Fachleute – sei ein so beeindruckender und die Sinnesorgane des Menschen so beanspruchender Vorgang, daß wohl die strapazierten Nerven den Betrachtern hin und wieder einen Streich spielen. Heute ist man vor allem dank langjährigen fotografischen Erdbebenbeobachtungen in Japan von der Realität des „Erdbebenlichts“ oder „Erdbebenfeuers“ überzeugt. Allerdings treten diese Erscheinungen ziemlich selten auf. Sie setzen neben einer besonderen Art von Beben auch einen ganz bestimmten Zustand der zum Leuchten angeregten Atmosphäre voraus.

Die Ursachen erklärt man durch den piezoelektrischen Effekt. Jeder, der seine Gasflamme im Haushalt durch einen Piezolan-Gasanzünder entfacht, nutzt diesen Effekt. Drückt man, so verwandelt sich ein Teil der aufgewendeten mechanischen Kraft in eine elektrische Spannung. Piezolan kommt in der Natur nicht vor. Es gibt aber quarzhaltige Gesteine, die ebenfalls piezoelektrische Eigenschaften besitzen. Wechselnde Druck- und Zugbeanspruchungen finden sich ausreichend; denn sie sind ja gerade die Ursachen der Beben. Die so in der Erde erzeugte Elektrizität kann sich nun unter bestimmten Bedingungen auf die Atmosphäre übertragen und Licht aussenden. Wie das geschieht, darüber gehen die Meinungen noch sehr auseinander.

Vielleicht lassen sich für diese Erscheinungen sogar Satelliten zur Überwachung nutzen. *Reese Dooley*, ein Geflügelfarmer aus der Nähe von Hollister in Kalifornien, hatte nämlich im Jahr 1961 ein merkwürdiges Erlebnis. In einer stockdunklen Nacht blieb er wieder einmal weit draußen am Fuß der Berge auf seiner Ranch, als er plötzlich ein Erdbeben verspürte. Der Stoß erschien ihm stark genug, um nach Hause in die Siedlung zu fahren und nach dem Rechten zu sehen. Als er zu seinem Wagen ging, bemerkte er erstaunt eine größere Zahl kleiner, kurz aufeinander-

folgender Lichtblitze, die an verschiedenen Stellen über den Bergen zuckten. Kurz darauf erschütterte ein zweiter Stoß die Gegend, und kein Blitz war mehr zu beobachten. In den Bergen befanden sich keinerlei technische Anlagen, so daß – wenn man nicht gerade an UFOs glaubte – ein unmittelbarer Zusammenhang mit dem Erdbeben nicht von der Hand zu weisen war. Es gab seitdem immer wieder Vorschläge, die Wettersatelliten auch zur Erforschung des Phänomens Erdbebenblitze dienstbar zu machen.

Die Erdbebenkatastrophe von Lissabon 1755 hat später Goethe angeregt, sich über das Verhältnis des Menschen zu den Naturgewalten zu äußern. Aus seiner Feder stammen auch einige interessante Einzelheiten über Begleiterscheinungen des Bebens. So berichtete er, daß an manchen Quellen, besonders den heilsamen, ein ungewöhnliches Innehalten zu bemerken gewesen sei.

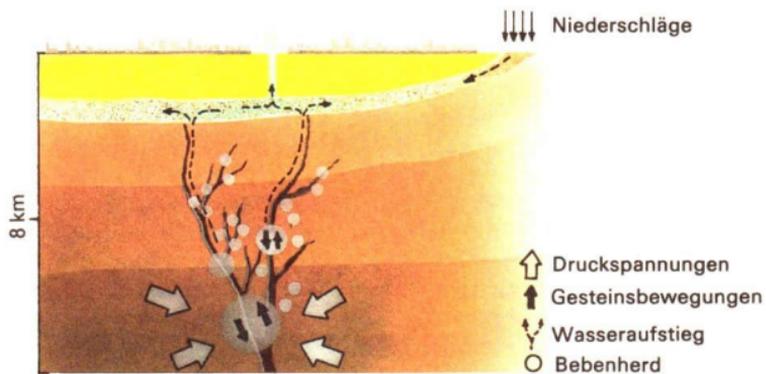
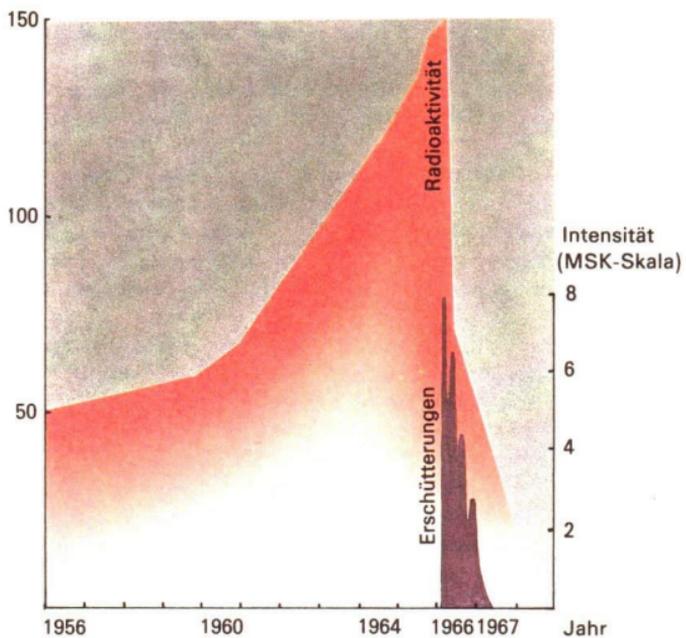
Es verging aber noch viel Zeit, ehe die ersten systematischen Untersuchungen begannen. Im Jahr 1910 machte Boris Golizyn aus St. Petersburg der Russischen Seismischen Kommission den Vorschlag, die Jekaterinenquelle in Borshomi am Fuß des Kaukasus hinsichtlich Temperatur und Ergiebigkeit zu überwachen. Die kaukasischen Mineralquellen sind seit alters berühmt, und auch heute ist jeder Moskauer stolz, wenn er abends seinen Gästen ein paar Flaschen Quellwasser aus Borshomi kredenzen kann. Inzwischen haben langjährige Meßreihen in verschiedenen Ländern der Erde bewiesen, daß Quellwasser aus tiefreichenden Spalten tatsächlich durch Erdbeben beeinflusst wird. Einen guten Anzeiger bildet oft die wasserchemische Zusammensetzung, insbesondere der Gehalt am leicht löslichen Edelgas Radon. Es entsteht bei radioaktiven Zerfallsprozessen von Uran und Thorium in größeren Tiefen, ist sehr beweglich und kann bei Dehnungs- und Zerrungsvorgängen in der Erdkruste, wenn der Gesteinspanzer undicht wird, schneller nach oben entweichen.

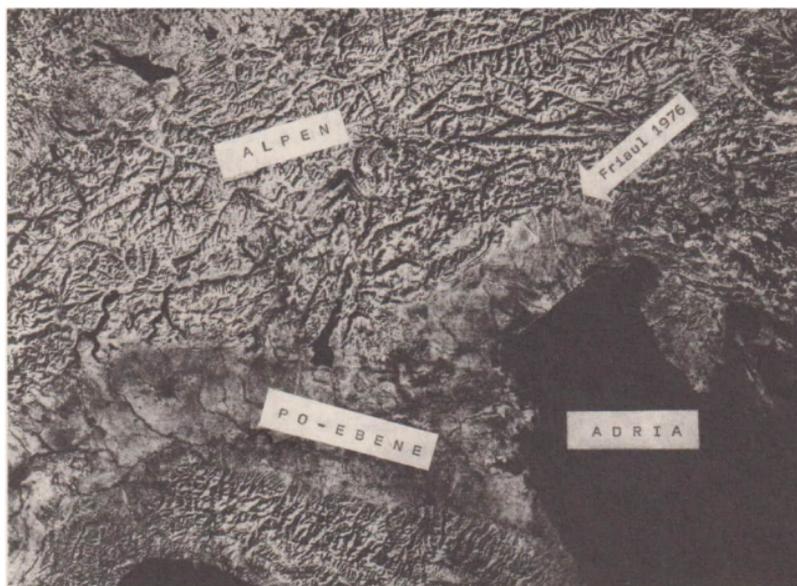
In Taschkent beobachtete man kurz vor dem schweren Erdbeben vom April 1966 ein Ansteigen des Radongehalts im Quellwasser auf 300 Prozent. Ähnliche Effekte sind auch in anderen Gebieten nicht selten. Besonders in den ländlichen Gegenden Chinas beschäftigen sich Tausende von Amateurseismologen mit der vorbeugenden Überwachung von Brunnen.

Das Erkennen von Erdbebenvorläufern ist ein sehr komplexes und noch lange nicht befriedigend gelöstes Problem. Es verlangt mühevollen Kleinarbeit in möglichst vielen aktiven Bebengebieten der Erde, das Zusammensetzen eines überschaubaren Gesamtbilds aus zahllosen, zum Teil stark zerstörten, unsicheren Bruchstücken.

Jedes Erdbeben kann sich in irgendeiner Weise von seinem Vorgänger am selben Ort unterscheiden. Die Seismologen müssen für ein heranna-

Nano-Curie je Liter





Satelliten helfen beim optischen Erkennen tektonischer Strukturen.

hendes Beben viel Einfühlungsvermögen besitzen und immer mit launischen „Seitensprüngen“ rechnen. Davon hängt nicht nur ihr Ruf, sondern vor allem das Leben und das Wohl vieler Menschen ab.

Der Tiger von Tientsin ahnte das Unheil

Am 6. Oktober 1948 ereignete sich in dem für seine rassigen Rennpferde bekannten mittelasiatischen Gestüt Aschhabad Ungewöhnliches. Die Vierbeiner begannen plötzlich mit den Hufen zu scharren, wieherten ohne ersichtlichen Grund, und ihre Unruhe steigerte sich so sehr, daß sie sich losrissen und davonliefen. Es dauerte geraume Zeit, bis sie von Pferdeflegern und Helfern wieder in die Boxen gebracht werden konnten.

Radioaktives Quellwasser vor und nach dem Beben von Taschkent 1966 (nach Ulomow)

2 Stunden später geschah das gleiche, wieder stoben die meisten Tiere wild auseinander. Keine 15 Minuten danach – viele irrten noch im Freien umher – stürzten die Stallungen zusammen und begruben alles Lebende unter sich.

Zur gleichen Zeit legte das schwere Erdbeben Aschchabad, die Hauptstadt Turkmeniens, fast völlig in Trümmer. Hatten die Pferde das heranahende Unheil gespürt, oder war die Übereinstimmung von Tierverhalten und Erdbeben nur zufällig?

Ein anderes Beispiel: Bevor am 6. Mai 1976 gegen 21 Uhr in Friaul (Norditalien) ein Erdbeben losbrach, machten die Bewohner eines benachbarten Ortes merkwürdige Beobachtungen.

„Rotwild bildete Herden. Am späten Nachmittag kam ein Rudel von 15 Tieren von den Bergen herab nahe ans Dorf. Die Tiere drängten sich aneinander und hatten offensichtlich keine Neigung zum Grasens – das wurde in dieser Gegend vorher nie beobachtet. Katzen verließen die Häuser und das Dorf. Zur Zeit des Bebens schien keine Katze mehr im Dorf zu sein. Sie kamen erst zwei Tage nach dem Beben wieder zurück . . . Drei Katzen schleppten ihre Jungen nach draußen und betteten sie im Grünen. Bei einer Katze wurde beobachtet, daß sich ihre Ohren krampfhaft bewegten, bevor sie aus der Wohnung floh. Mäuse und Ratten verließen ihre Verstecke. Auf einem Gehöft sah man Mäuse und Ratten vor dem Beben umherlaufen. Die Bewohner waren verärgert und überrascht, daß ihre fünf Katzen alle abwesend waren. Hühner wollten sich vor dem Beben nicht in ihrem Schlag zur Ruhe setzen. Leute, die während des Bebens aus ihren Häusern flohen, fanden ihr Geflügel bereits im Garten. Die Tiere hatten offensichtlich schon vor dem Beben den Schlag verlassen. Hühner machten einige Minuten vor dem Beben einen solchen Lärm, daß die Bauern dachten, ein Fuchs wäre in den Stall eingedrungen.

Unter den Rindern in den Ställen brach eine Panik aus. Nach verschiedenen Berichten zeigten sich die ersten klaren Anzeichen von Furcht 15 . . . 20 Minuten vor dem Beben. Die Tiere begannen zu brüllen, zerrten an ihren Ketten und schlugen mit den Hufen an ihre Boxen. Hunde bellten ohne ersichtlichen Grund. Dieses Verhalten begann 20 Minuten vor dem Beben. Einige Leute kontrollierten, als das Erdbeben begann, ihr Eigentum, weil sie Eindringlinge vermuteten. Vögel riefen zu ungewöhnlichen Zeiten. Jemand hörte einen Kuckuck, der normalerweise nie nachts ruft . . . An sechs Orten wurde beobachtet, daß Vögel unruhig wurden und gelegentlich Rufe ausstießen. Dann begannen sie mit den Flügeln zu schlagen und zu fliegen . . . Eine Frau beobachtete, daß ihr Kanarienvogel seinen Wassernapf geleert hatte, der täglich gefüllt und gewöhnlich innerhalb eines Tages nur halb geleert wurde. Sie füllte ihn neu und fand

ihn kurz vor dem Beben wieder leer. Der Vogel mußte sein Gefieder angefeuchtet haben.*

Auf der Suche nach wissenschaftlich verwertbaren Hinweisen zum Verständnis dieses Problems beschäftigte sich der Berichterstatter mit dem Fall eines Viehtransportzugs, der in der kleinen Stadt Pontebba (Norditalien) am Abend des Erdbebens auf die Zollabfertigung wartete. „Die Waggonen waren Stahlblechboxen mit nur wenigen rechteckigen Öffnungen. Die Rinder und Pferde waren gefüttert und hatten Wasser bekommen. Gewöhnlich verhalten sie sich unter diesen Umständen ruhig. Etwa 15 . . . 20 Minuten vor dem Beben zeigten die Tiere Unbehagen und lärmten stark. Die Transportarbeiter entschlossen sich, ihre Vorgesetzten zu benachrichtigen, weil sie Vergiftung oder Krankheit befürchteten. Diese Wagen . . . können die Erdbebenanzeichen offensichtlich nicht abschirmen. Die Vibrationen, die dem Beben vorausgingen, konnten ebenfalls nicht die Ursache der Unruhe sein. Es gab nur einen einzigen relativ starken Vorstoß innerhalb einer Minute vor dem Hauptbeben; und wie konnten die Tiere, die tagelang mit dem Zug gefahren waren, durch Kleinstbeben in Panik versetzt werden?“**

Auch aus dem asiatischen Raum kamen wiederholt Schilderungen, in denen behauptet wurde, daß Tiere herannahende Beben vorausahnen können. Auf den ersten Blick erscheinen solche Erzählungen oftmals phantastisch, werden nicht selten belächelt oder gar angezweifelt. Doch so alt wie die Haustierhaltung ist das Bestreben der Menschen, gezähmte Tiere nicht nur als Nahrungsquelle, sondern auch als Beschützer oder zumindest als Warner vor Gefahren zu benutzen. So berichtet die Sage, daß die Verteidiger des Kapitols in Rom einst durch schnatternde Gänse vor den nachts in die Stadt eingedrungenen Kelten gewarnt wurden. Schließlich ist der Hund als treuer Begleiter des Menschen nicht zu Unrecht zum Symbol der Wachsamkeit und des Schutzes gegen Feinde geworden. Können Tiere aber auch vor Naturereignissen warnen?

Bis ins 19. Jahrhundert war es bei den Bergleuten in den Eisenerzgruben des Harzes Tradition, daß zahme Finken mit vor Ort genommen wurden. Bestand die Gefahr schlagender Wetter, sollen die gefiederten Sänger durch aufgeregtes Zwitschern manchem Bergmann das Leben gerettet haben.

In vielen Ländern werden bestimmte Tierarten oder auch einzelne Exemplare verehrt, und nicht selten verbinden sich damit bemerkenswerte Begebenheiten. So versäumte es in den siebziger Jahren keiner der Besu-

* Dr. Helmut Tributsch, Gibt es vor Erdbeben Aerosolanomalien?, in: „wissenschaft und fortschritt“, 8/1981, S. 316

** ebenda, S. 317



Mongolische Steppenpferde gelten als besonders „erdbebenfähig“.

cher des Zoologischen Gartens im Volkspark der chinesischen Millionenstadt Tientsin, dem legendären mandschurischen Tiger Dong einen Besuch abzustatten. In großen Lettern wurde auf einer Tafel vor seinem Käfig der staunenden Menge kundgetan, daß Dong am 18. Juli 1969 durch sein merkwürdiges, angsterfülltes Gebaren Anlaß zu einer Erdbebenwarnung gegeben hat. Aufmerksame, in der Beobachtung und Deutung des Tierverhaltens geübte Wärter hatten am Morgen dieses Tages die Erdbebenkommission der Stadt von der Möglichkeit eines unmittelbar bevorstehenden Bebens informiert. 2 Stunden später richtete ein schweres Beben beträchtliche Zerstörungen in der gesamten Provinz an (Bohaibeben, $M = 7,4$).

Nach chinesischen Angaben sollen allein am Tag vor dem opferreichen Tangshanbeben im Juli 1976 2093 Fälle von Erdbebenfähigkeit durch Lebewesen (vorwiegend Haustiere) aufgetreten sein. Würde man eine Liste sämtlicher Tiere aufstellen, die für die Bioprognose in Frage kämen,

so bliebe kaum eine der höherentwickelten Arten ausgeschlossen. Als Hauptmerkmal wird in den meisten Schilderungen ungewöhnliche Unruhe genannt: fliehende Hunde und Katzen, aus ihren Verstecken aufgescheuchte Ratten, auf Bäume flatternde Hühner, aus ihren Boxen brechende Schweine, beim Winterschlaf gestörte Schlangen, schnatternde Gänse, aufspringende Hirsche, Enten, die nicht aufs Wasser wollen, Kaninchen, die mit aufgerichteten Ohren an Gegenständen hochspringen und in sie hineinrennen. Auch Kühe, Elefanten, Mäuse, Ameisen, Sperlinge, Papageien, Tauben, Wachteln, Schwalben, Eidechsen, ja selbst verschiedene Fische sollen sich schon als Erdbebenmelder betätigt haben, wobei der Zeitraum der „Vorhersage“ zwischen wenigen Minuten und mehreren Tagen lag.

In China, wo der größte Teil der Bevölkerung ohnehin in engem Kontakt mit Haustieren lebt, wurden regelmäßig arbeitende Beobachtungsdienste eingerichtet. Amateur-Bioseismologen geben ihre Wahrnehmungen an Vorhersagezentren weiter, die versuchen, örtliche und zeitliche Bebenprognosen abzuleiten. Um verfälschende subjektive Faktoren solcher Tierbeobachtungen zurückzudrängen, beschäftigen sich auch Forschungseinrichtungen mit den Zusammenhängen von Tierverhalten und Seismizität. Biologen, Verhaltensforscher, Meteorologen und Geophysiker erarbeiten möglichst umfangreiche Meßreihen an Organismen unter kontrollierten Bedingungen. 1968 wurde in der chinesischen Provinz Hsingtai die erste Experimentalstation dieser Art mit 58 Tierarten eingerichtet. Inzwischen hat man unter anderem herausgefunden, daß Tauben sehr empfindlich auf feinste Erschütterungen reagieren. Werden jedoch operativ die Nervenverbindungen zwischen den Beinen und dem Gehirn der Tiere unterbrochen, so bleiben diese im Gegensatz zu ihren unveränderten Artgenossen bei Mikroerschütterungen völlig ruhig. Auf andere Gefahren, wie Raubvögel, reagieren beide Gruppen gleichermaßen.

Nach einer alten japanischen Legende haust ein riesiger Katzenfisch in der Tiefe und gilt als Verursacher der in dem Land so zahlreichen Erdbeben. Besonders ältere Japaner beobachten aufmerksam das nervöse Verhalten dieser Welsart in Tümpeln und Teichen. Steigen die Katzenwelse an die Oberfläche, so soll sich ein Beben ankündigen. Forscher verfolgen mit wissenschaftlicher Genauigkeit das Verhalten von Katzenfischen in eigens dafür hergerichteten Aquarien. Die für die Bebenprognose Verantwortlichen können es sich nicht leisten, die alten Überlieferungen in der so lebenswichtigen Erdbebenfrage zu mißachten.

Welche Hilfe darf nun aber der Mensch vom Tier bei der Erdbebenvorhersage wirklich erwarten? Viele Wissenschaftler lehnen biologische Vorhersageverfahren rundweg ab. Allerdings wird ihre Zahl immer geringer,

je mehr Kenntnisse über die physikalisch wirksamen Bebovboten einerseits und die Reaktionsfähigkeit belebter Materie auf geophysikalische Umweltreize andererseits zur Verfügung stehen.

Die kleinsten Bau- und Funktionseinheiten aller Lebewesen sind die Zellen. Äußere Einflüsse werden insbesondere von den Nervenzellen aufgenommen. Eine einzige menschliche Nervenzelle enthält neben einer Billion Kaliumionen 10 Millionen Protein- und 10 Millionen Lipidmoleküle in funktionell zweckmäßiger Anordnung. Allein im menschlichen Gehirn sind etwa 30 Milliarden solcher Nervenzellen zu einem hochentwickelten System vereinigt. Zellen können auf mechanische, optische, elektrische, magnetische, elektromagnetische, thermische und andere physikalische sowie chemische Einflüsse reagieren. Sie nehmen Informationen auf und leiten diese als feinste elektrische Bioströme durch den Körper. Durch äußere Wirkungen beeinflussbar sind vor allem die Verbindungsstellen zweier Nervenzellen, die Synapsen. Sie bilden gleichsam Eingangspforten für ungewohnte geophysikalische Umweltreize.

Neben dem Nervensystem zeichnet sich der Blutkreislauf durch ein hohes Maß an Aktivitäten im Zellbereich aus. Etwa 25 Billionen rote Blutzellen enthält das menschliche Blut, das sind mehrere Millionen in jedem Tropfen. Ihre Lebensdauer beträgt 100 bis 120 Tage. Je Sekunde entstehen und zerfallen in jedem Menschen etwa 3 Millionen rote Blutkörperchen. Diese Vorgänge spielen sich auf engstem Raum ab. Sie bieten aber durch die große Oberfläche aller Zellwände die Möglichkeit, äußere Veränderungen bewußt oder unbewußt wahrzunehmen – zu „spüren“, darauf zu reagieren und sich anzupassen. Nicht zu Unrecht spricht man davon, daß einem manches „ins Blut“ oder „in Fleisch und Blut“ übergegangen ist.

Vorausberechenbare Naturereignisse bieten dem Menschen immer wieder Möglichkeiten, zur Überprüfung seiner Hypothesen zu experimentieren. So wurden von Nowosibirsker Wissenschaftlern in Erwartung der totalen Sonnenfinsternis, die am 31. Juli 1981 weite Teile Sibiriens erfaßte, umfangreiche biologische Tests vorbereitet. Der Rückgang des Sonnenwinds (Partikelstrahlung und Magnetfelder) verringerte die Zellteilung und das Wachstum von bereitgestellten Zellkolonien auf die Hälfte. Die Geschwindigkeit von Senkungsreaktionen der roten Blutkörperchen änderte sich ständig entsprechend den unterschiedlichen Phasen der Sonnenfinsternis. Die Blutproben wurden von gesunden Menschen entnommen.

Jeder Organismus verfügt also über ein äußerst vielfältiges Antennensystem, um in die Tiefen seiner Umwelt „hineinzufühlen“. Im Lauf der mehrere Milliarden Jahre umfassenden Erdgeschichte haben sich die Lebewesen stets den äußeren geophysikalischen Verhältnissen angepaßt.

		Zeit vor dem Beben						
		1-2 Minuten	10-30 Minuten	1-4 Stunden	6-12 Stunden	1 Tag	einige Tage	einige Wochen
Entfernung vom Herd (in km)	Epizentrum							
	20-50							
	70-100							
	150-200							
	> 250							

Ungewöhnliches Tierverhalten vor Erdbeben (nach Buskirk)

Das Prinzip der natürlichen Auslese ließ immer den am zweckmäßigsten organisierten, am besten angepassten biologischen Systemen die größten Entwicklungschancen. Die heute lebenden Organismen sind gleichsam auf die bestehenden Umweltfaktoren wie Schwerkraft, Magnetfeld, elektromagnetische Strahlen, Luftdruck und -temperatur, chemische Zusammensetzung der Luft programmiert. Häufig wirken rhythmische Veränderungen dieser physikalisch-chemischen Einflüsse als Folge der Anpassung wie externe Schrittmacher. Abweichungen vom Mittelwert oder Normalverlauf können Regulationsstörungen in den biologischen Systemen hervorrufen.

Jeder kennt wohl unangenehme Begleiterscheinungen bei Unterbrechung seiner angeborenen Lebensrhythmen durch Schlafstörungen, Streß, Lärm, Erschütterungen, Luftverunreinigungen. Allerdings sind bei kurzzeitiger Einwirkung auftretende Effekte außerordentlich schwer erfassbar, und es bedarf umfangreicher Forschungsarbeit, um schwach aus-

geprägte Verhaltensänderungen von Organismen festzustellen und auf ihre Ursachen zurückzuführen.

Doch mit der immer besseren Erforschung unseres Heimatplaneten und des umgebenden kosmischen Raumes haben in den letzten Jahren auch unsere Kenntnisse über die biologischen und geophysikalischen Wechselbeziehungen sprunghaft zugenommen. Eine neue Wissenschaftsdisziplin ist entstanden: die Biogeophysik. Von ihr erwarten die Seismologen Unterstützung bei der Deutung biologisch wirksamer Erdbeben-vorboten. Interessanterweise ergeben sich bei diesen Untersuchungen auch immer wieder Verbindungen zwischen Seismologie und Kosmosforschung. Der Weltraum ist ein ausgezeichnetes Experimentierfeld für das Studium des menschlichen Organismus bei Veränderung oder Wegfall der auf der Erde herrschenden Normalbedingungen (Schwerelosigkeit, veränderte Magnetfelder, Strahlungsbilanzen). Die Biogeophysiker profitieren in starkem Maß von der Raumfahrtmedizin und -biologie.

Unter den mechanischen Reizen spielen die Vibrationen (Erschütterungen) und der Schall (einschließlich Ultraschall) die größte Rolle. Höherentwickelte Organismen sind besonders gegen 10-Hertz-Schwingungen empfindlich, da sich eine Reihe biologischer Mikrovibrationen – die elektrischen Hirnwellen oder die Nervenreaktionen – in diesem Bereich abspielt. In der mikroseismischen Erdbebenaktivität treten solche Schwingungsperioden ebenfalls verstärkt auf, so daß gewisse Resonanzeffekte im Sinn einer mechanischen „Bebenfühligkeit“ durchaus denkbar sind.

Da die Auslösung von Erdbeben stets mit Geräuschen einhergeht, gilt auch der Untersuchung von bebenbedingten Schallphänomenen das gezielte Interesse. Es scheint, als kündige sich der seismische Bruchvorgang durch „Knistergeräusche“ an. Allerdings sind wir Menschen bei deren Wahrnehmung gegenüber vielen Tierarten benachteiligt. Das betrifft sowohl die Lautstärke wie die Tonhöhe der Schallschwingungen. Manche Tiere – insbesondere Vögel – hören auch tiefere Töne, andere reagieren noch im Ultraschallbereich (Fledermäuse, Hunde). Tierbeobachtungen ermöglichen also durchaus eine mittelbare Erweiterung der menschlichen Sinneswahrnehmung.

Die elektrostatische Aufladung von Staubteilchen in der Luft führt zur Veränderung der Luftpolarität und erleichtert das Ausströmen positiv geladener Teilchen (Ionen) von der Gesteinskruste in die Atmosphäre. Auch vor Erdbeben können luftpolarische Veränderungen auftreten. Gleichzeitig vermag die Ionisierung der Luft das Wohlbefinden mancher Lebewesen zu beeinflussen. Nicht zu Unrecht schwören verschiedene Menschen auf die angenehme Wirkung ihres elektrischen Ionenerzeugers in der Wohnung oder im Fahrzeug. Experimente haben gezeigt, daß

kleine, positiv geladene Ionen die Synthese des Hormons Serotonin anregen. Serotonin ist an der Steuerung solcher Funktionen wie Schlaf, Stimmung, Nerventätigkeit beteiligt. Typische Formen von Unwohlsein während gewisser Wettersituationen (Föhn) lassen sich auf hohe Konzentration positiver Ionen und gesteigerte Serotoninerzeugung im Organismus zurückführen. Migräne, Übelkeit, Erbrechen, Reizbarkeit gehören zu den Symptomen. Eine Behandlung mit negativen Ionen und Serotoninblockierern ist möglich.

Ein anderer sehr schwacher, aber weit besser erforschter Umweltfaktor ist das magnetische Feld der Erde. Der Mensch hat dafür kein hochentwickeltes Sinnesorgan. Er nimmt es scheinbar nicht wahr, kann es nicht bewußt erfassen. Seit alters versucht man dennoch, die heilende Wirkung kräftiger Magneten zu nutzen. Die Raumfahrtmedizin lieferte aber die Erkenntnis, daß weniger der konstante Einfluß des Dauermagneten Erde (oder dessen Wegfall) eine biologische Wirkung ausübt, als vielmehr seine ständigen schwachen Schwankungen. Zum Beispiel zeigte sich eine Änderung der Reaktionszeit auf ein akustisches Signal um rund 1 bis 2 Prozent.

