

# ABHANDLUNGEN

ISSN 0378-0864

ISBN 3-85316-019-0

**2003**

BAND 58

## HISTORISCHE ERDBEBENTHEORIEN VON DER ANTIKE BIS ZUM ENDE DES 19. JAHRHUNDERTS

ERHARD OESER

129 Abbildungen, 43 Porträts



Geologische Bundesanstalt

LEERSEITE  
EMPTY PAGE

LEERSEITE  
EMPTY PAGE



# Historische Erdbeben-theorien von der Antike bis zum Ende des 19. Jahrhunderts

ERHARD OESER<sup>\*)</sup>

129 Abbildungen, 43 Porträts

## Inhalt

Vorwort .....	5
Zusammenfassung .....	6
Abstract .....	6
1. Einleitung .....	7
1.1. Eine grundsätzliche Unterscheidung: Theorien über die Ursachen und Theorien über die Natur oder Wirkungsweise der Erdbeben .....	8
1.2. Ziele, Methoden und Quellen der Erforschung der Geschichte der Erdbeben-theorien .....	9
1.3. Der Beitrag der Wissenschaftstheorie zur historischen Erdbebenforschung .....	11
2. Die klassischen Erklärungsversuche: von der Antike bis zur frühen Neuzeit .....	13
2.1. Die Erdbeben-theorien der Antike: THALES VON MILET, ANAXIMENES, DEMOKRIT, ANAXAGORAS, ARISTOTELES und SENECA .....	13
2.2. Die Autorität des ARISTOTELES im Mittelalter: ALBERTUS MAGNUS, Thomas VON AQUIN, Konrad VON MEGENBURG und PICO DELLA MIRANDOLA .....	16
2.3. Der Einfluss der Copernikanischen Astronomie: Erdbeben-theorien in der frühen Neuzeit: LEONARDO DA VINCI, Giordano BRUNO und KEPLER .....	18
2.4. Zentralfeuer und lokale Brandherde als Ursache der Erdbeben: AGRICOLA, DESCARTES, KIRCHER, LYSTER, LEIBNIZ, BAGLIVI und MORO .....	21
2.5. Erdbeben-theorien im Rahmen der Theorien über die Entwicklung der Erde: BURNET, RAY, WOODWARD und WHISTON .....	24
3. Theorien über die Ursachen der Erdbeben im 18. und 19. Jahrhundert .....	27
3.1. Das große Erdbeben von Lissabon und seine Auswirkungen auf die Theorien über die Ursachen der Erdbeben .....	27
3.1.1. Die Erschütterung der optimistischen Weltansicht der Aufklärungsphilosophie durch das Lissaboner Erdbeben: VOLTAIRE und ROUSSEAU .....	27
3.1.2. KANTS Erklärung des Lissaboner Bebens .....	28
3.1.3. Mechanische Theorien: Richtungsänderung der Schwerkraft als Ursachen der Erdbeben: Tobias MAYER .....	31
3.1.4. Chemische Theorien der Erdbeben: LEMERYS Experiment und die Erklärung des Lissaboner Bebens durch KRÜGER .....	32
3.1.5. Dampfdrucktheorie: Der Papinsche Topf und die Erklärung des Lissaboner Bebens durch JACOBI .....	33
3.2. Hohlkugeltheorien des Erdinnern und ihre Verknüpfung mit atmosphärischen und chemischen Theorien der Erdbeben .....	35
3.2.1. Die Hohlwelt des Astronomen HALLEY .....	35
3.2.2. Die Renaissance der aristotelischen pneumatischen Erdbeben-theorie durch FRANKLIN .....	36
3.2.3. Humphrey DAVY und das Ende der chemischen Theorien über Vulkanismus und Erdbeben .....	36
3.3. Ein gescheiterter Erklärungsversuch: Elektrizität als Ursache der Erdbeben: STUKELEY, BINA, BECCARIA, ST. LAZARE .....	37
3.4. Vulkanistische und Neptunistische Erklärungsversuche der Erdbeben in der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts .....	38
3.4.1. Die Vorherrschaft des Neptunismus: A.G. WERNER .....	39
3.4.2. Die Anfänge des Vulkanismus: John MICHELL .....	40
3.4.3. Theorien zwischen Vulkanismus und Neptunismus: BUFFON und PALLAS .....	41
3.5. Neptunisten und Plutonisten als Vertreter der Einsturzbeben .....	42
3.5.1. Die neptunistischen Einsturz-theorien: MOHR und BISCHOF .....	42
3.5.2. Die Hohl-schichtenhypothese: G.H.O. VOLGER .....	43
3.5.3. Nichtneptunistische Einsturzbeben: BOUSSINGAULT und MARENZI .....	44
3.6. Die Hebungstheorie als einheitliche Grundlage von Vulkanismus und Erdbeben .....	45
3.6.1. Leopold VON BUCHS Theorie der Erhebungskrater .....	45
3.6.2. Die Verallgemeinerung der Hebungstheorie: ELIE DE BEAUMONT und HUMBOLDT .....	46
3.6.3. Kritik und Ablehnung der Theorie der Erhebungskrater: POULETTE-SCROPE und LYELL .....	48

<sup>\*)</sup> Univ.-Prof. Dr. ERHARD OESER, Institut für Wissenschaftstheorie und Wissenschaftsforschung, Universität Wien, Sensengasse 8, A 1090 Wien.

3. 7. LYELLS aktualistische Erdbeben­theorie	54
3.7.1. Das Erdbeben von Kalabrien (1783–1786)	54
3.7.2. Die Dampfkesseltheorie der Erdbeben	59
3.7.3. BUNSENS Erklärung des Geysirphänomens und die Widerlegung der Dampfkesseltheorie	62
3. 8. DARWINS plutonistische Erdbeben­theorie	64
3.8.1. Das Erdbeben in Chile	64
3.8.2. Die Hypothese von den unterirdischen Lavaseen oder konzentrischen Lagern feuerflüssiger Materie	66
3.8.3. Zwei Arten von Erdbeben: Einsturzbeben in Europa – Hebungen in Südamerika	68
3.8.4. Die direkte Ursache der Erdbeben: Spannungsausgleich mit anschließender Dislokation	69
3. 9. HUMBOLDTS allgemeiner Vulkanismus als Grundlage seiner Erdbeben­theorie	70
3.9.1. Die Erdbeben von Cumana und Caracas	71
3.9.2. Über Bau und Wirkungsart der Vulkane	73
3.9.3. HUMBOLDTS „Physik der Erde“ als übergeordneter Rahmen seiner vulkanistischen Erdbeben­theorie	75
3.9.3.1. Kontroversen über den Wärmezustand des Erdinnern	76
3.9.3.2. Die Veränderung der Größe der Erde und ihre Auswirkung auf die äußere Gestalt der Rinde	78
3.9.4. HUMBOLDTS vulkanistische Erdbeben­theorie	79
3.10. Der extreme Vulkanismus: Ebbe- und Fluttheorien des flüssigen Erdkerns als Ursache der Erdbeben: PERREY und FALB	81
3.11. Die Bedeutung der Theorien über die Ursachen der Erdbeben für die Erdbeben­prognose	86
4. Theorien über die Natur und Wirkungsweise der Erdbeben	90
4. 1. Der Paradigmawechsel in der Theorie der Erdbeben	90
4. 2. Die Entwicklung der Wellentheorie und ihre Anwendung auf die Erdbeben	91
4. 2.1. Die Theorie der Schallwellen	91
4. 2.2. Die Theorie der Wasserwellen	97
4. 3. Die Vorläufer MALLETS	102
4. 4. HOPKINS Ansätze zu einer mathematischen Theorie der Wellenbewegungen der Erdbeben	107
4. 5. MALLETS Theorie der Wellenausbreitung der Erdbeben	111
4. 5.1. Die Dynamik der Erdbeben (1846)	111
4. 5.2. Das Experimentum crucis: MALLETS Sprengexperimente zur Bestimmung der Durchgangsgeschwindigkeit der Erdbebenwelle	117
4. 5.3. Das große Neapolitanische Erdbeben	121
4.5.3.1. MALLETS Methode	121
4.5.3.2. Die Bestimmung des Punktes an der Oberfläche vertikal über dem Herd	123
4.5.3.3. Die Bestimmung des Erdbebenherdes (Tiefe, Gestalt, Temperatur)	124
4.5.3.4. Die Konstruktion der isoseismischen Linien des Neapolitanischen Erdbebens	126
4.5.3.5. Die Anwendung der Wellentheorie auf die Form der Isoseismen des Erdbebens	127
4. 5.4. MALLETS Entdeckung der seismischen Bänder	129
4. 6. HUMBOLDTS Theorie der Wellenausbreitung der Erdbeben	131
4. 6.1. MALLETS Kritik an HUMBOLDT	131
4. 6.2. Die Erweiterung der vulkanistischen Erdbeben­theorie zu einer Theorie der Wellenausbreitung der Erdbeben	132
4. 6.3. Die Unabhängigkeit von Vulkanausbrüchen und Erdbeben bei HUMBOLDT	134
4. 7. VOLGERS neptunistische Theorie der Fallwellen (1858)	135
4. 7.1. Das Walliser Erdbeben vom 25. Juli 1855	136
4. 7.2. VOLGERS Kritik an der plutonistischen Hebungstheorie	137
4. 7.3. Die Verbindung der Hohlschichtenhypothese mit der Theorie der „Fallwellen“	139
4. 8. Seismische Geometrie und Mechanik: Karl VON SEEBACH	142
4. 8.1. Karl VON SEEBACHS Kritik an MALLETT	143
4. 8.2. Die auf exakte Zeitbestimmung gegründete Methode	144
4.8.2.1. Die Bestimmung des „Oberflächenmittelpunktes“ (Epizentrum)	144
4.8.2.2. Die Bestimmung der wahren Fortpflanzungsgeschwindigkeit, des Zeitpunktes des ersten Anstoßes und der Tiefe des wahren Erdbebenherdes (Centrum)	147
4. 8.3. Kritik und Modifikation an der seismischen Geometrie VON SEEBACHS durch seine Nachfolger	149
4. 8.4. Abschließende Bewertung der seismischen Geometrie und ihrer Ergebnisse	150
4. 9. Die Theorie der tektonischen Erdbeben	151
4. 9.1. Die geotektonische Auffassung vulkanischer Erscheinungen: Robert MALLETT	151
4. 9.2. Die Kontraktionstheorie: DANA, HEIM und SUESS	152
4. 9.3. Das Prinzip der Isostasie: AYRI, PRATT und DUTTON	155
4. 9.4. Abyssodynamik, ein Vorläufer der Geodynamik: Gjuró PILAR	157
4.10. Der Einfluss der Instrumente: Von der beschreibenden Erdbebenkunde zur Seismologie als exakte Wissenschaft	160
4.10.1. Die Vorgeschichte der Erdbebeninstrumente	161
4.10.2. Die Anfänge der instrumentellen Beobachtung im Rahmen der Wellentheorie der Erdbeben: Seismoskope	164
4.10.3. Die Beobachtung von Nahbeben mit selbstregistrierenden Seismometern	168
4.10.4. Die Registrierung von Fernbeben: Horizontalpendel	172
4.10.5. Der Einfluss der instrumentellen Beobachtung auf die Theorien über Schwingungsart und Weg der Erdbebenwellen	174
5. Biografien	177
6. Historisch vergleichendes Glossar einiger allgemein verwendeter Fachwörter der Seismologie	195
Literatur	201

## Vorwort

Seit mehr als 3.000 Jahren gibt es Berichte über schwere Erdbeben. Aus ihnen geht hervor, dass das eigentliche Erschreckende an diesen Phänomenen nicht nur die großen Schäden und die Zahl der Toten, sondern vor allem ihre Heftigkeit und Unvoraussagbarkeit war. Die Ursachen der Erschütterungen des festen Erdbodens waren für den menschlichen Geist so rätselhaft und unvorstellbar, dass die wissenschaftlichen Erklärungsversuche weit auseinandergingen. Jede neue Erkenntnis aus allen Bereichen der Naturwissenschaften wurde benützt, um Licht in das Dunkel über die Ursachen dieser schrecklichen Ereignisse zu bringen. Ziel dieser Abhandlung über historische Erdbeben-theorien ist nicht primär ihre Beurteilung vom gegenwärtigen Standpunkt der Erdbebenforschung, sondern die unvoreingenommene rationale Rekonstruktion ihrer Entwicklung im größeren Rahmen der Untersuchungen über historische Erdbeben in Europa. Auf diese Weise soll nachgewiesen werden, dass nicht nur die Beobachtung konkreter Erdbebenereignisse den Anstoß zu Theorien über Ursachen und Wirkungen der Erdbeben geliefert hat, sondern auch umgekehrt in die zeitgenössischen Berichte über historische Erdbeben auch die zeitgenössischen Erdbeben-theorien eingehen. Die Untersuchung der historischen Erdbeben-theorien erweist sich somit als ein notwendiger Bestandteil der Quellenkritik.

Anlass zur vorliegenden Darstellung der historischen Erdbeben-theorie war der erste Workshop der im Rahmen der ESC (European Seismological Commission) errichteten Working Group on Historical Earthquake Data, der im Jahre 1987 in Wien stattgefunden hat. Das in diesem Rahmen vorgetragene Referat über die Erdbeben-theorien von ARISTOTELES bis KANT sollte den wissenschaftlichen Hintergrund jener zeitgenössischen Schriftsteller verständlich machen, die über die historischen Erdbeben in diesem Zeitraum berichteten. Fortgesetzt wurde diese Untersuchung in weiteren Tagungen dieser Working Group, die unter der Bezeichnung „Historical Seismology“ 1998 in Macerata (Italien) und im Jahre 2001 wieder in Wien abgehalten wurden. Bei diesen Tagungen habe ich nicht nur über die Theorien über die Ursachen der Erdbeben im 19. Jahrhundert berichtet, sondern auch über jenen Paradigmawechsel, der sich mit dem Übergang von der Ursachenforschung zur Theorie der Wellenausbreitung der Erdbeben vollzogen hat, wodurch erst die Seismologie als exakte Wissenschaft begründet worden ist. Ergänzt wurden diese historischen Untersuchungen durch terminologische Analysen der Entwicklung der Grundbegriffe der Erdbebenforschung, die ich im Rahmen des österreichisch-chinesischen Abkommens über Technologie und Forschung im Jahre 2001 in Peking vorgetragen habe und die hier als englisch-deutsches Glossar im Anhang aufgenommen worden sind. Alle diese Untersuchungen haben ihre Grundlage in der hier vollständig vorliegenden deutschen Originalfassung, die den gesamten Bereich der historischen Erdbeben-theorien von der Antike bis zum Ende des 19. Jahrhunderts umfasst und mehrmals Gegenstand meiner an der Universität Wien abgehaltenen Hauptvorlesung über Wissenschaftstheorie als Rekonstruktion der Wissenschaftsgeschichte war. Teile davon wurden in englischer Sprache in der von R. GUTDEUTSCH, G. GRÜNTAL und R. MUSSON herausgegebenen Monographie „Historical Earthquakes in Central Europe“ 1992 und in den von Viviana CASTELLI herausgegebenen Papers and Memoranda des Workshops der ESC Working Group „Historical Seismology“ veröffentlicht. Außerdem existiert ein umfangreicher Hypertext in englischer Übersetzung des hier vorliegenden Textes.

Mein Dank gilt den Teilnehmern der ESC Working Group, insbesondere Rudolf GUTDEUTSCH, Gottfried GRÜNTAL, Roger MUSSON und Wolfgang LENHARDT, die große Teile dieser Abhandlungen gelesen und dazu wertvolle Ratschläge und Verbesserungen geliefert haben. Christa HAMMERL möchte ich besonders für die freundlichen Einladungen zu den Tagungen der „Historical Seismology“ danken, die für mich immer eine Gelegenheit zur interdisziplinären Diskussion und eine Quelle fruchtbarer Anregungen waren, die sich weit über die Zeit dieser Tagungen hinaus fortgesetzt haben. Mein besonderer Dank gilt auch Juraj MALY, der mir bei der Beschaffung der Literatur behilflich war, und Maria DÜRR für die schwierige und arbeitsintensive Herstellung des Manuskripts.

Wien, im Februar 2002

ERHARD OESER

## Zusammenfassung

In der Antike lieferte ARISTOTELES als erster eine umfassende rationale Theorie der Erdbeben. Im Gegensatz zu mythischen und astrologischen Theorien (Konjunktion von Planeten, Kometen) fasste er Erdbeben als analoge Erscheinungen zu atmosphärischen Ereignissen (Blitz, Donner) auf und lieferte eine Klassifikation der Erdbeben. Die Erdbebenforschung des Altertums und des Mittelalters zeigt nur geringe Weiterentwicklungen und beruft sich vorwiegend auf ARISTOTELES. Erst in der frühen Neuzeit entstehen im Zusammenhang mit der Copernikanischen Astronomie und im Rahmen von Theorien der Erdentwicklung neue und zum Teil höchst phantastische Vorstellungen von den Ursachen der Erdbeben und ihrer Bedeutung für die Gestaltung der Gebirge. In der Zeit der Aufklärung war das Erdbeben von Lissabon (1755), dem die Beben von Callao und Lima 1746 vorausgingen und das große Erdbeben von Kalabrien 1783 folgte, Anlass zu einer Diskussion um die Ursache der Erdbeben, an der sich auch KANT beteiligte. Aus dieser Diskussion resultierte eine Vielfalt von alternativen Theorien über Erdbeben, in der sich vor allem die zeitgenössischen physikalisch-chemischen Theorien und Experimente widerspiegeln.

Gegenüber den mechanischen, chemischen, atmosphärischen und elektrischen Theorien der Ursachen der Erdbeben setzte sich jedoch im 19. Jahrhundert der Gegensatz von Neptunismus und Plutonismus bzw. Vulkanismus durch. Die Geschichte dieser beiden Erklärungsversuche reicht bis in die Antike zurück. Charakteristisch für die vorangegangenen historischen Erdbeben-theorien war es, dass sie sich immer auf lokale Ereignisse in Europa stützten und die auf die örtlichen geologischen Verhältnissen bezogenen theoretischen Annahmen auf unzulässige Weise verallgemeinerten. In diesem Sinne kommen den großen Reisen, wie sie HUMBOLDT und DARWIN in den erdbebenreichsten Ländern von Südamerika durchgeführt haben, eine entscheidende Rolle zu, da sie die meist nur auf Europa beschränkten Untersuchungen von Erdbeben und vulkanischen Erscheinungen ganz wesentlich erweiterten und damit die Grundlage zu universal gültigen Theorien lieferten. Die Erdbeben-theorien des 19. Jahrhunderts zeichnen sich gegenüber den Theorien vergangener Jahrhunderte dadurch aus, dass sie in den Rahmen einer empirisch begründeten „Physik der Erde“ gestellt werden. Es waren Beobachtungen, Messungen und Analogie-Experimente zur Bestimmung der Gestalt, Größe, Dichte und Temperatur des Erdkörpers, die vor allem die Erforschung der Ursachen der Erdbeben leiteten. Seit KANT war man sich darüber im Klaren, dass die Ursachen der Erdbeben unter unseren Füßen, d.h. im Erdinnern liegen. Je nachdem, ob man als Neptunist von der Vorstellung großer unterirdischer, mit Wasser gefüllter Höhlen ausging, oder als Vulkanist oder Plutonist das Vorkommen feuerflüssiger Regionen im Erdinnern behauptete, ergab sich als Konsequenz die Alternative zwischen neptunistischen Einsturztheorien oder vulkanistischen Hebungstheorien der Erdbeben. Die Gründe, durch welche die ursprüngliche Vorherrschaft des Neptunismus gebrochen worden ist, lag vor allem in der immer genauer gewordenen Bestimmung des Dichte- und Wärmezustands der Erde.

Sobald man erkannte, dass es nicht nur eine Art der Verursachung der Erdbeben gibt, sondern dass die Ursachen der Erdbeben vielfältig und die sie begleitenden Nebenumstände sehr komplex sein können, war es nicht mehr nötig, in den unterschiedlichen Theorien über die Ursachen der Erdbeben konkurrierende Alternativen zu sehen. Daher kommt sowohl den neptunistischen Erklärungen der Einsturzbeben als auch den vulkanistischen Hebungstheorien ein begrenzter Erklärungswert zu. Und auch den atmosphärischen, chemischen und elektrischen Theorien ist, wenn man sie als Erklärungen von Nebenursachen und Begleiterscheinungen betrachtet, ein gewisser Wahrheitswert nicht gänzlich abzuspochen.

Während der Zeitraum von der Mitte des 18. Jahrhunderts bis zur Mitte des 19. Jahrhunderts vor allem durch die Frage nach den Ursachen der Erdbeben bestimmt war, ergab sich in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts ein Paradigmawechsel in der Erdbebenforschung. Mit den Pionierarbeiten von MALLETT (1846) und HOPKINS (1847) trat die Frage nach der Natur und Wirkungsweise der Erdbeben in den Vordergrund, die in den älteren Theorien immer mit der Erklärung der Ursachen der Erdbeben durch die Vorstellung verbunden war, dass die Ausbreitung der Erschütterung vom Erdbebenherd aus durch den Transport von leichten oder schweren Massen wie Dampf, Wasser, Lava oder Gesteinsbrocken in Höhlen oder Kanälen zustande kommt. Erst MALLETTs physikalisch-mechanische Theorie der Erdbebenwellen ohne Massentransport, die auf der Analogie von Schall- und Wasserwellen beruht, machte eine saubere Trennung beider Problem- und Erklärungsbereiche möglich, die auch von HUMBOLDT mit allen Konsequenzen akzeptiert worden ist.

Charakteristisch für diese Epoche der Erdbebenforschung, die als der Ursprung der Seismologie als exakte Wissenschaft anzusehen ist, war die enge Verbindung und Wechselwirkung mit der Entwicklung der Erdbebeninstrumente. Es wird gezeigt, dass es nicht nur einen Einfluss der Instrumente und der mit ihnen gewonnenen Daten auf die Theorien gibt, sondern auch umgekehrt einen Einfluss der Theorien auf die Konstruktion der Erdbebeninstrumente. Diese Kreisprozesse zwischen den Theorien der Dynamik der Erdbeben und der Entwicklung der Beobachtungsapparate stellt eine weitere Stufe in der Wechselwirkung von Theorie und Erfahrung dar.

Wenngleich die Anfänge der Theorie der Wellenbewegung der Erdbeben zunächst sowohl bei HOPKINS als auch bei MALLETT auf rein theoretischen Spekulationen und Analogien beruhten, die bestenfalls durch Experimente, die die Erdbebenerscheinungen künstlich hervorriefen, empirisch unterstützt wurden, erfolgte doch die Weiterentwicklung und Bestätigung dieser Theorie auf Grund konkreter historischer Erdbeben. So lieferte das Neapolitanische Erdbeben vom Jahre 1852 für MALLETT die empirische Überprüfung seiner „Prinzipien der beobachtenden Seismologie“, das Walliser Erdbeben von 1855 für VOLGER die empirische Grundlage zur Ausarbeitung seiner „Fallwellentheorie“ und das Mitteldeutsche Beben von 1873 für KARL VON SEEBACH den Anlass zur Darstellung seiner Seismischen Geometrie und Mechanik.

Eine weitere Konsequenz der Wellentheorie der Erdbeben, mit der wieder eine Verbindung zur Ursachenforschung hergestellt worden ist, war die Theorie der tektonischen Erdbeben, die auf dem überraschenden Ergebnis der Analyse der Wellenbewegungen der großen Erdbeben beruhte, dass der Herd dieser Beben weder punktförmig noch eine Höhle sein konnte, sondern sich als eine oft über große Entfernungen ausgedehnte „Spalte“ herausstellte, die durch die Spannungsverhältnisse der Erdkruste hervorgerufen wurde. Damit ergaben sich neue Erklärungsschemata wie Kontraktionstheorie und Isostasie, die bereits Ansätze zu modernen geodynamischen Theorien wie der Plattentektonik aufweisen.

Ergänzt wird diese Abhandlung

- 1) durch Kurzbiographien der bedeutendsten Erdbeben-theoretiker von der Antike bis zum Ende des 19. Jahrhunderts, die zum Teil mit historischen Porträts ausgestattet sind, und
- 2) durch ein auf den heutigen international gebräuchlichen terminologischen Grundsatzregeln beruhendes historisch-vergleichendes Glossar der in den historischen Quellen benutzten wichtigsten seismologischen Grundbegriffe.

## Abstract

ARISTOTLE was the first to deliver a rational theory of earthquakes. In contradistinction to mythical and astrological theories (conjunction of planets, comets) he considered earthquakes in analogy to atmospheric events (thunder, lightning) and drew up a classification system of earthquakes. The occidental research on earthquakes underwent only minor developments during classical times and the middle ages. Only in modern times new and in part very weird ideas on the causes of earthquakes and their impact on the development of mountains emerged in connection with Copernican astronomy and in the framework of theories of the development of the earth. In the age of enlightenment discussion about the causes of earthquakes was triggered by the Lisboa earthquake (1755), the earthquake of Callao and Lima (1746) and Calabria (1783). This discussion, in which among others the German philosopher KANT participated, resulted in a variety of alternative theories of earthquakes, reflecting mainly contemporary theories and experiments in physics and chemistry.

In contrast to the mechanical, chemical, atmospherical and electrical theories about the causes of earthquakes, the contradiction between neptunism and plutonism or volcanism became apparent in the 19<sup>th</sup> century. The history of these explanations goes back until antiquity. It was typical of previous historical earthquake theories that they relied on local events in Europe and that they illegitimately generalized the assumptions based on local geological conditions. Thus the journeys of HUMBOLDT and DARWIN through the South American countries with most earthquakes were very important, because they extended previous investigations of earthquakes and volcanic phenomena and thus they provided the basis for universal theories. The

earthquake theories of the 19<sup>th</sup> century differ from the theories of past centuries in the fact that they have been created in the framework of an empirical „physics of the earth“. Primarily, observations, measurements and analogy experiments for determining the shape, size, density and temperature of the earth dominated the study of the causes of earthquakes. Since KANT it had been clear that the causes of earthquakes are below our feet, i.e. in the interior of the earth. Depending on whether a neptunist claimed the existence of underground caves filled with water or a volcanist or plutonist claimed the existence of fiery regions in the earth's interior, the consequence was either a neptunist subsidence theory or volcanistic elevation theories about earthquakes. The reason why the original predominance of neptunism was broken, was the increasing precision in determining the density and the temperature of the earth.

As soon as it became clear that there is not only one cause of an earthquake, but that these causes are manifold and that the concomitant circumstances may be very complex, it was not necessary any more to consider the various theories about the causes of earthquakes to be competing. Thus both neptunistic explanations of subsidence earthquakes and those of volcanistic elevation theories have limited explanatory value. Atmospheric, chemical and electrical theories have some truth, if taken as explanations of secondary causes and side effects.

While the period between the middle of the 18<sup>th</sup> century and the middle of the 19<sup>th</sup> century was governed by the question of the causes of earthquakes, the second half of the 19<sup>th</sup> century produced a paradigm shift in earthquake research. In pioneering works by MALLET (1846) and HOPKINS (1847) the problem of the nature and mechanisms of earthquakes became more and more important which in previous theories has always been linked to the explanation of the cause of earthquakes with the assumption that the propagation of the shock of an earthquake centre would occur in caves or channels by the transport of light or heavy masses such as vapour, water, lava or rock. It was MALLETS physico-mechanical theory of earthquake waves without mass transport, based on the analogy of sound waves and water waves, that first made a clear distinction between the two problem and explanation areas, a separation that also HUMBOLDT accepted with all its consequences.

Typical of this period of earthquake research that can be considered to be the origin of seismology as an exact science, is the strong link to and interaction with the development of instruments for measuring earthquakes. It will be shown that there is not only an influence of the instruments and the data gathered with them on the theories, but also vice versa, an influence of the theories on the construction of earthquake instruments. These circular processes between theories of the dynamics of earthquakes and the development of observation apparatus is a further step in the interaction between theory and experience.

Although the original considerations in the theory of the wave movement of earthquakes in HOPKINS and MALLET were first based on theoretical speculations and analogies, that were supported empirically only by a few artificial experiments, the further development and empirical proof of the theories took place on the basis of concrete historical earthquakes. The Neapolitan earthquake of 1852 provided MALLET with the empirical check of his principles of observing seismology, the Wallis earthquake provided VOLGER in 1855 the empirical basis for his "fall wave theory", and the Central German earthquake of 1873 provided Karl VON SEEBACH the opportunity to present his seismic geometry and mechanics.

A further consequence of the wave theory of earthquakes, providing a new link to the search for causes, is the theory of tectonic earthquakes based on the surprising result of the analysis of wave movements in big earthquakes that the centre of these earthquakes is neither a point or a cave but that it is rather a long fissure caused by tensions in the crust. This provided new schemata of explanation such as the contraction theory and isostasy that already have fundamental aspects of modern geodynamic theories such as plate tectonics.

This treatise is completed by

- 1) short biographies of the most important theoretical researchers of earthquakes, from classical antiquity to the end of the 19<sup>th</sup> century, that partly include historical portraits, and
- 2) a historical-comparative glossary of the most important basic seismic concepts, based on the internationally used terminological rules.

## 1. Einleitung

„The best prophet of the future is the past“  
Lord BYRON, 1821

Die theoretische Erklärung der Erdbeben hat einen deutlichen pragmatischen Hintergrund. Sie dient nämlich, wie in allen Bereichen der Naturwissenschaften, der Prognostik. Denn die logische Struktur von Erklärung und Prognose hat die gleiche Form eines deduktiven Schlusses. So dient etwa eine astronomische Theorie des Sonnensystems sowohl der Erklärung von vergangenen als auch zukünftigen Ereignissen am Himmel, wie Planetenstände, Sonnen- oder Mondfinsternisse. Das Gleiche gilt für die Erdbeben-theorien.

Der Unterschied ist jedoch folgender:

- 1) Erdbeben sind keine Repetitionsphänomene wie die meisten astronomischen Ereignisse, sondern einmalige historische Ereignisse.
- 2) Die Ursachen der Erdbeben sind vielfältig und komplex und bestehen aus dem Zusammenwirken mehrerer Komponenten, während z.B. in der Astronomie die Annahme der Gravitation ausreicht.

Diese Schwierigkeiten erkenntnistheoretischer Art bilden den Grund für die historische Tatsache, dass es seit dem Beginn einer wissenschaftlichen Erdbebenforschung bei den Griechen bis zum 19. Jahrhundert gleichzeitig konkurrierende Theorien gegeben hat. So kann man den im 19. Jahrhundert am stärksten betonten Gegensatz von „Neptunisten“ und „Vulkanisten“ bzw. „Plutonisten“ bereits in Ansätzen bei den Vorsokratikern vorfinden, obwohl sich später durch die Autorität des ARISTOTELES die pneumatische Theorie durchgesetzt hat. Dieser Gegensatz von Neptunisten und Vulkanisten kehrt in der frühen Neuzeit

wieder. Hinzu kommen noch animistische Theorien, die ebenfalls ihren Ursprung in der Antike hatten. Der Vergleich zwischen Erdkörper und Lebewesen wurde jedoch nicht nur als heuristische Analogie verstanden, sondern sogar von dem großen Astronomen KEPLER als Realität angenommen. Erst die genauere Kenntnis chemischer Reaktionen konnten diese animistischen Spekulationen beseitigen. Über den Aufbau des Erdinneren war man sich jedoch noch immer im Unklaren. So konnten ganz unterschiedliche Entwicklungstheorien der Erde rein spekulativ aufgestellt werden.

Bei all den historisch nachweisbaren Variationen der Erdbeben-theorien lässt sich jedoch auch eine einheitliche Grundstruktur feststellen: Immer geht es

- 1) um die Feststellung der realen Ursache der Erdbeben wie z.B. Wasser, Feuer, Luft oder Äther
- 2) um die Frage nach den Ablaufmechanismen der Erdbeben wie etwa das Heben oder Sprengen der Erdoberfläche durch den Druck der erhitzten Luft oder das Einbrechen der durch Wasser ausgehöhlten Erdkruste usw. und schließlich
- 3) um eine Klassifikation der Erdbeben nach ihrem unterschiedlichen Ablauf und nach ihrer Wirkung.

Der immer wiederkehrende Anlass für die mehr als zweitausend Jahre andauernde Theorienbildung waren aber die historisch feststellbaren Erdbeben selbst. So ist es nicht verwunderlich, dass die wissenschaftliche Erdbebenforschung gerade in Griechenland ihren Ursprung hat. Denn das alte Griechenland, sowohl das Mutterland als

auch die Inseln und Kleinasien, wurde mehrfach von katastrophalen Erdbeben betroffen. So fiel auch die berühmteste Erdbebenkatastrophe des griechischen Altertums, das Erdbeben vom Jahre 373 vor Christus, bei den in einer einzigen Winternacht die Stadt Helike vom Meer verschlungen wurde und die Stadt Bura in der aufklaffenden und sich wieder schließenden Erde verschwand, in die Lebenszeit des ARISTOTELES.

Der Untergang von Pompei und Herculaneum, bei dem PLINIUS getötet wurde, war der Anlass für SENECAS umfassende Beschäftigung mit Erdbeben-theorien. MEGENBERG, der Verfasser der ersten Naturgeschichte in deutscher Sprache, war von dem Erdbeben des Jahres 1348 beeindruckt, LEONARDO DA VINCI von dem Seebeben im Jahre 1489 und die italienischen Autoren des 18. Jahrhunderts erlebten das katastrophale Erdbebenjahr 1703 und das rätselhafte Auftauchen der Insel Santorin im Jahre 1707. Das große Beben von Lissabon regte nicht nur KANT und MICHELL zur Abfassung ihrer Abhandlungen über die Ursachen und Wirkungsweise der Erdbeben an, sondern führten zu einer großen Vielfalt von Alternativtheorien, in der sich die zeitgenössischen physikalisch-chemischen Theorien und Experimente widerspiegelten. LYELL berief sich vor allem auf die sehr gut dokumentierte Erdbeben-serie in Kalabrien in den Jahren 1783–1786, während DARWIN und HUMBOLDT unter dem Eindruck der großen südamerikanischen Beben standen. In der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts spielten das große Neapolitanische Erdbeben (1857) für MALLET, das Walliser Erdbeben (1855) für VOLGER und das so genannte Mitteldeutsche Erdbeben (1872) für Karl VON SEEBACH die entscheidende Rolle für die daran anknüpfenden theoretischen Überlegungen.

Während sich ARISTOTELES noch auf Erklärungsversuche beschränkte, welche die unzugänglichen und damit unsichtbaren Vorgänge im Erdinneren in Analogie zu den sichtbaren Vorgängen in der Erdatmosphäre wie z.B. Wind, Blitz, Donner und Regen setzten, spielten dagegen in der Neuzeit bereits universale Kräfte, wie der kosmische Magnetismus KEPLERS oder die allgemeine Gravitation NEWTONS eine wichtige Rolle. Diese Erklärungsversuche bezogen sich nicht mehr wie in früheren Zeiten auf einen in mythischer oder astrologischer Weise behaupteten Einfluss der Himmelskörper auf die Erde, sondern vielmehr auf die mechanischen Kräfte, welche die Entwicklung, die Gestalt und den inneren Aufbau der Erde selbst bestimmen. Von besonderer Bedeutung war auch die immer genauere Kenntnis chemischer Reaktionen, die die alten Vorstellungen von einem ständig brennenden und brennbares Material verbrauchenden Feuerherd im Erdinneren ablöste. Weniger glücklich aber war die Übertragung der neuzeitlichen Elektrizitätslehre auf die Erdbebenforschung. Sie stellt ein drastisches Beispiel für einen gescheiterten Erklärungsversuch der Ursache der Erdbeben dar.

Im 19. Jahrhundert wurde nicht nur jene bekannte Alternative von Neptunismus und Vulkanismus ausgearbeitet, die schließlich zu der noch heute akzeptierten Einteilung in Einsturzbeben und vulkanische Erdbeben führte, sondern auch die viel grundsätzlichere Unterscheidung zwischen den Ursachen und der Natur oder Wirkungsweise der Erdbeben getroffen.

### **1.1. Eine grundsätzliche Unterscheidung: Theorien über die Ursachen und Theorien über die Natur oder Wirkungsweise der Erdbeben**

Charakteristisch für die Erdbebenforschung des 19. Jahrhunderts und damit für die moderne Seismologie über-

haupt ist die Differenzierung zwischen der wirkenden Kraft als der eigentlichen oder ursprünglichen Ursache, und der Art der Fortpflanzung, Verstärkung oder Verminderung der Erschütterungswelle. Während man sich früher, von der Antike bis zu HUMBOLDT, hauptsächlich mit der ersten Klasse von Problemen beschäftigte und den ursprünglichen Grund für die an der Oberfläche der Erde beobachtbaren Erschütterungen in den unzugänglichen Kräften des Erdinneren zu finden versuchte, erkannte man Mitte des 19. Jahrhunderts, dass diese Spekulationen zu keinem allgemein befriedigenden Resultat führen konnten und darüber hinaus auch eigentlich keine praktische Bedeutung haben. Denn viel wichtiger als jene Spekulationen über die eigentlichen Ursachen der Erdbeben sind die unterschiedlichen Arten und Ausbreitungsgeschwindigkeiten der Erschütterungen, die auch unterschiedliche Zerstörungen und Schäden hervorrufen.

Nach den unterschiedlichen Erscheinungsformen hatte man zwar nach dem Vorbild von ARISTOTELES die Erdbeben seit jeher eingeteilt, aber es gab dafür keine theoretische Erklärung. Im Vordergrund stand die Frage, was die Ursache der Erdbeben sein könnte, nicht wie sie wirkt. In diesem Sinne waren die Erdbeben-theorien bis ins 19. Jahrhundert hinein noch weit von einer physikalischen Erklärung im Sinne der Galileischen Methodik entfernt. Erst nachdem der Erdkörper physikalisch als ein weitgehend homogen isotroper Festkörper mit einer bestimmten Dichte erkannt worden war, in dem sich elastische Wellen wie die Schallwellen in Luft oder Wasser fortpflanzen, konnte die beschreibende und klassifizierende Erdbebenkunde zur exakten Naturwissenschaft der Seismologie im Sinn quantitativer-metrischer Begriffsbildung werden.

Entsprechend dieser grundsätzlichen Unterscheidung über die Ursachen und über die Wirkungsweise der Erdbeben soll auch das umfangreiche historische Material an theoretischen Erklärungsversuchen, das sich in der zweiten Hälfte des 18. und während des 19. Jahrhunderts angesammelt hat, in zwei getrennten Abschnitten behandelt werden. Der erste Abschnitt beschäftigt sich hauptsächlich mit den Theorien über die Ursachen der Erdbeben, wie sie zunächst anlässlich des großen Lissaboner Bebens aufgestellt worden sind, und führt über die Vorläufer des Neptunismus-Plutonismus-Streites in der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts bis zu den Auffassungen HUMBOLDTS über Vulkanismus und Erdbeben, wie er sie im ersten Band seines Kosmos noch vor dem Erscheinen von MALLETs Theorie der Wellenbewegung der Erdbeben dargestellt hat. In diesem Zeitraum bestimmten vor allem allgemeine geologische oder „geognostische“ Überlegungen über die Entstehung der Gesteine und über die unterschiedlichen Schichten der Erde und die Fragen über ihre Struktur und Zusammensetzung die Theorien über die Ursache der Erdbeben. Je nachdem, ob man als Neptunist die aushöhlende und unterspülende Wirkung des Wassers oder als Vulkanist die Tätigkeit der feuerflüssigen Massen im Erdinneren betonte, bevorzugte man als Ursachen der Erdbeben entweder das Einstürzen von ausgewaschenen Hohlräumen oder das plötzliche Aufbrechen oder langsame Heben der Erdkruste durch das feuerflüssige Magma. Das Interesse an diesen Fragen der ursprünglichen Ursachen der Erdbeben ging erst dann zurück, als man erkannte, dass für das Ausmaß der Wirkungen der Erdbeben nicht so sehr die unterschiedlichen, oft weit entfernten und nicht zugänglichen Ursachen verantwortlich sind, sondern die Art und Weise der Ausbreitung der Erschütterungen, welche ursprüngliche Ursache sie auch haben mögen. Das führte zu jenem Paradigmawechsel in der Erdbebenkunde, der die zweite Hälfte des 19. Jahrhunderts kennzeichnete und vor allem mit dem Namen Robert MALLET verbunden ist. MALLET war es auch, der mit der Planung und Herstellung von selbstregistrierenden Erdbebenmessern die neue



Epoche der instrumentellen Erdbebenbeobachtung einleitete, mit der die hier vorgelegte wissenschaftstheoretische Rekonstruktion der historischen Erdbeben-theorien enden soll.

## 1.2. Ziele, Methoden und Quellen der Erforschung der Geschichte der Erdbeben-theorien

Entsprechend der Klassifikation der Literaturquellen der historischen Erdbebenforschung, wie sie von GUTDEUTSCH et al. in 5 Kategorien eingeteilt worden sind<sup>1)</sup>, fällt die Original-literatur, in der die historischen Theorien über die Erdbeben aufgestellt worden sind, unter den Typ „Naturwissenschaftliche Erdbebenliteratur“. Doch sind auch mit diesen theoretischen Erklärungsversuchen Quellen des Typus „Zeitgenössische Augenzeugenberichte“ verbunden. Denn manche Erdbeben-theoretiker des späten 18. Jahrhunderts und des 19. Jahrhunderts waren selbst auch Augenzeugen von Erdbeben. Während z.B. KANT das große Erdbeben von Lissabon nur sekundär aus Zeitungsberichten kannte, hatten mehrere zeitgenössische Autoren, wie JACOBI und Tobias MAYER, zumindest kleinere Erdbeben in Deutschland erlebt, die alle als Folgeerscheinungen des großen Lissaboner Bebens interpretiert worden sind.

Noch günstiger ist die Lage bei jenen Wissenschaftlern, die wie A. v. HUMBOLDT und DARWIN die erdbebenreichen Länder von Südamerika bereisten und dadurch nicht nur besseren Zugang zu den primären Quellen der unmittelbar vorhergehenden Erdbeben hatten, sondern auch selbst Augenzeugen schwerer Erdbeben waren, die sie zumindest in der Nähe des Zentrums des Erschütterungsgebietes miterlebten oder unmittelbar danach Gelegenheit hatten, die angerichtete Zerstörung zu untersuchen und Augenzeugen zu befragen.

Eine besondere Charakteristik der Erdbeben-theorien des 19. Jahrhunderts, die sie von allen vorhergehenden Versuchen unterscheidet, ist die deutlich belegbare Tatsache, dass ihre Autoren selbst bereits Erdbebenchroniken in Form von historischen Kompilationen aufstellten und auch in expliziter Weise Quellenkritik übten<sup>2)</sup>. Mit anderen Worten: Die Erdbeben-theoretiker des 19. Jahrhunderts betrieben bereits historische Erdbebenforschung in unserem heutigen Sinn mit dem Ziel, Ursachen und Wirkungsweise von Erdbeben zu erklären, um daraus auch eventuell Prognosen und Vorsichtsmaßnahmen abzuleiten.

Eine weitere wichtige Quelle für die historischen Erdbeben-theorien sind zeitgenössische Abbildungen. Selbstverständlich konnte es sich zu dieser Zeit nicht um wissenschaftlich-technische Darstellungen handeln, wie sie heutzutage von den Geophysikern des 20. Jahrhunderts akzeptiert werden. Denn heutzutage gilt allein die Photographie als jene Darstellungsart, die möglichst präzise und vollständig das wirkliche Geschehen oder den Zustand der Zerstörung bei einem Erdbeben wiedergeben kann. Von den künstlerischen Darstellungen erwartet man für gewöhnlich keine Information. Doch zu jener Zeit, als man noch nicht das moderne technische Hilfsmittel der Fotografie hatte, war man in allen Bereichen der Naturwissenschaften auf die zeichnerische Darstellung angewiesen. So hatte bereits das große Erdbeben von Lissabon manche Künstler zu Darstellungen von Gebäudezerstörungen

von großer Genauigkeit angeregt. Der Höhepunkt in der Entwicklung einer exakten Beschreibung und Abbildung der Natur wurde jedoch erst zur Zeit von HUMBOLDT erreicht. In dieser Zeit waren Gemälde und Zeichnungen nicht nur eine künstlerische Ausdrucksform, sondern ein wichtiges Werkzeug in der Hand von Ingenieuren, Architekten und Naturwissenschaftlern<sup>3)</sup>. Sie spielen auch bei theoretischen Erörterungen eine wichtige Rolle. Denn es handelt sich dabei nicht nur um möglichst wirklichkeitsgetreue Abbildungen des Zustandes der Zerstörungen nach einem Erdbeben, sondern viel häufiger um anschauliche Modelle der nicht sichtbaren unterirdischen Vorgänge und Ursachen der Erdbeben und vor allem auch der Verhältnisse des Erdinnern, wie etwa Querschnitte von Vulkanen etc.

Daher kann man in der Rekonstruktion der historischen Erdbeben-theorien, bei der man nicht nur die Texte, sondern auch die Abbildungen und graphischen Modelle berücksichtigen muss, grundsätzlich zwei Typen von Abbildungen unterscheiden:

Typ A: Zeitgenössische Abbildungen, die mit großer Genauigkeit die Zustände nach dem Ereignis des Erdbebens darstellten und im 18. Jahrhundert bereits auf quantitativen Messungen der Bodenveränderungen und Gebäudezerstörungen beruhten. Beispiele für solche Abbildungen, die als historische Dokumente den gleichen Wert wie geschriebene Texte besitzen, sind die von LYELL wieder abgedruckten Abbildungen aus den Berichten der Neapolitanischen Akademie über das Erdbeben von Kalabrien vom Jahre 1783.

Typ B: Ideelle Abbildungen oder „mentale Bilder“, welche die theoretischen Vorstellungen veranschaulichen sollen. Sie sind meist in Form abstrakter Modelle und in Anlehnung an die in der euklidischen Geometrie verwendeten Methode des Beweises durch Konstruktion ausgeführt. Dazu gehören vor allem die in der Neuzeit seit DESCARTES gebräuchlichen Darstellungen des Schalenmodells des Erdinnern, das sich von den phantastisch-realistischen Darstellungen, wie sie noch Athanasius KIRCHER geliefert hat, sehr wesentlich unterscheidet. Je stärker die Theorien über die Ursachen der Erdbeben von den Vorstellungen über den inneren Wärme- und Dichtezustand des Erdinnern abhängig werden, umso mehr häufen sich die meist nur als Sektoren dargestellten Modelle des Erdinnern.

Von geringerem wissenschaftlichem Wert sind jedoch jene künstlerisch oft sehr eindrucksvollen Darstellungen der Geschehnisse während des Erdbebens selbst, die oft lange Zeit nach diesen Ereignissen entstanden sind und in den populären Lehrbüchern über Vulkanismus und Erdbeben eine große Rolle spielen. Charakteristisch für diese Darstellungen ist ihre Zwischenstellung zwischen Wissenschaft und Literatur. Häufig ist es sogar derselbe Illustrator, wie z.B. der für beide Bereiche eingesetzte Illustrator E. RIOU, der sowohl Jules VERNES „Voyages au centre de la terre“ (1864) als auch ZURCHERS und MARGOLLES Buch: „Volcans et tremblements de terre“ (1872) illustrierte (vgl. Abb. 1).

Wie umfangreich die Erdbebenliteratur im 19. Jahrhundert angewachsen ist, lässt sich durch einen Vergleich bibliographischer Kataloge demonstrieren. Während Thomas YOUNG (1773–1829) in seinen 1802 erschienen „Lec-

<sup>1)</sup> EISINGER, U., GUTDEUTSCH, R., HAMMERL, Ch.: Historical Earthquake Research – An Example of Interdisciplinary Cooperation between Geophysicists and Historians. – In: GUTDEUTSCH, R., GRÜNTAL, G., MUSSON, R.: Historical Earthquakes in Central Europe. Vol. I. – Abh. Geol. B.-A., 48, S. 42, Wien 1992.

<sup>2)</sup> LYELL, Ch.: Principles of Geology. The third Edition in four Volumes. – Vol. II, S. 272, London 1843.

<sup>3)</sup> EISINGER, U., GUTDEUTSCH, R., HAMMERL, Ch.: Historical Earthquake Research – An Example of Interdisciplinary Cooperation between Geophysicists and Historians. – In: GUTDEUTSCH, R., GRÜNTAL, G., MUSSON, R.: Historical Earthquakes in Central Europe. Vol. I. – Abh. Geol. B.-A., 48, S. 43, Wien 1992.

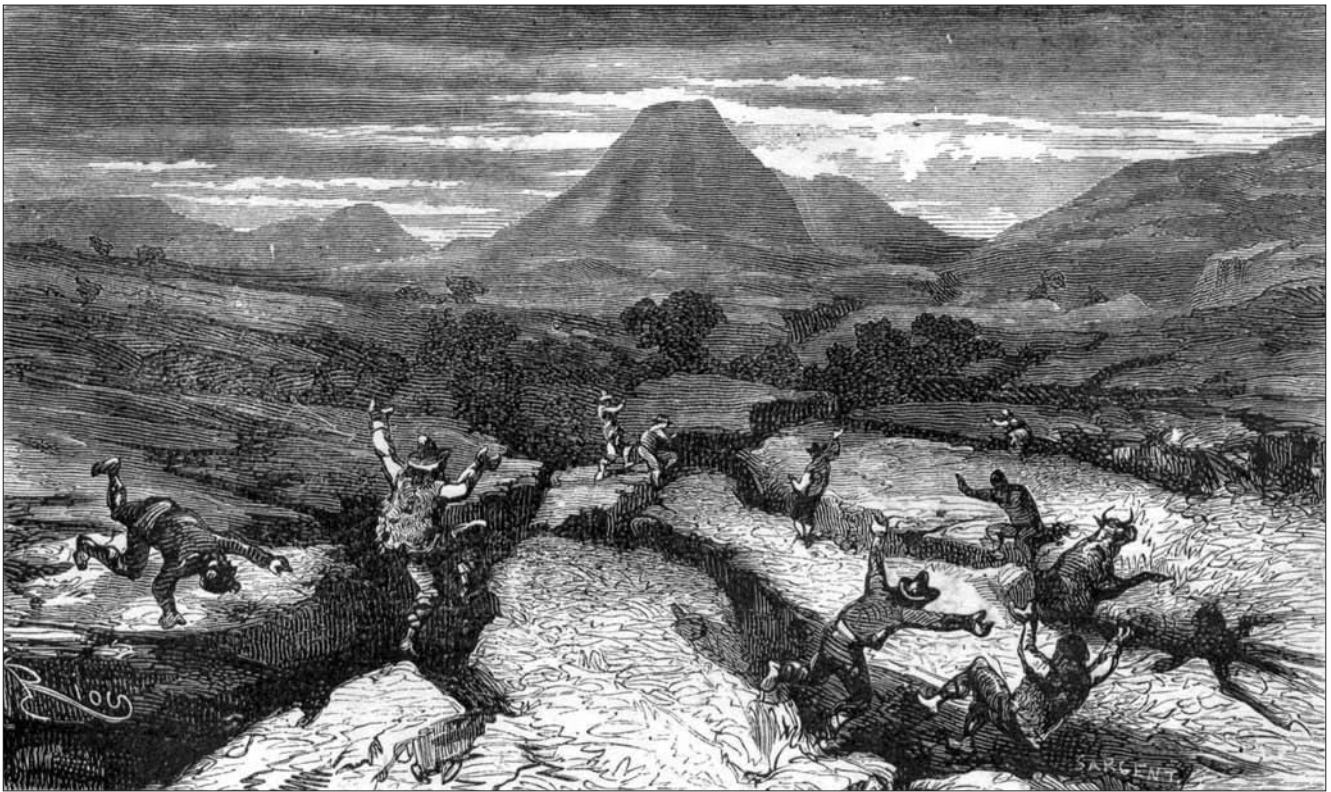


Abb. 1. Spaltenbildung beim Erdbeben von Calabrien im Jahre 1785, dargestellt von E. RIUO in ZURCHER et MARGOLLE (1872).

tures on Natural Philosophy“ 120 Titel über Erdbeben anführt, steigert sich diese Zahl in MALLETS viertem Report (1858) auf 279. Die „Bibliographie Séismique“, die ALEXIS PERREY in den „Memoires de l’Academie Imp. de Dijon“ in den Jahren 1856–1865 erscheinen ließ, enthielt bereits 1344 Titel, die sich ausdrücklich mit Erdbeben beschäftigen. Diese Zahlen veranlassten MILNE (1886) zu der Aussage<sup>4)</sup>:

*„To attempt to give a complete catalogue of even the books which have been written would be enter on a work of compilation which would occupy many years, and could never be satisfactorily finished“.*

Trotz dieser resignierten Aussage hatte jedoch PERREY in Fernand DE MONTESSUS DE BALLORE einen Nachfolger gefunden, der in seiner in den Jahren 1915–1917 in Santiago de Chile erschienenen „Bibliografía general de temblores y terremotos“ 9140 Bücher und Abhandlungen von 1500 Autoren auflistet. Diese große Anzahl von Literaturangaben macht deutlich, dass jede Darstellung der historischen Erdbebentheorien eines rigorosen sachlich und inhaltlich begründeten Auswahlkriteriums bedarf.

In den folgenden Abschnitten wird daher nicht versucht eine einfache Auflistung und Beschreibung der historischen Erdbebentheorien in zeitlicher Reihenfolge zu liefern. Das Ziel ist vielmehr die wissenschaftstheoretische Rekonstruktion der Entwicklungszusammenhänge dieser Theorien, die nicht unabhängig voneinander entstanden sind. Es soll gezeigt werden, wie sich die Theorien in Konkurrenz zueinander auf verschiedenen Stufen entwickelt haben und sich schließlich jene Theorien durchgesetzt haben, die am meisten durch andere zeitgenössische, insbesondere physikalisch-chemische Theorien gestützt worden sind.

<sup>4)</sup> MILNE, J.: Earthquakes and Other Earth Movements. – S. 5., London 1886.

Die Methode, die dabei angewendet werden soll, ist folgende: Zuerst wird das historische Material möglichst anhand der Originalschriften analysiert und dokumentiert. Dann werden die entwicklungsgeschichtlichen Zusammenhänge rekonstruiert. Das dabei zugrundeliegende Prinzip ist das der Selbstinterpretation, das sozusagen in zeitlich umgekehrter Reihenfolge funktioniert:

Denn fast jede umfassendere Darstellung einer Erdbebentheorie wird von ihrem Urheber mit expliziter Zitierung von Vorläufern und Gegnern eingeleitet oder zumindest nachträglich und nebenbei ausgestattet.

So beruft sich ARISTOTELES auf die ionischen Naturphilosophen und alle mittelalterlichen und ein Großteil der neuzeitlichen Autoren wiederum auf ARISTOTELES. Im 19. Jahrhundert beruft sich HUMBOLDT auf KANT, LYELL auf die Vulkanisten HUTTON, PLAYFAIR und MICHELL, DARWIN auf LYELL und schließlich MALLET auf die gesamte Tradition der Erdbebentheorien von ARISTOTELES bis HUMBOLDT.

Neben den Originalquellen der Erdbebentheorien gibt es noch als weitere wichtige Quelle jene historischen Reflexionen, die in immer größerem Ausmaß als eigene Kapitel in den während der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts und später erschienenen kleineren und größeren Monographien über Erdbeben oder in geologischen und geophysikalischen Lehrbüchern auftauchen. Die wichtigsten Arbeiten mit solchen historischen Reflexionen, die über die Originalquellen hinaus in der vorliegenden Abhandlung als zusätzliche Hilfsmittel berücksichtigt wurden, um möglichst keine der relevanten Theorien zu übersehen, sind folgende:

MILNE	1886
HOERNES	1893
GÜNTHER	1897
SIEBERG	1904
SAPPER	1902
HOBBS/RUSKA	1910
DAVISON	1927

Ein Vergleich dieser Arbeiten zeigt, dass zwar gewisse Autoren wie ARISTOTELES und SENECA in der Antike oder DESCARTES, KANT und HUMBOLDT in der Neuzeit in jeder von diesen Arbeiten behandelt wird, dass aber auch mit der Annäherung an die eigene Gegenwart die subjektive Willkür in der Auswahl und Bewertung der behandelten historischen Erdbeben-theorien ansteigt. Denn mit Ausnahme von GÜNTHER, der sich ganz allgemein als Historiker der gesamten Naturwissenschaften betätigte, und DAVISON, dessen Arbeit, die sich mit den Begründern der modernen Seismologie beschäftigt, vorwiegend biographisch ist, nimmt jeder Autor bewusst eine Auswahl vor und bewertet sie nach dem eigenen Wissensstand.

Dadurch kommt es jedoch zu Simplifikationen, Mißdeutungen mit Abwertungen je nachdem, ob man in den historischen Theorien seinen eigenen Vorläufer oder den seines wissenschaftlichen Gegners sieht. Hinzu kommt noch der sich im 19. Jahrhundert entwickelnde Gegensatz von Geologie und Geophysik, der sich im Bezug auf die Erdbeben-theorien in dem Unterschied einer mehr beschreibenden Erdbebenkunde und einer auf Messdaten und mathematisch formulierten Gesetzen bezogenen Seismologie ausdrückt, die ihren Ursprung in der klassischen Grundlagentheorie der Physik, der Mechanik, hat.

Trotzdem bieten diese auf unterschiedlichen Auswahl- und Bewertungskriterien beruhenden Darstellungen zusammen ein Hilfsmittel zur vorläufigen Orientierung. Da aber die Originalquellen in diesen sekundären Darstellungen durch wiederholtes Referieren verändert oder sogar verfälscht werden, beginnt die eigentliche wissenschaftstheoretische Rekonstruktion mit dem Zurückverfolgen der historischen Erdbeben-theorien auf die Originalquellen.

### 1.3. Der Beitrag der Wissenschaftstheorie zur historischen Erdbebenforschung

Dass die historische Erdbebenforschung ein Beispiel für die interdisziplinäre Kooperation zwischen Geophysikern und Historikern darstellt, wurde bereits ausdrücklich im Rahmen der Monographien „Historical Earthquakes in Europe“ betont und systematisch begründet<sup>5)</sup>.

Ansätze zu einem interdisziplinären Konzept der historischen Erdbebenforschung findet man bereits am Beginn unseres Jahrhunderts. So bemerkt der Grazer Geologe und Erdbebenforscher R. HOERNES in den Mitteilungen der Erdbebenkommission der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften aus dem Jahre 1902, dass es eigentlich die Aufgabe eines Geschichtsforschers sei, das Rohmaterial der Erdbeben-nachrichten zu sichten, ehe sich der Seismologe damit zu beschäftigen hätte. Und A. SIEBERG stimmt in seinem 1904 erschienenen Handbuch der Erdbebenkunde ausdrücklich dieser Bemerkung zu<sup>6)</sup>.

Während sich das Zurückverfolgen jüngerer Texte auf ältere Texte und die Entzifferung der zeitgenössischen Quellen mit historischen bzw. philologischen Methoden und Hilfsmitteln durchführen lässt, bleibt die endgültige Bewertung der Quelle auf ihre Verlässlichkeit, Genauigkeit und Vollständigkeit dem Seismologen überlassen, der den Informationsgehalt dieser Erdbeben-nachrichten aus der Vergangenheit auf ihre inhaltliche Bedeutung für die gegenwärtige Erdbebenforschung überprüft.

Ähnliches gilt auch für die Erforschung der historischen Erdbeben-theorien. Auch hier bleibt letzten Endes die Beurteilung dem Seismologen überlassen, der vom gegenwärtigen Standpunkt der Erdbebenforschung den Wahrheitsgehalt einer Theorie aus der Vergangenheit seiner Disziplin feststellen kann. „Wahr“ bedeutet in diesem Fall Übereinstimmung mit dem gegenwärtigen Entwicklungsstand der Seismologie, „falsch“ bedeutet, dass es keine Übereinstimmung gibt. Diese Art der „rückblickenden“ Wissenschaftsgeschichtsschreibung wird auch „Presentismus“ genannt. Sie hat primär die Zielsetzung, vom gegenwärtigen Standpunkt aus festzustellen, was man schon wusste und was man noch nicht wusste, und ist am häufigsten in den kurzen geschichtlichen Darstellungen in den geophysikalischen Monographien, Lehr- und Handbüchern (z.B. GÜNTHER, SIEBERG, MILNE) oder in den seismologischen Fachzeitschriften (z.B. „Die Erdbebenwarte“) anzutreffen.

Neben dieser „rückblickenden“ Darstellung lässt sich noch eine weitere Art der Darstellung und Bewertung der historischen Erdbeben-theorien durchführen, die sich durch folgende Frage formulieren lässt<sup>7)</sup>: „When an historian begins to study a period, should he himself use the methods of good reasoning accepted at the time under investigation or his own?“

Wenn man in einer historischen Untersuchung über die Theorienentwicklung sich nicht primär auf den Standpunkt der gegenwärtigen Forschung stellt, sondern den Standpunkt eines damaligen Zeitgenossen einnimmt, dann handelt es sich nicht um eine fachwissenschaftliche, sondern um eine wissenschaftshistorische und wissenschaftstheoretische Fragestellung. In dieser Fragestellung geht es nicht primär um die Feststellung, wie nahe man dem gegenwärtigen Stand der Forschung gekommen ist, sondern um die Frage der inneren Konsistenz der Theorie, um ihre Verbindung mit anderen naturwissenschaftlichen, z.B. physikalischen oder chemischen Theorien der damaligen Zeit und vor allem um die Frage der Übereinstimmung dieser Theorien mit den damals vorhandenen Beobachtungen und Daten.

Erst durch eine derartige „rationale“ metatheoretische Rekonstruktion der jeweiligen historischen Situation<sup>8)</sup> wird verständlich warum, d.h. auf Grund welcher Argumente und empirischen Beobachtungen bestimmte Theorien sich gegenüber anderen durchgesetzt und letzten Endes zu den gegenwärtigen akzeptierten Theorien geführt haben. An diesem Punkt treffen und ergänzen sich die gegenwartsbezogene fachwissenschaftliche und die wissenschaftstheoretische Untersuchung der historischen Erdbeben-theorien: die wissenschaftstheoretische Rekonstruktion der vergangenen Theorienentwicklung hilft uns die gegenwärtigen Theorien besser zu verstehen und unser gegenwärtiges Wissen hilft uns die Vergangenheit besser zu verstehen, weil unsere objektive Kenntnis der Realität gewachsen ist. Dies gilt für alle Bereiche wissenschaftlicher Theorienbildung<sup>9)</sup>. In der Erdbebenforschung hat jedoch darüber hinaus die Rekonstruktion vergangener Theorien auch eine praktische Relevanz, auf die bereits der große englische Geologe LYELL gerade im Zusammenhang mit der Erklärung der Erdbeben hingewiesen hat<sup>10, 11)</sup>:

<sup>5)</sup> EISINGER, U., GUTDEUTSCH, R., HAMMERL, Ch.: Historical Earthquake Research – An Example of Interdisciplinary Cooperation between Geophysicists and Historians. – In: GUTDEUTSCH, R., GRÜNTAL, G., MUSSON, R.: Historical Earthquakes in Central Europe. Vol. I. – Abh. Geol. B.-A., 48, Wien 1992.

<sup>6)</sup> SIEBERG, A.: Handbuch der Erdbebenkunde. – S. 283, Braunschweig 1904.

<sup>7)</sup> HULL, D.L.: In Defense of Presentism. – In: History and Theory, 18 (1979), S. 1–15.

<sup>8)</sup> Vgl. POPPERS Ansätze zu einer Situationslogik. – In: K.R. POPPER: Objektive Erkenntnis. Ein evolutionärer Entwurf, S. 199, Hamburg 1973.

<sup>9)</sup> OESER, E.: Wissenschaftstheorie als Rekonstruktion der Wissenschaftsgeschichte. – 2 Bde., Wien – München 1979.

<sup>10)</sup> LYELL, Ch.: Principles of Geology. – Vol. II, S. 272.

<sup>11)</sup> LYELL, Ch.: Lehrbuch der Geologie. – Bd. 1, S. 398, Quedlingburg und Leipzig 1833.

*„A false theory, it is well-known, may render us blind to facts, which are opposed to our prepossessions, or may conceal from us their import when we behold them.“*

*„Es ist eine bekannte Sache, daß eine falsche Theorie uns blind gegen Tatsachen macht, die unseren vorgefaßten Meinungen entgegenstehen, oder uns ihre wahre Wichtigkeit verbergen.“*

Das aber bedeutet, dass die Kenntnis der historischen Erdbebenatheorien eine notwendige Voraussetzung für die Quellenkritik darstellt. Denn in die Beschreibung der historischen Erdbeben gehen auch zeitgenössische Theorien ein oder wirken zumindest auf diese Beschreibungen zurück<sup>12)</sup>.

Das gilt in erhöhtem Maß für die Erdbebenatheorien des 18. und 19. Jahrhunderts. Die Vertreter der atmosphärisch-elektrischen Theorien „hören“ beim Auftreten von Erdbeben das Donnernrollen elektrischer Entladungen in den unterirdischen Hohlräumen und „sehen“ in der Erdatmosphäre elektrische Lichterscheinungen. Die Neptunisten „sehen“ das Einstürzen von großen Erdschollen und das Versickern des Meeres im eingebrochenen Meeresboden, während die Vulkanisten die Aufblähung des Erdbodens und die Hebung ganzer Berge oder Inseln aus dem Meere „beobachten“ wie z.B. Monte Nuovo oder die neuen Inseln im Santorin-Archipel.

Da jedoch derjenige, der eine Erdbebenatheorie aufstellt, zumeist nicht selbst der direkte Augenzeuge eines Erdbebens ist, so hat das zur Folge, dass er in den noch vorhandenen Relikten der Zerstörung und in den Bodenveränderungen nach Bestätigungen seiner Theorie sucht oder nur jene Augenzeugenberichte auswählt, die zu seiner Theorie passen. Es gibt also nicht nur eine Anpassung der Theorien an die Beobachtungen, sondern immer auch eine Anpassung der Beobachtungen an die Theorie, die von einer willkürlichen Auswahl bestimmter Daten bis zu Übertreibungen oder vielleicht sogar zu Verfälschungen des Beobachtungsmaterials reichen.

Nur so kann man die sowohl von den Vulkanisten (HUMBOLDT) als auch von den Vertretern der Dampfkesseltheorie (LYELL) mehrfach anlässlich der Erdbeben in Kalabrien 1783 und in Riobamba geschilderten aber unglaublich klingenden „Beobachtungen“ über die in die Luft geschleuderten Gegenstände verstehen. Denn nur die Erklärung der Erdbeben als unterirdische Vulkanausbrüche oder Wasserdampfexplosionen lassen die Vorstellung zu, dass ein senkrecht von unten nach oben gerichteter Erdstoß das meterhohe Emporschleudern von Pflastersteinen aus den Straßen und von Leichnamen aus ihren Gräbern bewirkt. Wenn solche Berichte, die allgemein nicht auf direkte Beobachtungen während, sondern nach dem Erdbeben zurückgehen, wahr wären, dann würde das nach heutiger Auffassung heißen, dass die Vertikalbeschleunigungen die Erdbeschleunigung überschritten haben. Instrumentelle Messungen haben jedoch bereits gezeigt, dass es vertikale Bodenbeschleunigungen, welche die Erdbeschleunigung überschreiten, tatsächlich geben kann. So wurde in der Herdnähe des Gazli-Erdbebens vom 12. Mai 1976 in Uzbek, ehemals UdSSR, eine vertikale Beschleunigung von 1,3 g gemessen<sup>13)</sup>.

Um die methodische Zielsetzung dieser Darstellung der historischen Erdbeben klarzustellen, soll auch noch einmal betont werden, dass es sich nicht bloß um eine antiquarische Wühlarbeit handelt, die mit sinnloser Akribie längst überholte empirische Daten und kuriose Theorien reprodu-

ziert, die für die gegenwärtige Forschung keine Bedeutung mehr haben. Es steht auch nicht das eher biographisch-historische Interesse im Vordergrund, das darauf abzielt zu zeigen, dass wir nicht klüger sind als unsere wissenschaftlichen Vorläufer, sondern nur kenntnisreicher<sup>14)</sup>. Das eigentliche Anliegen dieser Abhandlung besteht in der grundlegenden These, dass es ohne Kenntnis der historischen Entwicklung kein wirkliches Verständnis für den gegenwärtigen Zustand einer wissenschaftlichen Disziplin gibt. Dies trifft umso mehr bei jenen Disziplinen zu, deren Forschungsgegenstand selbst den Charakter historischer Ereignisse haben, weil sie sich über lange Zeiträume erstrecken oder sich in diesen ständig wiederholen, wie es bei der Seismologie der Fall ist.

Im Rahmen der historischen Erdbeben-Forschung ist die Untersuchung der Entwicklung der Erdbebenatheorien von Bedeutung, weil nicht nur alle historischen Beschreibungen dieser Ereignisse von theoretischen Reflexionen begleitet, sondern bereits alle Beobachtungen im Lichte oder vor dem Hintergrund von Theorien gemacht worden sind<sup>15)</sup>, auch wenn diese Theorien nicht immer explizit angegeben worden sind. Bei solchen vorweggenommenen theoretischen Überlegungen können auch Irrtümer auftreten, die jedoch nicht um ihrer Kuriosität willen, sondern ausschließlich wegen ihrer logischen Konsequenzen Beachtung finden müssen. Denn, wie man aus den Gesetzen der formalen Logik weiß, können im Prinzip falsche Hypothesen durchaus zu richtigen empirischen Prognosen und zu plausiblen mit den beobachtbaren Phänomenen übereinstimmenden Erklärungen führen – doch immer nur dann, wenn sie einen bestimmten empirischen Wahrheitsgehalt besitzen, der allein über ihre historische Wirksamkeit und Fortsetzbarkeit entscheidet. Daher ist die Darstellung einer historischen Theorie, die man als gänzlich falsch bezeichnet, aber zugleich als große geistige Leistung einer exzeptionellen Forscherpersönlichkeit feiert, wie es z.B. mit dem allgemeinen Vulkanismus HUMBOLDTS am Ende des 19. Jahrhunderts geschehen ist<sup>16)</sup>, wissenschaftstheoretisch nicht zu rechtfertigen. Denn eine gänzlich falsche wissenschaftliche Theorie stellt ein Forschungshemmnis dar, das umso größer ist, je geistreicher diese Theorie formuliert worden ist.

Die Gegenthese, die in der vorliegenden Abhandlung gerade im Bezug auf HUMBOLDTS Theorie vertreten wird, lautet vielmehr, dass keine wissenschaftliche Theorie historische Bedeutung und Wirksamkeit erhalten kann, wenn sie nicht einen bestimmten Wahrheitsgehalt besitzt. Gänzlich falsche Theorien erweisen sich immer als bedeutungslos und werden im Laufe des Argumentationszusammenhangs ausgeschieden. Das Gleiche gilt auch für die falschen Hypothesen, die fast immer mit jenen Theorien verbunden sind, denen wir auch heute noch vom gegenwärtigen Wissensstand einen Wahrheitswert zusprechen. Gerade für die Seismologie ist diese Vorstellung von dem Berliner Erdbebenforscher Wilhelm BRANCO am Beginn unseres Jahrhunderts deutlich ausgesprochen worden<sup>17)</sup>:

*„Im Reiche der Wissenschaften sind alle Wege, die zur Erkenntnis führen, dicht bedeckt mit totesgeschlagenen Hypothesen.“*

<sup>12)</sup> OESER, E.: Historical Earthquake Theories from Aristotle to Kant. – In: GUTDEUTSCH, R., GRÜNTAL, G., MUSSON, R.: Historical Earthquakes in Central Europe. Vol. I. – Abh. Geol. B.-A., 48, Wien 1992.

<sup>13)</sup> BOLT, B.A.: Erdbeben. Eine Einführung. – Übers. von R. GUTDEUTSCH, S. 107, Berlin – Heidelberg – New York – Tokyo 1984.

<sup>14)</sup> HÖLDER, H.: Kurze Geschichte der Geologie und Paläontologie. – Berlin – Heidelberg – New York (Springer) 1989.

<sup>15)</sup> Vgl. POPPER, K.R.: Logik der Forschung. – 5. Aufl., S. 31, Tübingen 1973.

<sup>16)</sup> DÜCK, J.: Die Stellung Alexander von Humboldts zur Lehre von den Erdbeben. – In: Die Erdbebenwarte, 3–4, S. 59–68, Laibach 1903–05.

<sup>17)</sup> BRANCO, W.: Wirkung und Ursachen der Erdbeben. – Rede am Geburtstage Seiner Majestät des Kaisers und Königs Wilhelm's II in der Aula der Königlichen Friedrich-Wilhelms-Universität zu Berlin am 27. Januar 1902, S. 70, Berlin 1902.

## 2. Die klassischen Erklärungsversuche: Von der Antike bis zur frühen Neuzeit

### 2.1. Erdbebentheorien der Antike:

#### THALES VON MILET, ANAXIMENES, DEMOKRIT, ANAXAGORAS, ARISTOTELES und SENECA

Die Schriften der antiken Autoren, die bereits 500 Jahre vor Chr. theoretische Überlegungen über die natürlichen Ursachen der Erdbeben anstellten, sind bekanntlich verloren<sup>18)</sup>. Was wir von ihnen wissen, beruht entweder auf den Angaben von ARISTOTELES<sup>19, 20)</sup> oder von SENECA<sup>21)</sup>.

Während jedoch ARISTOTELES selbst eine eigene wissenschaftliche Erdbebentheorie aufgestellt hat, war SENECA kein Fachgelehrter, sondern ein gewandter und rhetorisch geschulter Schriftsteller, der mehr als 300 Jahre später zum Teil mit großer Flüchtigkeit das Erdbebenkapitel in seinen „Quaestiones naturalium“ aus verschiedenen griechischen Vorlagen abgeschrieben hatte. Man muss daher mit Missverständnissen, Ungenauigkeiten und Lücken in seiner Darstellung rechnen.

Außerdem nennt er manchmal nicht einmal den Namen des Urhebers einer Theorie. Trotzdem bildet dieser zusammenfassende Bericht des SENECA auch nach HUMBOLDTS Meinung die wichtigste Quelle für unsere Kenntnis der gesamten seismologischen Theorien der Antike. Denn ARISTOTELES, dessen Erdbebentheorie die einzige ist, die uns im Wortlaut vorliegt, hatte mit den spärlichen Angaben über seine Vorläufer nicht die Absicht, eine vollständige Doxographie der altgriechischen Seismologen zu liefern. Er war vielmehr auf die Rechtfertigung seiner eigenen Erdbebentheorie bedacht und verwendete die Ansichten seiner Vorläufer nur, insoweit er sie in Kontrast oder Übereinstimmung zu seiner Lehre setzen konnte. Aber die Grundzüge der Entwicklung der antiken Erdbebentheorien und ihre Haupttypen lassen sich trotz der lückenhaften und unsicheren Quellen klar erkennen.

THALES VON MILET (ca. 600 v. Chr.), der die ganze scheibenförmige Erde wie ein Schiff auf dem Wasser schwimmen ließ, sah auch folgerichtig die Erdbeben als Schwankungen der Erde auf dem Wasser, das aus manchen undichten Stellen auch durch die Erde durchbricht.

Als Verifikation gab er an, dass bei jedem bedeutenden Erdbeben regelmäßig neue Quellen hervorbekommen. Diese Theorie lehnt SENECA ab, weil die zu Tage tretenden Wassermengen zu unbedeutend sind<sup>22)</sup>:

„Thales Milesius totam subiecto iudicat umore portari et innare, sive illud oceanum vocas, sive magnum mare, sive alterius naturae simplicem adhuc et umidum elementum. Hac, inquit, unda sustinetur orbis velut aliquod grande navigium et grave his aquis quas premit ... Hanc opinionem falsam esse non est diu colligendum. Nam, si terra aqua sustineretur et ea aliquando concuteretur, semper moveretur, nec agitari illam miraremur sed manere; deinde tota concuteretur, non ex parte; numquam enim navis dimidia iactatur. Nunc vero terrarum non universarum sed ex parte motus est. Quomodo ergo fieri potest ut, quod totum vehitur, totum non agitur, si eo quo vehitur agitur est? At quare aquae erumpunt? Primum omnium

*saepe tremuit terra et nihil umoris novi fluxit. Deinde, si ex hac causa unda prorumperet, a lateribus terrae circumfunderetur, sicut in fluminibus ac mari videmus incidere ut incrementum aquarum, quotiens navigia desidunt, in lateribus maxime appareat. Ad ultimum non tam exigua fieret quam tu dicis eruptio nec velut per rimam sentina subreperet, sed fieret ingens inundatio ut ex infinito liquore et ferente universa“.*

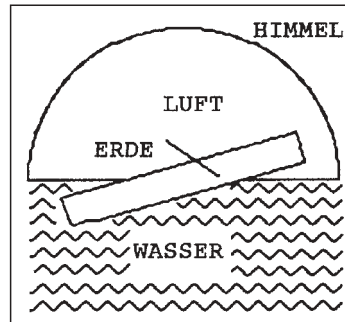


Abb. 2.  
Erdbebenmechanismus nach THALES VON MILET.  
Die Erde schwimmt als Scheibe auf dem Wasser. Erdbeben entstehen durch die Bewegung des Wassers, die das Schwancken der Erdscheibe verursacht.

ANAXIMENES stellte eine plausible Einsturztheorie auf, die sehr gut für die höhlenreichen Kalkgebiete passte. ARISTOTELES weist dagegen darauf hin, dass dann an vielen Plätzen das Einsinken der Erde zu beobachten sein müsste und nach dieser Annahme die Erdbeben immer weniger werden und schließlich ganz aufhören müssten<sup>23)</sup>:

Ἀναξίμενης δὲ φησι βρεχομένην τὴν γῆν καὶ ξηραίνουμένην ῥήγνυσθαι, καὶ ὑπὸ τούτων τῶν ἀπορρηγνυμένων κολωνῶν ἐμπιπτόντων σειεσθᾶ· διὸ καὶ γίνεσθαι τοὺς σεισμοὺς ἐν τε τοῖς αὐχομοῖς καὶ πάλιν ἐν ταῖς ὑπερομβραῖς· ἐν τε γὰρ τοῖς αὐχομοῖς, ὡσπερ εἴρηται, ξηραίνουμένην ῥήγνυσθαι, καὶ ὑπὸ τῶν ὑδάτων ὑπερυγραινουμένην διαπίπτειν. ἔδει δὲ τούτου συμβαίνοντος ὑπονοστοῦσαν πολλαχοῦ φαίνεσθαι τὴν γῆν.

DEMOKRIT vertrat die Ansicht, dass die in den Höhlen der Erde eingeschlossenen Wassermengen die Erde zum Beben bringen, wenn sie nach großen Regenfällen sich einen Weg ins Innere der Erde bahnen<sup>24)</sup>:

Δημόκριτος δὲ φησι πλήρη τὴν γῆν ὕδατος οὖσαν καὶ πολὺ δεχομένην ἕτερον ὄμβριον ὕδαρ, ὑπὸ τούτου κινεῖσθαι· πλείονός τε γὰρ γινομένου διὰ τὸ μὴ δύνασθαι δέχεσθαι τὰς κοιλίας ἀποβιαζόμενον ποιεῖν τὸν σεισμόν, καὶ ξηραίνουμένην καὶ ἔλκουσαν εἰς τοὺς κενούς τόπους ἐκ τῶν πληρεστέρων τὸ μεταβάλλον ἐμπιπτον κινεῖν.

ANAXAGORAS dagegen nahm an, dass der Äther, wenn er in die Erde gerate, Beben verursacht. Wobei die besondere Eigenart dieser Erklärung darin besteht, dass der Äther als leichtestes aller Elemente nur von unten nach oben strömt. Vorausgesetzt wird dabei, dass die Erde eine Kugel ist, deren untere, von uns nicht bewohnte Hälfte auf dem Äther aufruht<sup>25)</sup>.

Ἀναξαγόρας μὲν οὖν φησὶ τὸν αἰθέρα πεφυκότα φέρεσθαι ἄνω, ἐμπιπτόντα δ' εἰς τὰ κάτω τῆς γῆς καὶ τὰ κοῖλα κινεῖν αὐτήν· τὰ μὲν γὰρ ἄνω συναληθίφθαι διὰ τοὺς ὄμβρους, ἐπεὶ φύσει γε πᾶσαν ὁμοίως εἶναι σομφήν, ὡς ὄντος τοῦ μὲν ἄνω τοῦ δὲ κάτω τῆς ὅλης σφαίρας, καὶ ἄνω μὲν τούτου ὄντος τοῦ μορίου ἐφ' οὗ τυγχάνομεν οἰκούντες, κάτω δὲ θατέρου.

<sup>18)</sup> Siehe CAPELLE, W.: Erdbebenforschung. – In: Paulys Real-Encyclopädie der Classischen Altertumswissenschaft, Suppl. IV, Stuttgart 1924.

<sup>19)</sup> ARISTOTELES: Meteorologicorum Liber II. – In: ARISTOTELES GRAECE ex rec. Imm Bekkeri, 343b–370a, 30 (Berol. 1831).

<sup>20)</sup> ARISTOTELES: Liber de Mundo. – In: ARISTOTELES GRAECE ex. rec. Imm Bekkeri, 396a, 25–40 (Berol. 1831).

<sup>21)</sup> SENECA: Quaestiones naturalium Liber VI. – In: Opera omnia ab Andrea Schotto, Tom. I, S. 752–776, (Genevae 1665).

<sup>22)</sup> SENECA Quaestiones naturalium Liber VI. In: Opera omnia ab Andrea Schotto, Tom. I, S. 757 f. (Genevae 1665)

<sup>23)</sup> ARISTOTELES: 365 b 6–13.

<sup>24)</sup> ARISTOTELES: 365 b 1–6.

<sup>25)</sup> ARISTOTELES: 265 a 19–25.

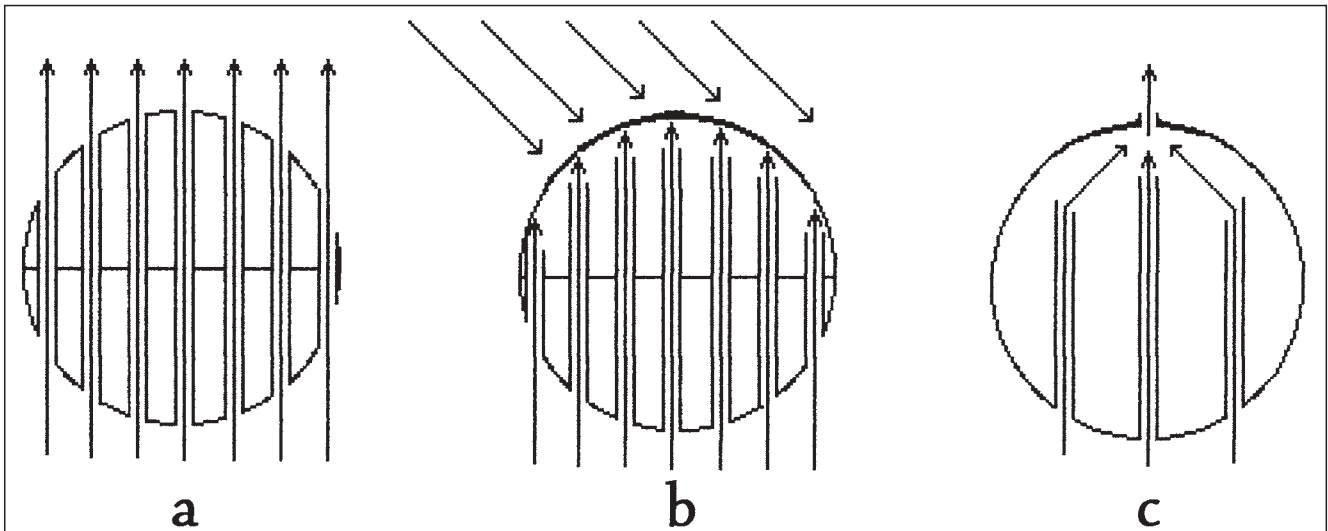


Abb. 3.  
 Interpretation der Theorien des ANAXAGORAS durch ARISTOTELES.

- a) Äther dringt durch die Erde.  
 b) Die Poren der Erde sind durch Regenwasser verstopft und verhindern das Durchdringen des Äthers durch die Erde.  
 c) Der Äther durchbricht die Erdkruste und es entsteht ein Erdbeben.

Offensichtlich verstand ARISTOTELES die Theorie des ANAXAGORAS auf diese Weise, wie sie in den Diagrammen der Abb. 3 anschaulich dargestellt werden kann.

ARISTOTELES selbst (384–322 v. Chr.), der diese Theorie als primitiv kritisierte, schlägt dagegen eine andere Theorie vor, mit der er zwei Bereiche zusammenfassen will: die atmosphärischen Erscheinungen Wind, Donner und Blitz und die Erscheinungen im Inneren der Erde. Beide sind auf die Ausscheidungen der Erde zurückzuführen. Die feuchte Erde wird von der eigenen inneren Wärme und der Sonne erhitzt und es bilden sich Winde, die zum Unterschied von allen anderen Körpern, die fest sind, am weitesten vordringen können und in der Erde die größte Schubkraft entwickeln<sup>26)</sup>:

‘Ἄλλ’ ἐπειδὴ φανερόν ὅτι ἀναγκαῖον καὶ ἀπὸ ὕγρου καὶ ἀπὸ ξηροῦ γίνεσθαι ἀναθυμιάσιν, ὥσπερ εἴπομεν ἐν τοῖς πρότερον, ἀνάγκη τούτων ὑπαρχόντων γίνεσθαι τοὺς σεισμούς. ὑπάρχει γὰρ ἡ γῆ καθ’ αὐτὴν μὲν ξηρά, διὰ δὲ τοὺς ὄμβρους ἔχουσα ἐν αὐτῇ νοτίδα πολλήν, ὥσθ’ ὑπὸ τε τοῦ ἡλίου καὶ τοῦ ἐν αὐτῇ πυρὸς θερμαινομένης πολὺ μὲν ἔξω πολὺ δ’ ἐντὸς γίνεσθαι τὸ πνεῦμα· καὶ τοῦτο ὅτε μὲν συνεχῆς ἔξω βεῖ πάν, ὅτε δ’ εἴσω πάν, ἐνίοτε δὲ καὶ μερίζεται. εἰ δὲ τοῦτ’ ἀδύνατον ἄλλως ἔχειν, τὸ μετὰ τοῦτο σκεπτόμεν ἂν εἴη ὁποῖον κινητικώτατον ἂν εἴη τῶν σωμάτων· ἀνάγκη γὰρ τὸ ἐπὶ πλείστον τε πεφυκὸς ἰέναι καὶ σφοδρότατον μάλιστα τοιοῦτον εἶναι. σφοδρότατον μὲν οὖν ἐξ ἀνάγκης τὸ τάχιστα φερόμενον· τύπτει γὰρ μάλιστα διὰ τὸ τάχος· ἐπὶ πλείστον δὲ πέφυκε διέναι τὸ διὰ παντὸς ἰέναι μάλιστα δυνάμενον, τοιοῦτον δὲ τὸ λεπτότατον, ὥστ’ εἴπερ ἡ τοῦ πνεύματος φύσις τοιαύτη, μάλιστα τῶν σωμάτων τὸ πνεῦμα κινητικόν· καὶ γὰρ τὸ πῦρ ὅταν μετὰ πνεύματος ἢ γίνεται φλόξ καὶ φέρεται ταχέως. οὐκ ἂν οὖν ὕδωρ οὐδὲ γῆ αἴτιον εἴη, ἀλλὰ πνεῦμα τῆς κινήσεως, ὅταν ἔσω τύχη ῥυέν τὸ ἔξω ἀναθυμιάμενον.

Als Analogie stellt sich ARISTOTELES vor, dass auch der Wind im menschlichen Körper Zittern und Schüttelkrämpfe verursacht, die alle – seiner Meinung nach – pneumatische Bewegungen sind und deshalb auch beim Kranken so schwer zu bändigen sind<sup>27)</sup>:

δεῖ γὰρ νοεῖν ὅτι ὥσπερ ἐν τῷ σώματι ἡμῶν καὶ τρόμων καὶ σφυγμῶν αἰτιόν ἐστιν ἡ τοῦ πνεύματος

ἐναπολαμβανομένη δύναμις, οὕτω καὶ ἐν τῇ γῇ τὸ πνεῦμα παραπλήσια ποιεῖν, καὶ τὸν μὲν τῶν σεισμῶν οἶον τρόμον εἶναι τὸν δ’ οἶον σφυγμόν, καὶ καθάπερ συμβαίνει πολλάκις μετὰ τὴν οὖρησιν διὰ τοῦ σώματος (γίνεται γὰρ ὥσπερ τρόμος τις ἀντιμεθισταμένου τοῦ πνεύματος ἔξωθεν ἔσω ἀθρόου), τοιαῦτα γίνεσθαι καὶ περὶ τὴν γῆν, ὅσην δ’ ἔχει τὸ πνεῦμα δύναμιν, οὐ μόνον ἐκ τῶν ἐν τῷ ἀέρι δεῖ θεωρεῖν γιγνομένων (ἐνταῦθα μὲν γὰρ διὰ τὸ μέγεθος ὑπολάβοι τις ἂν τοιαῦτα δύνασθαι ποιεῖν) ἀλλὰ καὶ ἐν τοῖς σώμασι τοῖς τῶν ζώων· οἱ τε γὰρ τέταννοι καὶ οἱ σπασμοὶ πνεύματος μὲν εἰσι κινήσεις, τοσαύτην δ’ ἔχουσιν ἰσχὺν ὥστε πολλοὺς ἄμα πειρωμένους ἀποβιάζεσθαι μὴ δύνασθαι κρατεῖν τῆς κινήσεως τῶν ἀρρωστούντων. τὸ αὐτὸ δεῖ νοεῖν γινόμενον καὶ ἐν τῇ γῇ ὡς εἰκάσαι πρὸς μικρὸν μείζον

Je nach Art und Wirkungsweise der komprimierten strömenden oder ausbrechenden Luft klassifiziert ARISTOTELES die Erdbeben in „Neigungsbeben“, die in der Querrichtung erfolgen, in „Rüttler“, die senkrechte Bewegungen auf und ab vollführen, „Zerreißer“, bei denen die komprimierte Luft an der Oberfläche ausbricht und „Brüller“, die wie der Donner in der Atmosphäre im Inneren der Erde wirken, ohne sie aufzubrechen<sup>28)</sup>:

τῶν δὲ σεισμῶν οἱ μὲν εἰς πλάγια σειόντες κατ’ ὀξείας γωνίας ἐπικλίνται καλοῦνται, οἱ δὲ ἄνω ῥιπτοῦντες καὶ κάτω κατ’ ὀρθὰς γωνίας βράσται, οἱ δὲ συνιζήσεις ποιοῦντες εἰς τὰ κοῖλα χασματίαι· οἱ δὲ χάσματα ἀνοίγοντες καὶ γῆν ἀναρρηγνύτες ῥῆκται καλοῦνται. τούτων δὲ οἱ μὲν καὶ πνεῦμα προσαναβάλλουσιν, οἱ δὲ πέτρας, οἱ δὲ πηλόν, οἱ δὲ πηγὰς φαίνουσι τὰς πρότερον οὐκ οὔσας. τινὲς δὲ ἀνατρέποντες κατὰ μίαν πρόωσιν, οὓς καλοῦσιν ὥστας. οἱ δὲ ἀναπάλλοντες καὶ ταῖς εἰς ἑκάτερον ἐγκλίσει καὶ ἀναπάσει διορθοῦντες αἰεὶ τὸ σειόμενον παλματίαι λέγονται, τρόμω πάθος ὅμοιον ἀπεργαζόμενοι. γίνονται δὲ καὶ μυκητίαι σεισμοί, σειόντες τὴν γῆν μετὰ βρόμου. πολλάκις δὲ χωρὶς σεισμοῦ γίνεται μύκημα γῆς, ὅταν τὸ πνεῦμα σείειν μὲν μὴ ἦ αὐτάρκες, ἐνειλούμενον δ’ ἐν αὐτῇ κόπτηται μετὰ ῥοθίου βίας.

Wie groß die Erklärungsleistung des ARISTOTELES ist, zeigt sich daran, dass er den Chemismus der aufsteigenden Dünste in ein klares System brachte, das bis in die Neuzeit nachgewirkt hat.

<sup>26)</sup> ARISTOTELES: 365 b 21–366 a 5.

<sup>27)</sup> ARISTOTELES: 366 b 14–30.

<sup>28)</sup> ARISTOTELES: 396 a 1–14.

Die Grundidee dabei ist, dass die feuchten Dünste nicht so hoch steigen wie die trockenen. Die feuchten bilden unter der Erde die Metalle und über der Erde in der Atmosphäre Wolken, Regen, Schnee und Hagel und translnar im Weltraum die Erscheinung des Halo. Die trockenen und rauchartigen verursachen unter der Erde die Erdbeben, und in der Atmosphäre Wind, Donner, Blitz und die atmosphärischen Kometen, und am Himmel die siderischen Kometen, das Nordlicht und die Milchstraße.

Nach H. WILSDORF<sup>29)</sup> lässt sich die Auffassung des ARISTOTELES über den genetischen Chemismus der aufsteigenden Dünste in folgende Darstellung bringen (siehe Abb. 4).

<sup>29)</sup> WILSDORF, H.: Zu den wissenschaftstheoretischen Darlegungen über Metalle und Metallogenese bei ARISTOTELES. – In: J. IRMSCHER & R. MÜLLER (Hrsg.): ARISTOTELES als Wissenschaftstheoretiker, S. 153, Berlin (Akademie-Verlag) 1983.

Diese Darstellung macht den von ARISTOTELES angenommenen engen Zusammenhang von unterirdischen und atmosphärischen Ereignissen deutlich. Die Konsequenz aus diesem Zusammenhang ist von wissenschaftsgeschichtlicher Bedeutung. Seit ARISTOTELES umfasst jede meteorologische Schrift bis weit ins Mittelalter hinein (ALBERTUS MAGNUS) auch die Ursachenerklärung der Erdbeben.

Zu diesem Erklärungsschema der Erdbeben kam noch die Verbindung von Erdbeben und Vulkanausbrüchen dazu. Sowohl PLATON als auch ARISTOTELES waren davon überzeugt, dass in der Erde „Feuerströme“<sup>30)</sup> und „Feuerherde“<sup>31)</sup> existieren, obwohl sie sich über deren Entstehungsursachen nicht einig waren. Übereinstimmung bestand jedoch darin, dass das Feuer im Erdinneren entweder nicht gleichmäßig verteilt oder die Erdrinde an manchen Stellen dünner sein musste als an anderen.

Mit den Fragmenten des Sophisten ANTIPHON (5. Jh. v. Chr.) aus Athen liegt bereits bei den Vorsokratikern eine sichere, wenngleich nur schwer rekonstruierbare Spur einer vulkanistischen Erdbeben­theorie vor. Denn ANTIPHON schreibt die Ursache der Erdbeben einem unterirdischen Feuer zu, das an der Oberfläche der Erde Krümmungen und Risse erzeugt. Nach CAPELLE<sup>32)</sup> ist ANTIPHON mit jenem von SENECA (VI, 9) mit Namen nicht genannten Urheber der folgenden vulkanischen Hypothese identisch: Die Ursache der Erdbeben ist ein langsam schwelendes unterirdisches Feuer, das die ihm benachbarten Teile des Erdinnern erfasst und ausdort. Dadurch stürzen diese Teile zusammen und ebenso die darüberliegenden Teile und verursachen auf diese Weise die Erdbeben<sup>33)</sup>:

*„Sed quia pluribus obrutus locis ardeat, et proxima quaeque consumat. Quae si quando exesa ceciderint, tunc sequi motum earum partium, quae subiectis adminiculis destituta labant, donec corruiere, nullo occurrente, quod onus exciperet. Tunc chasmata, tunc hiatus vasti aperiantur: aut tum diu nutavere, super ea se quae supersunt stantque, componunt.“*

<sup>30)</sup> PLATO: Phaidon 111 d.

<sup>31)</sup> ARISTOTELES: 395 b 20.

<sup>32)</sup> CAPELLE, W.: Erdbebenforschung. – In: Paulys Real-Encyclopädie der Classischen Altertumswissenschaft, Supl. IV, S. 366, S. 369.

<sup>33)</sup> SENECA: Quaestiones naturalium Liber VI, cap. 9. – In: Opera Tom. I, S. 760.

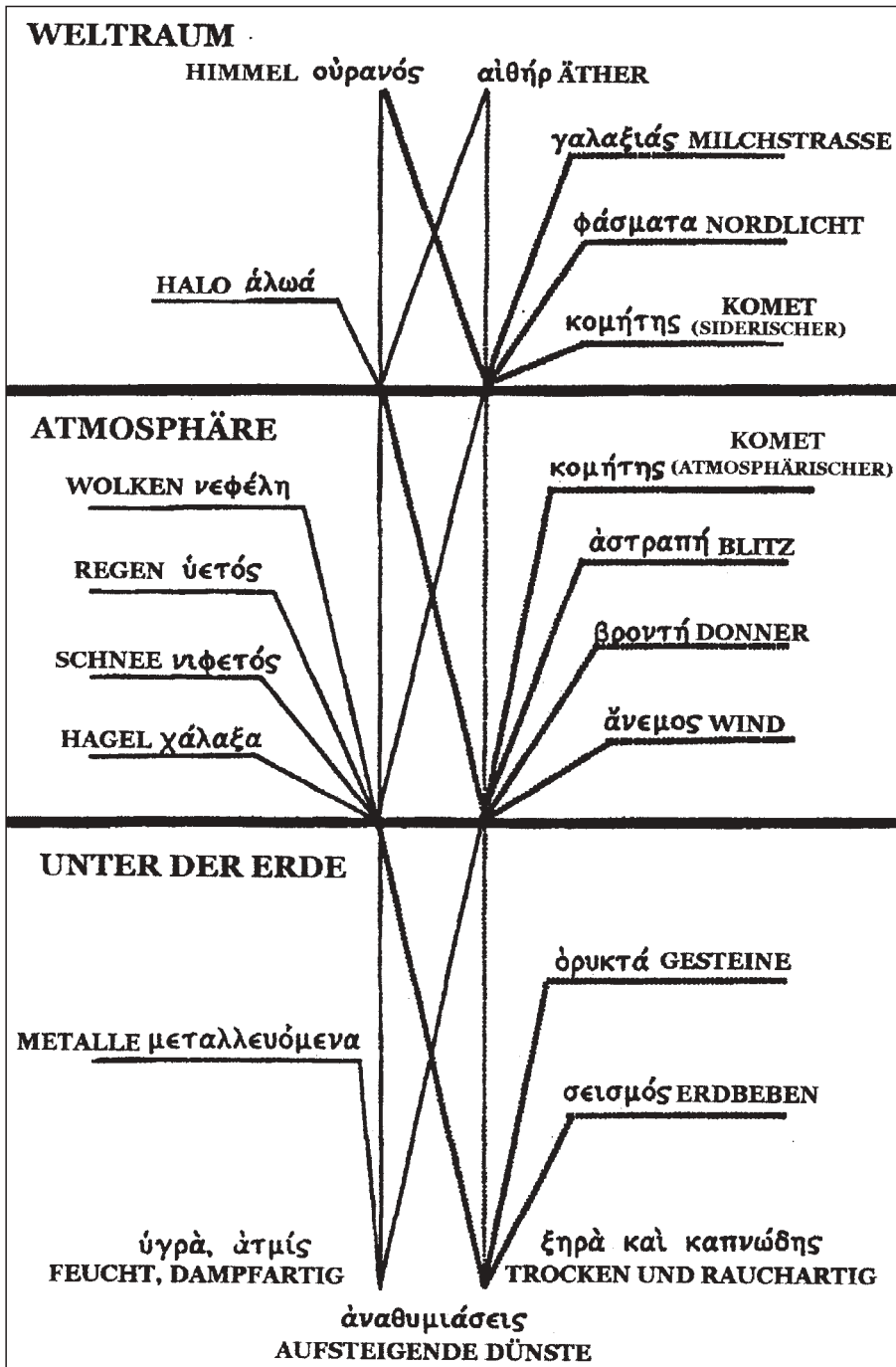


Abb. 4.  
Das System der aufsteigenden Dünste nach ARISTOTELES.

Ein anderer von SENECA nicht mit Namen genannter Autor stammt wahrscheinlich aus der Zeit nach ARISTOTELES. Denn er verknüpft bereits seine Theorie mit der pneumatischen Hypothese des ARISTOTELES. Er nimmt an, dass die Feuerherde im Inneren der Erde die unterirdischen Wassermassen zum Kochen bringen und Dampf erzeugen. Dieser Dampf treibt das Pneuma durch die Erde, das nach einem Ausgang suchend Erschütterungen und Eruptionen verursacht<sup>34</sup>):

„*Quidam ignibus quidem assignant hunc tremorem, sed aliter. Nam cum pluribus locis ferueant, necesse est ingentem vaporem sine exitu voluant, qui vi sua spiritum intendit: et si acrius insilit, opposita diffundit: si vero remissior fuit, nihil amplius quam movet. Videmus aquam spumare, igne subiecto. Quod in hac aqua facit inclusa et angusta, multo magis illum facere credimus, cum violentus ac vastus ingentes aquas excitat. Tunc ille vaporazione inundantium aquarum, quicquid pulsaverit, agita.*“

Von den Nachfolgern des ARISTOTELES hebt SENECA vor allem STRATON VON LAMPSAKOS (280 v. Chr.) hervor. STRATON sieht den Kampf zwischen kalter und warmer Luft als die Ursache der Erdbeben an<sup>35</sup>):

„*Frigidum et calidum semper in contraria abeunt et una esse non possunt: eo frigidum confluit, unde vis calida discessit: et inuicem ibi calidum est, unde frigus expulsum est.*“

SENECA berichtet auch von einer Theorie, die am Beginn der Neuzeit durch LEONARDO DA VINCI, Giordano BRUNO und sogar noch von KEPLER vertreten worden ist. Es ist jene Theorie, die die Erde in Analogie zu einem Lebewesen betrachtet. Wie ein Lebewesen Arterien und Venen hat, so besitzt auch die Erde Luft und Wasser führende Adern. Bei normaler Gesundheit lassen diese Adern die in ihr fließenden Substanzen ungehindert hindurch. Bei einer Krankheit oder im Alter sind sie jedoch verstopft oder verengt. Ähnliche Zustände gibt es auch in der Erde, bei denen das Pneuma beim Durchströmen durch die Erde auf Hindernisse stößt und schwere Erdbeben verursacht<sup>36</sup>):

„*Sunt qui existiment, spiritu quidem, et nulla alia ratione tremere terram, sed ex alia causa, quam Aristoteli placuit. Quid sit quod ab his dicatur, audi. Corpus nostrum et sanguine irrigatur, et spiritu, qui per sua itinera discurret. Habemus autem quaedam angustiora animae receptacula, per quae nihil amplius quam meat: quaedam potentiora, in quibus colligitur et unde dividitur in partes. Sic hoc totum terrarum omnium corpus, et aquis, quae vicem sanguinis tenent, et ventis, quos nil aliud quis quam animam vocaverit, pervium est. Haec duo alicubi concurrunt, alicubi consistunt.*“

Den Abschluss der griechischen Erdbeben-theorien bildet POSEIDONOS (ca. 135–50 v. Chr.). Von seinen zahlreichen Schriften ist jedoch keine einzige vorhanden. Seine Theorie ist durch SENECA bekannt, der sich selbst wiederum auf einen Schüler des POSEIDONOS namens ASKLEPIODOT stützt. Er scheint der Erste gewesen zu sein, der sowohl die große Tiefe der Erdbebenherde als auch die Ausdehnung eines und desselben Bebens über mehrere Länder erkannt hat<sup>37</sup>):

Gegenüber den Griechen lieferten die Römer keine neuen Aspekte in der Theorie der Erdbeben. SENECAS Kapitel über die Erdbeben in den „Quaestiones naturalium“

gilt für Alexander VON HUMBOLDT als die umfassendste Darstellung all dessen, „was man bis zur neuesten Zeit über die Ursachen der Erdbeben beobachtet und gefahlet hat.“ Der Beginn des Kapitels zeigt, dass der unmittelbare Anlass zu dieser ausführlichen Beschäftigung SENECAS mit der Erdbeben-theorie der Griechen das Erdbeben von Pompei und Herculanium vom Jahre 63 n. Chr. war:

„*Pompeios, celebrem Campaniae urbem in quam ab altera parte Surrentinum Sabianumque litus, ab altera Herculanium conveniunt, mareque ex aperto conductum amoeno sinu cingit, deseisse terraemotu, vetaxis quaecunque adiacebant regionibus, Lucisi virorum optime, audivimus, et quidem diebus hibernis, quos vacare à tali periculo maiores nostri solebant promittere.*“

Den tiefen Eindruck, den ein solches Ereignis auf die Bewohner der zerstörten Städte hinterlassen hatte, wird von SENECA mit folgenden Worten dargestellt<sup>38</sup>):

„*Quid enim cuiquam satis rutum videri potest, si mundus ipse, concutitur, et partes eius solidissimae labant? Si quod unum immobile est in illo fixumque, ut cuncta insentientia sustineat, fluctuat? Si, quod primum habet terra, perdidit, stare: ubi tandem resident metus nostri? Quod corpora receptaculum inveniente?*“

„*Was kann uns noch sicher erscheinen, wenn der Erdball selbst erschüttert wird? Wenn das, was allein unbeweglich und fest in der Welt ist, so dass es alles trägt, wenn das hin- und herwohrt, wenn die Erde ihre Eigentümlichkeit, das Stillstehen verloren hat, wo sollen wir da in unserer Angst einen Halt finden, wo eine Zuflucht?*“

SENECA referiert zwar die Erdbeben-theorien der Vorläufer des ARISTOTELES sehr kritisch, im Wesentlichen folgt er aber dann selbst den Erklärungen des ARISTOTELES und übernimmt dessen Klassifikation der Erdbeben.

Erstaunlich dürftig sind auch die wenigen Bemerkungen über die Ursachen der Erdbeben in der berühmten *Historia naturalis* von PLINIUS dem Älteren, der selbst bei dem furchtbaren Ausbruch des Vesuv vom Jahre 79 n. Chr. in Pompei umkam. PLINIUS sieht in den Erdbeben nichts anderes als unterirdische Gewitter, die unter der Erde stattfinden, während sie über der Erde in der Luft nicht vorhanden sind. Dafür sprechen nach seiner Meinung sowohl das rollende Getöse, das die Erdstöße begleitet, als auch die Art der elastischen, durch Spannung erschütternden Kräfte<sup>39</sup>):

„*Ventos in causa esse non dubium reor. Neque enim unquam intremiscunt terrae, nisi sopito mari caeloque adeo tranquillo, ut volatus avium non pendeant, subtracto omni spiritu qui vehit; nec unquam nisi post ventos conditos, scilicet in veas et cavernas ejus occulto afflatu. Neque aliud est in terra tremor, quam in nube tonitruum; nec hiatus aliud quam cum fulmen erumpit, incluso spiritu luctante et ad libertatem exire nitente.*“

## 2.2. Die Autorität des ARISTOTELES im Mittelalter:

**ALBERTUS MAGNUS, Thomas VON AQUIN, Konrad VON MEGENBERG und PICO DELLA MIRANDOLA**

Während des Mittelalters und der frühen Neuzeit sind keine neuen theoretischen Vorstellungen über Ursachen und Mechanismen der Erdbeben-theorien entwickelt worden. Die Autorität des ARISTOTELES war so groß, dass alle Vorstellungen darüber nur Kommentare zu den Ansichten des ARISTOTELES waren, die fast wörtlich immer wiederholt

<sup>34</sup>) SENECA: Quaestiones naturalium Liber VI, cap. 11. – In: Opera Tom. I, S. 761.

<sup>35</sup>) SENECA: Quaestiones naturalium Liber VI, cap. 12. – In: Opera, Tom. I, S. 762.

<sup>36</sup>) SENECA: Quaestiones naturalium Liber VI, cap. 14. – In: Opera Tom. I, S. 763.

<sup>37</sup>) CAPELLE, W.: Erdbebenforschung. – S. 372.

<sup>38</sup>) SENECA: Opera, Tom I, S. 752.

<sup>39</sup>) PLINIUS: Historia naturalis II, 79.



wurden. Der einzige Unterschied zu ARISTOTELES bestand darin, dass von allen christlichen Autoren des Mittelalters Gott als die erste übernatürliche Ursache der Erdbeben bezeichnet wurde, während die natürlichen Ursachen, wie sie ARISTOTELES dargestellt hatte, nur als sekundär angesehen wurden. Während ARISTOTELES selbst sich in seinen theoretischen Ansichten durchaus auf empirische Fakten stützte, betrieben die Aristoteliker des Mittelalters keine empirische Forschung, sondern beschränkten sich auf die bloße Kommentierung der Schriften des ARISTOTELES. Diese Art, die gesamte Naturforschung nur aus den Büchern des ARISTOTELES zu betreiben, ging bekanntlich soweit, dass sich noch im 16. Jahrhundert der Paduaner Aristoteliker Cesare CREMONINI weigerte, durch das Fernrohr zu blicken<sup>40</sup>). Erst die Durchsetzung des copernicanischen Weltbildes und die Überwindung der aristotelischen Naturphilosophie durch die experimentelle Physik GALILEIS konnte auch den Weg zu neuen Entwicklungen in den theoretischen Ansichten über die Ursachen der Erdbeben freimachen. Bis dahin dominierte die Autorität des ARISTOTELES und der klassischen Autoren des Altertums.

Der größte Naturforscher dieser Zeit, ALBERTUS MAGNUS (1193–1280), bearbeitete hauptsächlich die Werke des ARISTOTELES und ihre arabischen und jüdischen Kommentare. Seine Erdbeben-theorie ist nicht viel mehr als eine freie Wiedergabe der aristotelischen Ansichten vermischt mit den Ideen des ANAXAGORAS.

Die Erdbeben werden auch für ihn durch den trockenen Dunst verursacht, der durch die Hitze der Sonne in den Eingeweiden der Erde entstanden ist:

*„Terraemotus causa materialis est, vapor siccus, et grossus valde et terrestis efficiens causa est calor solis penetrans in viscera terrae: locus est terra oppilata in superficie.“*

Ebenso kehrt auch die alte Vorstellung des ANAXAGORAS über die verstopften Poren der Erde bei ALBERTUS MAGNUS wieder. Er unterscheidet jedoch detaillierter drei Ursachen: Solche Verstopfungen der Poren der Erde geschehen entweder infolge des Nasswerdens des Bodens durch die Gezeiten in der Nähe des Meeres, oder durch häufige Regenfälle oder schließlich dadurch, dass die Erde felsig ist oder durchgängig aus Felsen besteht:

*„Terraemotus locus oppilatus est tribus de causis, aut quia est non arenosus, mari tamen vicinus, ita ut fluxus et refluxus sint ad terminos ipsius, et sic humido maris oppilatur locus: aut quia pluviiis multis oppilantur pori: aut quia terra est saxosa continua saxo.“*

Auf diese Weise haben sich dann auch die Gebirge der Erde gebildet. Mit dieser originellen Idee geht allerdings ALBERTUS MAGNUS über die Ansichten des ARISTOTELES weit hinaus<sup>41</sup>):

*„Terraemotus vapor, si est frigidus minor in loco non aquose et terre multum oppilati pori, elevabit terram, ita ut videbitur mons; vel collis, et si cum impetu non projicit in alium locum, tunc residet egresso vapore in toto, vel in parte: si multus et sint aquae in illo loco, absorbebit aquas donec resideat, quod elevatum est, si aqua est in profundo, projicit terram, et facit eam apparere.“*

In der Einteilung der verschiedenen Arten der Erdbeben und ihrer Mechanismen folgt jedoch ALBERTUS MAGNUS wieder genau der Aristotelischen Auffassung<sup>42</sup>):

<sup>40</sup>) Vgl. OESER, E.: Wissenschaftstheorie als Rekonstruktion der Wissenschaftsgeschichte. – Band 2, S. 31., Wien – München (Oldenbourg) 1979.

<sup>41</sup>) ALBERTUS MAGNUS: Liber de passionibus aeris, sive de vaporum impressionibus. – Zit nach: Florilegii magni seu Polyanthae floribus novissimis sparsae, libri XX. Jam olim a Domenico Nano Mirabellio, Bartholomaeo Amantio, Francisco Tortio, ex Auctoribus cum sacris, tum profanis vetustioribus et recentioribus, collectum. Studio dehinc et opera Jephth Languii Argentorati 1645. Art. Terraemotus, S. 2916 f.

<sup>42</sup>) ALBERTUS MAGNUS in 3. meteor. tract. 2.c.18.

*„Est item aliquando effectus terrae motus in modo diverso movendi terram quam concutit: aliquando enim movet motu agitato modo ad dextram, modo ad sinistram: aliquando autem subversivo subvertendo terram, ita quod inferius facit esse superius, et e converso: aliquando autem scissivo, faciendo tantum aperturam unam in ipsa: aliquando autem movet motu perforativo, faciendo plurima foramina non magna in terra: aliquando autem movet motu tremulo, sive motu titubationis, quando exitum naturalem egreditur, et statim redit ad eundem: aliquando autem movet motu ruinoso, quando superior pars terrae cadit in profundum: aliquando autem movet motu impulsivo, quando superior pars terrae longe repellitur a situ suo et loco: aliquando autem motu vectionis, ut quando superior pars ab inferiori vehitur: aliquando autem movet motu depressionis et elevationis, ut quando superficies terrae modo deprimitur, et mod exaltatur. Et hos omnes motus habet terrae motus: praeter motum quem habet in aqua, et praeter motum quem habet in igne et sulphure, de quibus supra dictum est: et horum omnium volo redere causas.“*

Schließlich macht noch ALBERTUS MAGNUS eine in der Geschichte der Erdbeben-theorien immer wiederkehrende Bemerkung. Er stellt nämlich fest, dass den Erdbeben häufig die Pest folgt<sup>43</sup>).

*„Scias etiam, quod frequenter pestilentia praecipue omnem sequitur terrae motum: vapor enim inclusus et privatus sic luce et aere libero grosso est habens quasi veneni naturam, et ideo animalia interficit, praecipue quae terra quasi semper proximum os tenent, sicut oves.“*

Der bedeutendste Schüler von ALBERTUS MAGNUS, Thomas VON AQUIN (1225–1274) stellt als Theologe und Philosoph die christliche Lehre vor die naturwissenschaftliche Erkenntnis. Für ihn werden Erdbeben prinzipiell von Gott verursacht und erst sekundär durch natürliche Ursachen wie Dämpfe oder Winde<sup>44</sup>).

*„Terraemotus causatur principaliter a Deo; secundario autem à vento impellente alium ventum in terra.“*

Im Übrigen folgt Thomas VON AQUIN der aristotelischen Erdbeben-theorie. Auch er sieht die natürlichen Ursachen des Erdbebens und der unterirdischen Donnergeräusche in den entzündeten oder trockenen „Ausatmungen“<sup>45</sup>):

*„Terraemotus, tonitruum et coruscatio possunt duobus considerari modis: primo formaliter ut terraemotus, est motus: tonitruum sonus factus ab exhalatione: coruscatio ab exhalatione incensa, et sic sunt diversae species: secundo ex eisdem generantur, et sic sunt idem specie, quia sunt exhalatione sicca.“*

Von ALBERTUS MAGNUS ist auch der Verfasser der ersten Naturgeschichte in deutscher Sprache Konrad VON MEGENBERG (1309–1374) beeinflusst. Bei der Beschreibung des Erdbebens, das im Jahre 1348 die Stadt Villach in Kärnten zerstörte, schloss er sich der Aristotelischen Auffassung an, dass die im Innern der Erde in Höhlen eingeschlossenen Dünste die Erschütterungen hervorrufen, wenn sie gegen die Wände stoßen und auszubrechen versuchen:

*„... der erbidem künnt da von, daz in der erden hölrn und allermaist in holem gepirge vil erdischer dünst gesament werdend, und daz der dünst also vil wirt, daz si niht dar inne beleiben mügent; so stozent si umb und umb an die wend und fliegend auz ainem kelr in den anderen und wahsent immer mer zuo, unz daz si ain ganz gepirg derfüllent ..... so nu die dünst lang gevehent in der hölrn, so wirt ir stozen ze letst so stark, daz si auz prechent mit*

<sup>43</sup>) ALBERTUS MAGNUS in 3. meteor. tract. 2.c.12.

<sup>44</sup>) B. Thom. super Psal. 12 col. 6.

<sup>45</sup>) D. Thom. in 2. meteor. lib.6.

gewalt und werfent ainen perg auf den anderen. mügent aber si niht auz geprechen, zehant so schüteln si doch daz ertreich vast...

Seine Darstellung spiegelt auch die zeitgenössischen aus der Bibel entlehnten Vorstellungen von den wunderwirkenden Folgen der Erdbeben, wie z.B. die Versteinerungen von Menschen und Tieren wieder, wenn er schreibt<sup>46)</sup>:

„... wizz auch, daz der erpidem vil wunderleicher werck würkt. daz ain ist, daz dike von dem dunst, der aufget von dem erpidem, läut und andreu tier ze stainen werdent und allermeist ze salzstainen und allermaist auf dem gepirg und da pei, da man salzerz grebt.“

Noch im 16. Jahrhundert fühlten sich die Wissenschaftler einer Gotteslästerung schuldig, wenn sie auf Naturbeobachtungen wie Erdbeben verwiesen. Dieser Umstand macht es auch verständlich, warum z.B. Wolfgang LINDNER<sup>47)</sup> die Darstellung seiner Erdbeben-theorie mit einer Entschuldigung beginnt. Als Augenzeuge des destruktiven Erdbebens vom Jahre 1590 in Niederösterreich schreibt er:

„Hic studio praetereo, quae alibi damna ex tantis terrae motibus consecuta sint. Etsi manifesta Dei punitio fuit et praesagium futuri belli turcici, tamen fieri potuit, ut ex causis naturabilibus suam originem sumpserit.“

Nach dieser Einleitung lässt er dann seine Theorie folgen, in der Wasser die entscheidende Rolle beim Entstehen dieses Erdbebens spielt. Zehn Wochen vor diesem Ereignis gab es eine so große Hitze, dass sich Risse und Spalten auf der Oberfläche des ausgetrockneten Bodens bildeten, durch welche die Luft in die Erde eindringen konnte. Einige Tage später folgte ein starker Regen, der die Flüsse außerordentlich hoch anschwellen ließ, so dass das tiefer liegende Land überflutet wurde. Deshalb wurden die „Winde“ im „Bauch der Erde“ eingeschlossen und dann mit explosivem Donnern freigesetzt.

Der italienische Humanismus, vertreten durch G.F. PICO DELLA MIRANDOLA (gest. 1533), Neffe des berühmten Giovanni PICO DELLA MIRANDOLA (1463–1494), ordnete ebenfalls die Philosophie und Naturwissenschaft den religiösen Interessen unter. Seine Überlegungen über die Ursachen der Erdbeben in seiner Schrift „Examen vanitatis doctrinae gentium et veritatis Christianae disciplinae“ beschränken sich auf eine kurze Bemerkung über Nicolaus CUSA und eine Aufzählung der antiken Autoren<sup>48)</sup>:

„Terraemotus causam Nicolaus Cusa esse dixit, quod terra tremat intus, quo motu et tremore corrumpant. Anaximenes siccitatem, et raritatem terrae causam esse putavit, Anaxagoras aerem, alii ignem, Stoici humorem, qui in aerem succedit, et excidit, Peripatetici pugnam caloris et frigoris. Nam quum calidum ad superiora contendat, ejus adversa exhalatio obsistat, excitat commotionem. Metrodorus non putat moveri naturaliter, sed aliquos locos ab aliis impelli. Democritus et Parmenides non moveri terram quum aequaliter ab omnibus partibus distet, sed solum quassari. Anaximenes ob latitudinem cubare, alij malunt eam super aquam moveri, non secus ac quae ea latitudine pollent.“

<sup>46)</sup> MEGENBERG, K. v.: Das Buch der Natur 1349, hrsg. von F. Pfeiffer. – Stuttgart 1861, S. 107 ff.

<sup>47)</sup> Zit. nach SCHIFFMANN, K. (Hg.): Die Annalen (1590–1622) des Wolfgang LINDNER. – In: Archiv für die Geschichte der Diözese Linz, Beilage zum Linzer Diözesenblatt, hrsg. vom bischöflichen Ordinariat, Jg. VI/VII (Linz 1908) 9/10.

<sup>48)</sup> Joan Picus MIRANDOLA in exam. vani. doct.gent. lib, 1 cap 12.

### 2.3. Der Einfluss der Copernikanischen Astronomie: Erdbeben-theorien in der frühen Neuzeit: LEONARDO DA VINCI, Giordano BRUNO und KEPLER

Am Beginn der Neuzeit entwickelte LEONARDO DA VINCI (1452–1516) ganz neue Vorstellungen von der Position der Erde im Weltall und ihrem inneren Aufbau. Noch vor COPERNICUS behauptete er bereits ausdrücklich, dass die Sonne still stehe und die Erde ein Stern sei<sup>49)</sup>. Wenn er aber auch feststellt, dass der Mittelpunkt des Weltalls nicht in der Erde liege, dann vertritt er damit noch nicht das heliozentrische Weltsystem, sondern seine eigentümliche Vorstellung vom inneren Aufbau der Erde.

Er nahm an, dass die Erde nicht nur an ihrer Oberfläche größtenteils mit Wasser bedeckt sei, sondern auch im Inneren wie ein Gefäß voll mit Wasser sei. Denn nach seiner Meinung müsste das Wasser in einem zehnfachen Verhältnis zur Erde stehen. Die sichtbaren Meere an der Oberfläche der Erde reichen dazu nicht aus. Deshalb muss noch viel mehr Wasser im Inneren der Erde sein. Mit einem Querschnitt durch die Erdkugel versucht LEONARDO diese Verhältnisse zu verdeutlichen<sup>50)</sup>:

- Mit tatsächlicher Verteilung von Erdmassen (Land und Gebirge) und Wasser (Ozeane, Seen und Flüsse an der Oberfläche, Wasserkugel im Inneren).
- Mit idealer Verteilung von Erdmassen und Wasser bei vollkommen glatter Oberfläche.

Während die feste Erde die Tendenz hat, gleichschwere Gewichte in entgegengesetzter Richtung um den Mittelpunkt der Welt zu verteilen, versucht das flüssige Wasser alle Teile nach den LEONARDO bekannten Gesetzen der Hydrodynamik gleichweit davon zu verteilen. Nach LEONARDO könnte der Schwerpunkt der Erde nur in zwei Fällen mit dem Mittelpunkt der Welt zusammenfallen: Wenn die Erde völlig kugelförmig wäre und entweder ganz mit Wasser bedeckt wäre, oder wenn ihre entgegengesetzten Teile außerhalb des Wassers das gleiche Gewicht hätten. Da aber das Wasser in weitverzweigten Adern mit der Erde vermischt ist, kann es sich dabei nur um eine vom Mittelpunkt gleichweit entfernte Oberfläche handeln, aus der das Festland und die Berge hervorragen (Abb. 5).

Die Erdbeben entstehen dadurch, dass beim Einsturz der immer höher steigenden Berge die Luft in ihren Höhlen eingeschlossen wird und dann beim gewaltsamen Entweichen die Erde sprengt. Auf ähnliche Weise als Einsturz des Meeresbodens erklärt auch LEONARDO das Seebeben im Jahre 1489, das sich im Meer von Satalia bei Rhodos ereignete. Bei diesem Beben bildete sich am Meeresgrund eine Öffnung, in der eine so große Wasserflut verschwand, dass der Meeresgrund für mehr als drei Stunden freigelegt wurde<sup>51)</sup>.

Für LEONARDO, der mit seiner Erklärung der Erdbeben sowohl als Vertreter der alten pneumatischen Hypothese als auch als Vorläufer der Neptunisten anzusehen ist, sind daher auch die Vulkanausbrüche auf eine gänzlich andere Ursache als die Erdbeben zurückzuführen. In Analogie zu einem lebendigen Organismus, bei dem die Erde das Fleisch, die Steine die Knochen und das Wasser die Adern darstellen, ist nach LEONARDO das Feuer, das in der Erde eingeschlossen ist, als Wärme der unbewussten „Erdseele“ anzusehen, die sich an verschiedenen Stellen der Erde aus heißen Quellen, Schwefel- und Vulkanausbrüchen Luft macht<sup>52)</sup>.

<sup>49)</sup> LEONARDO DA VINCI: Quaderni d'Anatomia, Windsor V, 25 r; Ms Institut de France F 25 v. – In: Tagebücher und Aufzeichnungen nach den italienischen Handschriften übers. und hrsg. von Th. LÜCKE, S. 188, S. 200.

<sup>50)</sup> LEONARDO DA VINCI: Cod. Leicester, 36. LÜCKE, S. 256.

<sup>51)</sup> LEONARDO DA VINCI: Cod. Leicester, 243.

<sup>52)</sup> LEONARDO DA VINCI: Cod. Leicester, 46.

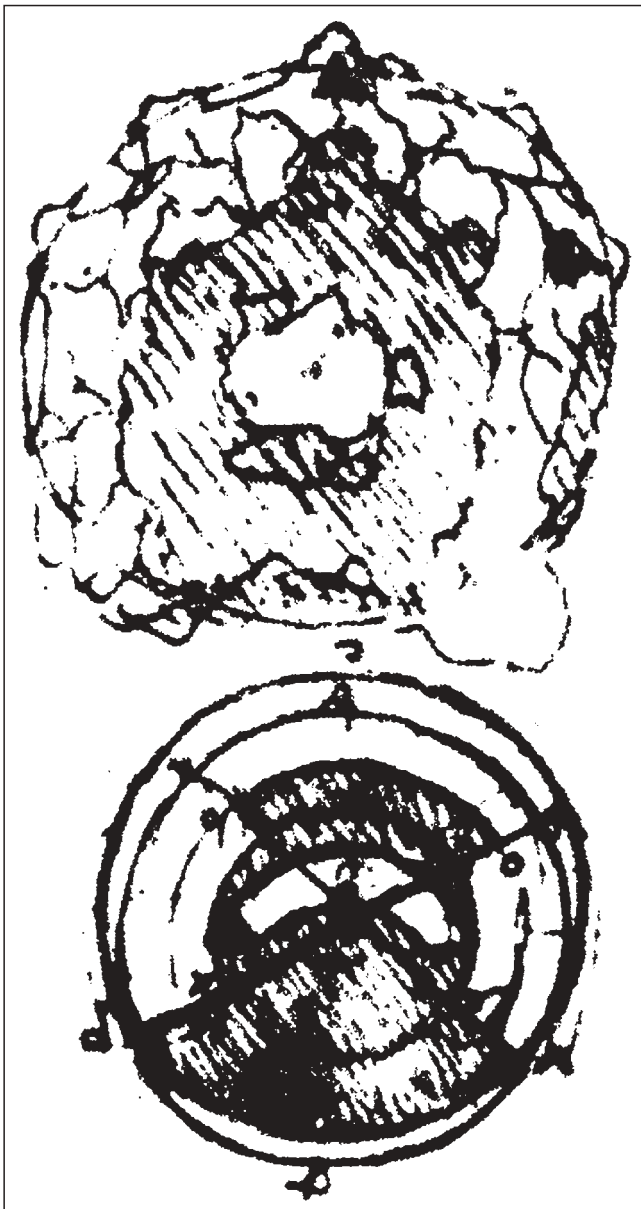


Abb. 5.  
Querschnitt durch die Erde von LEONARDO DA VINCI .  
Cod. Leicester, fol. 36 recto.