Weitere biologische Wirkungen von Magnetfeldern wurden bei Insekten und Vögeln gefunden. Wahrscheinlich hängen sowohl die Bewegungsaktivität mancher Insekten als auch die Orientierung von Zugvögeln mit Veränderungen des Erdmagnetfelds zusammen. Bei Bienen hat man im Gewebe Magnetitkriställchen entdeckt, die als eine Art Kompaß dienen könnten. Da sich das Magnetfeld der Erde in Stärke und Richtung sowohl durch außerirdische als auch vom Menschen selbst hervorgerufene Störungen (jeder elektrische Strom ist von einem Magnetfeld umgeben) ständig verändert, scheint die biologische Erkennung der weit schwächeren magnetischen Erdbebenvorboten nahezu unmöglich. Es ist wenig wahrscheinlich, daß es Lebewesen gelingt, durch Körperreaktionen zwischen den verschiedenen Magnetfeldeinflüssen zu unterscheiden. Erschwerend kommt hinzu, daß die magnetischen Kräfte in der Umgebung ihrer Quellen sehr schnell abnehmen.

Stärker als die biologische Wirkung elektrostatischer und magnetischer Felder ist der Einfluß elektromagnetischer Wellen auf Organismen. Neben der bekannten, je nach Dosierung heilenden oder schädigenden Wirkung der ultravioletten (Sonnenbrand), radioaktiven (Geschwulstbehandlung) oder kosmischen Strahlung wurden auffallende biogeophysikalische Effekte auch im Bereich bestimmter Radiowellenfrequenzen festgestellt. So beobachtet man insbesondere am menschlichen Organismus deutliche Rhythmusbeschleunigungen bei Einwirkung im Langwellenbereich um 10 kHz. Interessanterweise werden aber gerade diese Fre-

quenzen in der Atmosphäre bei verschiedenen Wetterlagen erzeugt. Ursache sind Gewitter und andere luftelektrische Entladungen beim Durchgang von Warm- und Kaltfronten. Sie verändern das Reaktionsvermögen des Menschen, beschleunigen oder verlangsamen die „innere Uhr“, den bewußten Zeitsinn. Bei Schlechtwetter reagiert der Mensch nach langjährigen Untersuchungen des Leipziger Geophysikers *Robert Lauterbach* bis zu 5 Prozent schneller. Dadurch kommt es zu einer erhöhten Kreislaufbelastung insbesondere bei geschwächten oder kranken Menschen, werden Verkehrs- und Arbeitsunfallstatistiken negativ beeinflusst, steigt die Zahl der witterungsgebundenen Operationszwischenfälle und nachoperativen Verschlechterungen. Schon gibt es beratende Meteorologen in großen Kliniken, arbeiten und forschen spezielle medizin-meteorologische Vorhersagedienste. Man erwartet, daß sich die dabei gewonnenen Erkenntnisse in Zukunft auch für die Bioprognose von Erdbeben nutzbar machen lassen.

Häufig wird der Organismus durch chemische Einflüsse viel stärker gereizt als durch physikalische. Jeder kennt die belebende Duft- oder die belastende Gestankwirkung scheinbar geringster Stoffkonzentrationen. Bebenverdächtige Spannungsänderungen in der Erdkruste können mit Ausdünstungen von Radon, Schwefeldioxid und Quecksilber verbunden sein. Vermögen wir Erdbeben deshalb vorher zu riechen? Unsere Umwelt ist erfüllt von den verschiedenartigsten Geruchsstoffen. Wer aber filtert aus allen riechbaren Stoffen diejenigen heraus, welche für die Erdbebenvorläufer typisch sind? Einem Menschen muß man diese Fähigkeit absprechen. Haben aber nicht manche Tiere einen viel ausgeprägteren Geruchssinn? Lassen sich Spürhunde zur Bebenvorhersage einsetzen?

Ein Zusammenhang zwischen geochemischen Bebenvorboten und tierischem Geruchsempfinden ist nicht auszuschließen. Vieles von dem, was man an Tieren vor größeren Erdbeben bemerkt, gleicht aber mehr ihrem Gebaren vor drastischen Wetterveränderungen. Vielleicht halten die Tiere das herannahende Erdbeben für einen Sturm. Ihre Reaktionen könnten daher auch auf eine Art fehlgeleiteten Wetterinstinkt zurückzuführen sein, der vor allem auf elektromagnetische Reize anspricht.

Die Bioprognose von Erdbeben ist heute noch nicht eindeutig und zuverlässig genug, um dem Menschen echte Unterstützung bei der Abwendung nahenden Unheils zu geben. Er darf vom Tier nicht Hilfe erhoffen, wo er das Zusammenspiel zwischen Ursache und Wirkung selbst noch nicht gründlich durchschaut. Meist wird ungewöhnliches Tierverhalten erst nach dem Beben richtig gedeutet.

Wissenschaftler des kalifornischen Stanford Research Institute baten 1979 1200 Freiwillige, jede Art ungewöhnlichen Verhaltens bei Tieren

umgehend telefonisch dem Institut zu melden. Vor einem bald darauf eintretenden Beben der Magnitude 5,7 registrierte der Telefoncomputer aus dem späteren Schüttergebiet nur eine normale Anzahl von Anrufen. Nach dem Beben erinnerten sich jedoch viele der am Test Beteiligten an ein angeblich ungewöhnliches Verhalten ihrer Haustiere. Sie bezogen die Wahrnehmungen erst nachträglich auf das Naturereignis.

Weit in die Zukunft reichen die ersten Vorstellungen zur Anwendung der Bionik beim Erfassen von Bebenvorläufern. Die Bionik ist ein Grenzgebiet zwischen Biologie und Technik. Sie untersucht Bau und Funktion biologischer Systeme als „Muster“ für technische Konstruktionen. Große Bedeutung besitzt die Bionik bereits heute in der Medizintechnik für die Unterstützung geschwächter und die Schaffung künstlicher Organe. Die technische Nachahmung biologischer Funktions- und Bauweisen hat im Flugzeugbau zu überraschend günstigen Konstruktionslösungen geführt. Das Studium tierischer Sinnesorgane wird wichtige Hinweise für die Entwicklung empfindlicher Meßinstrumente in Miniaturgröße geben. Gelingt es, so gewonnene Informationen von Erdbebenvorläufern zu koppeln und in ihrer Wechselwirkung rechnerisch zu erfassen, dann dürfte auch ein Qualitätssprung bei der Erdbebenvorhersage nicht mehr fern sein.

Erdbebenschutz — Flucht oder Vorsorge?



Stein und Glas – wie schnell bricht das?

Himmelwärts strebende Hochhäuser bestimmen heute das Antlitz der meisten Großstädte. Schon gibt es Wohn- und Gesellschaftsbauten mit mehr als 400 m Höhe. Erweisen sich solche Superkonstruktionen als Kolosse auf tönernen Füßen? Werden die aus Großplatten errichteten Wohnkomplexe wie Kartenhäuser zusammenfallen, wenn stärkere Erdstöße auftreten?

Früher galt das möglichst dicke Mauerwerk als Symbol der Geborgenheit. Heute errichtet man dünnbeinige Skelettbauten bis zu schwindelerregenden Höhen. Fernsehtürme recken ihre Antennennasen über 500 m in den Himmel. Kaum einer verspürt noch Angst, sich mehrere hundert Meter über der Erde in ein Telecafé zu setzen. Doch was wäre, wenn ...!

Welche Gefahren bringt die moderne Industrieproduktion mit sich? Können die mit Glut und kochendem Eisen gefüllten Hochöfen, die komplizierten Synthesanlagen mit ihren Unmengen an giftigen Chemikalien der Wucht möglicher Erdbebenstöße standhalten? Wie verträgt sich moderne Präzisionsfertigung mit Bodenerschütterungen? Wird das Streben nach höchster Sauberkeit bei der Herstellung mikroelektronischer Bauelemente durch „seismische Verschmutzung“ infolge von Boden- und Gebäudeunruhe zunichte gemacht? Bilden bereits geringe Vibrationen ferne Erdbeben einen Risikofaktor für den operierenden Arzt?

Wie störanfällig sind unsere Energiesysteme gegen Erdbeben? Wie muß ein Kernkraftwerk gebaut werden, um Erdbebenhavarien auszuschließen?

Was geschieht mit den lebensnotwendigen Verkehrsadern, wenn die Erde bebzt? Mit Straßen, Tunnelbauten von vielen Dutzend Kilometern Länge, aber auch mit Rollbahnen von Flughäfen, Eisenbahnlinien, auf denen bereits Expreszüge mit Geschwindigkeiten von mehreren hundert Kilometern in der Stunde dahinrasen? Werden die unterirdischen Metroanlagen der Millionenstädte bei Erdbeben zu wahren Menschenfallen?

Im Zentrum von Tokio



Können die Haltemasten der Seilbahnen in den Hochgebirgen einen Erdstoß ausbalancieren? Immerhin betragen die größten freien Spannweiten zwischen manchen Bergstationen über 3 km.

Von jeher haben kühne Brückenbauten den Menschen fasziniert. Die Römer errichteten bereits vor der Zeitenwende in Frankreich den berühmten Pont du Gard mit 49 m Höhe. Noch heute mag manchen Reisenden ein leises Schaudern überkommen, wenn er eine unserer über 100 Jahre alten Vogtlandbrücken passiert und in einen Abgrund blickt. Der Gedanke an ein mögliches Erdbeben kann da schon manche Frage entstehen lassen. Wie muß man Brücken bemessen, um ihren Einsturz infolge eines Erdbebens auszuschließen? Als 1937 in Kalifornien über der Bucht von San Francisco die Golden-Gate-Brücke mit 1280 m Spannweite errichtet wurde, galt diese Konstruktion als Weltsensation und technisches Wagnis. Heute sind Pfeilerabstände von über einem Kilometer keine Seltenheit mehr.

Nicht nur bei Brücken, sondern bei allen Bauten am oder im Wasser müssen die Erdbebenrisiken besonders sorgfältig abgewogen werden. Riesige Deichanlagen oder Staudämme regulieren heute auch in vielen traditionellen Erdbebenländern den Lauf des oberirdischen Wassers oder halten giftige Abfallchemikalien in schlammigen Sammelbecken zurück. Können sie im Gefahrenfall der Wucht der Wassermassen widerstehen? Bedauerlich genug sind die Opfer und Schäden durch Flutkatastrophen und Überschwemmungen. Üben auch hier Erdbeben eine Art Zündwirkung aus und lassen die Dämme eher brechen? Denken wir ferner an die dünnbeinigen Bohrplattformen und Bohrseln, die in marinen Erdölfördergebieten auf teilweise über 100 m langen Stelzen stehen. Sind Havarien in Öl- oder Gasbohrfeldern auch durch Erdbeben möglich? In Japan werden bereits heute die Gesteine von Bergmassiven abgetragen und als künstliche Inseln vor die buchtenreiche Küste Nippons geschüttet. Ganze Städte (Aquapolis, Ozeanopolis) entstehen, wo vor Jahren noch die Wogen des Ozeans rollten. Untermeerische Siedlungen beträchtlichen Ausmaßes befinden sich schon auf dem Reißbrett.

Selbst unter dem Meeresboden wühlt der nimmermüde Mensch. Der 54 km lange Seikantunnel verbindet die beiden japanischen Hauptinseln Hondo und Hokkaido. Wie widersteht ein solcher Tunnel im Erdbebenland Japan den Bodenbewegungen? Sind nicht auch die auf dem Festland bis in mehr als 2000 m Tiefe vorgetriebenen Schachtanlagen von Bergwerken eine Herausforderung an die im Erdinnern schlummernden Bebenkräfte?

Die Antworten auf all diese Fragen hängen natürlich sehr von der Erdbebenstärke und -häufigkeit in dem jeweiligen Gebiet ab. Das seismische

Risiko ist von Erdteil zu Erdteil, von Land zu Land, ja von Ort zu Ort unterschiedlich. Dank unseren Kenntnissen über das Auftreten und die Eigenheiten von Erdbeben könnte man heute unter Nutzung moderner Materialien und Technologien überall so gut und sicher bauen, daß der Mensch sich in seinen normalen Lebensgewohnheiten nicht merklich einschränken müßte.

Seit Jahrzehnten haben Seismologen und erfahrene Bauingenieure immer wieder auf katastrophale Verletzungen elementarer Bauregeln in Erdbebengebieten hingewiesen.

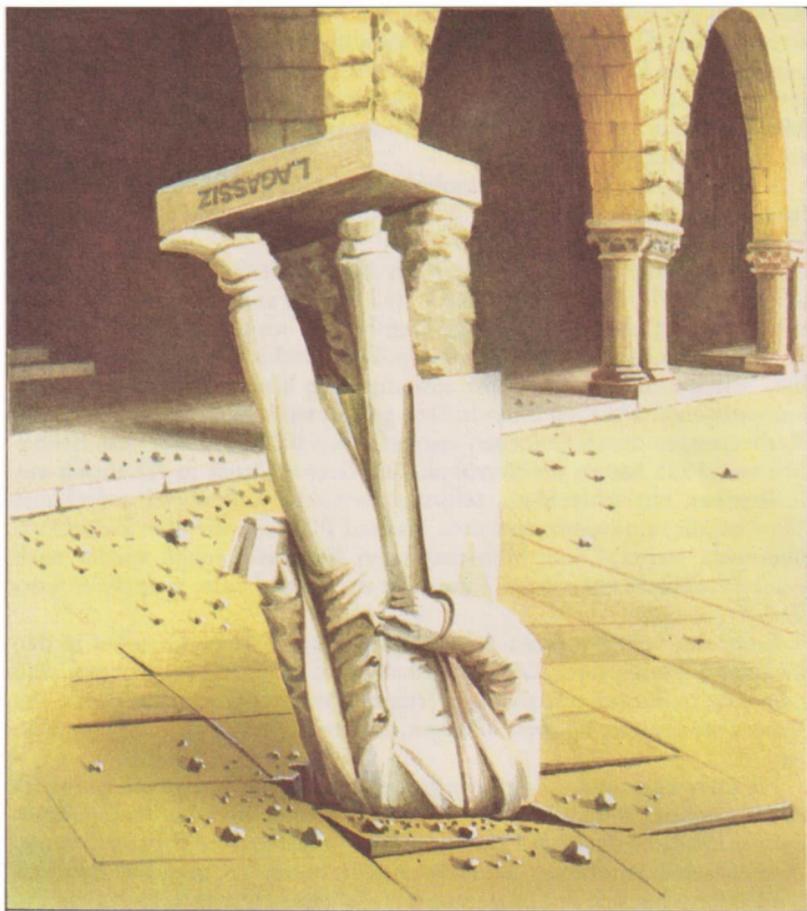
So schrieb der Amerikaner *William Hobbs* (1864–1953) bereits 1910: „Es ist wenig Hoffnung vorhanden, daß Städte, ausgenommen, wenn sie schon durch Erdbeben schwer gelitten haben, mit besonderer Rücksicht auf künftige Gefahren gebaut werden. Die Geschichte zeigt nur zu deutlich, wie hartnäckig, ja fast eigensinnig nach alten Gewohnheiten statt nach wissenschaftlichen Grundsätzen gebaut wird, auch wenn wiederholt Verheerungen durch Erdbeben stattgefunden haben . . . Vor dem Erdbeben von 1905 hatten die gewöhnlichen Bauernhütten in Kalabrien aus Rollsteinen mit schlechtem, selbstzubereitetem Kalkmörtel aufgebaute Mauern, die von einem schweren, lose auf Pfählen ruhenden Ziegeldach überdeckt waren. Diese Menschenfallen sind nicht selten wieder nach einem Erdbeben über ihren Ruinen in derselben Weise aufgebaut worden.“*

Einer der bedeutendsten Seismologen, August Sieberg, stellte in den zwanziger Jahren fest: „Gerade deshalb muß es Befremden erregen, daß man sich in Erdbebenländern diejenigen Forschungsergebnisse, die das Unheil wenigstens mildern könnten, bisher so wenig zunutze gemacht hat.“**

Heute werden in der Regel die größten Bauwerke überall mit genügender Sicherheit projektiert und errichtet. Je kleiner aber die Bauten, desto geringer sind meist die Sorgfalt und die Mühen bei der Bebensicherung. Namentlich in ländlichen Gegenden und insbesondere in unterentwickelten Ländern hat sich seit Beginn unseres Jahrhunderts auch im Kampf gegen die Auswirkungen von Erdbeben noch nicht viel geändert. Immer wieder fordern schnell errichtete, billige Profitbauten ohne ausreichende Bebenvorkehrungen oder verantwortungslose Mängel in der Bauausführung ihre Opfer. Zudem nützt das scheinbar bebensicherste Gebäude wenig, wenn die Beschaffenheit des Baugrunds nicht genügend berücksichtigt wird. Bauwerk und Baugrund bilden eine Einheit. Bebensicheres

* William Herbert Hobbs, a. a. O., S. 158 ff.

** Dr. August Sieberg, a. a. O., S. 63



Denkmal des Naturforschers Louis Agassiz (1807–1873) nach dem Beben von San Francisco 1906

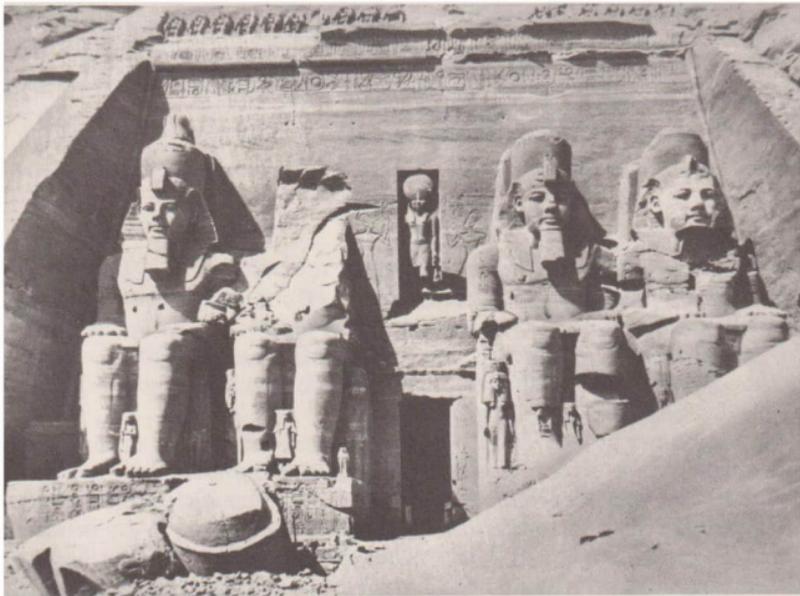
Bauen kann nur als Bestandteil eines umfassenderen Bebenschutzes gesehen werden. Die Minderung verheerender Begleit- und Folgeerscheinungen hängt ebenfalls vom Funktionieren der Lebenslinien ab, wie Straßennetz, Wasserleitungen, Energieversorgung, Transport- und Nachrichtenverbindungen, Gesundheits- und Rettungswesen.

Ramses II. im Zeugenstand

Gegen 1210 v. u. Z. wurden die Ramses-Kolosse am Eingang des Felsentempels zu Abu-Simbel durch ein Erdbeben zerstört oder beschädigt. *Ramses II.* (1290–1224 v. u. Z.) hatte das Pharaonenreich letztmalig zu einem Höhepunkt geführt. Er entwickelte eine verschwenderische Bautätigkeit und ließ in die Sandsteinfelsen bei Abu-Simbel am linken Nilufer zwischen Assuan und Wadi Halfa 2 großartige Tempel schlagen. Einen 36 m breiten und 32 m hohen Eingang flankieren 4 aus dem Felsen gehauene, 20 m hohe Sitzbilder des Pharaos, die deutliche Spuren von Erdbeben tragen. Ramses als Tatzeuge von Erdbeben . . .

Die Menschen der Urgesellschaft fertigten Behausungen aus Zweigen, Laub und Schilf, Häuten und Fellen von Tieren. Alles war leicht und elastisch verflochten, so daß sie damit wohl kaum Erdbebenprobleme hatten. Mit zunehmender Höhe und Schwere der Bauten änderte sich das rasch. Das Altertum kannte bereits imposante Steinbauten. Sie zählen für uns heute zu den zuverlässigsten Zeugen der Erdbeben vergangener Jahrtausende.

Felsentempel Ramses' II.





Der Parthenon (5. Jahrhundert v. u. Z.) — das bedeutendste Bauwerk auf der Akropolis in Athen

sende. Zeitgenössische Chronisten haben aus persönlichen, politischen oder religiösen Motiven manches Erdbeben erfunden, verschwiegen oder umgedeutet. So wurde Ägypten in der Frühe des 26. Mai 1111 von einem starken Erdbeben heimgesucht. Am selben Morgen zerstörte der Heerführer *Afdalus* den Harachtetempel in Heliopolis und verbreitete das Gerücht, das Erdbeben habe es getan.

Im Gegensatz zu den vielfach phantastischen Schilderungen in Sagen, schriftlichen Überlieferungen oder religiösen Urkunden sind bebenbedingte Bauwerkschäden vergegenständlichte Dokumente früherer Bebenereignisse. Freilich ist auch ihre Erkennung wegen der Verwitterung durch Sonneneinstrahlung, Altersverfall, Steinbruchbetrieb oder Kriegszerstörung nicht immer leicht und hat schon zu manchem Gelehrtenstreit

geführt. Lange Zeit glaubte man, das Gebiet um Athen wäre weitgehend bebenfrei. Schäden an den antiken Bauten seien nicht auf Erschütterungen zurückzuführen. Aber die Seismologen wiesen eindeutige Bebenspuren nach: Abgeworfene Blöcke am Parthenon der Akropolis, Mauerrisse und verschobene Säulenteile am sogenannten Theseion, Giebelschäden am Tetraklion und zerstörte Mauern der Odysseusbastei legen Zeugnis von mittelschweren Beben ab.

Das östliche Mittelmeergebiet mit Oberägypten, Palästina, Kleinasien und Griechenland ist das besterschlossene Freilandmuseum für Erdbeben des Altertums. Das liegt sowohl an der dort seit Menschengedenken starken Bebenaktivität als auch am intensiven archäologischen Suchen in dieser Region. Seit 600 v. u. Z. traten nachweislich wiederholt beträchtliche Bebenschäden am Orakeltempel des Apollon zu Delphi auf. Diese altgriechische Stadt galt seit dem 8. Jahrhundert v. u. Z. als Heiligtum des Apollon, des Gottes der Weissagung und der Künste. Das Zentrum des Heiligen Bezirks bildete der Orakeltempel mit der Apollonstatue, einem kegelförmigen Marmorblock, der als Mittelpunkt der Erde galt. Die eigentliche Orakelstätte war eine Erdspalte, aus der ein kalter, angeblich begehender Luftzug stieg. Die wahrsagende Priesterin gab mit ihren Orakelsprüchen nicht nur Rat, Auskunft und Verhaltensmaßregeln, sondern beeinflusste sogar politische und militärische Entscheidungen. Ob sie wohl auch ein Erdbeben weissagen konnte, bevor Delphi mit seinen Tempeln und Kunstsammlungen in der zweiten Hälfte des 4. Jahrhunderts v. u. Z. von solcher Naturkatastrophe schwer zerstört wurde?

Im Jahr 227 v. u. Z. erschütterte ein mittleres Beben die Insel Rhodos, 18 km vor der kleinasiatischen Küste gelegen. Ihm fiel auch der weltberühmte Koloß von Rhodos zum Opfer. Dieses 37 m hohe Bronzestandbild des Sonnengotts Helios war um 290 v. u. Z. vollendet worden und stand neben (nach anderen Berichten mit gespreizten Beinen über) der Hafeneinfahrt. Nach der Schilderung des in Rom lebenden griechischen Geographen und Geschichtsschreibers *Strabon* (etwa 64/63 v. u. Z.—um 20 u. Z.) wurde es an den Knien abgebrochen und zu Boden geworfen. Es bedarf also nicht unbedingt tönerner Füße, damit ein Beben einen Koloß umstürzen kann. Im Jahr 672 erwarb ein Händler die Riesenstatue und belud mit den Trümmern über 900 Kamele.

28 v. u. Z. verschob sich infolge eines Bebens der Oberkörper des nördlichen Memnonkolosses im ägyptischen Theben auf seinem Sockel. Theben, die „hunderttorige“ Stadt am Nil, war die Residenz des alten Pharaonenreichs. Die heute zwischen den Orten Luksor und Karnak gelegenen Ruinenfelder lassen nur noch entfernt den früheren Glanz und Reichtum ahnen. Die Kolossalstatue des Memnon schmückte einst mit

einem ebenfalls über 20 m hohen Sitzbild den Eingang eines Tempels auf dem westlichen Nilufer. Seit den Erdstößen des Jahres 28 v. u. Z. soll das Steinbild bei Sonnenaufgang den Ton einer zerspringenden Saite von sich gegeben haben. Nach der Sage von den Tönen der Memnonsäule erwidert der von Achilles getötete Memnon den Gruß seiner Mutter Eos (griechische Göttin der Morgenröte). Das Phänomen wurde später auf das Abspringen kleiner Steinteile (Kieselsandstein) beim Temperaturanstieg zur Zeit des Sonnenaufgangs zurückgeführt. Wahrscheinlicher ist, daß der aufkommende Morgenwind durch einen vom Erdbeben aufgerissenen Spalt strich und jenes eigentümliche Klingen erzeugte. Es hörte erst wieder auf, als fast 200 Jahre später *Septimius Severus* (146–211), der römische Soldatenkaiser, den Riß der „tönenden Statue“ schließen ließ. Vom selben Beben rühren auch die hauptsächlichsten Schäden an den weltberühmten Tempeln von Luxor und Karnak her.

Zerstörungen durch Erdbeben werden oft an schreitenden Figuren bemerkt. Gewöhnlich ist der Rumpf in Hüft- oder Kniehöhe abgebrochen oder die Figur durch Horizontalrisse zersprungen. Schwingt der Erdboden horizontal, wie es bei Beben häufig geschieht, dann wirkt der schwere Oberkörper als träge Masse. Die Beine können an den schwächsten und schmalsten Stellen zerbrechen. Bei sitzenden Figuren schert die hohe, stärker pendelnde Säule des sitzenden Rumpfes gegen den vorgewinkelten niedrigen Beinklotz ab. Auf der Suche nach erdbebensicheren Standbildformen war den ägyptischen Baumeistern mit den ihnen zur Verfügung stehenden Materialien (vor allem Granit, verkieselter Sandstein) also kein rechter Erfolg beschieden.

Aus dem Jahr 554 wird von einem Erdbeben auf der nördlich von Rhodos gelegenen Insel Kos berichtet. Dabei wurde auch das seit dem 4. Jahrhundert v. u. Z. bestehende Asklepiosheiligtum zerstört. Es beherbergte eine Ärzteschule und Heilanstalt. Symbol der Schule war der Stab des Asklepios (Äskulap), des griechischen Gottes der Heilkunde.

1303 fielen beträchtliche Gebiete Kairos mit ihren Moscheen einem Beben zum Opfer. Der Nil warf Schiffe aufs Land. Noch an der Mittelmeerküste waren die Erschütterungen so stark, daß ein großer Teil des 110 m hohen Pharos von Alexandria zusammenbrach. Pharos war im Altertum ursprünglich eine Insel nördlich von Alexandria. Sie wurde durch einen künstlichen Damm mit der Stadt verbunden und trug auf ihrer Ostspitze seit *Ptolemäus II.* (308–246 v. u. Z.) den berühmten Leuchtturm namens Pharos. Dieser Turm gehörte neben dem Koloß von Rhodos zu den Sieben Weltwundern der Antike.

Erdbeben beschädigten wiederholt die Tempel und Festungsmauern von Baalbek, der alten, ehemals blühenden griechisch-römischen Han-



Die Memnonkolosse – Statuen Amenophis' III. (14. Jahrhundert v. u. Z.) in Theben; rechts die „tönende Statue“

delsstadt Heliopolis (Sonnenstadt). Die letzten schweren Zerstörungen sind vom großen Beben 1759 bekannt, das gleichzeitig ein Drittel des etwa 60 km südlich gelegenen Damaskus verwüstete. Von den 9 Riesensäulen des Jupitertempels stürzten 3 um, die restlichen ragen mit den Gebälkresten bei 2,2 m Durchmesser noch 24 m in die Höhe. Wenn heute in Baalbek von den 3 gewaltigen Tempeln, den kunstvoll verzierten Pavillons, den Statuen, Säulengängen und selbst von der ehemals aus gigantischen behauenen Kalk- oder Marmorblöcken von 19 m Länge, 4 m Höhe und 4 m Dicke aufgetürmten Festungsmauer nur noch Ruinen in der Talebene Bekaa stehen, dann liegt das jedoch nur zu einem geringen Teil an den Erdbeben. In seiner langen Geschichte befand sich Baalbek oft im Zentrum kriegerischer Ereignisse. So sind die Ruinen von Baalbek beredtes Zeugnis dafür, wieviel zerstörender Menschen im Vergleich zu den Naturgewalten wirken können.