Giordano BRUNO (1548–1600), der bereits mit dem Copernikanischen Sonnensystem vertraut war, dehnte diese Vorstellung von der Erde als lebenden Organismus auf alle Weltkörper aus.

Im Gegensatz zu ARISTOTELES und seiner Stufenleiter der Natur, die vom dichtesten und schwersten Stoff, Erde und Wasser, zu immer feineren und leichteren Stoffen wie Dampf, Luft, Feuer und Äther emporsteigt, sind für ihn die Himmelskörper nicht aus einer eigenen Himmelsmaterie zusammengesetzt, sondern bestehen wie die Erde selbst aus Erde, Wasser, Luft und Feuer. Wenn in der Art der Zusammensetzung das Feuer überwiegt, heißen sie Sonnen, die eigenes Licht ausstrahlen, sofern aber das Wasser vorwiegt, sind sie Erden, Monde und ähnliche Gestirne, die von der Sonne ihr Licht empfangen<sup>53)</sup>:

*„Perche dico vno essere il continente et comprensor di tutti corpi, et machine grandi, che ueggiamo come dissemi-*

*nate et sparse in questo amplissimo campo: oue ciascuno di cotai corpi, astri, mondi, eterni lumi, è composto di ciò che si chiama terra acqua aria fuoco.“*

Deshalb kann man nach Giordano BRUNO annehmen, dass unter den unzähligen Sternen ebensoviele Monde, ebensoviele Erdkugeln, ebensoviele diesen ähnliche Weltkörper sind, für die es ebenso den Anschein hat, als ob diese Erde sich um sie bewege, wie jene um diese Erde sich zu drehen und zu kreisen scheint<sup>54)</sup>:

*„Onde possiamo stimare che de stelle, innumerabili sono altre tante lune, altre tanti globi terrestri, altre tanti mondi simili á questo, circa gli quali par che questa terra si uolte, come quelli appaiono riuolgersi et aggirarsi circa questa terra.“*

Alle diese Weltkörper sind für Giordano BRUNO nicht nur Anhäufungen toter Materie, sondern Lebewesen, die wie bei den Tieren ihre besonderen Lebensgeister und ihre Wärme besitzen. Und wie die Tiere haben alle Weltkörper, die sowohl Maschinen als auch Organismen sind, eine komplexe Anordnung. Denn Felsen, Seen, Flüsse, Quellen, Meere, Sandwüsten, Metalle, Höhlen, Berge, Ebenen usw. entsprechen Knochen, Eingeweiden, Venen, Arterien, Fleisch und Nerven, die sich zu Organen und Gliedmaßen anordnen. Folgerichtig sieht dann auch Giordano BRUNO meteorologische Ereignisse wie Nebel, Regen, Blitze, Donnerwetter und schließlich auch die Erdbeben als Krankheiten dieser großen Körper an, denen in den kleinen organischen Körpern Katarrhe, Ausschlag, Schwindel, Fieber und Entzündungen entsprechen<sup>55)</sup>:

*„In questi dumque astri ó mondi (come le uoglam dire) non altrimenti si intendono ordinate queste parti dissimilari secondo uarie et diuerse complessioni, di pietre, stagni, fiumi, fonti, mari, arene, metalli, cauerne, monti, piani, et altre simili specie di corpi composti, de siti, et figure: che ne gl' animali son le parti dette etherogeenae secondo diuerse et uarie complessioni di ossa, di intestini, di uene, di arterie, di carne, di nerui; di pulmone, di membri di un' altra figura, presentando gli suoi monti, le sue ualli, gli suoi recessi, le sue acqui, gli suoi spiriti, gli suoi fuochi, con accidenti proportionali á tutte metheoriche impressioni quai sono gli catarri, le erisipile, gli calculi, le uertigini, la febrì, et altre innumerabili dispositioni, et habiti, che rispondeno alle nebbie, piogge, neuì, caumi, accensionì, alle saette [,] tuoni, terremoti etuenti, á feruide, et algoe tempeste.“*

Die Beseelungstheorie der Weltkörper übernimmt auch der große Astronom Johannes KEPLER (1571–1630), um die Ursachen der Erdbeben zu erklären. Er greift jedoch in der Wiedererneuerung dieser Lehre viel weiter auf den italienischen Aristoteliker JULIUS CAESAR SALIGER zurück, der zu den 15 Büchern „De subtilitate“ von HIERONYMUS CARDANUS einen Kommentar unter dem Titel „Exercitationes exotericæ“ schrieb. Von dieser Schrift, in der die Lehre von den bewegenden Seelenkräften im Universum vertreten wurde, war der junge KEPLER so erfüllt, dass er in seinem ersten astronomischen Werk „Mysterium cosmographicum“ (1596) die bewegende Ursache der Planeten als eine Seele (anima) bezeichnete<sup>56)</sup>. Obwohl er später in der zweiten Auflage (1621) das Wort „anima“ durch das Wort „vis“ (Kraft) ersetzte, verwendete er bei der Erklärung der Erdbeben in seiner „Harmonice Mundi“ 1619 noch immer die Vorstellung von der Erde als einem beseelten Organismus. Er verbindet sie sogar ganz ausdrücklich mit den schon längst von ARISTOTELES verworfenen astrologischen Ansichten von der Verknüpfung meteorologischer Ereignisse und Erdbeben mit den Konstellationen der Planeten

<sup>53)</sup> BRUNO, G.: Le opere italiane, Vol. I, S. 353.

<sup>54)</sup> BRUNO. – a.a.O. S. 352.

<sup>55)</sup> BRUNO. – a.a.O. S. 353.

<sup>56)</sup> Vgl. OESER, E.: KEPLER, Die Entstehung der neuzeitlichen Wissenschaft. – Göttingen – Zürich – Frankfurt 1971.

und dem Erscheinen von Kometen. KEPLER geht so weit, dass er sowohl ARISTOTELES als auch AGRICOLA beschimpft, die diese Ereignisse auf rational erklärbare irdische Ursachen wie trockene und feurige Dämpfe zurückführen. Auch die großartige Widerlegung der Astrologie durch den älteren PICO DELLA MIRANDOLA regte KEPLER eher zum Widerspruch als zur Ablehnung der astrologischen Lehre von den Aspekten an. Nicht die Konstellation der Planeten als solche, d.h. ihre Nähe und Winkelbildung zueinander macht den Aspekt in seiner qualitativen Eigenschaft aus, sondern die geistige Relation solcher Qualitäten. Eine solche geistige Relation ist nicht Sache des Körpers, sondern einer Seele. Und diese seelische Kraft, die bei der Konstellation zweier Planeten auftritt, bedarf auf der irdischen Seite ebenfalls einer Seele, die von diesem Aspekt gemahnt und gleichsam aufgerüttelt wird<sup>57)</sup>:

„*Quae si quis diligenter perpenderit, nullà is difficultate secum concludere poterit, ut Numerum, sic has quoque commotiones momentaneas, ab Aspectu, Rationis Ente, profectas, non corporis esse sed Animalium facultatum: Animam itaque esse oportere, quae ab Aspectu admonita et velut excitata, cieat meteora et tempestates.*“

Auch die Tatsache, dass das Auftreten von Unwetter nicht immer mit den Aspekten zeitlich übereinstimmt, stört KEPLER nicht. Er findet dafür ebenfalls eine Erklärung, die ihn noch weiter in die Analogie zwischen Erde und einem beseelten Lebewesen führt. Denn die Erde ist für ihn nicht ein Tier von der Art des Hundes, der auf jeden Wink pariert, sondern hat die Art eines Ochsen und Elefanten, die nicht leicht in Zorn zu bringen sind, aber dann umso heftiger wüten<sup>58)</sup>:

„*Hic valde me confirmavit id opus, quod alium aliquem abstertere potuit; scilicet, quòd non semper ad amussim respondent commotiones Tempestatum Aspectibus; sed terra subinde segnis videtur et contumax: alio tempore (scilicet post graves et diuturnas configurationes) exacerbata, indulget evaporationibus, etiam sine aspectuum continuatione. Non est quippe Terra, animal tale, quale Canis, ad omnem nutum promptum; sed tale, quale Bos aut Elephas, tardum ad iram, tantòque violentius, cùm excanduit.*“

Auf diese Weise kommt auch KEPLER zu einer genauen Entsprechung des Aufbaues des Erdinnern mit der Organisation eines Tierkörpers: Wie nämlich der Körper auf der Oberfläche der Haut Haare, so bringt die Erde Pflanzen und Bäume hervor, und wie dort Läuse entstehen, so hier Raupen, Grillen und andere Insekten sowie Meeresungeheuer. Wie der Körper Tränenflüssigkeit, Nasenschleim, Ohrenschmalz, bisweilen auch eine klebrige Flüssigkeit aus Pusteln im Gesicht ausscheidet, so die Erde Bernstein und Erdpech. Wie die Blase den Urin fließen lässt, so die Berge Flüsse. Wie der Körper ein Exkrement von schwefeligem Geruch und laute Winde, die entzündbar sind, von sich gibt, so die Erde Schwefel und unterirdisches Feuer unter Donner und Blitz. Wie in den Adern des Tieres Blut entsteht und damit auch der Schweiß, der aus dem Körper ausgeschieden wird, so in den Adern der Erde Metalle und Kristalle sowie Regendampf<sup>59)</sup>.

„*Quae analogie cùm succederet, effecit, ut eandem ulterius prosequeretur, comparans etiam corpora Animantium cum corpore Terrae: videbam pleraque omnia, quae ex corpore animantis provenientia, testantur animam in illo inesse, provenire etiam ex Telluris corpore. Vt enim corpus in cutis superficie pilos, sic terra plantas arboresque profert; inque ijs ibi pediculi, hìc erucæ, cicadae, variaque insecta*

*et monstra marina nascuntur: et ut corpus lachrymas, blennam, auriumque recrementa, est ubi et gummi ex faciei pustulis, sic Tellus electrum, bitumen: utque vesica urinam: sic montes flumina fundunt; et ut corpus excrementum sulphurei odoris, crepitusque, qui etiam inflammari possunt, sic Terra Sulphur, ignes subterraneos, tonitrua, fulgura: utque in venis animantis generatur sanguis, et cum eo sudor, extra corpus ejectus; sic in venis terrae, Metalla et fossilia, vaporque pluvius*“

In noch viel direkterer Weise als Giordano BRUNO, der wie LEONARDO DA VINCI von der Vorstellung ausgeht, dass die Erdkugel innen mit Wasser gefüllt ist, nimmt KEPLER an, dass die Seele der Erde sich nicht nur an der Oberfläche, sondern auch im Inneren der Erde, in den unterirdischen Höhlen, und in den Gängen der Berge befindet<sup>60)</sup>.

„*... erit igitur anima ista, non in superficie tantummodò telluris, sed intus etiam in cavernis subterraneis, in meatibus montium; denique Terrae globus tale corpus erit, quale est alicujus animalis: quodque animalis est sua Anima, hoc erit Telluri haec, quam quaerimus, Natura sublunaris, quae ad praesentiam aspectuum movet tempestates.*“

Als empirischen Beweis für die Existenz einer Seele im Erdinnern sieht KEPLER in folgender, in vielen Ländern bestätigter Tatsache: Wirft man einen kleinen Stein von der Spitze eines sehr hohen Berges in die sehr tiefen Spalten, die man dort vorfindet, wodurch gewöhnlich ein Geräusch erzeugt wird, oder in einen Bergsee (der nach seiner Meinung zweifellos auch keinen Grund hat), so erhebt sich auf der Stelle ein Unwetter. So fahren auch Tiere zusammen, wenn man in ihre empfindlichen Ohren- oder Nasengänge etwas hineinsteckt und sie damit kitzelt; sie schütteln ihren Kopf oder stürmen im Galopp davon<sup>61)</sup>:

„*Quid quòd et sensus quidam vel tactus vel auditus Telluris globo inesse videtur, argumento hoc, quòd constanti plurimarum provinciarum traditione confirmatur, si quis in altissimorum montium cacumina enisus, lapillum in hiatus quos habent illi profundissimos conjiciat, unde solet excitari sonitus; aut si in lacum montanum (qui procul dubio et ipsi fundo carent); è vestigio tempestates excitari. Sic enim et animalia, si quis in teneros aurium nariumve meatus titillans, aliquid inserat; horrore correpta, caput quassant, aut in cursus se praecipitant.*“

Auf Grund dieser Beseelungstheorie der Erde verwirft auch KEPLER die rein mechanisch-physikalische Erklärung der Erdbeben durch die Wirkung eines Kometen. Denn er war sich sicher, dass ein Komet weder ein feuriger brennender Körper ist, noch überhaupt der Erde so nahe kommt. Denn seit den Beobachtungen Tycho BRAHES wusste er, dass die Kometen keine atmosphärischen Erscheinungen, sondern Himmelskörper sind, die sich weit über dem Mond im Weltraum befinden<sup>62)</sup>:

„*Denn das die Cometen meistens weit über dem Mond und tieff im Himmel drinnen seyn ist von dem hochberühmten Tychone Brahe statlich erwiesen.*“

Deshalb lehnt er auch die Vorstellung ab, dass die Hitze des Kometen die Erde austrocknet, Winde erzeugt, durch Rauch die Luft verpestet und sogar unter der Erde einen Wind hervorruft, der die Erde erbeben lässt<sup>63)</sup>.

„*Denn das ich die Wahrheit sage / so wil mir diese weise / fast gleich / so wenig eingehen / als diejenige / davon theils Aristoteles / theils nach ihm die Calenderschreiber andeu-*

<sup>57)</sup> KEPLER, J.: Harmonice Mundi, lib. IV, cap. VII. – Gesammelte Werke, Hrsg. v. M. CASPAR. Bd. 6, S. 268.

<sup>58)</sup> KEPLER. – a.a.O. S. 268.

<sup>59)</sup> KEPLER. – a.a.O. S. 268 f.

<sup>60)</sup> KEPLER. – a.a.O. S. 268.

<sup>61)</sup> KEPLER. – a.a.O. S. 269 f.

<sup>62)</sup> KEPLER, J.: Ausführlicher Bericht Von dem newlich im Monat Septembri und Octobri diß 1607 Jahrs erschienen Haarstern/oder Cometen/und seinen Bedeutungen (Hall in Sachsen 1608). – In: Gesammelte Werke. Hrsg. M. CASPAR und F. HAMMER, Bd. 4, S. 59.

<sup>63)</sup> KEPLER. – a.a.O. S. 61 f.

tung thun / welche lächerlicher weise fürgeben / ein Comet bringe darumb grossen Wind / weil er ein brinnendes Feuer sey / und die Flamme nicht alle Feistigkeit verzehren möge / sondern den Rauch auff allen seyten von sich schlahe / und also einen Wind verursache: Und aus solchen Winden das Meer bewegt / auff das Land getrieben / und hierdurch Gewässer verursacht werden. Item / das ein Comet der Erden ihre Krafft und Feuchtigkeit entziehe; Ich möchte wissen / mit was für einem Kopff oder ventosen das zugienge. Item / das von dem Rauch dieses Brands die Luft vergiffet werde; als wenn man ein Liecht außleschet / und den Butzen stincken lesset. Item / dass der Comet einen Wind unter der Erden / an verschlossenen Orten erwecke / welcher die Erde beben und zittern mache.“

Trotzdem aber können für KEPLER die Kometen auf ganz andere Weise die Ursache von Erdbeben und anderen Katastrophen sein. Es ist nach seiner Meinung die Erdseele, die auf diese Weise reagiert, wenn am Himmel etwas Seltsames geschieht. So entsetzt sich auch beim Erscheinen eines Kometen die Seele im Inneren der Erde und treibt an manchen Stellen viele feuchte Dünste aus, woraus Regen und Überschwemmung und dadurch allgemeine Seuchen, Katarrh oder gar Pestilenz entstehen. An Stellen, wo die Feuchtigkeit der Erde erschöpft ist, greift die durch den Kometen erregte Kraft dann die dünnen Dämpfe an, erzeugt Schwefel und Pulver, das in Brand gerät und dann die Erdbeben verursacht<sup>64)</sup>:

„Von diesem allem ich (weil gewiß / dass der Comet nicht brenne / auch nicht so nahe an der Erden stehe) weniger denn nichts halte / so lang es an einer lebhaften Krafft mangelt / die an deß abwesenden Cometen statt / solche oder dergleichen Dinge in dem Erboden wircke. Derhalben so etwas daran / das nach Ordnung der Natur / die besagte Zustände / als Wind / Gewässer / Trückne / Erdbeben / Pestilenz / durch einen Cometen verursacht / und also vobedeutet werde / so muß es folgender gestallt zugehen. Wann etwas seltsames / entweder von starcken constellationibus, oder von neuen Haarsternen / im Himmel entsteht / so empfindet solches / und entsetzet sich gleichsam darob die ganze Natur und alle lebhaftte Kräfte aller natürlichen dinge. Diese sympathia mit dem Himmel / gehet sonderlich die jenige lebhaftte Krafft an / so in der Erden steckt / und deroselben innerliche Wercke regieret / davon sie gleichsam entsetzet / an einem Ort / nach dessen qualitet / viel feuchte Dämpffe aufftreibet / und herfür schwitzet; darauß langwiriger Regen und Gewässer / und damit (weil wir auß der Luft leben) allgemeine Landseuchen / Hauptwehe / Schwindel / Catharr (wie Anno 1582.) auch gar die Pestilenz (wie Anno 1596.) entsteht. Oder da die Erdkugel etwa an einem Ort an Feuchtigkeit erschöpft; dann so greift diese / durch den Cometen erhitzte lebhaftte Krafft deß Erdbodens an / was sie findet / nemlich dürre Dämpffe / welche die Erde unfruchtbar machen: und machts / schwefelt / pulverisirts / und treibet es auff ihre verborgene Art / so lang / das endlich das Pulver unter der Erden angehen / und mit macht einen Außgang suchet / also ein Erdbeben verursacht wird.“

#### 2.4. Zentralfeuer und lokale Brandherde als Ursache der Erdbeben: AGRICOLA, DESCARTES, KIRCHER, LYSER, LEIBNIZ, BAGLIVI und MORO

Im weiteren Verlauf der Entwicklung der Erdbeben-theorie setzte sich jedoch nicht diese phantastische aber

<sup>64)</sup> KEPLER, J.: Ausführlicher Bericht Von dem newlich im Monat Septembri und Octobri diß 1607 Jahrs erschienen Haarstern/oder Cometen/und seinen Bedeutungen (Hall in Sachsen 1608). – In: Gesammelte Werke. Hrsg. M. CASPAR und F. HAMMER, Bd. 4, S. 62.

durchaus realistisch gemeinte Analogie vom Erdkörper und Lebewesen durch, sondern die auf den Erfahrungen des Bergbaues beruhenden Ideen des Georg BAUER (1494–1555), besser bekannt durch den lateinischen Namen AGRICOLA. Er war der alten Meinung, dass das unterirdische Feuer durch die Strahlen der Sonne entzündet worden seien, entgegengesetzten. Statt dessen nahm er einen „Feuergeist“ (spiritus ignitus) an, der sich selbst entzündet, wenn er aus den unterirdischen Höhlen einen Ausweg sucht<sup>65)</sup>:

„Nam cum Solis radij, qui maximam vim caloris habent, non inflamment locos bituminosos, vel sulfurosos aëri expositos; qui possunt incendere inclusos penitus in venis atque visceribus terræ? In quos etiamsi penetrare possent, vim tamen suam, fractam subterraneis frigoribus conferrent. Jam vero usqu. eò ipsos non pervenire metallorum fossores norunt. Igitur multo minus alliarum stellarum vires ignem intra terram gignere nequeunt. Sed eum accendit spiritus ignitus. Is verò ignescit, cum ipsum frigus vel expremat tam quam nubes fulgura elidunt: vel in locorum angustias impellit: per quas se torquens, exitumqu. quaeres ipso conflictu et attritù exardescit ac inflammatur.“

Ähnliche Ansichten hat auch DESCARTES über die Ursachen der Erdbeben vertreten. Er nahm keine direkte Verbindung zwischen dem „Zentralfeuer“ und den lokalen Brandherden in der äußeren Erdrinde an.

Der feuerflüssige sonnenhafte Erdkern ist nach seiner Meinung mit einer festen, aus Metallen bestehenden Kugelschale umgeben, auf die dann eine aus Wasser und eine aus Luft bestehende Schale folgt. Darüber liegt dann frei schwebend die äußere Erdrinde, die jedoch an manchen Stellen eingebrochen ist und dadurch Berge und Meere gebildet hat. Die Erdbeben wie auch die Vulkanausbrüche entstehen dadurch, dass sich in den Ritzen und Höhlungen der Erdrinde Schwefeldämpfe durch einen zufälligen Funken entzünden und die Wände der Höhlungen erschüttern.

„Sed cum celerius agitantur, quam ut ita in oleum verti possint, si forte in rimas et cavitates terrae magna copia

<sup>65)</sup> AGRICOLA: De ortu et causis subterraneorum. – Lib II, cap XX, Basel 1558.

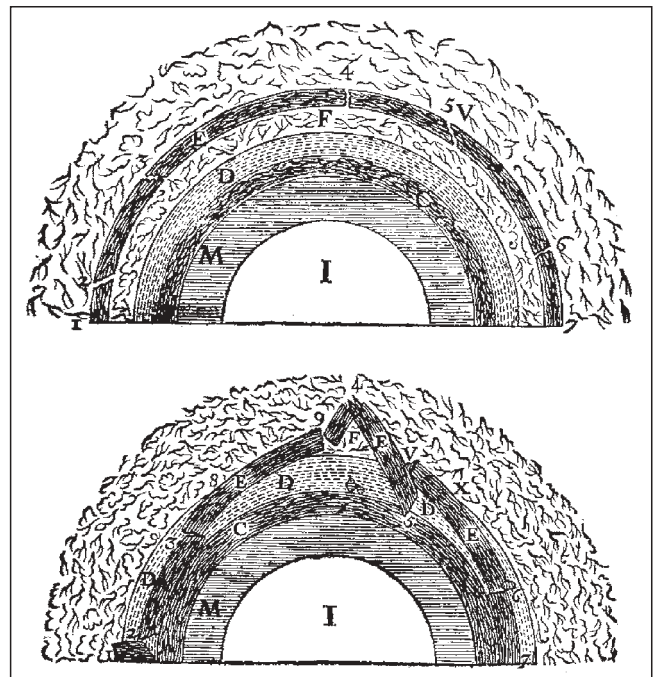


Abb. 6. Das Erdschalenmodell von DESCARTES (Principia Philosophiae, 1644).

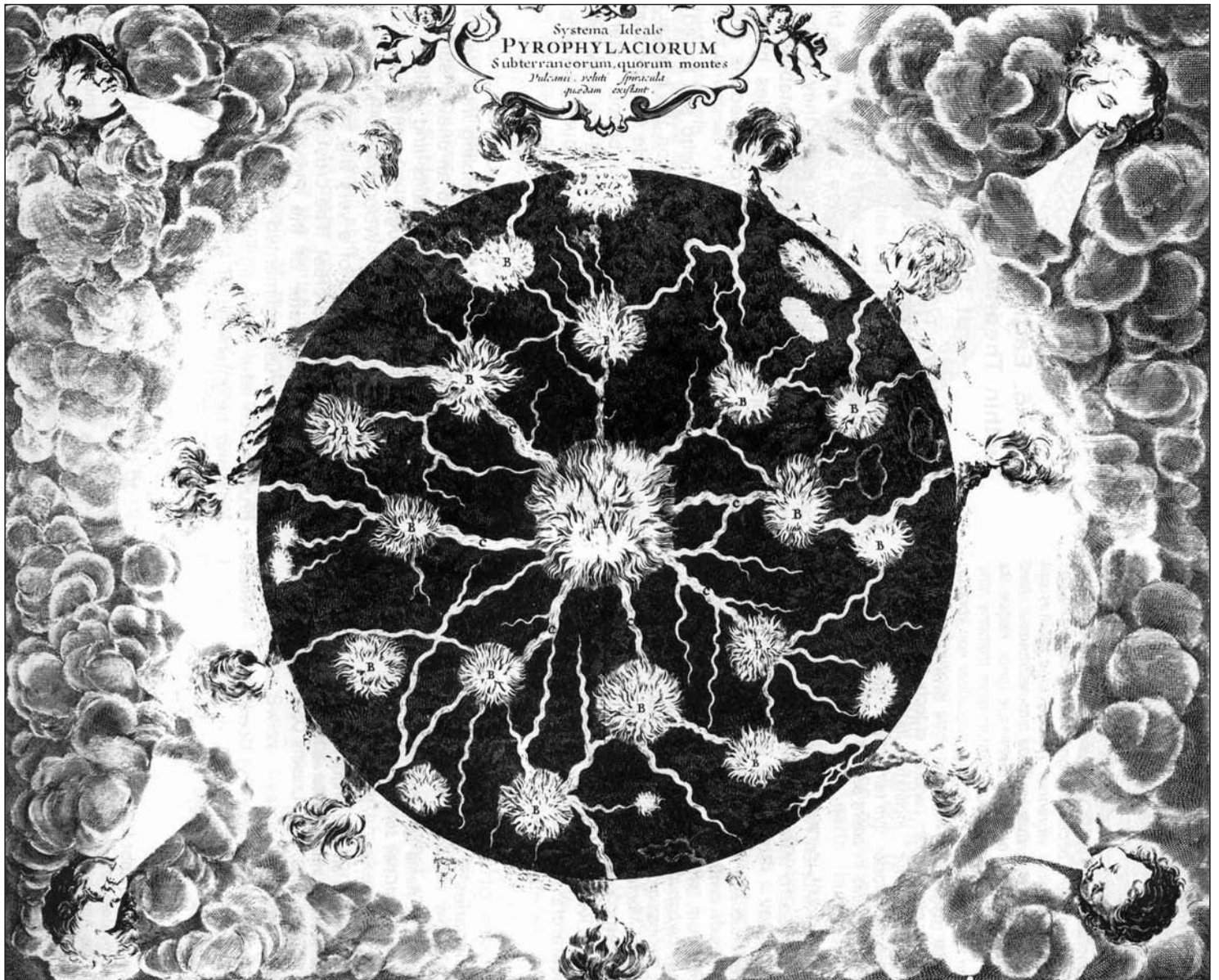


Abb. 7.  
Zentralfeuer, Feuerherde und Vulkane nach A. KIRCHER (Mundus subterraneus, 1665).

*affluent, pingues ibi et crassos fumos componunt, non absimiles iis qui ex candela recens extincta egrediuntur; ac deinde, si quae forte ignis scintilla in istis cavitatibus excitetur, illi fumi protinus accenduntur, atque subito rarefacti, omnes carceris sui parietes magna vi concutiunt, praesertim cum multi spiritus ipsis sunt admisti: et ita oriuntur terrae motus.*

Erdbeben dauern oft stunden- und tagelang, weil es meistens mehrere Höhlen sind, die hintereinander in Explosion geraten<sup>66)</sup>:

*„Denique, durat aliquando terrae-motus per aliquot horas, aut dies; quia non una tantum continua cavitas esse solet, in qua pingues et inflammabiles fumi colliguntur, sed plures diversae, terra multo sulphure aut bitumine saturata disjunctae; cumque exhalatio in unis accensa, terram semel concussit, aliqua mora intercedit, priusquam flamma per meatus sulphure oppletos, ad alias possit pervenire.“*

Die Abbildung 6 zeigt das Erdschalenmodell von DESCARTES. Es macht anschaulich, wie die Erdkruste in Stücke

bricht, wodurch einesteils Berge entstehen, während andere Teile in die darunterliegende mit Luft gefüllte Schale geschoben werden.

Man sieht hier viele Elemente der modernen Theorie der Plattentektonik vorweggenommen, wie die Plattengrenzen, die bei der Entstehung von Erdbeben eine wichtige Rolle spielen. Der gekippte Block E in dieser Abbildung deutet ein Konzept an, das nicht weit von unseren heutigen in den modernen Lehrbüchern der Seismologie wohlbekannten Vorstellungen über die zu Erdbeben neigenden Subduktionszonen der Lithosphäre entfernt ist.

In der darauf folgenden Zeit nahm der Jesuit Athanasius KIRCHER<sup>67)</sup> (1601–1680) die Vorstellung von einem Zentralfeuer in seinem berühmten Buch „Mundus subterraneus“ (1665) wieder auf (Abb. 7). Diese Vorstellung vom „Zentralfeuer“ als direkte Ursache sowohl der Vulkanausbrüche als auch der Erdbeben reichte jedoch nicht aus, um die Vorgänge an der Erdoberfläche zu erklären. Deshalb nahm bereits Athanasius KIRCHER außer dem Zentralfeuer noch

<sup>66)</sup> DESCARTES, R.: Principia Philosophiae – Ultima Editio, S. 168, Amsterdam 1664.

<sup>67)</sup> KIRCHER, A.: Mundus subterraneus. – 3. ed. 2 vol., Amsterdam 1678.

<sup>68)</sup> De solido inter solidum naturaliter contenento. – Florenz 1669.

weitere Feuerherde (Pyrophyllacia) an, die durch den Brand von Schwefel, Bitumen und Steinkohle entstanden sind und mit dem Zentralfeuer durch unterirdische Hohlräume und Gänge in Verbindung stehen.

Auch der dänische Arzt Nikolaus STENO (1638–1687) schrieb in seiner im Jahre 1669 in Florenz erschienenen kleinen Schrift<sup>69)</sup> dem unterirdischen Feuer eine wichtige Rolle zu. Im Unterschied zu den phantastischen Vorstellungen von KIRCHER stützte sich jedoch STENO vielmehr auf die empirische Erfahrung. Den Bergleuten des 16. Jahrhunderts war bereits die regelmäßige Aufeinanderfolgen von Gesteinsschichten bekannt. STENO war jedoch der Erste, der daraus theoretische Folgerungen zog. Durch genaue Untersuchungen der geologischen Verhältnisse der Toskana wies er sowohl das Entstehen der einzelnen Schichten in zeitlicher Reihenfolge nach, als auch die Veränderung dieser Schichtlagen durch Hebung und Einsturz in Form von gewaltigen Erdbebenkatastrophen. Er sah darin den Hauptursprung der Berge an und wandte sich gegen die von LEONARDO, BRUNO, KEPLER und auch von KIRCHER vertretene Ansicht, dass Berge wie Pflanzen wüchsen oder mit dem Knochengerüst von Tieren zu vergleichen wären.

Bereits vor STENO versuchte auch Robert HOOKE<sup>69)</sup>, der Zeitgenosse NEWTONS, die Veränderung der Erdoberfläche aus Erdbeben herzuleiten. Durch die Wirkung der Erdbeben sind nach seiner Meinung große Teile der Erde emporgehoben worden, ohne dass dabei die Schichten und die darauf befindlichen Berge zerstört worden sind. Nach HOOKES Meinung soll sogar durch große Erdbeben der Schwerpunkt der Erde und damit auch die Richtung der Erdachse verschoben worden sein.

Genau umgekehrt argumentiert dagegen der französische Abbé PLUCHE<sup>70)</sup>, der zuerst eine Veränderung der Stellung der Erdachse durch die Hand Gottes annahm, worauf dann die Erdkruste zerrissen und das unterirdische Wasser in die Höhe getrieben wurden.

Auf eine weitere interessante Erklärung der Erdbeben aus dieser Zeit hat K. SCHULTE<sup>71)</sup> hingewiesen, die der englische Arzt Martin LYSTER in den „Philosophical Transactions Num. 157“ vom Jahre 1683 aufgestellt hat. Nach LYS-TER ist die Ursache sowohl der Erdbeben als auch der Gewitter der Schwefel als der entzündbare Geist des Pyrits. Die Existenz von Schwefel in der Luft ist nach seiner Meinung durch den schwefeligen Verbrennungsgeruch beim Blitzeinschlag erwiesen. Und die chemischen Experimente seiner Zeit haben gezeigt, dass Schwefeldämpfe beim Glühen der Feuersteine entweichen<sup>72)</sup>.

*„That these subterraneous cavities are at certain times and in certain seasons full of inflammable Vapours; the Damps in our Mines sufficiently witness; which fired, do every thing as in an Earth-quake, save in a lesser degree. Now, that the Pyrites alone (which is our present Task) of all the known Minerals, yields this inflammable vapour, I think it highly probable, for these Reasons Because no Mineral or Ore whatsoever is Sulphureous, but as it is wholly, or in part a Pyrites: And altho this does contradict the general opinion of the Chymists; yet they must excuse me, if I differ from them in this particular; for wherever any of them, shall find me Brimstone Naturally, contain'd in an Ore, there, I am very forward to beleive, I shall find them Iron also by the load-stone, so that betwixt us, we*

*shall have discovered the Pyrites disguised in that Ore or Mineral. I have carefully made the experiment in very many of the Fossils of England, and do find them all to contain Iron, wherever Brimstone, as I have elsewhere declared.“*

An AGRICOLA und DESCARTES schließt auch G.W. LEIBNIZ an, der in seinem Werk „Protogaea“ eine Entwicklungsgeschichte der Erde liefert. Die Erde war seiner Meinung nach ein sonnenartiger glühender Körper gewesen, der später eine feste Kruste gebildet hat, unter der sich der feurige Erdkern noch hält. Aber Erdbeben und Vulkanausbrüche entstehen durch lokale Brandherde in den durch Erkalting der Erdkruste entstandenen Höhlen<sup>73)</sup>.

*„Neque adeo mirari oportet calorem terras coquentem in lapidem, aut metalla in minerales massas fundentem, aut materiam in figurata corpora sublimantem, aut remittente solutione atque aestu deponentem in crystallos; cum non solum eruditorum plerique credant, ignem esse inclusum huic globo, cujus vix crusta nobis explorata est; sed terrae etiam motus validissimi pyrios intus cuniculis innuant, et Vulcani ingentes late patentia pyrophyllacia ostendant.“*

Das Erdbeben vom Jahre 1703, das große Teile von Italien und auch die Stadt Rom verwüstete, war der Anlass zu einer langen Abhandlung<sup>74)</sup> des italienischen Anatomen Giorgio BAGLIVI (1668–1707), des Begründers der sog. Iatromechanik. BAGLIVI folgt in seinen Überlegungen den Ausführungen von ARISTOTELES und SENECA. Als Anatom und Mediziner lässt er sich jedoch stärker als ARISTOTELES von physiologischen Vorstellungen leiten. Er spricht von unterirdischen Venen, in denen sich die Feuer schlängeln, und von Arterien, die wie ein Pulsschlag Erdbeben verursachen. Im Übrigen folgt aber auch BAGLIVI der klassischen Einteilung der Erdbeben durch ARISTOTELES<sup>75)</sup>:

*„Ac proinde in telluris centro communicationes esse incredibiles inter ignes subterraneos, aquas, ac alia submarina asserendum est, ... quod revera ignes subterranei per venas subterraneas ad instar aquarum longius serpant ... Diversae autem sunt terraemotuum species rationes diversi modi, quo quatitur terra, sive ratione diversi effectus inde nascentis: Quinque numerantur ab Aristotele, Plinio, et aliis. Quando enim ignis subterraneus accensus interioris antri, sive specus terrae fornicem sursum ejaculatur, ut fit in bellicis cuniculis, (vulgò les Mines,) adest, adinstar Arteriae pulsantis erigatur, et subsidat, tunc terraemotus, inde factus vocatur ab Aristotele Pulsus. Cum verò dicte Caverne latera accensum ignem veluti captivum detinentia alternatim, et subsultim vibrantur, Tremor, tunc dicitur, qui non ita perniciosus est aedificiis, quia inclinata cito restituntur: Nec ita vehemens est talis terraemotus, quia accensus ignis, neque ita potens est, neque ita copiosus. Denique quando terra tremens hinc inde aequaliter non libratur, ut mens hinc inde aequaliter non libratur, ut loco suo celeriter restitatur, Inclinatio tunc dicitur, aedificiis maxime molesta, et perniciosa: nam parietes, et tecta extra per pendiculum, suspens collabuntur. Inclinatio itaque caeteris terraemotibus est longè periculosior cum terra tremat, sive potiùs nutet navigii more: Nisi enim motus ex altera parte inclinata restituat, ruina statim sequitur.“*

Wie Athanasius KIRCHER begründet auch BAGLIVI die Existenz unterirdischer Feuer mit dem Vorhandensein von entzündeten Mineralien wie Schwefel und Bitumen<sup>76)</sup>:

<sup>69)</sup> Posthumous Works -- London 1705.

<sup>70)</sup> Spectacle de la nature -- à la HAYE 1738, Tom II, S. 2.

<sup>71)</sup> SCHULTE, K.: Über eine Erdbeben-theorie Martin Lysters aus dem Jahre 1684, 18<sup>th</sup> International Congress of History of Science, Hamburg -- München 1988.

<sup>72)</sup> LYS-TER, M.: Of the Nature of Earth-quakes. More particularly of the Origin of the matter of them, from the Pyrites alone. -- In: Phil. Trans. Num. 157, March 20, 1683.

<sup>73)</sup> LEIBNITZ, G.G.: Protogaea sive de prima facie telluris et antiquissimae historiae vestigiis in ipsis naturae monumentis dissertatio, in act. erud. Lips an. 1693. -- In: Leibniti Opera Omnia, ed L. DUTENS -- S. 216, Genf 1768.

<sup>74)</sup> BAGLIVI, G.: De Terraemotu Romano. -- In: Opera Omnia -- Venetiis 1721.

<sup>75)</sup> BAGLIVI: Opera, S. 342-347.

<sup>76)</sup> BAGLIVI. -- a.a.O. S. 344.

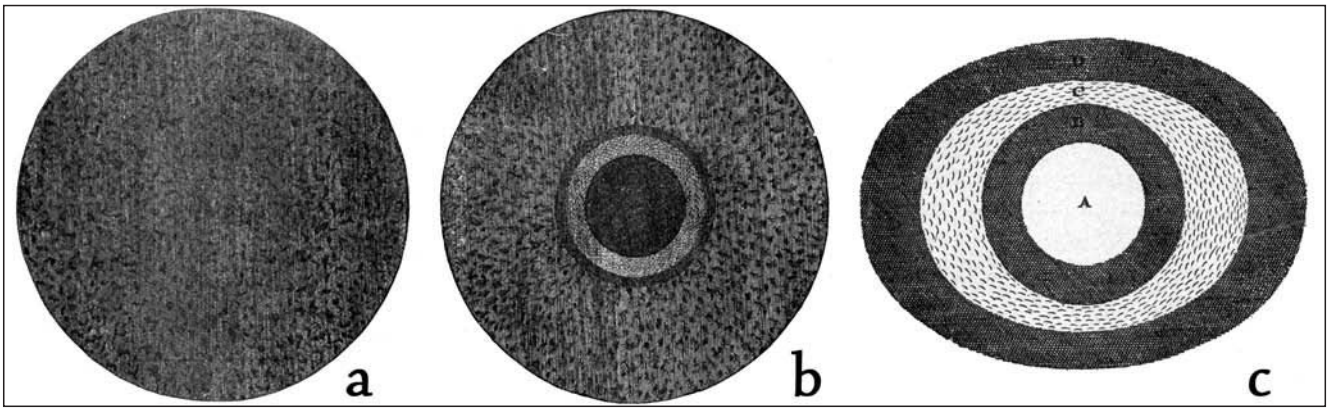


Abb. 8.  
Die Entwicklungsstadien der Erde nach BURNET (1861).

- a) Die Bildung des festen Erdkerns.  
b) Der chaotische Zustand der Erde.  
c) Die Entstehung von unterschiedlichen Schichten

„Ad unum penè omnes Philosophi credunt dari ignem subterraneum, sivè ut dicunt centalem in terre gremio ardentem, cui generationem mineralium, effluxus omnes subterraneos, sulphuris, bituminis, aluminis, carbonum fossilium procreationem, ipsos deinque terraemotus, thermarumque originem referunt acceptam. Dari revera talem ignem ipsi Montes ignivomi satis apertè ostendunt.“

Im Unterschied zu den Autoren der Antike und des Mittelalters kann jedoch BAGLIVI auf Grund der Entdeckungen der neuzeitlichen Seefahrer darauf hinweisen, dass sich feuerspeiende Berge und Erdbeben in allen Ländern der Erde befinden. Es waren insbesondere die Geographie des VARENIUS und die Beschreibungen der Jesuitenmissionare<sup>77)</sup> über die beiden Indien (= Ostasien und Amerika) auf die er sich stützen konnte<sup>78)</sup>:

„In Italia Vesuvius, et Aetna perpetuo ardent; et hujusmodi Regiones prae aliis Italiae, obnoxiae sunt frequentibus terraemotibus. In Hecla Islandiae monte continui sunt ignes, qui cum exitu libero careant, sonos edunt tristes, et lamentationibus similes: Multos alios refert Varenius in sua Geographia generali. Ut montem in Java Insula, qui anno 1586. cum antea non arsisset primùm disruptus est, excitato terraemotu, et flagrantis sulphuris eruptione: adeo ut decem milia hominum in agris perierint. Mons in Sumatra Insula Etnae similis fumum, et flammam vomit. Omitto alios Montes ignivomos è Maphaeo, et rerum Indicarum scriptoribus adnotatos, ut in Moluccis Insulis, in Philippinis, Japonia, in Peruvia quoque, et variis Americae jugis, in quibus, potissimum vero in Urbe Lima, frequentes sunt terraemotus, ob montium ignivomorum copiam: et ingentes Auri, Argentique fodinas.“

Als wenige Jahre nach dem Erdbeben in Italien im Jahre 1707 die Insel Santorin aus dem Meere gehoben wurde, bildete dieses Ereignis den Anlass zu weiteren theoretischen Spekulationen, die bereits in die Entstehungsgeschichte der Erde zurückgriffen. So kam Anton Lazaro MORO<sup>79)</sup> auf diese Hypothese vom Zentralfeuer zurück und stellte sich vor, dass dieses Zentralfeuer von einer dicken Erdrinde umgeben war. Die Erdrinde selbst war ursprünglich völlig mit Wasser bedeckt. Durch die Wirkung des Zentralfeuers, das an manchen Stellen die Erdrinde durch-

brochen habe, sind das Festland, Inseln und Berge emporgehoben worden. Dadurch erklärt sich auch das rätselhafte Vorkommen von Muscheln auf den Gipfeln der Berge.

## 2.5. Erdbeben Theorien im Rahmen der Theorien über die Entwicklung der Erde: BURNET, RAY, WOODWARD und WHISTON

Am Ende des 17. Jahrhunderts gelangte man nach den Vorarbeiten von DESCARTES und LEIBNIZ zu einer neuen Betrachtungsweise der Erdbeben im Rahmen von Theorien der Entstehung und Entwicklung der Erde. Obwohl alle diese Theorien sich auf die biblische Schöpfungsgeschichte stützten, bildeten sie schließlich die Grundlage einer allgemeinen Theorie der Erde, wie sie BUFFON als erster geliefert hatte. Seitdem wurden Erdbeben Theorien nicht mehr völlig isoliert von der Entwicklungstheorie der Erde betrachtet.

Der erste war Thomas BURNET<sup>80)</sup>, der in seinem Werk „Telluris theoria sacra“ noch völlig von der biblischen Schöpfungsgeschichte ausging. Er nahm an, dass die Erde am Anfang ein flüssiges Chaos war. Später seien die schweren Teile niedergesunken und haben den Erdkern gebildet, der vielleicht im Inneren noch feurig war. Um den festen Erdkern legte sich das Tiefenwasser (Abyssos), über dem sich die völlig glatte Erdkruste bildete (Abb. 8).

Nach 1600 Jahren war die Erdrinde so ausgetrocknet, dass sie zu reißen begann und in Stücke zerbrach, die in das Wasser hinabstürzten. Dadurch entstand die Sündflut und die Unebenheiten der Erdoberfläche in Form von Bergen und Tälern.

Während BURNET noch einen festen und feurigen Erdkern annahm, bestand die Erde nach John WOODWARDS<sup>81)</sup> Theorie aus einer ungeheuer großen Wasserkugel, die eine harte Rinde umgab. Die Erdkruste zerbrach und löste sich im Wasser der Sündflut auf. Die aufgelösten Teilchen der Erdkruste setzten sich ab und bildeten erneut eine feste Rinde, die wiederum zerbrach. Auf diese Weise entstanden dann die Erhöhungen und Vertiefungen der Erde (Abb. 9).

<sup>77)</sup> BAGLIVI zitiert: Ioan, Petri MAFFEI, Historiarum Indicarum Libri XVI. Selectorum, item, ex India Epistolarum, eodem interprete, Libri IV – Coloniae Agrippinae MDXCIII. In diesem Buch wird z.B. ein dem Namen nach noch unbekannter feuerspeiender Berg in Japan beschrieben: montes cu alij passim, tum duo praecipua nobilitate visuntur, quoru alter, incertae appellationis, assidue flammam evomit. S. 241.

<sup>78)</sup> BAGLIVI: Opera, S. 345 f.

<sup>79)</sup> De' crostacei e degli altri marini corpi, che si trovano su monti, libri due in Venez. 1740.

<sup>80)</sup> Telluris theoria sacra, orbis nostri originem et mutationes, quas aut iam subiit aut subiturus est, complectens. – London 1681.

<sup>81)</sup> Historia natur. telluris. London 1695, Essay towards a natural history of the earth and terrestrial bodies. – London 1733.



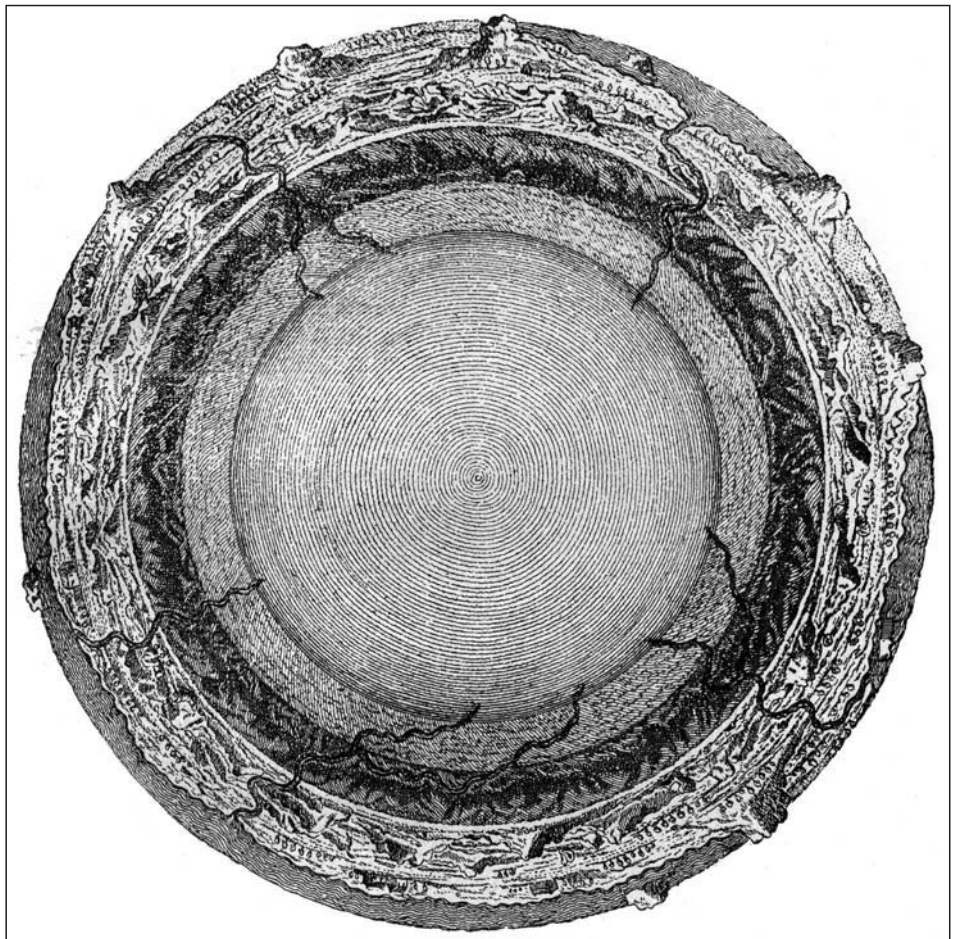
Abb. 9.  
Querschnitt durch die Erde nach der  
Theorie von John WOODWARD (1733).

Nach John RAY<sup>82)</sup> wurden ebenfalls die schweren festen Teile im anfänglichen Chaos abgesondert. Sie senkten sich in die Tiefe und formten einen harten Kern, der mit Wasser umgeben war. In diesem Zusammenhang spricht John RAY den Erdbeben bei der Erdentstehung eine besonders wichtige Rolle zu. Schon bei der Schöpfung der Erde aus dem Chaos seien nach seiner Meinung durch unterirdische Dünste und Winde Erdbeben entstanden, die die Berge und das trockene Land emporgehoben haben. Aus den Spalten der Erde, die durch solche Hebungen verursacht wurden, seien unterirdische Feuer hervorgebrochen und Vulkane entstanden. Die Sündflut erklärt RAY als eine natürliche Folge einer geringen Verschiebung des Schwerpunktes der Erde, welche auf der Oberfläche große Veränderungen hervorgerufen habe.

Der berühmteste unter den englischen Autoren, die sich mit einer Theorie der Erdentstehung beschäftigten, war William WHISTON, der im Jahre 1701 Nachfolger NEWTONS als Professor der Mathematik in Cambridge wurde. Sein Werk „New Theory of the Earth“, zum ersten Mal in London 1696 erschienen, erregte wegen seiner phantasiereichen und ungewöhnlichen Hypothese großes Aufsehen. Noch zu Lebzeiten des Verfassers erschienen sechs Auflagen. NEWTON und John LOCKE waren sich im Lob dieser Schrift einig und noch BUFFON, der die Theorien von BURNET und WOODWARD scharf kritisierte, beschrieb WHISTONS Theorie ausführlich und mit großer Achtung.

WHISTONS Absicht war es nicht nur, zu zeigen, dass der biblische Schöpfungsbericht mit seiner neuen Theorie der Erde übereinstimmt, sondern er wollte auch die Prophezeiung von dem zukünftigen Untergang der Erde durch Verbrennung als wissenschaftlich zu rechtfertigende Prognose darstellen. Nach seiner Theorie war die Erde ursprünglich ein großer Komet mit einer sehr exzentrischen Bahn. Durch die Hand Gottes wurde diese exzentrische Bahn dieses Kometen zu einer Kreisform umgewandelt und mit einer Rotation um ihre Achse versehen. Dann bildeten sich aus dem chaotischen Kometenkörper drei schalenförmige Schichten aus: ein schwerer heißer Erdkern, darüber eine Wasserschicht und schließlich die Erdrinde, auf der nun das Leben entstehen konnte.

Entsprechend den Angaben der Bibel erschien im Jahre 1349 v. Chr. ein ungeheurer Komet, dessen wassergefüllter Schweif die Erde streifte und die Sündflut verursachte. Seinem Vorgänger NEWTON folgend behauptete WHISTON aber auch, dass sich die Anziehungskraft des Kometen



auch auf die unterirdische Wasserschicht der Erde wirkte und auf diese Weise die Erdkruste zerbrach und die heutigen Landmassen, Gebirgsbildungen und Meere entstanden.

Auch das Ende der Erde stellte sich WHISTON durch die Auswirkung eines weiteren Kometen vor. Dieser Komet aber soll dann ein ganz feueriger sein. Bei seiner Annäherung werden wieder schreckliche Erdbeben auftreten und die Erde wird durch die sich annähernde Gluthitze des Kometen zu brennen beginnen und schließlich in den Zustand der Verglasung und völligen Durchsichtigkeit gelangen.

Im Jahre 1708 sandte der Schweizer Arzt D. Joh. SCHEUCHZER an die Pariser Akademie der Wissenschaften eine weitere Abhandlung über den Ursprung der Berge oder von der Bildung der Erde. Seit STENO wusste man, dass man bei der Bildung der Schichten von zwei unterschiedlichen Perioden ausgehen musste: Eine Periode, in der die Erde weder Pflanzen noch Tiere hatte und eine andere, in der die Erde bereits Lebewesen trug. Während jedoch die Tatsache, dass man auch in sehr tiefen Steinlagen Reste von Pflanzen gefunden hatte, von STENO durch Erdbeben und andere Katastrophen erklärt wird, nimmt SCHEUCHZER wie BURNET und WOODWARD lieber die allgemeine Sündflut als Grund für diese rätselhafte Tatsache an.

Dieser Erklärungsversuch von SCHEUCHZER hat aber die Schwierigkeit, die Formation der Berge zu erklären, die nicht aus einer flüssigen Erde entstehen können. Deshalb muss SCHEUCHZER Gott als den Verursacher der Gebirgsbildung annehmen. Seine allmächtige Hand hat das Wasser in unterirdische Behälter zurücktreten lassen und die horizontalen Lagen zerbrochen<sup>83)</sup>.

<sup>82)</sup> Physico-theological discourses concerning the primitive chaos, the general deluge and the dissolution of the world. – London 1692.

„Des parties d'Animaux terrestres, ou aquatiques, des branches d'arbres, des feuilles, etc. trouvées dans des lits de pierre, même assez profonds, confirment ce système de la fluidité de la Terre. Quel autre moyen que tout cela eût été enfermé où il l'étoit? Mais il est vrai aussi qu'il faut supposer une seconde formation des lits ou couches, beaucoup moins ancienne que la première, du temps de laquelle la Terre n'avoit encore ni Plantes ni Animaux. Stenon établit plusieurs secondes formations causées en differens temps par des inondations extraordinaires, par des tremblemens de terre, par les matieres que vomissent les Volcans. Burnet, Woodward et M. Scheuchzer aiment mieux attribuer au Déluge universel une seconde formation générale, qui n'exclut pourtant pas les particulieres de Stenon.

Mais les Montagnes semblent renverser le Système de la fluidité, elles n'auroient jamais dû naître, puisque tout ce qui est liquide se met de niveau. Cependant ce Système est si vrai-semblable en lui-même, et il se soûtient si bien dans la plus grande partie du globe terrestre, qu'il merite qu'on fasse quelque effort pour le conserver. C'est pour cela que M. Scheuchzer adopte la pensée de ceux qui on crû qu'après le Déluge universel Dieu voulant faire rentrer les Eaux dans des Réservoirs soûterrains, avoit brisé et déplacé de sa main toute-puissante un grand nombre de lits auparavant horizontaux, et les avoit élevés sur la surface du globe.“

Die Erfahrungen des Bergbaus und der experimentellen Chemie werden zur Erklärung der Ursachen der Erdbeben in der „Geschichte der Erde“ von J.G. KRÜGER benützt. Er war derjenige, der im Auftrag des preußischen Königs ein Gutachten über die lang andauernden Steinkohlenbrände in den Bergwerken zu erstellen hatte. In seinem Buch vom Jahre 1745<sup>84)</sup> nahm er drei Stadien der Erdentwicklung an. Zuerst war die Erde überall mit Wasser umgeben, dann geriet sie in Brand und das Wasser geriet ins Kochen und schließlich entstanden durch die Wirkung der Erdbeben die Berge, Hügel und Täler. Bei der Erklärung der Ursachen der Erdbeben ging er ebenfalls von der Selbstentzündung von Schwefel und anderer brennbarer Materie aus. Die Erdbeben entstehen entweder durch die Ausdehnung der erhitzten Luft oder durch die Vermischung der erhitzten Materie mit Wasser<sup>85)</sup>:

„...Denn setzt, dass sich in einer unterirdischen Gruft verschiedene Materien miteinander vermengen, und anfangen sich zu entzünden, so wird die Luft in dieser Höle gewaltig erhitzt werden; durch die Hitze wird ihre Elasti-

zität vermehrt, und so stark gemacht, dass sie mit der größten Gewalt einen Ausgang sucht. ... wenn unter der Erde eine sehr große Hitze entsteht ... und es vermischt sich das Wasser mit dergleichen erhitzter Materie, so verwandelt sich auf einmal eine sehr grosse Menge desselben in Dünste, welche eine so große Gewalt haben, dass es eben so viel ist, als wenn man eine Mine gesprengt hätte.“

Alle diese Erdentstehungstheorien von LEIBNIZ, BURNET, WOODWARD, WHISTON und SCHEUCHZER sind in die „Théorie de la Terre“ von Georg Louis Lecrec BUFFON (1707–1788) eingegangen. Als erster Band seiner Histoire naturelle 1749 erschienen und mehrmals neu bearbeitet, stellt sie den vorläufigen Höhepunkt der Versuche dar, Erdbeben im Rahmen einer allgemeinen Theorie der Erde zu erklären:

BUFFON kritisiert alle Theorien, die ein direktes Eingreifen Gottes in das irdische Geschehen behaupten. So sind für ihn die Theorien von BURNET, WOODWARD und SCHEUCHZER nicht mehr als gut geschriebene Romane, zur Belustigung des Lesers geeignet, aber ohne seriöses Fundament, zum Teil sogar auch lächerlich. Nur von LEIBNIZ und STENO spricht er mit großer Achtung und schließt auch WHISTON trotz seiner Kometentheorie in seine Anerkennung als seinen wissenschaftlichen Vorläufer ein. Denn er selbst verwendet in der letzten Fassung seiner Theorie der Erde<sup>86)</sup> die phantastische Vorstellung von dem Zusammenstoß eines Kometen mit der Sonne, um die Entstehung der Erde zu erklären. Nach seiner Meinung ist die Erde ursprünglich eines der glühenden Stücke, die der Komet aus der Sonne herausgeschlagen hatte. Doch nimmt er kein Zentralfeuer an, sondern nur unterirdische Feuer, deren unvergleichbare Gewalt sowohl Erdbeben als auch Vulkanausbrüche verursachen, ganze Städte vernichten, Landschaften verwüsten und Berge umstürzen<sup>87)</sup>:

„Ces grands affaissements, quelque produits par des causes accidentelles et secondaires, ne laissent pas de tenir une des premières places entre les principaux faits de l'histoire de la terre, et ils n'ont pas peu contribué à changer la face du globe. La plupart sont causés par des feux intérieurs, dont l'explosion fait les tremblements de terre et les volcans: rien n'est comparable à la force de ces matières enflammées et resserrées dans le sein de la terre, on a vu des villes entières englouties, des provinces bouleversées des montagnes renversées par leur effort.“

<sup>83)</sup> Histoire de l'Academie Royale des Sciences. Année 1708. – S. 37 f., Amsterdam 1709.

<sup>84)</sup> KRÜGER, J.G.: Der Weltweisheit und Arzneygelahrtheit Doctors und Profeßors auf der Königl. Preußischen Friedrich Universität Geschichte der Erde in den allerältesten Zeiten. – Halle 1746.

<sup>85)</sup> Zitiert nach BORMAN, P.: Der Beitrag Immanuel KANTS zur Entwicklung wissenschaftlicher Vorstellungen über die Natur der Erdbeben. – In: Geschichte der Seismologie, Seismik und Erdzeitenforschung, Tagungsband Eisenach, 5.–7. Dez. 1979. Veröffentlichungen des Zentralinstituts für Physik der Erde, Nr. 64, 1981, S. 17–24.

<sup>86)</sup> Epoques de la nature. – 1778.

<sup>87)</sup> Histoire de theorie de la terre. – In: Oeuvres complètes de BUFFON I, S. 107, Paris 1847.

### 3. Theorien über die Ursachen der Erdbeben im 18. und 19. Jahrhundert

Eine entscheidende Rolle für die Theorienbildung spielte die Serie von großen Erdbeben im 18. Jhd., beginnend mit dem Beben von Callao und Lima 1746, fortgesetzt durch das Beben von Lissabon 1755 und das Beben in Kalabrien 1783. Die hohe Zahl der Todesopfer führte zu einer erneuten Theoriendiskussion, mit dem Ziel, die Prognostik zu erhöhen oder zumindest sinnvolle vorbeugende Schutzmaßnahmen städtebaulicher Art zu empfehlen.

Diese großen Erdbeben reichten in eine Epoche, in der bereits die Grundgesetze der klassischen Mechanik bekannt waren. Fünfzig Jahre zuvor hatte NEWTON seine Gravitationstheorie und ihre Anwendung auf die Planetengesetze veröffentlicht. Diese Theorie legte die Möglichkeit nahe, dass die Gravitationskräfte der Planeten Einfluss auf die Entstehung der Erdbeben haben könnten. Sowohl das Trägheitsgesetz als auch spezielle chemische Reaktionen, wie die Erzeugung von Schwefel, waren den zeitgenössischen Wissenschaftlern bekannt, sodass sie dieses Hintergrundwissen ebenfalls zur Erklärung der Mechanismen der Erdbeben verwenden konnten.

#### 3.1. Das große Erdbeben von Lissabon und seine Auswirkungen auf die Theorien über die Ursachen der Erdbeben

Das Lissaboner Beben war die bisher größte Erdbebenkatastrophe im Europa der Neuzeit. Antike Berichte über den Untergang der beiden Städte Helike und Bura lagen zu weit zurück, als dass das Vertrauen auf die von Gott geschaffene Natur, in der alles gut ist, erschüttert worden wäre, und die großen südamerikanischen Beben von Calao und Lima und das Erdbeben von 1699 in China, wo angeblich 400.000 Menschen umgekommen sind, waren räumlich so weit entfernt, dass sie keinen unmittelbaren Eindruck hervorriefen. Das katastrophale Erdbeben vom 1. November 1755 dagegen, dessen Epizentrum, wie man heute annimmt, rund 200 km vor der Küste Portugals lag und einen Großteil der Gebäude Lissabons zerstörte und insgesamt vermutlich 60.000 Todesopfer forderte, verbreitete über mehrere Jahre hinweg Furcht und Entsetzen in ganz Europa. Es erzeugte eine wahre Flut von Publikationen unterschiedlicher Art. Abgesehen von den zahllosen Nachrichten, Zeitungsmeldungen und ausführlichen Berichten und Erklärungsversuchen erschienen im darauffolgenden Jahr eine Reihe von religiösen Schriften, Predigten und Gedichten, von denen VOLTAIRES „Poeme sur le désastre de Lisbonne“ das bekannteste war.

##### 3.1.1. Die Erschütterung der optimistischen Weltansicht der Aufklärungsphilosophie durch das Lissaboner Erdbeben: VOLTAIRE und ROUSSEAU

VOLTAIRE versteht sein Gedicht über die Katastrophe von Lissabon als eine Prüfung des in der rationalistischen Aufklärungsphilosophie von LEIBNIZ aber auch von ROUSSEAU vertretenen Grundsatzes „Alles ist gut“. Er will zwar diesen Grundsatz nicht völlig bestreiten, aber in einem absoluten Sinn genommen ist er für ihn „eine Beleidigung für die Schmerzen unseres Lebens“. Denn damals, als eine so große Zahl an Menschen in Lissabon auf furchtbare Weise zugrunde ging, gab es auch jene heillosen Optimisten, die sofort mit folgenden Worten, die Voltaire selbst zitiert, ihr Axiom verteidigten<sup>88)</sup>:

*„Alles ist gut. Die Erben der Toten werden ihr Vermögen vermehren. Die Maurer werden beim Wiederaufbau der Häuser Geld verdienen. Die Tiere werden in den unter den Trümmern begrabenen Leichen Nahrung finden. Es ist die notwendige Wirkung notwendiger Ursachen. Euer einzelnes Übel bedeutet nichts, denn ihr tragt zum allgemeinen Wohl bei.“*

Diese Redeweise war für VOLTAIRE gewiss ebenso grausam, wie das Erdbeben unheilvoll war. Das Gedicht über die Katastrophe von Lissabon drückt die Erschütterung seiner optimistischen Weltansicht durch dieses furchtbare Ereignis aus.