Die Frage, inwieweit die Erdbebengefahr in der antiken Bauweise beachtet wurde, lässt sich schwer beantworten. Sicher haben auch damals die Baumeister allmählich gelernt, die Standfestigkeit der Gebäude zu erhöhen. Das betrifft vor allem die Fundamentierung, namentlich die stabile

Errichtung von Kellergewölben als Zufluchtsstätte und die Verlegung der Längsachse der Gebäude in die vorherrschende Stoßrichtung. Den traditionell vorgeschriebenen Baustil konnten die Architekten allerdings mit dem Hinweis auf Bebengefahr gewiß nicht verändern. Immer wieder aber zeigte die Erfahrung, daß die antiken Tempelbauten und die in Anlehnung an diesen Baustil errichteten christlichen Basiliken trotz ihrer Massivität bei schweren Beben zerstört wurden.

Starke Beben auf dem Balkan und in Kleinasien im 5. Jahrhundert beschleunigten die Wandlung des Baustils zum byzantinischen Kuppelbau. So verleihen die sich gegenseitig stützenden und verjüngenden Halbkuppeln und die schmalen Seitenschiffe der Hagia Sophia in Istanbul (Konstantinopel) mit ihrer gewaltigen 32 m breiten Mittelkuppel dem Bauwerk eine bemerkenswerte Stabilität. Die um 537 fertiggestellte Hagia Sophia ist nicht nur das bedeutendste und in den Ausmaßen größte Denkmal der byzantinischen Kunst, sondern auch ein technisches Baudenkmal in bezug auf zweckmäßigen Erdbebenschutz. Sie hat sich über Jahrhunderte auf höchst unsicherem Boden fast unbeschadet erhalten, während andere Bauten auf gleichem Untergrund längst zerstört sind.

Auch von anderen Völkern und Kulturen wird immer wieder Erstaunliches über die Widerstandsfähigkeit von bestimmten Bauwerken gegenüber Erdbeben berichtet. So verwendeten georgische Bauleute bereits im 7. Jahrhundert beim Errichten der wichtigsten Kirchen eine Art Bandage. Das Mauerwerk wurde durch ein Eisengerüst verspannt und zusammengehalten. In Buchara ruht das Mausoleum von *Ismail Saman*, dem einstigen Herrscher der alten Oasenstadt, auf Pfählen und Schichten von Schilfrohr. Es hat sich bisher ebenso bebenfest erwiesen wie viele andere, ähnlich errichtete Medresen, Mausoleen und Moscheen im bebengeschüttelten Mittelasien.

Einmalig sind in ihrer Beziehung zu den Erdbeben die gigantischen Steinbauten der alten Inkakulturen Südamerikas. Mitten im Feuergürtel der Anden, in einem Gebiet voller vulkanischer und seismischer Aktivität, wo sich fast ständig die erdinneren Gewalten an der Oberfläche entladen, stehen festgefügte, riesenhafte steinerne Kultstätten. Ob im ekuadorianischen Incapira, im peruanischen Sacsahuaman und Machu Picchu oder anderswo – vielerorts haben die Hochlandindios gewaltige Mauern aus Steinquadern aufeinandergetürmt. Staunend betrachteten die ersten Spanier im 16. Jahrhundert diese Mauern ohne Mörtel, aber mit so erdbebensicher geschliffenen Flächen, daß sie nicht einmal ihre Federmesser in die Fugen treiben konnten. Die Steinblöcke haben meist vier- oder auch vieleckige, nach vorn kissenartig gewölbte Flächen und sind durch Zapfen miteinander verbunden. Noch weiß niemand, wie die Inkasteinmet-

zen diese „construcciones antisismicas“ mit ihren Kupfer- oder Bronze-
werkzeugen geschaffen haben; denn Eisen kannten sie nicht. Aus der
Erdbebengefahr erklären sich auch einige Besonderheiten der Inkaarchi-
tektur. So blieb trotz hochentwickelter Fertigkeiten bei der Errichtung
von Steinmauern die Bedachung der Gebäude ziemlich primitiv; die Dä-
cher waren nur mit Rohr oder Stroh gedeckt, das von einer Holzkon-
struktion getragen wurde. Vom Standpunkt des Bebenschutzes aber bil-
deten diese leichten und flexiblen Dachkonstruktionen die zweckmäßig-
ste Lösung.

Auf der Suche nach dem „Antibebenhaus“

In Mitteleuropa entwickelte sich aus dem Holz- und Lehmbau die Blüte
des Fachwerkbbaus. Dann bestimmte der bewährte Ziegelstein lange Zeit
Bautechnologie und Baufortschritt, allmählich bei Großbauten verdrängt
von Platten und Stahlbeton. Wer sich heute mit erdbebensicherem Bauen
und Gebäudeschutz befaßt, trifft auf unterschiedliche Baustile, Baumate-
rialien und Bauausführungen. Bestimmte Erscheinungen an bebenge-
schüttelten Bauwerken treten immer wieder auf.

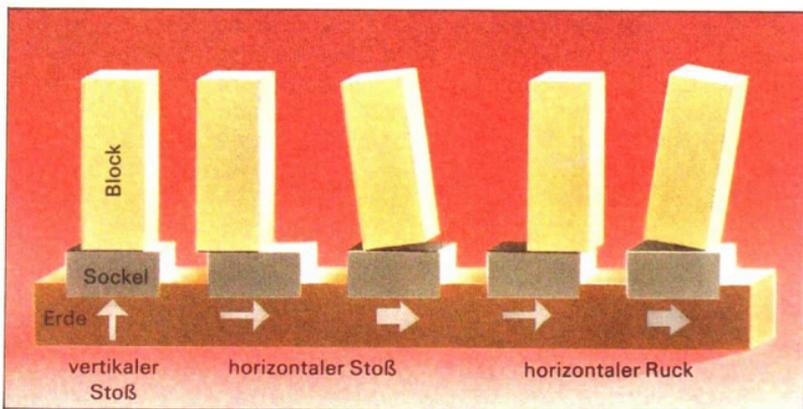
Wir denken uns zunächst als Urtyp eines Gebäudes einen quaderförmigen
Steinblock, der auf einem fest mit der Erde verbundenen Sockel steht.
Wie verhält sich der Block gegenüber verschiedenen Bodenbewegungen?

Vertikaler Stoß: Der Block springt kurz nach oben und nimmt dann sei-
nen Platz wieder ein. Bei schwachem Stoß bleibt er in Ruhe.

Horizontaler Stoß: Der Sockel verschiebt sich erst schnell, dann lang-
sam. Der Block bleibt infolge Trägheit zurück. Besteht zwischen Sockel
und Block eine starke Reibung (Befestigung), dann kommt es zu einer
Hebelwirkung. Der Block kippt um. Die Gefährdung ist größer als bei
vertikalem Stoß.

Horizontaler Ruck: Der Sockel verschiebt sich erst langsam, dann
schnell. Der Block rutscht weiter, wenn der Sockel in die Ruhelage zu-
rückkehrt, und kippt nach vorn. Bei ungleicher Reibung dreht sich der
Block, bei starrer Verbindung erfolgt oft ein Bruch im oberen Teil
(Schornsteine, Betontürme). Wird hingegen der obere Teil des Blockes
festgehalten (Brückenpfeiler), dann kommt es häufig zur Knickung.

Fügen wir jetzt eine Vielzahl von „Blöcken“ (Wände, Zwischendecken,
Ausbauten, Dach) zu einem Haus (einstöckiges Haus mit Satteldach)
zusammen und betrachten nicht einzelne, sondern zusammengesetzte
Bodenbewegungen.



Verhalten eines Steinblocks bei einem Erdbeben

Vertikalbewegung

Die Bewegung von unten wirkt so, als ob man zur Befestigung eines Hammers oder eines Besens mit dem freien Stielende auf den Boden stößt. Infolge der Trägheitskraft wandern die Druckspannungen in den Wänden von unten nach oben. Das Bauwerk *drückt* also auf sein Fundament. Grundfalsch ist die Annahme, bei Erdbeben würden Gebäude in die Luft geworfen und brächen beim Rückprall auseinander.

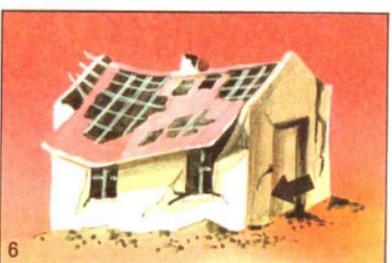
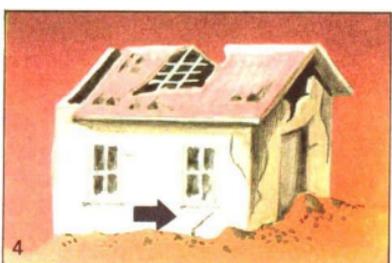
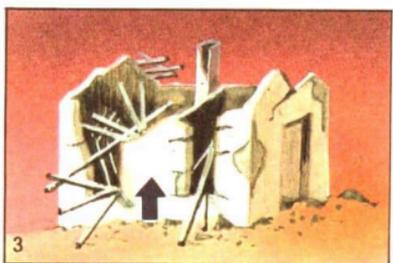
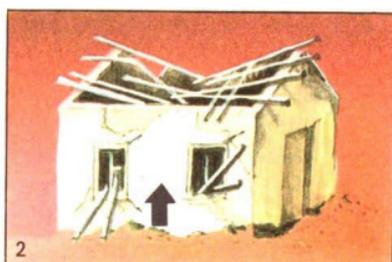
- Fall 1 Mauern und Dach bleiben wegen ihrer Festigkeit erhalten. Das Dach reißt an den Mauerkanten. Putz und Dachziegel fallen ab.
- Fall 2 Die Mauern halten stand. Das Dach bricht zusammen. Es kommt zu Zerstörungen im Innern des Hauses.
- Fall 3 Die Mauern werden von der Last des Daches zerdrückt und brechen zusammen. Das niederstürzende Dach vermehrt die Verwüstungen.

Horizontalbewegung

Die Bewegung von der Seite ruft eine verschiebende Verformung der Hauswände hervor. Diagonal gerichtete Druck- und Zugspannungen treten auf, die treppenförmig den Steinfugen folgen.

Bewegung entlang den Längsmauern

- Fall 4 Mauern und Dach werden nicht deformiert. Das Haus verrutscht auf dem Fundament, oder das Dach verschiebt sich, wobei Giebel und Kamin abgestoßen werden können.



Erdbebenschäden an einem Haus (nach Sieberg)

Fall 5 Die Mauern werden deformiert und reißen. Die Giebelmauer wird zerstört. Das Dach bleibt erhalten.

Bewegung entlang den Giebelmauern

Fall 6 Wie bei 5, jedoch rutscht das Dach als Ganzes ab und reißt Mauerbrocken mit.

Fall 7 Das Dach bricht zusammen und zerstört das Innere. Die in Stoßrichtung liegende Längsmauer wird dabei beschädigt.

Fall 8 Das Dach bleibt erhalten und mit den Längsmauern verbunden. Diese können zusammenbrechen, während die Giebelmauern stehenbleiben.

Bewegung schief zu den Längsmauern

Der Grundriß behält im Fundament seine Form. Es tritt eine nach oben zunehmende rhombische Verformung auf. Die Mauern reißen ab. Die oberen Ecken und Kanten werden zerstört. Das Innere bricht zusammen.

Oft ist für den Gebäudeschaden eines Bebens die Angriffsrichtung des Stoßes von entscheidender Bedeutung. An einer instabilen Stelle genügt meist ein einzelner, genau treffender Stoß. Man bekommt davon eine Vorstellung, wenn man den Abriß eines Gebäudes mit einer schwingenden Eisenkugel beobachtet. Auch ein starkes Bollwerk ist empfindlich und wankt, wenn sein neuralgischer Punkt getroffen wird. Für den Hausbau in erdbebengefährdeten Gebieten ergibt sich damit die dringende Forderung nach einer lückenlosen „Rundumverteidigung“. Ein Gebäude ist gegen Erdbeben auf die Dauer nur so stabil wie seine schwächste Seite oder Ecke.

Die wichtigste Grundregel für erdbebensichere Bauweise lautet: leicht, aber fest. Dabei ist fest im Sinn von elastisch zu verstehen. Das Gebäude darf sich den Stößen nicht spröde oder klotzig entgegenstellen, sondern muß die Kräfte über das Fundament aufnehmen und sie sich allmählich „totlaufen“ lassen. Denken wir nur einmal an das menschliche Skelett. Die Knochen einschließlich ihrer Gelenkverbindungen sind besonders beim jungen Menschen genügend elastisch und formbeständig, so daß sie selbst schwere Stöße gut überstehen können. Mit zunehmender Verkalkung wächst die Bruchgefahr. Je starrer ein Bauwerk ist, desto höher sind bei Erdbeben die inneren Spannungen. Je mehr ein Gebäude wie ein gesunder Baum einem Sturm nachzugeben vermag, desto geringer wird die Bruch- und Einsturzgefahr.

In unterentwickelten Ländern häufig verwendete Baustoffe wie Lehm und Rollsteine sind denkbar ungeeignet. Aus ihnen errichteten Mauern fehlt die innere Elastizität und Festigkeit. Um diesem auch bei starker



In Naghan (Iran) nach dem Beben von 1977

Windbelastung bemerkbaren Mangel abzuhelpfen, verwendeten die Bauleute im Mittelalter den Fachwerkbau. Allerdings besteht zwischen Wind- und Erdbebenkräften ein wesentlicher Unterschied. Wind wirkt flächig auf Dach und Wände, Erdbeben greift allein am Fundament an. Das dreieckige Fachwerk, wie es gegen Winddruck empfohlen wird, ist bei Erdbeben nicht günstig. Dreieckige Fachwerkkonstruktionen werden bei Zug- und Schubdeformation aus ihren Verklammerungen gerissen, da Dreiecke ihre Winkel nicht ohne entsprechende Änderung in den Seitenlängen zu verstellen vermögen. Hingegen kann rechtwinkliges Fachwerk mit gitterartigem Balkengerüst ohne Änderung der Länge seiner Glieder eine Formänderung erleiden. In dieser Weise errichtete Fachwerkbauten sind hinsichtlich der Sicherheit gegen Einsturz den massiven Steinbauten überlegen.

Wenschon Ziegel verwendet werden, dann ist es notwendig, sorgfältig im Verband zu mauern und guten Mörtel zu benutzen. Um die Stoßkräfte aufzunehmen, müssen die einzelnen Gebäudeteile sowohl waagrecht als auch senkrecht fest miteinander verbunden werden. Das gilt vorrangig für das Dach und die Zwischengesosse. Von ihnen können Menschen wie in einer Falle erschlagen werden. Hinzu kommt, daß

schlecht verankerte Zwischendecken und Fußböden bei horizontaler Mauerbewegung wegen ihrer Trägheit gleich Sturmböcken gegen die Mauern prallen und diese zertrümmern.

Die Suche nach der günstigsten Statur eines Gebäudes ist nicht einfach. Das ideale „Antibebenhaus“ sollte ein tiefes, festes Fundament, gut eingebundene elastische Wände und Zwischendecken, geringe Höhe, ein leichtes Dach und wenige Fenster- und Türöffnungen haben. Letztere bilden immer Schwachstellen im Bauverband. In modernen Großstädten läßt sich die Forderung nach geringer Gebäudehöhe schon lange nicht mehr erfüllen. Hochbauten schießen in massivem Stahlbeton- oder als Plattenkonstruktionen wie Pilze aus dem Boden. Glücklicherweise kann man mit Stahl, Aluminium und Beton nicht nur hoch, sondern auch sehr sicher bauen.

Ein Gebäude gegen die Wirkungen eines Erdbebens zu schützen bedeutet zugleich, es gegen die Flammen zu wappnen. Die Grundgedanken des alten Holzfachwerkbbaus nutzend, verwenden die Bauleute heute dazu völlig neue Materialien. So bietet Stahlbeton wesentliche Vorteile — nicht nur wegen seiner Widerstandsfähigkeit gegen Feuer. Die Wärmeausdehnung hat für Stahl und Zement nahezu den gleichen Wert, so daß Betonelemente bei Feuer nicht reißen. Außerdem wird wegen der schlechten Wärmeleitung des Zements das Stahlskelett kaum erweicht oder verbogen.

Jedes Gebäude ist ein schwingungsfähiges Gebilde. Wenn man sagt, daß einer „wie ein Rohr im Wind schwankt“, dann bezeichnet man damit einen Menschen, der häufig seine Meinung und sein Verhalten ändert, der schnell „umkippt“. Ein Gebäude dagegen muß schwanken (besser: schwingen), damit es *nicht* umkippt oder nicht zerstört wird. Schon die Energieausbreitung vom Erdbebenherd geschieht wellenförmig, die Bodenteilchen werden angestoßen, schwingen und stoßen dabei die Bewegungsenergie weiter. So gelangt diese schließlich ins Fundament der Gebäude. Das Fundament gibt die Bewegung an den Überbau weiter, der seinerseits wie ein umgekehrtes Pendel zu schwingen beginnt. Die Dauer (Eigenperiode) einer Einzelschwingung hängt nicht nur von der ursprünglichen Bodenbewegung ab, sondern vor allem von der Gebäudemasse und ihrem Abstand vom Angriffspunkt (Fundament). Eine Illustration dieser zunächst verwunderlich scheinenden Tatsache liefert uns eine einfache Beobachtung am Wasser: Ein vor Anker liegendes Schiff ist bei fast Windstille einem leichten Wellengang ausgesetzt. Es schwankt nicht im Takt mit den Wellen, sondern in seiner Eigenperiode, die größer ist als die der kleinen Wasserwellen.

Was geschieht mit der Bewegungsenergie im Gebäude? Sie wird vom

Bauwerk ähnlich der Brechung von Wasserwellen gleichsam verzehrt. Physikalisch gesprochen: Mechanische Energie wandelt sich durch innere Reibung in Wärmeenergie. Es treten gedämpfte, in ihrem Pendelausschlag abnehmende Schwingungen auf. Spätestens hier wird klar, wie genau man ein erdbebenfestes Gebäude berechnen muß und welche Anforderungen an die qualitätsgerechte Ausführung zu stellen sind.

Jedes Gebäude besteht aus einzelnen, wiederum beliebig unterteilbaren Sektionen, die jede für sich ein Pendel bilden. Damit existieren unterschiedliche Eigenperioden. Alles will je nach Anregung und Trägheit seine Bewegungen mit verschiedenen Geschwindigkeiten und in verschiedener Richtung ausführen. Nicht selten reißen Gebäudeteile an ihren schwächsten Verbindungen oder ganze Seitenflügel ab, weil sich Teil-schwingungen „selbständig“ gemacht haben. Ein Gebäude oder Gebäudekomplex soll möglichst als Ganzes und in kontrollierbaren Grenzen schwingen. Dazu müssen die Verbindungen und Querelemente stark genug sein. Ist das der Fall, dann läßt sich sogar ein gegenseitiges Auslösen einzelner Teilschwingungen erreichen.

Wie verhängnisvoll sich ungenügender innerer Zusammenhalt von Gebäudekomplexen und unzuweckmäßige Anordnung auswirken können, zeigen die häufigen Zerstörungen an den letzten Häusern geschlossener Straßenzüge. Sind die einzelnen Häuser kastenförmig aneinandergesetzt und verläuft der horizontale oder schräg von unten kommende Stoß in Richtung der Häuserzeile, so besteht für die letzten Eckhäuser besondere Gefahr. Die ersten Häuser nehmen den Stoß auf und geben ihn an die nächsten weiter. Diese bleiben fast in Ruhe und damit unversehrt . . . Die letzten „beißen die Hunde“. Sie pendeln ohne Widerlager aus und erleiden die größten Zerstörungen.

Aus einem physikalischen Schulexperiment ist etwas Ähnliches bekannt. Ein Stoß, der eine Reihe sich berührender Kugeln aus elastischem Material in Längsrichtung trifft, bringt nur die letzte am entgegengesetzten Ende zum Ausschlag, während die anderen Kugeln in Ruhe bleiben.

Wohl fast jeder hat schon einmal beim Flottmachen eines steckengebliebenen Autos geholfen — nach der Devise: Immer mit der Ruhe (also mit geringem, überlegtem Krafteinsatz) und dann mit 'nem Ruck. Ein einzelner plötzlicher Stoß von großer Wucht ist oft weniger effektiv als eine länger andauernde Folge von Einzelimpulsen. Die Wirkung eines Bebens hängt nicht nur von der Stärke, sondern maßgeblich auch von dem Verlauf der Erschütterungen ab.

In einer bestimmten Entfernung vom Ursprung geht ein ehemals einzelner starker Stoß allmählich in immer schwächere, aber längere Schwingungen des Bodens über. Der Schwingungszustand kann dann



Dieses Eckhaus in Bukarest konnte die Schwingungen der dahinterliegenden Häuserzeile nicht abfangen.

viele Minuten andauern. Die Voraussetzungen für Aufschaukelungen (Resonanzen) sind gegeben.

Nicht jede Resonanz an Gebäuden muß zur Katastrophe führen. Sind die periodischen Anregungen bereits sehr schwach und dämpft das Bauwerk genügend stark, so bleiben die Schadenwirkungen aus, obwohl die Eigenperiode des Gebäudes in Resonanznähe liegt. Zum Glück ist eine seismische Bodenerschütterung nur selten regelmäßig, sondern ein mehr oder weniger breites Periodengemisch. Eine scharfe Resonanzspitze kann sich nicht über längere Zeit einstellen. Immerhin wird aber in manchen Hochhäusern ein mittelweites Erdbeben (mehrere Hunderte von Kilometern Entfernung) noch deutlich wahrgenommen, während man es in Flach- oder vier- bis sechsgeschossigen Bauten nicht verspürt.

Jedes Haus hat je nach Eigenperiode seine eigene Empfindlichkeit, gleichsam seine eigene „Antenne“ für Erdbeben. Die Eigenperiode hängt auch von der Gebäudehöhe ab und wächst meist mit der Zahl der Stockwerke. Als Faustregel gilt für Hochhäuser: Eigenperiode (Dauer einer Einzelschwingung) in Sekunden gleich einem Dreißigstel der Gebäudehöhe in Metern oder gleich ungefähr einem Zehntel der Anzahl der Stockwerke. Damit beträgt für jedes Haus die ungefähre Resonanzperiode: 5 Stockwerke – 0,5 Sekunde, 10 Stockwerke – 1 Sekunde, 20 Stockwerke – 2 Sekunden, 30 Stockwerke – 3 Sekunden . . . Nun fehlt noch die Kenntnis der vorherrschenden Perioden, der wirksamsten horizontalen Bodenbewegung in unserem Land. Die Antwort lautet: 1,5 bis 2,5 Sekunden. Somit sind bei uns Hochhäuser mit 15 bis 25 Etagen am ehesten geeignet, Erdbeben umliegender Herdgebiete zu „empfangen“. Nach den bisherigen Erfahrungen besteht aber wegen der geringen Schwingungsenergie kein Grund zur Besorgnis.

Am 25. Juni 1892 wurde in Tokio ein Befehl Seiner Majestät des Kaisers von Japan erlassen. Er galt der Gründungszeremonie des berühmten Japanischen Erdbeben-Forschungskomitees. Zu den Aufgaben des Komitees gehörte es laut Satzung, zu erforschen, „was getan werden könne, um

In El-Asnam nach dem Beben von 1980



die unheilvollen Wirkungen von Erdbebenstößen durch die Wahl geeigneter Bauweisen, Baumaterialien, Lagen der Gebäude usw. auf ein Minimum zurückzuführen“*.

Älter als der Traum von der Vorhersage ist der aktive Kampf des Menschen gegen die schädigenden Wirkungen der Erdbeben. Heute hat diese Arbeitsrichtung im modernen Ingenieurwesen einen festen Platz. Schon nach dem kaiserlichen Erlaß entstanden in Japan die ersten Modellhäuser zum Studium von Bebenwirkungen. Auf einem Versuchsgelände mit einheitlichem Untergrund wurden verschiedene Hauskonstruktionen errichtet und deren Widerstandsfähigkeit gegen Erdbeben getestet. Waren es zunächst fallende schwere Massen, so ging man später zu Sprengstoffdetonationen über, um Versuchsbauten zu erschüttern. Als im kasachischen Hochgebirge bei Medeo in der Nähe von Alma-Ata ein riesenhafter Schutzdamm in 1800 m Höhe gegen die drohende Gefahr bebenausgelöster Geröll- und Schlammlawinen gebaut wurde, errichtete man auch Testhäuser aus Ziegeln oder Großblöcken und nutzte die schweren Explosionen beim Dammbau gleich für die Analyse ihrer Bebenfestigkeit.

Weitere originelle Formen des „Abklopfens“ von Gebäuden auf Schwachstellen sind erdacht worden. In Alma-Ata haben Bebeningenieure auf Häuserdächern exzentrisch an mächtigen Wellen befestigte rotierende Massen montiert. Durch Regelung der Drehgeschwindigkeit und der Massenverteilung lassen sich die Häuser in Horizontal- und Vertikalvibrationen versetzen. In Tsukuba, der japanischen Stadt der Wissenschaften nördlich Tokios, laufen auf einem großen Versuchsgelände regelmäßig mehrmonatige Testserien. Hier werden Häuser einer wahren Zerreißprobe unterworfen. Man traktiert sie bis zum Zusammenbruch. Die Methoden sind vielfältig. So stehen mehrere Krane mit je 100 t Tragkraft zur Verfügung, die Stahlbetonkonstruktionen pausenlos einer erdbebenartigen Stoß- und Zugbelastung aussetzen können. Andere Tests benutzen hydraulische Anlagen, um die bis zu 10 Stockwerke hohen Versuchsbauten zu schütteln.

Man kann inzwischen Erdbeben im Computer veranstalten und ihre Auswirkungen auf Bauwerke simulieren. Die Bauingenieure rechnen dafür die genauen Festigkeits- und Elastizitätswerte an genügend vielen Punkten ihres Wunschbaus aus. Der Seismologe liefert die Schwingungsgrößen eines für den Standort typischen Erdbebens. Im Rechner läuft das Beben auf numerischem Weg ab. Manche Grundsatzentscheidung oder Detailverbesserung kann bereits vor Baubeginn, ja sogar bevor das Bauwerk aufs Reißbrett kommt, gefällt werden. Eine derartige Computerbe-

* zit. nach William Herbert Hobbs, a. a. O., S. 162

fragung soll sinngemäß zu der Antwort geführt haben: Im Erdbebenland Japan lassen sich bei den gegenwärtig maximal möglichen Sicherheitsvorkehrungen Hochhäuser bis zu 170 Stockwerken noch bebensicher bauen.

Momentaufnahmen schwingender Gebäude lieferte der Computer auf Mikrofilm. Der japanische Ingenieurseismologe *Kiyoshi Muto* machte dazu die scherzhafte Bemerkung, die Bewegungen ähnelten weniger denen eines umgekehrten physikalischen Pendels als vielmehr denen eines Hula-Tänzers.

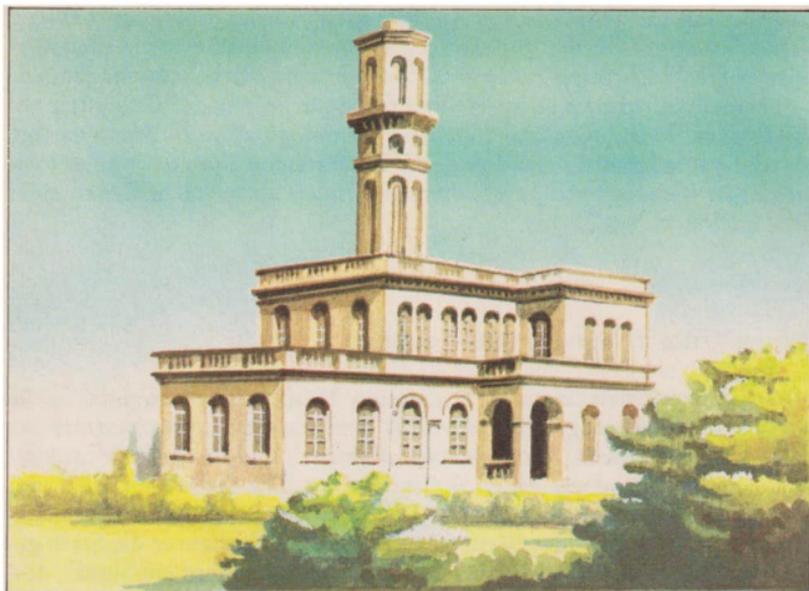
Häuser, die in Hängematten ruhen

Agadir, eine Provinzstadt im Südwesten Marokkos, ist zweimal in die Geschichte eingegangen. Im Jahr 1911 erschien hier in provokatorischer Absicht das deutsche Kanonenboot „Panther“ und löste die Marokkokrise am Vorabend des ersten Weltkriegs aus. Die Stadt selbst blieb davon weitgehend unberührt. Fast 50 Jahre später trat Agadir erneut schlagartig ins Rampenlicht des Weltinteresses. Diesmal kostete es die Stadt gewaltige Opfer. Agadir 1960 aber setzte in vielen Ländern ein Signal, dessen Beachtung bis heute unzähligen Menschen das Leben gerettet hat.

Der ehemals verträumte Fischereihafen am Atlantik war zu einem bedeutenden Ausfuhrzentrum von Zitrusfrüchten, Oliven, Feigen und Mandeln geworden. Die 17 000 Einwohner stellten vor allem Obst-, Gemüse- und Fischkonserven her. Ende Februar war die Verschiffung von Freilandgemüse nach Europa bereits in vollem Gange. Auch der Tourismus hatte Agadir in den fünfziger Jahren zu schneller Blüte verholfen. Schon herrschte an den Luxusstränden reger Badebetrieb, als am 29. Februar 1960 ein Donnerschlag die Stadt in Trümmer legte.

Ein Erdbeben, sonst selten in diesem Teil Nordwestafrikas, hatte sich nur wenige Kilometer unter Agadir ereignet. Der Herd war bis an die Oberfläche durchgebrochen. Besonders die von den Armen bewohnte Altstadt mit ihren Elendsvierteln bot ein Bild grauenhafter Verwüstung. Das Leben von 10 000 Menschen – über die Hälfte der Bevölkerung – konnte nicht mehr gerettet werden. Das ist fast das Jahresmittel an Erdbebenopfern für die ganze Welt.

In die seismologische Erdbebenstatistik ging jenes Agadirbeben als eins unter vielen ein. Man hatte sehr schnell festgestellt, daß es die vergleichsweise geringe Magnitude von nur 6 aufwies. Mehr als 100 Erdbeben solcher Stärke ereignen sich jährlich. Warum entstand in diesem Fall so großer Schaden? Gewiß spielten die geringe Herdtiefe, der lockere Bau-



Erdbebeninstitut in Messina vor und nach dem Beben von 1908

grund und die ungenügende Vorbereitung der Bevölkerung auch eine Rolle. Entscheidend für das Ausmaß der Katastrophe aber waren die völlig ungeeignete Konstruktion der Bauten und das denkbar schlechteste Baumaterial. Die aus Stampflehm und Bruchstein errichteten Mauern und Dächer der Altstadt wurden genauso erbarmungslos durcheinandergewirbelt wie manche „modernen“ Bauten, die gleich Kartenhäusern zusammenfielen.

Die Tragödie von Agadir rüttelte die Öffentlichkeit vieler Länder auf. Neue Überlegungen zum bebensicheren Bauen und endlich auch eine koordinierte internationale Zusammenarbeit brachen sich Bahn. Die Stadt selbst entstand im neuen Gewand in unmittelbarer Nähe auf weit günstigerem Grund.

So bewundernswert die antiseismische Bauweise manch alter Kulturvölker in Südamerika, Afrika oder Asien ist, so wenig nützt sie der Masse des Volkes. Die Paläste der Despoten lassen sich nicht mit den Hütten des einfachen Mannes vergleichen. Wer als Arbeitssklave mit seinen Händen und seinem Blut für andere schaffen muß, ist selbst den Gefahren meist schutzlos ausgesetzt. Immer trifft es die Ärmsten der Armen, weil sie im wahrsten Sinn des Wortes kein ordentliches Dach über dem Kopf haben.

Neben Agadir zeigte kaum eine Katastrophe dies deutlicher als gerade die Ereignisse in Peru. Am 31. Mai 1970, Jahrhunderte nach der Zeit der alten Inkaherrscher und ihrer namenlosen Baumeister, raste ein Erdbeben durch das Andenland, ganze Landstriche samt Behausungen zwischen dem schneebedeckten Hochgebirge und dem Pazifik verwüstend. 50 000 Menschen starben einen qualvollen Tod; die meisten wurden von den Mauern und Dächern ihrer Häuser erschlagen. Mußte es so schlimm kommen? Hätte sich das katastrophale Ausmaß nicht wenigstens in Grenzen halten lassen, wenn die Lehren der Altvorderen beherzigt oder moderne Baukenntnisse genutzt worden wären? „Wenn“ und „hätte“ kamen für die Betroffenen zu spät. Die spanischen Eroberer hatten nicht nur Gold und Silber geraubt. Ganze Völkerstämme wurden nahezu ausgerottet und der Rest versklavt, Kulturen und Traditionen brutal zerschlagen. Die einst so stolzen und handwerklich geschickten Indios waren in tiefe Rückständigkeit gestoßen. Die junge, national gesinnte Regierung, gerade 2 Jahre an der Macht, konnte 1970 noch nicht mit Erfolgen bei der Reformierung des veralteten Bauwesens aufwarten.

Wie sah die Schreckensbilanz aus der Sicht des Bauingenieurs aus? „Adobe war der Mörder“, sagte ein Peruaner seinen ausländischen Kollegen. Voll Bitterkeit fügte er hinzu: „Adobe ist das am weitesten verbreitete Baumaterial in Peru und wird es auch in Zukunft bleiben.“ Einfache, luftgetrocknete Lehmziegel – das bezeichnet man als Adobe. Notdürftig

mit Stroh oder einem bindigen Zusatz vermischt, geben sie den Hausmauern in den Bergen und ländlichen Gegenden noch einen gewissen Halt. In Ermangelung anderen Baumaterials haben die Millionen auf der Suche nach Arbeit und Brot vom Land in die Städte geflohenen Tagelöhner ganze Elendsviertel damit errichtet. In Küstennähe ist der Lehm sandig und krümlig, fehlt es an Holz, Stroh und Bindemitteln. Dementsprechend verheerend waren die Bebenschäden. So wurden an der Küste auf einem 180 km langen Landstrich zwischen Huacho und Trujillo nahezu sämtliche Lehmhäuser niedergerissen. Die Dächer bestehen auf dem Land meist aus schwachen Holzgerüsten mit Schilf oder Strohaufgaben, die ihrerseits mit Lehm verschmiert und mit Flachziegeln belegt sind. Sie erwiesen sich in den meisten Fällen als viel zu schwer, um dem starken Beben zu widerstehen, oder verloren ihren Halt beim Zusammenbruch der Adobemauern.

Im Gegensatz zu den geschilderten Zerstörungen gab es an Bauten mit gut vermauerten gebrannten Ziegeln kaum nennenswerte Schäden. Ebensovienig litten eisenversteifte Betonbauten, wenn sie ordentlich errichtet waren. Mangelnde Qualität in der Versteifung, geringer Zementgehalt, unvorschriftsmäßige Körnung des Betonkieses, zu dünne oder zu weit entfernt stehende Stützsäulen vermehrten das Ausmaß der Schäden. Unter der Wirkung des Schockes der Katastrophe vom Mai 1970 zog die Regierung auch für die Formulierung und Durchsetzung von Bauvorschriften Konsequenzen.

Entwicklungsländer wie Peru haben nicht nur gegen Naturkatastrophen zu kämpfen. Jahrhundertelange Versäumnisse lassen sich nicht von heute auf morgen überwinden. Vor allem nicht, wenn der Staat tief in die Kasse greifen muß. Deshalb ist jede Teillösung schon ein Fortschritt. Dazu gehört auch die Besinnung auf alte traditionelle Formen des Hausbaus der Indios unter Nutzung billigen Baumaterials. Das Beben hatte nämlich gezeigt, daß Quinchas erheblich bebenfester als Adobebauten sind. Quincha heißt ein Haus oder eine Hütte, deren Festigkeit durch ein Holzgerüst erreicht wird, das mit Pfählen in ein flaches Mauerfundament eingelassen ist. Die Wände bestehen nicht aus luftgetrockneten Lehmziegeln, sondern aus einem festen, verwobenen Geflecht von Stroh und Schilf. Sie sind lediglich mit Lehm verschmiert und wegen ihres inneren Zusammenhangs genügend elastisch gegen Erdstöße. Das Dach wird ebenfalls wie ein Schilfgeflecht gearbeitet und durch Verwendung von Holz möglichst fest, aber leicht gehalten. Die sinnvolle Einbeziehung neuartiger Bauelemente wie Faserplatten, Wellasbest oder Wellblech erhöht die Zweckmäßigkeit. Allerdings hat die Quincha auch Nachteile. Dauerregen und die Kälte der Berge bringen Probleme, ebenso wie der

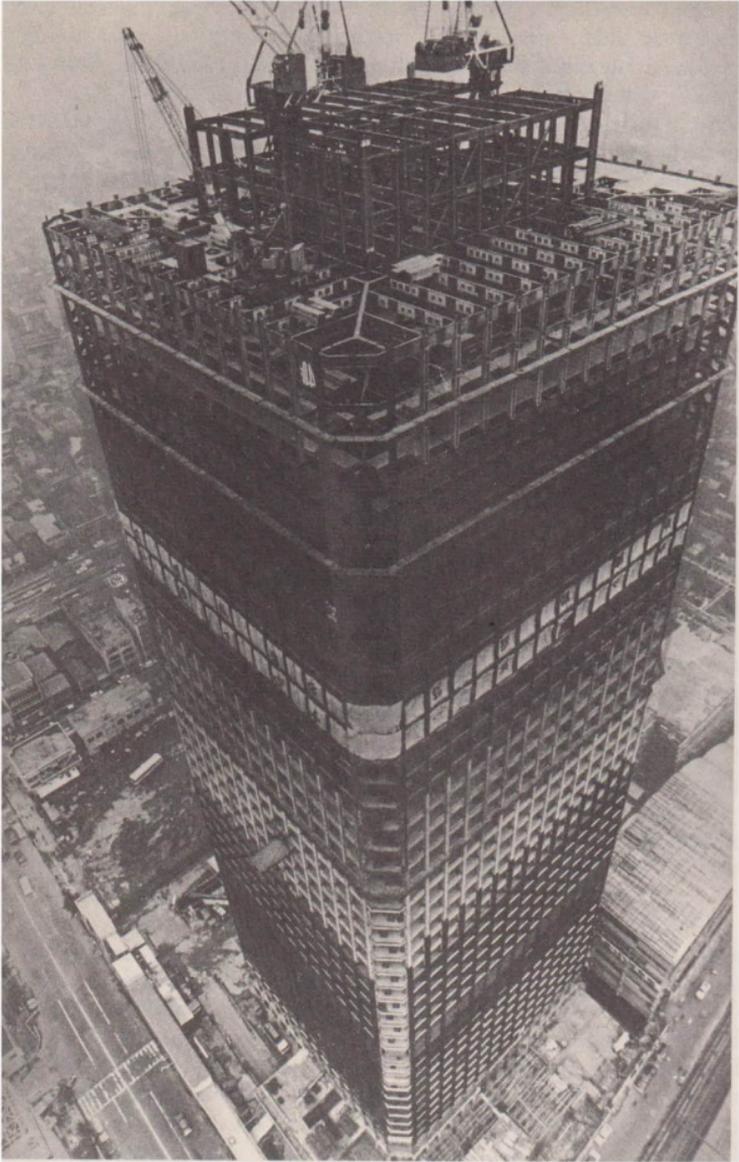
relativ schlechte Schutz gegen Ungeziefer. Die Errichtung solcher Bauten erfordert zwar auch eine gewisse Fertigkeit, geht aber besonders schnell. Gerade das ist zur raschen Überwindung von Katastrophen mit ihren Folgegefahren vorteilhaft.

Während für ein Land wie Peru die Erdbeben fast zum Alltag gehören und amtliche Antibebeßmaßnahmen von der Bevölkerung nicht nur verstanden, sondern auch begrüßt werden, ist die Situation dort anders, wo Erdbeben selten vorkommen. So traf das Koynabebeß 1967 die indischen Behörden und Bauingenieure völlig überraschend. Es war „nur“ mittelstark, aber das kräftigste Beben, das auf dem indischen Subkontinent beobachtet wurde. Der Herd lag unter einem Staudamm und war höchstwahrscheinlich künstlich durch den Anstau eines Sees in Bewegung geraten. In Indien wurde beim Bauen nie sonderlich auf Bebengefährdung geachtet. Außerdem sind dort Baustil und Bautechnologie – zumindest technischer Bauwerke – noch stark vom Einfluß der Kolonialmacht geprägt. In England aber treten praktisch keine Erdbeben auf, und man hatte sie auch für die Gegend südlich Bombays nicht erwartet.

Beim Koynabebeß waren die Personenschäden glücklicherweise relativ gering, die Verluste an Bausubstanz jedoch überraschend hoch. Häuser mit dicken, durch Zement, Kalk oder Lehm verbundenen Bruchsteinmauern brachen zusammen. Wieder war es die Last der zu schweren, schlecht mit dem Mauerwerk zusammengefügtten Dächer, die das Unheil vollendete. Im Verband errichtete Ziegelmauern überstanden das Beben. Praktisch unversehrt blieben die leichten und flexiblen Fertigteilbauten, wenn ihre Stützkonstruktionen in einen festen Fundamentkranz eingelassen waren. Die über 100 Jahre alte steinerne Bogenbrücke der Helwakstraße brach zusammen. Während alle Stahlträgerbrücken der Umgebung standhielten, hatten die kopflastigen Pfeiler der Steinbrücke den Erdstoß nicht auspendeln können.

Die Schäden an der Stauanlage – ein bisher einmaliger Modellfall künstlicher Erdbeben – wurden von indischen Fachleuten genau untersucht und das Ergebnis in einer vorbildlichen Dokumentation allen Ländern zur Verfügung gestellt.

Spricht man über bebensicheres Bauen, dann denken die meisten Menschen zunächst an Großstädte, an Hochbauten und natürlich an Wohnhochhäuser. Die ersten Bauten vom Charakter der Wolkenkratzer entstanden um die Jahrhundertwende in den Vereinigten Staaten – auch in San Francisco, der rasch aus den Nähten platzenden Großstadt des sonnenreichen Kaliforniens. Nun ist Kalifornien zugleich auch der bebeneereichste Bundesstaat der USA. Es fehlte nicht an warnenden Stimmen teils aus Besorgnis, teils aus Wichtigtuerei. Eine gewisse Skepsis war begrün-



det. Wenn man die Gesetze des Gleichgewichts anwende, argumentierten die Zweifler, nehme die Stabilität eines Gebäudes mit der Höhe quadratisch ab. Die Ingenieure aber vertrauten ihrer besonders sorgfältigen Bauausführung und ihren Berechnungen. Sie hatten die Gebäude nicht als starre Steinklötze, sondern als schwingungsfähige elastische Gebilde in die Formeln eingegeben.

Der Streit war bald entschieden. Am 18. April 1906 stellte das starke Erdbeben von San Francisco ($M = 6,9$) die Experimentalbauten auf die erste große Probe. Wie wir wissen, wurde die Stadt erheblich zerstört. Aber es waren vor allem die Feuersbrünste und nicht die durch Erschütterung zusammenbrechenden Gebäude, die den Hauptschaden verursachten. Die Hochhäuser gehörten — für viele überraschend — zu den Baulichkeiten mit den geringsten Zerstörungen. Zum erstenmal war bewiesen worden, daß massive Hochbauten auch starken Erdbeben widerstehen können.

In unserer Zeit gilt vor allem Japan als Symbol für modernes, himmelwärts strebendes Bauen auf bebengeschütteltem Grund. Dank menschlicher Intelligenz „leben“ heute in einer der seismisch aktivsten Zonen der Erde selbst imposante Stahlbetonkolosse von Wolkenkratzerhöhe mit den Erdbeben. Auch die Japaner hatten einen weiten Weg zurückzulegen. Die Bautechniker mußten viele praktische Erfahrungen sammeln, um Sicherheit durch wissenschaftlichen Vorlauf zu schaffen.

1923 hatten das große Beben und das folgende Feuer die Stadt Tokio nahezu vernichtet. Unter den Maßnahmen zur Abwendung künftiger Katastrophen befand sich auch ein generelles Bauverbot für Hochhäuser (Bauhöhenbeschränkung 31 m). Erst Anfang der sechziger Jahre gelang es dem damaligen Finanzminister und Bauunternehmer (!) *Kakuei Tanaka*, den Bau eines Hochhauses im Regierungsviertel durchzusetzen. Zu eng war es in Japans Großstädten geworden, und auch die optimistischen Darlegungen der Ingenieure und Wissenschaftler klangen inzwischen überzeugend.

1963 wurde das sechsendreißigeschossige Kasumigaseki-Hochhaus eingeweiht, heute gibt es bereits Dutzende von Stahlbeton-„Bleistiften“ mit 50 und mehr Stockwerken. Manche von ihnen haben ihre erste Bewährungsprobe schon 1978 während des Izubebens ($M = 7$) glänzend bestanden. Die Erschütterungen erschreckten die Inselbewohner von Hokkaido im Norden bis Shikoku im Süden. Auch in Tokio entstand Beunruhigung. Die Wolkenkratzer im Stadtteil Shinjuku schwankten, aber die bebensicheren Konstruktionen erlitten keinerlei Schaden.

Das 152 m hohe Handelszentrum in Hamamatsu-Cho bei Tokio im Bau

Mehr noch als die Bauwerke sind ihre Schöpfer zu bewundern. Welch enorme Verantwortung haben sie auf sich genommen! Allein in Tokio wohnen 12 Millionen Menschen, in der Innenstadt arbeiten 15 000 auf einem Quadratkilometer. Jeden Tag passieren über 2 Millionen den Hauptbahnhof, kaufen 500 000 im unterirdischen Ladenzentrum Yaesu ein . . . Es gibt 100 000 Industriebetriebe, 6000 Brücken, Dutzende von Hochstraßen, 2 Millionen PKWs. Ein riesenhafter empfindlicher Organismus in einer bizarren Betonlandschaft scheint die Bebengeister unter seinen Mauern zu verspotten. Hat man wirklich für die Ewigkeit gebaut?

Japanische Ingenieure waren es, die eine Reihe raffinierter Neuerungen bei der Verarbeitung von Stahlbeton einführten. Dazu gehören spezielle Betonverspannungen an den Verbindungen der Stahlskelette und das Einbringen genau dimensionierter Stahlbänder, -reifen und -spiralen in die Betonelemente. Die Betonsektionen werden je nach Beanspruchungsgrad mit unterschiedlichen Schlitzmustern versehen. Das Ergebnis ist ein elastischer Beton, deformierbar, Bewegungen dämpfend und in seine Anfangslage „zurückkriechend“. Ausgeklügelte Materialtests gehören zu einem umfassenden computergesteuerten Baukontrollsystem.

Neben der Beanspruchung eines Bauwerks durch Bodenerschütterungen, Eigengewicht und Nutzfunktionen spielen in Japan besonders die beträchtlichen Windlasten eine große Rolle. Häufig peitschen vom Pazifik hereinbrechende Wirbelstürme und Regengüsse frontal gegen die Fassaden der Gebäude. Sicher bauen heißt in Japan bebensicher und sicher gegen Taifune projektieren und konstruieren.

Wissenschaft und Technik haben sich so weit entwickelt, daß die Sicherheit von Wolkenkratzern lediglich eine Frage des ökonomischen Aufwands zu sein scheint. Wenn heute mit Recht gesagt wird, daß die Gefährdung von Bauten mit der Höhe nicht wächst, dann gilt dies nur, falls man sich die Sicherheit durch entsprechende Baumaßnahmen „erkauft“ hat. Dieser Preis steigt mit der Anzahl der Etagen sehr schnell an. Voraussetzung für jeglichen Sicherheitsoptimismus bleibt aber immer, daß die Beben der Zukunft nicht stärker werden als die in den letzten Jahrhunderten vom Menschen erlebten.

Für den Bau von Geschäftshochhäusern in den Citys der kapitalistischen Großstädte werden weder Kosten noch Mühe gescheut. Welcher Konzern möchte schon seine für langlebiges und störungsfreies Funktionieren geplanten Schaltzentralen von Naturkräften gefährden oder beeinträchtigen lassen. Bei Verschleißbauten auf dem Wohn- und Hotelsektor sieht es verschiedentlich etwas anders aus. Um des Profits willen schnell aus dem Boden gestampfte Wohn- oder Ferienbauten sind schon manchem Beben zum Opfer gefallen. Die Schuld liegt häufig nicht nur bei

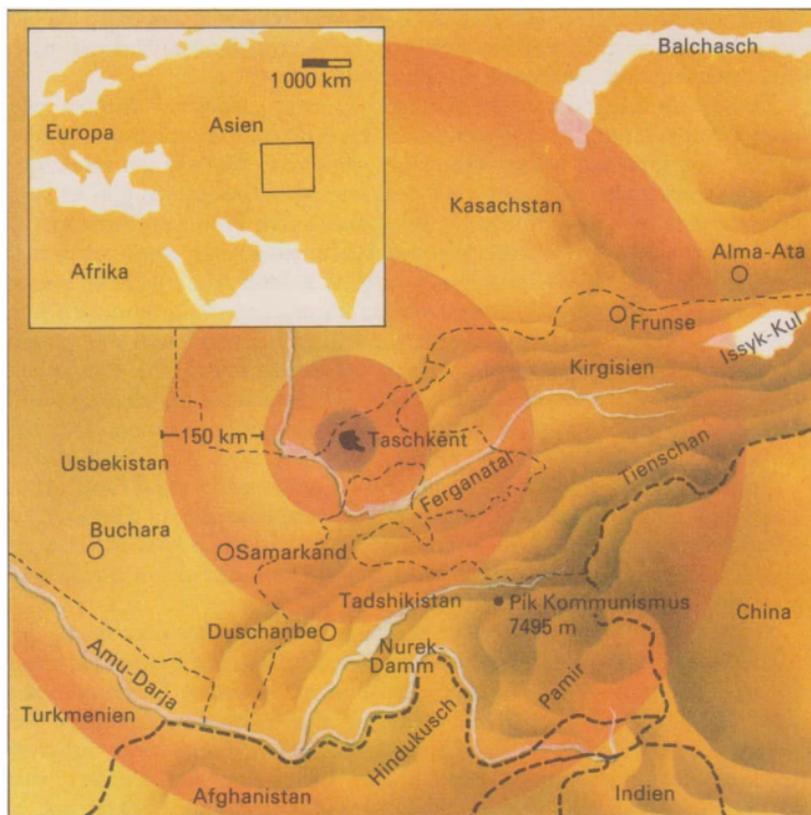
den Bauunternehmern, sondern auch bei den örtlichen Organen, die im harten Konkurrenzkampf des Tourismusgeschäfts das Rennen vor ihren benachbarten Mitbewohnern machen wollen.

Horizontal angreifende mechanische Kräfte „rasieren“ Bauten von ihren flachen Grundplatten, wo tief in das Erdreich eingelassene Fundamente nötig gewesen wären. Ohne die gründliche Analyse der zu erwartenden seismischen Belastung und des jeweiligen Baugrunds gibt es kein zuverlässiges Sicherheitskonzept. Ein bebenfestes Hotel im Ferienort A muß im benachbarten B trotz gleicher Ausführung noch lange nicht ausreichend stabil sein. Wie sehr ein scheinbar solides Äußeres über innere Mängel eines Bauwerks hinwegtäuschen kann, hatte man schon 1908 in Messina erfahren. Während die sorgfältig im Verband und mit gutem Material ausgeführten Renommierfassaden an der Uferstraße dem Beben standhielten, fielen die in unzulänglicher Billigbauweise errichteten seitlichen und rückwärtigen Mauern und damit das gesamte Innere dem Beben zum Opfer.

Neben Japan verwirklicht vor allem die Sowjetunion auf Grund neuer Ideen eine bebenfeste Hochbauweise. Die mittelasiatischen Sowjetrepubliken gehören zu dem großen Erdbebengürtel, der sich vom Mittelmeer über Kleinasien, das Himalajagebirge bis in den malaiischen Inselbogen erstreckt.

Am 26. April 1966 lief die Schreckensnachricht von der Zerstörung der usbekischen Hauptstadt Taschkent um den Erdball. Die Bauschäden waren so groß, daß 75 000 Familien ihr Obdach verloren. Sollte man die Stadt an derselben Stelle wieder aufbauen? Die Seismologen mußten den Verantwortlichen reinen Wein einschenken. Taschkent steht auf dem Kreuzpunkt tiefreichender Bruchlinien. Erdbeben, mal leichter, mal schwerer, werden sich hier wieder und wieder ereignen. Schon gab es Projekte, die usbekische Metropole an einem seismisch ruhigeren Ort neu aufzubauen. Vieles sprach aber auch für den alten Standort: die Verkehrslage, die erhalten gebliebene oder relativ schnell wiederherzustellende Infrastruktur der Stadt. Das entscheidende Wort sprachen schließlich die Bauingenieure: Wir sind inzwischen in der Lage, hoch, leicht und fest, also bebensicher, zu bauen.

Mit Enthusiasmus und ohne den gegenüber Normalbauten fast um den Faktor 2 höheren Aufwand zu scheuen, ging man ans Werk. Alle Neubauten erhielten ein kreuzförmig verwobenes Stahlskelett. Jeder vertikale Träger ruht auf einem Einzelfundament. Das erste „hängende Haus“ der Welt wurde 1980 in Taschkent errichtet. Es ist ein Gebäude mit 13 Geschossen, an 150 mm starken Drahtseilen befestigt, die ihrerseits von 50 m hohen Stahlbetontürmen getragen werden. Eine überdimensionale



Erdbeben von Taschkent 1966

„Hängematte“ gegen Erdbebenstöße . . . 1981 wurden die Montagearbeiten am bisher höchsten Haus Taschkents, dem dreiundzwanzigstöckigen Hotel „Moskwa“, abgeschlossen. Inzwischen nennen die Taschkenter auch stolz eine Metro ihr eigen. Die Versteifungen der unterirdischen Tunnelröhren sind um ein vielfaches stabiler als in den meisten anderen Städten der Sowjetunion.

Ebenfalls in Taschkent gelang die Entwicklung neuartiger Verfahren zur Sanierung bebengeschädigter Fundamente. Chemiker und Techniker erprobten an den 1966 mehrfach gerissenen Fundamenten des Kulturpa-



Aufräumarbeiten in Taschkent 1966

lastes der Metallurgen erstmals ein großflächiges Klebverfahren. Mit hohem Druck unter das Gebäude gepumpte Kohlendioxid-Kunststoff-Gemische „heilten“ alle Rißwunden.

Beim Wiederaufbau Taschkents wurden nicht nur bebensichere Neubauten errichtet oder alte restauriert. Die gesamte städtebauliche Konzeption beruht auf Antierdbeben-Maßnahmen. Dazu gehört die Einteilung des Baugrunds der Stadt nach Gefährdungszonen genauso wie der überaus wichtige vorbeugende Schutz der kommunalen Lebensadern.

Weitere Experimentalbauten, die ihre Bewährungsprobe inzwischen

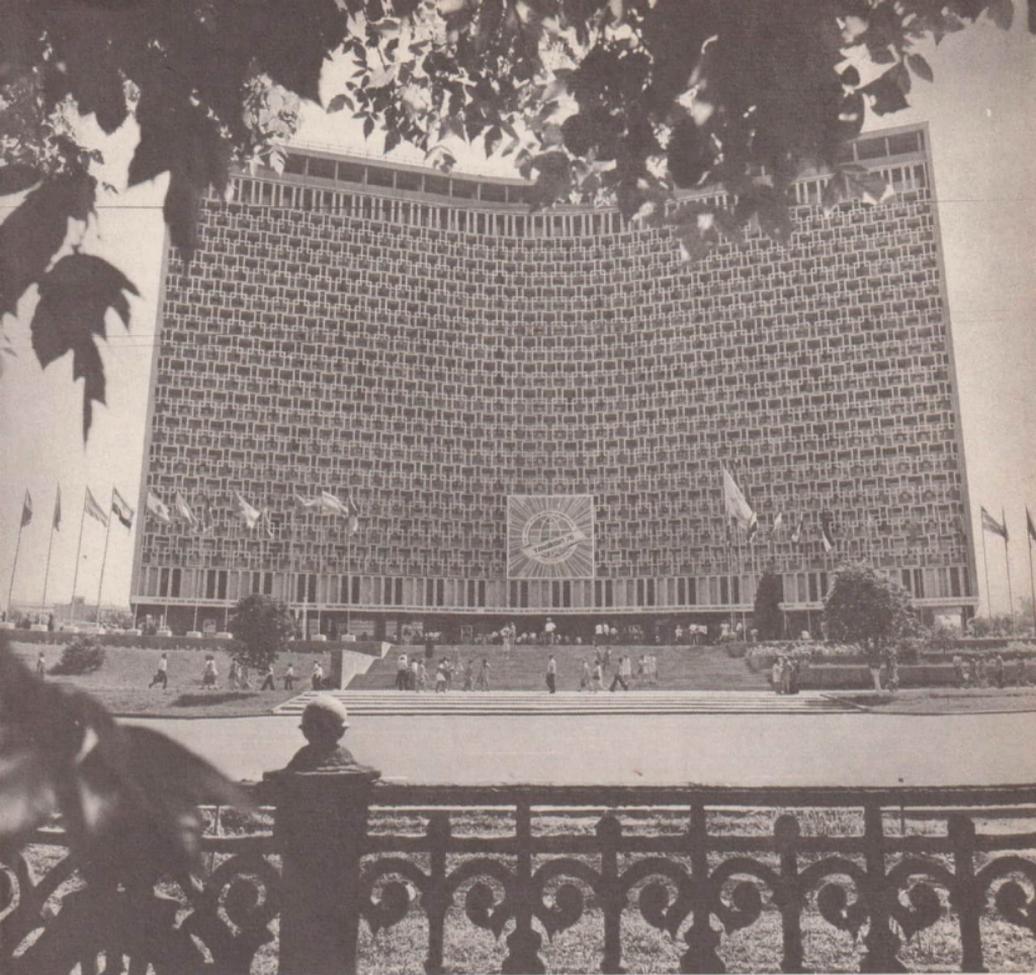
bestanden haben, testeten die Bauingenieure auch in anderen Unionsrepubliken. In der turkmenischen Hauptstadt Aschhabad entwickelte der Ingenieur *Fjodor Selenkow* den Prototyp eines dreigeschossigen Hauses, das auf tonnenschweren Metallfedern ruht oder schwingt. Die Fläche, die den Boden berührt, beträgt weniger als 8 Prozent des Gebäudequerschnitts. Die Dämpfung ist so stark, daß trotz der in Turkmenien häufigen Erdbeben nicht einmal mehr die Gläser in den Schränken klirren sollen. Im kirgisischen Frunse steht ein Hochhaus, das ebenfalls bisher jedes Beben „weggesteckt“ hat, obwohl es in herkömmlicher Weise aus Betonplatten montiert wurde. Das Geheimnis liegt im Fundament: Das Haus lagert auf Stahlkugeln. Horizontale Bebenkräfte werden dadurch gebremst.