Es waren auch jene düsteren pessimistischen Stellen, die offensichtlich ROUSSEAU, der VOLTAIRE sehr verehrte, zu einer scharfen und sehr persönlich gehaltenen Erwiderung reizten<sup>89)</sup>:

*„Was entstand, das vergeht, denn Natur ist das Reich, wo Zerstörung besteht. Schwach, zusammengesetzt bloß aus Nerv und Gebein kann ein stofflicher Stoß ihm nicht gleichgültig sein. Was aus Säften, aus Blut, Staub zustande gebracht und gemischt, ist doch nur zur Zersetzung gemacht. Und das flücht'ge Gefühl – Nerven fein es umkleiden – ist den Dienern des Tods unterworfen, den Leiden. Solches hat mich gelehrt die Stimme der Natur. Ich verzichte auf Platon, verwerf Epikur... Wer, was bin ich? Woher kam ich? Wohin geht's? Dieser Haufen aus Dreck, die Atome so viel sind nur Fraß für den Tod und dem Schicksal ein Spiel ...“*

ROUSSEAUS Antwort drückt die Enttäuschung über diesen Wandel in der Auffassung VOLTAIRES aus, dessen Werke für ROUSSEAU früher die großartigsten und tröstlichsten Ideen von der Gottheit und ihrem Walten in der Natur geboten haben, so dass ihm ein freidenkender Christ in der Art von VOLTAIRE lieber war als einer von der Art der Sorbonne<sup>90)</sup>:

*„Nachdem ich so lange Trost und Mut aus ihren Schriften geschöpft habe, ist es hart für mich, dass Sie mir das jetzt alles rauben, um mir nur eine unsichere und vage Hoffnung zu bieten, eher wie ein Linderungsmittel für die Gegenwart als eine Entschädigung in der Zukunft. Nein, ich habe in diesem Leben zuviel gelitten, um nicht ein anderes zu erwarten. All die Spitzfindigkeiten der Metaphysik erzeugen in mir keinen Moment einen Zweifel an der Unsterblichkeit der Seele und an einer wohlthätigen Vorsehung. Ich fühle sie, ich glaube sie, ich will sie, ich erhoffe sie, ich werde sie bis zu meinem letzten Atemzug verteidigen.“*

ROUSSEAU sieht daher auch in VOLTAIRES Absage an die göttliche Vorsehung eine „Unmenschlichkeit“, die darin besteht

*„... friedliche Seelen zu verwirren und Menschen völlig umsonst zu erschüttern, wenn das, was man sie lehren will, weder sicher noch nützlich ist.“*

Denn es ist eine falsche Auffassung der Vorsehung Gottes, sie auf die individuelle Lebensschicksale der Menschen zu beziehen. Daher ist Rousseau der Auffassung<sup>91)</sup>,

*„... dass die besonderen Ereignisse vor den Augen des Herrn des Universums nichts bedeuten, dass seine Vorse-*

<sup>88)</sup> BREIDERT, W. (Hrsg.): Die Erschütterung der vollkommenen Welt. – Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt, S. 60.

<sup>89)</sup> BREIDERT. – a.a.O. S. 70 f.

<sup>90)</sup> BREIDERT. – a.a.O. S. 93.

<sup>91)</sup> BREIDERT. – a.a.O. S. 89.

hung universell ist, dass er sich damit begnügt, die Gattungen und Arten zu erhalten und alles zu leiten, ohne sich darum zu kümmern, wie jedes Individuum dieses kurze Leben durchläuft.“

Katastrophen wie die Erdbeben zu bewältigen, heißt sie in ihrer Gesetzmäßigkeit zu erkennen und sich vor ihren Folgen zu schützen, anstatt sie noch herauszufordern. Das ist die große Lehre, die man bereits im 18. Jahrhundert aus dem Lissaboner Erdbeben gezogen hat.

So ist auch ROUSSEAU zurecht davon überzeugt, dass die meisten unserer physischen Übel, die uns treffen, nicht der Natur zuzuschreiben sind, sondern unser eigenes Werk sind. Daher schreibt er in seinem Brief an VOLTAIRE an einer anderen Stelle<sup>92)</sup>:

„Bleiben wir bei Ihrem Thema Lissabon, so sollten Sie z.B. eingestehen, dass nicht die Natur dort 20 000 Häuser zu je sechs bis sieben Etagen erbaut hat, und dass der Schaden, wenn die Einwohner dieser großen Stadt gleichmäßiger verteilt und in leichteren Bauwerken gewohnt hätten, viel geringer oder vielleicht überhaupt keiner eingetreten wäre. Jeder wäre bei der ersten Erschütterung geflohen, und man hätte die Einwohner am nächsten Tage zwanzig Meilen entfernt davon gesehen, ebenso heiter, als wäre nichts passiert. Doch man musste bleiben, sich hartnäckig bei den Gebäuden aufhalten, sich neuen Beben aussetzen, weil das, was man zurückläßt, mehr zählt als das, was man wegschaffen kann. Wieviel Unglückliche sind bei dieser Katastrophe umgekommen, weil sie etwas mitnehmen wollten: der eine seine Kleider, der andere seine Papiere, wieder ein anderer sein Geld.“

Es war auch gerade diese hohe Zahl der Todesopfer des Lissaboner Erdbebens, die zu neuen Theorien führte, mit dem Ziel, die Prognostik zu erhöhen oder zumindest sinnvolle vorbeugende Schutzmaßnahmen städtebaulicher Art zu empfehlen.

Unter den wissenschaftlichen Beiträgen und Erklärungsversuchen anlässlich des Lissaboner Bebens sind vor allem die Arbeiten des deutschen Astronomen Tobias MAYER und des deutschen Mathematikers Johann Friedrich JACOBI zu nennen. Auch Johann Gottlob KRÜGER, der bereits in seiner „Geschichte der Erde“ vom Jahre 1745 über die Ursachen der Erdbeben durch Selbstentzündung des Schwefels schrieb, fühlte sich durch das Lissaboner Beben veranlasst, erneut diese Frage aufzugreifen. In England leitete John MICHELL mit einer allerdings erst 1760 erschienenen Schrift, in der er sich aber ebenfalls auf das Lissaboner Beben berief, die vulkanistischen Erklärungsversuche ein.

### 3.1.2. KANTS Erklärung des Lissaboner Bebens

Von besonderer Bedeutung sind in diesem Zusammenhang drei Abhandlungen des deutschen Philosophen IMMANUEL KANT, die unter dem Eindruck des Erdbebens von Lissabon im Jahre 1756 entstanden sind.

Die erste Schrift trägt den Titel: „Von den Ursachen der Erderschütterungen bei Gelegenheit des Unglücks, welches die westlichen Länder von Europa gegen das Ende des vorigen Jahres betroffen hat“.

Ein Jahr zuvor hatte KANT seine „Allgemeine Naturgeschichte und Theorie des Himmels“ veröffentlicht. In diesem Werk hatte er bereits seine Kenntnis von BUFFONS Theorie der Erde demonstriert. Doch war er wesentlich besser mit den astronomischen Theorien und der Physik NEWTONS vertraut als BUFFON. Seine in diesen drei Abhandlungen entwickelte Erdbebentheorie ist also eben-

falls in dem größeren Zusammenhang der Entstehung der Erde und des Sonnensystems zu sehen. Während er jedoch John RAY und BUFFON selbst wegen der vielen Belege und Zeugnisse über tatsächlich stattgefundene Erdbeben schätzt, lehnt er die Kometentheorie WHISTONS, die noch immer ihre Anhänger hatte, als Träume eines verrückten Kopfes scharf ab. Er selbst wollte sich ausdrücklich auf die naheliegenden Ursachen der Erdbeben als die einzigen wahren beschränken.

In dieser Zeit hatte man noch die Vorstellung, dass die seismische Energie einem Massentransport gleicht wie zum Beispiel Luftpartikel, die durch den Wind transportiert werden. Die Idee der Wellenausbreitung in festen Höhlen und der Energietransport allein durch Deformation elastischer Körper war noch unbekannt. Deswegen war es für die zeitgenössischen Wissenschaftler schwierig, spezielle Effekte in größerer Distanz vom Epizentrum, wie die Seiches, zu erklären. Auf der Suche nach einen Transportmechanismus der seismischen Energie entwickelt KANT folgende Grundidee: Das Erdinnere enthält Höhlen, wie man bereits seit der Antike wusste. Aber diese Höhlen laufen infolge eines „natürlichen Zusammenhangs“, der sich nur aus der Entwicklungsgeschichte der Erde erklären lässt, den Gebirgen und den großen Flüssen parallel. So ist in Italien die Nord-Südrichtung bevorzugt, was man an den Schwingungen der Leuchter der Kirchen gut beobachten kann, und in Lissabon war es die Richtung von Westen nach Osten, die ja auch die Hauptrichtung der höchsten Gebirge in Europa ist<sup>93)</sup>.

„Das erste, was sich unserer Aufmerksamkeit darbietet, ist, dass der Boden, über dem wir uns befinden, hohl ist und seine Wölbungen fast in einem Zusammenhang durch weitgestreckte Gegenden sogar unterm Boden des Meeres fortlaufen ... Ich müßte bis in die Geschichte der Erde im Chaos zurück gehen, wenn ich etwas Begreifliches von der Ursache sagen sollte, die bei der Bildung der Erde den Ursprung dieser Höhlen veranlaßt hat ... Die Ursache mag aber sein, welche sie wolle, so ist es doch gewiss, dass die Richtung dieser Höhlen den Gebirgen und durch einen natürlichen Zusammenhang auch den großen Flüssen parallel ist; denn diese nehmen das unterste Theil eines langen Thals ein, das von beiden Seiten durch parallel laufende Gebirge beschränkt wird. Eben dieselbe Richtung ist es auch, wornach die Erderschütterungen sich vornehmlich ausbreiten. In den Erdbeben, welche sich durch den größten Theil von Italien erstreckt haben, hat man an den Leuchtern in den Kirchen eine Bewegung von Norden fast gerade nach Süden wahrgenommen; und dieses neuliche Erdbeben hatte die Richtung von Westen nach Osten, welches auch die Hauptrichtung der Gebirge ist, die den höchsten Theil von Europa durchlaufen.“

Die unmittelbare Folgerung für KANT war, dass die Häuser bzw. die Straßen in erdbebengefährdeten Gegenden nicht in Richtung der Gebirge und Flüsse gebaut werden sollen<sup>94)</sup>:

„Wenn in so schrecklichen Zufällen den Menschen erlaubt ist einige Vorsicht zu gebrauchen, wenn es nicht als eine verwegene und vergebliche Bemühung angesehen wird allgemeinen Drangsalen einige Anstalten entgegen zu setzen, die die Vernunft darbietet, sollte nicht der unglückliche Überrest von Lissabon Bedenken tragen sich an demselben Flusse seiner Länge nach wiederum anzubauen, welcher die Richtung bezeichnet, nach welcher die Erderschütterung in diesem Lande natürlicher Weise geschehen muss.“

<sup>92)</sup> BREIDERT. – a.a.O. S. 81.

<sup>93)</sup> KANTS Werke I. – Akademie Textausgabe, S. 420, Berlin 1968.

<sup>94)</sup> KANT. – a.a.O. S. 420 f.

Und er weist darauf hin, dass sich in Lissabon das Unglück gerade deswegen vergrößert hat, weil die Stadt entlang des Flusses Tejo aufgebaut war<sup>95)</sup>:

„Das Unglück von Lissabon scheint also durch seine Lage vergrößert zu sein, die es der Länge nach an dem Ufer des Tagus gehabt hat; und nach diesen Gründen müßte eine jede Stadt in einem Lande, wo die Erdbeben mehrmals empfunden werden, und wo man die Richtung derselben aus der Erfahrung abnehmen kann, nicht nach einer Richtung, die mit dieser gleichlaufend ist, angelegt werden.“

Eine weitere beruhigende Feststellung ist für KANT, der selbst ein besonders ruhiges und friedliches Leben bevorzugte, dass sein Vaterland Preußen vor Erdbeben weitgehend geschützt ist, weil das Land flach und die Erdrinde gleichmäßig dick ist, während im Gebirge die Erdkruste manchmal sehr dünn ist und große Höhlen vorkommen. Deswegen sind gebirgige Länder wie Peru und Chile am meisten von Erdbeben betroffen<sup>96)</sup>:

„Der Hauptstrich der Erdbeben geht in der Richtung der höchsten Gebirge fort, und es werden also diejenige Länder hauptsächlich erschüttert, die diesen nahe liegen, vornehmlich wenn sie zwischen zwei Reihen Berge eingeschlossen sind, als in welchem Falle die Erschütterungen von beiden Seiten sich vereinbaren. In einem platten Lande, welches nicht in einem Zusammenhange mit Gebirgen steht, sind sie seltener und schwach. Darum sind Peru und Chili diejenige Länder, die fast unter allen in der Welt den häufigsten Erschütterungen unterworfen sind.“

Bei der Erklärung der aktiven Ursachen der Erdbeben begnügt sich KANT nicht wie ARISTOTELES mit Wind und Feuer, sondern liefert eine chemische Erklärung. Entsprechend dem Stand der zeitgenössischen experimentellen Chemie nimmt er an, dass durch ein bestimmtes Mischungsverhältnis von zwei Teilen Vitriolöl, acht Teilen Wasser und zwei Teilen Eisenfeil Dämpfe entstehen und Flammen ausbrechen können<sup>97)</sup>:

„Zwei Quentchen Vitriolöl, mit 8 Quentchen gemeines Wasser vermischt, wenn man sie auf 2 Quentchen Eisenfeil gießt, bringen ein heftiges Aufbrausen und Dämpfe hervor, die sich von selber entzünden. Wer kann zweifeln, dass die vitriolische Säure und Eisentheile in genugsamer Menge in dem Inneren der Erde enthalten sind? Wenn das Wasser nun hierzukommt und ihre gegenseitige Wirkung veranlaßt, so werden sie Dämpfe ausstoßen, die sich auszubreiten trachten, den Boden erschüttern und bei den Öffnungen feuerspeinder Berge in Flammen ausbrechen.“

Eine weitere Erklärung bezieht sich auf die von Erdbeben hervorgerufenen Flutwellen. KANT bezieht sich auf ein Experiment, dass er in der deutschen Übersetzung der Memoires de l'Academie Royale in Paris vom Jahre 1705 vorgefunden hat. CARRÉ beschreibt das Abfeuern eines Geschosses in einen mit Wasser gefüllten hölzernen Kasten, der durch den dadurch verursachten Druck zerbarst<sup>98, 99)</sup>:

„Pour m'assurer davantage si c'étoit le grand mouvement et l'effort de l'eau qui faisoient briser ces vaisseaux, et non pas la balle en passant au travers; j'ai fait faire une caisse quarrée d'un pied de haut, et des six pouces d'épaisseur,

dont les quatre ais qui faisoient la longueur, avoient chacun un puce d'épaisseur, et les deux du bout en avoient chacun deux, afin d'y bien attacher les autres avec force cloux; j

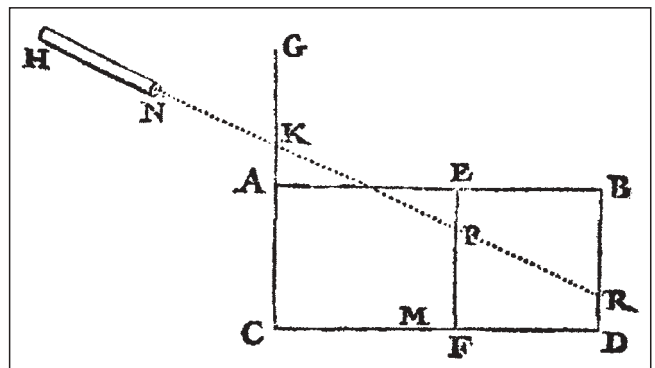


Abb. 10. Analogieexperiment zu den von Erdbeben hervorgerufenen Flutwellen (CARRÉ, 1748).

l'ai remplie d'eau par un petit trou, ensuite j'ai tiré mon coup qui a percés les ais fort exactement sans les briser, mais l'eau s'est tourmentée de telle maniere qu'elle a fait écarter ces ais les uns des autres et a brisé la caisse.“

„Damit ich nun gewisser würde, ob die Gefäße von der starken Bewegung und Bestrebung des Wassers, oder von der dadurch gehenden Kugel zersprengt würde; so habe ich mir einen viereckigen Kasten machen lassen. Er ist 1 Fuß hoch und 6 Zoll dicke. Die vier langen Breter sind, jedes 1 Zoll dicke; die beyden Breter an den Enden, jedes 2 Zoll, damit man die andern Breter mit Nägeln recht stark daran befestigen könne. Diesen habe ich durch ein kleines Loch mit Wasser angefüllt, und nachher meinen Schuß gethan, die Breter sind davon durchlöchert, und nicht zersplittert worden. Allein das Wasser ist dergestalt gepresst worden, dass es die Breter aus einander getrieben, und den Kasten zersprengt hat.“

Diese mechanischen hydrodynamischen Experimente bestätigten KANT in seiner Überlegung, dass auch das Wasser bei plötzlichem heftigem Druck wie ein fester Körper reagiert und den Stoß fast ohne Dämpfung weiterverbreitet, so dass der Druck des Wassers an der Stelle des Erdbebens auch noch in weiter Entfernung erhalten bleibt und sich in engen Kanälen wie zwischen England und Frankreich noch verstärken kann<sup>100)</sup>:

„Dieser plötzlichen Rüttelung widerstand das aufliegende Wasser so, dass es nicht, wie bei langsamen Bewegungen geschieht, nachgab und in Wellen aufschwoll, sondern es empfing seinen ganzen Druck und trieb das umliegende Wasser ebenso heftig zur Seite fort, welches bei so schnellen Eindrücke als ein fester Körper anzusehen ist, davon das entfernte Ende mit eben derselben Geschwindigkeit fort-drückt, als das angestoßene fortgetrieben wird. Also ist in jedem Balken der flüssigen Materie (wenn ich mich dieses Ausdrucks bedienen darf) ob er gleich 200 oder 300 Meilen lang ist, keine verminderte Bewegung, wenn er als in einem Canal eingeschlossen gedacht würde, der an dem entfernten Ende eine ebenso weite Eröffnung als beim Anfange hat.“

Eine auch heute noch interessante Feststellung trifft KANT, wenn er von den Landseen spricht, die keine sichtbare Verbindung zum Meer haben und trotzdem durch ein Seebeben erschüttert werden, was auf eine „unterirdische Gemeinschaft“ hinweist<sup>101)</sup>.

<sup>95)</sup> KANT. – a.a.O. S. 421.

<sup>96)</sup> Ebenda.

<sup>97)</sup> KANT. – a.a.O. S. 426.

<sup>98)</sup> CARRÉ: Sur la Refraction des balles de Mousquet da l'eau, et sur la Résistance de ce fluide. – Historie de l'Academie Royale des Sciences. Année MDCCV, S. 278, Amsterdam 1707.

<sup>99)</sup> CARRÉ: Physische Versuche von der Refraction der geschlossenen Flintenkugeln im Wasser, und von dem Widerstande dieses flüßigen Körpers. – Der Königl. Akademie der Wissenschaften in Paris. Physische Abhandlungen, Zweyter Theil. Aus dem Französischen übers. von W.B.A. von STEINWEHR, S. 550, Breslau 1748.

<sup>100)</sup> KANTS Werke I, S. 425.

<sup>101)</sup> KANT. – a.a.O. S. 425 f.

„Bei dieser Pressung der Wasser ist das Allersonderbarste, dass sie sogar in Landseen, die gar keinen sichtbaren Zusammenhang mit dem Meere haben, bei Templin und in Norwegen, gespürt worden. Dieses scheint beinahe der stärkste unter allen Beweisen zu sein, die man jemals vorgebracht hat, die unterirdische Gemeinschaft der mittelländischen Gewässer mit dem Meere zu beweisen.“

Nach der Darstellung seiner Grundideen ließ KANT noch im selben Jahr eine etwas umfangreichere Abhandlung folgen, in der direkt eine Erklärung und Beschreibung des Lissaboner Bebens versucht wird. In dieser Abhandlung mit dem Titel: „Geschichte und Naturbeschreibung der merkwürdigsten Vorfälle des Erdbebens, welches aus dem Ende des 1755ten Jahres einen großen Theil der Erde erschüttert hat“, kommt er auch zu einer korrekten Erklärung der Bewegungen jener inländischen Seen, die keine Verbindung zu den Meeren haben und die viel später (1892–96) von Francois Alphonse FOREL für den Genfer See unter dem Namen „Seiches“ genau beschrieben worden sind. Für KANT sind es nicht Ausgleichswellen, die infolge ungleichen Luftdrucks, insbesondere nach Stürmen entstehen, sondern sie sind auf Erdbeben zurückzuführen, die am Lande kaum bemerkbar sind, bei großen Seen aber das Wasser schon bei dem geringsten Wanken ihres Bodens in „recht starke Schwankungen“ versetzen<sup>102)</sup>.

„Dagegen werden die Seen diese unempfindliche Bewegung sehr merklich haben machen müssen. Denn wenn ein See z.E nur 2 deutsche Meilen lang ist, so wird sein Wasser durch dieses geringe Wanken seines Bodens schon in eine recht starke Schaukelung versetzt werden ... Man wird sich also nicht mehr wundern, wenn alle inländische Seen in der Schweiz, in Schweden, in Norwegen und in Deutschland, ohne eine Erschütterung des Bodens zu fühlen, so unruhig und aufwallend erblickt worden.“

Obwohl diese aus Zeitungsmeldungen übernommenen Berichte nach heutiger Auffassung<sup>103)</sup> quellenkritischen Studien nicht standhalten, waren sie dennoch der Anlass zu einer korrekten Erklärung der durch Erdbeben angeregten Eigenschwingungen der Wassermassen von Binnenseen. Auf weitere erstaunliche Vorwegnahmen heutiger Erklärungen hat bereits P. BORMANN hingewiesen: KANT hat explizit einen Zusammenhang des Erdbebens von Lissabon mit den unterseeischen Gebirgrücken der sog. Azorenschwelle festgehalten<sup>104)</sup>:

„Durch die Vergleichung der Zeit ersehen wir, dass der Entzündungsplatz bei dem Erdbeben vom 1ten Nov. in dem Boden der See gewesen. Der Tajo, der schon vor der Erschütterung aufschwoll, der Schwefel, den Seefahrende mit dem Senkblei aus dem erschütterten Boden brachten, und die Heftigkeit der Stöße, die sie fühlten, bestätigen es. Die Geschichte vormaliger Erdbeben giebt es auch deutlich zu erkennen, dass in dem Meeresgrunde jederzeit die fürchterlichste Erschütterungen vorgefallen sind und nächst diesem in den Örtern, welche an dem Seeufer oder nicht weit davon entfernt liegen. Zum Beweise des ersteren führe ich die tobende Wuth an, womit die unterirdische Entzündung oft neue Inseln aus dem Boden des Meeres erhoben hat und z.E. im Jahre 1720 nahe bei der Insel St. Michael, einer von den azorischen, aus einer Tiefe von 60 Klafter durch den Auswurf der Materie aus dem Grunde der See eine

Insel auswarf, die 1 Meile lang und etliche Klafter über dem Meere erhoben war.“

Auch greift KANT ein Problem auf, das erst in jüngster Zeit durch den geologisch-geophysikalischen Nachweis des „sea floor spreading“ erklärt werden konnte. Er stellt sich nämlich die Frage, warum gerade jene Orte des Festlandes heftiger und öfter von Erdbeben betroffen sind, die nicht weit vom Meeresufer liegen<sup>105)</sup>:

„Die Bemerkung der häufigen Erschütterungen des Seegrundes hängt mit der Frage natürlicherweise zusammen: woher unter allen Örtern des festen Landes keine heftigern oder öfteren Erdbeben unterworfen sind, als diejenige, die nicht weit vom Meeresufer liegen.“

Nachdem sich die Reihe der Erdbeben noch fortsetzte, von denen auch Lissabon wieder im Jahre 1756 betroffen war, ließ KANT noch eine dritte Abhandlung: „Fortgesetzte Betrachtung der seit einiger Zeit wahrgenommenen Erdschütterungen“ folgen.

In der umfangreichen zweiten Abhandlung versuchte KANT seine Grundideen auf das Lissaboner Beben und die unmittelbar folgenden Beben vom 18. November und 9. und 26. Dezember 1755 anzuwenden und das Gesetz der Ausbreitung der Erdbeben und die Ursache für die Zwischenzeiten festzustellen. Die Erklärung für beide Probleme ist folgende:

1) Die Erdbeben breiten sich als Wirkung einer erhitzten, viel dichteren Luft als sie an der Oberfläche der Erde ist, in den unterirdischen Höhlen unter den großen Gebirgen aus<sup>106)</sup>:

„Die Erdbeben haben uns offenbart, dass die Oberfläche der Erde voller Wölbungen und Höhlen sei, und dass unter unsern Füßen verborgene Minen mit mannigfaltigen Irrgängen allenthalben fortlaufen ... Diese Höhlen enthalten alle ein lodernes Feuer, oder wenigstens denjenigen brennbaren Zeug, der nur einer geringen Reizung bedarf, um mit Heftigkeit um sich zu wüthen und den Boden über sich zu erschüttern oder gar zu spalten.“

2) Die Zwischenzeiten entstehen durch eine Art von chemischem Respirationsvorgang, bei dem die mit feurigen Theilen angefüllte verdichtete Luft durch den „Rachen“ der feuerspeienden Berge ausgestoßen wird. Im Inneren der Erde erstickt dann das Feuer aus Mangel an Luft. Es wird aber dann wieder entfacht, wenn die Luft von außen in die leeren Höhlen mit Gewalt zurückkehrt. Damit entsteht ein ungeheurer, den organischen Lebewesen vergleichbarer, periodischer Vorgang der Atmung, der sich in den weiten unterirdischen Höhlen wie in einer riesengroßen Lunge verbreitet, auf der wir – die Erdbewohner – stehen<sup>107)</sup>.

„Wenn das unterirdische Feuer in Entzündung geräth, so stößt es alle Luft aus den Höhlen umher von sich. Wo diese Luft nun, die mit den feurigen Theilen angefüllt ist, eine Öffnung findet, z.E. in dem Rachen eines feuerspeienden Berges, da fährt sie alsdann hinaus, und der Berg wirft Feuer aus. Allein so bald die Luft aus dem Umfange des Herdes der Entzündung verjagt ist, so lässt die Entzündung nach, denn ohne Zugang der Luft verlöscht alles Feuer, alsdann tritt die verjagte Luft, da die Ursache, die sie vertrieben hatte, aufhört, wieder in ihren Platz zurück und weckt das erloschene Feuer auf, auf solche Weise wechseln die Ausbrüche eines feuerspeienden Berges in gewissen Zwischenzeiten richtig nach einander ab. Eben die Verwandtniß hat es mit den unterirdischen Entzündungen, auch selbst da, wo die ausgedehnte Luft keinen Ausgang durch die Klüfte der Berge gewinnen kann. Denn

<sup>102)</sup> KANT. – a.a.O. S. 440 f.

<sup>103)</sup> SCHMIDT in BORMANN, P.: Der Beitrag Immanuel KANTS zur Entwicklung wissenschaftlicher Vorstellungen über die Natur der Erdbeben. – In: Geschichte der Seismologie, Seismik und Erdzeitenforschung, Tagungsband Eisenach, 5.–7. Dez. 1979. Veröffentlichungen des Zentralinstituts für Physik der Erde, Nr. 64, 1981, pp. 17–24. – KANT zitiert in diesem Zusammenhang die „Königsbergischen Anzeigen“. KANTS Werke I, S. 439.

<sup>104)</sup> KANT. – a.a.O. S. 448.

<sup>105)</sup> KANT. – a.a.O. S. 449. – Vgl. BORMANN a.a.O.

<sup>106)</sup> KANT. – a.a.O. S. 432 f.

<sup>107)</sup> KANT. – a.a.O. S. 447.

wenn die Entzündung an einem Orte in den Höhlen der Erde ihren Anfang nimmt, so stößt sie die Luft mit Heftigkeit in einem großen Umfange in alle die Gänge der unterirdischen Wölbungen fort, die damit Zusammenhang haben. In diesem Augenblicke erstickt das Feuer selbst durch den Mangel der Luft. Und so bald eben diese ausdehnende Gewalt der Luft nachläßt, so kehrt diejenige, die in allen Höhlen ausgebreitet war, mit großer Gewalt zurück und facht das erloschene Feuer zu einem neuen Erdbeben an.“

KANT weist auch die Annahme zurück, dass die Konstellation der Planeten die Ursache der Erdbeben sein könnte. Er bezieht sich auf NEWTONS Gravitationstheorie und gibt eine numerische Schätzung an, die beweist, dass die Gravitationskräfte dafür zu gering sind. Am deutlichsten aber zeigt folgendes Zitat, dass KANT jede Art von mystischer, astrologischer oder auch religiöser Erklärung der Erdbeben als Strafe Gottes, die damals noch weit verbreitet war, ablehnt:

„Wir haben die Ursache unter unseren Füßen“.

### 3.1.3. Mechanische Theorien: Richtungsänderung der Schwerkraft als Ursache: Tobias MAYER

Der unmittelbare Anlass zu der originellen Erdbeben-theorie des deutschen Astronomen Tobias MAYER war eines jener kleineren Erdbeben, die in dem dem großen Lissaboner Beben vom 1. November 1755 nachfolgenden Jahr auch in Deutschland bemerkt wurden.

Am 18. Februar 1756 wurde zwischen 8 und 8.30 Uhr die Region zwischen Frankfurt am Main und Amsterdam erschüttert. Sowohl in Göttingen, wo Tobias MAYER die Sternwarte leitete, als auch in Hannover, wo gerade JACOBI mit der Abfassung seiner Erdbebenschrift anlässlich des Lissaboner Bebens beschäftigt war, waren die Erdstöße bemerkbar. Übereinstimmend wurde von beiden über Schwindelgefühle berichtet, die während des Erdbebens auftraten.

Doch die theoretische Erklärung dieser Phänomene war völlig anders. Während Tobias MAYER diese Schwindelgefühle durch eine Richtungsänderung der Schwerkraft zu erklären versuchte, bei der sich der Erdboden selbst nicht bewegte, führte JACOBI sie auf echte Schwankungen des Erdbodens zurück, die in Hannover in der Höhe der Häuser spürbar waren.

Das war auch die Alternative, von der Tobias MAYER zunächst ausging. Denn es gibt für ihn nur zweierlei Arten, diese Naturbegebenheit mit all ihren zerstörerischen Folgeerscheinungen zu erklären<sup>108)</sup>:

„Entweder geschieht sie durch eine wirkliche Erschütterung des Erdbodens oder nicht.“

Bisher war die einfachste Erklärung diejenige, dass Teile der Erdoberfläche aus ihrer natürlichen Lage gebracht und hin- und hergeworfen werden. Nach dieser Auffassung scheint es leicht begreiflich zu sein, warum Gebäude oder andere auf so wankendem Boden stehende Dinge aus ihrem Gleichgewicht gebracht werden und umstürzen. Doch bei genauer quantitativer Betrachtung ergibt sich, dass die Neigung des Erdbodens, bei der Häuser umstürzen können, so groß sein müsste, dass dabei ungeheure, jedoch von niemandem beobachtete Hebungen und Senkungen auftreten müssten.

Geht man davon aus, dass ein Stück Erde von einer Meile (ca. 7,5 km) sich nur um einen Winkel von 5 Grad

neige, was noch immer nicht hinreichend ist, um Gebäude aus dem Gleichgewicht zu bringen, so müsste sich das eine Ende dieses Stückes im Vergleich zu dem in Ruhe befindlichen Erdboden um ungefähr 1000 Fuß senken, das andere Ende dagegen um ebenso viel erhöhen. Auch wenn man die Größe der bewegten Stücke des Erdbodens viel kleiner annähme, würden doch immer die Erhebungen und Senkungen der Enden dieser Stücke viel zu groß sein, als dass sie mit den tatsächlich beobachteten und vermessenen Werten übereinstimmen könnten. MAYER übersieht zwar nicht, dass die Erdbeben meist nicht als ein Hin- und Herwerfen einzelner Teilstücke des Erdbodens gespürt werden, sondern als wellenförmige und stoßende Bewegung des gesamten Erdbodens. Er hält aber diese Bewegungsform für völlig unwahrscheinlich. Denn sie müsste ja in jedem Fall eine Zerreißung und Spaltung des Erdbodens zur Folge haben, was jedoch nur an wenigen Orten zu beobachten ist. Für ebenso unmöglich hält er die Auffassung, dass sich nach einem Erdbeben, bei dem wirklich der Erdboden durch Erschütterung, Zerreißen und Spaltung in Unordnung gebracht worden ist, alle Teile wieder in die vorige Lage zurücksetzen. Als Beweis für die Unveränderlichkeit der Lage des Erdbodens sieht er eine Beobachtung an, die er selbst an seinem Observatorium in Göttingen gemacht hatte: Ein genau an dem großen Mauerquadranten mit einem Gewicht ausgerichtetem Silberfaden, den er selbst am Vortag des Erdbebens angebracht hatte, wies nach dem Erdbeben nicht die geringste Verrückung auf<sup>109)</sup>:

„Als neulich hier in Göttingen einige Stöße verspürt wurden, war ich begierig, zu erfahren, ob der an dem großen Muralquadranten des Observatorii befindliche und mit einem Gewichte beschwerte Silberdraht, welchen ich des Tages vorher genau auf seinen Punkt gerichtet hatte, noch in eben dieser Lage hänge. Zu meiner Verwunderung fand ich nicht die geringste Verrückung; auch die Fläche des Quadranten selbst stand noch so genau in dem Meridian als des Tages zuvor. Wäre durch diese Erschütterung der Grund, worauf das Observatorium steht, nur um einen Winkel von etlichen wenigen Sekunden aus seiner ersten Lage gebracht worden, so hätte man es hier merken müssen.“

Eine weitere Schwierigkeit sah MAYER in den vom Lissaboner Beben so weit entfernten Bewegungen der Festlandseen, die zur Erklärung weitere Nebenhypothesen, nämlich die bereits von KANT diskutierten, unterirdischen Verbindungskanäle, nötig machten<sup>110)</sup>:

„Die Bewegung, die man am 1. November vorigen Jahres an so vielen und von der Gegend, wo das Erdbeben seine stärksten Spuren hinterlassen, so weit entfernten stehenden Gewässern wahrgenommen hat, erfordert über angeführte Haupthypothese noch eine neue Nebenhypothese. Man muss z.E. annehmen, dass solche Seen durch unterirdische Kanäle nicht längst durch allerlei Zufälle verstopft worden oder eingefallen sind. Ein Körper, wie unsere Erde ist, der so wenig Regelmäßigkeit auf seiner Oberfläche zeigt, wird wohl schwerlich in seinem Innern so ordentlich gebaut sein, als es zu diesen Kanälen nötig ist.“

Diese Schwierigkeiten vor allem aber auch die rein spekulativen Vorstellungen von unterirdischen Dämpfen, Feuern und Flammen als primäre Ursachen für die Erschütterungen der Erdoberfläche gaben schließlich MAYER den Mut – entgegen allgemeiner Meinung, dass es sich bei den sogenannten „Erdbeben“ wirklich um Erschütterungen oder Bewegungen des Erdbodens handelt – seine völlig neue Hypothese von der kurzzeitigen lokalen Veränderung

<sup>108)</sup> M[AUER], T[OBIAS]: Versuch einer Erklärung des Erdbebens. – In: Nützliche Sammlungen [= Hannoverische gelehrte Anzeigen], 19. Stück, 5. Martius 1756, Sp. 289–296. – Neudruck in: Breidert, W. (Hrsg.): Die Erschütterung der vollkommenen Welt, S. 149–159, Darmstadt 1994.

<sup>109)</sup> MAYER. – a.a.O. S. 151.

<sup>110)</sup> Ebenda.

der Richtung der Schwerkraft aufzustellen, bei der der Erdboden selbst in Ruhe bleibt und nur die darauf befindlichen Gegenstände in Bewegung geraten. Die Bezeichnung „Erdbeben“ kann nach dieser Hypothese nur im uneigentlichen Sinn verstanden werden, wie man in der Astronomie von dem „Aufgang“ und „Untergang“ der Sonne redet<sup>111)</sup>:

*„Alle mit einer solchen Naturbegebenheit verknüpften Umstände lassen sich sehr leicht und begreiflich erklären, wenn man die Erdoberfläche selbst in Ruhe lässt, dagegen aber annimmt, die Kraft der Schwere welche ordentlicherweise perpendicular auf die Oberfläche der Erde wirkt, verändere in einem gewissen Bezirke diese ihre Direktion auf einige Zeit und wirke schief auf die Erde.“*

Der Vorteil dieser Hypothese ist, dass sich aus einem einzigen und sehr einfachen Grund alle Phänomene, die sich bei einem Erdbeben äußern, ob es sich nun um das Einstürzen der Häuser, die rätselhaften Bewegungen weit entfernter Wassermassen oder um das subjektive Gefühl eines Schwindels, der mit der Seekrankheit Ähnlichkeit hat, handelt, erklären lassen. Die einzige offene Frage dabei ist, woher eine solche Veränderung der Richtung der Schwere herkommt. Eine Beantwortung dieser Frage lehnt jedoch MAYER mit dem Hinweis auf NEWTON ab, der die Bewegungen der himmlischen Körper aufgrund der allgemeinen Schwere erklärt hat, ohne die Ursachen der Schwere selbst angeben zu können<sup>112)</sup>:

*„Fragt man aber, woher eine solche Veränderung in der Direktion der Schwere entstehe, so ist diese eine Frage, die mir zu beantworten, zum wenigsten jetzt, nicht obliegt. Ich begnüge mich, die nächste Ursache des Erdbebens angezeigt zu haben, und rechtfertige mich mit Newtons Exempel, als der uns die Bewegung der himmlischen Körper aus dem Grunde einer allgemeinen Schwere vollkommen erklärt hat, ohne dass ihm die Ursache der Schwere selbst bekannt gewesen wäre. Überhaupt sehe ich den Einwurf, den man mir von dieser Seite machen könnte, für sehr unerheblich an, so lange man mir nicht dartun kann, dass eine Abweichung der Schwere von ihrer gewöhnlichen Richtung wider die bekannten Gesetze der Natur streite, und so lange man an die Verteidiger der gegenseitigen Meinung hundert Fragen dieser Art anstatt einer tun kann.“*

Eine weitergehende Überlegung nach den Ursachen der Änderung der Schwereverhältnisse an bestimmten Orten der Erdoberfläche hätte den deutschen Astronomen vielleicht auf jenes Phänomen hingewiesen, das im 19. Jahrhundert unter der Bezeichnung „Isostasie“ bekannt geworden ist.

### **3.1.4. Chemische Theorien der Erdbeben: LEMERYs Experiment und die Erklärung des Lissaboner Bebens durch KRÜGER**

Wie bereits aus dem Titel hervorgeht, hatten KRÜGERS „Gedanken von den Ursachen des Erdbebens, nebst einer moralischen Betrachtung“<sup>113)</sup> nicht nur eine wissenschaftliche Zielsetzung, sondern auch eine moralisch-religiöse, die sich gegen die religionskritischen aufklärerischen Denker seiner Zeit richtet. Er sieht in dem großen Lissaboner Erdbeben vor allem ein Strafgericht Gottes, der mit Hilfe natürlicher Ursachen den Menschen auf diese Weise seine Allmacht demonstriert. Auf die Frage, welche aber nun die natürlichen Ursachen der Erdbeben sind, antwortet KRÜ-

GER zunächst mit einer Aufzählung aller zeitgenössischen Lehrmeinungen, unter denen auch Tobias MAYER erwähnt wird<sup>114)</sup>:

*„Ein Hales wird uns sagen, dass wir die Ursache der Erderschütterungen nicht sowohl unter, als vielmehr über der Erde suchen müssten; er wird sie einem Blitz zuschreiben, der sich nahe an ihrer Oberfläche entzündet. Ein anderer sucht den Grund in der veränderten Richtung der Schwere der Körper; andere werden uns andere Quellen dieser entsetzlichen Begebenheiten entdecken. Die allermeisten aber werden darin übereinstimmen, dass man das Erdbeben der schnellen und gewaltsamen Ausdehnung der Luft zuschreiben müsse. Glaubt, werden sie sagen (und ihr könnt es mit der größten Gewißheit annehmen), glaubt, dass in den unterirdischen Höhlen und Behältnissen unseres Erdballs eine Menge von Schwefelkies, Harz, Bergfett, Salpeter und entzündbaren Dünsten vorhanden sei. Diese Dünste kommen in diesen feuchten Klüften nicht selten in eine starke Gärung, da die Hitze in den tiefsten Schächten fast unerträglich ist. Und alsdann entzündet sie sich, so wie sich das Pulver in einer Kartause oder der Blitz in den Wolken entzündet. Ich berufe mich auf die in den Bergwerken entstehenden wilden Wetter und auf die Entzündungen der Wurzeln, wodurch oft ganze Wälder in Brand geraten. Die unterirdische Luft, welche durch die Last der auf ihr liegenden Atmosphäre zusammengedrückt und doppelt dichter ist als die Luft in unserem Dunstkreis, wird plötzlich ausgedehnt. Und dieses verursacht erstlich das vor dem Erdbeben vorhergehende fürchterliche Getöse. Sie wirkt alsdann mit einer gleichen Gewalt gegen alle Seiten. Findet sie irgendwo einen schwachen Widerstand, liegt nur eine geringe Last von Erde auf dem Gewölbe, so wird sie sich einen Ausgang mit Gewalt machen, das Erdreich in die Höhe heben und Feuer und Steine auswerfen: es wird ein Vesuv, ein Ätna, ein Hekla entstehen. Wenn hingegen das Land zu fest ist und ihrer Kraft widersteht, so muss die erschreckliche Wirkung erfolgen, welche man ein Erdbeben nennt.“*

In einer Anmerkung zu diesem letzten Satz gibt KRÜGER auch die Quelle an, auf die er seine eigene Lehrmeinung über die Ursachen der Erdbeben stützt. Es sind die auch schon von KANT zitierten Versuche über die Selbstentzündung des Schwefels des Herrn LEMERY, die bereits im Jahr 1700 in den Abhandlungen der Pariser Akademie der Wissenschaften geschildert worden ist und in Deutschland vor allem durch die Übersetzungen von STEINWEHR (1748) bekannt geworden ist<sup>115)</sup>.

*„Man nimmt Eisenfeile und zu Pulver geriebenen Schwefel, zu gleichen Theilen, mischet es unter einander und macht mit Wasser einen Teig daraus;... Im Sommer habe ich 50 Pfund von diesen vermischten Materien in einen großen Topf gethan; ihn in ein Loch, das ich auf dem Felde graben lassen, gesetzt, mit leinen Tuch zugebunden, und ihn uhngesähr einen Fuß hoch mit Erde beschüttet. Acht oder neun Tage darnach ward ich gewahr, dass die Erde in die Höhe trat, sich erhitze und Borsten bekam. Darauf drungen schwefelige und heiße Dünste heraus; endlich brachen einige Flammen hervor, die die Oeffnungen erweiterten, und ein gelbes und schwarzes Pulver um den Ort herum streueten; die Erde aber blieb lange Zeit heiß. Ich nahm sie weg, nachdem sie verköhlet war; und fand im Topfe nichts als ein schwarzes und schweres Pulver; und das war die Eisenfeile, die einen Theil ihres Schwefels verlohren hatte.“*

<sup>111)</sup> MAYER. – a.a.O. S. 152.

<sup>112)</sup> MAYER. – a.a.O. S. 153.

<sup>113)</sup> KRÜGER, J.G.: Gedanken von den Ursachen des Erdbebens, nebst einer moralischen Betrachtung, Helmstedt: Hemmerden 1756 (231 S.) – In: BREIDERT, W. (Hrsg.): Die Erschütterung der vollkommenen Welt. S. 5–50, Darmstadt 1994.

<sup>114)</sup> KRÜGER. – a.a.O. S. 33.

<sup>115)</sup> LEMERY: Physische und chymische Erklärung der unterirdischen Feuer, der Erdbeben, Stürme, des Blitzes und Donners. – In: Physische Abhandlungen erster Theil. Königl. Akademie der Wissenschaften in Paris, S. 418 f, Breslau 1748.



Dieser Versuch brachte LEMERY auf die Grundidee einer einheitlichen Ursache von unterirdischem Feuer, Erdbeben, Orkane, Blitz und Donner, die er in der Gärung und Selbstentzündung eines solchen Gemisches von Eisen und Schwefel sah<sup>116, 117)</sup>:

*„Ich glaube der Ursprung der Materie des Donners und der Ursprung der Erdbeben, Orcane, und unterirdischen Feuer sey einerley.“*

*„Das Erdbeben wird, allem Ansehen nach, durch einen Dunst erregt, der in der gewaltigen Gebrung des Eisens und Schwefels gezeuget, und in einen Schwefelwind verwandelt ist. Dieser dringet durch, und rollet wohin er will, indem er die Erde, unter der er wegfährt, aufhebet und erschütteret. Wenn dieser Schwefelwind lange eingeschlossen bleibt, ohne dass er einen Ausgang finden kann, so dauert das Erdbeben lange und ist stark, bis er endlich seine Bewegung verlohren hat. Findet er aber einige Oeffnungen, dadurch er heraus kann, so dringet er mit großer Heftigkeit durch, und das nennet man Orcan.“*

Die Schwierigkeit, auf welche Art und Weise Luft, die zur Gärung und Entzündung nötig ist, in die Tiefe der Erde kommen kann, beseitigte er dadurch, dass er sich auf die Sonnenhitze berief, die an vielen Orten der Erde so tiefe Ritzen erzeugt, durch welche die Luft in große Tiefen eindringen kann<sup>118)</sup>:

*„Die großen Gebrungen und unterirdischen Feuer können nicht ohne Luft entstanden seyn. Man begreift aber nicht, wie die Luft so tief in die Erde habe dringen können. Hierauf dienet zur Antwort: es sind in der Erde viele Spalten und Gänge, die wir nicht sehen; vornehmlich aber in den heißen Ländern, wo diese unterirdische Bewegungen sehr oft vorgehen. Denn die große Sonnenhitze erhitzt, und calciniret, so zu reden, die Erde an vielen Orten, und macht tiefe Ritze darinn, wodurch Luft hinein kommen kann.“*

Für KRÜGER ist dieser Versuch LEMERYS die vollkommene und deutliche Erklärung der Entstehung des Lissaboner Erdbebens. In seine moralisch-religiöse Sprechweise eingekleidet, lautet sie daher<sup>119)</sup>:

*„Wenn Gott die Hälfte des Erdbodens gewaltsam erschüttern, wenn er Berge von ihrer Stelle rücken, wenn er ganze Felsen zersplittern, wenn er die größten und festesten Städte in einem Augenblick umstürzen will, so braucht er nichts weiter dazu als eine mittelmäßige Menge von Luft, als einen Funken, der sich schnell entzündet und die fetten, in den Gewölben der Erde verschlossenen Dünste in Flammen setzt. Alsdann liegt Lissabon in Schutt; alsdann ist es auf einmal ein Grab vieler tausend Menschen.“*

### 3.1.5. Dampfdrucktheorie: Der Papinsche Topf und die Erklärung des Lissaboner Bebens durch JACOBI

Wesentlich kritischer als KRÜGER und auch KANT, der ebenfalls unter anderen Versuchen „aus der Vermischung kalter Materien“ brennbare Dämpfe zu erzeugen, die sich selbst entzünden<sup>120)</sup>, auch den Versuch LEMERYS erwähnt, ist jedoch JACOBI<sup>121)</sup>. Er schildert zwar ebenfalls ausführlich

das Experiment von LEMERY. Doch glaubt er keineswegs, dass dieser Versuch die Erdbeben völlig erklärt. Vielmehr werden nach seiner Meinung von LEMERY eine Reihe von künstlich getroffenen Annahmen gemacht, die in der Natur selbst nicht vorhanden sind<sup>122)</sup>:

*„Dieser Gelehrte und mit ihm viele andere glauben, durch diesen Versuch sei das Erdbeben völlig erklärt. Sie legen in ihren Gedanken große unterirdische Höhlen voll kleiner Teilchen von Eisen, so mit zermalmtem Schwefel vermischt sind, und lassen durch einen Zufall Wasser dazukommen, so haben sie ihrer Meinung nach Entzündungen, feuerspeiende Berge und ein Erdbeben. Allein, wo findet man die Dinge in der Natur also, wie sie hier die Kunst zusammensetzt. Welcher Bergmann hat jemals einen Gang getroffen, wo Späne von gediegenen Eisen und Pulver vom Schwefel in einer solche Mischung gelegen?“*

Außerdem ist er der Meinung, dass solche lokale Feuerbrände viel zu schwach sind, als dass sie Vulkanausbrüche und Erdbeben erzeugen könnten<sup>123)</sup>:

*„Ferner ist das Feuer, welches auf diese Weise entsteht, viel zu schwach gegen diejenige Art Glut, welche in feuerspeienden Bergen ist, welche die härtesten Steine schmelzt. Endlich ist die Bewegung, welche durch diese Hitze verursacht wird, zu langsam und gleichförmig und verursacht keine Stöße und keine zitternde Bewegung, dergleichen man bei merklichen Erdbeben empfindet.“*

Bei der Erwägung der Alternative, dass entweder gleich vom ersten Anfang an ein Feuer in die Erde gelegt worden sei oder sich erst eine Mischung von kalter Materie erhitzt und entzündet habe, entscheidet sich JACOBI für die größere Wahrscheinlichkeit eines uranfänglichen Feuers. Doch kann er sich noch nicht zu der bereits in England vertretenen vulkanistischen Auffassung von einem Zentralfeuer im Erdinnern, die er unter dem Artikel „Feuer“ in der englischen Encyclopädie vorfindet, durchringen<sup>124)</sup>:

*„Da aber der Mittelpunkt der Erde über 800 deutsche Meilen von ihrer Oberfläche entfernt ist, so bin ich zu fürchsam und zu schwindelnd, mich so weit mit meinen Mutmaßungen hinabzuwagen und die Beschaffenheit des Innersten der Erde zu bestimmen. Ich liebe die physikalischen Erklärungen nicht, die sich auf Ursachen gründen, wovon wir nichts wissen, noch erfahren können. Ich bleibe gerne bei demjenigen stehen, wovon etwas zu erforschen möglich ist. Ich bleibe also in der obern Rinde der Erde, die uns in etwas bekannt ist, und stelle mir jene brennenden Schlinde nach der Ähnlichkeit vor, die man an allen Orten der Oberfläche der Erde findet, soweit man in dieselbe kommen kann.“*

Die Annahme von ursprünglichen Feuerherden in der oberen Rinde der Erde erklärt aber noch nicht die fürchterliche Gewalt, die dieses unterirdische Feuer bei einem Erdbeben äußert. In seinem eigenen Erklärungsversuch, bei dem es nicht nur um die Ursache, sondern auch um den Mechanismus des Erdbebens geht, greift JACOBI ebenfalls auf ein zu seiner Zeit bekanntes Experiment mit einer Vorrichtung zurück, die nach ihrem Urheber, dem französischen Arzt und Gelehrten Denis PAPIN, der „Papinsche Topf“ genannt wird und ursprünglich eine Art von Explosionsmotor darstellt. Die Leistung dieser Maschine, deren Wirkungsweise darin bestand, dass eine kleine Menge Pulver, zur Entzündung gebracht, unter dem Kolben im Zylinder Luft herausreißen sollte, wodurch der Kolben von der schweren Außenluft wieder niedergedrückt wurde, war äußerst gering. Sie konnte wesentlich gesteigert werden,

<sup>116)</sup> Ebenda.

<sup>117)</sup> LEMERY. – a.a.O. S. 420.

<sup>118)</sup> Ebenda.

<sup>119)</sup> KRÜGER. – a.a.O. S. 34.

<sup>120)</sup> Vgl. OESER, E.: Historical Earthquake Theories from Aristotle to Kant. – In: GUTDEUTSCH, R., GRÜNTAL, G., MUSSON, R.: Historical Earthquakes in Central Europe. Vol. I. – Abh. Geol. B.-A., 48., S. 28, Wien 1992.

<sup>121)</sup> JACOBI, J.F.: Sammlung einiger Erfahrungen und Muthmaßungen von Erdbeben, in: Nützliche Sammlungen, Hannover 1756, 15.–18. Stück, Sp. 225–288; neu abgedruckt. – In: BREIDERT, W. (Hrsg.), Die Erschütterung der vollkommenen Welt, S. 160–185, Darmstadt 1994.

<sup>122)</sup> JACOBI. – a.a.O. S. 162.

<sup>123)</sup> Ebenda.

<sup>124)</sup> JACOBI. – a.a.O. S. 165.

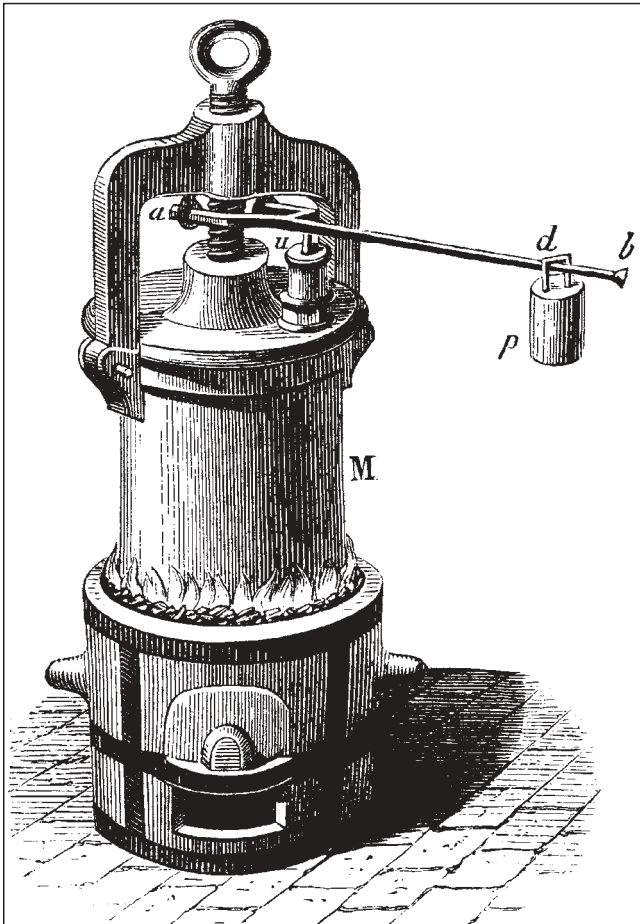


Abb. 11.  
Der Papinsche Topf als Analogiemodell zur Dampfdrucktheorie der Erdbeben (aus GANOT, 1868).

als PAPIN auf die Idee kam, das Pulver durch Wasserdampf zu ersetzen, bei dessen Erkalten der Kolben durch den äußeren Luftdruck herabgedrückt wurde und dadurch ein Gewicht hob, das die meßbare Arbeitsleistung darstellte<sup>125)</sup>.

Zu JACOBI'S Zeiten wurde dieser Papinsche Topf, den man als einen Vorläufer der Wattschen Dampfmaschine betrachten kann, als Dampfdruckkochtopf verwendet, dessen Deckel ohne Ventil fest auf den Topf zugeschraubt wurde<sup>126)</sup>:

*„Man pflegt in einen solchen Topf allerhand Knochen zu tun und so weit voll Wasser zu gießen, dass ungefähr zwei Finger breit ledig bleiben. Wenn er alsdann feste zugeschraubt ist, legt man ihn auf ein gelindes Kohlenfeuer. Man tut diese aber in freier Luft, weil dieser Topf wie eine Bombe zerspringen kann. Wenn denn derselbe mit dem Wasser und Knochen auf die drei Stunden gekocht hat, so sind die Rinderknochen so mürbe, dass man sie schneiden kann, die Kalbsknochen aber so weich, dass man sie wie die Butter schmieren kann.“*

Ein missglückter Versuch, bei dem JACOBI selbst anwesend war<sup>127)</sup>, lieferte ihm schließlich den Beweis, mit welcher Kraft kochende Dünste sich ausdehnen können (Abb. 11):

*„Dem sel. Herrn Hofrat Hamburger in Jena ist es bei diesem Versuche einmal begegnet, dass die Gewalt der aus-*

*gedehnten Dünste und Luft den Deckel dieses Topfes mit seinen Schrauben dergestalt abgetrieben, dass alle Schraubengänge abgeschält und die Schrauben so glatt waren, als wenn sie abgedrechselt gewesen. Ich habe sie selber gesehen, wie denn auch, da ich diesen Versuch machen sah, der Topf keine drei volle Stunden auf dem Feuer lag, ohne dass die Dünste und Luft sich einige Öffnung machten.“*

Entscheidend jedoch ist für JACOBI, dass das kochende Wasser in solchen Töpfen ganz ähnlich zitternde und stoßende Bewegungen erzeugt, wie sie bei Erdbeben zu beobachten sind<sup>128)</sup>:

*„Damit der Leser sich auch überzeugen könne, dass ein kochendes Wasser eine zitternde und stoßende Bewegung mache, so darf er nur die Hand mit einem Tuche umwinden, und sie auf einen geschlossenen Kessel halten worinnen ein Gemüse stark kocht, oder auch nur einen Topf voller Kaffee in seiner Hand halten, besonders wenn er eben anfangen will zu kochen, so wird er solches an dem in seiner Hand haltenden Stiele fühlen.“*

Wenn man nun wie JACOBI annimmt, dass in der oberen Rinde der Erde in brennenden Gängen ein glühender Fluss von Steinen und Mineralien vorhanden ist, der ganze Höhlen füllen kann, zu denen dann kaltes Wasser hinzutritt, so kann man nach seiner Auffassung alles erklären, was man bei Erdbeben wahrnimmt. Angefangen mit dem Getöse, das manchmal gehört wird, ohne dass schon ein Erdbeben entsteht, bis zu den Hebungen, wiederholten Stößen und Erschütterungen des Erdbodens sind es immer nur Vorgänge, die dadurch hervorgerufen werden, dass sich kaltes Wasser in Höhlen mit geschmolzenen Mineralien ergießt<sup>129)</sup>:

*„Man setze, dass dieses Wasser erst zwischen einen Fluß von brennender Materie oder in einen kleinen Teil des geschmolzenen und glühenden Flusses der Mineralien komme, so wird ein Getöse, aber noch kein Erdbeben entstehen. Kommt das kalte Wasser zu einer etwas beträchtlicheren Menge der geschmolzenen Materien, so wird ein größeres Platzen und Krachen entstehen. Fließt ein merklicher Strom kaltes Wasser in einen Ort, wo eine große Menge von geschmolzenen Mineralien ist, so wird dieser Fluß mit dem größten Krachen auseinanderspringen, das Wasser selber wird sogleich kochen und brausen und in heiße Dünste verwandelt werden, welche sich mit der größten Gewalt ausdehnen. Die Gegend, welche darüber liegt, wird in die Höhe gehoben und zugleich in eine erschütternde Bewegung gesetzt werden. Sind der Höhlen mehr, in welchen geschmolzenen Mineralien sind, in welche sich das kalte Wasser nach und nach ergießt, so wird man verschiedene Stöße nacheinander spüren. Wenn endlich alle geschmolzenen Massen erkaltet oder der Zufluss des kalten Wasser gehemmt wurden, wird die Erde wieder ganz ruhig werden.“*

Die Papinsche Dampfdruckmaschine lehrt uns nach JACOBI'S Meinung, wie sehr sich heiße Dünste bei ihrer Erkaltung wieder zusammenziehen können. Denn sie demonstriert auch, dass damit ein Pumpwerk betrieben werden kann, das eine große Ähnlichkeit mit jenen beim Lissaboner Erdbeben beobachteten Hebungen und Senkungen des Meeresspiegels aufweist. Wie die Dünste des kochenden Wassers die Pumpe zunächst auf eine gewisse Höhe hochtreiben und dann durch Einspritzen von kaltem Wassern diese Dünste bei ihrer Erkaltung sich wieder legen, so dass ein luftleerer Raum entsteht, der durch den atmosphärischen Druck die Pumpe wieder niederdrückt, so bewegte sich auch der Meeresspiegel bei dem großen Beben in Portugal<sup>130)</sup>:

<sup>125)</sup> GANOT, A.: Cours de physique. – Quatrième Edition, S. 253, Paris 1868. – Vgl. OESER, E.: Das Abenteuer der kollektiven Vernunft, S. 150, Berlin – Hamburg 1988.

<sup>126)</sup> JACOBI. – a.a.O. S. 168.

<sup>127)</sup> JACOBI. – a.a.O. S. 168 f.

<sup>128)</sup> JACOBI. – a.a.O. S. 169.

<sup>129)</sup> JACOBI. – a.a.O. S. 167 f.

<sup>130)</sup> JACOBI. – a.a.O. S. 170.

„Nun nehme man an, dass die vorhin angegebenen unterirdischen Begebenheiten unter einer Küste am Meere vorgehen, so werden die ausgedehnten Dünste und Luft die Küste heben und das Wasser wird folglich zurücktreten. Kommt aber ein neuer Zufluss vom kalten Wasser, oder die Dünste bekommen irgendwo einen Ausgang, so wird sich die Küste wieder senken und das zurückgetretene Wasser wird zurückschießen und der schnelle Schuß wird hohe Wellen verursachen. Wird eine neuer Zuschuß von dem kalten Wasser wieder kochend und zu Dünsten, so wird sich die Küste wieder heben und überhaupt die vorige Abwechslung wieder erfolgen. Zu Cadix hat diese Bewegung des Meeres erst einige Zeit nach der Erschütterung der Erde angefangen. Das Erdbeben hat daselbst um 9 Uhr und 50 Minuten angefangen und ungefähr 5 Minuten gedauert. Die starken Bewegungen des Wassers aber haben erst um 2 Uhr und 10 Minuten ihren Anfang genommen. Es ist sechsmal weggegangen und wiedergekommen. Es läßt sich dieses in etwas begreifen, wenn man annimmt, dass bei der ersten heftigen Bewegung Land und Meer gleich stark gehoben worden, die unterirdischen Dünste unter dem Boden des Meeres aber sich zuerst abgekühlt und zusammengezogen, und eine Senkung des Meeresgrundes verursacht, da denn das Wasser natürlicherweise zurücktreten müssen; die heißen Dünste unter dem Lande aber haben sich darauf geschwind in diese kühlern Gegenden gezogen, und die Küste hat sich wieder in ihre gewöhnliche Lage gesenkt und dem Wasser Raum gemacht, mit Ungestüm zurückzustürzen.“

### 3.2. Hohlkugeltheorien des Erdinnern und ihre Verknüpfung mit atmosphärischen und chemischen Theorien der Erdbeben

Sowohl die chemischen Theorien über unterirdische Erdbrände als auch die Dampfdrucktheorien gingen von der Annahme weitläufiger Gänge und großer Höhlen im Erdinnern aus. Die wohl phantastischste Annahme unter diesen Vorstellungen vom Erdinneren war jedoch die Wiederbelebung der alten Hohlkugeltheorie, die ursprünglich von dem durch die Entdeckung des nach ihm benannten Kometen berühmten Astronomen HALLEY vertreten worden ist. Als rein theoretische Vorstellung findet man diese Auffassung von der Erde als Hohlkugel bereits in der Diskussion um das Copernicanische Weltbild. Der Jesuit SCHEINER<sup>131)</sup> stellt diese Hypothese von einem Hohlraum im Innern der Erde nur deswegen auf, um ein Argument gegen den Copernicanischen Begriff der Schwere zu formulieren. COPERNICUS nimmt an, dass sich schwere Körper deswegen nach abwärts bewegen, weil sie danach streben, sich mit dem Erdball zu vereinigen. Nimmt man aber an, dass das Zentrum der Erde aus einer Hohlkugel besteht, so stellt sich die Frage, wie sich ein schwerer Stein, der in den Mittelpunkt einer großen Höhle versetzt wird, verhält. Steigt er zu irgendeinem Punkt der Höhlenwand, so ist das gegen alle Vernunft und Erfahrung. Verharrt er im Mittelpunkt, dann ist die Auffassung von der Schwere, wie sie COPERNICUS vertritt, falsch. Ebenso unsinnig ist die Vorstellung von einem Stein, der an der Höhlenwand ohne Befestigung hängen bleibt, würde er aber zum Mittelpunkt fallen, dann wäre das ebenfalls ein Widerspruch zu COPERNICUS<sup>132)</sup>:

„Lapis in centro constitutus aut ascendet ad terram in punctum aliquod, aut non. Si secundum, falsum est, partes ob solam seiunctionem a toto ad illud moveri. Si primum,

omnis ratio et experientia renitit; neque gravia in suae gravitatis centro conguiescent. Item si suspensus lapis, liberatus decidat in centrum, separabit se a toto, contra Copernicum: si pendeat, refragatur omnis experientia, cum videamus integros fornices corruere.“

GALILEI, der in seinem Dialog über die beiden Weltsysteme auf diesen Einwand eingeht, ist dagegen der Meinung, dass die schweren Substanzen früher vorhanden sein müssen als das gemeinsame Zentrum der Schwere. Darum würde eine derartige luftgefüllte Höhle im Zentrum der Erde nur solange bestehen bleiben, als es die Härte der Erdmassen, die das Gewölbe bilden, erlaubt. Einzelne losgelöste Steine würden aber nach dem Mittelpunkt hinfallen<sup>133)</sup>.