Nahe der Hauptstadt Kasachstans, Alma-Ata, ging im Sommer 1981 die Montage eines 370 m hohen Fernsehturms zu Ende. In den Ausläufern der Gebirgsriesen des Tienschan – 1500 m über dem Meeresspiegel – gelegen, strahlen seine Antennen weit in die kasachischen Steppen. Ein riesiges Fundament, für das 15 000 m³ Beton und Qualitätsstahl verwendet wurden, verankert den Turmkörper fest mit dem harten Felsgestein. Beben bis zur Magnitude 7 sollen dem „Telespargel“ nichts anhaben können.

Natürlich handelt es sich bei den geschilderten Bauten um kostenaufwendige Spezialkonstruktionen. Sie sind zukunftsweisend, stellen aber noch nicht den Normalfall dar. So kann es keineswegs verwundern, wenn auch in Ländern, wo man vieles bebensicher errichtet, noch immer ältere Bausubstanz zerstört wird.

Zur landesweiten Durchsetzung bebensicherer Bauweise bedarf es strenger Vorschriften des Gesetzgebers. Ihre Formulierung, Sanktionierung und vor allem Realisierung sind stark von den jeweiligen gesellschaftlichen Bedingungen abhängig; denn bebensicheres Bauen kostet Geld und berührt unterschiedlichste ökonomische Interessen. Humanitäre Gesichtspunkte treten deshalb oft in den Hintergrund. In Japan und den jungen mittelasiatischen Sowjetrepubliken waren bereits in den zwanziger Jahren vorbildliche staatliche Bauauflagen wirksam. In solchen Erdbebenländern wie Italien, der Türkei und Iran sind diese Fragen trotz beharrlicher Anstrengungen fortschrittlicher Kräfte bis heute nicht gelöst. Neben finanziellen und technischen Problemen gehören Analphabetentum und religiöse Widerstände zu den hemmenden Faktoren.

In den USA kamen die entscheidenden positiven Impulse bezeichnenderweise von den Versicherungsgesellschaften. Nach dem schweren Schadenbeben von Long Beach (Kalifornien) im Jahr 1933 mußten diese tief in ihre Tresore greifen. In manchen Fällen lag offensichtlicher Versicherungsbetrug vor. Gerissene Bauunternehmer und Grundeigentümer



Das Hotel „Uzbekistan“ in Taschkent – ein bebenfester Neubau im Zentrum der Zerstörungen von 1966

hatten in Erwartung eines baldigen Bebens billig gebaut und hoch versichern lassen. Dem schoben erst die Versicherungsgiganten einen Riegel vor, indem sie staatliche Bauverordnungen durchsetzten. Daß diese Konstruktionsvorschriften von den Realitäten im wahrsten Sinn des Wortes über den Haufen geworfen werden können, zeigen zahlreiche Beispiele.

Als 1971 im San-Fernando-Tal bei Los Angeles die Erde bebte, stürzten modernste Autobahnbrücken ein, knickten Stützpfiler um, platzte Beton von stählernen Bewehrungen, gab es Dutzende von Toten in einem Militärhospital.

Die meisten Menschen wohnen nicht in Neubauten, sondern haben ihre Behausungen von den Generationen vor ihnen übernommen. Was aber tun, wenn an den Gebäuden nicht nur der Zahn der Zeit nagt, sondern auch das Erdbeben seine Pranken mit scharfen Krallen nach ihnen ausstreckt? Vorbildliche, von der UNESCO unterstützte Programme „Bebensicheres Bauen und Bautensanierung“ laufen in den südosteuropäischen Ländern wie Jugoslawien, Rumänien, Bulgarien. In anderen Staaten entzünden sich die Gemüter immer wieder an der Bereitstellung finanzieller Mittel. So waren in den siebziger Jahren nach Schätzung der Experten allein im kalifornischen Los Angeles 750 Millionen Dollar für eine mittelfristige Sicherung älterer Gebäude erforderlich. Erst gegen den hartnäckigen Widerstand der Hausbesitzer und Grundstückseigentümer konnte der Stadtrat nach sechsjährigem Hin und Her ein 15-Jahre-Programm beschließen.

Vergleicht man die Bauvorschriften in verschiedenen Ländern, so stellt man, abgesehen von den gesellschaftlichen Faktoren, nationale Besonderheiten fest, die nicht nur durch die Bautraditionen und die unterschiedliche Bebengefährdung bedingt sind. Eine ungemein wichtige, in ihrer ganzen Tragweite lange nicht genügend berücksichtigte Rolle spielt die Art des Baugrunds.

Wer auf Sand baut . . .

Könnte man nicht gezielt nur an Stellen geringer seismischer Zerstörungen bauen? Das 1963 schwer heimgesuchte jugoslawische Skopje befindet sich über einer tiefreichenden Erdspalte, ähnlich dem 1908 leidgeprüften Messina auf Sizilien. Ganz Kalifornien wird vom San-Andreas-Bruch unterquert. Die Städte Los Angeles und San Francisco sitzen zwischen zwei bewegten geologischen Großblöcken wie auf Stühlen, die man unter ihnen wegziehen kann. Die Gründer des usbekischen Taschkent haben ihre Stadt gar auf der Kreuzungsstelle mehrerer mobiler Bruchzonen der Erdkruste angelegt.

Es folgt aus einem unglücklichen Zusammentreffen von Naturgegebenheiten, daß größere Städte gerade dort bevorzugt entstehen, wo die Seismizität relativ hoch und der Untergrund besonders erschütterungsan-

fällig ist. Für die Anlage von Siedlungen spielen wirtschaftliche Faktoren eine weit größere Rolle als die Erdbebengefährdung.

Lockerer Verwitterungsboden oder gar Schwemmland sind viel fruchtbarer als Gneis- oder Granitfelsen. Lockerboden, zumal gut durchfeuchtet, ist aber ausgesprochen „Wackelboden“. Hinzu kommt, daß in gebirgigen Gegenden die Schwemmkegel von Gletschern oder Bergseen für den Ackerbau nährstoffreichen Boden bieten. Andererseits sind solche Flecken das bevorzugte Ziel der von Erdbeben ausgelösten, ungestüm zu Tal donnernden Schutt- und Gerölllawinen. Mancher über Jahrhunderte friedliche kasachische Kischlak (Gebirgsdorf) wurde durch diese Muren schon in wenigen Minuten hinweggefegt. Selbst Städte blieben nicht verschont.

Die Vereinigung zweier Flüsse, von Landzungen umschlossene Meeresbuchten, ein „Tor“ als Talausgang vor einem Gebirgsmassiv, der Beginn der Schiffbarkeit vom Gebirge in die Ebene austretender Flüsse sind Umstände, die auf tief angelegte geologische Störungen schließen lassen. Das macht aber auch eine höhere Seismizität wahrscheinlich. Dennoch werden bei der Seltenheit geeigneter Hafenplätze an der pazifischen Küste Nordamerikas in den Buchten von San Francisco oder Seattle immer Großstädte stehen, wie drohend dort die Bebengefahr auch sein mag. Schon die weniger aus Handels- als vielmehr aus machtpolitischen Interessen errichteten mittelalterlichen Burgen auf Bergkuppen oder an Steilhängen waren seismisch und durch nachfolgende Erdrutsche stärker betroffen als ihre Umgebung.

Die marokkanische Hafenstadt Agadir versank 1960 bei einem relativ leichten Beben ($M = 6,0$) in Trümmer, weil der lockere Untergrund die Erdbebenwellen besonders verstärkte. Im mittelamerikanischen Managua fielen 1972 während eines mittleren Bebens ($M = 6,2$) die Gebäude wie Spielzeughäuser ineinander. Die Stadt am sumpfigen Managua-See steht auf Schwemmsand und vulkanischem Schutt. In den Wolkenkratzern New Yorks kann man dagegen einem Erdbeben viel gelassener entgegensehen. Die Fundamente sind im Granitgneis von Manhattan verankert.

Wie stark sich die Gesteinsart auf die Zerstörung einer Stadt auszuwirken vermag, zeigte das Beispiel Messina. Der 1908 am ärgsten verwüstete Stadtteil lag unmittelbar an dem aus Schwemmland und versunkenen Stränden bestehenden Ufersaum des Mittelmeers. Die Zerstörungen nahmen landeinwärts schnell ab. Hier ist der Lockerboden durch den von den Bergen gekommenen Gesteinsschutt und vor allem durch die länger wirk-same Verfestigung und Austrocknung schon erheblich stabiler. Über den harten, kristallinen Gesteinen der Berge schließlich waren die Schäden nur noch unbedeutend.



Gebäudeschäden nach dem Beben von San Francisco 1906
Das Haus glitt 1,3 m weit auf seinem Fundament seitwärts.

Allgemein gilt die Regel, daß die Bebenwirkungen um so geringer sind, je verbandsfester und damit elastischer der Boden ist. Die Bebensicherheit eines Untergrunds hängt nicht vom geologischen Alter des jeweiligen Gesteins ab. Vulkan- oder Tiefengesteine sind mit zunehmendem Alter meist nur direkt an der Oberfläche der Verwitterung und damit einer Gefügelockung ausgesetzt. Sedimentgesteine werden hingegen mit der Zeit immer fester.

Wie läßt sich die unterschiedliche Reaktion von lockerem und festem Boden auf Erdbebenwellen erklären? Ziehen wir zum Vergleich an einer Schnur aus Gummi und an einem gleich langen Stahldraht. Gummi besitzt eine geringere Steifigkeit oder Starrheit, aber es erlaubt eine starke Deformation bei geringem Zug. Das sind ähnliche Eigenschaften, wie sie lockere, aufgeschwemmte oder aufgeschüttete Böden in Gesteinsschichten besitzen. Der Stahldraht weist weit größere Starrheit auf. Er verändert die Länge selbst bei starkem Zug nur geringfügig, läßt also viel weniger Bewegung zu. Seine Eigenschaften entsprechen denen eines festen, kristallinen Gesteins. Setzen wir nun unseren Versuch fort: Wir befestigen Gummischnur und Stahldraht (oder Gummiband und Stahlblech) an

einem einfachen Bock, hängen je eine Schale mit einem aufrecht stehenden prismaförmigen Körper ein und schlagen die Schalen leicht mit einem Stift an. Während auf der „Gummiseite“ heftige Bewegungen einsetzen, die unseren Probekörper umwerfen, bleibt die „Stahlseite“ fast in Ruhe. Elastischer Stahl ist erheblich weniger für Bewegungen empfänglich. Andererseits leitet er die einmal aufgenommene Bewegung viel besser weiter als der stark dämpfende Gummi. Schlagen wir leicht an den Bock, dann wird eine vibrierende Wirkung fast ohne Verluste über den Stahl bis auf die Schale übertragen, während das Gummiband die Energie „verschluckt“.

Wechselnde Bodenbeschaffenheit und die häufig mosaikähnlichen Anordnungen unterschiedlicher geologischer Gesteine erklären in vielen Fällen die auf engem Raum wechselnden Zerstörungen in Städten und Landschaften. Auch die Linien gleicher Erschütterungen in der Umgebung eines Bebenherds bilden meist keine konzentrischen Kreise um das Epizentrum. Starke Linienkrümmungen und Zerlappungen, ähnlich dem Höhenrelief einer Gebirgslandschaft, zeichnen sich ab.

Gerade die Städtebauer suchen die Zonen geringer Erschütterungen. So ist die Stadt Taschkent in 3 Gefährdungszonen gegliedert, für die auch unterschiedliche Bauvorschriften gelten. Für Hochbauten haben „Inseln der Ruhe“, Gebiete relativ geringer Schütterbewegungen, den Vorzug. Auf den „Inseln des Alarms“ ist nicht nur die Erschütterung besonders groß, sondern zudem die Bodenbeschaffenheit extrem instabil. Meist werden wassergefüllte Schwemmsande oder Lößlehme bereits bei geringem Anstoß fließfähig und rutschen fast wie eine Flüssigkeit in sich zusammen (Fließböden). In Tagebauen und Baugruben ist der Anschnitt solcher Fließzonen gefürchtet und hat manche Havarie verursacht. Ganze Stadtteile oder Landstriche sind schon in der Nähe von Bebenherden „weggeschwommen“ (Niigata 1964, Lima 1974, Schensi 1556). In der chinesischen Provinz Schensi betreiben die Bauern einen intensiven Ackerbau auf fruchtbaren Lößböden, die sich in engen Tälern terrassenförmig an die Berghänge schmiegen. Regenfälle und Erdbeben verwandelten 1556 die Felder in Erdlawinen, alle Ansiedlungen in den Tälern unter mehreren Metern Schlamm begrabend.

Beim Entwerfen seismischer Gefährdungskarten für zerstörte und zum Wiederaufbau vorgesehene Großstädte oder für die Erweiterung industrieller Ballungsgebiete genügt es nicht, die aufgetretenen Bebenschäden zu studieren. Auch wird niemand auf das nächste Beben warten, um es als Großversuch zu benutzen. Baugrunduntersuchungen mit Hilfe von geologischen Bohrungen und geophysikalischen Verfahren bringen Licht in das Dunkel unter unseren Füßen, bevor der Schaden eintreten kann.



Lockerer Baugrund verstärkte in Banja Luka (Jugoslawien) 1969 die Schadenwirkung.

Die Erkundung des Untergrunds von Städten löste zugleich ein Rätsel, das den Wissenschaftlern lange zu schaffen machte. Man hatte verschiedentlich beobachtet, daß Gebäude gleichen Typs und gleicher Bauart auf scheinbar gleichen Böden ganz unterschiedlich beschädigt wurden. Experten suchten nach Konstruktions- oder Materialfehlern. Manchmal mit Erfolg, häufig ohne jeglichen Befund. Dann wurde klar: Die Zerstörungen von Bauwerken auf lockerer Gesteinsdecke hängen in hohem Maß von der Mächtigkeit der Schicht ab. Dabei geht es weniger darum, daß Lockermassen während der Krafteinwirkungen eines Bebens zusammensacken und sich verdichten. Vielmehr kommt es bei einer bestimmten

Schichtdicke zur resonanzartigen Bündelung der horizontal, also seitlich einfallenden Schadenwelle.

Erstaunlicherweise wirken sehr mächtige lockere Schichten oft weniger gefährlich als eine dünne Decke gleichen Materials direkt über Festgestein. Außerdem wird diese Bodenverstärkung von der Länge der Bebenwelle und damit von der Art und der Entfernung des Bebenherds bestimmt. 2 gleich weit entfernte Beben gleicher Stärke, aber unterschiedlichen Charakters vermögen also am selben Gebäude ganz verschiedenen schwere Schäden anzurichten. Für die Wissenschaftler sind das jedoch überschaubare Zusammenhänge. In die Formeln zur Schwingungsberechnung von Gebäuden können alle Boden- und Baugrundfaktoren als Ausgangsdaten mit einfließen.

Dabei spielt im Schwingungssystem Gebäude – Boden natürlich die Beschaffenheit des Fundaments eine beachtliche Rolle. Schon die Untersuchung der Bauten in San Francisco nach dem Beben von 1906 erlaubte bemerkenswerte Schlußfolgerungen. Das auf Schüttboden errichtete Gebäude der Fähre widerstand den Stößen, da es ausgezeichnete Pfahlfundamente besaß. Das 15 Stockwerke hohe, kuppelgekrönte Call-Gebäude auf Sandgrund wurde nur wenig beschädigt. Ein extrem tiefes Betonfundament mit eingelegten Stahlrosten (damals eine technische Neuerung) hatte das Ärgste abfangen können.

Schlecht fundamentierte Gebäude neigen dagegen zur Abscherung durch Horizontalkräfte. Selbst das in sich absolut bebenfeste Gebäude wird wertlos, wenn es als verkanteter Betonklotz schief im Gelände steht.

Tiefe Fundamente bilden nicht nur eine gute Verankerung, sie „tauchen“ auch in seismisch ruhigere Bodenschichten. Die schadenstiftenden Wellen an der Erdoberfläche verlieren mit zunehmender Tiefe an Intensität. So wie ein Schiff mit großem Tiefgang ruhiger in der bewegten See liegt – weil auch die Wasserwellen an der Oberfläche am stärksten sind –, hält ein tiefes Fundament ein Gebäude gegen Bebenwellen besser im Lot.

Es ist durchaus nicht irgendeinem guten Berggeist zu verdanken, was manchen Bergleuten schon passierte. Nach der Ausfahrt aus der Grube glaubten sie ihren Augen nicht zu trauen, als sie erschrocken vor den Spuren eines Erdbebens standen. Unter Tage hatten sie nichts bemerkt, keine Erschütterungen, keine verdächtigen Geräusche – obwohl sie doch dem Bebenherd näher und den entfesselten Elementen unmittelbar ausgeliefert waren. Die an der Erdoberfläche wirksamen Verstärkungsfaktoren aber fehlen in der Tiefe.

Lebensadern sind empfindlich

Dennis Sullivan war ein Feuerwehrmann, wie er im Buche steht. Er hatte es bis zum Direktor der Städtischen Feuerwehr von San Francisco gebracht und bewohnte die oberen Räume der Feuerwache im Zentrum der Stadt. Am 18. April 1906 ertönte kurz nach Mitternacht der erste Alarm des neuen Tages. Ein Lagerhaus in der Market Street, der breitesten Straße der Stadt, drohte in Flammen aufzugehen. Es handelte sich um einen Alarm dritter Stufe, der Brand wurde mit einer vierrädrigen Dampfpumpe, einem Schlauchwagen und einer Ladung Chemikalien – alles von Pferden gezogen – schnell gelöscht. Feuerwehrchef Sullivan war in einem Einspänner hinterhergefahren. Wie immer konnte er stolz auf seine tüchtigen Leute sein. Sie hatten ganze Arbeit geleistet und dem Brand keine Chance gelassen.

Wenige Stunden später – um 9 Uhr morgens – kapitulierten auch die letzten Feuerwehrmänner von San Francisco vor einer Feuersbrunst, die ihre Stadt unaufhaltsam verschlang. Aber da war Dennis Sullivan schon nicht mehr Chef der Feuerwehr.

Kurz nach 5 Uhr hatte die Erde Kaliforniens 45 Sekunden lang gebebt, Menschen aus dem Schlaf und Gebäude aus den Fugen gerissen. Gerade begannen sich die Bewohner, soweit sie unverletzt geblieben waren, vom ersten Schock zu erholen. Noch war jeder zu sehr mit sich selbst und seiner näheren Umgebung beschäftigt, um das Ausmaß der Katastrophe schon überschauen zu können. Da erscholl nahezu gleichzeitig an mehreren Stellen der Stadt ein Ruf, der bald zum verzweifelten Schreckenschrei Tausender von Menschen wurde: „Feuer!“

Aprilnächte können auch in Kalifornien recht kühl sein, und viele Bewohner hatten noch Glut in ihren Öfen. Petroleum- und Gaslampen waren damals als moderne Beleuchtungsmittel weit verbreitet. Bereits mit dem ersten Bebenstoß begann das Unheil. Nur wenige behielten einen klaren Kopf und konnten in ihren vier Wänden den ausbrechenden Brand bekämpfen. Das Feuer weitete sich rasch aus.

Wo war die Feuerwehr? An vielen Stellen der Stadt standen ratlos dreinblickende Löschmannschaften neben den Hydranten. Ihre Dampfpumpen konnten das Wasser nur tröpfchenweise in die Schläuche drücken. Die jahrelang geübten Handgriffe erwiesen sich als nutzlos.

Als das Beben die sumpfigen Niederungen südlich von San Francisco geschüttelt hatte, waren die dicken Eisenrohre, die von San Juan Bautista zur Stadt führten, geplatzt, zerbrochen und verbogen. Das Wasser erreichte die Stadt nicht. In Fontänen schoß das kostbare Naß aus den Rohren. Gegen 7 Uhr beorderte Bürgermeister *Eugene Schmitz* alle verfügba-

ren Leute und Geräte in die Market Street, um eine Verteidigungslinie gegen die Flammen aufzubauen. Das Wasser sollte aus der Bucht heraufgepumpt werden. Aber das Feuer war schneller und zerfraß die Schläuche.

Inzwischen hatte *John Conlon*, einer der Bataillonsführer der Städtischen Feuerwehr, in die 8. Straße Wagenladungen mit Sprengstoff schafen lassen. Seine Leute schleppten Kisten mit Dynamit in die Häuser, brannten Zündschnüre an, rannten davon, und schon erhoben sich krachend Staubwolken. Wo Sekunden vorher noch Gebäude standen, blieben freie Stellen zurück, die das Feuer nicht so leicht überspringen konnte. Als es eins der letzten Häuser der Straße schneller erreichte als die Zündflamme das Dynamit, flogen die bereits lodernden Balken bis in den Rücken der Stellungen von Conlons Truppe. Damit brach auch diese Verteidigungslinie zusammen. Es war noch nicht 9 Uhr, als die letzten der fast 1000 Feuerwehrleute, zuletzt mit Säcken, Decken, Schläuchen oder Uniformjacken gegen die sich vorwärts fressenden Flammen schlagend, den sinnlos gewordenen Widerstand aufgaben.

3 Tage und 3 Nächte brannte eine der damals größten und schönsten Städte der Welt beinahe bis auf die Grundmauern nieder.

Dennis Sullivan hat – wie fast 1000 andere – die Niederlage seiner Leute und den Untergang seiner Stadt nicht mehr erlebt. Schon der erste Bebenstoß riß ihn für immer von seinem Posten. Der hohe Turm des California-Hotels durchschlug das Dach der Feuerwache und den Schlafzimerboden der Dienstwohnung. Sullivan, von Mörtelstaub geblendet, rutschte durch das Loch 3 Etagen tief und fiel auf einen Feuerwagen. Schädel, Rippen und Beine gebrochen, starb er Stunden später, ohne das Bewußtsein wiedererlangt zu haben.

Knapp 18 Jahre später ereignete sich eine noch schlimmere Tragödie. Am 1. September 1923 breiteten sich nach dem großen Erdbeben in Tokio 163 Flächenbrände aus. Während die meisten Einwohner San Franciscos in die städtischen Parks und auf die umgebenden Hügel hatten fliehen können, starben in der Hölle der damaligen Holzhäuserstadt Tokio 140 000 Menschen. Auch hier fehlte zum Löschen ganz einfach Wasser. Das dringend benötigte Naß verströmte irgendwo ungenutzt. Die Lebensadern waren von den Bebenstößen schlagartig außer Betrieb gesetzt worden.

Im Lauf der Jahrhunderte hatten die Menschen unter vielen Opfern und Rückschlägen gelernt, die Brände als eine der Geißeln mittelalterlicher Städte immer besser in Schach zu halten und zu verhüten. Mit dem Wachsen der Millionenstädte und der Gefahr des gleichzeitigen Eintretens beträchtlicher Bauschäden erhielt das Feuerproblem eine neue Dimension. Wenn eine Erdbebenkatastrophe hereinbricht, dann hat sie viele



Gesichter und muß an vielen Fronten bekämpft werden. Aus der Sicht des Bauwesens genügt die Errichtung widerstandsfähiger Gebäude keineswegs. Die Gebäude werden von Menschen bewohnt, die innerhalb hochentwickelter sozialer Strukturen aufeinander angewiesen sind. Die Verlegung der Lebensadern solcher „Organismen“ muß bautechnisch ebenfalls die möglichen Belastungen eines Bebens berücksichtigen.

Zu den Lebensadern gehören die Leitungen für Wasser, für Energie, für Nachrichten und die Trassen für den Transport. Wasser ist nicht nur Feuerlöschmittel, sondern besonders in den Tropen und Subtropen auch für Ernährung, Seuchenbekämpfung und Hygiene unerläßlich. Wasserversorgung schließt somit Abwasserbehandlung und Reinhaltung des Wassers ein. Wie groß die Gefahr einer Vergiftung von Quellen, Brunnen und Gewässern ist, zeigt der Riß eines unsachgemäß geschütteten Dammes auf der japanischen Izu-Halbinsel. Das Erdbeben von 1978 beschädigte ein Sammelbecken für Abwässer, deren zyankalihaltige Substanz der Aufbereitung von Gold- und Silbererzen der Chugai Mining Company diente. 100 000 m³ giftiger Schlamm strömten über einen Nebenfluß in den Kano und trieben von dort als schmutzigweißer Strom mit Zehntausenden toter Fische in die Suruga-Bucht südwestlich von Tokio.

Wasserleitungen sollten in ausreichender Menge bruchstabil und als System mit Ersatzvarianten angelegt sein. Wasserreservoirs müssen auch innerhalb der Städte geschaffen werden, um kurze Transportwege zu haben. Da Platzkapazität nur beschränkt zur Verfügung steht und die größten Bebenschäden an der Erdoberfläche auftreten, sind unterirdische Wasserspeicher am günstigsten. Diese können Bestandteil von Wasserkreisläufen sein, die in Normalzeiten als Warmwasserspender auf der Grundlage von Erdwärme genutzt werden. Alle Leitungen sollten möglichst parallel zu erdbebenaktiven geologischen Verwerfungen verlaufen. Beim Kreuzen solcher „Erdbebenspalten“ bedarf es besonderer Vorichtsmaßnahmen in Form spezieller Sicherungen, wie Brücken.

Was für die Verlegung von Wasserleitungen gilt, muß auch bei der Energieversorgung beachtet werden. Elektrische Freileitungen haben den Vorrang vor Erdkabeln, da Freileitungsmaste die Bebenstöße besser auspendeln können. Energie läßt sich nicht speichern. Elektrizitätswerke sind in ihrer Energieproduktion über ein Verbundsystem gegenseitig ersetzbar zu schalten. Gas- und Flüssigbrennstoffleitungen gilt es feuerfest zu verlegen. Brandbekämpfungsmittel, wie sie auf Erdölfeldern für brennende Fördertürme verwendet werden, müssen für solche Leitungen und

ihre Betriebsbauten (Pumpstationen, Raffinerien, Heizwerke) zur Verfügung stehen.

Alle Transportwege sollen bereits bei der Städte- und Landesplanung breit genug angelegt sein. Die Ströme der aus den Katastrophenzentren zu evakuierenden Menschen und die zum Bebengebiet hin gerichteten Rettungsaktionen dürfen sich nicht behindern. Straßen, Brücken, Eisenbahnlinien, Flugplätze, See- und Flußhäfen sind besonders bebenfest und zugleich schnell reparierbar zu gestalten. Plätze und andere Freiflächen muß man so projektieren und ausführen, daß sie Hubschrauberlandungen in größerem Umfang ermöglichen.

Nicht zuletzt hängt der Erfolg vieler Hilfsmaßnahmen von einem intakten Nachrichtenwesen ab. Früher vergingen manchmal Wochen oder gar Monate, bis die Welt von schweren Erdbeben mit Menschenverlusten erfuhr. Im Mittelalter brachten Handelsreisende Meldungen von verheerenden Beben in China oft erst Jahre später nach Europa. Noch zu Beginn unseres Jahrhunderts rätselten die Seismologen in den Observatorien beim Entziffern von Aufzeichnungen ihrer Seismographen manchmal tagelang über die möglichen Schadenwirkungen im Herdgebiet.

Selbst aus San Francisco kamen 1906 wegen der Zerstörung aller Telefon- und Telegrafleitungen in den ersten Tagen kaum verlässliche Nachrichten über das Ausmaß der Katastrophe. So hielt sich in weiten Teilen Kaliforniens hartnäckig das Gerücht vom Einsturz der Mississippi-niederung und vom Vordringen des Ozeans bis Chicago. Erst nach Tagen brachten Zeitungen genauere, häufig jedoch stark entstellte Meldungen aus dem Bebengebiet. In der Hauptstadt Nikaraguas, Managua, war es 1972 bekanntlich ein Funkamateurl, der gerade noch eine Schilderung der ersten Sekunden des Bebens in die Welt ausstrahlen konnte, bevor für Stunden ein totaler Nachrichtenausfall aus der im Todeskampf ringenden Stadt eintrat. Auch über weiten Teilen der chinesischen Zweimillionenstadt Tangshan lag 1976 mehrere Stunden der Mantel des Schweigens, ehe es Rettungstrupps der Armee gelang, ins Zentrum vorzudringen.

Gebirgsdörfer bleiben in vielen Gegenden der Erde nach verheerenden Beben heute noch tagelang von der Außenwelt abgeschnitten. Selbst Satelliten mit hochauflösenden Optiken können kein ausreichend klares Bild vermitteln und sind in ihrer Betriebsfähigkeit zu stark vom Wetter abhängig (Ausfall bei Wolkenbedeckung). Eine enorme Bedeutung besitzt hingegen der Funkverkehr. Allerdings müssen die technischen Einrichtungen für den Aufbau eines stabilen UKW- oder Kurzwellennetzes in den meisten Erdbebengebieten erst noch geschaffen werden.