„E dirò, che credo, che prima siano le cose gravi, che il centro comune della gravità; sichè non un centro; che altro non è, che un punto indivisibile, e pero di nessuna efficacia, sia quello, che attragga a se le materie gravi; ma che esse materie cospirando naturalmente all'ulnione, si formino un comun centro, che è quello, intorno al quale consistono parti di eguali momenti: onde stimo, che trasfereudosi il grande aggregato dei gravi in qualsivoglia luogo, le particelle, che dal tutto fusser separate, lo seguirebbero, e non impedite lo penetrerebbero sin dove trovassero parti men gravi di loro; ma pervenute sin dove s'incontrassero in materie più gravi, non scenderebber più. E però stimo, che nella caverna ripiena d'aria tutta la volta premerebbe, e solo violentemente si sostenterebbe sopra quell'aria, quando la durezza non potesse esser superata e rotta dalla gravità; ma sassi staccati, credo che scenderebbero al centro, e non soprannoterebbero all'aria.“

Er selbst aber hält diese Hypothese von der Hohlkugel überhaupt für unwahrscheinlich und nimmt als Erdkern vielmehr entsprechend seiner Meinung, dass schwere Substanzen früher da sein müssen als das theoretisch angenommene gemeinsame Zentrum der Schwere, einen äußerst dichten und festen Stoff aus dem härtesten Gestein an, den er ganz nach der Auffassung GILBERTS als magnetisch bezeichnet<sup>134)</sup>.

„Non può dunque l'interna sostanza di questo nostro globo essere una materia frangibile, dissipabile, e nulla coerente, come questa superficiale, che noi chiamiamo terra; ma convien, che sia corpo densissimo, e solidissimo, e in somma una durissimapietra. E se ella pur debbe esser tale, qual ragione vi ha da far più renitente al creder, che ella sia una Calamita, che un porfido, un diaspro, o altro marmor duro“?

#### 3.2.1. Die Hohlwelt des Astronomen HALLEY

Die Gründe, die HALLEY am Ende des 17. Jahrhunderts dazu bewegten, die Erde als eine Hohlkugel anzusehen, war die jährliche Veränderung der magnetischen Abweichung. Nach seiner Meinung wurde diese Veränderung durch einen unterirdisch frei in einem Hohlraum rotierenden Kern verursacht. Außerdem hielt es der fromme und gottesfürchtige HALLEY für des Schöpfers würdiger, dass der Erdball wie ein Haus mit mehreren Stockwerken von innen und außen bewohnt sei. Für das Licht in der Hohlkugel würde auch wohl auf irgendeine Weise gesorgt werden können<sup>135)</sup>.

HALLEYS Idee von der Erde als Hohlkugel wurde zu HUMBOLDTS Zeiten von dem schottischen Physiker Sir John

<sup>133)</sup> GALILEI. – a.a.O. S. 516 f.

<sup>134)</sup> GALILEI, G.: Opere XII. – S. 241, Milano 1811.

<sup>135)</sup> HALLEY, W.: On the structure of the internal parts of the Earth and the concave habitated arch of the shell. – Philosoph. Transact. for the year 1693, Vol. XVII, S. 576.  
Vgl. HUMBOLDT. – Kosmos Bd. I, S. 415.

<sup>131)</sup> Nach der Schrift seines Schülers LOCHER: Disquisitiones mathematicae de controversiis et novitatibus astronomicis. – Ingolstadt 1614.

<sup>132)</sup> GALILEI, G.: Opere XI. – S. 516, Milano 1811.

LESLIE (1766–1832) aufgegriffen. Dieser versuchte die nun bereits bekannte Abplattung der Erde mit einer einfachen, bis ins Unendliche kompressiblen Substanz im Zentrum der Erde in Einklang zu bringen. Deshalb nahm er einen Hohlraum im Inneren der Erde an, der mit „unwägbaren Stoffen von ungeheurer Repulsionskraft“ erfüllt sein sollte. An diese gewagte Hypothese schließen sich dann eine Reihe von phantasiereichen aber unwissenschaftlichen Vermutungen an, die bis zum Ende des 19. Jahrhunderts weit verbreitet waren. Da man berechnet hatte, dass der

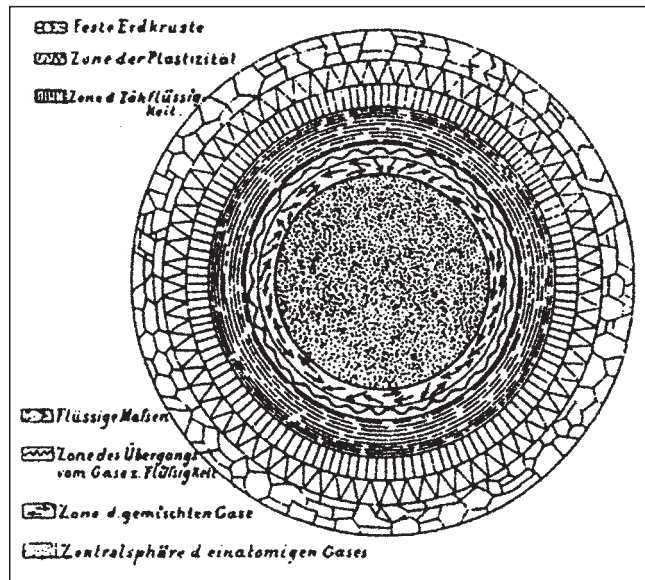


Abb. 12.  
Darstellung des gaseerfüllten Erdkerns von S. GÜNTHER (1897).

Druck, der im Erdinneren durch die darüberliegenden Schichten auch bei einem „luftförmigen“ Stoff, wie ihn LESLIE annahm, zu einer Dichte führen musste, die selbst Platin und Iridium übertrifft, war es nicht ausgeschlossen, dass die so stark komprimierte Luft selbst zu leuchten begann. Damit war nicht nur das Halleysche Problem der Beleuchtung der unterirdischen Welt gelöst, ohne dass man im Erdinneren herumkreisende selbstleuchtende Planeten annehmen musste, sondern zugleich auch die rätselhafte Erscheinung des Nordlichtes erklärt.

In einer zweiten fast 25 Jahre später erschienenen Arbeit in den „Philosophical Transactions“ hat HALLEY in Übereinstimmung mit seinen früheren Ideen die These vertreten, dass sich in der hohlen Erdkugel zwischen der äußeren Schale, auf der wir wohnen, und dem inneren, auch von Menschen bewohnten dichten Kern, ein leuchtendes Fluidum befindet<sup>136)</sup>:

„In order to make that inner Globe capable of being inhabited, there might not improbably be contained some luminous Medium between the balls, so as to make a perpetual Day below.“

Da nun in der Gegend der Rotations-Pole die äußere Schale unserer Erdrinde (wegen der entstandenen Abplattung) weit dünner sein müsse als unter dem Äquator, so suche sich zu gewissen Zeiten, besonders in den Aequinoctien, das innere leuchtende magnetische Fluidum in der dünnen Polargegend einen Weg durch die Spalten des Gesteins. Das Ausströmen dieses Fluidums ist nach HALLEY die Erscheinung des Nordlichts. Versuche mit Eisenfeilen,

<sup>136)</sup> HALLEY, W.: Account of the late surprizing appearance of lights in the air. – In: Philosophical Transactions Vol. XXIV (for 1714–1716) No. 347, p. 424.  
Vgl. HUMBOLDT. – Kosmos Bd. IV, 1858, S. 196.

auf einen sphäroidischen Magnet (eine Terrelle) gestreut, dienten dazu, die Richtung der leuchtenden farbigen Strahlen des Nordlichts zu erklären. So wie jeder seinen eigenen Regenbogen sieht, so steht auch für jeden Beobachter die Corona an einem anderen Punkte.

### 3.2.2. Die Renaissance der aristotelischen pneumatischen Erdbeben Theorie durch FRANKLIN

So phantastisch diese Theorie des Nordlichtes und die Vorstellung der Bewohnbarkeit des Erdinneren auch sein mag, so kann man doch in dieser Hypothese eines zwar dichten selbstleuchtenden, aber dennoch luftartigen Erdkerns einen Vorläufer von der gegen Ende des 19. Jahrhunderts von dem Münchner Geophysiker und Geographen SIEGMUND GUENTHER vertretenen Auffassung sehen, dass der Erdkern aus einem einatomigen Gas von großer Dichtigkeit besteht<sup>137)</sup>.

GUENTHER selbst hat in einer eigenen historischen Abhandlung<sup>138)</sup> auf diese Entwicklung hingewiesen. Es waren insbesondere FRANKLIN, LICHTENBERG<sup>139)</sup> und später Herbert SPENCER<sup>140)</sup>, die die Hohlkugelhypothese ins 19. Jahrhundert trotz schwerster Kritik hinüberretteten.

Für die Geschichte der Erdbeben Theorie erlangten diese Hohlkugeltheorien der Erde insbesondere durch Benjamin FRANKLIN Bedeutung, wie bereits HUMBOLDT bemerkt hat<sup>141)</sup>.

FRANKLIN nimmt eigentlich eine Mittelstellung ein zwischen der älteren Auffassung HALLEYS von einem mit gewöhnlicher Luft erfüllten Hohlraum im Innern der Erde und der Vorstellung Siegmund GÜNTHERS vom einatomigen Gas als Erdkern.

In einem Bericht an die American Philosophical Society in Philadelphia<sup>142)</sup> vertrat er die Auffassung, dass der Erdkern aus einer nach dem mariotteschen Gesetz ungeheuer verdichteten Luftkugel besteht. Auf dieser Luftkugel schwimmt nach seiner Meinung die feste Erdrinde, über der sich die Atmosphäre befindet. Durch die Umdrehung der Erde um ihre Achse verändert das innere Fluidum seine Figur, so dass die Erdrinde zerbrechen könnte. Außerdem entstehen auch durch die Expansion von Dämpfen, die einen Druck auf das innere Fluidum ausüben, unter der Rinde wellenförmige Bewegungen. Diese wellenförmigen Bewegungen erstrecken sich auf sehr große Entfernungen und versetzen das ganze Land in Erschütterung.

### 3.2.3. Humphrey DAVY und das Ende der chemischen Theorien über Vulkanismus und Erdbeben

Die Hohlkugeltheorie der Erde, die bei FRANKLIN mit einer atmosphärischen Theorie der Erdbeben verknüpft war, erklärte jedoch nicht den Vulkanismus. Eine einheitliche Theorie von Vulkanismus und Erdbeben, die ebenfalls von der Hypothese großer unterirdischer Hohlräume ausging, lieferte der englische Chemiker Humphrey DAVY. DAVY war ein Zeitgenosse von Alexander VON HUMBOLDT

<sup>137)</sup> GÜNTHER, S.: Handbuch der Geophysik. Bd. 1. – S. 354–357, Stuttgart 1897.

<sup>138)</sup> GÜNTHER, S.: Die Entwicklung der Lehre vom gasförmigen Inneren der Erde. – J.G.G.M. XIV, S. 1 ff.

<sup>139)</sup> LICHTENBERG-GAMAUF: Erinnerungen an Vorlesungen über physische Geographie. – S. 378, Wien 1818.

<sup>140)</sup> SPENCER, H.: The form of the Earth no Proof of original Fluidity. – P.M., (3) XXX, S. 194 ff.

<sup>141)</sup> HUMBOLDT, A. von: Kosmos Bd. I, S. 425.

<sup>142)</sup> FRANKLIN, B.: Conjectures concerning the Formation of the Earth. – Transact. of the American Philosophical Society, held at Philadelphia, Vol. III, 1793 num. I.



Abb. 13.  
Die Darstellung des bewohnbaren Erdinnern durch Jules VERNE (1875) nach der Hohlkugeltheorie von HALLEY (1693) und der chemischen Theorie der Vulkane von DAVY.

und der letzte bedeutende Vertreter der Ansicht vom kalten Erdinnern, die meist mit der Vorstellung von der Bewohnbarkeit der unterirdischen Hohlräume verbunden war. Obwohl HUMBOLDT selbst derartige Überlegungen als Resultate einer krankhaften Neigung des Menschen ansieht, ungesehene Räume mit Wundergestalten zu fühlen, hält er sie doch für wichtig genug, um sie in einer ausführlichen Darstellung zusammenzufassen<sup>143)</sup>.

*„Die Hohlkugel ist nach und nach mit Pflanzen und Thieren bevölkert worden, über die zwei kleine unterirdisch kreisende Planeten, Pluto und Proserpina, ihr mildes Licht ausgießen. Immer gleiche Wärme herrscht in diesen inneren Erdräumen, und die durch Compression selbstleuchtende Luft könnte wohl die Planeten der Unterwelt entbehrlich machen. Nahe am Nordpol, unter 82° Breite, da wo das Polarlicht ausströmt, ist eine ungeheure Oeffnung, durch die man in die Hohlkugel hinabsteigen kann.“*

Zu einer solchen unterirdischen Expedition wurde noch HUMBOLDT selbst und Sir Humphrey DAVY wiederholt und öffentlich aufgefordert. Während jedoch für HUMBOLDT eine derartige Aufforderung völlig abwegig war, hätte ihr DAVY noch eher zustimmen können. Denn im Unterschied zu HUMBOLDT, der einen feuerflüssigen Erdkern annahm, hatte der große Chemiker, dem wir die Kenntnis der brennbaren metallischen Substanzen verdanken, ursprünglich die Ansicht vertreten, dass die vulkanischen Tätigkeiten nur lokal sind und auf chemische Reaktionen zurückzuführen sind, die in Folge der Berührung der metalloiden Basen durch Luft und Wasser zustandekommen. Zwar dachte sich DAVY nicht mehr wie HALLEY das Innere der Erde ausgehöhlt, sondern nahm an, dass der Erdkern aus den unoxydierten Massen von Metalloiden der Alkalien und Erden bestehen, doch hatte er mit der Vorstellung eines kalten Erdinneren den Spekulationen über eine „Reise zum Mittelpunkt der Erde“ Tür und Tor geöffnet.

Das zeigt vor allem JULES VERNES berühmter Roman, der im Jahre 1875 erschien und eine phantasiereiche Kombination der Theorien von HALLEY und DAVY darstellt, lange nachdem DAVY selbst seine kühne Hypothese bereits aufgegeben hatte<sup>144)</sup>.

<sup>143)</sup> HUMBOLDT. – a.a.O. S. 178.

<sup>144)</sup> VERNE, J.: Voyage au centre de la terre. – S. 31, Paris 1875.

*„La terre a été échauffée par la combustion de sa surface, non autrement. Sa surface était composée d'une grande quantité de métaux, tels que le potassium, le sodium, qui ont la propriété de s'enflammer au seul contact de l'air et de l'eau; ces métaux prirent feu quand les vapeurs atmosphériques se précipitèrent en pluie sur le sol; et peu à peu, lorsque les eaux pénétrèrent dans les fissures de l'écorce terrestre, elles déterminèrent de nouveaux incendies avec explosions et éruptions. De là les volcans si nombreux aux premiers jours du monde. – Et qu'Humphry Davy me rendit sensible, ici même, par une expérience bien simple. Il composa une boule métallique faite principalement des métaux dont je viens de parler, et qui figurait parfaitement notre globe; lorsqu'on faisait tomber une fine rosée à surface, celle-ci se boursoufflait, s'oxydait et formait une petite montagne; un cratère s'ouvrait à son sommet; l'éruption avait lieu et communiquait à toute la boule une chaleur telle qu'il devenait impossible de la tenir à la main.“*

In seinem letzten, wie HUMBOLDT sagt, ein wehmütiges Gefühl erregenden Werk „Consolation in travel and last days of a Philosopher“ entsagte DAVY dieser Hypothese – durch den Druck empirischer Gegenargumente gezwungen. Denn die große mittlere Dichte des gesamten Erdkörpers (5,44), verglichen mit dem spezifischen Gewicht von Kalium (0,865) und Natrium (0,972) oder der sog. Erd-Metalle (1,2) stand ebenso zu diesen Vorstellungen DAVYS in Widerspruch wie der Mangel an Wasserstoffgas bei der Eruption der Vulkane. Außerdem wurde von dem englischen Astronomen HOPKINS<sup>145)</sup> wegen der Druckverhältnisse berechnete Zweifel an dem Eindringen von Wasser in die Herde der Vulkane und eine Reihe von Bedenken chemischer Art von bekannten Fachleuten wie GAY-LUSSAC, BERZELIUS und WÖHLER<sup>146)</sup> geäußert.

### 3.3. Ein gescheiterter Erklärungsversuch: Elektrizität als Ursache der Erdbeben: STUKELEY, BINA, BECCARIA, ST. LAZARE

Die beiden Erdbeben in London, am 8. Februar und 8. März 1749 und ein anderes Erdbeben am 30. September 1750, das in weiten Teilen Englands zu spüren war, gab den Anlass zu einem neuen, bisher unbekanntem Erklärungsversuch. Denn bei diesen Erdbeben war weder Feuer, Dampf noch Rauch festzustellen. Deshalb versagten in diesem Fall alle Theorien, die die Ursachen der Erdbeben auf unterirdische Winde, Feuer oder chemische Explosionen zurückführen wollten.

William STUKELEY war der erste, der in einer Abhandlung in den „Philosophical Transactions“<sup>147)</sup> die Vermutung aussprach, dass diese Erdbeben eine bloße Wirkung der Elektrizität wären. Er begründete diese Ansicht auch damit, dass es noch gar nicht erwiesen sei, dass die Erde in ihrem Inneren aus lauter Höhlen und Gängen bestehe. Vielmehr sei anzunehmen, dass das Erdinnere größtenteils dicht sei und nur wenig Raum für derartig gewaltige Explosionen oder Dämpfe übriglasse. Außerdem müssten an der Oberfläche der Erde weitreichende Beben aus einer sehr großen Tiefe und mit einer so großen Kraft erfolgen, die weder durch Dämpfe noch durch feurige Explosionen hervorgebracht werden können. Daher war seine Folgerung: Erdbeben können nichts anderes als elektrische Erschütterungen sein. Als Beleg führt STUKELEY an, dass zur Zeit der Londoner Erdbeben die Atmosphäre äußerst stark elektrisch geladen war. Wenn sich nun dieser elektrisch geladene

<sup>145)</sup> HOPKINS, W.: Meeting of the British Assoc in 1847. – S. 38.

<sup>146)</sup> BERZELIUS und WÖHLER in Poggend. – Annalen Bd. I, S. 221 und Bd. XI, S. 146.

<sup>147)</sup> STUKELEY, W.: Letter to Martin FOLKES on the causes of Earthquakes. – Phil. transact. Vol XLVI., n. 497.

nen Atmosphäre eine „unelektrische Wolke“ näherte, musste es notwendigerweise zu einer Entladung und dadurch zu einer starken Erschütterung der Erdoberfläche gekommen sein.

Die Idee, Erdbeben aus der Wirkung der Elektrizität herzuleiten, war auch in Italien und Frankreich verbreitet. So bemühte sich Andrea BINA in einem 1751 in Perugia erschienenen Werk<sup>148)</sup> die Entstehung von Erdbeben in Analogie zu dem damals schon bekannten Versuch mit der Leidener Flasche zu erklären. An Stelle der Flasche muss man sich nur unterirdische Wasserbehältnisse vorstellen, die mit Schwefel und Pech umzogen sind und statt der eisernen Drähte durch unterirdische Gänge miteinander verbunden sind. Das, was der Mensch als heftigen Schlag bei der Entladung der Leidener Flasche spürt, entspricht dann dem Erdbeben, das nichts anderes als eine Entladung der unterirdischen Wasserbehälter ist.

Das bedeutendste Argument für die Erklärung der Erdbeben als Wirkung der Elektrizität besteht jedoch in der bisher völlig unerklärlichen Ausbreitungsgeschwindigkeit der Erdbeben, die nach dem Turiner Physik-Professor Giovanni Battista BECCARIA (1716–1781) ganz offensichtlich die Identität der Erdbeben mit einem elektrischen Schlag beweist<sup>149)</sup>. Als empirischen Beleg führt BECCARIA den Umstand an, dass beim Ausbruch des Vesuvs Lichtflammen, die wie Blitze aus dem Erdinneren herausfahren, zu beobachten waren. Genau diese Blitzerscheinungen waren auch bei vielen Erdbeben festzustellen und außerdem waren sie von einem rumpelnden Getöse, gleich einem Donner begleitet.

Als weiteren Beleg für die Auffassung, dass Erdbeben nicht durch allmähliches Heben, sondern durch einen plötzlichen elektrischen Schlag entstehen, führt BECCARIA die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Beben im Wasser an. So verspürt man auf Schiffen, die weit von der Küste abliegen, bei einem Erdbeben einen plötzlichen Stoß, als ob das Schiff an eine Klippe stieße.

Zur Bestätigung dieser Theorien über die elektrischen Ursachen der Erdbeben wurden sowohl von BECCARIA als auch von CAVALLO<sup>150)</sup> Experimente ausgeführt: Wenn man durch zwei Drähte, die in Glas eingegossen sind, eine elektrische Ladung hindurchgehen lässt, wird dieses Glas heftig erschüttert oder sogar zertrümmert.

Eine Kombination der herkömmlichen Theorien der Erdbebenverursachung durch Feuer und Dampf mit der Elektrizität wurde in Frankreich vertreten. Die Elektrizität wurde dabei als der Ursprung der Entzündung der Feuerherde angesehen. Auf diese Hypothese gründete Bertholon ST. LAZARE<sup>151)</sup> einen Vorschlag, ganze Gegenden Frankreichs gegen die Wirkungen der Erdbeben durch Blitzableiter zu schützen. Dieser Vorschlag bestand darin, lange eiserne Stangen in den Erdboden einzugraben, die sowohl an dem in die Luft ragenden Ende als auch an dem in der Erde versenkten Ende mit verschiedenen Spitzen und Drähten versehen sein sollten. Auf diese Weise sollte ein beständiges Gleichgewicht zwischen der Atmosphäre und dem Inneren der Erde erhalten werden.

So verbreitet diese Erklärungsversuche der Erdbeben durch die Wirkung der Elektrizität kurzzeitig auch waren, so schnell wurden sie auch wieder aufgegeben. Bereits KANT<sup>152)</sup> verurteilte die Auffassung des Pater BINA als „freie Ausschweifungen der Neuigkeitsbegierde, die von den

sicheren und behutsamen Urteilen“ zu unterscheiden sind, die auf „Erfahrung“ beruhen und „vernünftige Glaubwürdigkeit“ beanspruchen können.

### 3.4. Vulkanistische und neptunistische Erklärungsversuche der Erdbeben in der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts

Das große Lissaboner Beben lieferte auch den Anlass zur Differenzierung von Vulkanismus und Neptunismus als zweier grundlegender geologischer Auffassungen, welcher die Erdbebenforschung des 19. Jahrhunderts weitgehend bestimmte.

Über die Geschichte dieser beiden Erklärungsversuche der Ursachen der Erdbeben hat GOETHE, der selbst ein Anhänger der neptunistischen Schule war, eine allgemeingültige Bemerkung gemacht. Ohne den wissenschaftlichen Fortschritt zu verleugnen, sieht er doch in der gesamten Wissenschaftsgeschichte einen ständigen Kreislauf<sup>153)</sup>:

*„Unbeschadet des Glaubens an eine fortschreitende Kultur, ließ sich, wie in der Weltgeschichte, so in der Geschichte der Wissenschaften, gar wohl bemerken, dass der menschliche Geist sich in einem gewissen Kreise von Denk- und Vorstellungsarten herumbewege. Man mag sich noch so sehr bemühen man kommt nach vielen Umwegen immer in demselben Kreise auf einen gewissen Punkt zurück.“*

Als unübersehbares Beispiel dafür, dass der Vulkanismus und die Vorstellung des Zentralfeuers mitten im Erdball nur die Wiederkehr alter Ideen ist, führt er die Auffassung des Jesuiten Athanasius KIRCHER aus dem 17. Jahrhundert an. Er hätte aber auch ebensogut auf DESCARTES und LEIBNIZ verweisen können<sup>154)</sup>:

*„Pater Kircher, um gewisse geologische Phänomene zu erklären, legt mitten im Erdball ein Pyrophyllacium an ... Braucht man einen Vulkan, so läßt man die Glut selbst durch die geborstene Erde durchbrechen und alles geht seinen natürlichen Gang. Diesen älteren anfänglichen Vorstellungen ist die neuere ganz gleich. Man nimmt eine Feuerglut an unter unserem Ur- und Grundgebirge, die hie und da sich andeutet, ja hervorbricht und überall hervorbrechen würde, wenn die Urgebirgsmasse nicht so schwer wären, dass sie nicht geboben werden können und so sucht man überall problematische Data dahin zu deuten, dass dieses ein oder das andere Mal geschehen sei. Kirchers Pyrophyllacium ist in allen Ehren und Würden wieder hergestellt.“*

Nimmt man jedoch Vulkanismus und Neptunismus als Erklärungsursachen der Erdbeben an, so kann man bis in die Antike zurückgehen. Denn ANAXIMENES und DEMOKRIT lassen sich als radikale Neptunisten betrachten, die bereits die Ursache der Erdbeben im Einstürzen von ausgewaschenen Höhlen sahen, während die pneumatische Erdbeben-theorie des ARISTOTELES eher vulkanistisch zu verstehen ist, weil sie die Erwärmung der atmosphärischen Dünste im Innern der Erde auf unterirdische Feuerherde zurückführt<sup>155)</sup>. Solange man jedoch die Ursache vulkanischer Erscheinungen nur in lokalen Feuerbränden in der festen Erdkruste sah, gab es keinen strikten Gegensatz zwischen den beiden Erklärungsweisen der Erdbeben. Vielmehr gab es auch seit der Antike Mischformen wie neptunistische Vulkanisten, die die Ursache der Erdbeben

<sup>148)</sup> BINA, A.: Ragionamento sopra la cagione de terremoti. – Perugia 1751.

<sup>149)</sup> Lettere dell'elettricismo. – Bologna 1758.

<sup>150)</sup> Vollständige Abhandlung der Lehre der Elektrizität, Bd. I. – S. 67, 224, Leipzig 1797.

<sup>151)</sup> ROZIER: Journal de physique. – Août 1779.

<sup>152)</sup> KANT, I.: Fortgesetzte Betrachtungen der seit einiger Zeit wahrgenommenen Erderschütterungen, 1756. – KANTS Werke I, Akademie, Textausgabe, S. 471, Berlin 1968.

<sup>153)</sup> GOETHE, J.W. v.: Naturwissenschaftliche Abhandlungen. Mineralogie und Geologie. – Sämtliche Werke, Hrsg. von K. GOEDEKE, Cotta, Bd. 33, S. 112, Stuttgart o.J.

<sup>154)</sup> Ebenda.

<sup>155)</sup> Vgl. OESER, E.: Historical Earthquake Theories from Aristotle to Kant. – In: GUTDEUTSCH, R., GRÜNTAL, G., MUSSON, R.: Historical Earthquakes in Central Europe. Vol. I. – Abh. Geol. B.-A., 48, S. 13, Wien 1992.

gerade auf den Kampf zwischen Feuer und Wasser zurückführten, wie etwa STRATON VON LAMPSAKOS<sup>156</sup>.

Dieses Schwanken zwischen beiden Erklärungsarten der Ursachen der Erdbeben und deren Vermischung setzte sich aufgrund rein theoretischer Spekulationen über das Erdinnere bis in die Neuzeit fort. DESCARTES, LEIBNIZ und Athanasius KIRCHER können als Vorläufer des Vulkanismus angesehen werden, LEONARDO DA VINCI, WOODWARD und SCHEUCHZER dagegen als Vorläufer des Neptunismus<sup>157</sup>.

### 3.4.1. Die Vorherrschaft des Neptunismus: A.G. WERNER

Noch in der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts entstanden im Rahmen kosmologischer und geogonischer Theorien sowohl in Frankreich, England und Deutschland neptunistische Vorstellungen, die sich z.T. sehr stark an den biblischen Schöpfungsbericht und die Sündfluterzählung anlehnten.

Als „Ultranepunist“<sup>158</sup> wird der französische Diplomat B. DE MAILLET angesehen, der unter dem Decknamen „TELLIAMED“ eine zyklische Theorie der Erdentwicklung vertrat<sup>159</sup>. Nach dieser Theorie ist die Erde eine ausgebrannte Sonne, die mit Wasser bedeckt ist. Die alles umschließende Wasserhülle verdunstet in einem langsamen Prozess, bei dem sich der Meeresspiegel in 1000 Jahren um 3 Fuß senkt. An den Rändern des aus dem Wasser auftauchenden Urgebirges schlagen sich dann die geschichteten Sekundärgesteine nieder. Die Faltung der Gesteine soll sich nach seiner Auffassung aus Unterhöhlung, Nachbruch und Sturmwirkung auf marine Sekundärgesteine ergeben haben. Alles organische Leben entstand aus dem Wasser. Die Zerfallsprodukte, die sich aus dem organischen Material anreichern, führen dann aber zu Erdbränden und Vulkanismus, der den neuen sonnenartigen Zustand der Erde als nächsten Zyklus einleitet.

Eine ähnliche Theorie, die sich jedoch vielmehr an die mosaische Schöpfungsgeschichte hält und als deren wissenschaftliche Erläuterung gedacht war, lieferte J.A. DE LUC (1727–1817). In der fünfbändigen Sammlung seiner physikalischen und moralischen Briefe über die Geschichte der Erde und des Menschen und in seinen geologischen Briefen an BLUMENBACH<sup>160</sup> geht er von einem trüben dicken Gemenge der Elemente aus, das durch Umdrehung eine sphäroide Gestalt ausbildet. Dann setzte sich in diesem Gemenge eine dicke Rinde von Granit ab, auf den sich dann neue Niederschläge von Gneis, Gangschiefer und Wacke bildeten. Unter dem Granit blieb eine Schlammschicht zurück und in der Mitte bildete sich ein Kern von staubartigen Teilen. Alle diese Vorgänge spielten sich unter einer Schicht von Wasser ab, das nach und nach durch den Granit sickerte und in die Schlammschicht und innere Staubmasse hineinzog. Durch die Auswaschung des eingesickerten Wassers bildeten sich unter der Granitrinde große Höhlen, deren Decken dann einstürzten, so dass dann das Wasser in diese Öffnungen fließen konnte. Auf diese Weise kam dann das feste Land hervor. Dieses Erklärungsschema der Einsturzbeben, das charakteristisch

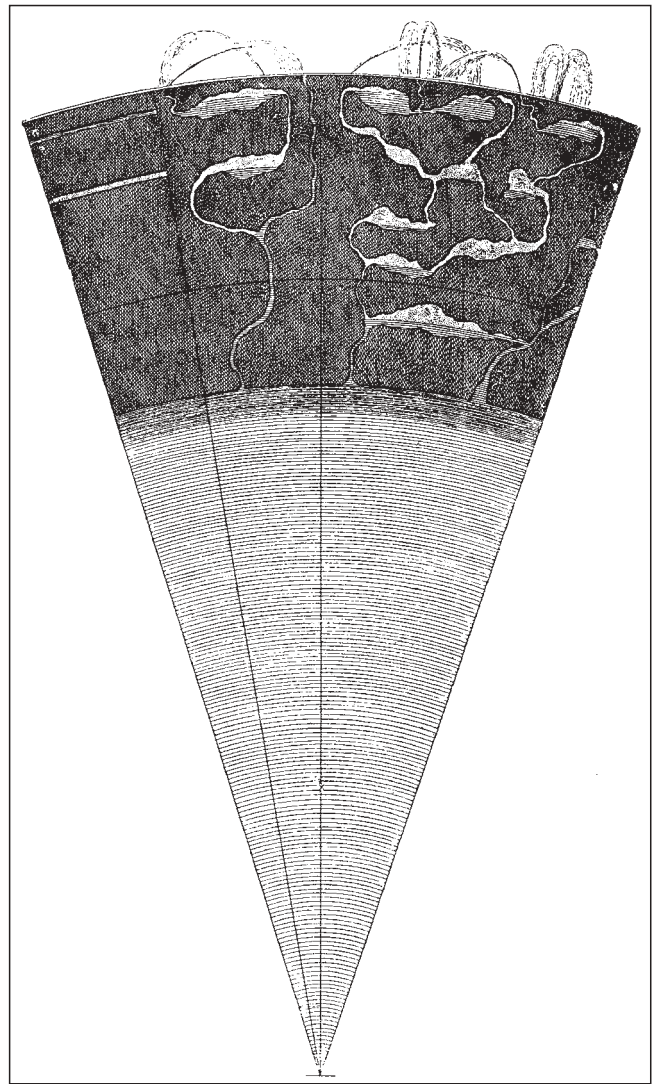


Abb. 14.  
Das Erdinnere mit zentraler Wasserkugel nach der neptunistischen Theorie von J.E. SILBERSCHLAG nach SAPPER (1902).

für alle Neptunisten ist, wird von DE LUC nicht nur für die Frühzeit der unbelebten Erde angewendet, sondern mehrfach wiederholt. Denn nach seiner Auffassung kam es, nachdem in den Meeren Seetiere entstanden sind, zu weiteren großen Einstürzen des Meeresbodens, wodurch sich die Trümmer senkrecht stellten und die heutigen Gebirge bildeten. Erst danach entstanden durch innere Gärungen und Entzündungen Dämpfe im Erdinnern, die zu gewaltsamen Ausbrüchen, Erschütterungen und Hebungen des Meeresbodens führten. Dadurch wurden die alten festen Länder durch die Sündflut überschwemmt und es kam durch den Druck des Wassers auf die unter dem Festland befindlichen Höhlungen zu erneuten Einbrüchen, in die sich das Meereswasser ergoss.

Auch in England überzog zunächst der Neptunismus. Die meisten Mitglieder der 1807 zur Förderung geologischer Kenntnisse gegründeten British Geological Society waren Neptunisten<sup>161</sup>. Und geradezu selbstverständlich wurden auf dem von WOODWARD, der ja selbst ein ausgesprochener Neptunist war<sup>162</sup>, gegründeten Lehrstuhl für Geologie die neptunistischen Ideen WERNERS begeistert

<sup>156</sup> Vgl. OESER. – a.a.O. S. 16.

<sup>157</sup> Vgl. OESER. – a.a.O. S. 24–26.

<sup>158</sup> CAROZZI, A.V.: De Maillet's Telliamed (1748): An ultra-neptunion theory of the Earth. – In: SCHNEER, C.J. (Ed.): Towards a history of geology, Cambridge – London 1969.

<sup>159</sup> TELLIAMED: Ou entretiens d'un philosophe Indien avec un Missionnaire françois sur la diminuation de la mer. – Nouvel edit à la HAYE 1755, Tom II, S. 12.

<sup>160</sup> DE LUC, J.A.: Lettres physiques et morales sur l'histoire de la terre et de l'homme, adressées à la Reine de la Grande-Bretagne. – À la Haye 1779. Tome V; Geologische Briefe an Herrn Hofrath BLUMENBACH, a.d. franz. Handsch. übersetzt im gothischen Magazin für das Neueste aus der Phys. und Naturg. Bd. VIII, St. 4, S. 1–42, Bd. IX St 1, S. 1–123, St. 4., S. 1–49.

<sup>161</sup> Vgl. MASON, S.F.: Geschichte der Naturwissenschaft. – S. 479, Stuttgart 1961.

<sup>162</sup> OESER, E.: Historical Earthquake Theories from Aristotle to Kant. – In: GUTDEUTSCH, R., GRÜNTAL, G., MUSSON, R.: Historical Earthquakes in Central Europe. Vol. I. – Abh. Geol. B.-A., 48. S. 24, Wien 1992.

aufgegriffen und bis weit ins 19. Jahrhundert hinein vertreten. So sagte Adam SEDGWICK (1785–1873), der auch Präsident der Geologischen Gesellschaft war, kurz nach seiner Berufung auf WOODWARDS Lehrstuhl in Cambridge, dass er geradezu von den WERNERSchen Vorstellungen besessen sei und bereit sei, seine Sinne diesem Glauben als „Sklave von WERNER“ zu opfern<sup>163</sup>). Auch sein Kollege in Oxford William BUCKLAND (1784–1856) war ein Anhänger des Neptunismus und lieferte noch 1823 im Sinne seiner von biblischen Sündflutberichten bestimmten Auffassung unter dem Titel „The Relics of the Flood“ das letzte bedeutende Werk, das eine Verbindung von Geologie und Theologie herstellt.

In Deutschland wurde ebenfalls im Rahmen spekulativer kosmologischer Theorien, die zur wissenschaftlichen Rechtfertigung der Mosaischen Schöpfungsgeschichte dienten, neptunistische Ansichten vertreten.

Nach J.E. SILBERSCHLAG<sup>164</sup>) entstand die feste Erdrinde, die ursprünglich mit Wasser bedeckt war, durch fortschreitende Versteinerung. Dann brachen Feuerbrände aus, die in der Erdrinde große Höhlungen entstehen ließen. In diese ausgebrannten Höhlungen verlief sich dann der Großteil des Wassers von der Oberfläche der Erde. Und es entstanden dadurch Inseln, Berge und das feste Land. Die Sündflut aber erklärte SILBERSCHLAG aus dem Vorhandensein einer großen zentralen Wasserkugel, aus der dann nach dem Prinzip des Heronsbrunnens die Wassermassen durch die entstandenen Höhlungen und Gänge an die Oberfläche ausgebrochen sind.

Während SILBERSCHLAGS Spekulation Ideen wiederholt, die WOODWARD bereits hundert Jahre zuvor veröffentlicht hat, kehren bei dem Freiherrn VON GLEICHEN, genannt RUSSWORM, Vorstellungen wieder, die an WHISTONS Theorie vom Anfang und Ende der Erde erinnern. In seinem 1782 in Nürnberg erschienenen Buch „Von Entstehung, Bildung, Umbildung und Bestimmung des Erdkörpers“ geht dieser Autor davon aus, dass die Erde anfänglich eine Wasserkugel gewesen sei, in der die ersten Fische entstanden seien. Ähnlich wie zuvor schon DE MAILLET nimmt er dann an, dass durch Fäulnis der organischen Produkte sich die feste Erde gebildet hat und durch Gärung Hitze entstand, die zu Verwerfungen und Aufblähungen der Erdkruste geführt hat. Für die Zukunft nimmt er an, dass die Wassermenge immer geringer wird, bis schließlich die Erde im Feuer vergehen wird.

Während jedoch diese neptunistischen Entwicklungstheorien der Erde im Bereich der bloßen Spekulation verblieben, wird der Neptunismus Abraham Gottlob WERNERS (1749–1817) als die eigentliche Begründung der Geologie als empirische Wissenschaft betrachtet<sup>165</sup>). Er selbst nannte die empirische Erforschung des festen Erdkörpers mit seinen Schichtungen und Lagerstätten „Geognosie“, während er die Bezeichnung „Geologie“ auf die spekulative Erforschung der Entstehung des Erdballes beschränkt wissen wollte. An solchen geologischen Spekulationen nahm er nur eine einzige an, dass nämlich am Anfang die gesamte Erde von einem Urmeer bedeckt gewesen sei, aus der sich dann durch Kristallisation, chemische Ausfällung oder mechanische Sedimentation alle Gesteine gebildet haben. Über das Erdinnere machte er ebensowenig Angaben wie über die Ursachen des allmählichen Verschwindens dieses Urmeeres durch die Verminderung des Wassers. Er stellte sie, wie aus seinen hinterlassenen Vorlesungsmanuskripten hervorgeht, als entwicklungsgeschichtliche Tatsache

dar, die er durch seine mineralogischen Untersuchungen über die Gesteinsschichten bestätigt sah<sup>166</sup>):

*„Der feste Erdkörper hat sich aus nasser Auflösung gebildet ... [Deshalb] musste er in der Zeit hoch und allgemein mit Wasser bedeckt sein ..., dessen Oberflächenstand allmählich und allgemein gefallen ist.“*

Dieser Erklärungsmangel wurde sogar von den radikalsten Anhängern der WERNERSchen Schule empfunden. So sagt der Begründer der „Wernerian Natural History Society“ in Edinburgh R. JAMESON in seinen „Elements of Geognosy“ (1808)<sup>167</sup>):

*„Although we cannot give any very satisfactory answer to this question, it is evident that the theory of the diminution of the water remains equally probable. We may be convinced of its truth, and are so, although we may not be able to explain it. To know from observation that a great phenomenon took place is a very different thing from ascertaining how it happened.“*

Das starre Festhalten an diesem radikalen Neptunismus lässt sich, wie man bereits um die Mitte des 19. Jahrhunderts erkannt hatte, nur auf eine Verbindung von lokalen empirischen Erfahrungen mit religiösen Vorstellungen erklären. So meint F.A. QUENSTEDT (1809–1889) mit Recht, dass MOSES selbst als „Neptunist“ zu bezeichnen ist, weil seine Heimat ebenso wie später das alte Ägypten zu wenige vulkanische Phänomene aber um so deutlicher den Einfluss des Wassers auf die Bildung der Erdoberfläche aufwies. Und in der WERNERSchen Wassertheorie sieht er nur eine Wiederholung des biblischen Neptunismus, der den Vulkanismus nicht so lange verdrängt hätte, wenn MOSES selbst nicht Neptunist, sondern Vulkanist gewesen wäre<sup>168</sup>).

*„Ging es doch über 3000 Jahre später unserem Werner in Sachsen unter ähnlichen Verhältnissen gerade wieder so. Und man darf sicher behaupten, wäre Moses Vulkanist gewesen, so hätte die Wernersche Wassertheorie nicht den reißend schnellen Anhang gefunden, der alles betäubte gegen die richtigeren Ansichten in England und Frankreich.“*

### 3.4.2. Die Anfänge des Vulkanismus: John MICHELL

Den ersten Anlass zu vulkanistischen Erklärungsversuchen im 18. Jahrhundert lieferte das Auftauchen einer neuen Insel im Santorin-Archipel im Jahre 1707. Anton Lazaro MORO, der von PLAYFAIR als ein Vorläufer von HUTTON anerkannt wird, deutete dieses Ereignis bereits als die Wirkung der schrecklichen unterirdischen Gewalt eines Feuers, das allerdings nach seiner Meinung nicht ursprünglich im Erdinnern vorhanden war, sondern sich erst am dritten Schöpfungstag auf Gottes Befehl entzündet hat<sup>169</sup>).

Konsequenter war John MICHELL (1724–1793), der anlässlich des Erdbebens von Lissabon, bereits lange bevor HUTTON seine Theorie veröffentlichte, eine vulkanistische Erdbeben-theorie aufstellte. In einer 1760 in den Philosophical Transactions erschienenen Schrift über Erdbeben führte er aus, dass vulkanische Ausbrüche und Erdbeben auf gleiche Ursachen zurückgeführt werden müssen. Er nahm unterirdische Brände von kohle- und alauhaltigen Schichten an, zu denen Wasser Zutritt, das so in Dampf-Form übergeführt, Erschütterungen hervorruft. Wo-

<sup>163</sup>) Vgl. MASON, S.F.: Geschichte der Naturwissenschaft. – S. 482, Stuttgart 1961.

<sup>164</sup>) Geogenie oder Erklärung der mosaischen Erdbeschaffung nach physikalischen und mathematischen Grundsätzen. – 3 Teile, Berlin 1780–1783.

<sup>165</sup>) SAPPER, K.: Die Erforschung der Erdrinde. – In: KRAEMER, H. (Hrsg.): Weltall und Menschheit, Bd. 1, S. 64, Berlin – Leipzig.

<sup>166</sup>) Vgl. HÖLDER, H.: Kurze Geschichte der Geologie und Paläontologie. – S. 38, Berlin 1989.

<sup>167</sup>) Vgl. MASON, S.F.: A History of the Sciences. – S. 324, London 1953.

<sup>168</sup>) QUENSTEDT, F.A.: Sonst und Jetzt. – 1856, zit. nach HÖLDER, S. 36.

<sup>169</sup>) Vgl. SAPPER a.a.O. S. 96.



bei er betonte, dass Vulkanausbrüche, welche gleichzeitig mit Erdbeben auftreten, mit größerer Wahrscheinlichkeit die Erdbeben zugeschrieben werden müssen als umgekehrt die Erdbeben den Eruptionen zumindest bei großen Erdbeben. Auch über die unterschiedliche Art der Ausbreitungsbewegung der Erdbeben hat sich MICHELL ausgedrückt, indem er sowohl ein lokales Erzittern oder Vibrieren als auch eine viel ausgedehntere Wellenbewegung der Erdoberfläche annahm<sup>170)</sup>:

„The motion of the earth in earthquakes is partly tremulous, and partly propagated by waves, which succeed one another sometimes at larger and sometimes at smaller distances; and this latter motion is generally propagated much farther than the former.“

„Die Bewegung der Erde bei Erdbeben ist zum Teil ein Erzittern, zum Teil pflanzt sie sich in Wellen fort, welche eine der anderen folgt, manchmal in größeren, manchmal in kleineren Abständen; und diese letztere Bewegungsart wird meistens viel weiter fortgepflanzt als die erstere.“

Die Ursache der Wellenbewegung sieht MICHELL in der plötzlichen oder kurzzeitigen Erzeugung einer großen Menge von Dämpfen und erläutert die Art und Weise der Fortpflanzung der wellenförmigen Bewegung durch ein Analogieexperiment<sup>171)</sup>:

„Suppose a large cloth, or carpet (spread upon a floor), to be raised at one edge, and then suddenly brought down again to the floor; the air under it, being by this means propelled, will pass along, till it escapes at the opposite side, raising the cloth in a wave all the way as it goes. In like manner, a large quantity of vapour may be conceived to raise the earth in a wave, as it passes along between the strata, which it may easily separate in a horizontal direction, there being little or no cohesion between one stratum and another. The part of the earth that is first raised, being bent from its natural form, will endeavour to restore itself by its elasticity; and the parts next to it being to have their weight supported by the vapour, which will insinuate itself under them, will be raised in their turn, till it either finds some vent, or is again condensed by the cold into water, and by that means prevented from proceeding any farther.“

„Man denke sich einen Teppich, der auf einem Boden ausgespannt worden, an der einen Ecke emporgehoben und dann plötzlich niedergelassen, so wird die dadurch fortgetriebene Luft darunter weggehen, an dem entgegengesetzten Ende entweichen und dadurch den ganzen Teppich wellenförmig bewegen. Auf gleiche Weise mag eine große Quantität von Dämpfen die Erde wellenförmig heben, indem sie zwischen den Gebirgsarten, die sie leicht in horizontaler Richtung trennen können, da zwischen zwei Schichten nur ein geringer oder gar kein Zusammenhang stattfindet, hindurch streichen. Der zuerst gehoben Theil der Erde, der aus seiner natürlichen Gestalt gebogen ist, wird es versuchen, durch seine Elasticität dieselbe wieder zu erlangen und die zunächst daran liegenden Theile, deren Gewicht durch die unter dieselben eingedrungenen Dämpfe getragen wird, werden ebenfalls gehoben werden, bis die Dämpfe irgend einen Ausweg gefunden haben, oder durch die Kälte zu Wasser verdichtet worden sind, so dass sie nicht weiter gehen können.“

Diese Wellenbewegung des Erdbodens, die besonders beim großen Lissaboner Erdbeben zu beobachten war, lässt nach MICHELL darauf schließen, dass der Sitz dieses Erdbebens nicht weniger als eine, und nicht mehr als

<sup>170)</sup> MICHELL, J.: The Nature and Origin of Earthquakes. – Philosoph. Transact., 1760, Vol. LI, S. 566-74. Dt. von SAPPER a.a.O. S. 98.

<sup>171)</sup> Ebenda.

<sup>172)</sup> Ebenda.

drei englische Meilen unter der Erdoberfläche gewesen sein könnte.

Außerdem nahm MICHELL aufgrund der Neigung der Schichten an, dass Gebirge gehobene Teile der Erdrinde sind und liefert als Begründung seiner Ansicht ein weiteres Analogieexperiment<sup>172)</sup>:

„Let a number of leaves of paper, of several different sorts or colours, be pasted upon one another; then bending them up together into a ridge in the middle, conceive them to be reduced again to a level surface, by a plane so passing through them, as to cut off all the part that had been raised; let the middle now be raised a little, and this will be a good general representation of most, if not all, large tracts of mountainous countries, together with the parts adjacent, throughout the whole world.“

„Lass eine Anzahl Papierblätter von verschiedener Sorte oder Farbe übereinander geklebt sein, biege sie dann in der Mitte zu einem Rücken auf, denke dir dann das Ganze wieder in der Weise geebnet, dass ein Hobel so durchpasst, dass er alles abschneidet was gehoben worden war. Laß dann die Mitte wieder etwas gehoben werden, und dies wird eine gute allgemeine Dartellung geben von den meisten, wenn nicht allen großen Zügen der Gebirgsgegenden zusammen mit dem anliegenden Teil der ganzen Erde.“

### 3.4.3. Theorien zwischen Vulkanismus und Neptunismus: BUFFON und PALLAS

Eigene Theorien, die weder dem Plutonismus noch dem Neptunismus zuzurechnen sind, stammen von BUFFON und PALLAS. Denn BUFFON (1707–1788) kann man wegen seiner Theorie der Entwicklung der Erde (1749 und 1778) aus einem glühenden, von der Sonne aufgespaltenen Teil einerseits als einen Plutonisten für die erdgeschichtliche Frühzeit ansehen, andererseits ist er als Neptunist für die spätere lang andauernde Gestaltung der Erdoberfläche zu bezeichnen. Jedoch bei der Erklärung der Erdbeben folgt er nicht den neptunistischen Vorstellungen von Einstürzen von ausgewaschenen Höhlen, sondern führt diese auf Feuerbrände im Erdinnern zurück<sup>173)</sup>.

Eine Mittelstellung zwischen Vulkanismus und Neptunismus nimmt auch Peter Simon PALLAS (1741–1814) ein, der in seinen Betrachtungen über die Beschaffenheit der Gebirge<sup>174)</sup> sowohl Vulkanismus und Erdbeben als auch Großflutenkatastrophen, die auf gewaltige Einbrüche der Erdkruste zurückgehen, für die Entstehung der Gebirge verantwortlich macht. Denn nach seiner Meinung muss man „alle Mittel und Wirkungen der Natur“ nicht nur als Erklärungsmöglichkeiten zulassen, sondern sie auch zusammenfassen, um sich der Wahrscheinlichkeit am meisten zu nähern. Denn das ist nach seiner Meinung der einzige Grad an Vollkommenheit, welchen man bei Hypothesen, die nie in Form eines Beweises gebracht werden können, erwarten darf. Mit dieser Kombination von vulkanischen Erhebungen und Erdbeben und der in weiterer Folge auftretenden Flutkatastrophen gelingt auch PALLAS eine genetische Differenzierung von Gebirgen erster und zweiter Ordnung als vulkanische Erhebungsprodukte und Gebirgen dritter Ordnung als Aufschwemmungsprodukte einer großen, ebenfalls durch Vulkanausbrüche erzeugten Flut<sup>175)</sup>:

<sup>173)</sup> OESER, E.: Historical Earthquake Theories from Aristotle to Kant. – In: GUTDEUTSCH, R., GRÜNTAL, G., MUSSON, R.: Historical Earthquakes in Central Europe. Vol. I. – Abh. Geol. B.-A., 48, S. 26, Wien 1992.

<sup>174)</sup> PALLAS, P.S.: Betrachtungen über die Beschaffenheit der Gebirge und Veränderungen der Erdkugel, besonders in Beziehung auf das Rußische Reich. Frankfurt und Leipzig 1778. – Ostwalds Klassiker der exakten Naturwissenschaften, 269, S. 52, Leipzig 1986.

<sup>175)</sup> PALLAS a.a.O. S. 48 u. 52.

„Diese alten feuerspeienden Berge, von denen unzählige Jahrhunderte viele bis auf die Spuren verlöscht haben können, zerrütteten die Schichten, welche durch die Zeit schon einige Festigkeit erlangt hatten und unter welchen ihre Ausbrüche geschahen, brachten auf verschiedene Weise durch die heftige Wirkung des Feuers die Materien dieser Schichten in eine Schmelzung oder verbrannten sie mehr oder weniger und erzeugten die meisten Berge des Schieferstrichs, welcher zum Teil mit den Ton- und Sandschichten der Ebenen übereinstimmen und zusammenhängen mag ... Was ist aber bekannter als die in allen Inseln des indischen Meeres, von Afrika bis nach Japan und bis in die südlichste uns bekannte Breite so häufigen feuerspeienden Berge oder deren zurückgebliebenen Spuren? Die Vulkane, welche in diesen Gegenden noch wüten, sind sogar die mächtigsten auf unserem ganzen Erdboden. Die meisten Naturkundigen, welche sich mit der physikalischen Erdbeschreibung beschäftigt haben, sind der Meinung gewesen, dass alle diese Inseln auf dem ungeheuren Gewölbe einer gemeinschaftlichen großen Feuergruft gegründet sind. Der erste Ausbruch dieses Feuerabgrundes, welcher daselbst den Boden einer tiefen See emporgehoben [hat] und vielleicht auf einmal oder durch schnell aufeinanderfolgende Stöße die sundischen, die molukkischen, einen Teil der philippinischen und der südlichen Inseln hervorbrachte, musste von allen Seiten eine alle Begriffe übersteigende Masse Wassers fortreiben. Diese Flut musste nordwärts an die zusammenhängenden Gebirge von Asien und Europa getrieben und durch stoßweise nachdringende neue Fluten verstärkt, in den niedrigen Gegenden dieser Länder ungeheure Verwüstungen und Lücken verursachen. [Sie musste]... die oberen weichen Schichten fortreißen und nachdem sie die niedrigen Gegenden der Gebirge, ... , bewältigt, auf die jenseits gelegenen abhängigen Flächen dieses Weltteils die Materien, womit der Ausbruch das Meerwasser angefüllt hatte, nebst dem durch diese Flut fortgerissenen Schlamm lagenweise ablegen. [Sie musste] die Überreste von Bäumen und Tieren, welche in diese Zerrüttung verwickelt wurden, ohne Ordnung darin vergraben und durch den nach und nach angesetzten Niederschlag die Gebirge der dritten Klasse und die Auflözung der ganzen Ebene von Sibirien verursachen.“

So bedeutend für PALLAS die vulkanischen Kräfte auch sind, so spärlich sind seine Angaben über ihre Ursachen. Mit seiner Vorstellung von lokalen Entzündungen brennbarer Stoffe durch Schwefel ist er jedoch noch weit vom „Plutonismus“ HUTTONS und PLAYFAIRS entfernt und eher als ein Vorläufer WERNERS anzusehen. Denn wie dieser nimmt auch PALLAS den Herd der Vulkane in nur mäßiger Tiefe an. Sie sind nach seiner Meinung nicht unter dem Granit zu suchen, sondern sind dem Granit vielmehr aufgelagert.

### 3.5. Neptunisten und Plutonisten als Vertreter der Einsturzbeben

Die Erdbeben-theorien in der ersten Hälfte des neunzehnten Jahrhunderts waren grundsätzlich bestimmt durch den Gegensatz von Neptunismus und Plutonismus. Dieses Begriffspaar geht jedoch nicht auf die beiden vielzitierten Hauptvertreter Abraham Gottlob WERNER (1749–1817) und James HUTTON (1726-1797) zurück. Weder kommt bei WERNER der Begriff „Neptunismus“ noch bei HUTTON der Begriff „Plutonismus“ vor. Beides sind Begriffe, die als Kritik jeweils von der Gegenseite geprägt worden sind und erst nachträglich auch von ihren Vertretern und nur mit großen Einschränkungen akzeptiert worden sind. So reagiert z.B. J. PLAYFAIR, der bekannteste Anhänger HUTTONS auf die scharfe Kritik des irischen Geologen R. KIRWAN, der selbst als Neptunist galt, mit einer Einordnung der HUTTONSchen Theorie unter das „plutonische System“, möchte aber trotzdem das persönliche und eigenständige Ver-

dienst HUTTONS gewahrt wissen und sie auch deswegen schlicht als „Huttonian Theory“ bezeichnen<sup>176)</sup>.

Die Verwendung der Begriffe „Vulkanismus“ und „Plutonismus“ war jedoch nie einheitlich. Zuerst wurden sie als Synonyme gebraucht. So spricht PLAYFAIR unbefangen einmal vom „Plutonismus“ und dann vom „Vulkanismus“ HUTTONS<sup>177)</sup>. Später bezeichnete man in Bezug auf die Benennung von vulkanischem und plutonischem Gestein als „Vulkanismus“ im engeren Sinn nur die Ausbrucherscheinungen, bei denen heißes, flüssiges Material an die Oberfläche gelangt, während man unter „Plutonismus“ Hebungerscheinungen aus der Tiefe verstand, bei denen die Schmelzflussgesteine bereits unter der Erdoberfläche erstarrt waren. Unter dem Einfluss WERNERS wurde dann der Vulkanismus überhaupt nur auf Entzündungerscheinungen in relativ geringer Tiefe eingeschränkt. „Vulkanismus“ ist als der ältere Begriff anzusehen, da er ursprünglich alle feurig-heißen Erscheinungen unabhängig von ihrer Tiefe bezeichnete.

Zu einem Gegensatz wurden Neptunismus und Plutonismus erst dann, als es um die Frage der Entstehung der Gesteine ging, wobei die Neptunisten wesentlich einseitiger und radikaler als ihre Gegner waren. Die Streitfrage nach der Entstehung der Gesteine, die insbesondere an dem Beispiel des Basalts ausgetragen wurde, ist insofern für die Geschichte der Erdbeben-theorien von Bedeutung, weil sich daraus eine nach der Entstehungsursache begründete Alternative in der Theorie der Erdbeben ergab, von der dann die erste Hälfte des 19. Jahrhunderts völlig beherrscht war:

- Führt man die Entstehung der Gesteine primär auf die Erhebung oder Eruption von heißen Massen aus dem Erdinneren zurück, wie es die Plutonisten HUTTON und PLAYFAIR taten, dann müssen alle Erdbeben als vulkanische Erscheinungen angesehen werden, gleichgültig ob dabei Eruptionen erfolgen oder nicht. Eine Konsequenz, die später Alexander VON HUMBOLDT mit seinem allgemeinen Vulkanismus vertreten hat.
- Sieht man dagegen alle Gesteinsbildung als ein Absinken und Verfestigen von Mineralien in einer wässrigen Lösung an, dann sind die eigentlichen Erdbeben Einsturzbeben, die durch das Zusammenbrechen von ausgewaschenen Höhlen im Erdinneren entstehen.

#### 3.5.1. Die neptunistischen Einsturztheorien: MOHR und BISCHOF

Alle neptunistischen Einsturztheorien der Erdbeben im 19. Jahrhundert sind letzten Endes auf die Ansicht von A.G. WERNER zurückzuführen. Nach WERNER entstand der Planet Erde aus einer kugelförmigen wässrigen Lösung, aus der sich zunächst das Urgebirge mit seinen Gesteinsarten Granit, Gneis, Glimmerschiefer, Phosphor usw. herauskristallisierte. Darüber legte sich dann das „Übergangsgebirge“ oder die „Grauwacke“, welche das sekundäre oder „Flötzgebirge“ bildet, über das sich wiederum das „aufgeschwemmte Gebirge“ legte. Alle diese aus dem Wasser abgesetzten Schichten bildeten ursprünglich konzentrische Schalen. Die jüngste der konzentrischen Schalen bestand nach seiner Meinung aus Basalt, den er auch als Sedimentgestein ansah. Deshalb war auch die Basaltfrage der entscheidende Faktor, der über die Annahme oder Ablehnung des Neptunismus entschied.

Für die neptunistischen Erdbeben-theorien war jedoch die Auffassung WERNERS wichtig, dass die heute sichtba-

<sup>176)</sup> HÖLDER, H.: Kurze Geschichte der Geologie und Paläontologie. – S. 37, Berlin 1989.

<sup>177)</sup> HÖLDER. – a.a.O., S. 67.

<sup>178)</sup> WERNER, A.G.: Versuch über die Entstehung der Vulkane durch die Entzündung mäßiger Steinkohlenflöze als Beitrag zur Geschichte des Basalts. – H.M. IV. S. 24.

ren Abweichungen von der gleichmäßigen Lage der aus dem Wasser abgesetzten konzentrischen Schichten durch Einsturz von Hohlräumen entstanden sind. Die gar nicht wegzuleugnende Existenz von vulkanischen Erscheinungen muss dann auf bloß lokale Erdbrände reduziert werden. So behauptete auch folgerichtig WERNER<sup>178)</sup>, brennende Kohlenflöze und Vulkane seien im Wesentlichen dasselbe.

Und noch später, als der Neptunismus WERNERS durch dessen eigene Schüler Leopold VON BUCH und Alexander VON HUMBOLDT sich als unhaltbar erwiesen hat, haben Vertreter der Einsturztheorie, wie B. MOHR<sup>179)</sup> versucht, am extremen Neptunismus starr festzuhalten, indem sie die Eigenwärme in den tieferen Erdschichten ausschließlich durch innere Bewegungsvorgänge und schließlich durch Umsetzung der zum Stillstand gekommenen Massen in Molekularbewegung, das aber bedeutet in Wärme, zu erklären versuchten.

Außerdem legt auch die gegenüber den radikalen Vulkanisten abweichende Vorstellung, dass die Temperaturzunahme zwar stetig aber nicht gleichförmig sei, die Möglichkeit nahe, eine gemäßigte neptunistische Ansicht aufrecht zu erhalten. Denn wenn das Temperaturwachstum umso langsamer ist, je tiefer man in das Erdinnere vordringt, so lässt sich noch immer die Annahme von ausgewaschenen Höhlen oder sogar von ganzen Hohlschichten innerhalb der festen Erdkruste rechtfertigen. Der lokale konkrete Anlass dieser neptunistischen Einsturztheorie waren die Erdbeben von Großgerau, die von MOHR sehr leicht mit den zahlreichen Salzquellen am Fuße des Taunusgebirges in Verbindung gebracht werden konnten.