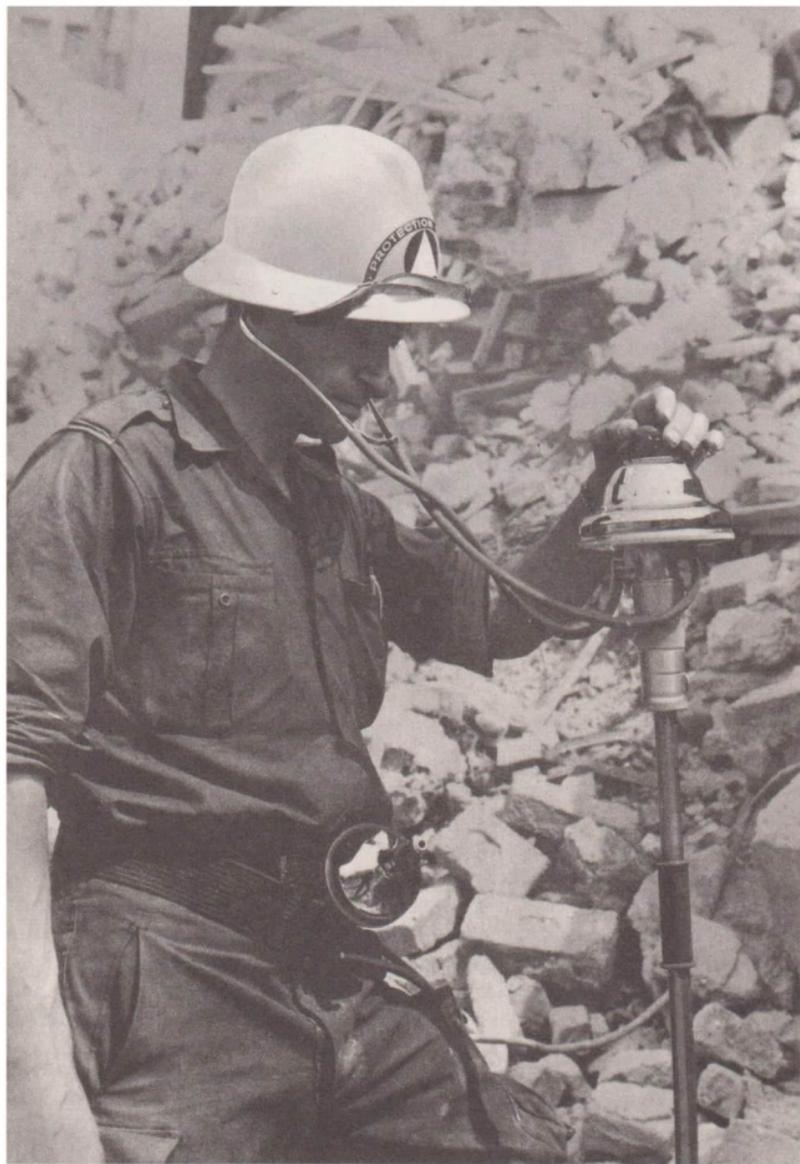
Die Kenntnis der Schwere eines Bebens und der Schadensart kann für schnelle und ausreichende medizinische und technische Hilfe außeror-



Elektrogetriebenes Rettungsfahrzeug auf 24 Rädern bei einer Übung im unterirdischen Geschäftszentrum von Osaka (Japan)

dentlich wichtig sein. Gleichzeitig gilt es, so rasch wie möglich Informationen in die vom Beben betroffenen Gebiete zu leiten. Das Übermitteln von Anweisungen für die Organisation der Hilfsaktionen und von Verhaltensmaßregeln für jeden einzelnen ist kein technisches Problem mehr. Batteriegespeiste Kofferfernseher oder zumindest Radios werden auch nach schweren Beben noch betriebsfähig sein.

Ebenso wie für die Wahl des geeigneten Standorts von Gebäuden ist für die richtige Verlegung bebengeschützter Lebensstränge eine genaue Kenntnis des geologischen Untergrunds nötig. Bei der Anlage von Großstädten wurden seismologische Gesichtspunkte in der Vergangenheit kaum beachtet. So kreuzen alle Lebensadern der Siebenmillionenstadt Los Angeles die San-Andreas-Verwerfung bei den Ortschaften San Bernardino und Palmdale. Ein zerstörendes Beben in diesem Gebiet würde die Millionenstadt schlagartig lähmen. Fachleute schätzen die Dauer der baulichen Maßnahmen für eine bebensichere Verlegung der Lebenslinien auf mindestens 15 Jahre.



Los Angeles liegt nur 500 km südöstlich von San Francisco. Aber seit 1906 sind fast 80 Jahre vergangen, und man scheint keine besondere Eile zu haben. Ist der tragische Kampf von Dennis Sullivans Feuerwehrleuten schon in Vergessenheit geraten?

Was tun, wenn die Erde bebt?

Man kann durch Planspiele im Computer Erdbeben simulieren und diese nicht nur auf einzelne Gebäude oder Versorgungssysteme, sondern auf Großstädte oder ganze Siedlungsräume „loslassen“. Die Resultate sind teilweise erschreckend.

Hätte sich das Erdbeben von 1906 in San Francisco an gleicher Stelle und in gleicher Stärke im Jahr 1980 wiederholt, dann würde es 10 360 Tote und 40 400 Verletzte gegeben haben. Das sind nicht nur Rechnerzahlen, sondern die Schlußfolgerungen einer zweihundertvierzigseitigen Expertenstudie.

In Tokio wären bei Wiederholung des Bebens von 1923 unter den Verhältnissen von 1975 allein in der ersten Minute 26 000 Brände ausgebrochen. Die Wirkung würde wegen der komplizierten Wohn- und Verkehrsverhältnisse ungleich größer gewesen sein. *Prof. Shimizu* von der Universität Chiba sprach von 45 000 eingestürzten und 320 000 brennenden Häusern, die Zahl der Toten ginge in die Millionen. „Japan versinkt“: Geschäftstüchtige Filmproduzenten verarbeiteten diese Vision zu einem Bestseller. Eine Tageszeitung schrieb: „Setzte das Beben zum Beispiel an einem Winterabend zur Zeit des Berufsverkehrs ein, so würden mehrere Millionen Menschen auf dem Heimweg überrascht werden. Sie blieben in den Untergrundbahnen oder Stadtschnellzügen stecken, wären auf der auf Stelzen stehenden Stadtautobahn Gefangene im eigenen Wagen; Berufstätige, Hausfrauen, Schulkinder auf dem Heimweg aus der spät schließenden Schule – sie alle würden eingekleidet sein in Gassen, in überfüllten Kaufhäusern und Hunderten von unterirdischen Ladenstraßen, in wahren Menschenfallen, die oft unter Mißachtung der simpelsten Sicherheitsvorschriften gebaut worden sind und ein Entkommen unmöglich machen.“*

Offensichtlich tut sich hier ein Widerspruch auf. Einerseits kann man

* „Frankfurter Allgemeine Zeitung“, 25. März 1975

bebensicher bauen und wendet solche Technologien bei den Hochbauten auch an. Andererseits besteht für die Bewohner von Altbausubstanzen noch ein hohes Risiko. Vor allem aber rücken solche spektakulären Katastrophenschilderungen bei aller Sensationshascherei der Autoren einen wichtigen Sachverhalt ins Licht der Öffentlichkeit. Die Menschen – als Einzelpersonen und insbesondere als Gesellschaft – scheinen gegen extreme Belastungen nicht genügend gewappnet zu sein. Bebensichere Bauten ersetzen nicht die Vorbereitung ihrer Bewohner.

Das Erdbebenbewußtsein und das daraus folgende zweckmäßige Verhalten sind am besten bei Völkern entwickelt, die häufig schwere Erdbeben erleben. Treten Erdbeben nur selten oder gewöhnlich als harmlose Kleinbeben auf, dann verliert sich selbst nach einem Großbeben mit der Zeit die Anpassungsbereitschaft. Anpassung ist immer mit gewissen Einschränkungen im Lebensstil, insbesondere im materiellen Bereich, verbunden. Man neigt bei fehlender Kontrolle und fehlendem Zwang eben doch allmählich zu einer gewissen Sorglosigkeit. Aus den Augen – aus dem Sinn. Um so schlimmer trifft es die Menschen, wenn dann nach längerer Ruhe wieder ein großes Beben eintritt. Gebiete mit seltenen, dafür aber desto überraschender hereinbrechenden Beben sind Teile des Mittelmeerraums – in erster Linie Nordafrika –, aber auch Nordamerika und die Karibik.

Selbst in Kalifornien kamen Sozialforscher der Universität von Los Angeles zu überraschenden Resultaten. Bei einer 1979 durchgeführten Befragung von 1450 Personen war allen der Gedanke an ein Erdbeben unbehaglich. Nur 35 aber hielten Erdbeben für eins der drei größten Probleme des Bundesstaats Kalifornien, und gar nur 26 erachteten direkte Vorsichtsmaßnahmen, wie Erdbebenübungen, für notwendig.

In der UdSSR, den USA und Japan wurden an Universitäten Institute für Erdbebenerziehung eingerichtet. Dort bildet man Pädagogen aus, die Kenntnisse über Erdbeben und das Verhalten während und nach solchen Naturkatastrophen vermitteln sollen. Erdbebenkunde als neuer Bestandteil der Umwelterziehung . . . Schon gibt es fahrbare Ausstellungen, Naturlehrpfade mit Erdbebeninformationen, Würfel- und Puzzlespiele über Erdbeben, Modellbaukästen zum Basteln von Lehrmaterial. Man bemüht sich, ein Netz von Hobbyseismologen aufzubauen, die sowohl erzieherisch wirken sollen als auch ehrenamtlich an der Durchführung von Messungen im Gelände beteiligt sind. Fast alle Staaten unterhalten ähnlich den Meteorologischen Diensten Erdbebendienste mit vielen Meßstellen im Land. Sie sind in industriell hochentwickelten Gebieten Bestandteile der im Aufbau befindlichen Früherkennungs- und Warnsysteme.

Wozu rät der Erdbebenerzieher, wenn das Ereignis eintreten sollte?

Während des Bebens:

- Keine Panik. Die Erde reißt nicht auf und verschluckt niemand. Größte Gefahr droht von oben. Ruhe bewahren und beherrscht bleiben.
- Wer in Gebäuden fern vom Eingang überrascht wird, suche unter Torbögen, Türrahmen, Tischen, Bänken Schutz. Glas meiden.
- Alle Feuer und offene Flammen löschen. Keine Streichhölzer benutzen. Nicht rauchen.
- Wer im Freien überrascht wird, bleibe draußen. Weg von Gebäuden und elektrischen Freileitungen.
- Wer Auto fährt, halte an. Im Auto bleiben; es ist ein vorzügliches Seismometer. Man spürt das Abklingen des Bebens.

Nach dem Beben:

- Wohnungseinrichtung prüfen, aber nichts in Betrieb setzen. Haupthähne schließen und Strom abschalten. Durchzug schaffen. Festes Schuhwerk anziehen.
- Gebäude verlassen und erst wieder nach offizieller Entwarnung betreten. Batteriegeräte (Radio, tragbares Fernsehgerät) einschalten und mitnehmen.
- Nur telefonieren, wenn Hilfe nötig.
- Nicht neugierig spazierengehen. Beschädigte Gebäude meiden. Nachbeben könnten auftreten.

Im schweren Gefahrenfall muß die Bevölkerung evakuiert werden. Das ist nach der Brandbekämpfung das schwierigste Problem. Fachleute haben errechnet, daß man unter den gegenwärtigen Verkehrsbedingungen 14 Tage benötigt, um die Bevölkerung solcher Riesenstädte wie New York, Mexiko-Stadt oder São Paulo auszusiedeln. Das erscheint auf den ersten Blick viel und würde bei der Flucht vor einem Beben natürlich zu lange dauern. Bei genauerer Prüfung stellt man aber fest, daß dabei täglich immerhin fast eine Million und in einer Stunde etwa 50 000 Menschen aus der Stadt gebracht werden müßten. Die meisten wissen, wie lange es dauert, bis sich die Besucher bedeutender Fußballspiele aus dem Gelände eines auf Zuschauermassen eingerichteten Stadions herausgedrängt haben. Eine Evakuierung muß Kinder, Alte, Kranke und Gebrechliche einschließlich dringend benötigter Utensilien erfassen.

Die Nutzung innerstädtischer Freiflächen als Sammelplätze wird in „Gartenstädten“ mit großen Grüngürteln leichter möglich sein. In Tokio stehen aber nur 1,5 m² Grünfläche je Einwohner zur Verfügung. Trotzdem schuf diese Stadt in jüngster Zeit 121 spezielle Fluchtbereiche, wo ein Teil der Bewohner relative Sicherheit, medizinische Versorgung, Wasser, Nahrung und Zelte findet. Für die Betriebsbereitschaft dieser Freiflächen war die Anlage eines völlig neuen Straßennetzes die teuerste



Nach dem Beben von Taschkent 1966

Investition. Auch Bodenspekulanten hatten rechtzeitig Wind von dem Projekt bekommen und mit ihrer verantwortungslosen Preistreiberei die Verwirklichung des Programms ernsthaft gefährdet.

Selbst in Japan, einem Land mit fortschrittlicher Erdbebengesetzgebung und einer erdbebenbewußten Öffentlichkeit, zeigen sich immer wieder ernste Versäumnisse bei der Erfüllung staatlicher Auflagen. So waren 2 Jahre nach Verabschiedung des Sondergesetzes von 1978 nur 3 von 201 staatlichen Dienststellen der Tokioregion ihrer Verpflichtung nachgekommen, eigene Maßnahmepläne zur Erdbebenvorkehr auszuarbeiten. Erfreulicherweise konnten die Aktivitäten des Erziehungs- und des Transportministeriums als vorbildlich bezeichnet werden.

Nach der Anlage von Fluchtwegen und Sammelplätzen ist die Einrichtung von Rettungszentralen die wichtigste Aufgabe. Anfang 1980 wurde in der Industriestadt Kawasaki bei Tokio ein Prototyp geschaffen. Inmitten kleiner Fertighäuser aus Holz- und Preßplatten steht auf 38 Säulen,

die in 40 m Tiefe verankert sind, ein Spezialbau mit Lazarett, Operationsraum, Funkstelle, Generatoren für Stromversorgung, Lebensmitteln — um 30 000 Menschen 2 Tage zu ernähren —, Wasserreserven. Auf dem Dach befinden sich Antennenanlagen, starke Scheinwerfer, Wasserkanonen und ein Kommandoturm.

Rettungszentralen werden in den Buchten der reich gegliederten japanischen Küste auch auf ausgedienten Großschiffen eingerichtet. Sie verfügen über Anlegemöglichkeiten für andere Schiffe und Landekapazitäten für Hubschrauber.

Das richtige Verhalten bei Erdbeben und insbesondere die Evakuierung großer Menschenmassen müssen trainiert werden. Innerhalb von Gebäuden soll jeder versuchen, den Erschütterungen durch schnelle Reaktionen zu widerstehen. Das läßt sich schwer einüben. Zwar gibt es in manchen japanischen Städten „Rüttelautos“: Container — mit einmontiertem Zimmer — auf Ladeflächen von LKWs werden hydraulisch durch verschieden starke Stöße geschüttelt. Der praktische Nutzen scheint gering. Vielleicht ist das die Idee eines geschäftstüchtigen Unternehmers, bestimmt aber ein Gaudi für Kinder und Erwachsene.

Sehr nützlich und aufschlußreich sind dagegen Manöver im Freien. Erdbebenübungen immer größeren Umfangs finden statt. In Tokio geschieht dies alljährlich am 1. September, dem Jahrestag der Katastrophe von 1923. 1980 kamen bereits Dutzende von Rettungstrupps mit Hunderten von Fahrzeugen, Hubschraubern und Feuerlöschbooten zum Einsatz. 4,3 Millionen Menschen waren im Raum Tokio in die Übung eingebunden. Hier und auch bei ähnlichen Manövern in anderen Ländern erkannte man, daß die Verstopfung der Fluchtwege tatsächlich zum Hauptproblem wird. Im Ernstfall wird wohl die Feuerwehr, statt Löscheinsätze zu fahren, besser daran tun, die Straßen für Menschenströme freizuräumen — vor allem von den Millionen abgestellter PKWs, die bei ausbrechendem Feuer außerdem wie Brandbomben mit Zeitzünder wirken.

Erstaunlicherweise kann man auch vor den nahenden Gefahren eines Bebens warnen und sich schützen, wenn dieses bereits stattgefunden hat. Der Ansatzpunkt liegt bei den unterschiedlichen Geschwindigkeiten der von einem Bebenherd ausgehenden Wirkungen. Hierzu ein Beispiel: Wir sehen zunächst den Rauch einer Explosion und hören dann den Knall, bemerken erst den Blitz und darauf je nach Entfernung den Donner. Optische Signale laufen etwa einmillionmal schneller durch die Luft als akustische. Im Sinn von Warnung und Schutz vor Schäden bedeutet das: Wir sehen eine Explosion und halten uns die Ohren zu, bevor das Trommelfell schmerzen kann.

In der festen Erde breitet sich nun allerdings kein Licht aus, zum Glück

jedoch – im Gegensatz zur Luft – mehrere Arten von unterschiedlich schnellem „Schall“. Da die viel weniger gefährlichen Längswellen schneller sind als die zerstörenden querschwingenden, bietet sich die Chance einer kurzfristigen Warnung. Wieviel Zeit bleibt?

Liegt der Bebenherd in einer Entfernung von 100 km, dann trifft die Längswelle nach reichlich 15 Sekunden, aber die Querwelle erst nach knapp 30 Sekunden ein. Die Differenz von etwa 15 Sekunden erscheint wenig, könnte aber ausreichen, um erste Vorsichtsmaßnahmen zu ergreifen (Industrieanlagen abschalten, Kernreaktoren und Strahlungsquellen sichern, Öl-, Benzin- und Gastanks schließen, medizinische Operationen unterbrechen, Bremsung von Zügen einleiten, Flugzeuglandungen abbrechen, Autoverkehr warnen). Das gleiche Phänomen nutzen übrigens Menschen (und Tiere) in Erdbebenländern, wenn sie nach den ersten schwachen Erschütterungen ins Freie laufen. Die Erfahrung lehrt, daß schon viele dadurch großen Hauptstößen entkamen und ihr Leben retteten.

Alles wird natürlich um so kritischer, je näher der Bebenherd liegt. Um die erwähnten technischen Maßnahmen einzuleiten, sind echte, weitgehend automatisch arbeitende Erkennungs- und Warnsysteme unter Einbeziehung von Großrechnern erforderlich. Der Weg zur vollen Verwirklichung solcher Wünsche ist noch weit. Immerhin wurden bereits während des japanischen Izubebens vom Januar 1978 die Exprefzüge der mit über 200 km/h dahinbrausenden Shinkansenlinie durch ein von Seismographen der Staatsbahn ausgelöstes Computersignal gestoppt, bevor die Bebenwellen die Gleise erfaßten.

Die Techniker nutzen bei der Übertragung von Informationen über nahende Beben natürlich auch Funkwellen. Diese sind fast so schnell wie das Licht und damit noch hunderttausendmal schneller als die schnellsten seismischen Wellen. Genau darauf stützt sich die Warnung, und deshalb ist die möglichst landesweite Verteilung von automatisch arbeitenden, teils ober-, teils unterirdisch installierten Seismographen mit Funkkontakt so wichtig. Das hervorbrechende Unheil wird unmittelbar an seinem Entstehungsort erkannt, und über die Ätherwellen – in Japan seit 1982 unter Einschaltung des Satelliten Sakura 2a – eilt ihm der Alarm voraus. Leider ist dieses Prinzip gerade in ökonomisch schwächeren Ländern noch nicht die Norm, sondern Zukunftsmusik. Eine lohnende Aufgabe für die Wissenschaft und die internationale Zusammenarbeit . . .

Wie gut man Naturkatastrophen durch erdumspannende Beobachtungsdienste schon während des Entstehens erkennen und in ihrer Entwicklung verfolgen kann, zeigen nicht nur Beispiele aus der Wettervorhersage (Taifune und Hurrikane, Eisbergwarnung). Auch die seismischen

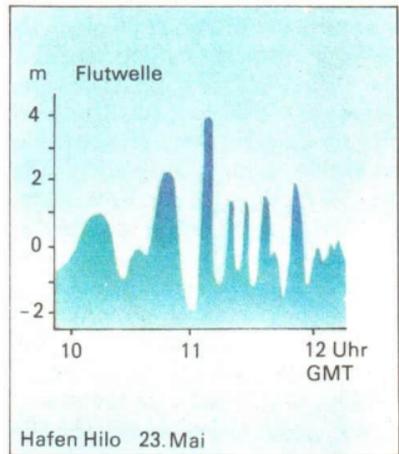
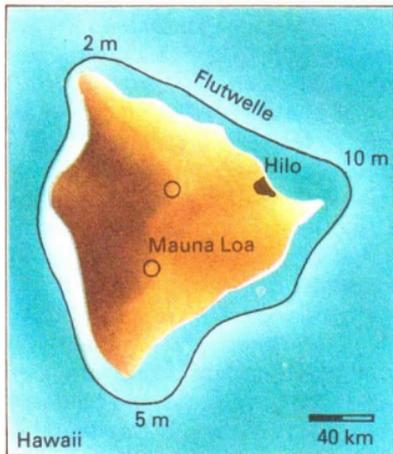
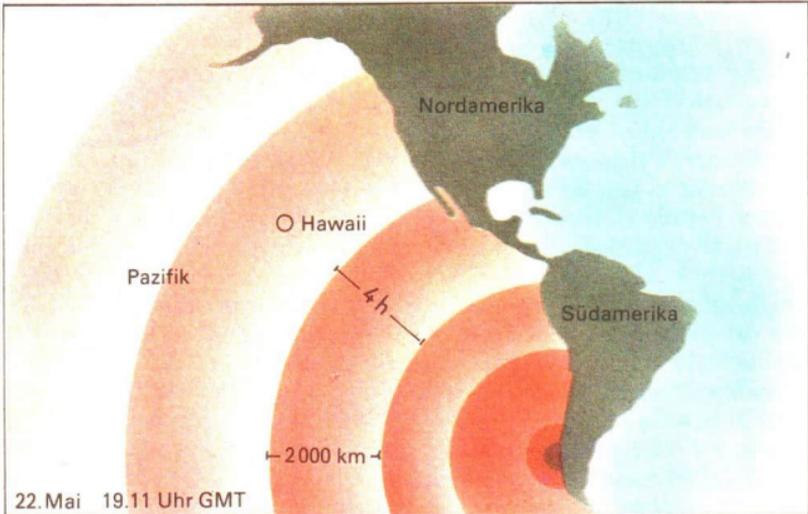
Meereswogen (Tsunami), jene untermeerischen Kinder der Erdbeben, werden heute von den Anliegern des Stillen Ozeans in vielen Fällen rechtzeitig erkannt und ihre schlimmsten Wirkungen durch ein Warnsystem „entschärft“.

Tsunami gehen gemeinsam mit den im festen Untergrund laufenden seismischen Wellen von Bebenherden aus, die oft weit draußen am Boden des Ozeans liegen. So registrierte die seismische Station auf der sowjetischen Halbinsel Kamtschatka am 5. November 1952 frühmorgens gegen 4 Uhr Ortszeit die Erschütterung eines starken Bebens einige hundert Kilometer vor der Küste. Eine knappe Stunde später tauchte von See am Horizont eine rasch näher kommende weiße Wand auf. Eine Riesenwelle von der Höhe eines mehrstöckigen Hauses warf sich ans Ufer, alles mitreißend und vernichtend. Die meisten Orte längs einer 1000 km langen Küste wurden zerstört, Schiffe auf die Klippen geschmettert. Unmittelbar danach beschloß die Regierung die Schaffung eines Tsunamiwarndienstes und ein langfristiges Forschungsprogramm zum Schutz der Menschen, Siedlungen und Häfen.

Fast 8 Jahre später, nach dem Chilebeben vom Mai 1960, entstand eine noch größere Meereswoge, die an der amerikanischen Pazifikküste, auf Hawaii und auf den Philippinen starke Verwüstungen anrichtete. Rechtzeitig informiert, wurden die Menschen evakuiert, die Schiffe verließen die Häfen, lediglich die Kaianlagen erlitten Schäden.

Gegen die Gewalt der Riesenwellen gibt es nur ein Mittel, einen Ausweg: die Flucht. Der Mensch ist dabei nicht chancenlos, weil die Wasserwellen beträchtlich langsamer laufen als die Erdbeben- und die Funkwellen. Nicht allein an den Küsten des Festlands und auf den zahlreichen Inseln des Stillen Ozeans, sondern auch im offenen Meer ist ein Netz von Meßfühlern ausgelegt. Sie registrieren Bodenerschütterungen, Änderungen des Wasserspiegels, der Wassertemperatur, der Strömungsgeschwindigkeit, des Wasserdrucks. Automatisch werden die Meßdaten zu Funkbojen geleitet und über Nachrichtensatelliten abgefragt. Computerzentralen prüfen auf „Tsunamiverdacht“ und geben notfalls, wiederum über Satellit, Warnung an die Bodenstationen. Dann ist es Sache der betreffenden Länder, Alarm auszulösen. Immerhin bleiben etwa 15 Minuten, bis ein 100 km vor der Küste entstandener Tsunami das Festland erreicht. Bei der Durchquerung des gesamten Ozeans vergehen mehrere Stunden.

Wie ein Damoklesschwert hängt die Gefahr einer Tsunamikatastrophe noch immer über den Küsten der UdSSR, Kanadas, der USA, Mexikos, Chiles, Neuseelands, Australiens, der Philippinen, Japans und anderer Länder. Heute ist ihm dank internationaler Zusammenarbeit viel von seiner Unberechenbarkeit und Schärfe genommen. Das sowjetische Tsuna-



Der große Tsunami auf Hawaii am Tag nach dem Erdbeben von Chile 1960

mizentrum auf Sachalin wirkt eng mit dem Internationalen Tsunamidiens in Honolulu zusammen. Um die Zuverlässigkeit der Vorhersagen zu erhöhen, gibt es noch viel zu tun.

Die Tsunamiwarnung funktioniert dank der Schnelligkeit der seismischen Wellen, die den Wasserwellen vorausseilen. Für die Bebenerkennung auf dem Festland liegt aber gerade in dieser hohen Geschwindigkeit das große Problem. Die Bebenwellen sind zu schnell, meist schneller als die Nachrichten, die vor ihnen warnen sollen. Um Stunden vorher Bescheid zu wissen, muß man die Bebenvorläufer aufspüren. Das ist ungleich schwieriger.

Häufig wird ein landesweit verteiltes Meßnetz von Seismographen mit einem Warnsystem verwechselt. Seismographen können lediglich Hinweise für die Bebenvorhersage geben. Warnungen sind Maßnahmen, die von Menschen ausgelöst werden und tief in die gesellschaftlichen Verhältnisse eingreifen. Solche Entscheidungen erfordern hohes Verantwortungsbewußtsein und fundierte Sachkenntnis. Dazu gehört, den Inhalt und die Grenzen einer Bebenprognose richtig einschätzen zu können.

Eine Warnung bedeutet noch keinen Alarm. Die Wissenschaftler sollen nur warnen — deutlich, verantwortungsbewußt und mit allen Konsequenzen. Alarm muß die kollektive Entscheidung eines Spezialistenstabs sein, in dem vor allem die Politiker das Wort führen.

Zu hoch ist das Schadenrisiko eines schlecht vorbereiteten Alarms,

Der Rentner Primo Relevant aus Artegna (Oberitalien) errichtete sich nach dem Beben im Mai 1976 auf den Trümmern seines Hauses eine Bretterhütte. Jahrelang wartete er vergeblich auf Unterstützung von den Behörden.



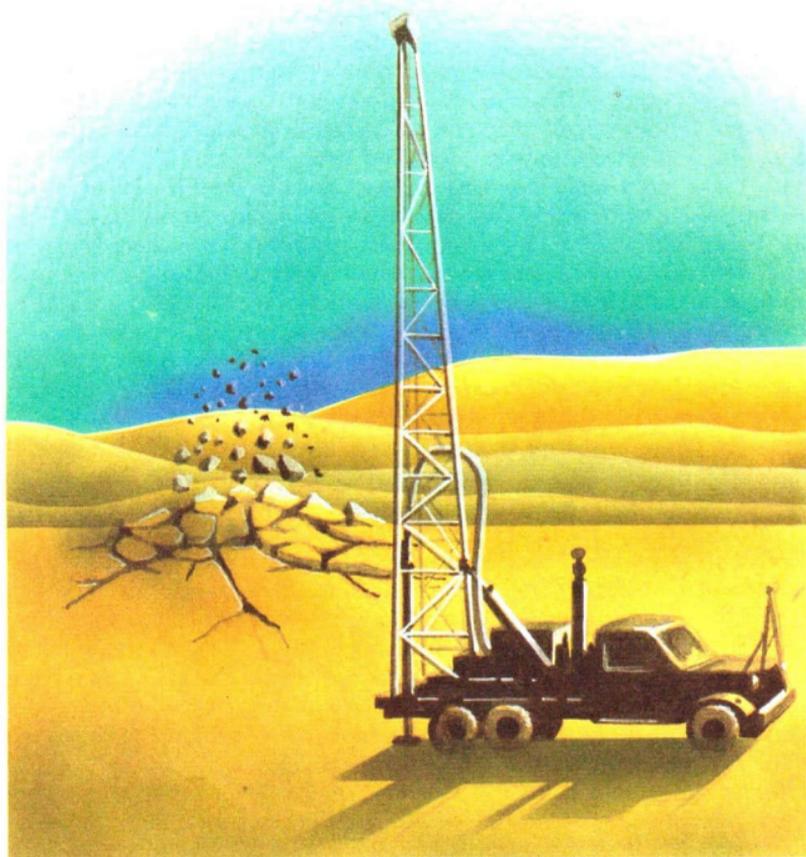
einer möglichen Panik. Die Verluste können größer als beim nicht vorher gemeldeten Naturereignis sein. Fehlwarnungen und Falschalarm sind aber auch bei guter Vorbereitung immer kostspielig und belastend. Denken wir nur an die Unterbrechung der Produktion und an die menschlichen Härten einer zeitweiligen Evakuierung, von Unfällen ganz zu schweigen. Zwar kommt aus China hin und wieder spektakuläre Kunde von rechtzeitig angeordnetem Alarm vor Erdbeben. Wie hoch die Dunkelziffer der Falschalarme oder der nicht angekündigten Ereignisse ist, erfährt man selten. In den vergangenen 2 Jahrzehnten gab es auf Sachalin und den Kurilen 44 Tsunamialarme, während die Küsten nur siebenundzwanzigmal heimgesucht wurden. Schnell schleicht sich dabei der psychologisch verständliche, aber gefährliche Fehler der Gewöhnung ein. „Vielleicht wird doch wieder nichts passieren“ – und schon trifft man die Vorkehrungen nicht mehr gewissenhaft genug.