Der Neptunist G. BISCHOF<sup>180)</sup>, der die ungleichmäßige Temperaturzunahme durch Experimente an einer Basaltkugel zu demonstrieren versuchte, ging zwar von der Annahme aus, dass es im Inneren der Erde heiß ist, Vulkane aber entstehen nach seiner Meinung nur dadurch, dass Wasser in diese Regionen gelangt und dadurch die Bildung von hochgespannten Dämpfen eingeleitet wird, die dann die geschmolzenen Gesteinsmassen nach außen befördern. Mit dieser Vorstellung eines begrenzten durch Wasser hervorgerufenen Vulkanismus war auch seine Hypothese von der Auswaschung der höher gelegenen kalk- und gipsreichen Schichten der Erdkruste logisch einwandfrei zu verbinden. Nach BISCHOF erklären sich dadurch die in den Kalkgebirgen so häufig feststellbaren Einbrüche, die für ihn in einem „Kausalzusammenhang mit Bewegung bedeutender unterirdischer Wassermassen“ stehen<sup>181)</sup>. Über diese lokal begrenzten Einstürze hinaus nimmt aber auch BISCHOF großartige Veränderungen im Schichtengelände der Erde an, die für ihn die eigentlichen Ursachen der Erdbeben sind. Denn durch unterschiedliche Auswaschungen von Kalklagern entstehen bedeutsame Lageverschiebungen der unterirdischen Schichten<sup>182)</sup>:

*„Wird ein Kalklager an einer Stelle mehr, an einer anderen weniger ausgewaschen, so entstehen ungleiche Senkungen und die hangenden Lager kommen aus ihrer ursprünglichen Lage. Wir sind weit entfernt, dies für die Ursache der Aufrichtung des ganzen Gebirges zu halten; dass aber dadurch partielle Verrückungen der Schichten eintreten mussten, kann nicht bezweifelt werden.“*

<sup>179)</sup> MOHR, B.: Geschichte der Erde. – S. 199 ff., Bonn 1875.

<sup>180)</sup> BISCHOF, G.: Die Wärmelehre im Innern unseres Erdkörpers. – S. 250 ff., Leipzig 1837.

<sup>181)</sup> BISCHOF, G.: Lehrbuch der chemischen und physikalischen Geologie. I. Bd. – S. 25, Bonn 1847.

<sup>182)</sup> BISCHOF, G.: Lehrbuch der chemischen und physikalischen Geologie. II. Bd. 2. Abth. – S. 1086–1087, Bonn 1855.

### 3.5.2. Die Hohlschichtenhypothese: G.H.O. VOLGER

Die radikalste Version der Einsturzbeben-theorien wurde jedoch von G.H.O. VOLGER in Form einer „Hohlschichtenhypothese“ ausgearbeitet. Auch hier gab es einen konkreten Anlass zur Ausarbeitung einer solchen extremen Theorie. Es war das Erdbeben, das am 15. Juli 1855 im Schweizer Kanton Wallis stattfand. Es ließ im Vispertal Häuser und Kirchen einstürzen und war noch in Genf, Neuchatel, Basel und Luzern stark genug, um leichte Beschädigungen an den Gebäuden hervorzubringen und wurde überhaupt noch bis Genua, Dijon, Metz, Wetzlar, Koburg und Bregenz bemerkt. Ein derart großes Ausbreitungsgebiet des Erdbebens war jedoch nicht mehr mit der üblichen Vorstellung von Einstürzen großer ausgewaschener Höhlen zu erklären. VOLGER geht vielmehr in seinen spärlichen entwicklungsgeschichtlichen Bemerkungen auf die Grundidee WERNERS zurück, der vom Einsturz ganzer Schichten gesprochen hatte. Die umfangreichen Gipslager im Kanton Wallis und die Existenz zahlreicher warmer Quellen brachten VOLGER auf die Idee, nicht große hohe Höhlen im eigentlichen Sinn, sondern sehr niedrige, aber in ihrer Flächenausdehnung umso größere Hohlräume oder „Hohlschichten“ anzunehmen. Im Unterschied zu den Einstürzen von Höhlen, die meist in mehreren Etappen erfolgt und deshalb zwar zu den häufig beschriebenen lauten Geräuschen oder sogar zu Detonationen aber nur zu geringen Erschütterungen des Bodens führten, brechen nach VOLGER die niedrigen Hohlschichten plötzlich und mit einem Schlag ein und das Gewicht der darüber liegenden mächtigen Gebirgsmassen führt zu einer ungeheurigen Erschütterung der als Sohle darunterliegenden Schicht<sup>183)</sup>:

*„Die unterirdischen Auswaschungen erzeugen durchaus nicht immer eigentliche Höhlen in dem Sinne, welchen man mit diesen Worte zu verbinden pflegt. Da sich die Gewässer vorzugsweise auf den Schichtenflächen bewegen, so werden die abgenagt. Selten ruht eine Felschicht in beträchtlicher Ausdehnung vollkommen anschließend auf der unteren. Fast überall bemerkt man nur eine stellenweise Berührung, während die Schichtabsonderung als ein, wenn auch wenig hoher, dagegen um so mehr durch die Flächenausdehnung grosser Hohlraum erscheint. Wo leicht lösliche Massen mit schwer löslichen wechsellagern, da liegen nicht selten bedeutende Schichtenflächen der letzteren gänzlich hohl, d.h. über Räumen, welche ich geradezu als 'Hohlschichten' bezeichnen möchte. Je fester und mächtiger die überlagernde Gebirgsmasse ist und je mehr dieselbe, zwischen den umgebenden, unmittelbar unterstützten Gebirgsteilen eingeklemmt, getragen wird, um so grösser kann die Ausdehnung der Hohlschichten werden, bevor die Decke niederbricht – aber um so erschütternder muss auch das endlich erfolgende Niederbrechen wirken. Die ganze Last der über einer Hohlschicht lagernden Gebirgsmasse ruht auf der Umgebung wie ein gespanntes Gewölbe. Sobald der Einsturz erfolgt, wird diese ganze Belastung den tragenden Umgebungen plötzlich genommen und sie wird übertragen auf die zuvor unbelastete Sohle der Hohlschicht. Da, der Natur der Sache nach, die Höhe der Hohlschichten meistens sehr gering ist, so dass der Einsturz fast ohne Zeitunterschied beginnt und sich vollendet, so kommt bei derartigen Ereignissen die Geschwindigkeit der auf die Sohle treffenden Masse nur im einfachsten Verhältnisse in Betrachtung. Um so gewaltiger fällt dagegen hier die Mächtigkeit der auf einmal sich niedersetzenden Gebirgsmasse in Gewicht, welche auch nach der kürzesten Bewegung, selbst wenn die Dicke der Hohlschicht nur nach*

<sup>183)</sup> VOLGER, G.H.O.: Untersuchungen über das Phänomen der Erdbeben in der Schweiz. – III. Theil. S. 393 f., Gotha 1857.

*Linien sich misst, in der ungeheuersten Erschütterung der Soble sich zu äussern vermag.“*

Charakteristisch für die Neptunisten war jedoch, wie man bereits im 19. Jahrhundert bemerkte, dass sie der Einsturzhypothese, die für manche kalkreichen Gebiete durchaus ihre Berechtigung hatte, eine übermäßige Bedeutung einräumten. So glaubte auch VOLGER das große Lissaboner Erdbeben vom 1. November 1755 auf einen Einsturz unterirdischer Hohlräume zurückführen zu können, indem er gewisse, bei Erdbeben vorhandene Senkungsvorgänge als Ursache der Erschütterungen bezeichnete und dabei Ursache und Wirkung offenbar verwechselte<sup>184)</sup>:

*„Bei dem Erdbeben von Lissabon erfolgten auf dem Grunde unter der Tajo-Mündung und am Ufer beträchtliche Einsenkungen. Das plötzliche Fallen des Wassers, dem sodann ein furchtbarer Wasserschwall folgte, und das Versinken der ganzen Schiffslände findet so seine Erklärung.“*

Mit der Einsicht, dass die aushöhlende Tätigkeit unterirdischer Gewässer nur zu lokal begrenzten Einsturzbeben führen kann, war jedoch die Theorie der Einsturzbeben selbst noch nicht völlig widerlegt. Denn neben den neptunistischen Einsturzbeben gab es noch andere nichtneptunistische Versionen der Einsturztheorie der Erdbeben.

### 3.5.3. Nichtneptunistische Einsturzbeben: BOUSSINGAULT und MARENZI

Während die neptunistischen Einsturzbeben als bloß lokale Erscheinungen erkannt worden sind und mit dem Niedergang des Neptunismus ihre übermäßig hoch eingeschätzte Bedeutung verloren, gab es auch eine nichtneptunistische Version der Einsturzbeben. Sie stammt von dem französischen Chemiker Jean Baptiste BOUSSINGAULT (1802–1887), der im Auftrag einer englischen Bergbaugesellschaft Südamerika bereiste und an dem Befreiungskrieg Simon BOLIVARS als Oberst teilnahm. Von HUMBOLDT wurde BOUSSINGAULT vor allem wegen seiner denkwürdigen Besteigung des Chimborazo am 16. Dezember 1831 geschätzt. Der Anblick der kolossalen Kegel und domförmigen Gipfel der Cordilleren gaben ihm die Idee zu seiner von den neptunistischen Vorstellungen der Auswaschung von Hohlräumen völlig unterschiedenen Einsturzhypothese. Nach seiner Meinung waren diese trachyt- und doleritartigen Massen keineswegs in einem Zustand der Weichheit und halben Flüssigkeit, sondern vollkommen erhärtet als ungeheure scharfkantige Fragmente emporgeschoben und aufgetürmt worden<sup>185)</sup>:

*„J'attribue la plupart des tremblements de terre dans la Cordillère des Andes à des éboulemens*

<sup>184)</sup> VOLGER. – a.a.O. S. 395.

<sup>185)</sup> BOUSSINGAULT, J.B.: Sur les tremblements de terre des Andes. – In: Annales de Chimie et de Physique T. LVIII. S. 84 ff., 1835.

Abb. 15.  
Einsturzhypothese nach F. MARENZI (1872)

- a) Domartiger Hohlraum (m) in der Schicht AA.
- b) Bildung eines Trichters (m) nach Einsturz der Schicht AA.

*qui ont lieu dans l'intérieur de ces montagnes par le tassement qui s'opère et qui est une conséquence de leur soulèvement. Le massif qui constitue ces cimes gigantesques, n'a pas été soulevé à l'état pâteux; le soulèvement n'a eu lieu qu'après la solidification des roches. J'admets par conséquent que le relief des Andes se compose de fragmens de toutes dimensions, entassés les uns sur les autres. La consolidation des fragmens n'a pu être tellement stable dès le principe qu'il n'y ait des tassements après le soulèvement, qu'il n'y ait des mouvemens intérieurs dans les masses fragmentaires.“*

Und anlässlich der Beschreibung der Besteigung des Chimborazo stellt er fest, dass bei solch gewaltsamem Emporschieben und Auftürmen notwendigerweise große Zwischenräume und Höhlungen entstanden sein mussten, so dass durch ruckweise Senkung und durch Herabstürzen zu schwach unterstützter Massen Erschütterungen erfolgen<sup>186)</sup>:

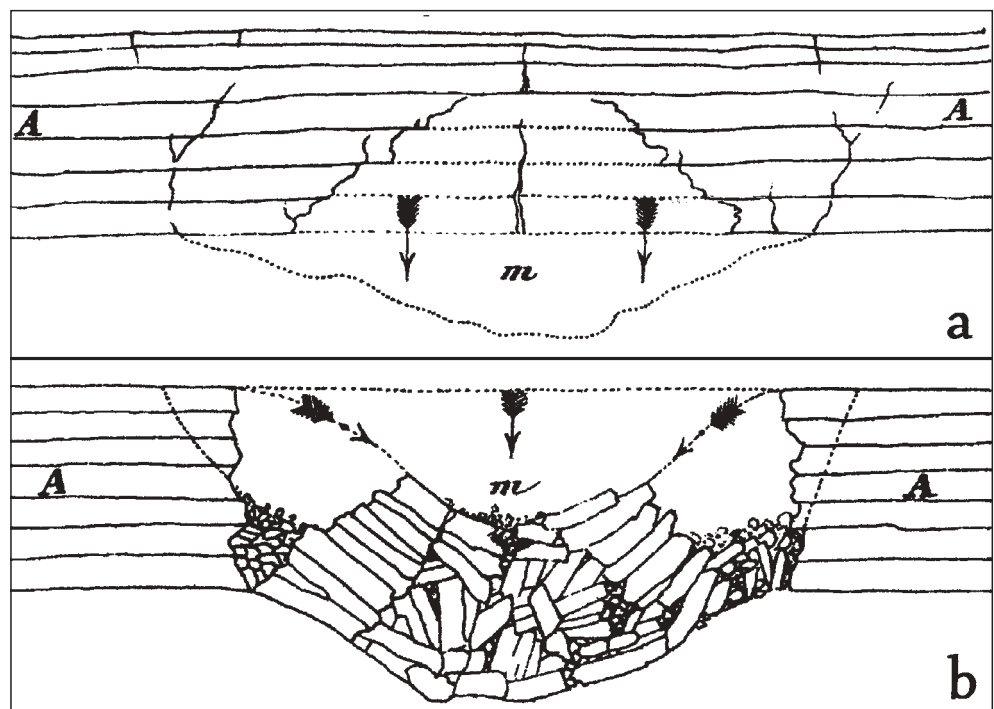
*„Comme le Cotopaxi, l'Antisana, le Tunguragua et en général les volcans qui hérissent les plateaux des Andes, la masse du Chimborazo est formée par l'accumulation de débris trachytiques, amoncelés sans aucun ordre. Ces fragmens, d'un volume souvent énorme, ont été soulevés à l'état solide par des fluides élastiques qui se sont fait jour sur les points de moindre résistance; leurs angles sont toujours tranchans.“*

Eine ähnliche nichtneptunistische Einsturzhypothese vertrat der österreichische Feldmarschalleutnant Graf Franz MARENZI (1805–1886). In ihrer allgemeinen Formulierung besagt sie<sup>187)</sup>:

*„... dass alle Gebirge der Erde, die bekannten und noch unbekanntes Hochländer aller Welttheile, die Sandwüsten Asiens und Afrikas und überhaupt alle Festbildungen, an welchen die Spuren einstiger Meeres-Überspülung sichtbar sind, im Allgemeinen nicht durch Hebung, sondern durch Einsturz der anliegenden Festbildungen entstanden seien. Ja selbst den thätigen Vulkanen, sie mögen nun nur einzelne hohe Berge oder lange Bogenlinien zahlreicher oceanischer Inseln bilden, können wir keine eigene Bildungskraft zuschreiben; sondern*

<sup>186)</sup> BOUSSINGAULT, J.B.: Ascension au Chimborazo le 16 déc. 1831, a.a.O. S. 176.

<sup>187)</sup> MARENZI, F.: Fragmente über die Geologie oder die Einsturzhypothese. – 5. Aufl., S. 92 f., Triest 1872.



müssen dieselben nur für Ergebnisse und für naturgemäße Wirkungen von Einstürzbewegungen erklären.“

Die Hohlräume, die solche Einstürze herbeiführen, sind nach seiner Meinung durch ungleiche Zusammenziehung der verschiedenartigen Massen bei der Wärmeabnahme der Erde entstanden. Die Einstürze solcher Hohlräume verursachen sowohl Erdbeben als auch, wenn sie sich unter dem Meeresboden befinden, Seebeben<sup>188)</sup>.

Allerdings stand eine derartige Vorstellung von vornherein im Widerspruch zu den Ansichten der anderen Vertreter der Kontraktionstheorie der Erde. Der Druck der lastenden Schichten ist, wie A. HEIM gezeigt hat, schon in mäßiger Tiefe so gewaltig, dass größere Hohlräume gar nicht entstehen können<sup>189)</sup>.

### 3.6. Die Hebungstheorie als einheitliche Grundlage von Vulkanismus und Erdbeben

Alexander VON HUMBOLDT gilt zwar als der Hauptvertreter der vulkanistischen Erdbebenstheorie. Er war aber nicht der erste unter den Schülern WERNERS, die mit dem Neptunismus brachen. Als erster akzeptierte J.C.W. VOIGT (1752–821), der 1776–79 in Freiberg bei WERNER studierte, den vulkanischen Ursprung des Basalts, der bereits 1762 von dem französischen Geologen N. DESMAREST und 1771 dem Deutschen R.E. RASPE festgestellt worden war. In einem Brief an einen anderen WERNER-Schüler, der an dem „nassen“ Ursprung des Basaltes festhielt, versuchte VOIGT diesen von der viel größeren Wahrscheinlichkeit einer vulkanischen Entstehung zu überzeugen<sup>190)</sup>:

„Eine Auswanderung eines mit Basalt und Trappformation schwangeren Meeres über die höchsten Gebirge der Erde hinweg ist Ihnen wahrscheinlicher als dass durch eine innere Entzündung eine Lavamasse herausgestoßen werden könnte? Bedenken Sie, was Sie sagen! Tausende von Zeitgenossen sahen durch vulkanische Kräfte Inseln hervorsteigen, Berge aufwachsen, Felsen zerspalten und Leben durch sie hervorgehen.“

#### 3.6.1. Leopold VON BUCHS Theorie der Erhebungskrater

Viel schwerer als VOIGT fiel die Ablösung von den Auffassungen seines Lehrers WERNERS dem Freund und Studiengenossen HUMBOLDTS, Leopold VON BUCH (1774–1853). Erste Bedenken kamen diesem schon bei seinen gründlichen Studien des Vesuvs im Jahre 1798. Angesichts des hoch auf dem Grundgebirge liegenden Basalts im französischen Zentralplateau der Auvergne musste er 1802 einräumen, dass der Basalt als ein Schmelzprodukt anzusehen ist.

Den entscheidenden Anlass zur Ausarbeitung seiner berühmten Theorie von den Erhebungskratern erhielt er jedoch durch seine sorgfältige Untersuchung der Riesenkrater auf den Kanarischen Inseln im Jahre 1815. Zuvor war er, als er sich für diese Reise in England vorbereitete, mit HUTTONS Theorie sowie mit den Experimenten von James HALL und Gregory WATT<sup>191)</sup> bekannt geworden, die nachgewiesen hatten, dass aus geschmolzenen Gesteinen bei sehr langsamer Abkühlung auch kristallinische Gebilde entstehen können. Die Betrachtung der geologischen Ver-

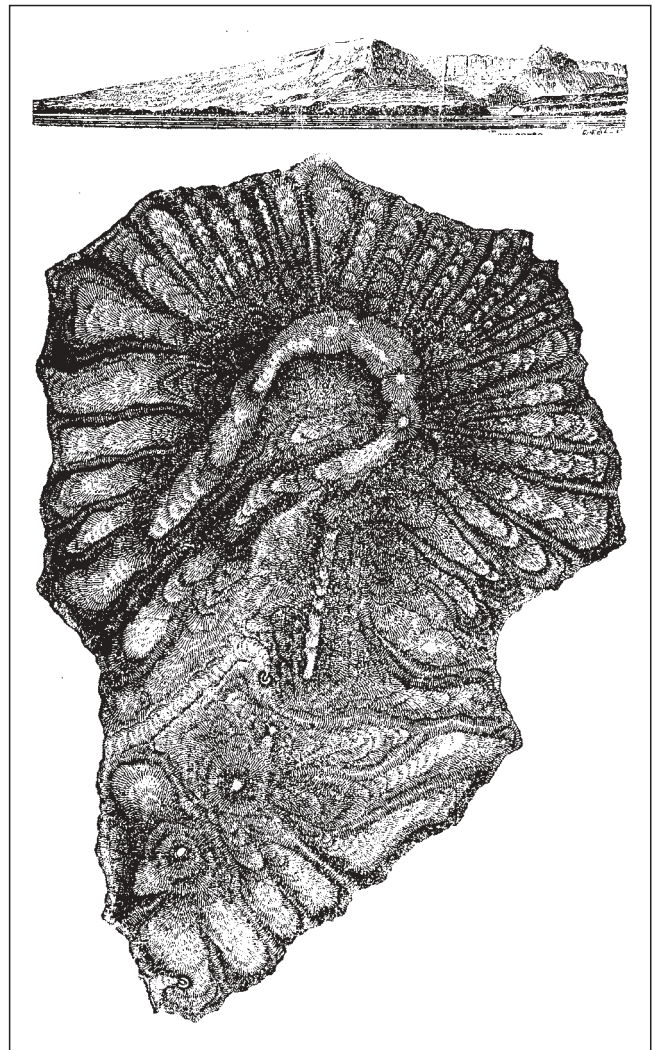


Abb. 16. Ansicht und Karte der Insel Palma nach Leopold VON BUCH aus BENDANT (1844).

hältnisse der Inseln Teneriffa und Palma führten Leopold VON BUCH zur Auffassung, dass sowohl die Kraterberge als auch die steilen kraterlosen „Dome“ und die flachen zentralen Flächen wie die „Caldera“ auf Palma (Vgl. Abb. 16) durch nichts anderes als durch vulkanische Kräfte verursachte Erhebungserscheinungen sind. Ob es der vulkanischen Kraft gelungen ist, durch die Öffnung des Kraters einen Ausweg zu finden oder nicht, ist für die Erklärung dieser Phänomene gleichgültig.

Wie sehr diese Theorie der Erhebungskrater jedoch von den heutigen Vorstellungen über die Entstehung abweicht, zeigt die strikte Unterscheidung, die Leopold VON BUCH zwischen Erhebungskrater und Eruptionskrater macht. Die Erhebungskrater sind aus Aufblähungen des horizontalen Erdbodens hervorgegangen. Ihre Ursache sind gespannte Dämpfe, die den aufgeblähten Erdboden am höchsten Punkt durchbrechen. Nach dem Entweichen der Dämpfe fällt jedoch die große erhobene Masse wieder zurück und bildet den für die kanarischen Insel charakteristischen Riesenkrater. Zur Bildung eines Eruptionskraters, der feurige Materie wie Lava und Asche ausstößt und einen Eruptionskegel im Erhebungskrater bildet, kommt es nur, wenn ein bleibender Verbindungskanal mit dem Erdinnern zustande kommt. In allen anderen Fällen entsteht kein Vulkan<sup>192)</sup>:

<sup>188)</sup> MARENZI. – a.a.O. S. 72, 118, 122.

<sup>189)</sup> Vgl. HOERNES, R.: Erdbebenkunde. – S. 286, Leipzig 1893.

<sup>190)</sup> VOIGT an WIDENMANN (1794). – In: KÖHLERS Bergmänn. J. 6. zit. n. HÖLDER, S. 44.

<sup>191)</sup> HALL, J.: Edinb. Transact. Vol. V, p. 43, Vol. VI, p. 71; G. WATT: Philos. Transactions of the Royal Society of London for 1804 P. II, S. 279.

<sup>192)</sup> BUCH, L.v.: Physikalische Beschreibung der canarischen Inseln, S. 326. – HUMBOLDT, Kosmos Bd. I, 1845, S. 235 f.

„Von solchen Umgebungen gehen keine Eruptionsercheinungen aus; es ist durch sie kein bleibender Verbindungschanal mit dem Innern eröffnet, und nur selten findet man in der Nachbarschaft oder im Innern eines solchen Kraters Spuren von noch wirkender vulkanischer Thätigkeit. Die Kraft, welche eine so bedeutende Wirkung hervorzubringen vermochte, muss sich lange im Innern gesammelt und verstärkt haben, ehe sie den Widerstand der darauf drückenden Masse überwältigen konnte. Sie reißt bei Entstehung neuer Inseln körnige Gebirgsarten und Conglomerate (Tuffschichten voll Seeplanzen) über die Oberfläche des Meeres empor. Durch den Erhebungs-Krater entweichen die gespannten Dämpfe; eine so große erhobene Masse fällt aber wieder zurück und verschließt sofort die nur für solche Kraftäußerung gebildete Oeffnung. Es entsteht kein Vulkan.“

Diese Theorie der Erhebungskrater lieferte die Grundlage für die kausale Erklärung der Erdbeben wie sie im direkten Anschluss an Leopold VON BUCH durch Alexander VON HUMBOLDTS allgemeinen Vulkanismus aufgestellt worden ist. Erdbeben werden daher nach HUMBOLDT nicht durch Eruption von Vulkanen verursacht, sondern durch Hebungen oder Aufblähungen des Erdbodens durch gespannte Dämpfe aus dem Innern. Diese Erklärung steht daher der antiken pneumatischen Erdbeben-theorie näher als den heutigen Vorstellungen über Vulkanismus, wie die Berufung HUMBOLDTS auf ARISTOTELES zeigt<sup>193)</sup>:

„Das Erdbeben der Erde hört nicht eher auf, als bis jener Wind ( $\alpha\upsilon\upsilon\epsilon\mu\omicron\varsigma$ ), welcher die Erschütterung verursacht, in der Erdrinde ausgebrochen ist. So ist es vor kurzem zu Heraclea in Pontus geschehen; und vormals auf Hiera, einer der Aeolische Inseln. In dieser nämlich ist ein Theil der Erde aufgeschwollen und hat sich mit Getöse zu einem Hügel erhoben: so lange, bis der mächtig treibende Hauch ( $\pi\upsilon\upsilon\epsilon\upsilon\mu\alpha$ ) einen Ausweg fand, und Funken und Asche ausstieß, welche die nahe Stadt der Liparäer bedeckte und selbst bis zu einigen Städten Italiens gelangte.“

In dieser Beschreibung des ARISTOTELES ist, wie HUMBOLDT selbst ausdrücklich bemerkt, das blasenförmige Auf-treiben der Erdrinde (ein Stadium, in dem viele Trachytberge in den südamerikanischen Anden nach seiner Meinung verbleiben) von dem Ausbruch selbst zu unterscheiden.

HUMBOLDTS Vorstellung vom Zusammenhang von Vulkanismus und Erdbeben wurde vor allem von der Art der Verteilung der Vulkane auf der Erdoberfläche bestimmt, für die Leopold VON BUCH eine „scharfsinnige“ Klassifikation in Central- und Reihenvulkane aufstellte<sup>194)</sup>:

„Je nachdem dieselben den Mittelpunkt vieler, fast gleichmäßig nach allen Seiten hin wirkender Ausbrüche bilden; oder in einer Richtung, wenig von einander entfernt, liegen: gleichsam als Essen auf einer langgedehnten Spalte. Die Reihen=Vulkane sind wiederum zweierlei Art. Entweder erheben sie sich als einzelne Kegel-Inseln von dem Grunde des Meeres, und es läuft ihnen meist zur Seite, in derselben Richtung, ein primitives Gebirge, dessen Fuß sie zu bezeichnen scheinen; oder die Reihen=Vulkane stehen auf dem höchsten Rücken dieser Gebirgsreihe und bilden die Gipfel selbst.“

Für HUMBOLDT war Leopold VON BUCH derjenige, der als erster die Auffassung, dass die Hebung der Kontinente eine wirkliche und nicht nur eine bloß scheinbare auf die Meeresoberfläche bezogene Hebung ist, in die Wissenschaft eingeführt hat. Denn im Unterschied zu früheren Äußerungen von PLAYFAIR<sup>195)</sup> (1802) und den noch viel

weiter zurückliegenden Vorstellungen des Dänen JESSEN<sup>196)</sup> über die Erhebung des Landes Schweden hatte Leopold VON BUCH eine kausale Erklärung dieses Phänomens geliefert. Zuvor waren nur „äußerst verworrene Ideen“ über die Möglichkeit eines inneren Wachstums und Zunehmens der Steine des felsigen Bodens erwogen worden, bis JESSEN sich schließlich doch entschloss, die Erhebung des Landes als Folge von Erdbeben zu erklären.

### 3.6.2. Die Verallgemeinerung der Hebungstheorie: ELIE DE BEAUMONT und HUMBOLDT

In Frankreich wurde die Hebungstheorie von L. ELIE DE BEAUMONT (1798-1874) übernommen: Sein von HUMBOLDT stets anerkanntes Verdienst war es, dass er eine Methode zur relativen Altersbestimmung der Gebirgsbildung lieferte<sup>197)</sup>:

„Jedem Systeme dieser Bergketten ist nach den großartigen Ansichten von Elie de Beaumont ein relatives Alter angewiesen: so dass das Aufsteigen der Bergkette nothwendig zwischen die Ablagerungszeiten der aufgerichteten und der bis zum Fuß der Berge sich horizontal erstreckenden Schichten fallen muss. Die Faltungen der Erdrinde (Aufrichtungen der Schichten), welche von gleichem geognostischem Alter sind, scheinen sich dazu einer und derselben Richtung anzuschließen.“

Und einem an ihn gerichteten Brief von ELIE DE BEAUMONT folgend<sup>198)</sup> nimmt HUMBOLDT das Weiterwirken plutonischer d.h. tief aus dem Erdinnern stammender Kräfte in der Gegenwart an<sup>199)</sup>:

„Nichts kann uns Sicherheit geben, dass jene plutonischen Mächte im Lauf kommender Jahrhunderte den von Elie de Beaumont bisher aufgezählten Bergsystemen verschiedenen Alters und verschiedener Richtung nicht neue hinzufügen werden. Warum sollte die Erdrinde schon die Eigenschaft sich zu falten verloren haben? Die fast zuletzt hervorgetretenen Gebirgssysteme der Alpen und der Andeskette haben im Montblanc und Monte Rosa, im Sorata, Illimani und Chimborazo Colosse gehoben, welche eben nicht auf eine Abnahme in der Intensität der unterirdischen Kräfte schließen lassen.“

Fasst man die von Leopold VON BUCH und ELIE DE BEAUMONT vertretene Hebungstheorie zusammen, wie sie in den gängigen Lehrbüchern des kontinentalen Europas<sup>200)</sup> um die Mitte des 19. Jahrhunderts nachzuweisen ist, so kommt man zu der in Abb. 17 wiedergegebenen Darstellung<sup>200)</sup> (aus ZIMMERMANN, 1865):

Ein geschichteter Teil der Erdoberfläche, die zunächst völlig kugeleben gedacht werden muss (17a), wird durch ungleichen Druck des geschmolzenen Erdinnern zu einem domförmigen Berg emporgehoben, bis die Wölbung an der Spitze zerreißt (17b).

Es entsteht ein Erhebungskrater, der entweder die Vorstufe zu einem zweiten Krater, dem sog. „Eruptionskrater“ darstellt (17c), oder er wird durch die emporquellenden flüssigen Massen und halbgeschmolzene Schlacken oder ungeschmolzene Gesteine ganz oder teilweise gefüllt (17d).

<sup>196)</sup> JESSEN: Kongerit Norge fremstillet efter dets naturlige og borgerlige Tilstand. – Kjöbenhavn. 1763.

<sup>197)</sup> HUMBOLDT, A. v.: Kosmos, Bd. I, 1845, S. 318.

<sup>198)</sup> Zweiter geologischer Brief von ELIE DE BEAUMONT an Alexander VON HUMBOLDT in Poggendorff's Annalen, Bd. XXV, S. 1–58.

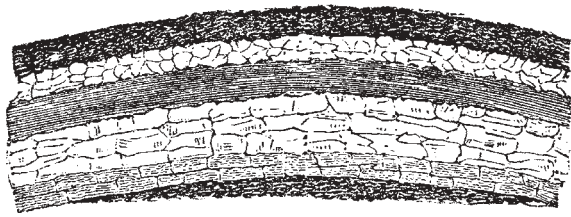
<sup>199)</sup> HUMBOLDT, A. v.: Kosmos, Bd. I, 1845, S. 320.

<sup>200)</sup> ZIMMERMANN, W.A.F.: Der Erdball und seine Naturwunder. – Populäres Handbuch der physischen Geographie. 3. Bd. 1. Abtheilung: Die feste Erdrinde, Berlin 1865.

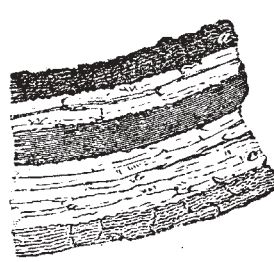
<sup>193)</sup> ARISTOTELES: Meteor. II. 8, pp. 17–19; HUMBOLDT, A. v.: Kosmos, Bd. I, 1845, S. 453.

<sup>194)</sup> BUCH, L.v.: Physikalische Beschreibung der canarischen Inseln, S. 325–407, HUMBOLDT, Kosmos Bd. I, S. 249.

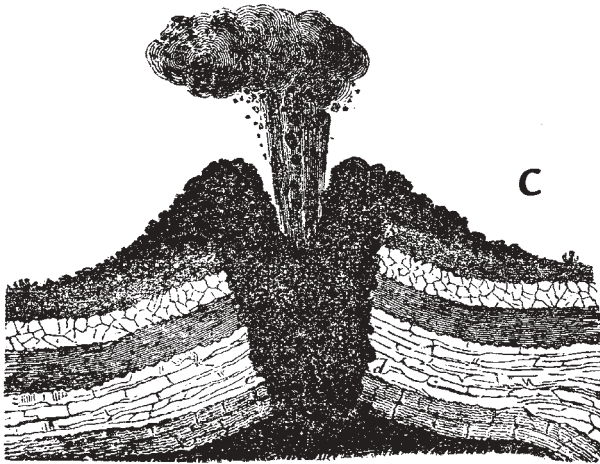
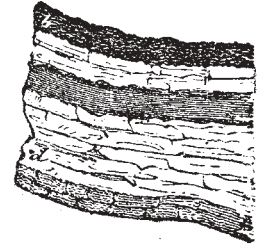
<sup>195)</sup> Illustrations of the Huttonian theory, § 393.



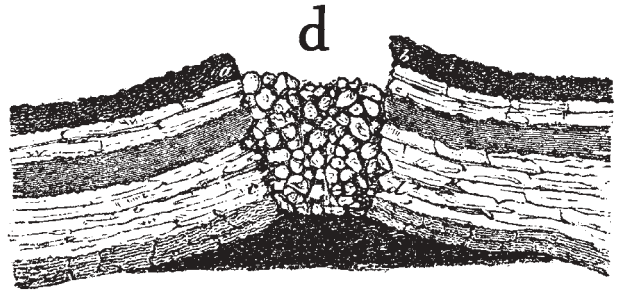
a



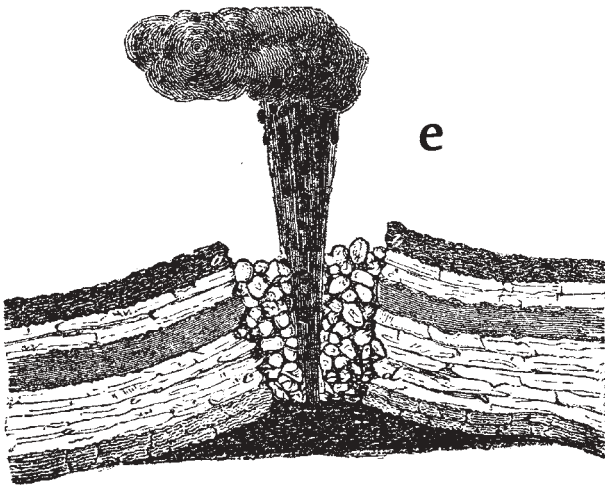
b



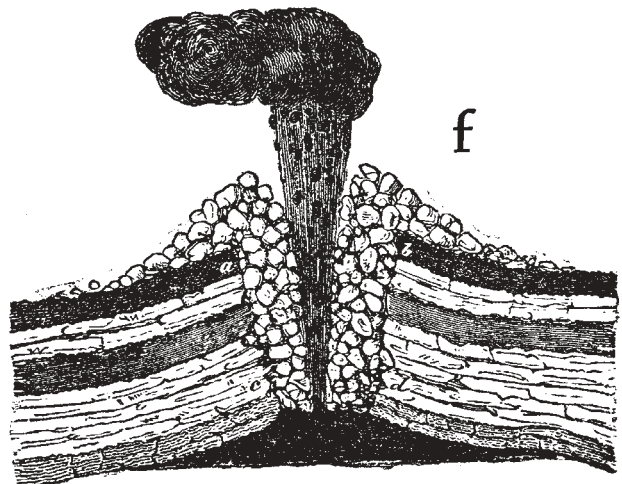
c



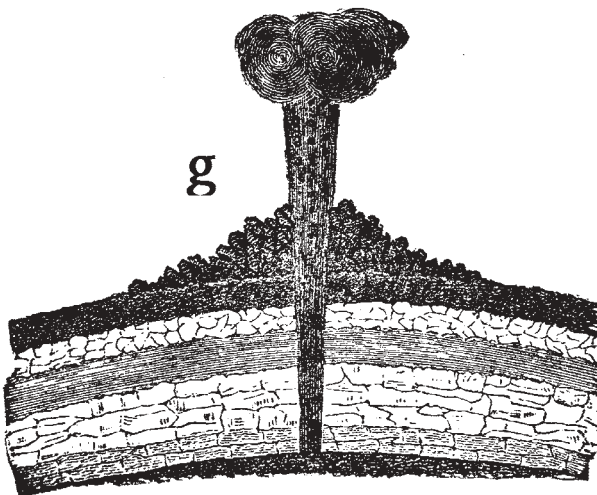
d



e



f



g

Abb. 17.  
Schematische Darstellung der Hebungstheorie nach Leopold von BUCH  
und ELIE DE BEAUMONT.

- a) Erdrundung.
- b) Erhebungskrater.
- c) Eruptionskrater.
- d) Allmähliche Füllung eines Kraters.
- e) Ein Vulkan in einem Erhebungskrater.
- f) Bedeckung eines Erhebungskraters.
- g) Eruptionskrater ohne Erhebungskrater.

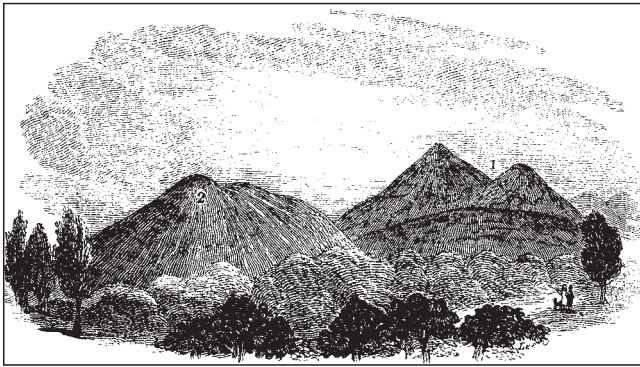


Abb. 18.  
Kleine Kegel am Abhang des Ätna (LYELL, 1834).

Bei den „geschlossenen“ d.h. mit erstarrter Lava, Schlacken und Bimssteinen teilweise gefüllten (17e) oder ganz bedeckten (17f) Erhebungskratern kann aber nach der durch HUMBOLDT berühmt gewordenen Vorstellung der Vulkane als Sicherheitsventile die Verstopfung durch einen erneuten Ausbruch von flüssigem oder gasförmigem Material beseitigt werden und es wird dadurch ein Eruptionskrater im Erhebungskrater entstehen.

Schließlich kann aber auch durch einen Kanal der nicht erhobenen Erdkruste ein reiner vulkanischer Aufschüttungskegel entstehen (17g), der allerdings von den Vertretern der Hebungstheorie nur als bloße Nebenerscheinung zu betrachten ist, wie sie am Vesuv oder Ätna als zahlreiche kleine Hügel nachzuweisen sind (Abb. 18).

Die am weitesten gehende Verallgemeinerung der Theorie der Erhebungskrater stammt jedoch von HUMBOLDT selbst. Er sieht nicht nur die erloschenen Vulkane der canarischen und azorischen Inseln, die domförmigen Gipfel der Auvergne und den Vesuv, sondern auch die ringförmigen Krater des Mondes als Erhebungskrater an. Denn diese Mondkrater sind nach seiner Meinung analog zu den Verhältnissen auf der Erde durch die Reaktionen des feuereflüssigen Innern des Mondes gegen seine Oberfläche zustande gekommen<sup>201</sup>:

*„In den, mittels großer Fernröhre entworfenen Karten des luft- und wasserlosen Satelliten erkennt man mächtige Erhebungs-Krater, welche Kegelberge umgeben oder sie auf ihren Ringwällen tragen: unbestreitbare Wirkungen der*

<sup>201</sup> HUMBOLDT, A. v.: Kosmos, Bd. I, 1845, S. 237.

*Reaction des Inneren gegen die Oberfläche des Mondes, begünstigt von dem Einfluss einer geringen Schwere.“*

HUMBOLDT geht aber in der Annahme ungeheurer vulkanischer Kräfte im Innern des Mondes jedoch nicht so weit wie LAPLACE<sup>202</sup>, der lange Zeit ernsthaft der alten Hypothese zuneigte, dass die Meteoriten nichts anderes als Steine sind, die aus den Mondkratern ausgeworfen worden sind. Dieses ballistische Problem beschäftigte 10–12 Jahre lang neben LAPLACE auch die Mathematiker BIOT, BRANDES und POISSON, bis schließlich OLBERS im Anschluss an CHLADNI nachweisen konnte, dass die ursprüngliche Wurfgeschwindigkeit im Monde 14-mal größer sein müsste als LAPLACE angenommen hatte, um jene auf der Erde gemessene Geschwindigkeit der Meteorsteine erreichen zu können<sup>203</sup>. Beendet wurde diese Diskussion durch den Astronomen John HERSCHEL, der auf Grund von Teleskopbeobachtungen annahm, dass auch die Mondkrater keine mit explosionsartiger Gewalt entstehenden Erhebungskrater sind, sondern durch stufenweise Aufschüttungen der ausgeworfenen Materie gebildet worden sind<sup>204</sup>. Auf diese Beobachtungen HERSCHELS stützt sich dann auch der schärfste Gegner der BUCHSchen Theorie der Erhebungskrater, Charles LYELL.

### 3.6.3. Kritik und Ablehnung der Theorie der Erhebungskrater: POULETT-SCROPE und LYELL

Während sich in Frankreich und Deutschland die Theorie der Erhebungskrater allgemein durchsetzte und von den geologischen Lehrbüchern als unbezweifelbare Tatsache hingestellt wurde, regte sich in England der Widerspruch. Ansatzpunkt der Diskussion war die schwierig zu entscheidende Frage, ob die Vulkane durch Hebung oder Aufschüttung entstanden sind. Schon 1825 hatte George POULETT-SCROPE (1797–1875) die Existenz von Erhebungskratern als selbständiges Phänomen oder als Vorstufe von ausbrechenden Vulkanen geleugnet. Er bestritt zwar nicht die Möglichkeit von Hebungen der Erdkruste, aber zugleich war er auf Grund seiner Untersuchungen der erloschenen Vulkane der Auvergne davon überzeugt, dass bereits vorhandene Spalten der Lava den Weg wiesen. Damit können sich ohne Erhebung des Bodens lediglich durch Anhäufung der ausgeworfenen Materialien Vulkanberge als reine Aufschüttungskegel bilden, an deren Spitze in der Mitte durch den ununterbrochenen Auswurf eine Öffnung entsteht, die man Krater nennt. Die Lava fließt häufig über die Krateröffnung und macht die Wände des Kegels immer stärker.

<sup>202</sup> LAPLACE, P.S.: Exposition du Système du Monde. – S. 399, Paris 1824.

<sup>203</sup> OLBERS in SCHUHMACHERS Jahrbuch für 1837, S. 52–58. zit. nach HUMBOLDT Kosmos Bd. I, S. 401.

<sup>204</sup> HERSCHEL, J.: Treatise on Astronomy. – S. 229, London 1833.



Abb. 19.  
Mondkrater dargestellt von E. RIOU aus ZURCHER et MARGOLLE (1872).





Abb. 20.  
Ansicht der erloschenen Vulkane der Auvergne nach POULETT-SCROPE aus LYELL (1865).

Manchmal kommt es aber vor, dass sie den Kegel auf einer Seite durchbricht (vgl. Abb. 20).

Die stärkste Unterstützung erhielt POULETT-SCROPE durch den Hauptvertreter der aktualistischen Geologie in England Charles LYELL (1797–1875), der durch seine Kritik der neptunistischen Katastrophentheorie CUVIERS der Darwinschen Evolutionstheorie den Weg bereitet hatte<sup>205</sup>. LYELL radikalisierte die Aufschüttungstheorie von POULETT-SCROPE und baute sie in seine Theorie der aktuellen Ursachen ein. Denn ihm war nicht nur die neptunistische Katastrophentheorie, sondern jede Art von Katastrophentheorie und daher auch die vulkanistischen Hebungstheorien von Leopold VON BUCH und ELIE DE BEAUMONT, die mit gewaltsamen, plötzlich eintretenden Ereignissen rechneten, suspekt.

Zwar hatten schon HUTTON und PLAYFAIR einen aktualistischen Standpunkt vertreten, der die ständige Wirksamkeit der noch heute tätigen Ursachen behauptete, doch blieb diese Auffassung noch weitgehend unbestimmt und offen. So nahm HUTTON zwar keine weltweiten Katastrophen an, ließ aber trotzdem plötzlich auftretende regionale vulkanische Hebungen und Senkungen in größerem Ausmaß zu, die sich ständig abwechselnd ohne Anfang und Ende wiederholten. So endet auch der erste Teil seiner „Theory of the Earth“ (1788) mit den berühmten Worten<sup>206</sup>:

„... that we find no vestige of a beginning, – no prospect of an end.“

Nachdem aber CUVIER seine neptunistische Katastrophentheorie formuliert hatte, mit der er sowohl die aktualistische Auffassung als auch die plutonistisch-vulkanistische Hebungstheorie verurteilte, kann man LYELLS scharfe, ja dogmatische Darstellung des Aktualismus als eine Gegenreaktion betrachten. Denn LYELL lehnte das Prinzip der gewaltsamen Akte in der Natur in jeder Form ab. So akzeptierte er zwar das durch mehr als hundertjährige Beobachtung festgestellte langsame Hochsteigen des schwedischen Festlandes als wirkliche Hebung im Sinne von Leopold VON BUCH, lehnte aber dessen Theorie der Erhebungs-krater als plötzlich auftretendes gewaltsames Ereignis vollständig ab. Ebenso unannehmbar war für ihn die Vorstellung eines feurigflüssigen Erdkerns, die nach seiner Meinung kein sinnvoller Gegenstand der Geologie ist. LYELL meinte sogar, dass man in der Geologie auf Spekulationen über den Anfang der Erde überhaupt verzichten müsse, ebenso wie auch die Astronomen mit ihren Fernrohren nicht die Grenze des beobachtbaren Raumes erreichen können.

Für die Vorgänge im Erdinnern sind nach seiner Meinung nur die heute bekannten mechanischen Ursachen heranzuziehen. Langsame Hebungen und Senkungen, die überall heute noch nachweisbar und auf mechanische Erhitzung und nachfolgende Abkühlung zurückzuführen sind, bilden die Grundlage aller erdgeschichtlichen Veränderungen, die nie irreversibel sind, sondern ständig wiederkehren können. So glaubte er auch, dass bei entsprechender Erwärmung die alten Steinkohlewälder wieder zurückkehren könnten. Und in einem phantasiereichen Bild

behauptete er auch die Möglichkeit des Wiederauftretens der damaligen Tierwelt<sup>207, 208</sup>:

„Then might those genera of animals return, of which the memorials are preserved in the ancient rocks of our continents. The huge iguanodon might reappear in the woods, and the ichthyosaur in the sea, while the pterodactyle might flit again through umbrageous groves of tree-ferns.“

„Dann würden jene Thiergeschlechter wiederkehren, von denen die Erinnerung in den ältern Felsarten unseres Festlandes geblieben ist. Das ungeheure Iguanodon würde in den Gehölzen wiedererscheinen und der Ichthyosaur in dem Meere, wogegen der Pterodactylus wieder durch die schattigen Wälder von Baumfarnen fliegen würde.“

Auch bei der umfangreichen Auswertung von Berichten über vergangene Erdbeben versucht LYELL immer nur verhältnismäßig kleine, sich über lange Zeiten hinweg aufsummierende Ursachen, die sich ständig auch in unseren Zeiten wiederholen, als Erklärung anzugeben. LYELL gab zwar zu, dass Erdbeben Hebungen und Senkungen des Erdbodens bewirken können. Die Vorstellung jedoch, dass feste Gesteinsschichten wie Basalt sich durch vulkanische Dämpfe wie eine Blase aufblähen lassen und beim explosionsartigen Durchbruch ohne zu zerbrechen die regelmäßige und symmetrische Gestalt eines runden Kraters bilden können, war für ihn völlig unannehmbar<sup>209, 210</sup>:

„It will readily be admitted, that earthquakes, when they act on extensive tracts of country, may elevate and depress them without deranging considerably the relative position of hills, valleys, and ravines. But if the aëriiform fluids should break through a mere point, as it were, of the earth's crust, and that, too, where the beds were not composed of soft yielding clay, or incoherent sand, but, in great part, of solid trachyte and basalt, thousands of feet thick, is it possible to conceive that such masses of rock could be heaved up, so as to attain the height of seven thousand feet, or more, without being thrown into a vertical, and often into a reversed position? Would they not be fissured and fractured in every direction, and, instead of forming a mountain of regular form and structure, would they not be reduced to a mere confused and chaotic heap?“

„Wir geben zu, dass Erdbeben, wenn sie auf ausgedehnte Landstriche wirken, eine Hebung oder ein Sinken derselben bewirken können, ohne die relative Lage der Berge, Täler und Schluchten bedeutend zu verändern. Ist es aber möglich, zu begreifen, dass elastische Fluida durch irgend einen Punkt der Erdoberfläche brechen können, und dass, wo die Lager nicht aus weichem, nachgebendem Thon oder unzusammenhängendem Sande, sondern aus festem Basalt von 1000 Fuß Mächtigkeit bestehen, sie dieselben wie eine Blase aufzublähen im Stande ist? Würden die Felsarten dagegen nicht zerbrochen, zerrissen, senkrecht in die Höhe gehoben und oft in eine umgekehrte Lage gebracht werden; und würden sie, ehe sie die Höhe von 7000 Fuß erreichten, nicht zu einem bloßen verworrenen und chaotischen Haufen reducirt sein?“

Ein empirischer Beweis für die Hypothese der Erhebungs-krater wäre für LYELL nur dann gegeben, wenn wenigstens ein einziger Kegel zu finden wäre, bei dem sich keine vulkanischen Gesteinsarten feststellen lassen. Auf der ganzen Erdoberfläche kann aber kein Beispiel dieser

<sup>207</sup> LYELL, Ch.: Principles of Geology. The third Edition in four Volumes. – Vol. I, S. 183, London 1834.

<sup>208</sup> LYELL, Ch.: Lehrbuch der Geologie. Ein Versuch, die früheren Veränderungen der Erdoberfläche durch noch jetzt wirksame Ursachen zu erklären. – Nach der 2. Auflage des Originals aus dem Engl. übers. von C. HARTMANN, Bd. 1, S. 108, Quedlingburg und Leipzig 1833.

<sup>209</sup> LYELL, Ch.: Principles of Geology. – Vol. II, S. 160, 1834.

<sup>210</sup> LYELL, Ch.: Lehrbuch der Geologie. – Bd. 1, S. 336.

<sup>205</sup> OESER, E.: System Klassifikation Evolution. – Wien – Stuttgart 1974.

<sup>206</sup> Zit. nach HÖLDER, S. 63.

Art nachgewiesen werden. Ebensowenig ist nach LYELLS Meinung an irgendeinem Punkt der Erde jemals diese Theorie durch jetzige Beobachtungen bestätigt worden. Damit stellt sich LYELL in einem direkten Gegensatz zu HUMBOLDT, der den Ausbruch des Jorullo in Mexiko im Jahre 1759 als empirischen Beweis für die Hebungstheorie ansah.

Als HUMBOLDT 44 Jahre nach dem Ereignis im Jahre 1803 diese Gegend aufsuchte, sah er eine Masse von 550 Fuß Höhe. Diese Masse erstreckte sich über einen Raum von vier Quadratmeilen. Sie lagerte sich um die sechs Vulkane, die sich in einer Linie auf einer Spalte gebildet hatten. Sie hatte eine konvexe Gestalt, in deren Mitte der Zentralvulkan Jorullo stand, und fiel nach allen Seiten hin nach der Ebene ab. Zwei kleine Flüsse, die vor dem Ausbruch die Ebene bewässerten, verloren sich unter dem östlichen Ende der Ebene und erschienen als heiße Quellen an der westlichen Grenze wieder (vgl. Abb. 21).

Für HUMBOLDT war diese Konvexität der Beweis dafür, dass die Ursache des Erdbebens und die anschließende Bildung der Vulkane die Aufblähung des Erdbodens in Form einer ungeheuren Blase war. LYELL dagegen nahm mit SCROPE an, dass die konvexe Gestalt der Ebene viel einfacher durch die Annahme erklärt werden könne, dass im Laufe des Jahres sich aus den verschiedenen Öffnungen, hauptsächlich aber aus dem Jorullo, Lavaströme ergossen, die sich in der Mitte zu einer größeren Höhe auftürmten als an den Rändern.

Ein weiterer Grund für diese „kühne und außerordentliche Theorie“ der Aufblähung des Erdbodens von unten war für HUMBOLDT der hohle Klang, der sich hören lässt, wenn Pferde über die konvexe Ebene schreiten. Für SCROPE und LYELL rührt jedoch dieser hohle Klang, der ebenso sowohl auf den Hängen des Vesuv als auch auch in der Campagna bis Rom zu hören ist, von der Zusammensetzung des Bodens aus porösen vulkanischen Felsenarten her und unterstützt keineswegs die Hypothese von einer großen bogenförmigen Höhlung oder Blase.

HUMBOLDT, dem diese Einwände von SCROPE und LYELL bekannt waren, hat dagegen an seiner Vorstellung von einer durch elastische Dämpfe verursachten, blasenförmigen Hebung der Erdoberfläche festgehalten. Er kann sich zur Unterstützung seiner Ansicht nicht nur auf eigene Untersuchungen der Gesteinsarten stützen, sondern führt auch die Untersuchungen eines „genauen und erfahrenen

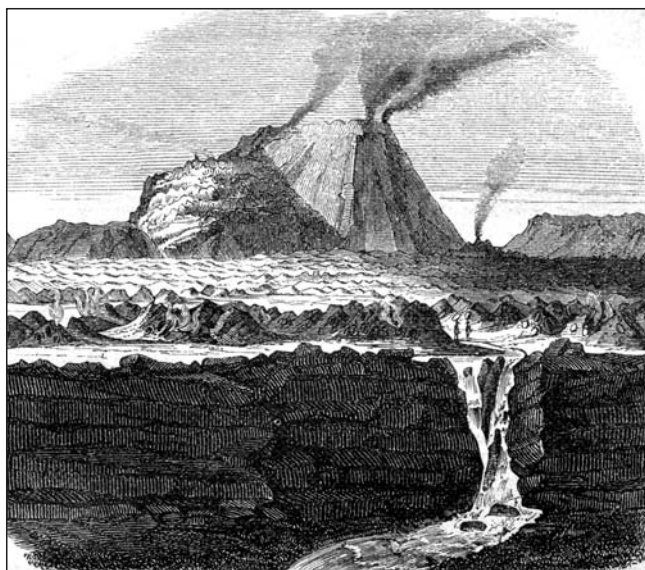


Abb. 21.  
Ansicht des Vulkan Jorullo nach HUMBOLDT aus KLENCKE (1870).

Beobachters<sup>211)</sup> an, der ebenso wie er selbst aber an anderen Punkten der Erhebung nicht neues vulkanisches Gestein, sondern verwitterten Basalt und schwarze horizontale Lettenschichten festgestellt hatte. Die auf dem Basalt des Hügels am Fuß des Vulkans gewachsenen uralten Stämme von *Ficus india* und *Psidium* müssen nach HUMBOLDTS Meinung schon vor der Katastrophe existiert haben, das heißt also, in die Höhe gehoben worden sein.

Noch wichtiger als diese nachträglichen geologischen Hinweise waren aber HUMBOLDT die Augenzeugenberichte. Seine genauen Angaben, die er gegen LYELLS Kritik anführt, zeigen deutlich, welchen hohen Stand die Quellenforschung der historischen Erdbeben in dieser Diskussion bereits erreicht hatte. Entdeckt wurde dieser schriftliche Augenzeugenbericht erst im Jahre 1830 in den Archiven des Bischofs von Michuacan. Es handelt sich um einen Brief, den der Priester Joaquin DE ANSOGORRI am 19. Oct. 1759 an seinen Bischof geschickt hatte, also drei Wochen nach dem Erdbeben und dem Ausbruch des Jorullo am 29. Sept. 1759 um drei Uhr morgens. Dreißig Jahre später unternahm der Gouverneur Don Juan Antonio DE RIANO begleitet von dem deutschen Berg-Commissar Franz FISCHER eine Expedition auf den Jorullo, um den Zustand des Berges zu untersuchen, und befragte die Augenzeugen des Ausbruches. Übereinstimmend erzählten nach diesen Berichten die Augenzeugen<sup>212)</sup>:

„ ... dass mitten zwischen den Flammen (wie sich die ausdrücken, welche das Berg-Aufsteigen erlebt) gleich einem schwarzen Castell (castillo negro) ein großer unförmiger Klumpen (bulto grande) erschien“

und

„ ... dass, ehe der furchtbare Berg erschien (antes de reventar y aparecerse este terrible Cerro), die Erdstöße und das unterirdische Getöse sich häuften; am Tage des Ausbruchs selbst aber der flache Boden sich sichtbar senkrecht erhob (se observó, que el plan de la tierra se levantaba perpendicularmente), und das Ganze sich mehr oder weniger aufblähte, so dass Blasen (vexigones) erschienen: deren größte heute der Vulkan ist (de los que el mayor es hoy el Cerro del Volcan). Diese aufgetriebenen Blasen, von sehr verschiedenem Umfang und zum Theil ziemlich regelmäßiger conischer Gestalt, platzten später (estas ampollas, gruesas vejigas ó conos diferentemente regulares en sus figuras y tamaños, reventaron despues), und stießen aus ihren Mündungen kochend heißen Erdschlamm (tierras hervidas y calientes) wie verschlackte Steinmassen (piedras cocidas y fundidas) aus: die man, mit schwarzen Steinmassen bedeckt, noch bis in ungeheure Ferne auffindet.“

Diese historischen Nachrichten stimmten auch vollkommen mit dem überein, was HUMBOLDT selbst 14 Jahre nach der Besteigung des Jorullo durch Antonio DE RIANO aus

<sup>211)</sup> BURKART: Aufenthalt und Reisen in Mexico in den Jahren 1825–1834. – Bd. I, S. 227, 1836.

<sup>212)</sup> HUMBOLDT, A. v.: Kosmos, Bd. IV, S. 335–337.

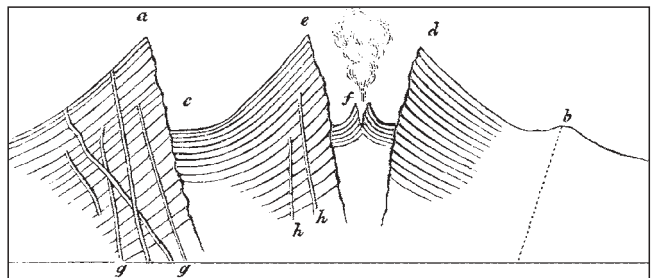


Abb. 22.  
Theoretisch angenommener Durchschnitt von Vesuv und Somma nach LYELL (1843).

dem Munde der Eingeborenen vernahm. Da sich auf diese Weise historische Augenzeugenberichte und eigene Messungen und Beobachtungen, die HUMBOLDT selbst bei der Besteigung des Jorullo unternahm, gegenseitig ergänzten, blieb HUMBOLDT bei seiner Theorie der Erhebung der Ebene um den Jorullo und wurde zusätzlich in dieser Annahme von Leopold VON BUCH bestärkt, der auch die in HUMBOLDTS Abbildung so deutlich hervorgehobenen unzähligen „kleine Öfen“ (Hornitos) nicht als Aufschüttungskegel, sondern als Hebungerscheinungen aus dem Erdinnern angesehen hatte. Als Beleg führt HUMBOLDT eine briefliche Mitteilung an<sup>213)</sup>:

„Ihre Hornitos“, schrieb mir Leopold von Buch, „sind nicht durch Auswürflinge aufgehäufte Kegel; sie sind unmittelbar aus den Erd-Inneren gehoben.“

Diese Diskussion um die Erhebung eines neuen Berges wiederholte sich dann bei der Erklärung eines viel weiter zurückliegenden Ereignisses in Europa. Denn Leopold VON BUCH verglich die Entstehung des mexikanischen Vulkans Jorullo mit der Entstehung des Monte Nuovo in den phlegräischen Feldern im Jahre 1538.

Leopold VON BUCH und HUMBOLDT sahen auch in den ältesten Teilen des Vesuv und des Ätna Erhebungskrater. Aus den alten Gerüsten dieser Krater haben sich später in geschichtlicher Zeit die Vulkane erhoben<sup>214)</sup>.

„Wo die Zeugen des ersten Ausbruchs, ich möchte sagen, das alte Gerüste sich vollständig erhalten hat: da steigt der Vulkan aus einem Erhebungs-Krater empor; da umgiebt den isolierten Kegelberg circusartig eine hohe Felsmauer: ein Mantel, der aus stark aufgerichteten Schichten besteht.“

Für LYELL dagegen verdanken die alten wie die neuen Kegel der feuerspeienden Berge ihre Bildung und Struktur gänzlich analogen Operationen. Er kann sich in dieser Auffassung bereits auf die Untersuchungen von NECKER<sup>215)</sup> über die Gestalt der Somma berufen, die später auch von SCROPE bestätigt wurden.

Während die Hebungstheoretiker den Monte Somma als die Reste eines alten Erhebungskraters ansahen, aus dem sich dann der Aufschüttungskegel des Vesuv erhoben hat, wiesen NECKER, HUMBOLDT und LYELL auf die Identität der Neigung der Schichten und die Ähnlichkeit der mineralogischen Zusammensetzung und die gleichartige Durchsetzung beider Kegel durch porphyrtartige Gänge hin. Als anschaulichen Beweis für die Gleichartigkeit der Entstehungsgeschichte beider Kegel fügt LYELL seinen Erläuterungen einen theoretisch angenommenen Durchschnitt von Vesuv und Somma bei (Abb. 22)<sup>216)</sup>.

Um diese Entstehungstheorie der Vulkane empirisch zu beweisen nahm LYELL, ebenso wie Leopold VON BUCH und ELIE DE BEAUMONT vor ihm, sorgfältige Untersuchungen und Messungen am Ätna vor. Die Frage war, bis zu welchem Neigungswinkel die Lava zusammenhängende bergaufbauende Massen bilden kann. Leopold VON BUCH und ELIE DE BEAUMONT glaubten durch ihre Vermessungen der Lavaströme am Ätna im Jahre 1834 erwiesen zu haben, dass Lava nur dann zusammenhängende Massen bilden kann, wenn der Neigungswinkel weniger als 6° beträgt. Daher könne sich am Ätna, der in größten Höhen einen Neigungswinkel über 30° hat, die ausfließende Lava nicht halten und Schichten bilden. LYELL dagegen, der nach dem Tode Leopold VON BUCHS in den Jahren 1857 und 1858 ebenfalls den Ätna untersuchte, fand Beispiele, dass Lavaströme an Abhängen von 35° ausgesprochen kompakten Felsen bilden und noch in einem Winkel von 40°

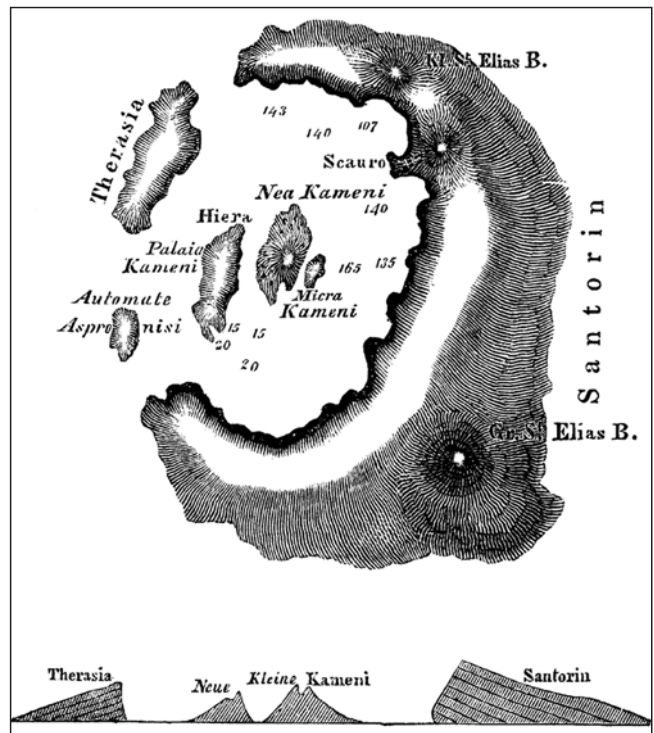


Abb. 23. Karte und Durchschnitt von Santorin und den benachbarten Inseln im griechischen Archipel nach LYELL (1843).

zusammenhängende steinige Massen ohne Blasen hervorbringen können. Daher waren für ihn auch weder die Somma des Vesuv noch die Caldera auf Palma Erhebungskrater, sondern rein vulkanischen Ursprungs, bestehend aus Lava und Auswurfmaterial.

Die von Leopold VON BUCH als Beweis für die Hebung der Aufblähung angeführten strahlenförmigen Kluft- und Talbildungen (Barrancos) sind nach LYELLS Meinung lediglich Erosionserscheinungen, hervorgerufen durch herabfließendes Regenwasser. Gegen diese Erklärung hat sich jedoch HUMBOLDT, der Leopold VON BUCHS Theorie der Erhebungskrater bis zu seinem Lebensende verteidigte, gewehrt. Für ihn sind die in Südamerika sogenannten Barrancos, die eigentlich „Wasserfurchen“ bedeuten, nicht ursprünglich durch Regenwasser zustande gekommen, sondern, wie Leopold VON BUCH meinte<sup>217)</sup>, „Folgen der Zersprengtheit bei der ersten Erhebung der Vulkane“.

„Aber wenn dieselben auch zu Zeiten die sich sammelnden Meteorwasser fortführen, so ist diesen doch wohl nicht die primitive Entstehung der barrancos an dem Abfall der Vulkane zuzuschreiben. Spaltungen als Folge der Faltung in der weich gehobenen und sich erst später erhärtenden trachytischen Masse sind wahrscheinlich allen Erosions-Wirkungen und dem Stoß der Wasser vorhergegangen.“<sup>218)</sup>

In diesem Zusammenhang konnte sich HUMBOLDT nicht nur auf Leopold VON BUCH, sondern auch auf POULETT-SCROPE berufen:<sup>219)</sup>

„Die meiste Analogie mit der hier behandelten Relief-form gewährt das Phänomen, auf welches Leopold von Buch und der scharfsinnige Beobachter der Vulkane, Poulet Scrope, schon aufmerksam gemacht haben: das Phänomen, dass große Spalten sich fast immer nach der Normal-Richtung des Abhänge, strahlenförmig, doch unverzweigt,

<sup>213)</sup> HUMBOLDT. – a.a.O. S. 347.

<sup>214)</sup> HUMBOLDT, A. v.: Kosmos, Bd. I, S. 236.

<sup>215)</sup> Mémoire sur le mont Somma. Mém. de la Soc. de phys. et d'hist. naturelle de Genève, tom. II, part. 1, S. 155.

<sup>216)</sup> LYELL, Ch.: Principles of Geology, Vol. II, S. 87.

<sup>217)</sup> HUMBOLDT, A. v.: Kosmos, Bd. IV, S. 560.

<sup>218)</sup> HUMBOLDT. – a.a.O. S. 331.

<sup>219)</sup> HUMBOLDT. – a.a.O. S. 331.

vom Centrum des Berges aus, nicht quer auf denselben, in rechtem oder schiefem Winkel eröffnen.“

Der Streit um die von HUMBOLDT unterstützte Theorie der Erhebungskrater konzentrierte sich vor allem auf die beiden in Europa bekannten klassischen Beispiele: Santorin und Monte Nuovo, deren Entstehung durch mehrfache Beobachtungen belegt ist.

Für Leopold VON BUCH war Santorin wegen ihrer langen, durch Berichte erfassten Entwicklungsgeschichte die wichtigste von allen Erhebunginseln<sup>220)</sup>:

„Sie vereinigt in sich die ganze Geschichte der Erhebunginseln. Seit vollen 2000 Jahren, so weit Geschichte und Tradition reicht, haben die Versuche nicht aufgehört, in der Mitte des Erhebungskraters einen Vulkan zu bilden.“

LYELL dagegen beruft sich auch in diesem Fall auf seine Erklärung der Art und Weise der Entstehung des halbkreisförmigen Excarpements der Somma und behauptet daher auch ganz entschieden, dass die drei Inseln, welche den Golf von Santorin umgeben, nichts weiter als die Reste eines großen vulkanischen Kegels sind, dessen Gipfel gleich dem des alten Vesuv zerstört worden ist. Was aber die kleineren Inseln betrifft, die seit der historischen Zeit im Zentrum des Golfes entstanden sind, so können sie mit den neuen Kegeln des Vesuv verglichen werden.

Die theoretische Erklärung, die Leopold VON BUCH, der nach Angaben LYELLS Santorin nie besucht hatte, im Sinne seiner Erhebungstheorie sowohl von Santorin als auch den anderen Inseln im Golf gibt, sieht LYELL durch die Untersuchungen verschiedener Lavaströme widerlegt, die der französische Geologe VIRLET<sup>221, 222)</sup> an diesen Stellen vorgenommen hat:

„In examining the various currents of lava (the existence of which was unknown to von Buch, who had not visited Santorin), it was found that the vesicles, or pores which abound in them, are lengthened in the several directions in which they would naturally be drawn out, if the melted matter had flowed towards different points of the compass from the summit of a conical mountain, of which the present islands were the base. The force of this argument will be appreciated by those who are aware that bubbles of confined gas in a fluid in motion assume an oval form, and that the direction of the longer axis coincides always with that of the stream.“

„Bei der Untersuchung der verschiedenen Lavenströme (deren Existenz Hr. v. Buch unbekannt war, da er Santorin nicht besucht hatte), fanden sich die sehr häufigen Blasenräume in den verschiedenen Richtungen verlängert, in denen sie sich ausdehnen mussten, wenn die geschmolzene Lava von dem Gipfel eines kegelförmigen Berges, von dem die jetzigen Inseln die Basis bildeten, nach verschiedenen Weltgegenden flossen. Die Kraft dieses Grundes wird Denen einleuchtend sein, welche wissen, dass Luftblasen, die in einer sich bewegenden Flüssigkeit eingeschlossen sind, eine ovale Form annehmen, und dass die Richtung der längeren Achse stets mit der Richtung des Stroms zusammenfällt.“

Die endgültige Entscheidung in dieser Streitfrage fiel jedoch erst nach dem Tode der beiden vulkanistischen Hebungstheoretiker Leopold VON BUCH und HUMBOLDT, als im Jahre 1866 der Santorin-Vulkan ausbrach. So musste auch der alternde ELIE DE BEAUMONT von seinem nach Santorin entsandten Kollegen FOUQUE erfahren, dass die Ver-

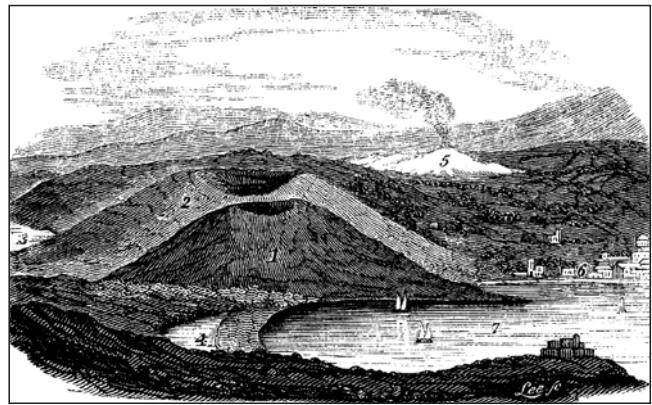


Abb. 24.  
Die Phlegräischen Felder nach LYELL (1834).

größerung des Archipels nicht durch Hebung, sondern durch überquellendes glühendes Magma zustande gekommen ist.

Auch der kleine, nur 170 m hohe Monte Nuovo, der bei dem Erdbeben vom Jahre 1538 in der Nähe des Ortes Puzzuoli in der Bucht von Baie entstand, wurde sowohl von Leopold VON BUCH als auch von HUMBOLDT<sup>223)</sup> als Erhebungskrater angesehen, der durch Aufblähung des ebenen Bodens mit Aufbrechen am höchsten Punkt der Auftreibung gekennzeichnet ist und daher nicht als Aufschüttungskegel anzusehen ist<sup>224)</sup>.

„Es ist ein Irrtum“ - sagt L. v. Buch - „annehmen zu wollen, dass dieser Berg durch einen Ausbruch oder durch das Auswerfen von Bimsstein, Schlacken und anderen unzusammenhängenden Materien gebildet worden sei, denn die festen Lager von emporgehobenem Tuff sind alle rings um den Krater sichtbar, und nur die Oberflächendecke des Kegels besteht aus ausgeworfenen Schlacken.“

Unterstützt wurde Leopold VON BUCH in dieser Ansicht von ELIE DE BEAUMONT, DUFRÉNOY und HUMBOLDT, die sich auf den Augenzeugenbericht des Simone PORZIO beriefen, in dem von einer großen Auftreibung des Bodens die Rede war, welche die Gestalt eines plötzlich wachsenden Berges annahm<sup>225)</sup>:

„Magnus terrae tractus, qui inter radices montis, quem Barbarum incolae appellant, et mare juxta Avernum jacet, sese erigere videbatur et montis subito nascentis figuram imitari. Iste terrae cumulus apertu veluti ore magnos ignes evomuit, pumicesque et lapides, cineresque.“

LYELL, dessen „lobenswerte Unparteilichkeit“ in diesem Zusammenhang von HUMBOLDT ausdrücklich betont wird, nimmt zwar nicht die Erhebung des Monte Nuovo an, den er für einen Ausschüttungskegel hält, betrachtet aber die Hebung der gesamten Ebene, die zwischen dem Auverner See, dem Monte Barbaro und dem Meere liegt (vgl. Abb. 24) als eine durch zwei weitere zeitgenössische Augenzeugenberichte erwiesene Tatsache<sup>226)</sup>.

Der eine von diesen beiden Berichten stammt von Marco Antonio DELLI FALCONI, der zwar nichts von einer Erhebung des Bodens erwähnt, aber von einem Zurückweichen des Meeres und einer Trockenlegung des Ufers spricht, die bereits 10 Stunden vor dem Ausbruch des Monte Nuovo eingetreten ist.

Noch deutlicher als dieser Bericht ist der andere von Pietro Giacomo DI TOLEDO, der ausdrücklich von einer Hebung der Ebene spricht, auf der dann der Monte Nuovo ent-

<sup>220)</sup> HUMBOLDT, A. v.: Kosmos, Bd. I, S. 252; Leopold VON BUCH, Phys. Beschreibung der canarischen Inseln, S. 356-358.

<sup>221)</sup> VIRLET: Bulletin de la Société géologique de France, tom. III.

<sup>222)</sup> LYELL, Ch.: Principles of Geology. Vol. II. - S. 156-157. Lehrbuch der Geologie. 1. Bd. S. 214.

<sup>223)</sup> HUMBOLDT a.a.O. S. 251.

<sup>224)</sup> BUCH, L.v.: POGGENDORF's Annalen der Physik, Bd. XXXVII (1835). - S. 180 f.

<sup>225)</sup> PORZIO, S.: Opera omnia, med., phil. et mathem., in unum collecta.

<sup>226)</sup> HUMBOLDT, A. v.: Kosmos, Bd. IV, S. 568.

Abb. 25.  
Die Entstehung des Monte Nuovo  
im Jahre 1538 nach FALCONI aus  
SUESS (1885).

stand. Unterstützt werden diese Schilderungen von Augenzeugen durch die Originalabbildung, die dem Bericht FALCONIS ursprünglich beigegeben war und die EDUARD SUESS wieder bekannt gemacht hat<sup>227</sup>. Diese Abbildung weist mit den Worten „Termini del Mare de prima“ unter dem Monte Nuovo auf die Stelle des ursprünglichen Meeresstrandes hin und zeigt ein Schiff, das gänzlich auf dem trockenen Land liegt.

Übereinstimmend erklären beide Berichte, dass das plötzliche Zurückweichen des Meeres oder die ruckartige Erhebung des Erdbodens als Folge von Erdbebenstößen zustande gekommen ist und erst danach der Ausbruch des Monte Nuovo stattfand.

Vulkanausbrüche werden daher auch von LYELL ebenso wie von MICHELL vor ihm vielmehr als Folgen und nicht als Ursache der Erdbeben verstanden.

Dass es LYELL letzten Endes in der Diskussion um die Entstehung des Monte Nuovo nicht primär um den Gegensatz von Erhebungskrater oder Aufschüttungskegel ging, sondern um die Bestätigung der Hebungstheorie gegenüber allen anderen Theorien, die mit Hilfe von historischen und physikalischen Überlegungen sich der Annahme einer Emporhebung des Festlandes entziehen wollen, zeigt folgendes Resumée über die beiden vom ihm zitierten Augenzeugenberichten<sup>228, 229</sup>:

„Now, both these accounts, written immediately after the birth of Monte Nuovo, agree in expressly stating that the sea retired, and one mentions that its bottom was upraised. To this elevation we have already seen that Hooke, writing at the close of the seventeenth century, alludes as to a well-known fact. The preposterous theories, therefore, that have been advanced in order to dispense with the elevation of the land, in the face of all this historical and physical evidence, are not entitled to a serious refutation.“

„Nun kommen diese beiden sogleich nach der Entstehung des Monte Nuovo geschriebenen Nachrichten genau in der Bestätigung überein, dass sich das Meer zurückzog, und einer von ihnen erwähnt auch, dass der Boden emporgehoben worden sei. Auch sahen wir, dass Hooke, der am Ende des siebzehnten Jahrhunderts schrieb, dies als eine bekannte Thatsache anführt. Die frühern Theorien aber, die aufgestellt worden sind, um, gegen alle diese historische und physikalische Ueberzeugung, der Annahme einer Emporhe-



**SOTTO IL MONTE NUOVO STA IL CASTELLO ET ALTRI EDIFICI DI TREPERGOLE IL LAGO AVERNO STA DIETRO AL PREDETTO MONTE ET PARTE DEL MONTICELLO DEL PERICOLO E RIMASTA SOTTO LE FALDE DEL MEDESMO**

bung des Landes überhoben zu sein, sind keiner Widerlegung werth.“

Mit der Zitierung von NEWTONS Zeitgenossen Robert HOOKE weist LYELL auf einen vergessenen Vorläufer der Hebungstheorie hin, der bereits die Hebung der Küste bei Neapel, auf der dann der Monte Nuovo ausbrach, als einen Beweis dafür angesehen hat, dass<sup>230</sup>

„... sowohl unter dem Meer als auch auf dem trockenen Land Erdbeben stattfinden.“

„... there had been as many earthquakes in the parts of the earth under the ocean, as in the parts of the dry land.“

Von HOOKES posthum erschienener Abhandlung „A Discourse of Earthquake“ erhält LYELL auch die Anregung zu seiner eigenen aktualistischen Erdbebenstheorie. Er kritisiert zwar HOOKES Vorstellungen von einer früheren „Krisis der Natur“ (former „crisis of nature“), mit der dieser die Ansicht rechtfertigen wollte, dass die Erdbeben schwächer geworden sind, stimmt aber seiner Erklärung zu, dass das Vorkommen von Muscheln auf den höheren Teilen der Vorgebirge der Alpen, Apenninen und Pyrenäen als Effekt von Erdbeben zu betrachten ist<sup>231, 232</sup>:

„These and other appearances, he said, might have been brought about by earthquakes, which have turned plains into mountains, and mountains into plains, seas into land, and land into seas, made rivers where there were none before, and swallowed up others that formerly were.“

<sup>227</sup>) SUESS, E.: Antlitz der Erde II, S. 482.

<sup>228</sup>) LYELL, Ch.: Principles of Geology. – Vol. II, S. 270.

<sup>229</sup>) LYELL, Ch.: Lehrbuch der Geologie. – Bd. 1, S. 397.

<sup>230</sup>) LYELL, Ch.: Principles of Geology. – Vol. I, S. 50.

<sup>231</sup>) HOOKE, R.: Posth. Works, S. 312. LYELL, Ch.: Principles of Geology. – Vol. I, S. 49.

<sup>232</sup>) LYELL, Ch.: Lehrbuch der Geologie. – Bd. 1, S. 29.

„Diese und andere Erscheinungen mögen durch Erdbeben hervorgebracht worden sein, die Ebenen in Gebirge, Gebirge in Ebenen, Seen in Land, Land in Seen verwandelt, Flüsse da hervorgebracht haben, wo vorher keine vorhanden waren, und andere früher vorhandene verschlungen haben.“

Die endlosen Kontroversen, zu denen die Phänomene in der Bucht von Baie Anlass gegeben haben, sind nach LYELL nur aus dem außerordentlichen Widerwillen entstanden, dem Land und nicht dem Meer ein abwechselndes Steigen und Fallen zuzuschreiben. Die Berichte der Augenzeugen und die Ergebnisse der Untersuchungen am Serapistempel dessen Säulen in der Höhe von 9 bis 12 Fuß von Meeresbohrmuscheln durchbohrt waren, zwingen aber dazu, die alten Vorurteile aufzugeben, die in den Felsen das Emblem der Festigkeit und im Meer das Sinnbild der Unbeständigkeit gesehen hatten.

### 3.7. LYELLS aktualistische Erdbeben­theorie

Die Theorie über die Ursachen der Erdbeben, die LYELL im sechszwanzigsten Kapitel des ersten Bandes seiner „Principles of Geology“ ausgearbeitet und in späteren Auflagen immer wieder ergänzt hat, stellt in mehrfacher Hinsicht einen Wendepunkt in der Erdbebenforschung dar:

Einerseits liefert sie die Grundlage für den Aktualismus, der auch für die historischen Erdbeben ausschließlich die noch gegenwärtig wirkenden Ursachen („causes now in operation“) annimmt, und andererseits ist LYELL der erste, der auf explizite Art und Weise Quellenkritik übt. Er unterscheidet nämlich zwischen glaubwürdigen und weniger glaubwürdigen Berichten und stellt bereits ausdrücklich die negative Einwirkung falscher Theorien auf die Erfassung des Tatsachenmaterials fest<sup>233, 234</sup>:

„A false theory, it is well-known, may render us blind to facts, which are opposed to our prepossessions, or may conceal from us their import when we behold them.“

„Es ist eine bekannte Sache, daß eine falsche Theorie uns blind gegen Thatsachen macht, die unseren vorgefaßten Meinungen entgegengetreten oder uns ihre wahre Wichtigkeit verbergen.“

Glaubwürdig sind für ihn nur unmittelbare Augenzeugenberichte, deren Beobachtungen von wissenschaftlichem Geist angetrieben wurden. Deswegen haben für ihn die alten Nachrichten von den Erdbeben der vergangenen Jahrhunderte, die sich hauptsächlich auf die Verluste an Menschenleben und Schädigungen menschlichen Eigentums bezogen, keinen besonderen Wert<sup>235, 236</sup>:

„Before that time, the narrative of the historian was almost exclusively confined to the number of human beings who perished, the number of cities laid in ruins, the value of property destroyed, or certain atmospheric appearances which dazzled or terrified the observers. The creation of a new lake, the engulfing of a city, or the raising of a new island, are sometimes, it is true, adverted to, as being too obvious, or of too much geographical interest, to be passed over in silence. But no researches were made expressly with a view of ascertaining the amount of depression or elevation of the ground, or any particular alterations in the relative position of sea and land; and very little distinction was made between the raising of soil by volcanic ejections, and the upheaving of it by forces acting from below. The same remark applies to a very large proportion of modern

accounts; and how much reason we have to regret this deficiency of information appears from this, that, in every instance where a spirit of scientific inquiry has animated the eye-witnesses of these events, facts calculated to throw light on former modifications of the earth's structure are recorded.“

„Früher waren die Erzählungen der Geschichtschreiber lediglich auf die Anzahl der bei solchen Ereignissen umgekommenen Menschen, auf die der ruinierten Städte, den Werth des zerstörten Eigenthums und auf gewisse atmosphärische Erscheinungen beschränkt, welche die Beobachter blendeten und erschreckten. Die Entstehung eines neuen Sees, das Verschlingen einer Stadt, oder die Emporhebung einer neuen Insel sind freilich auch zuweilen bemerkt worden, weil sie zu augenscheinlich waren, oder zu viel geographisches Interesse hatten, um mit Stillschweigen übergangen werden zu können. Allein es wurden gar keine Beobachtungen in der Absicht gemacht, um den Betrag der Senkungen oder Erhebungen des Bodens, oder der localen Veränderungen in der relativen Lage des Meeres und des Landes zu bestimmen; es wurde sehr wenig Unterschied zwischen der Erhöhung des Bodens durch vulkanische Auswürfe und der Emporhebung des Bodens durch von unten wirkende Kräfte gemacht. Dieselbe Bemerkung läßt sich in Beziehung auf einen großen Theil der neuen Nachrichten machen, und wie sehr wir auch Gründe haben, es zu beklagen daß uns diese Nachrichten fehlen, da sie viel Licht über die frühere Structur der Erde verbreiten würden, so ist es doch ganz natürlich, da der wissenschaftliche Geist, welcher die Augenzeugen solcher Ereignisse zu den Beobachtungen antreiben muß, damals noch selten war.“

Auch die üblichen Erzählungen über atmosphärische und elektrische Begleiterscheinungen der Erdbeben, wie Windstöße, Wolkenbrüche, das Austreten von Gasen und Schwefeldämpfen aus dem Erdboden oder das unterirdische Getöse sind nach LYELL von geringem Wert. Es wäre für ihn ein langweiliger und unnützer Versuch, alle die dunklen und zweifelhaften Erzählungen über ähnliche Ereignisse der früheren Perioden zu untersuchen<sup>237</sup>.

Erst die Berichte aus dem 18. und 19. Jahrhundert, von denen die wenigsten zum Teil von wissenschaftlich gebildeten Beobachtern geliefert wurden, hält LYELL für untersuchenswert.

#### 3.7.1. Das Erdbeben von Kalabrien (1783–1786)

Von den zahlreichen Erdbeben, die sich seit dem großen Lissaboner Erdbeben ereigneten, ist für LYELL eines von besonderer Wichtigkeit. Es ist das Erdbeben von Kalabrien, das im Februar 1783 einsetzte und fast vier Jahre bis Ende 1786 andauerte<sup>238, 239</sup>:

„The importance of the earthquake in question arises from the circumstance, that Calabria is the only spot hitherto visited, both during and after the convulsions, by men possessing sufficient leisure, zeal, and scientific information, to enable them to collect and describe with accuracy the physical facts which throw light on geological questions.“

„Die Wichtigkeit dieses Erdbebens rührt von dem Umstand her, daß Kalabrien bis jetzt die einzige vor und nach den Erschütterungen von Männern untersuchte Gegend ist, die Muße, Eifer und wissenschaftliche Kenntnisse genug hatten, um die physischen Ereignisse, die über geologische Fragen Licht verbreiten, beobachten und beschreiben zu können.“

<sup>233</sup>) LYELL, Ch.: Principles of Geology. – Vol. II, S. 272.

<sup>234</sup>) LYELL, Ch.: Lehrbuch der Geologie. – Bd. 1, S. 398.

<sup>235</sup>) LYELL, Ch.: Principles of Geology. – Vol. II, S. 173.

<sup>236</sup>) LYELL, Ch.: Lehrbuch der Geologie. – Bd. 1, S. 347 f.

<sup>237</sup>) LYELL, Ch.: Lehrbuch der Geologie. – Bd. 1, S. 387.

<sup>238</sup>) LYELL, Ch.: Principles of Geology. – Vol. II, S. 198.

<sup>239</sup>) LYELL, Ch.: Lehrbuch der Geologie. – Bd. 1, S. 361.

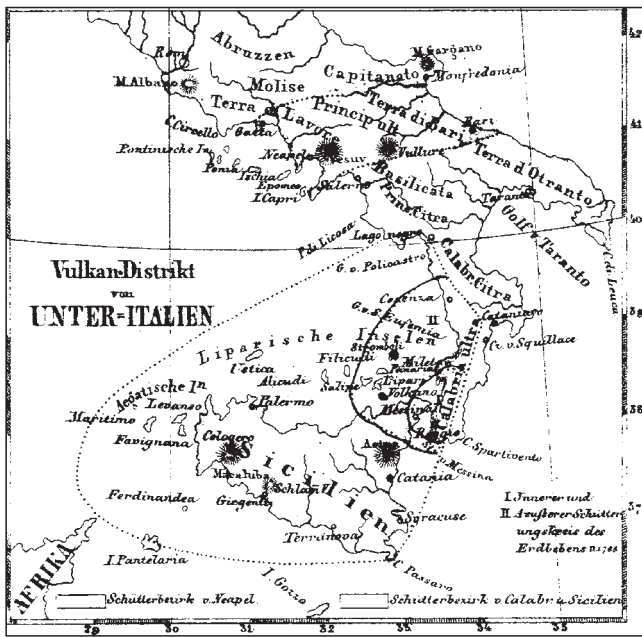


Abb. 26.  
Karte von Kalabrien aus HUMBOLDT-BROMME (1861).

Im Einzelnen beruft sich LYELL auf folgende Berichte:

- VIVENZIO: storia de' Tremuoti della Calabria del 1783. – Napoli 1783.
- Fr. A. GRIMALDI: Descriz. de' Tremuoti Accad. nelle Calabria nelle 1783. – Napoli 1784.
- Sir W. HAMILTON: Philosophical Transactions LXIII, 1, 169.

Diese drei Darstellungen des Erdbebens von Kalabrien sind alle direkte Augenzeugenberichte von wissenschaftlich gebildeten Leuten. VIVENZIO war Leibarzt des Königs von Neapel. Er hielt sich während der Zeit des Erdbebens in dieser Gegend auf und sandte dem Hof regelmäßig seine Berichte zu, die von LYELL mit der Bezeichnung „sorgfältig und deutlich“ bewertet werden. GRIMALDI war damals Kriegssekretär und wurde auf Befehl des Königs in die vom Erdbeben betroffenen Provinzen geschickt. Seine detaillierten Beschreibungen über die bleibenden Veränderungen der Erdoberfläche waren für LYELL besonders wertvoll, denn sie enthielten bereits genaue quantitative Angaben. GRIMALDI maß die Länge, Breite und Tiefe der Erdspalten, die durch das Erdbeben entstanden waren, und bestimmte in manchen Provinzen ihre Anzahl. Sir William HAMILTON war zu dieser Zeit englischer Gesandter zu Neapel. Er besuchte nicht ohne persönliche Gefahr noch während des Erdbebens die betroffenen Gegenden Kalabriens und versuchte auch jene Augenzeugenberichte, die wunderbar und unglaublich erschienen, auf vernünftige Weise zu erklären.

Der wichtigste Bericht jedoch stammt von der königlichen Akademie zu Neapel<sup>240)</sup>, die eine Deputation ihrer eigenen Mitglieder nach Kalabrien sendete, ehe die Erdstöße noch gänzlich aufgehört hatten. Begleitet wurde diese Deputation durch Künstler, die den Auftrag hatten, die geologischen Veränderungen jener Gegend und den Zustand der zerstörten Städte und Gebäude durch wirklichkeitsgetreue Abbildungen darzustellen. Diese Abbildungen bilden zusammen mit den auf exakten Messungen der Bodenveränderungen beruhenden quantitativen Angaben auch der anderen Berichte die Grundlage für eine ins Detail gehende Rekonstruktion des Erdbebens von Kalabrien, wie sie LYELL durchgeführt hatte.

<sup>240)</sup> Istoria de' Fenomeni del Tremoto, nell'an. 1783, posta in luce della Real Acad. di Napoli. – Napoli 1784.

Zunächst einmal stellt LYELL nach den ihm vorliegenden Berichten die Größe des Erschütterungsgebietes fest. Es dehnte sich über das ganze Calabria Ultra, über den südöstlichen Teil des Calabria Citra und durch das Meer bis nach Messina aus und umfasste damit den ganzen Bezirk zwischen dem 38. und 39. Breitengrad. Die Erdstöße waren aber auch noch über einen großen Teil Siziliens und bis nach Neapel zu bemerken.

Als Zentrum des Bebens wurde die Stadt Oppido angenommen. In einem Kreis mit einem Radius von 22 Meilen waren alle Städte und Dörfer zerstört und es zeigten sich dort die größten Veränderungen der Erdoberfläche. Erweitert man diesen Kreis zu einem Radius von 72 Meilen, dann ließen sich auch in diesem Gebiet noch bleibende Veränderungen des Erdbodens feststellen.

Der erste Stoß ereignete sich am 5. Februar 1783 und stürzte in zwei Minuten den größten Teil der Häuser in allen Städten und Dörfern vom westlichen Abhang des Apennin in Calabria Ultra bis nach Messina nieder. Es erfolgte dann ein weiterer Stoß von gleicher Heftigkeit. Übereinstimmend wurde berichtet, dass sich diese Stöße mit einer wellenartigen Bewegung von Westen nach Osten fortpflanzten.

Bei der Feststellung der bleibenden Bodenveränderungen interessierten LYELL aufgrund der Diskussion um die Hebungstheorie vor allem die Niveauperänderungen. In keinem der Berichte werden diese jedoch für bedeutend erklärt. Außerdem waren solche relativen Niveauperänderungen wegen der mangelnden topographischen Kenntnisse kaum festzustellen. Selbst an den Meeresküsten war es schwierig zu bestimmen, ob die Ausdehnung des Strandes zu- oder abgenommen habe, da ja Ebbe und Flut insbesondere bei Stürmen und Springfluten ganz unterschiedliche Markierungen des Meeres durch Sand und Geschiebe hervorrufen. Lediglich in den Meereshäfen waren genaue Angaben über Niveauperänderungen zu erwarten. GRIMALDI, HAMILTON und andere Berichte gaben an, dass im Hafen von Messina der Quai ungefähr um 14 Zoll gesunken war.

Partielle Hebungen und Senkungen im Innern des Landes wurden von den Akademikern aus Neapel dadurch festgestellt, dass der Boden zu beiden Seiten der entstandenen Spalten manchmal bedeutende Niveauunterschiede aufwies. Eine auch durch Abbildung genau festgehaltene Spalte in der Nähe von Polistena zeigt einen deutlichen Niveauunterschied zwischen den beiden korrespondierenden Seiten, die entweder durch Hebung der einen oder Senkung der anderen entstanden ist (Abb. 27).

In der Stadt Terranuova wurden einige Häuser über das gewöhnliche Niveau emporgehoben und andere benach-



Abb. 27.  
Tiefe Spalte bei Polistena, entstanden bei dem Erdbeben von 1783. Nach LYELL (1834).

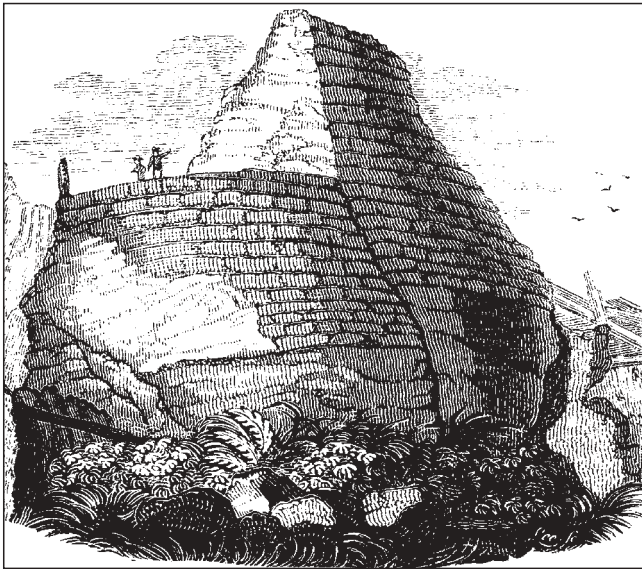


Abb. 28.  
Spalte oder „Verwerfung“ in einem Turm in Terranuova in Kalabrien, entstanden durch das Erdbeben von 1783 (nach LYELL, 1834).

barte waren niedergesunken. Ein großer runder Turm aus festem Mauerwerk war sogar durch einen senkrechten Spalt geteilt und von einer Seite emporgehoben worden (Abb. 28).

In den Berichten sowohl der Akademiker als auch von Sir W. HAMILTON war jedoch auch von vielen Spalten die Rede, die sich während des Bebens öffneten und wieder schlossen. Für LYELL scheint es klar zu sein, dass ein großer Teil von den Zerreißungen und Spaltungen des Bodens die Wirkungen einer heftigen Bewegung von unten nach aufwärts waren. Und aus einer Reihe von Fällen, von denen berichtet wurde, scheint für LYELL hervorzugehen, dass die Erde emporgehoben und dann wieder niedergefallen war. In den dadurch entstandenen Spalten verschwanden ganze Häuser, Bäume, Tiere und Menschen. Im Mittelpunkt des Erdbebens in der Nähe der Stadt Oppido und in dem benachbarten Bezirk von Canamaria wurden mehrere Wohnhäuser, Pachthöfe und Ölmagazine von großen Spalten verschlungen, die sich sofort wieder schlossen, so dass keine Spur von ihnen mehr sichtbar war. Ähnliche Fälle ereigneten sich in Terranuova, St. Christina und Sinopoli. Die neapolitanischen Akademiker bestätigten diese Berichte dadurch, dass spätere Nachgrabungen auf der

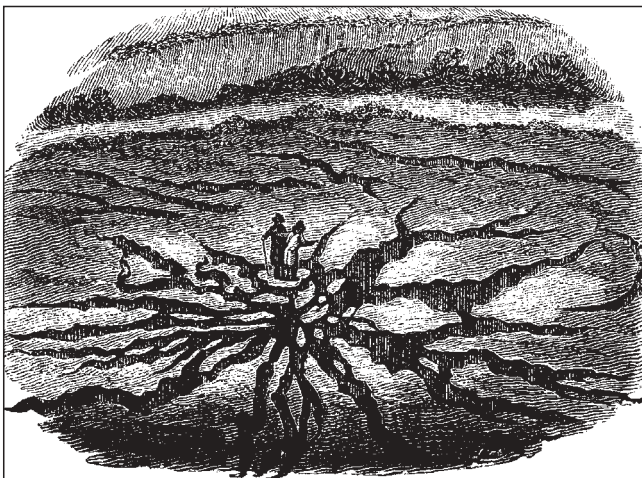


Abb. 29.  
Spalten in der Nähe von Jerocarne, verursacht durch das Erdbeben von 1783 (nach LYELL, 1834).

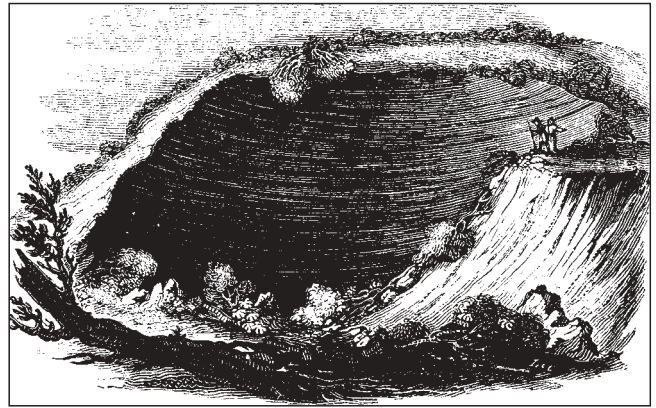


Abb. 30.  
Schlund, der bei dem Erdbeben von 1783 bei Oppido in Kalabrien entstanden ist (nach LYELL, 1834).

Suche nach wertvollen Gegenständen gezeigt haben, dass die Häuser mit ihrem Inhalt zu einer einzigen festen Masse zusammengequetscht waren.

Auch Sir W. HAMILTON berichtete von tiefen Spalten in der Nähe von Mileto, von denen nicht eine weiter als einen Fuß war, die sich aber während des Erdbebens so weit öffnete, dass sie einen Ochsen und hundert Ziegen verschlangen. Auch die neapolitanischen Akademiker fanden auf ihrer Rückreise eine Reihe von weiten Spalten, die sie vorher untersucht hatten, nahezu wieder geschlossen. Andere Spalten wiederum, die sich wie bei einer zerstoßenen Glasscheibe nach allen Richtungen verbreiteten und nach den Stößen offen blieben, lieferten nach LYELL einen Hinweis für die beständige Hebung dieser Gegend (vgl. Abb. 29).

Eine der größten Bodenveränderungen ereignete sich im Mittelpunkt des Bebens in der Nähe von Oppido. Dort öffnete sich ein großer Abgrund, in den eine große Masse von Erde, die mit Bäumen bewachsen war, und ein Teil eines Weingartens stürzte. Nach dem Erdbeben blieb ein Schlund in der Gestalt eines Amphitheaters von 500 Fuß Länge und 200 Fuß Tiefe zurück (Abb. 30).

Ähnlich große Abgründe von 300 und 750 Quadratfuß Oberfläche öffneten sich während des Erdbebens in der Provinz Fasolano. Nach den genauen Vermessungen von GRIMALDI war die längste Spalte fast eine englische Meile lang. Die größte vermessene Tiefe betrug 225 Fuß. Manche Spalten waren über 100 Fuß breit. Und mehrere von diesen Schlünden hatten die charakteristische Form eines Halbmondes, wie jener offen gebliebene Schlund in der Nähe von Soriano, der in dem Bericht der neapolitanischen Akademie abgebildet worden ist (Abb. 31).



Abb. 31.  
Schlund an dem Hügel St. Angelo bei Soriano in Kalabrien, verursacht durch das Erdbeben von 1783 (nach LYELL, 1834).





Abb. 32.  
Veränderungen der Erdoberfläche zu Fra Ramondo bei Soriano in Kalabrien  
(nach LYELL, 1834).

Von allen Bodenveränderungen waren jedoch die Erdstöße von den Hängen tiefer Schluchten, die von dem Erdbeben ausgelöst wurden, die auffälligsten und größten. So wurden nach dem Bericht von HAMILTON ungeheure Massen von 200 Fuß Höhe und 100 Fuß Breite durch das Beben am 5. Februar in Bewegung gesetzt und in der Schlucht von Terranuova fast vier Meilen weiter transportiert.

Ein kleines Tal in der Nähe des Ortes Soriano, das von einem kleinen Fluss bewässert wurde, wurde von unzähligen Spalten zerrissen, die das Wasser des Flusses aufstiegen. Dadurch verwandelte sich die darunterliegende Tonschicht zu einem Brei und die benachbarten Hügel rutschten in das Tal ab. Manche Olivenbäume wurden entwurzelt. Andere blieben auf den niedergesunkenen Massen stehen und neigten sich in verschiedenen Winkeln, wie sie auf obiger Abbildung möglichst wirklichkeitsgetreu dargestellt worden sind (Abb. 32).

In anderen Tälern wurden nicht nur Oliven- und Obstgärten, sondern ganze Häuser und Pachthöfe eine ganze Meile weitertransportiert, wobei mehrere von den Bewohnern dieser Häuser mit dem Leben davorkamen. Nach dem Bericht von VIVENZIO wurden durch herabstürzende Massen Flüsse aufgestaut, so dass sich Seen bildeten, von denen einer sogar zwei Meilen lang und eine Meile breit war. Auf diese Weise entstanden ungefähr 50 Seen, die kleinen unbedeutenden Tümpel und Sümpfe nicht ein-

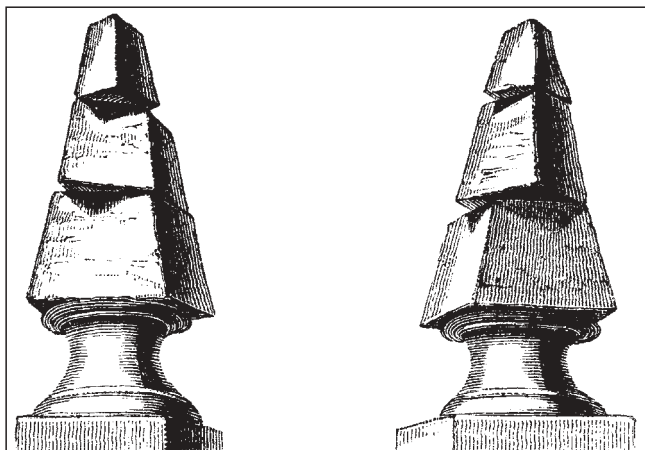


Abb. 33.  
Verdrehung von zwei Obelisken an der Fassade des Klosters St. Bruno  
(nach LYELL, 1834).

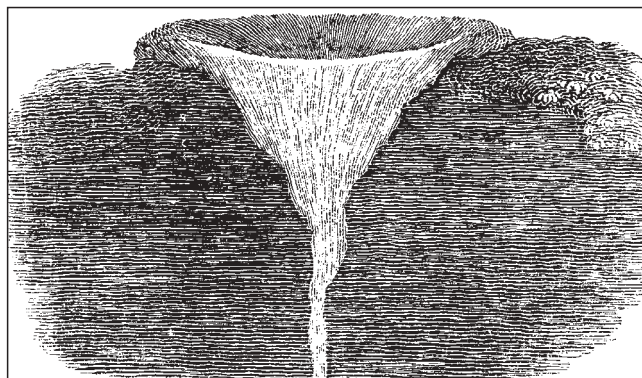


Abb. 34.  
Durchschnitt einer der runden Vertiefungen in der Ebene von Rosarno.  
Nach LYELL (1834).

gerechnet, die sich überall im Lande gebildet hatten. Aus manchen Spalten wurden kalkige Schlammassen ausgeworfen, die sich wie Lavaströme talabwärts bewegten und dabei ganze Ziegenherden überschwemmten, Olivenbäume ausrissen und Häuser bis zu den Spitzen der Dächer eindeckten. Weiterhin wurden in den sumpfigen Gebieten eine ungeheure Zahl von Sandkegeln aufgeworfen, die nach HAMILTONS Meinung dadurch entstanden, dass die ersten Stöße den festen Erdboden der Ebene emporhoben und als der Boden in seine frühere Lage zurücksank, wurde das unten stehengebliebene Wasser mit einer großen Menge Sand stoßweise durch die Spalten emporgeworfen.

GRIMALDIS Beobachtung, dass die warmen Quellen von St. Euphemia in der Terra di Amato, die zuerst während eines früheren Erdbebens im Jahre 1638 entstanden sind, im Jahre 1783 verstärkt zu fließen begannen und auch heißer wurden, scheint nach LYELLS Meinung darauf hinzuweisen, dass in dieser Gegend, in der keine vulkanischen Gebirgsarten in der Nähe sind, trotzdem eine Verbindung zur Wärme des Erdinnern vorhanden ist.

Neben diesen Schilderungen der bleibenden Veränderungen versucht auch LYELL nach den Angaben der neapolitanischen Akademiker auch die Wirkungsweise des kalabrischen Erdbebens zu rekonstruieren.

Besonderes Interesse erweckten bei ihm, der, wie noch später gezeigt werden soll, ein Anhänger der Dampfkeseltheorie war, die Berichte von den senkrecht nach oben gerichteten Erdstößen. Die Heftigkeit dieser Bewegung wurde von den Akademikern durch ein Phänomen bewiesen, das sie „sbalzo“ nannten. Es handelte sich dabei um das „in die Luft springen“ von Massen, die nur wenig fest an der Oberfläche der Erde sitzen. So wurden in einigen Städten in Kalabrien auf den Straßen die Pflastersteine soweit in die Höhe geschleudert, dass sie eine Umdrehung um etwas mehr als ein Viertel in der Luft machten und mit der unteren Seite nach oben liegen blieben. Über senkrechte Stöße von noch größerer und geradezu unglaubwürdiger Heftigkeit wurde auch aus Anlass des großen südamerikanischen Bebens in Riobamba von HUMBOLDT berichtet, der sich auf Erzählungen von Augenzeugen beruft, dass Leichen aus ihren Gräbern gerissen und auf einen mehrere hundert Fuß hohen Hügel in der Nähe geworfen wurden.

Das Erdbeben von Kalabrien bot auch den ersten Anlass zur Annahme einer rotatorischen Bewegung des Erdbodens, die in den Lehrbüchern des 19. Jahrhunderts immer wieder auftauchte, sich aber später nach heftigen Diskussionen als falsch erwiesen hatte<sup>241)</sup>. Das sorgfältig mit

<sup>241)</sup> Vgl. SIEBERG, A.: Handbuch der Erdbebenkunde. – S. 6 f., Braunschweig 1904.

einer Abbildung dokumentierte Beispiel einer solchen rätselhaften Bewegung, die allerdings nie direkt beobachtet worden ist, sondern immer nur nachträglich an den Verdrehungen von Gebäudeteilen festgestellt worden ist, stammt aus der kleinen Stadt Steffano del Bosco.

Bei zwei Obelisk, die an den Enden einer Fassade des Klosters St. Bruno standen, waren nach dem Erdbeben zwar die Piedestale in ihrer ursprünglichen Lage geblieben, die daraufliegenden Steine waren jedoch zum Teil herumgedreht, ohne dass sie herabgefallen waren. Daraus schloss man, dass das Gebäude einen horizontal und wirbelnden (verticoso) Stoß erlitten habe (Abb. 33).

Ein weiteres Phänomen war die Bildung von kreisförmigen Vertiefungen. In dem Bericht der Akademie wurden ihre durchschnittliche Größe mit Wagenrädern verglichen. Wenn man diese Vertiefungen aufgrub, fand man sie von trichterförmiger Gestalt mit einer Röhre in der Mitte, aus welcher das Wasser hervorgekommen war. Gewöhnlich waren jedoch diese kreisförmigen Vertiefungen nach dem Erdbeben wieder ausgetrocknet und mit feuchtem, losem Sand ausgefüllt (Abb. 34).

Die Ähnlichkeit dieser kreisrunden Vertiefungen mit den ebenfalls kreisrunden Geysirbecken in Island, die ebenfalls in der Mitte in einem Geysirrohr enden, bestärkte LYELL in seiner Dampfkesseltheorie der Erdbeben. Verstärkt wurde diese Vorstellung noch von den Berichten über das Aufkochen des Meeres bei Messina, aus dem man auf eine starke Gasentwicklung am Meeresboden schloss.

LYELL, der 45 Jahre nach diesem Erdbeben Süditalien und Sizilien bereiste und seine geologischen Untersuchungen betrieb, stellte abschließend zu diesen Berichten fest, dass trotz der großen Verwüstungen die fließenden Gewässer immer die Tendenz hatten, fortwährend in derselben verbundenen Reihe von Tälern zu bleiben. Die fresende und fortschaffende Kraft des fließenden Wassers beseitigte im Verlaufe der Jahre die zwischen den wiederholten Erdbeben liegenden Bodenveränderungen und Verwerfungen, wenn man die gehörigen zeitlichen Zwischenräume annimmt. Zwischen den stärkeren Erdbeben liegen in Kalabrien nach Schätzung von LYELL 20, 50 oder 100 Jahre. Außerdem sind die größten Zerstörungen bei diesen Erdbeben, auch wenn sie die gleichen geographischen Grenzen haben, nicht immer an den gleichen Orten, wie bereits GRIMALDI durch einen sorgfältigen Vergleich der beiden Erdbeben in Kalabrien vom Jahre 1638 und 1783 feststellte. Deshalb bleibt den fließenden Gewässern mehr Zeit, die durch das Erdbeben hervorgerufenen Unebenheiten des Erdbodens wieder zu beseitigen und einzuebnen.

Da LYELL sein gesamtes Lehrbuch über die Prinzipien der Geologie auf dem Aktualitätsprinzip aufbaut, mit dem er alle früheren Veränderungen der Erdoberfläche durch die noch jetzt wirkenden Ursachen zu erklären versucht, genügt ihm eigentlich ein einziges aber sorgfältig dokumentiertes großes Erdbeben, wie das von Kalabrien im Jahre 1783, um daraus seine Theorie von den Ursachen der Erdbeben abzuleiten.

Von den Erdbeben vor und nach dem kalabrischen Erdbeben sind für seine Theorie nur noch zwei Erdbeben von ähnlicher Wichtigkeit. Es ist einerseits das Erdbeben von Lissabon, das er vor allem durch die Beschreibung und theoretische Erklärung von MICHELL kennt, der für ihn eine ähnliche Bedeutung wie KANT für HUMBOLDT hat, und andererseits das Erdbeben im Indusdelta vom Jahre 1812. Beide Erdbeben unterstützen seine Ansicht von den ständig aktuell wirksamen Hebungen und Senkungen des Festlandes.

Das Lissaboner Erdbeben war für LYELL vor allem wegen seiner großen Verbreitung bemerkenswert. Er nimmt an, dass Erdstöße nicht nur in ganz Portugal und ganz Spanien und im nördlichen Afrika sowie in ganz Europa zu spüren waren, sondern sieht auch jene Erdstöße, die am sel-

ben Tag (1. Nov. 1755) in Westindien wahrgenommen wurden, in einem Zusammenhang mit dem Lissaboner Beben. Ähnlich wie KANT auf die Wasserbewegung Schweizer Seen und anderer in Europa hingewiesen hat, führt auch LYELL die Bewegungen von Seen, Flüssen und Quellen in Großbritannien auf das Lissaboner Beben zurück<sup>242, 243</sup>:

*„At Loch Lomond, in Scotland, for example, the water, without the least apparent cause, rose against its banks, and then subsided below its usual level. The greatest perpendicular height of this swell was two feet four inches. It is said that the movement of this earthquake was undulatory, and that it travelled at the rate of twenty miles a minute, its velocity being calculated by the intervals between the time when the first shock was felt at Lisbon, and its time of occurrence at other distant places.“*

*„Zu Loch Lomond in Schottland z.B. stieg das Wasser, ohne die geringste anscheinende Ursache, gegen die Ufer und fiel dann unter das gewöhnliche Niveau. Die größte senkrechte Höhe dieses Aufwallens betrug 2 Fuß und 4 Zoll. Man sagt, daß die Bewegung dieses Erdbebens wellenförmig gewesen sei und daß es sich in dem Verhältnis von 20 engl. Meilen in einer Minute bewegt habe, indem seine Geschwindigkeit durch den Unterschied der Zeit, in welchem die ersten Stöße in Lissabon und an anderen entferntesten Orten beobachtet, berechnet worden sei.“*

Vor allem war es aber das Niedersinken des Kais von Lissabon, das er als unleugbaren Beweis für die Senkungen des Festlandes ansah. Das große Erdbeben von Cutch in der Nähe des Indusdeltas am 16. Juni 1812, das auch von HUMBOLDT erwähnt wird, war nicht nur mit einer bedeutenden Senkung verbunden, die bewirkte, dass ein Teil der Flussschiffahrt im Indusdelta, die seit Jahrhunderten nicht mehr möglich war, wiederhergestellt wurde. Sondern es ereignete sich auch während des heftigen, bis zum 20. Juni andauernden Erdbebens eine großartige Erhebung, die sich an die 50 Meilen von Osten nach Westen parallel zur Linie der Senkung erstreckte<sup>244, 245</sup>:

*„Immediately after the shock, the inhabitants of Sindree saw, at the distance of five miles and a half from their village, a long elevated mound, where previously there had been a low and perfectly level plain. To this uplifted tract they gave the name of ‘Ullah Bund’, or the ‘Mound of God’, to distinguish it from several artificial dams previously thrown across the eastern arm of the Indus.“*

*„Unmittelbar nach dem Erdstöße sahen die Einwohner von Sindree in einer Entfernung von 5 Meilen von ihrem Dorfe einen langen erhabenen Wall, wo sie vorher nur eine niedrige und vollkommen gleiche Ebene gesehen hatten. Diesem emporgehobenen Landstrich gaben sie den Namen ‘Ullah-Bund’ oder ‘der Damm Gottes’, um ihn von einem künstlichen, vorher durch einen Arm des Indus gezogenen Damm zu unterscheiden.“*

Die genauen Angaben über diese Hebungen und Senkungen im Indusdelta erhielt LYELL von Captain A. BURNES, der diese Gegend in den Jahren 1826 und 1828 untersuchte und in einer Karte die Erhebung des Ullah-Bund einzeichnete.

Von ihm erfuhr LYELL auch mündlich noch weitere Details. Dass solche durch Erdbeben hervorgerufene Niveauveränderungen auch in früheren Zeiten im Indusdelta stattgefunden haben, schließt LYELL aus einer Sage von einem großen Erdbeben, das ungefähr 300 Jahre zuvor in dem später „Runn“ genannten Bezirk eine große Fläche vom Meeresboden hochhob und in trockenes Land ver-

<sup>242</sup> LYELL, Ch.: Principles of Geology, Vol. II, S. 241.

<sup>243</sup> LYELL, Ch.: Lehrbuch der Geologie, Bd. 1, S. 381.

<sup>244</sup> LYELL, Ch.: Principles of Geology, Vol. II, S. 185.

<sup>245</sup> LYELL, Ch.: Lehrbuch der Geologie, Bd. 1, S. 355.

Abb. 35.  
Karte von Cutch in der Nähe des Indusdelta von Capt. BURNES  
nach LYELL (1834).

wandelte, so dass eine Menge von Häfen trocken gelegt, Schiffe zerstört und verschlungen wurden. Als Bestätigung dieser Überlieferung sieht LYELL eine Beobachtung an, die laut BURNES' Bericht während des Erdbebens von 1812 gemacht wurden, dass nämlich in den Massen von schwarzem schlammigem Wasser, die aus den Spalten in jener Gegend hervorgekommen sind, viele alte Eisenstücke und Schiffsnägel emporgeworfen wurden, die von den früher beim Erdbeben verschlungenen Schiffen stammten.

### 3.7.2. Die Dampfkesseltheorie der Erdbeben

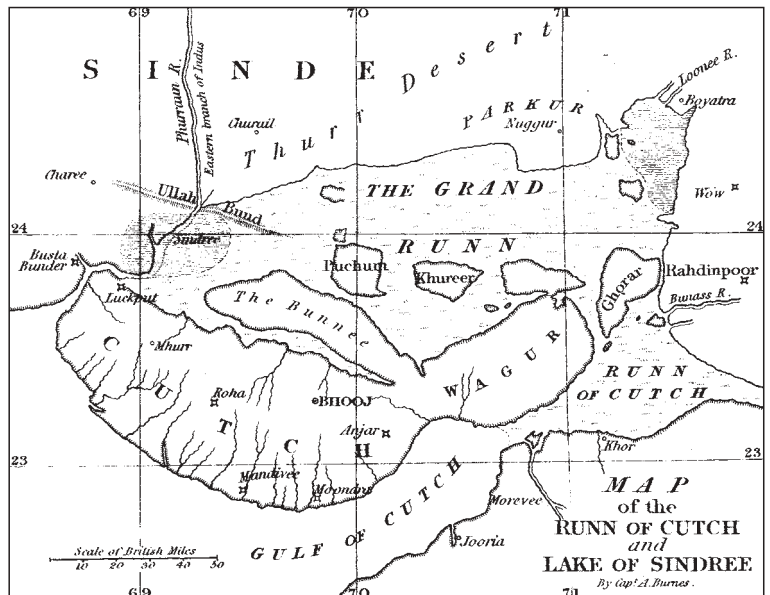
LYELL beginnt die Darstellung seiner Erdbeben- theorie mit einem strikten Bekenntnis zum Aktualitätsprinzip, das die Grundlage seiner gesamten Geologie bildet. Das Aktualitätsprinzip ist jedoch viel radikaler als die gegenwärtige Vorstellung von Aktualismus, der sich nur auf die historisch erfassbaren Erdbeben bezieht, die während der Geschichte der Menschheit aufgetreten sind. LYELL nimmt dagegen einen absolut uniformistischen Standpunkt ein, der mit andersartigen früheren Entwicklungszuständen der Erde vollkommen unvereinbar ist. Deshalb erklärt er nicht nur alle Spekulationen über einen gasförmigen oder feuerflüssigen Urzustand der Erde für völlig wertlos, sondern hält auch die Hypothese von einem derzeit vorhandenem feuerflüssigen Erdzustand für unnötig<sup>246, 247</sup>.

„To suppose the entire globe to be in a state of igneous fusion, with the exception of a solid shell, not more than from thirty to one hundred miles thick, and to imagine that the central heat of this fluid spheroid exceeds by more than two hundred times that of liquid lava, is to introduce a force altogether disproportionate to the effects which it is required to explain.“

„Anzunehmen, daß der ganze Erdkörper in einem Zustande der feurigen Flüssigkeit sei, nur mit Ausnahme einer festen Rinde, die nicht stärker als 30 - 100 engl. Meilen ist, und sich zu denken, daß die Centralwärme des flüssigen Erdkörpers die Temperatur der flüssigen Lava um mehr als das Zweihundertfache übersteigt, heißt eine Kraft einführen, die in gar keinem Verhältnis zu den zu erläuternden Wirkungen steht.“

Darüber hinaus ist nach LYELLS Meinung nicht einzusehen, warum ein derartiger Zustand beim ständigen Ausgleich der Wärme zwischen Erdinnern und Erdoberfläche lange anhalten sollte. Außerdem sind für ihn andere Erklärungen, die sich auf die Existenz von Feuerherden und Lavaseen in den oberen Regionen der Erde beziehen, ausreichend, um die Gewalt sowohl der Erdbeben als auch der Vulkanausbrüche zu erklären.

LYELL versucht auch seine Vorstellungen von der Überflüssigkeit der Spekulationen über das Innere der Erde durch eine anschauliche Darstellung (Abb. 36) des Verhältnisses des Festlandes und der Ozeane gegenüber dem Erdhalbmesser zu demonstrieren<sup>248, 249</sup>:



„If all the land were about as high as the Himalaya mountains, and the ocean everywhere as deep as the Pacific, the whole of both might be contained within a space expressed by the thickness of the line a b; and masses of nearly equal volume might be placed in the space marked by the line c d, in the interior. Seas of lava, therefore, of the size of the Mediterranean, or even of the Atlantic, would be as nothing if distributed through such an outer shell of the globe as is represented by the shaded portion of the figure a b c d. If throughout that space we imagine electro-chemical causes to be continually in operation, even of very feeble power, they might give rise to heat which, if accumulated at certain points, might melt or render red-hot entire mountains, or sustain the temperature of stufas and hot springs for ages.“

„Wäre alles Land von fast gleicher Höhe mit den Himalya-Gebirgen, und der Ocean überall so tief als das Stille=Meer, so würde beides in dem Raum enthalten sein, der durch die Stärke der Linie a b ausgedrückt wird; und Massen von fast gleichem Volumen können in dem durch die Linie c d bezeichneten Raum im Innern Platz finden. Lavenmeere von der Größe des mittelländischen und selbst des atlantischen würden wie nichts sein, wenn sie durch solch eine äußere Rinde, wie sie durch den schraffirten Theil der Fig. a b c d dargestellt worden, vertheilt wären. Denken wird uns nun, daß durch jenen Raum stets elektrochemische Operationen in Wirksamkeit sind, selbst nur von schwacher Kraft, so konnten sie Veranlassung zur Hitzentwicklung geben, die, wenn sie an gewissen Punkten angehäuft wurde, ganze Gebirge schmelzen, oder rothglühend machen, auch die Temperatur der Stufas und warmen Quellen Jahrhunderte lang erhalten.“

Diese Darstellung zeigt deutlich den Unterschied zwischen LYELLS auf HUTTON, PLAYFAIR und MICHELL gestützten Vorstellungen einer einheitlichen Ursache von Vulkanismus und Erdbeben und den Ideen vom allgemeinen Vulkanismus Alexander VON HUMBOLDTS. Wenn LYELL fast mit den gleichen Worten wie HUMBOLDT davon spricht, dass die Erdbeben den Beweis liefern, dass unterirdische Veränderungen in großen Tiefen unter der Erdoberfläche stattfinden, dann meint er lediglich Tiefen bis zu 200 Meilen, während HUMBOLDT seine Spekulationen bis zum feuerflüssigen Erdkern ausdehnt und überdies die KANT-LAPLACEsche Hypothese von der Entstehung des Sonnensystems vertritt, in der der feuerflüssige Urzustand der Erde angenommen wird.

<sup>246</sup>) LYELL, Ch.: Principles of Geology, Vol. II, S. 296.  
<sup>247</sup>) LYELL, Ch.: Lehrbuch der Geologie, Bd. 2, S. 235.  
<sup>248</sup>) LYELL, Ch.: Principles of Geology, Vol. II, S. 296.  
<sup>249</sup>) LYELL, Ch.: Lehrbuch der Geologie, Bd. 2, S. 298.

LYELL dagegen muss sich aufgrund seines radikalen uniformitaristischen Aktualismus um eine Erklärung der ständig vorhandenen Feuerherde in den oberen Schichten der Erde bemühen. Dazu benützt er wieder die alten, anlässlich des Lissaboner Bebens angeführten chemischen Theorien der Entwicklung von Wärme und der Selbstentzündung unterschiedlicher mineralischer Stoffe, wie sie durch LEMERYS Experimente bekannt wurden, und verbindet sie mit der Theorie der Entwicklung von Elektrizität durch chemische Veränderungen. Auf diese Weise entsteht eine fortgesetzte Wechselwirkung zwischen chemischen Verände-

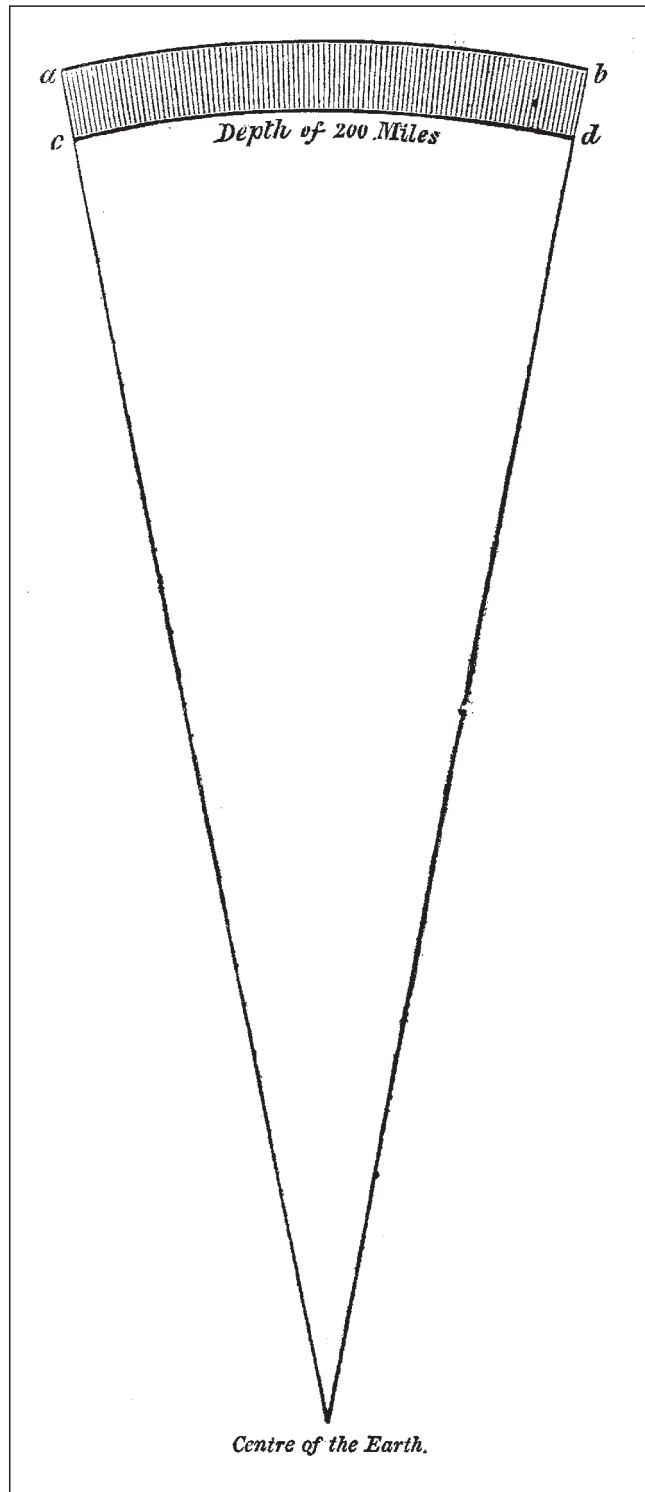


Abb. 36. Darstellung des Verhältnisses des Festlandes und der Ozeane gegenüber dem Erdhalbmesser (nach LYELL, 1834).

rungen, die thermo-elektrische Ströme erzeugen, welche wiederum chemische Veränderungen zur Folge haben. LYELL beruft sich in diesem Zusammenhang auf eine Analogie zur Voltaschen Säule<sup>250, 251</sup>:

„Subterranean electric currents may exert a slow decomposing power like that of the voltaic pile, and thus become a constant source of chemical action, and, consequently, of volcanic heat.“

„Unterirdische elektrische Ströme können eine langsame zersetzende Kraft, gleich der Voltaschen Säule ausüben und daher eine constante Quelle der chemischen Wirksamkeit und folglich auch der vulkanischen Hitze werden.“

Außerdem nimmt er an, dass auch umgekehrt Thermo-Elektrizität durch große Ungleichheiten der Temperatur infolge der unterschiedlichen Verteilung der vulkanischen Hitze entsteht<sup>252, 253</sup>:

„Wherever, for example, masses of rock occur of great horizontal extent, and of considerable depth, which are, at one point in a state of fusion (as beneath some active volcano); at another, red hot, and at a third, comparatively cold; strong thermo electric action may be excited.“

„Wo z.B. Felsmassen von großer horizontaler Ausdehnung und von beträchtlicher Tiefe vorkommen, die an einem Punkte, z.B. unter einem thätigen Vulkan, geschmolzen, an einem rothglühend und an einem dritten verhältnismäßig kalt sind; so wird eine starke thermo-elektrische Wirkung erregt.“

Er ist sich aber auch der Zirkularität dieser Argumentation durchaus bewusst<sup>254, 255</sup>:

„Some, perhaps, may object, that this is reasoning in a circle; first to introduce electricity as one of the primary causes of volcanic heat, and then to derive the same heat from thermo-electric currents. But there must, in truth, be much reciprocal action between the agents now under consideration; and it is very difficult to decide which should be regarded as the prime mover, or to see where the train of changes, once begun, would terminate.“

„Man kann vielleicht entgegen, daß dies in einem Kreise folgern heiße: zuvörderst die Elektrizität als eine der primären Ursachen der vulkanischen Hitze anführen und dann dieselbe Hitze von thermo-elektrischen Strömen ableiten. Allein es muß unter diesen Agentien wirklich eine große gegenseitige Wirksamkeit stattfinden, und es ist sehr schwer zu entscheiden, welche eigentlich als die anfängliche anzusehen ist, oder zu sehen, wo die einst begonnene Reihe von Veränderungen endigen wird.“

Nachdem für LYELL auf diese Weise das Vorhandensein von ständig sich erneuernden Wärmequellen in den oberen Regionen der Erde erklärt ist, kann er die These aufstellen<sup>256, 257</sup>:

„The primary causes of the volcano and the earthquake are, to a great extent, the same, and must be connected with the passage of heat from the interior to the surface.“

„Die primären Ursachen der Vulkane und der Erdbeben sind größtenteils dieselben und müssen mit dem Übergang der Wärme aus dem Inneren nach der Oberfläche in Verbindung gesetzt werden.“

Bei der Beantwortung der Frage, auf welche Art und Weise die Hitze im Erdinnern die Erdbeben verursacht,

<sup>250</sup> LYELL, Ch.: Principles of Geology, Vol. II, S. 294.