Schutz wofür und für wen ist eine entscheidende gesellschaftspolitische Frage. Welchen Menschengruppen und welchen Objekten gilt im Alarmfall die besondere Aufmerksamkeit? Welche Rolle spielen die finanziellen und materiellen Interessen der verschiedenen sozialen Schichten?

Wo sich alles ums Geld dreht, wird schließlich sogar das Geschäft mit der Erdbebenangst profitabel. Dabei geht es nicht nur um den schwunghaften Vertrieb von „Überlebenspäckchen“ für jedermann (mit eiserner Ration, Wasserentgiftungstablette, Verbandzeug), sondern ebenso um Versicherungspolicen, Bodenpreise, lukrative Produktionsaufträge und Stimmenfang im Wahlkampf.

Die Spekulationen mit dem Erdbebengespenst sind auch in der internationalen Politik nicht neu. Sonst wäre heute der Atlantik mit dem Pazifik wahrscheinlich nicht durch den Panama-, sondern durch einen Nikaraguanal verbunden. Die günstigste Kanaltrasse liegt im mittelamerikanischen Nicaragua. Ende des vorigen Jahrhunderts hatten dort die Arbeiten für den Schifffahrtsweg bereits begonnen, als die liberale Regierung Nicaraguas Distanz zur räuberischen US-Politik suchte. Das veranlaßte die Monopole, auf das Panamaprojekt umzuschwenken. Nicht zuletzt mit Gerüchten über unmittelbar bevorstehende Erdbeben und Vulkanausbrüche in der Republik Nicaragua wurde die Kanalbaugesellschaft von Nordamerika erfolgreich unter Druck gesetzt.

Beben von Menschenhand



Geister, die wir riefen . . .

Im Jahr 1935 wurde östlich der amerikanischen Stadt Las Vegas der Colorado River angestaut. Das heute als Hoover Dam bezeichnete Bauwerk war damals die größte Staudammkonstruktion der Welt. Obwohl in diesem Gebiet 1920 das letzte kleinere Erdbeben stattgefunden hatte, stellte man zu den wassertechnischen Kontrollinstrumenten auch einen Seismographen. Im September 1936, als die Stauhöhe erstmals 80 m erreichte, ereignete sich wiederum ein schwaches Erdbeben. Es konnte durchaus eins der seltenen natürlichen Ereignisse sein. Um so mehr staunten die Fachleute, als sich zeigte, daß damit eine ständig zunehmende Aktivität begonnen hatte. Allein 1937 – der Einstau war noch in vollem Gange – ereigneten sich 100 Kleinbeben in unmittelbarer Umgebung des künstlichen Sees. Im Mai 1939, als sein Wasserspiegel die Endhöhe von 150 m hatte, ließ gar ein ungewöhnliches Beben der Magnitude 5 die Gegend erzittern. Es bedurfte keines weiteren Beweises: Das Stauwerk war die Ursache. Der Begriff Staudammseismizität wurde geprägt. Der Untergrund des Stausees ächzte nicht nur unter der tonnenschweren Dammkonstruktion, sondern – wie beim Beladen eines Fahrzeugs – vor allem unter der zunehmenden Wasserlast beim Aufstau. Stauseeseismizität wäre somit treffender.

Jahrtausendealt ist der Traum des Menschen von der Verhütung der Erdbeben. Nun schien das Gegenteil einzutreten. Es wuchs die Gefahr der künstlichen Auslösung von Erdbeben durch Menschenhand. Natürlich waren die Ingenieure und Techniker fortan gewarnt. Die Bauvorschriften wurden nicht mehr nur gegen natürliche seismische Gefährdung, sondern meist auch gegen Dammrißgefahr durch auflebende induzierte (lat. inducere = einführen) Erschütterungen erlassen. Wie wichtig solche Maßnahmen sind, zeigt die Vielzahl der inzwischen bekannt gewordenen Fälle von Staudammseismizität an Wassergroßbauten.

In der Umgebung des Kariba-Damms am Sambesi wurden seit Staubeginn 1958 verstärkt Schwärme von Kleinerdbeben beobachtet. Diese traten besonders beim Überschreiten einer kritischen Stauhöhe von etwa

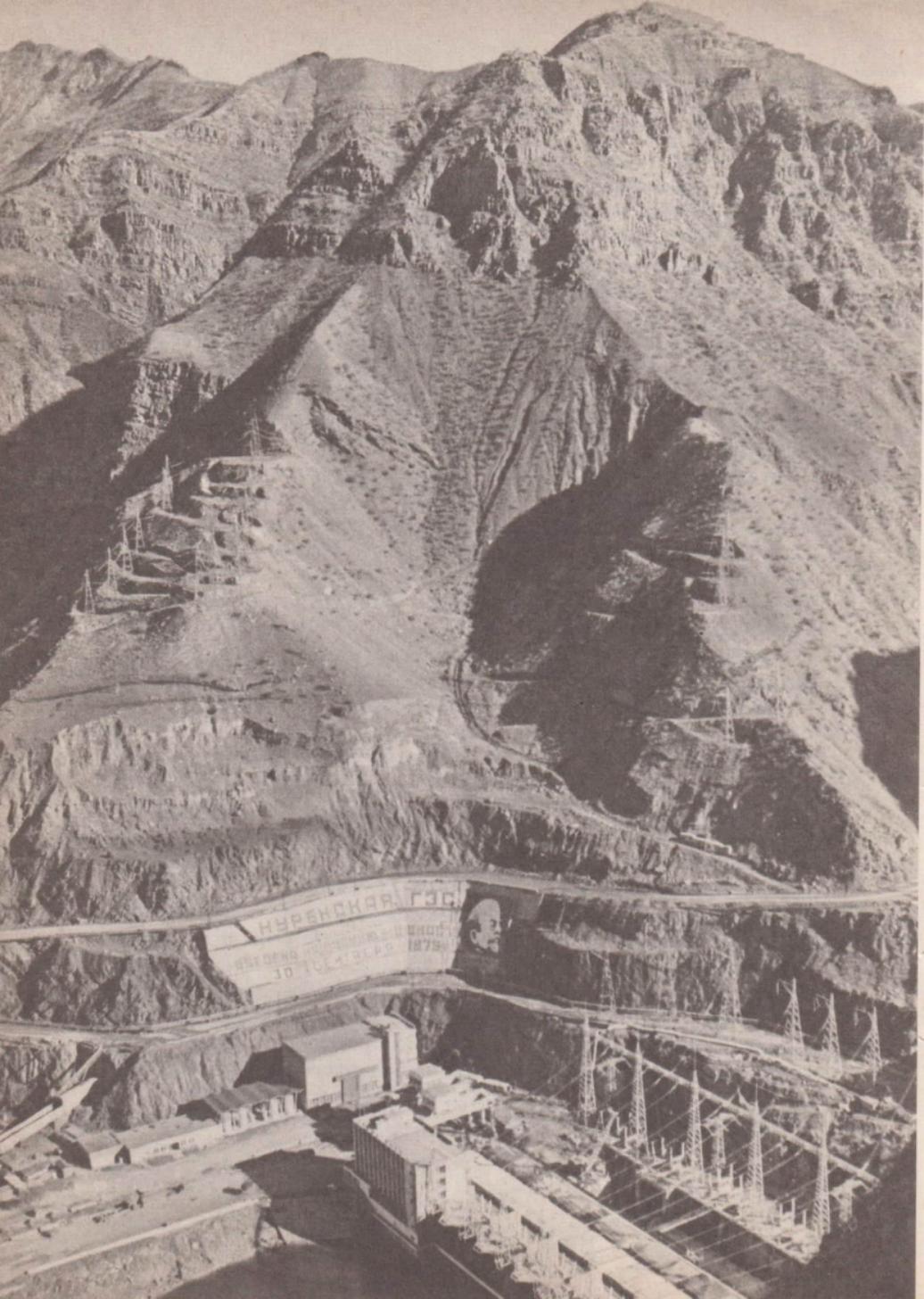
100 m auf. Nach einem starken Beben im September 1966 ($M = 6,1$) nahm die Aktivität wieder ab.

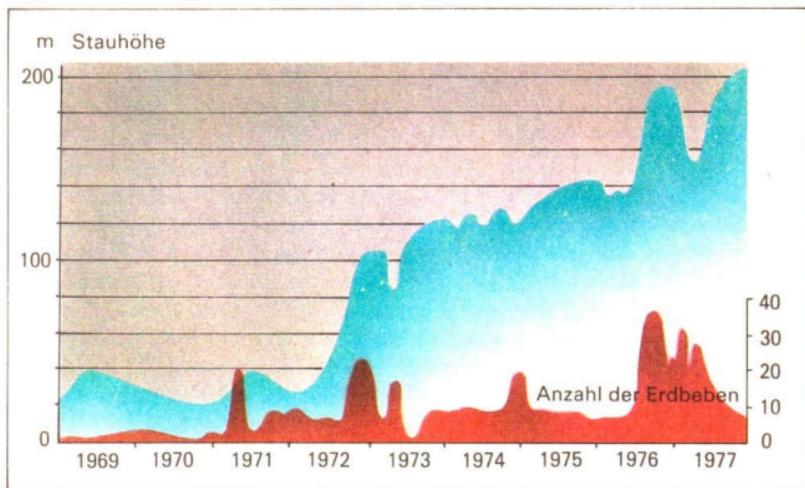
Der Kremaste-Damm in Griechenland ist seit Juli 1965 in Betrieb. Im August 1965 traten die ersten leichten Erdstöße auf. Im Februar 1966 ereignete sich ein Beben der Stärke $M = 6,2$, das in der Umgebung leichte Schäden hervorrief. Seit Mitte 1966 ging die Beben­tätigkeit etwas zurück.

Durch gezielte seismische Überwachung gewonnene Kenntnisse über Staubeckenseismizität stehen heute den Wissenschaftlern in großer Zahl zur Verfügung – so von den Stauanlagen Monteynard (Frankreich), Marathon (Griechenland), Mangla (Pakistan), Vogorno, Emosson, Punt dal Gall (Schweiz), Pieve di Cadore, Tolmezzo (Italien), Talbingo (Australien), Qued Fodda (Algerien), Korube (Japan), Lake Benmore (Neuseeland). In der Schweiz, einem Land mit relativ schwacher Erdbeben­­tätigkeit, aber vielen Stauanlagen, ist die ständige seismische Kontrolle aller Staubecken zur gesetzlichen Pflicht gemacht worden.

Ein hervorragendes Beispiel für das Zusammenwirken von Erdbebenforschern und Ingenieuren bei der Projektierung, dem Bau und dem Betrieb einer gewaltigen Stauanlage ist aus der Sowjetunion (Mittelasien) bekannt. In der romantischen Bergwelt Tadshikistans, am Fuß der gigantischen Siebentausender des Pamir und des Hindukusch, hat sich der Wachs eine tiefe Schlucht geschnitten. Wenn die Frühjahrs­sonne mit ihren wärmenden Strahlen die Schnee- und Gletschergrenze hier am „Dach der Welt“ weiter nach oben schiebt, stürzen ungeheure Wassermassen zu Tal. Millionen Tonnen Gesteinsschutt mit sich reißend, brachten die Naturgewalten nicht selten Tod und Zerstörung scheinbar schicksalhaft über die Bewohner am Unterlauf des Flusses. Dort, wo sich das Tal weitet und das Wasser in allmählich ruhigerem Strom dem großen Amu-Darja zustrebt, ist das Land seit Menschengedenken fruchtbar und dicht besiedelt. Die feinen Trübstoffe, letzte Reste zerriebener Gesteinskolosse, liefern einen der besten Böden der Welt. Überschwemmungen im Frühjahr und katastrophaler Wassermangel im Sommer brachten die Menschen jedoch allzuoft um die Früchte ihrer Arbeit.

Die Sowjetmacht schuf die materiellen und technischen Voraussetzungen für die Verwirklichung eines kühnen Projekts. Mit einer Kaskade von Staubecken sollte den Lawinen von Wasser und Geröll Einhalt geboten werden. 60 km südöstlich der Hauptstadt Duschanbe erfolgte nahe der ehemals kleinen Ortschaft Nurek der Hauptangriff auf den Wachs. Im Jahr 1955, noch vor Beginn der eigentlichen Bauarbeiten, hatten Wissenschaftler des Tadshikischen Instituts für Bebensicheres Bauen und Seismologie im Gebiet des künftigen Stausees Seismometer aufgestellt. Die Meßgeräte für Bodenerschütterungen halfen bei der Einschätzung des





Wasserstau und Erdbeben am Nurek-Damm (nach Negmatullajew)

Erdbebenrisikos und lieferten wichtige Angaben für die bebensichere Bemessung der Staumauer. Schließlich liegt das Gesteinsmassiv des Pamir wie ein Pflöck in der Kontaktzone zwischen der asiatischen Platte und dem indischen Subkontinent. Ständige „Reibereien“ der großen Kontinentalblöcke reagieren sich hier als Erdbeben oder Gesteinsaufpressungen ab. Die dabei wirkenden Kräfte sind riesenhaft. So ist der mächtige Himalaja in der geologisch kurzen Zeit von 30 Millionen Jahren zu schwindelerregenden Höhen aufgepreßt worden. Diese Vorgänge dauern an und werden immer wieder von Erdbeben begleitet.

Nach sorgfältiger Prüfung haben die Seismologen für den Nurek-Damm eine Widerstandsfähigkeit bis zur Erdbebenstärke $M = 6,5$ gefordert. Heute trotz eine gigantische, 317 m hohe Staumauer allen Gefahren der unwirtlichen Bergwelt. 10,5 Milliarden m^3 Wasser wurden angestaut, 11 Milliarden kWh Elektroenergie werden jährlich ans Netz abgegeben, über 1 Million ha Baumwoll- und Getreideanbaufläche können bewässert werden. Das tiefste von Menschenhand geschaffene Wasserreservoir der Welt steht in einer der seismisch aktivsten Zonen der Erde.

Nach den Erfahrungen an anderen Dämmen war auch am Nurek mit

Wasserkraftwerk am Nurek

einer zusätzlichen „Staudammseismizität“ zu rechnen. Als 1971 die Stauhöhe erst 60 m erreicht hatte, stieg die Anzahl der schwachen Erdbeben unterhalb des sich ausweitenden Sees bereits auf das Zehnfache. Die Seismographen registrierten täglich mehrere Kleinstbeben. Noch bestand kein Anlaß, den Anstau oder gar die Bauarbeiten zu stoppen. Man wußte inzwischen um die Prozesse, die sich da in der Tiefe abspielten, und schätzte sie richtig ein. Auflast und Eindringen von Wasser bauten die vorhandenen oder sich neu bildenden Spannungen im Gestein immer wieder ab. Nie wurde ein kritischer, staudammgefährdender Wert überschritten. 1972 ereignete sich bei Erreichen von über 100 m Stauhöhe das bisher stärkste dortige Stauseebeben mit der Magnitude 4,5.

Wasserstand und Erdbebenanzahl zeigten, daß nicht die absolute Wasserhöhe, sondern die rasche Veränderung des Wasserspiegels der bebenauslösende Faktor ist. Die Fachleute nutzten diese Erkenntnis, um der seismischen Belastbarkeit des Untergrunds „auf den Zahn zu fühlen“ und das günstigste, bebenärmste Stauregime zu finden. Mit dem allmählichen Erreichen der Endhöhe des Wassers sind die künstlichen Beben scheinbar weitestgehend abgeklungen. Ein gewisser Gleichgewichtszustand hat sich eingestellt, so daß sich zur Zeit die Erdbebenetätigkeit am Wachs kaum wesentlich von der vergleichbarer natürlicher Seen unterscheidet.

Die jahrelangen wissenschaftlich-technischen Großexperimente am Nurek-Staubecken wiesen erstmals überzeugend nach, daß sich auch die Auslösung von Erdbeben durch Menschenhand in begrenztem Umfang gezielt beeinflussen läßt.

Während „normale“ Erdbeben verschiedentlich Staubaunten in Mitleidenschaft gezogen haben, ist bisher nur ein Fall eines Dammrisses durch ein wahrscheinlich vom Stausee selbst erzeugtes Beben bekannt geworden. Im Dezember 1967 stürzte im Hochland von Dekan — südöstlich der indischen Millionenstadt Bombay — der Damm des Koyna-Stausees zusammen. Ein Beben der Magnitude 6,5 hatte sich nach Erreichen von 100 m Stauhöhe unmittelbar unter dem Stausee ereignet. Mehrere Dörfer wurden von den Wassermassen zerstört, 200 Tote waren zu beklagen.

Noch vor der Koyna-Katastrophe hatte ein tragisches Ereignis auf eine andere Gefahr möglicher Staudammseismizität aufmerksam gemacht. Als Anfang Oktober 1963 auf den Gipfeln der Südalpen bereits der Winter eingezogen war, ereignete sich am Fuß des Monte Toc eine der größten Überflutungskatastrophen in der Geschichte der Technik. 300 Millionen m³ Erdmassen hatten sich von einem Berghang in den Vajont-Stausee ergossen und in Windeseile eine 200 m hohe Flutwelle erzeugt. Die 4 Jahre alte, 260 m hohe Staumauer hielt zwar stand, konnte aber nicht verhindern, daß die Dammkrone von Wasser und Schlamm überflutet wurde.

Der Schaden in den Ortschaften des unteren Vajont-Tales war beträchtlich. Bis heute gehen die Meinungen auseinander, ob die Hangrutschung durch ein kleines Erdbeben infolge der Wasserlast oder durch ein wasserbedingtes „Aufweichen“ beim Wasseranstieg im Stausee ausgelöst wurde. Letzteres wäre gleichbedeutend mit der Wiederbelebung einer alten Massenrutschung, die vielleicht für Jahrhunderte zur Ruhe gekommen, gleichsam eingeschlafen war. Ansteigen des Wasserspiegels bedeutet Zustandsänderung der Bodenteilchen, Herabsetzung der inneren Reibung und damit „Schmierung“ des altangelegten Rutschkörpers. Derartige Reaktivierungen von Hangrutschungen stellen eins der wichtigsten Probleme bei der Errichtung jedes Staubeckens im Gebirgsland dar.

Allein mit seismischen Registrierungen kommt man den Vorgängen in der Umgebung der großen künstlichen Wasserbecken nicht auf die Spur. Genaue Kenntnis des Gesteinsverhaltens unter veränderlichem Druck ist erforderlich, um die Grenzen der Belastbarkeit der obersten Erdkruste abschätzen zu können. Die Wissenschaftler müssen verhindern, daß durch Großbauten hervorgerufene künstliche Erdbeben uns wie böse Geister zum Narren halten.

Die Natur belastet verschieden stark die oberen Gesteinsschichten durch Luftdruck, Gezeiteffekte, Schnee- und Eisbedeckung. Selten geschieht das in räumlich konzentrierter Form wie bei Wasserbauten. Der Wasserdruck allein spielt nur eine Nebenrolle, da wegen der relativ geringeren Dichte des Wassers die Auflast einer Wasserschicht lediglich etwa einem Drittel einer gleich dicken Gesteinsschicht entspricht. Weiterhin haben Messungen in tiefen Bohrlöchern gezeigt, daß dort der horizontale, also seitliche Druck zehnmal größer ist als der vertikale.

Die Ursache der Staudammseismizität liegt vor allem in der Schmierwirkung der Wassermoleküle. Diese kommen besonders zur Geltung, wenn sie in geologisch vorgezeichnete Schwächezonen des Gesteinsverbands eingepreßt werden. Im kompliziert verzahnten Unterbau kann das Wasser durch sein Gewicht sowohl als Bremse von Bewegungen wirken (allmählicher Druckaufbau) wie auch durch sein Eindringen die innere Reibung herabsetzen und damit diese Bremsen wieder lösen (ruckartiger Spannungsabbau, induziertes Erdbeben).

Die Überwachung von großen Stauanlagen mit Erschütterungsmessern hat in jüngerer Zeit eine weitere Ursache der erhöhten Mikroseismizität ans Licht gebracht. Vor allem in den österreichischen und Schweizer Alpen sowie in den rumänischen Karpaten beobachtet man immer wieder einen deutlichen Zusammenhang zwischen dem Auftreten von Minierebeben und der Absenkung des Wasserspiegels von Talsperren an Frostta-

gen. Die höchsten Aktivitäten treten jeweils bei Temperaturen unter -10°C und gleichzeitiger Absenkung des Wasserspiegels um mehr als 10 cm täglich auf. Solche Verhältnisse stellen sich bei den lang anhaltenden Wintern im Hochgebirge häufig ein.

Zum Glück haben sich die Befürchtungen nicht bestätigt, daß die leichten Erschütterungen durch ruckartige Verbiegung der Staumauern zustande kommen. Des öfteren vernimmt man nämlich schußähnliche Knallgeräusche und beobachtet klaffende Risse in Stollen und Tunnelgängen innerhalb von Staudämmen – so am 130 m hohen und 540 m langen bogenförmigen Staudamm Punt dal Gall in den Schweizer Alpen. Der Damm befindet sich in 1805 m Höhe und staut mit einem Fassungsvermögen von 164 Millionen m^3 den Lago di Livigno an.

Die Vermutung lag nahe, daß sich dort Verbiegungsspannungen abregieren, die von Temperaturunterschieden zwischen der Luft- und der Wasserseite eines Staudamms herrühren. Obwohl dieser Effekt nicht ganz auszuschließen ist, haben seismische Messungen ein anderes Bild von den Hauptursachen ergeben. Die Erschütterungen werden am Seeufer durch das Aufsprengen von rißförmigen, oberflächennahen Gesteinsklüften beim Gefrieren von Wasser ausgelöst. Immer wenn die wärmende Wasserbedeckung plötzlich zurückgeht (schnelle Absenkung des Wasserspiegels), kann im Winter Frost in die freigelegten, bergfeuchten Gesteinsrisse eindringen. Es kommt zum Aufsprengen, und man spricht von temperaturbedingter Seismizität. Eigenartigerweise macht sich das ebenfalls temperaturbedingte, gut hörbare Aufreißen von Eisschollen an den seismischen Meßgeräten kaum bemerkbar. Die durch Frostrisse im Eispanzer hervorgerufenen Bodenerschütterungen sind infolge Dämpfung sehr gering und kommen als Gefahrenquelle für Staudämme nicht in Frage.

Mit dem Begriff der unterirdischen Hohlraumbildung verbinden sich zunächst Vorstellungen von glitzernden Tropfsteinhöhlen, labyrinthähnlichen Gangsystemen in einer geheimnisvollen Bergwelt und schließlich von faszinierenden Felsendomen und -hallen. Vor allem durch die auslaufende Wirkung des fließenden Wassers schafft sich die Natur selbst diese Formenvielfalt.

In Bergbaugebieten hat der Mensch recht kräftig die Struktur des Untergrunds verändert. Durch das Fördern von Bodenschätzen und vor allem durch das Ausbringen von taubem Gestein entstanden beträchtliche unterirdische Hohlräume. Stellen wir uns nur die Menge geförderter Steinkohle oder abgepumpten Erdöls vor oder denken wir an die Kalisalzgewinnung. Nicht immer werden Stollen und Abbauräume mit Abraum wieder ordnungsgemäß gefüllt. Oft hinterläßt der Bergbau Hohl-

formen, in denen sofort das fließende Wasser günstige Angriffsflächen für fortschreitendes Auslaugen findet. Darin besteht neben der Staudammseismizität eine weitere Ursache künstlicher Erdbeben.

Wie derartige Eingriffe in die Natur auf den Menschen zurückschlagen können, ist besonders den älteren Einwohnern im Raum Halle noch in Erinnerung. Am 24. Mai 1940 brach in einem Salzbergwerk in Teutschenthal – etwa 15 km westlich von Halle (Saale) – ein Abbauhohlraum zusammen. Auf 2 km Länge und 300 bis 500 m Breite konnten die Sicherheitspfeiler in 500 m Tiefe die Last des Deckgebirges nicht mehr tragen. 42 Bergleute fanden ihr Grab im Berg. Der Gebirgsschlag, wie diese Art von Erdbeben auch genannt wird, war der bisher größte in Europa. Viele Menschen in der näheren und weiteren Umgebung haben ihn gefühlt; noch in 700 km Entfernung wurde er von Meßgeräten registriert.

Nur in wenigen Fällen verursachen die bergbaubedingten Einsturzbeben an der Erdoberfläche Schäden an Gebäuden oder Anlagen. Sie werden zwar vom Menschen häufig gespürt, haben aber lediglich eine geringe, mit der Entfernung vom Herd sehr schnell abnehmende Energie. Jedoch sind in manchen Bergbaugenden – nicht allein für die Bergleute und ihre Familien – mit dem Begriff der unterirdischen Hohlraumbildung auch andere Gefahren verbunden. Die Hohlräume können sich bei instabilem Deckgebirge durch nachfallendes oder nachsackendes Gestein bis an die Erdoberfläche „durchfressen“. Dort entstehen dann Erdfälle, die oft erhebliche Störungen verursachen.

Anschauliche Beispiele für die damit verbundenen Probleme sehen wir mitten in unserem Land. Im Raum Eisleben – Mansfeld wurde seit Jahrhunderten ein intensiver Kupferschieferbergbau betrieben. Hinzu kommt, daß sich im Untergrund mächtige Salzsichten aus dem vor 240 Millionen Jahren unser Gebiet bedeckenden Zechsteinmeer befinden. Salz ist für Auslaugung und Ausspülung sehr anfällig. Die jahrtausendelange Wirkung des unterirdisch zirkulierenden Wassers hat besonders zwischen Halle und Eisleben durch Abtransport des Salzes Hohlräume und markante Senkungsgebiete geschaffen. Diese prägen den Charakter der Landschaft. So verdankt der Süße See bei Seeburg seine Entstehung der Salzauslaugung. Neben reizvollen Erholungsbereichen beschert der ruhelose Untergrund den Bewohnern aber auch Gefahren und Bauschäden. In der am stärksten betroffenen Ortschaft Erdeborn mußten ganze Straßenzüge geräumt und abgerissen werden. Vielerorts sind ständig setzungsbedingte Schäden an Gebäuden und am Straßennetz auszubessern.

Durch den Kupferschieferabbau hat sich die Hohlraumbildung besonders im Gebiet der Stadt Eisleben weiter verstärkt. Dort sind Hohlräume – der Bergmann sagt Schlotten – entstanden, deren Höhe teilweise über

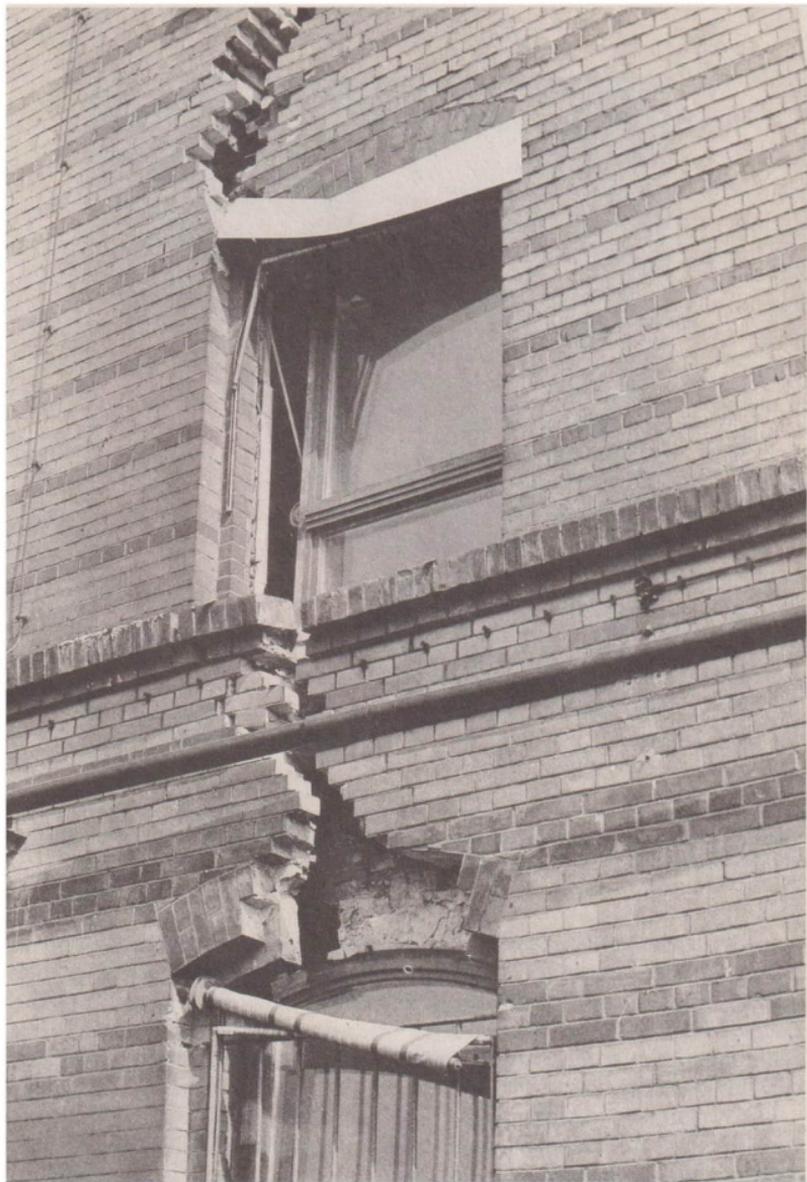


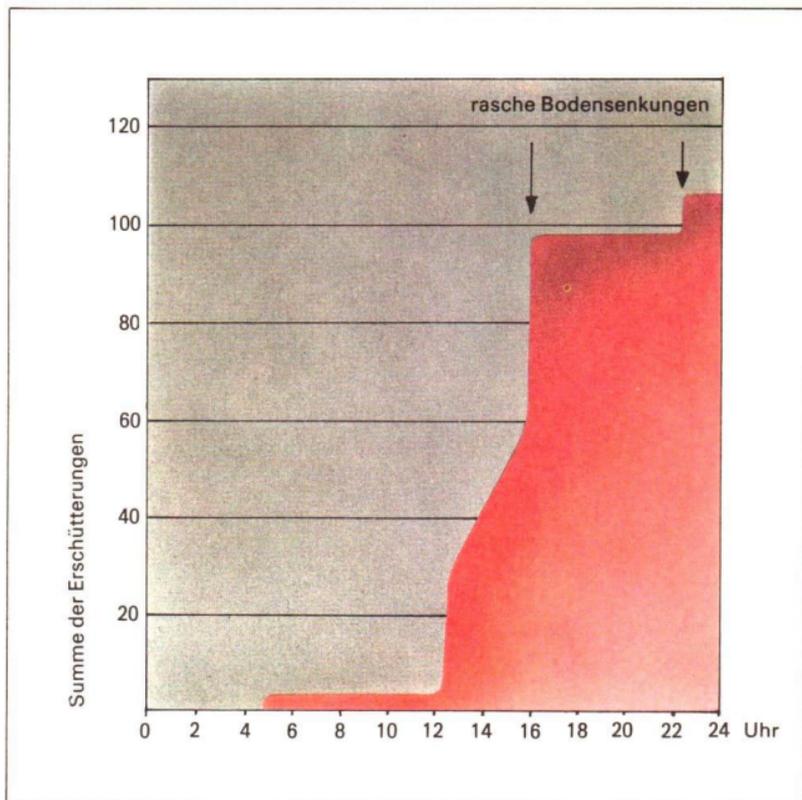
Erdfall bei Eisleben als Folge unterirdischer Hohlraumbildung

30 m beträgt. Im Gegensatz dazu erreicht das Kupferschieferflöz kaum einmal die Mächtigkeit von einem Meter.

Zum Teil als Begleiterscheinung des Bergbaus traten seit alters in großer Zahl Minieinsturzbeben auf, eben Gebirgsschläge. So wurden zwischen 1960 und 1970 allein im Raum Helfta bis zu 200 Gebirgsschläge monatlich aufgezeichnet. Mit der Einstellung des Bergbaus zu Beginn der siebziger Jahre hörten dort auch die Gebirgsschläge auf. Dafür lebte an anderen Stellen des Mansfelder Landes seit dieser Zeit die Gebirgsschlagaktivität auf. Während der Umlagerung des Bergbaus in die Sangerhäuser Mulde (Mulde = schüsselförmig abgelagerte Sedimentschichten) wurde die Mansfelder Mulde planmäßig geflutet. Nach dem Beenden des ständigen Abpumpens begannen sich alle Hohlräume mit Wasser zu füllen. Das führte zu weiteren Veränderungen des Kräftespiels und der Spannungszustände im Untergrund.

Folgeerscheinung von Bodensenkungen in Eisleben





Gebirgserschütterungen und Bodensenkungen in Eisleben am 7. April 1976 (nach Neunhöfer und Weidemann)

Neben zunehmender Gebirgsschlag­tätigkeit traten stellenweise groß­flächige Bodensenkungen auf, deren Geschwindigkeit nicht selten meh­rere Millimeter am Tag betrug. Diese Senkungen sind ein untrüg­liches Zeichen für die sich von unten nach oben durcharbeitenden Hohlräume. Schließlich kam es am 7. April 1976 westlich von Eisleben zu einem Erd­fall, der einen Senkungstrichter von beträchtlichem Ausmaß hinterließ.

Die Vorhersage solcher Ereignisse ist für eine rechtzeitige Warnung und für wirksame Schutzmaßnahmen dringend erforderlich. Seismome­ter sind über den gesamten Raum Eisleben verteilt. Noch bevor der Hohl­

raum die oberflächennächste Schicht erfaßt und es dort zum sogenannten Tagesbruch kommt, kann man durch Erschütterungsmessungen den Herd orten und Vorsorge treffen. Auf diese Weise werden die letztlich auf menschliche Eingriffe zurückzuführenden Kleinstbeben genutzt, um die Gefahren der unangenehmen Folgeerscheinung Erdfall abzuwenden.

Heute arbeiten in einer ganzen Reihe seismisch gefährdeter Bergbaugebiete der Erde Überwachungs- und Warnsysteme. Teilweise sind die Meßgeräte direkt in den Untertageanlagen des Bergbaus installiert, um das „Ohr“ möglichst nahe am Ort des Geschehens zu haben. Die „Hörer“ belauschen nicht nur Hohlraumeinstürze; denn bei der Anwendung hochexplosiver Sprengstoffe in Bergbau und Bauwesen muß auch mit einer unkontrollierten Freisetzung an gestauter Erdbebenenergie gerechnet werden.

Großsprengungen als Auslöser von Erdbeben? Könnte nicht zuletzt die Zündung immer gewaltigerer Kernexplosionen die „schlafenden Löwen“ in den Tiefen der Erde wecken oder gleich einem Stich ins Wespennest uns mit einem Schwarm von Schütterbeben überziehen? Spielt der Mensch mit dem Streichholz an der Lunte der geologischen Zeitbombe Erdbeben?

Tatsächlich besteht ein Zusammenhang zwischen Sprengtätigkeit und Erdbebenaktivität. So wurde im Gebiet der riesigen Kohlentagebaue nahe dem legendären Gebiet Big Horn im Nordwesten der USA seit dem Beginn der bergmännischen Erschließung im Jahr 1970 ein deutliches Ansteigen der Erdbebenhäufigkeit und -stärke festgestellt. Lagen vor 1970 die stärksten Beben bei Magnitude 4, so stiegen sie bald auf Werte von $M=5$ bei gleichzeitigem Zuwachs der Gesamtenergie auf das nahezu Hundertfache. Aus anderen Bergbaugebieten der Welt werden ähnliche Tendenzen gemeldet.

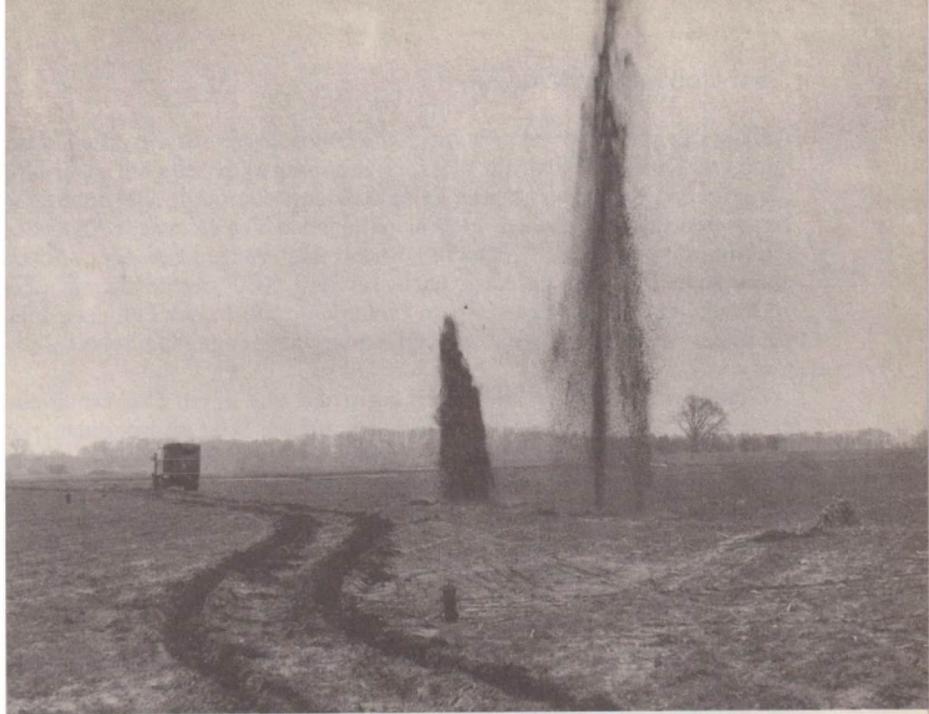
Allerdings besteht kein Grund zur Panik. Erstens liegen die derart freigesetzten Bebenenergien in allen bisher bekannten Fällen im Mittel unter den Sprengenergien der auslösenden Explosionen. Zweitens trat ein solcher Zusammenhang nur dort auf, wo ohnehin Erdbeben zur Tagesordnung gehören. Es verwundert daher nicht, daß aus einem seismisch relativ ruhigen Gebiet wie der DDR keine Fälle von Erdbeben bekannt sind, die unmittelbar durch Sprengungen ausgelöst wurden. Drittens kann sich erst dann ein stärkeres Erdbeben entladen, wenn die inneren Spannungen ein genügend großes Gesteinsvolumen erfassen. Die Energie von Explosionen nimmt aber mit der Entfernung sehr schnell ab und hat nach einigen Kilometern Laufweg nicht mehr die Kraft, Erdbeben „anzuschieben“. Nur im Umkreis von höchstens einigen Dutzend Kilometern vermögen Sprengungen induzierte Beben auszulösen. Die meisten Bebenherde lie-



Seismischer Meßtrupp bereitet Bohrlöcher zum Einbringen von Sprengstoff vor.

gen zu tief, um sie durch Explosionen zünden zu können. Was dennoch an Energie freigesetzt wird, ist – durch geologische Prozesse entstanden – stets schon als angestaute Spannung „abrufbereit“ vorhanden. Die Gefahr, daß sich durch Explosionen neue Spannungen anreichern, besteht nicht.

Im Gegenteil, erdbebenähnliche Sprengstoffdetonationen können dem Menschen sehr dienlich sein. Gerade waren zu Beginn unseres Jahrhunderts die ersten verblüffenden Erfolge der Seismologie bei der Erforschung des Erdinnern bekannt geworden, da unternahm der deutsche Geophysiker *Ludger Mintrop* (1880–1956) bereits die ersten erfolgreichen Experimente zur seismischen Lagerstättensuche. Geologen und Geophysiker forschen heute weltweit zu Lande und zu Wasser mit Hilfe von gezielt angesetzten oberflächennahen Spezialsprengungen nach Rohstoffen und Energieträgern. Sie nutzen diese künstlichen Beben und die dabei



Erdbeben von Menschenhand durch seismische Sprengungen: „Ausbläser“ verraten die Lage der Sprengpunkte.

entstehenden seismischen Wellen, um, ähnlich dem Echolot im Wasser oder dem Radar in der Luft, Reflexionen von Schichtgrenzen und Einlagerungen in der festen Erde zu bekommen. Spieglein, Spieglein in der Erde, sag, wo sind die Bodenschätze . . .

Reflexionsseismogramme lassen die spiegelnde Wirkung von Gesteinsschichten aus mehreren Kilometern Tiefe erkennen. Dutzende künstlicher Erdbeben werden von den Seismiktrupps täglich allein in unserem Land gezündet und registriert, um den Geologen die günstigsten Ansatzpunkte für ihre tiefen Such- und Erkundungsbohrungen zu geben.

Dem Übel an die Wurzel

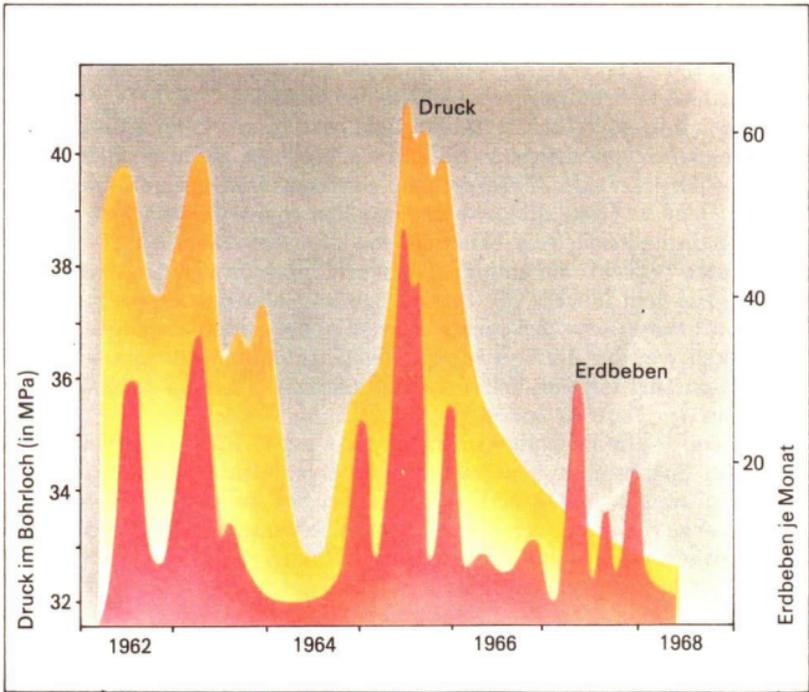
Anfang der sechziger Jahre wurden die Seismologen stutzig. Die Umgebung von Denver (USA) war plötzlich seismisch aktiv, obwohl sie bislang als bebenfrei galt. Zwar traten keine Schadenbeben auf, aber immerhin ereigneten sich im Sommer 1962 beinahe jeden Tag schwache Erdbeben mit Magnituden über 1,5. Um die Jahreswende 1962/63 ließ diese seltsam anmutende Erscheinung stark nach, im Juni 1963 strebte sie mit über 40 Beben im Monat wieder einem Höhepunkt zu. In der Folgezeit hielt die ungewöhnliche Aktivität mit mehr oder weniger großen Schwankungen an.

Gewissenhaft wurden alle Beben registriert und in ein Diagramm eingetragen. Um den rätselhaften Ursachen auf die Spur zu kommen, verglich man mit dem zeitlichen Ablauf des Wetters (Luftdruck, Wind, Niederschläge), analysierte das Verkehrs- und Baugeschehen, beschäftigte sich genauer mit industriellen Bodenerschütterungen. Es konnten keine Zusammenhänge nachgewiesen werden. Da fiel den Wissenschaftlern eines Tages eine Druckmessung aus einem Bohrloch in die Hände. Ihr Verlauf deckte sich fast bis in die Einzelheiten mit dem Erdbebendiagramm.

Im Untergrund des Gebiets von Denver befinden sich mächtige poröse Gesteinsschichten. Um des immer größer werdenden Problems der umweltgefährdenden Abfälle Herr zu werden, war eine Firma im Jahr 1962 auf den Gedanken gekommen, chemisch verseuchte Abwässer in diese Gesteine zu pressen. Bohrungen wurden niedergebracht. In einem Bohrloch installierte man in 3,7 km Tiefe ein Druckmeßgerät zur Überwachung. Gerade diese Meßkurve zeigte jene verblüffende Ähnlichkeit mit dem wechselhaften Erdbeben geschehen.

Die Ursachen waren dann schnell gefunden. Durch das Einpressen der Flüssigkeit wird der Porenwasserdruck stark erhöht. Da jedes Gestein mit zunehmender Tiefe einer wachsenden Spannung – sprich Belastung – ausgesetzt ist, kommt es beim Einpressen von Flüssigkeit zu einer merklichen Verminderung der Festigkeit. Durch das Schmiermittel Wasser können sich verspannte Gesteinsblöcke ruckartig gegeneinander verschieben. Mehr oder weniger starke Erdbeben sind die Folge.

Endlich bot sich auch eine Möglichkeit, durch gezielte Maßnahmen angestaute Erdbebenenergie schrittweise zu vernichten, gleichsam Verkrampfungen abzubauen. Nicht nur die Seismologen, sondern alle an der Abwendung der Erdbebengefahren Arbeitenden schöpften neue Hoffnung. Konnte man jetzt nicht versuchen, den Beben zuvorzukommen? Zwergbeben, bevor sich ein Schadenbeben anstaut? Abstottern der Erd-



Künstliche Erdbeben (M größer als 1,5) im Gebiet von Denver (USA) durch Einpressen von Abwässern in eine Bohrung (nach Healy)

bebenenergie auf Raten, wobei der Mensch selbst gefühlvoll das Bremspedal betätigt?

Das Prinzip mutet denkbar einfach an. Wie das Ventil am Dampfkessel den Überdruck von Zeit zu Zeit abläßt, soll sich die mechanische Energie abreagieren, die sich durch langsame Bewegungsvorgänge in der Gesteinshülle ansammelt. Freilich bedarf es einer Schmierung, um das Ventil gangbar zu halten.

Doch vom einleuchtenden Wirkprinzip bis zur technischen Lösung ist es auch hier ein weiter Weg. Die Hauptschwierigkeiten liegen in der Größe und Unzugänglichkeit des festen Erdkörpers.

In der Atmosphäre wird die Natur mit einem ähnlichen Trick heute schon vielfach überlistet, um Hagelschauer zu vermeiden. Kleine Raketen

feuern Jodsilber in Hagelwolken, so daß die Eiskörner auftauen, ehe sie den Erdboden erreichen. In der Erdbebenforschung bedarf es noch vieler Überlegungen und Experimente, um eines Tages ähnliche Projekte in Sachen Erdbebenverhütung verwirklichen zu können.

In gesteinsphysikalischen Labors sieht man immer öfter Granit- oder Sandsteinwürfel mit mehreren Metern Kantenlänge, die in die Backen gewaltiger Druck- oder Scherpressen gespannt sind. Feine Bohrungen durchziehen die Gesteinsblöcke und münden an der Oberfläche in nadel-förmige Spritzdüsen. Alle Seitenflächen sind mit einem Netz winziger Meßgeräte bedeckt. Sie empfangen feinste mechanische und akustische Signale aus dem Innern. Oft werden dabei Gesteinsblöcke bis zum Zerspringen beansprucht. Bei diesen Zerreiß- oder Bruchvorgängen in Abhängigkeit von der Art und Menge der eingepreßten Flüssigkeit hoffen die Wissenschaftler, Parallelen zum Gesteinsverhalten bei der Bebenauslösung in der Tiefe zu finden.

Auch in der freien Natur wird vielerorts mit Großversuchen am Problem des Spannungsabbaus zur „Erdbebenentlüftung“ gearbeitet. Einzelne Bohrungen genügen nicht mehr. An der kalifornischen San-Andreas-Verwerfung versucht man „Wurzelbehandlungen“. Quadrat-kilometergroße Gesteinsschollen sind in ihren Randzonen von Injektionsbohrungen nadelstichtartig durchlöchert. Meßapparaturen überwachen alle Hebung-, Senkungs- und Verschiebungsbewegungen. Empfindliche Seismometer registrieren jedes sich regende Erdbeben. Alle Daten fließen in eine spezielle Rechenanlage. Die Flüssigkeitseinspritzungen werden entsprechend dem Verhalten des „Gesteinspatienten“ computergesteuert. Man hofft, einen Regelkreis aufbauen zu können, der automatisch die sich anstauende Bebenenergie immer unterhalb einer Gefahrenschwelle hält.

Unlängst wurde die nützliche Anwendung künstlich erzeugter Erdbeben aus einem Bereich bekannt, der auf den ersten Blick nichts mit Erdbeben zu tun hat. Der Mensch leitet in die Tiefen der Erde nicht nur Abwasser ein, um sich ihrer zu entledigen. Er speichert auch Erdgas oder Wasser in porösen Gesteinen, um diese bei Bedarf als Rohstoffe oder Wärmespender verwenden zu können. Jeder auf schnellem Weg aus dem Schoß der Erde hervorgeholte Stoff bringt die in ihm gespeicherte Erdwärme mit. Bekanntlich nimmt die Gesteinstemperatur um durchschnittlich 3 K auf 100 m Tiefe zu. In einigen Kilometern Tiefe herrschen bereits Temperaturen von mehreren hundert Grad. Auf der Suche nach alternativen Energiequellen wurde inzwischen auch mit der Nutzung von tiefer Erdwärme zur Elektroenergieerzeugung begonnen. Die meisten Geothermalkraftwerke beziehen ihre Wärme aus porösem oder klüftigem heißem



Dieser Sprengtrichter aus den Anfangsjahren der Verwendung künstlicher Erdbeben zur Suche von Lagerstätten ist etwas zu groß geraten.

Tiefengestein. Als Wärmetransporteur benötigt man Wasser. Dieses wird als kaltes Oberflächenwasser durch Injektionsbohrungen in die Tiefe gepreßt und über Steigbohrlöcher als heißes Tiefenwasser abgepumpt.

Beim Einpressen zerreißen infolge des hohen Porendrucks Gesteinsklüfte in der näheren und weiteren Umgebung und erzeugen mikroseismische Aktivität. Die Kunst besteht darin, diese mehrere Kilometer tief liegenden künstlichen Herde von der Erdoberfläche aus zu orten und sie gezielt durch neue Bohrungen zu erschließen. Die Bruchzonen sind gleichzeitig wegen ihrer bevorzugten Wasserdurchlässigkeit günstig für den Wärmeaustausch und im allgemeinen nur durch kostspielige Suchbohrungen zu finden. Es scheint, als könnte durch „seismisches Abtasten nach porösen Zonen“ nicht bloß die Wirtschaftlichkeit bereits arbeitender Geothermalkraftwerke beträchtlich gesteigert werden. Auch das komplizierte Problem der optimalen Standortbestimmung dieser dringend benötigten Energiequellen kommt einer Lösung näher.

Selbst bei der weiter fortschreitenden Perfektionierung der Verfahren

der Entspannungsspritzen wird solchen Versuchen künstlichen Erdbebenabbaus immer ein wesentlicher Mangel anhaften. Die tiefsten Bohrlöcher erreichen nur die oberflächennahen Bebenherde. Die Bohrlochtechniker sind sich heute noch nicht im klaren, ob es jemals möglich sein wird, viel tiefer als 10 km vorzudringen. Zahlreiche Bebenherde liegen aber in etwa 30 km Tiefe, manche mehrere hundert Kilometer unter der Erdoberfläche. Zumindest könnte der Arm des Menschen am Grund der Bohrlöcher verlängert werden. Mit Flüssigkeitseinpressungen kommt man da nicht weit. Statt Schmierens wäre vielleicht Schütteln günstiger. Explosionen sollen gezielt Erdbebenenergie aus dem Gestein herauslösen. Unterirdische Großexplosionen in der Nähe seismischer Gefahrenherde sind im Gespräch.

Eine einfache Berechnung zeigt die ganze Problematik der Effektivität dieses Verfahrens – von der Funktionstüchtigkeit einmal abgesehen. Um den Vorbereitungsraum eines Starkbebens zu überdecken, müßte man Hunderte oder Tausende von Quadratkilometern „abklopfen“ und beträchtliche Tiefen erfassen. Ein Beben der Magnitude 8 hat einen kritischen Durchmesser (Vorbereitungsraum) von über 100 km, ein Beben von $M = 6,6$ immerhin einen Einzugsbereich von fast 30 km Durchmesser.

Oder energetisch betrachtet: Einem Starkbeben ($M = 8$) entsprechen etwa 30 000 Beben der Magnitude 5, womit jedes noch fast die Sprengkraft einer Hiroshimabombe hätte. Man müßte also nicht weniger als 30 000 Beben mit $M = 5$ auslösen, um den Gefahrenherd $M = 8$ zu beseitigen. Gelänge nur die „Abstotterung“ von 20 000 Beben mit $M = 5$, so bliebe eine Restenergie für ein Beben mit $M = 7,5$. Die drohende Katastrophe würde damit nicht abgewendet, sondern lediglich ein wenig gemindert. Denken ließe sich eher eine Explosion als Auslöser, der zu genau vorherbestimmter Zeit ein Beben zünden könnte. Im Risikofall eines Schadenbebens wäre das für die gezielte Katastrophenwarnung schon ein unschätzbare Vorzug.

Wir dürfen natürlich nicht übersehen, daß hier mit kolossalen Energiebeträgen hantiert werden müßte. Der Mensch könnte allzu schnell in die Lage des Zauberlehrlings kommen, der die Geister, die er rief, nicht mehr zu bändigen vermochte.

Jedoch das Streben der Menschen, Naturgefahren zu beseitigen, ist unaufhaltsam. Spätere Generationen werden vielleicht auch Erdbeben verhüten oder abschwächen, wengleich dies noch in sehr ferner Zukunft liegt.

Inhalt

- 5 Der Riese Seismos schüttelt sich
- 6 Der große Unbekannte
- 9 Kein Weltuntergang durch Erdbeben
- 14 Erdbebenursachen – ein Rätsel?

- 21 Beben, die die Welt erschütterten
- 22 Lissabon 1755 – Zweifel an der Güte Gottes
- 25 Messina 1908 – „Keine Worte gibt es . . .“
- 29 Belice 1968 – Das vergessene Tal der Tränen
- 33 Peru 1970 – Solidarität vermag vieles
- 38 Managua 1972 – Geier über der Stadt
- 43 Tangshan 1976 – Norman Bethune lebt
- 45 Bukarest 1977 – „Ihr seid in meiner Nähe“
- 50 Kampanien 1980 – „Es regnet auf den, der schon naß ist“

- 57 Gesichter der Erdbeben
- 58 Wehe, wenn sie losgelassen
- 67 Lange Wellen im Hafen
- 70 Am Orinoco brüllten die Krokodile
- 74 Die Erdbebenskalen

- 83 Zerreißproben in der Erdkruste
- 84 Wie das Mittelmeer verschwindet
- 90 Eine seismologische Weltreise
- 101 Im Vogtland wackelten die Möbel
- 108 Herdgeheimnisse

- 119 Signale aus der Ferne
- 120 Wellensalat im Erdinnern
- 125 Ein Wetterhahn für Erdbeben
- 130 Besuch einer Erdbebenstation

- 141 Erdbebenvorhersage – Traum oder Wirklichkeit?
- 142 Erste Erfolge
- 152 Vom Klosterbruder zum Computer
- 157 Geheimnisvolle Lichter
- 167 Der Tiger von Tientsin ahnte das Unheil

- 179 Erdbebenschutz – Flucht oder Vorsorge?
- 180 Stein und Glas – wie schnell bricht das?
- 185 Ramses II. im Zeugenstand
- 191 Auf der Suche nach dem „Antibebenhaus“
- 201 Häuser, die in Hängematten ruhen
- 214 Wer auf Sand baut . . .
- 220 Lebensadern sind empfindlich
- 227 Was tun, wenn die Erde bebt?

- 237 Beben von Menschenhand
- 238 Geister, die wir riefen . . .
- 252 Dem Übel an die Wurzel

Verlag Neues Leben Berlin
Lizenz Nr. 303(305/137/85)
LSV 1439

Schutzumschlag und Einband: Peter Hesse/Gerhard Christian Schulz

Fotos: ADN-ZB: 31/AP: 198/Caschube: 222/Dr. Fessen-Henjes: 146/Foto Tanjug: 226/Göldner: 186/Junge: 12, 48, 49/Koard: 235/König: 218/Kyodo: 206/PANA: 181, 225/Ritter: 98/99/Schneider: 7, 14/UP: 17; Ägyptisches Museum der Karl-Marx-Universität Leipzig: 185, 189; N. Ambraseys, London: 72, 195, 199; Archiv des Wissenschaftsbereichs der Karl-Marx-Universität Leipzig: 65, 109; H.-G. Bestel, Engelsdorf: 250, 251, 255; Th. Billhardt, Berlin: 13, 28, 42, 53, 115; L. Eißmann, Leipzig: 154; Hochschul-Film- und Bildstelle der Karl-Marx-Universität Leipzig: 134; F. Jacobs, Leipzig: 137; R. Lauterbach, Leipzig: 87; Mansfeld-Kombinat Eisleben-Bildstelle/Cieslig: 246, 247; H. Meyer, Leipzig: 170; Nowosti: 161, 211, 213, 230, 240; H. Rast, Leipzig: 110; Zentralinstitut für Physik der Erde der Akademie der Wissenschaften der DDR/Bankwitz: 167/Hannemann: 131, 163/Kroitzsch: 153

Typografie: Gerhard Christian Schulz

Schrift: 11 p Garamond

Gesamtherstellung: Karl-Marx-Werk Pößneck V 15/30

Bestell-Nr. 643 872 9

01780

Der Riese Seismos schüttelt sich · Beben, die die Welt erschütterten · Gesichter der Erdbeben · Zerreißproben in der Erdkruste · Signale aus der Ferne · Erdbebenvorhersage — Traum oder Wirklichkeit? · Erdbebenschutz — Flucht oder Vorsorge? · Beben von Menschenhand

Verlag Neues Leben Berlin