<sup>251</sup> LYELL, Ch.: Lehrbuch der Geologie, Zusätze zum 1. Bd., S. 234.

<sup>252</sup> LYELL, Ch.: Principles of Geology, Vol. II, S. 289.

<sup>253</sup> LYELL, Ch.: Lehrbuch der Geologie, Bd. 2, S. 231.

<sup>254</sup> LYELL, Ch.: Principles of Geology, Vol. II, S. 289 f.

<sup>255</sup> LYELL, Ch.: Lehrbuch der Geologie, Bd. 2, S. 231.

<sup>256</sup> LYELL, Ch.: Principles of Geology, Vol. II, S. 293.

<sup>257</sup> LYELL, Ch.: Lehrbuch der Geologie, Zusätze zum 1. Bd. S. 233 f.

greift LYELL wiederum auf die Erklärungen von MICHELL zurück, die dieser im Jahre 1760 aus Anlass des großen Lissaboner Bebens veröffentlicht hatte. LYELL sah vor allem in den großen Hebungen und vor allem in den Senkungen des Kais des Lissaboner Hafens, bei dem alle darauf befindlichen Menschen verschlungen worden sind, ohne dass auch nur eine Leiche an die Wasseroberfläche zurückkam, eine Parallele zu den Spaltenbildungen beim Erdbeben von Calabrien. Auch für die senkrecht emporgeschleuderten Gegenstände gab es beim Lissaboner Beben ein merkwürdiges Beispiel. So führt LYELL an, dass ein 40 franz. Meilen westwärts von St. Vincent segelndes Schiff einen so heftigen Stoß erlitt, dass die Mannschaft 1 1/2 Fuß senkrecht auf dem Deck emporgehoben wurde. Die Ursache für diese gewaltigen senkrecht nach oben geführten Stöße sieht LYELL mit MICHELL in explosionsartig sich ausbreitenden Wasserdämpfen an, die in größeren Tiefen unter einem sehr hohen Druck stehen. Erzeugt werden diese Wasserdämpfe durch die Hitze unterirdischer flüssiger Lavaseen, auf denen ganze Teile der Erdoberfläche ruhen sollen. Die plötzliche Erzeugung von Wasserdämpfen in großen Tiefen führt bei geringerer Quantität zu einer schwingenden Bewegung der Erdoberfläche, während es bei größeren Quantitäten zu einer wellenförmigen Bewegung kommt, die sich über weite Gebiete fortpflanzt. Die bereits zu dieser Zeit gegen eine solche Erklärung einer durch den Transport von Dämpfen unter der Erdoberfläche hervorgerufenen Wellenbewegung erhobenen Einwände hält jedoch LYELL für nicht entscheidend. Er beruft sich nicht nur auf das oben geschilderte Analogieexperiment MICHELLS, das dieser mit einem Teppich durchgeführt hat, sondern führt als direkten Beweis für eine derartige Dampfkesseltheorie der Erdbeben die isländischen Geysire an.

Diese intermittierenden heißen Quellen sind für ihn ein Fall, bei dem die Dämpfe allein die bewegende Kraft bilden. LYELL beruft sich in der ausführlichen Erklärung dieses Phänomens auf George MACKENZIES Beschreibung von Island, aus der er auch die Abbildung (Abb. 37) zur Erläuterung der Dampfkesseltheorie übernimmt<sup>258, 259</sup>.

„Suppose water percolating from the surface of the earth to penetrate into the subterranean cavity A D by the fissures F F, while, at the same time, steam, at an extremely high temperature, such as is commonly given out from the rents of lava currents during congelation, emanates from the fissures C. A portion of the steam is at first condensed into water, while the temperature of the water is raised by the latent heat thus evolved, till, at last, the lower part of the cavity is filled with boiling water and the upper with steam under high pressure. The expansive force of the steam becomes, at length, so great, that the water is forced up the fissure or pipe E B, and runs over the rim of the basin. When the pressure is thus diminished, the steam in the upper part of the cavity A expands, until all the water D is driven into the pipe: and when this happens, the steam, being the lighter of the two fluids, rushes up through the water with great velocity. If the pipe be choked up artificially, even for a few minutes, a great increase of heat must take place, for it is prevented from escaping in a latent form in steam; so that the water is made to boil more violently, and this brings on an eruption.“

„Wir wollen annehmen, daß das Wasser von der Erdoberfläche durch die Spalten FF nach der Höhlung AD durchsickern, während zu gleicher Zeit Dämpfe von außerordentlich hoher Temperatur, wie sie gewöhnlich aus den Spalten der Lavaströme während deren Abkühlung entweckt werden, durch die Spalten CC in die Höhe steigen.“

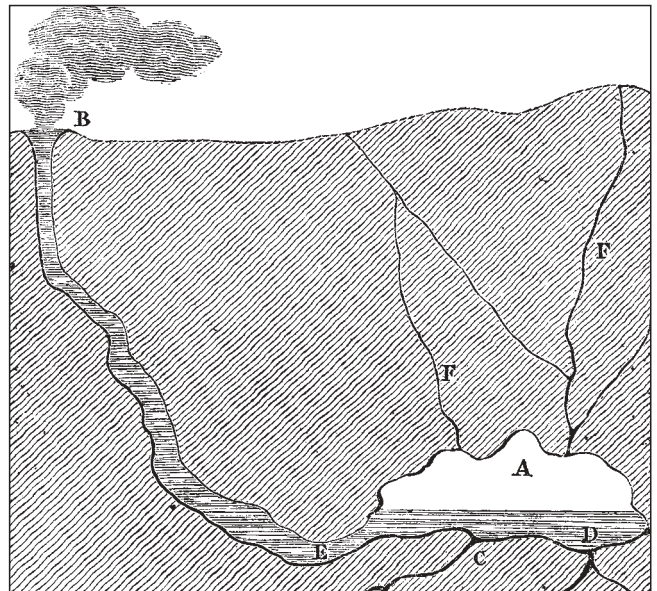


Abb. 37.  
Ideeller Durchschnitt des unterirdischen Reservoirs und der Röhre des Geysers.

Ein Theil von den Dämpfen wird zuerst zu Wasser verdichtet, und die Temperatur des Wassers wird durch die sich entwickelnde latente Wärme erhöht, bis zuletzt der untere Theil der Höhlung mit siedendem Wasser und der obere mit Dämpfen von hohem Druck angefüllt ist. Die Expansivkraft der Dämpfe wird endlich so groß, daß das siedende Wasser in der Spalte oder Röhre EB in die Höhe getrieben wird, und eine bedeutende Quantität davon über den Rand des Beckens läuft. Hat sich der Druck auf diese Weise vermindert, so dehnen sich die Dämpfe in dem obern Theil der Höhlung A aus, bis alles Wasser D nach E getrieben worden ist. Ist dies geschehen, so steigen die Dämpfe, als das leichtere der beiden Fluida, mit großer Geschwindigkeit, wie aus der Oeffnung des Sicherheitsventils eines Dampfkessels, in die Höhe. Wird die Röhre mit Steinen künstlich verstopft, und wäre es auch nur auf einige Minuten, so muß eine große Vermehrung der Hitze stattfinden, die das Wasser in wenigen Minuten aufsiedet und dies bringt einen Ausbruch hervor.“

Wenn nun an Stelle dieser mit Wasser gefüllten Höhlen weite unterirdische Höhlungen in einer Tiefe von mehreren englischen Meilen unter der Erdoberfläche existieren, in denen geschmolzene Lava angehäuft worden ist und in die dann Wasser eindringt, dann hat man nach der Dampfkesseltheorie zu erwarten, dass die Lava auf dieselbe Weise in dem vulkanischen Krater emporgedrückt wird, wie die Wassersäule in der Röhre eines Geysirs. Ist jedoch eine solche Krateröffnung nicht vorhanden, dann verursacht der hydrostatische Druck auf die Wände der Höhlungen nicht nur leichte Erschütterungen, wie dies bei dem Boden um die Geysire der Fall ist, sondern bringt auch schwere Erdbeben hervor. Erdbeben sind daher für LYELL nichts anderes als vulkanische Ausbrüche in großen Tiefen. Ihre Wirkung ist aber ungleich größer als bei den Vulkanausbrüchen an der Erdoberfläche, da sie in den eingeschlossenen Höhlen einen viel größeren Druck ausüben.

Auf diese Weise erklären sich sowohl die schrittweise bei jedem größeren Erdbeben stattfindenden Hebungen wie Senkungen des Erdbodens. Werden Teile der Erdoberfläche durch den Druck des Wasserdampfes und der Gase im Erdinnern emporgehoben und die darunterliegenden Lavamassen hinweggeführt, so bilden sich Höhlungen, die während der Erderschütterungen sogar in großen Tiefen einstürzen. Da LYELL von der Gleichförmigkeit der Beziehun-

<sup>258</sup>) LYELL, Ch.: Principles of Geology, Vol. II, S. 310 ff.

<sup>259</sup>) LYELL, Ch.: Lehrbuch der Geologie, Bd. 1, S. 404.

gen zwischen Land und Meer ausgeht und auch nicht eine Veränderung der mittleren Entfernung der Erdoberfläche vom Mittelpunkt der Erde annehmen will, muss er sogar den Betrag der Senkungen bei Erdbeben höher ansetzen als den der Erhebungen. Denn durch Mineralquellen und vulkanische Krater findet ein immerwährender Transport von Materialien von unten nach auswärts statt. Wenn man jedoch von der Vorstellung ausgeht, dass die Dimensionen des Planeten gleich bleiben, so muss man in den Einsturzbeben einen Vorgang sehen, der diesem ständigen äußeren Zuwachs der Erdoberfläche entgegenwirkt.

Ohne die hebende und senkende Kraft der Erdbeben würde die Erdoberfläche unbewohnbar werden. Denn durch die einebnende Wirkung der Niederschläge und fließender Gewässer würden die Festländer und Inseln ständig abgebaut werden. Erdbeben haben daher nach LYELLS Vorstellungen von den antagonistischen Kräften Wasser und Feuer die Funktion, die Bewohnbarkeit der Erde zu sichern<sup>260, 261</sup>:

*„It seems to be rendered probable, by the views above explained, that the constant repair of the land, and the subserviency of our planet to the support of terrestrial as well as aquatic species, are secured by the elevating and depressing power of Earthquakes; which, although so often the source of death and terror to the inhabitants of the globe, – visiting, in succession, every zone, and filling the earth with monuments of ruin and disorder, – are, nevertheless, the agents of a conservative principle above all others essential to the stability of the system.“*

*„Es scheint durch die oben aufgestellten Ansichten wahrscheinlich gemacht zu sein, daß die beständige Herstellung des Landes und die Benutzung unseres Planeten als Wohnplatz für die Land- und Wasserspecies, durch die Hebungen und Senkungen der Erdbeben gesichert ist. Daher sind denn auch diese letztern, obwohl so oft die Quelle des Todes und des Schreckens der Bewohner der Erde, – die der Reihe nach alle Zonen besucht und die Erde mit Ruinen und Unordnung erfüllt, – die Agentie eines erhaltenden Principes und für die Stabilität des Systems sehr wesentlich.“*

Angesichts der Größe des menschlichen Leidens, das durch große Erdbebenkatastrophen hervorgerufen wird, bei denen manchmal bis zu 100.000 Menschen umkommen, wobei noch die Tatsache unberücksichtigt bleibt, dass eine ungezählte Menge von Leuten Verletzungen erleiden, Gliedmaßen verlieren und an den Bettelstab gebracht werden, fragt sich aber auch LYELL, warum diese Maschinerie der ständig wirkenden Ursachen von so großem Übel begleitet ist. Seine Antwort auf diese Frage lautet<sup>262, 263</sup>:

*„Could our survey embrace other worlds, and the events, not of a few centuries only, but of periods as indefinite as those with which geology renders us familiar, some apparent contradictions might be reconciled, and some difficulties would doubtless be cleared up. But even then, as our capacities are finite, while the scheme of the universe may be infinite, both in time and space, it is presumptuous to suppose, that all sources of doubt and perplexity would ever be removed. On the contrary, they might, perhaps, go on augmenting in number, for it has been justly said, that the greater the circle of light, the greater the boundary of darkness by which it is surrounded.“*

*„Könnten wir nicht allein andere Welten, sondern auch Perioden von unendlicher Dauer, so wie die sind, mit denen uns die Geologie bekannt macht, mit unseren For-*

*schungen umfassen, so würde mancher anscheinende Widerspruch wegfallen und manche Schwierigkeiten würden aufgeklärt werden. Da aber unsere Fähigkeit beschränkt, das System des Universums, sowohl in Zeit als Raum unendlich ist, so werden die Quellen der Zweifel und der Verwirrung nie versiegen. Sie werden sich im Gegentheil vermehren; denn je größer der Lichtkreis ist, um so größer muß auch das ihn umgebende Dunkel sein.“*

### 3.7.3. BUNSENS Erklärung des Geysirphänomens und die Widerlegung der Dampfkesseltheorie

So plausibel und einleuchtend LYELLS aktualistische Erdbebentheorie auch war, die keiner weiteren Spekulationen über den flüssigen Erdkern bedurfte, so sollte ihr doch die Berufung auf die Dampfkesseltheorie der Geysireruptionen zum Verhängnis werden. Nach dieser Theorie konnte die Periodizität der Geysireruptionen nur dadurch erklärt werden, dass am unteren Ende des Geysirrohrs sich in einer großen seitlichen Höhlung Wasser ansammelt, das durch die unterirdische Hitze aufgeheizt Dampf entwickelt, der sich einen Ausweg durch das Geysirrohr erzwingt. Nach der Eruption von Dampf und heißem Wasser füllt sich wieder die große Höhle mit dem von der Oberfläche her eindringenden Regen- und Gletscherwasser und der Vorgang beginnt von neuem.

BUNSEN, der mit seinem Begleiter DESCLOIZEAUX im Jahre 1846 mehrere Monate in Island zubrachte, wies dagegen mit genauen Messungen der Temperaturverhältnisse des großen Geysirs nach, dass die Ursache der periodischen Eruptionen nicht in unterirdischen Höhlungen zu suchen ist, sondern in den Druckverhältnissen des Geysir-

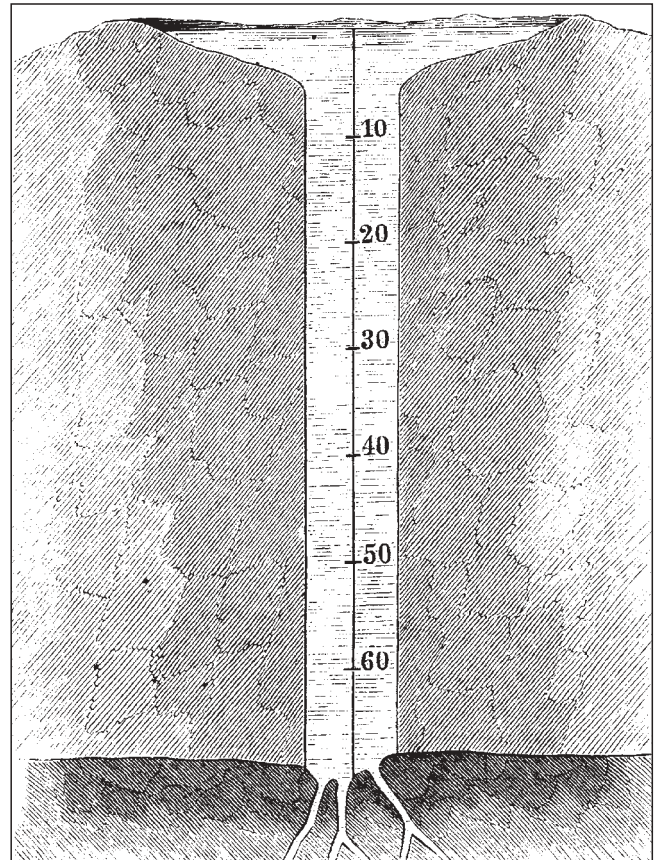


Abb. 38.  
Die Dampfkraft-Kollektoretheorie der Geysireruptionen nach BUNSEN.

<sup>260</sup>) LYELL, Ch.: Principles of Geology, Vol. II. S. 322.

<sup>261</sup>) LYELL, Ch.: Lehrbuch der Geologie, Bd. 1, S. 249.

<sup>262</sup>) LYELL, Ch.: Principles of Geology, Vol. II. S. 234.

<sup>263</sup>) LYELL, Ch.: Lehrbuch der Geologie, Zusätze zum 1. Bd., S. 220.

rohres selbst, das als ein „natürlicher Collector der Dampfkraft“ angesehen werden kann<sup>264</sup>).

Die periodischen Ausbrüche entstehen nach BUNSEN dadurch, dass ein Teil der Wassersäule, die an einem tieferen Punkt unter großem Druck einen hohen Grad der Temperatur angenommen hat, nach oben gedrängt wird. Dadurch gelangt sie in eine Zone geringeren Drucks. Sie beginnt zu siedeln und ein mehrere Meter hoher Wasserstrahl schießt in die Höhe. Auf diese erste Wassersäule folgt dann eine zweite und eine dritte noch höher steigende Wassersäule nach (vgl. Abb. 39).

Kaum ist der letzte, alle vorhergehenden an Höhe übertreffende Wasserstrahl in die Höhe geschossen, bricht die ganze Erscheinung, die nur wenige Minuten gedauert hat, in sich zusammen. Nach dem Ausbruch liegt dann das vorher ganz mit Wasser gefüllte Geysirbecken wieder trocken da. Und der herannahende Beobachter kann bis zu dem Geysirrohr selbst vordringen, indem das Wasser sechs Fuß unter dem Rand ruhig und still steht.

Die von BUNSEN und seinen Begleitern mit großer Genauigkeit von 23 Stunden bis zu 10 Minuten vor dem Ausbruch durchgeführten Temperaturmessungen an unterschiedlichen Stellen des Geysirrohrs stellen eine mit exakten physikalischen Methoden durchgeführte zusätzliche Falsifikation der neptunistischen Spekulationen über die

<sup>264</sup>) BUNSEN, DESCLOIZEAUX: Comptes rendus des séances de l'Acad. des Sciences, T. XXIII, 1846.

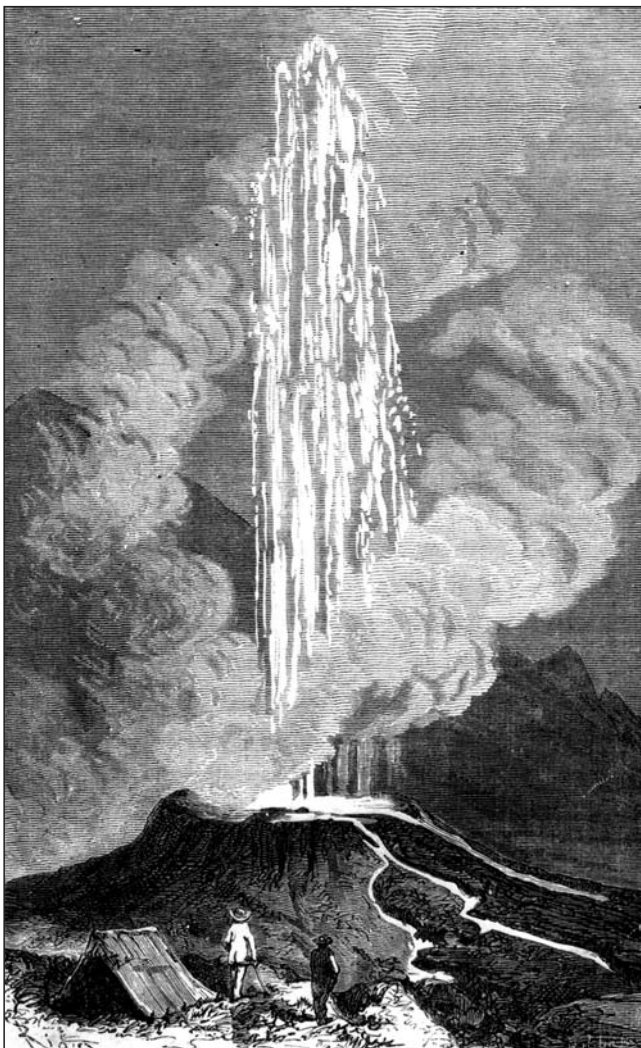


Abb. 39. Eruption des großen Geysirs in Island nach ZURCHER et MARGOLLE (1872).

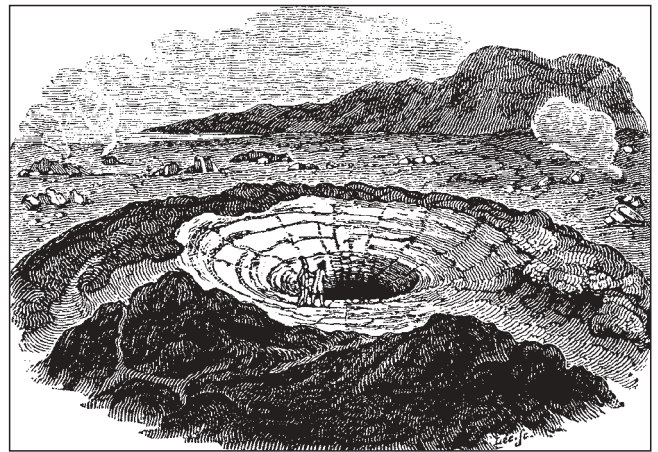


Abb. 40. Das Becken des großen Geysirs nach dem Ausbruch nach LYELL (1834).

großen Wasserreservoirs dar, wie sie Neptunisten wie SILBERSCHLAG oder schon vor ihm A. KIRCHER, der neben seinen „Pyrophyllacien“ auch noch „Hydrophyllacien“ unterschied, angenommen hatten.

Es war zwar schon durch die hohe mittlere Dichte des Erdkörpers klar geworden, dass es keine großen unterirdischen Wasseransammlungen geben kann. Aber BUNSENS Erklärung der Geysireruptionen machte auch bei diesem Phänomen die Existenz von großen unterirdischen Wasser- und Dampfbehältern überflüssig.

Auf diese Konsequenz hat Alexander von HUMBOLDT der in BUNSENS Theorie eine Unterstützung seines allgemeinen Vulkanismus sah, ausdrücklich hingewiesen. Damit war jedoch auch LYELLS aktualistischer Dampfkesseletheorie der Erdbeben die eigentliche Begründung entzogen<sup>265</sup>:

*„Bunsen hat mit dem ihm eigenen Scharfsinn in Beobachtung und Discussion die früheren Hypothesen über die Periodicität der Geysir-Eruptionen (unterirdische Höhlen, welche als Dampfessel sich bald mit Dämpfen, bald mit Wasser erfüllen) widerlegt. Die Ausbrüche entstehen nach ihm dadurch, daß ein Theil einer Wassersäule, die an einem tieferen Punkte unter großem Druck angehäufter Dämpfe einen hohen Grad der Temperatur angenommen hat, aufwärts gedrängt wird: und dadurch unter einen Druck gelangt, welcher seiner Temperatur nicht entspricht. So sind die Geysir natürliche Collectoren der Dampfkraft.“*

Es ist daher nicht erstaunlich, dass einer der eifrigsten und frühesten Anhänger der LYELLSchen Geologie eine plutonistische Erdbeben-theorie vertrat, die wieder von der Vorstellung eines glutflüssigen Erdkerns ausging und damit ein gemäßigttes Vermittlungsglied zwischen der dogmatisch uniformistischen Schule LYELLS und der vulkanistischen mehr katastrophistischen Auffassung von ELIE DE BEAUMONT, Leopold VON BUCH und HUMBOLDT darstellte.

Es war kein Geringerer als Charles DARWIN, der in seinen geologischen Schriften auf Grund eigener Erlebnisse von Erdbeben und deren Folgen in Chile eine Theorie der Erdbeben vertrat, die HUMBOLDT weit näher stand als LYELL. Die große Übereinstimmung mit DARWIN sieht HUMBOLDT selbst in der Auffassung des Zusammenhanges von Erdbeben und Vulkanen, für den DARWIN bereits eine einheitliche kausale Erklärung geliefert hat<sup>266</sup>:

*„Die geographische und geologische Kenntniß der Gruppe von Vulkanen, welche wir unter dem gemeinsamen Namen der gereihten Vulkane von Chili begreifen, verdankt den ersten Anstoß zu ihrer Vollkommenung, ja die*

<sup>265</sup>) HUMBOLDT, A. v.: Kosmos, Bd. IV, S. 248.

<sup>266</sup>) HUMBOLDT, A. v.: Kosmos, Bd. IV, S. 550.

Vervollkommnung selbst, den scharfsinnigen Untersuchungen des Capitäns Fitz-Roy in der denkwürdigen Expedition der Schiffe Adventure und Beagle, wie den geistreichen und ausführlicheren Arbeiten von Charles Darwin. Der Letztere hat mit dem ihm eigenen verallgemeinernden Blicke den Zusammenhang der Erscheinungen von Erdbeben und Ausbrüchen der Vulkane unter einen Gesichtspunkt zusammengefaßt.“

### 3.8. DARWINS plutonistische Erdbebentheorie

DARWINS geologische Schriften stehen im Schatten seiner Evolutionstheorie. Von HUMBOLDT jedoch, der im Erscheinungsjahr der „Origin of Species“ 1859 starb, und deswegen DARWIN nur als Geologen kannte, wurden seine geologischen Schriften über die Vulkane in Südamerika ebenso wie seine Theorie der Entstehung der Corallenriffe sehr hoch geschätzt, wie die häufige Zitierung Darwins im „Kosmos“ zeigt.

Umgekehrt war DARWIN schon frühzeitig mit der englischen Übersetzung von HUMBOLDTS Reisebeschreibung über die Äquinoktialgegenden Südamerikas bekannt geworden und hatte auch Leopold VON BUCHS Beschreibung der Canarischen Inseln ebenso wie die Arbeiten von ELIE DE BEAUMONT gelesen. So sehr er auch von LYELLS Geologie beeindruckt war, konnte er sich dennoch nicht entschließen, die BUCHSsche Theorie der Erhebungskrater aufzugeben. Für ihn war vielmehr das große Erdbeben an der West-Küste von Südamerika in Chile, das am Morgen des 20. Februar 1835 die Stadt Concepción in Trümmer legte, ein Beweis für den Zusammenhang zwischen den vulkanischen und den die Kontinente hebenden und gebirgsbildenden Kräften. Nach seinen eigenen Erlebnissen des Erdbebens in Valdivia und den von ihm gesammelten und ausgewerteten Berichten aus der zertrümmerten Stadt Concepción war er der Überzeugung<sup>267, 268)</sup>,

„... the earthquake of Chile, the activity of the train of neighbouring volcanoes, the elevation of the land around Concepción and the submarine eruption at Juan Fernandez, took place simultaneously, and were parts of one and the same great phenomenon.“

„... daß die Tätigkeit der Reihe der benachbarten Vulkane, die Emporhebung des Landes um Concepción herum und die submarine Eruption bei Juan Fernandez gleichzeitig stattfanden und Teile ein und derselben großen Naturerscheinung waren ...“

#### 3.8.1. Das Erdbeben in Chile

In dem berühmten Bericht über seine Reise um die Welt, die DARWIN mit dem Schiff Beagle unter dem Kommando des Kapitäns Fitz ROY unternommen hatte, schildert er das große Erdbeben auf folgende Weise<sup>269, 270)</sup>:

„I happened to be on shore, and was lying down in the wood to rest myself. It came on suddenly, and lasted two

minutes; but the time appeared much longer. The rocking of the ground was most sensible. The undulations appeared to my companion and myself to come from due east; whilst others thought they proceeded from south-west; which shows how difficult it is in all cases to perceive the direction of these vibrations. There was no difficulty in standing upright, but the motion made me almost giddy. It was something like the movement of a vessel in a little cross ripple, or still more like that felt by a person skating over thin ice, which bends under the weight of his body.“

„Ich war zufällig am Lande und hatte mich im Walde 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. Die Erzitterungswellen schienen meinem Begleiter wie mir selbst rein aus Osten zu kommen, während Andere der Meinung waren, sie kämen von Süd-Westen her: dies, zeigt, wie schwierig es zuweilen ist, die Richtung der Schwingungen wahrzunehmen. Man hat keine Schwierigkeit aufrecht zustehen, die Bewegung machte mich aber beinahe schwindlich: sie war der Bewegung eines Fahrzeuges in kleinen, sich kreuzenden Wellen ähnlich oder noch mehr dem Gefühl, welches man beim Schlittschublaufen über sehr dünnes Eis hat, wenn sich das Eis unter den Füßen biegt.“

Und fast mit denselben Worten, wie SENECA fast 1800 Jahre vor ihm seinen Eindruck vom großen Beben von Pompei und Herculanium ausgesprochen hat, gibt auch DARWIN das Gefühl von Unsicherheit wieder, das alle früheren Erfahrungen des ruhenden Erdbodens schlagartig zerstört<sup>271, 272)</sup>.

„A bad earthquake at once destroys the oldest associations: the world, the very emblem of all that is solid, has moved beneath our feet like a crust over a fluid; one second of time has conveyed to the mind a strange idea of insecurity, which hours of reflection would never have created.“

„Ein schlimmes Erdbeben zerstört auf einmal unsere ältesten Associationen; die Erde, das wahre Sinnbild der Festigkeit, hat sich unter unsern Füßen, wie eine dünne Flüssigkeit bewegt, – eine einzige Secunde Zeit hat im Geiste ein fremdartiges Gefühl hervorgerufen, welches Stunden von Nachdenken nicht erzeugt haben dürfen.“

Während DARWIN selbst nur die Erde zittern fühlte und sonst keine andere Wirkung sah, beobachteten Kapitän FITZ ROY und einige Offiziere, die während des Erdbebens in der Stadt Valdivia waren, dass die Holzhäuser zwar nicht umfielen, aber doch so heftig erschüttert wurden, dass die Balken knarrten und zusammenbrachen.

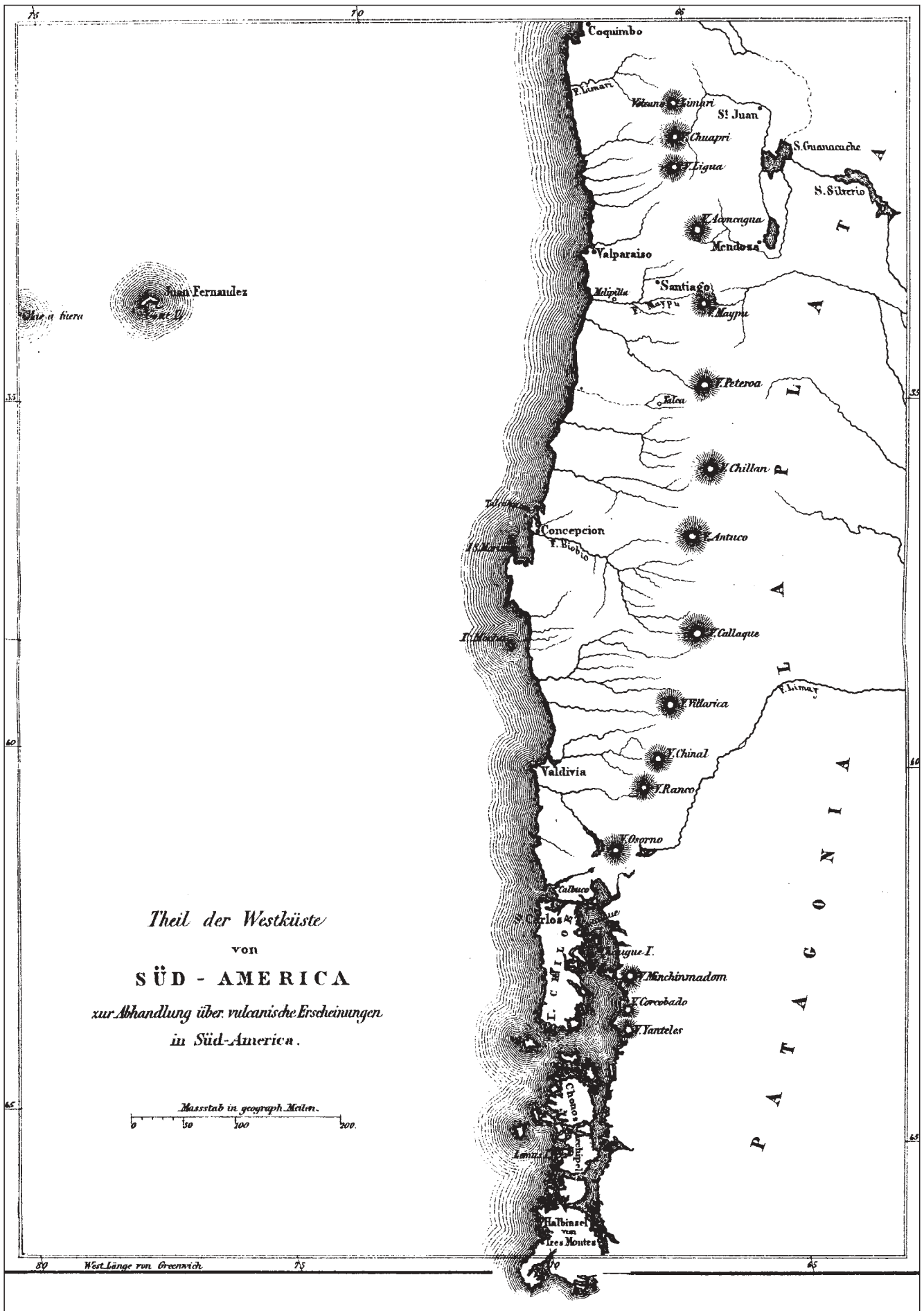
Ungleich größer war jedoch die Wirkung des Erdbebens in Concepcion und dem Hafentort Talcahuano, den DARWIN am 5. März 1835 erreichte. Beide Städte boten das schauerlichste Schauspiel dar, das er je gesehen hatte. Die Zerstörung war so vollständig und die Ruinen waren so durcheinandergemengt, dass es kaum möglich war, sich den früheren Zustand vorzustellen. Und nur dem Umstand, dass das Erdbeben mitten am Tag um halb zwölf Uhr begann, war es zu verdanken, dass nur verhältnismäßig wenige Menschen umkamen. Darwin musste zugeben, dass es ihm unmöglich war, eine detaillierte Beschreibung von den Zerstörungen zu geben. Denn die stärksten Ausdrücke konnten keine richtige Idee von dieser Szene der Verwüstung geben, die sich in wenigen Sekunden durch einen einzigen plötzlichen Stoß ereigneten. Doch fiel ihm auf, dass

<sup>271)</sup> DARWIN, Ch.: Journal, S. 289.

<sup>272)</sup> DARWIN, Ch.: Reise, S. 346.

Abb. 41.  DARWINS Karte eines Teiles der Westküste von Südamerika (1878).





*Theil der Westküste*  
 von  
**SÜD - AMERICA**  
*zur Abhandlung über vulcanische Erscheinungen*  
*in Süd-America.*

Maßstab in geograph. Meilen.  
 0 50 100 200

West-Länge von Greenwich 80 75 65

die von Süd-West nach Nord-Ost ausgerichteten Mauern viel besser standen als die im rechten Winkel dazu von Nord-West nach Süd-Ost laufenden Mauern, die fast alle umgeworfen wurden. Nach den ihm vorliegenden Berichten war eine wellenförmige Bewegung des Bodens von Süd-West ausgegangen. Das erklärte auch die besondere Art der Zerstörung<sup>273, 274</sup>:

„It is evident on this supposition, that the N.W. and S.E. walls, being nearly coincident with the line of undulation (or with the crests of the successive waves), would be much more likely to fall than those which had their extremities presented towards the point whence the vibration proceeded; for, in the first case, the whole wall would be thrown at the same moment out of its perpendicular.“

„Es ist ja offenbar, dasz die von S.-W. nach N.-O. stehenden Wände, welche ihre Endpunkte (und die Kanten) der Seite darboten, von wo die Erdwellen ausgingen, viel weniger leicht umstürzen würden, als diejenigen, welche von N.-W. nach S.-O. laufend in ihrer ganzen Länge in einem und demselben Augenblick aus der senkrechten Lage gebracht worden sein müssen.“

Ein Analogieexperiment, das DARWIN von MICHELL übernimmt, erklärt seiner Meinung nach sehr gut, warum gerade jene Mauern noch stehenbleiben, die mit ihren Endpunkten oder Kanten in der Richtung der wellenförmigen Bewegung des Erdbebens liegen, während diejenigen, die mit ihrer ganzen Länge in der Richtungslinie der Wellenbewegung des Erdboden liegen, leicht umstürzen<sup>275, 276</sup>:

„This may be illustrated by placing books edgewise on a carpet, and then, after the manner suggested by Michell, imitating the undulations of an earthquake: it will be found, that they fall with more or less readiness, according to their direction. The fissures in the ground, though not uniform, generally had a S.E. and N.W. direction; and therefore they corresponded to the lines of principal flexure.“

„Es lässt sich dies gut erläutern, wenn man Bücher auf ihren Rändern aufrecht auf einen Teppich stellt, und dann nach der von Michell angegebenen Art die wellenförmigen Bewegungen eines Erdbodens nachahmt: man wird finden, dasz sie mit grözzerer oder geringerer Leichtigkeit umfallen, je nachdem ihre Richtung mit der Richtungslinie der Wellen mehr oder weniger zusammenfällt. Die Spalten im Boden erstrecken sich meistens, aber nicht gleichförmig, in einer südöstlich-nordwestlichen Richtung, und entsprechen daher den Undulationslinien oder den Zügen der Hauptbiegung.“

Auch bei den Bewegungen des Wassers im angrenzenden Meer stellt DARWIN zwei Arten von Bewegungen fest: Zuerst schwillt im Augenblick des Stoßes das Wasser an und zieht sich ebenso ruhig zurück. Dann aber folgen eine Reihe von Wellen, die mit vernichtender Gewalt den Hafen und die Strände verheeren. Die erste Bewegung scheint eine unmittelbare Folge des Erdbebens zu sein, das auf eine flüssige und auf eine solide Masse unterschiedlich wirkt und das gegenseitige Niveau stört. Die zweite Erscheinung, das Auftreten hoher Wellen, vor allem in dem eher seichten Küstengewässer, scheint auf hoher See zu entstehen; nach DARWINS Vermutung genau dort, wo das weniger gestörte Wasser des tiefen Ozeans auf das durch das Erdbeben am Lande aufgewühlte Küstengewässer trifft. Dort entsteht die große Welle, die sich dann oft erst eine halbe Stunde nach dem Erdbeben mehrfach an der Küste bricht.

Die merkwürdigste Wirkung dieses Erdbebens war die dauernde Erhebung des Festlandes rings um den Meerbu-

sen von Concepción um zwei bis drei Fuß. DARWIN meint, dass es in diesem Falle wahrscheinlich viel richtiger sei, nicht von einer Wirkung, sondern von der Ursache des Erdbebens zu sprechen. Außerdem wurde auch zur Zeit des großen Stoßes am 20. Februar die 360 Meilen nordwestlich von Concepción liegende Insel Juan Fernandez heftig erschüttert, und dicht am Ufer brach ein unterseeischer Vulkan aus. Gleichzeitig brachen am Festland drei weit voneinander entfernte Vulkane in den Cordilleren aus:

- der Vulkan Osorno in der Nähe der Insel Chiloë
- der 480 Meilen nördlich vom Osorno entfernte Vulkan Aconcagua in der Nähe von Valparaiso
- und der 2700 Meilen nördlich vom Aconcagua in Mittelamerika liegende Vulkan Cosiguina.

### 3.8.2. Die Hypothese von den unterirdischen Lavaseen oder konzentrischen Lagern feuerflüssiger Materie

Als DARWIN zum ersten Mal über diese fast gleichzeitig eintretenden Ereignisse nachdachte, die ihm bewiesen, dass eine faktische Bewegung in der unterirdischen vulkanischen Masse beinahe in demselben Zeitpunkt an voneinander sehr entfernten Orten vorkam, da trat ihm unwiderstehlich ein Bild vor Augen: Es kam ihm so vor, als ob Wasser durch die Löcher einer Eisdecke eines gefrorenen Tümpels in die Höhe spritzt, wenn jemand auf die Oberfläche stampft. Die Folgerung Darwins aus diesem Analogiebild war<sup>277, 278</sup>:

„... that the land in Chile floated on a lake of molten stone, of which the area, as known from the various points in eruption on the day of the earthquake, would be nearly double that of the Black Sea.“

„... daß nämlich das Land Chile auf einem See von geschmolzener Steinlava schwämme, dessen Umkreis, wie es sich durch die verschiedenen Eruptionspunkte am Tage des Erdbebens zu erkennen gibt, nahezu doppelt so groß wäre als das schwarze Meer.“

Der Unterschied zwischen der Eisdecke und der Erdkruste besteht jedoch darin, dass das Heraufspritzen vulkanischer Masse nicht durch Druck von oben, sondern durch den Druck der glutflüssigen Gesteinsmassen von unten aus dem Erdinnern hervorgerufen worden ist, der gleichzeitig auch eine paroxysmenartige plötzliche Erhebung von vielen hunderten von Quadratmeilen Landes in der Nähe von Concepción bewirkt hatte.

Mit dieser Erklärung der Erdbeben und Vulkanausbrüche in Chile steht DARWIN, wie er selbst auch erkennt, in voller Übereinstimmung mit den bereits von HUMBOLDT gelieferten Erläuterungen über den Zusammenhang von Erdbeben und Vulkanausbrüchen in Peru.

DARWIN zitiert in diesem Zusammenhang HUMBOLDTS Reisebericht<sup>279</sup>, der es für wahrscheinlich hält<sup>280, 281</sup>

„... the higher part of the kingdom of Quito, and the neighbouring Cordillera, far from being a group of distinct volcanoes, constitute a single swollen mass, an enormous

<sup>273</sup>) DARWIN, Ch.: Journal, S. 294.

<sup>274</sup>) DARWIN, Ch.: Reise, S. 353.

<sup>275</sup>) DARWIN, Ch.: Journal, S. 294.

<sup>276</sup>) DARWIN, Ch.: Reise, S. 353.

<sup>277</sup>) DARWIN, Ch.: On the Connexion of certain Volcanic Phenomena in South America; and on the Formation of Mountain Chains and Volcanos, as the Effect of the same Power by which Continents are elevated. – Transactions of the Geol. Society of London, 2. Ser. V. 1840, S. 607.

<sup>278</sup>) DARWIN, Ch.: Über den Zusammenhang gewisser vulcanischer Erscheinungen in Südamerika, und über die Bildung von Bergketten und Vulkanen, als Wirkung derselben Kraft, durch welche Continente gehoben werden. – In: Ges. Werke. Übers. von G. CARUS, 12. Bd. 2. Abt., S. 22, Stuttgart 1878.

<sup>279</sup>) Personal Narrative IV, S. 29.

<sup>280</sup>) DARWIN, Ch.: On the Connexion, S. 614.

<sup>281</sup>) DARWIN, Ch.: Über den Zusammenhang, S. 31.

volcanic wall stretching from north to south, and the crest of which exhibits a surface of more than six hundred square leagues. Cotapaxi, Tunguragua, Antisana, and Pichincha, are placed in this same vault, on this raised ground.“

„ ... daß der höher gelegene Theil des Königreich Quito und die benachbarte Cordillera, weit davon entfernt, eine Gruppe einzelner Vulcane darzustellen, eine einzige angeschwollene Massen bilden, einen ungeheuren vulcanischen Wall, welcher sich von Norden nach Süden erstreckt und dessen Rücken eine Fläche von mehr als sechshundert Quadratstunden darbietet. Der Cotopaxi, Tunguragua, Antisana und Pichancha sind auf diese nämliche Wölbung, auf diesen erhobenen Bodentheil gestellt.“

Nach den von HUMBOLDT zusammengestellten Tabellen vulkanischer Erscheinungen in Südamerika, die DARWIN durch seine eigenen Beobachtungen in Chile ergänzt, kommt DARWIN zu der Ansicht,<sup>282, 283)</sup>

„ ... that the subterranean forces manifest their action beneath a large portion of the South American continent, in the same intermittent manner as, in accordance with all observation, they do beneath isolated volcanoes, – that is, remaining for a period dormant, and then bursting forth throughout considerable districts with renewed vigour.“

„ ... daß die unterirdischen Kräfte ihre Thätigkeit unter einem grossen Theile des südamerikanischen Continents in derselben intermittirenden Art und Weise offenbaren, wie sie, in Übereinstimmung mit allen Beobachtungen, es auch unter isolirt stehenden Vulcanen thun, – das heisst, sie bleiben eine Zeit lang in schlafähnlicher Ruhe und brechen dann über beträchtlich ausgedehnte Bezirke hin mit erneuerter Kraft los.“

Dieselben Gründe, die DARWIN dazu bewogen haben anzunehmen, dass die Kette von untereinander in Zusammenhang stehenden Vulkanen in Chile auf einer Fläche von flüssiger Masse ruht, berechtigten ihn zu der durch HUMBOLDTS Tabellen über den Zusammenhang der Vulkane in Peru gestützten Annahme, dass der ganze westliche Teil des südamerikanischen Continents in gleicher Weise auf einem See von geschmolzenem Gestein schwimmt. Von dieser Hypothese ist es aber in Anbetracht der vielen über fast alle Erdteile verbreiteten Vulkanausbrüche und Erdbeben nur ein weitergehender Schritt zur Annahme, dass die ganze Erde im Innern ein konzentrisches Lager von flüssigem Gestein enthält, das einen soliden Kern umgibt<sup>284, 285)</sup>.

„Moreover, – when we think of the increasing temperature of the strata, as we penetrate downwards in all parts of the world, and of the certainty that every portion of the surface rests on rocks which have once been liquefied; – when we consider the multitude of points from which fluid rock is annually emitted, and the still greater number of points from which it has been emitted during the few last geological periods inclusive, which, as far as regards the cooling of the rock in the lowest abysses, may probably be considered as one, from the extreme slowness with which heat can escape from such depths; – when we reflect how many and wide areas in all parts of the world are certainly known, some to have been rising and others sinking during the recent era, even to the present day, and do not forget the intimate connexion which has been shown to exist between these movements and the propulsion of liquefied rock to the surface in the volcano; – we are urged to include the entire globe in the foregoing hypothesis.“

„Wenn wir überdies an die zunehmende Temperatur der Schichten denken, je weiter wir in allen Theilen der Erde abwärts eindringen, und an die Gewisheit, dass jeder Theil der Oberfläche auf Gesteinen ruht, welche früher einmal flüssig gewesen sind, – wenn wir die grosse Anzahl von Punkten bedenken, aus denen flüssiges Gestein jährlich entlassen wird, und die noch grössere Zahl von Punkten, aus denen solches während der letzten wenigen geologischen Perioden zusammengenommen entlassen worden ist, welche, so weit das Abkühlen des Gesteins in den alleruntersten Abgründen in Betracht kommt, wahrscheinlich als eine einzige Periode betrachtet werden kann, wegen der ausserordentlichen Langsamkeit, mit welcher Wärme aus solchen Tiefen entweichen kann; – wenn wir uns ferner überlegen, wie viele und grosse Bezirke in allen Theilen der Welt sicher bekannt sind, von denen einige während der jetzigen Aera selbst bis auf den heutigen Tag gestiegen und andere gesunken sind, und nicht den innigen Zusammenhang vergessen, welcher, wie gezeigt wurde, zwischen diesen Bewegungen und dem Ausstossen verflüssigten Gesteins auf die Oberfläche im Vulcan besteht; – so werden wir dazu getrieben, die ganze Erde mit in die vorstehende Hypothese einzuschliessen.“

Ein Einwand gegen solche großen Seen oder gegen dieses konzentrische Lager aus geschmolzenem Gestein wäre, dass dann die Lava innerhalb benachbarter vulkanischer Öffnungen auf nahezu gleicher Höhe stehen müsste oder die Eruptionen zu gleicher Zeit erfolgen müssten. Dagegen aber spricht die von DARWIN selbst während des Erdbebens am 20. Februar 1835 gemachte Beobachtung, dass der Vulkan Villarica in der Nähe von Valdivia in Ruhe blieb. HUMBOLDTS Erklärung für dieses auch an anderen Orten auftretende Phänomen, dass gewisse Distrikte von Erdbeben und Vulkanausbrüchen übersprungen werden, hält jedoch DARWIN für unzureichend. Denn HUMBOLDT stützt sich auf die Aussage der Bewohner der Anden, die davon sprechen, dass der verschont gebliebene Teil wegen der größeren Stärke der Erdrinde „eine Brücke bildet“ („que hace puente“) und er fügt hinzu,<sup>286)</sup>

„ ... als beabsichtigen sie durch diesen Ausdruck anzudeuten, daß die Wellenbewegungen in einer ungeheuren Tiefe unter einem trägen Gestein fortgepflanzt würden.“

DARWIN hält es dagegen für wesentlich angemessener, direkt anzunehmen, wie auch in derselben Periode ein Teil des südamerikanischen Continents mehr als ein anderer gehoben worden ist, dass auch hier die Lava durch die Wirkung dieser Kraft mächtiger gegen einige als gegen andere von den vulkanischen Öffnungen, welche die Rinde durchdringen, angetrieben worden ist.

Wie aber diese ursprüngliche primäre Kraft der unterirdischen Störungen zu erklären ist, darüber kann auch DARWIN keine zureichenden Angaben machen. Das säkulare Zusammenschrumpfen der Erdrinde, das von vielen Geologen seiner Zeit als eine genügende Ursache angesehen worden ist, kann von DARWIN selbst nicht anerkannt werden, weil sonst die Erhebungserscheinungen ganzer Kontinente nicht verständlich sind. Auch die Veränderung des Druckes auf die innere flüssige Masse in Folge der Ablagerung neuer sedimentärer Schichten ist für ihn ebenso eine unzureichende Erklärung wie die Spekulation über die Wirkung der Anziehung der planetaren Gestirne auf eine nicht durchaus solide Kugel<sup>287, 288)</sup>:

„The furthest generalization, which the consideration of the volcanic phenomena described in this paper appears to lead to, is, that the configuration of the fluid surface of the

<sup>282)</sup> DARWIN, Ch.: On the Connexion, S. 615.

<sup>283)</sup> DARWIN, Ch.: Über den Zusammenhang, S. 33.

<sup>284)</sup> DARWIN, Ch.: On the Connexion, S. 630.

<sup>285)</sup> DARWIN, Ch.: Über den Zusammenhang, S. 53 f.

<sup>286)</sup> DARWIN, Ch.: a.a.O. S. 20.

<sup>287)</sup> On the Connexion, S. 631.

<sup>288)</sup> Über den Zusammenhang, S. 56.

*earth's nucleus is subject to some change, – its cause completely unknown, – its action slow, intermittent, but irresistible.*

„Die weiteste Verallgemeinerung, zu welcher die Betrachtung der in dieser Abhandlung geschilderten vulkanischen Erscheinungen zu führen scheint, ist die, dass die Gestaltungsverhältnisse der flüssigen Oberfläche des Kerns der Erde einigem Wechsel unterworfen sind: die Ursache desselben ist vollständig unbekannt, seine Wirkung langsam, aussetzend, aber unwiderstehlich.“

Während sich DARWIN über die primären Kräfte und deren Modifikationen durch verschiedene Einflüsse noch im Unklaren ist, ist für ihn die eigentliche direkte Ursache der Erdbeben das Ergebnis einer Schlussfolgerung, die sich eindeutig aus folgenden Überlegungen ergibt: Wie aus allen Beobachtungen hervorgeht, ist das Aufbrechen der Auswurföffnung eines neuen Vulkans ausnahmslos mit einem Erdbeben verbunden. Das Umgekehrte ist jedoch nicht der Fall. Häufig finden Erdbeben ohne Vulkanausbrüche statt und sind sogar dann am heftigsten, während bei einem zweiten Ausbruch vergleichsweise unbedeutende Bodenbewegungen stattfinden. Aus diesem Grund hat schon John MICHELL, den DARWIN in diesem Zusammenhang zitiert, angenommen, dass Vulkaneruptionen eher Wirkungen als Ursachen von Erdbeben sind, vor allem wenn die Erdbeben eine beträchtliche Ausdehnung haben<sup>289)</sup>.

Für DARWIN sind Erdbeben Folgen einer der vulkanischen Eruption analogen Erscheinung<sup>290, 291)</sup>:

*„In a primary volcanic outburst, we know the cause to be the explosion of liquid and aeriform matter, first through solid strata, and afterwards through a nearly open passage; hence we are led to conclude, that the cause of the simple earthquake, with its secondary shocks, are explosions of a similar nature, which, however, do not open a passage, but rend succesively portions of the superincumbent masses.“*

*„Bei einem primären vulkanischen Ausbruche wissen wir, dass dessen Ursache die Explosion flüssiger und gasförmiger Substanz, zuerst durch solide Schichten und später durch einen beinahe offenen Gang ist; wir werden damit zu der Schlussfolgerung geführt, dass die Ursache des einfachen Erdbebens mit seinen sekundären Stößen Explosionen einer ähnlichen Natur sind, welche indessen keinen Gang sich eröffnen, sondern nur hintereinander einzelne Partien der darüberliegenden Massen zerreißen.“*

Mit dieser Erklärung kommt DARWIN bereits über das ursprüngliche in seinem Reisebericht dargestellten Analogiebild einer über eine undulierende Flüssigkeit ausgebreiteten Kruste hinaus. Eine derartige Überlegung wurde ja schon, wie DARWIN weiß, von John MICHELL angestellt, der im Erdinnern sowohl ein Zusammenpressen der Teile der Flüssigkeit als auch eine wellenförmige Fortpflanzung dieser Erschütterung in derselben unterirdischen Flüssigkeit annahm, die sich dann der biegsamen Erdkruste mitteilt. Gegen eine solche wellenförmige Bewegung des flüssigen Erdinnern spricht jedoch nach DARWIN die Tatsache, dass trotz großer Eruptionen aus alten Auswurföffnungen das umliegende Land nicht in wellenförmige Bewegung versetzt wird. Die beiden Bewegungen, von denen bereits MICHELL spricht, das lokal beschränkte Erzitern und die viel weiter fortgepflanzte Wellenbewegung, hat für DARWIN vielmehr den Grund in dem Aufbrechen der Erdschichten, die der Spannung des Druckes von unten nachgeben und dann die wellenförmige Vibration hervorrufen<sup>292, 293)</sup>:

*„The two kinds of movements may, possibly, be explained, by considering that when the crust yields to the tension, caused by its gradual elevation, there is a jar at the moment of rupture, and a greater movement may be produced by the tilting up of the edges of the strata and by the passage of the fluid rock between them. In breaking a long bar of steel, would not a jar be caused by the fracture, as well as a vibration of the two ends when separate?“*

*„Die beiden Arten von Bewegung können vielleicht durch die Betrachtung erklärt werden, dass, wenn die Erdrinde der Spannung nachgibt, in Folge ihrer allmählichen Erhebung, dann ein Stosz im Augenblicke des Brechens eintritt, während eine grözere Bewegung durch das Aufrichten der Schichtenränder und durch den Eintritt von flüssiger Gesteinsmasse zwischen dieselben hervorgebracht werden dürfte. Wenn man eine lange Stange von Stahl zerbricht, wird da nicht eine Erschütterung durch den Bruch ebenso wie eine Vibration der beiden nun getrennten Stücke eintreten?“*

Aus diesem Zitat wird deutlich, dass sich auch DARWIN nicht über die allgemeine Wellennatur der Erdbeben im Klaren war. Denn er erkennt noch nicht, dass das lokale Erzitern nichts anderes als eine besondere hochfrequente Wellenbewegung ist.

### 3.8.3. Zwei Arten von Erdbeben: Einsturzbeben in Europa – Hebungen in Südamerika

Obwohl sich DARWIN bei der Betrachtung der südamerikanischen Erdbeben mit der vulkanistischen Hebungstheorie von Leopold VON BUCH und HUMBOLDT in Übereinstimmung sieht, ist für ihn die Bildung von Spalten in der Erdkruste als Ausgleich der Spannung die allgemeinste Ursache der Erdbeben, die sich auch auf die europäischen Erdbeben übertragen lässt, für die nicht Hebungen, sondern Senkungen verantwortlich sind<sup>294, 295)</sup>:

*„I think, it would be highly advantageous to geology, if the author who has followed out the effects of an elevatory force, would consider those produced by the failure of support in the arched surface of the globe. The earthquakes of Calabria, and perhaps of Syria, and of some other countries, have a very different character from those on the American coast.“*

*„Ich glaube, es würde für die Geologie von groszem Vortheil sein, wenn ein Schriftsteller, welcher die Wirkungen einer emporhebenden Kraft verfolgt hat, auch diejenigen in Betracht ziehen wollte, welche durch ein Fehlen einer Unterstützung der gewölbten Oberfläche der Erde hervorgerufen werden. Die Erdbeben von Calabrien, und vielleicht auch von Syrien und einiger anderer Länder, haben einen von dem der Erdbeben an der americanischen Küste verschiedenen Character.“*

Nach DARWIN'S Meinung waren nicht nur das Erdbeben von Calabrien, sondern auch das von Lissabon und all jene Erdbeben an anderen Orten, wo keine Vulkantätigkeit festzustellen waren, gewaltige Einsturzbeben<sup>296, 297)</sup>:

*„I will add, that in the accounts collected by Mr. Lyell of the earthquakes of Calabria, Lisbon, and some other places, portions of the surface are described as having been absolutely engulfed, and seen no more: but this does not appear to have happened in any of the earthquakes on the west coast of South America. If the fluid matter, on which I suppose the crust to rest, should gradually sink instead of*

<sup>289)</sup> DARWIN, Ch.: a.a.O. S. 33. Phil.Transaction 1760, S. 580.

<sup>290)</sup> DARWIN, Ch.: On the Connexion, S. 617.

<sup>291)</sup> DARWIN, Ch.: Über den Zusammenhang, S. 35.

<sup>292)</sup> DARWIN, Ch.: On the Connexion, S. 621.

<sup>293)</sup> DARWIN, Ch.: Über den Zusammenhang, S. 41.

<sup>294)</sup> DARWIN, Ch.: On the Connexion, S. 622.

<sup>295)</sup> DARWIN, Ch.: Über den Zusammenhang, S. 42 f.

<sup>296)</sup> DARWIN, Ch.: On the Connexion, S. 622 f.

<sup>297)</sup> DARWIN, Ch.: Über den Zusammenhang, S. 43.

rising, there would be a tendency to leave hollows, and therefore a suction exerted downwards; or hollows would be actually left, into which the unsupported masses might be precipitated with the violence of an explosion. Such earthquakes, we may conclude, from what has been shown in the foregoing part of this paper, would seldom be accompanied by eruptions, and never, probably, by periods of renewed volcanic energy.“

„Ich will noch hinzufügen, dass in den von Lyell gesammelten Schilderungen der Erdbeben von Calabrien, Lissabon und einigen anderen Orten, Fälle beschrieben werden, wo Stücke der Oberfläche von einem Abgrunde absolut verschlungen und nicht mehr gesehen wurden; dies scheint aber bei keinem der Erdbeben an der West-Küste von Süd-America vorgekommen zu sein. Wenn die flüssige Masse, auf welcher, wie ich vermüthe, die feste Erdrinde ruht, allmählich sinken würde anstatt sich zu erheben, so würde ein Bestreben eintreten, hohle Räume zu bilden, es würde daher eine saugende Thätigkeit nach abwärts wirken; oder es könnten auch factisch leere Räume erzeugt werden, in welche dann die einer Unterstützung entbehrenden Massen mit der Gewalt einer Explosion hineinstürzen würden. Nach dem, was in dem voranstehenden Theile dieser Abhandlung gezeigt worden ist, können wir schlieszen, dass derartige Erdbeben nur selten von Eruptionen und wahrscheinlich niemals von Perioden erneuerter vulcanischer Energie begleitet sein werden.“

Während DARWIN BOUSSINGAULTS Theorie der Einsturzbeben für Südamerika ablehnt, nimmt er sie für weite Teile von Groß-Britannien an, allerdings mit dem Unterschied, dass es sich hierbei nicht um plötzliche großartige Einstürze, sondern um viele über lange Zeiten hinwegdauernde Senkungen handelt. Trotzdem können die dadurch hervorgerufenen Dislokationen der Schichten größer sein als bei Erhebungen<sup>298, 299)</sup>:

„In a line of fracture, produced by subsidence, the distortion and overthrow of the strata would probably be even greater than in one of elevation, from the circumstance, that as soon as the weight of the mass overcame its cohesion, and it began to sink, there would be no counterbalancing power, like gravity during elevation, to check the movement, excepting, indeed, the lateral pressure of the masses together, and this would only add to the disturbance. There would be, in this case, no axis of injected plutonic rock, or at least not one protuberant above the general surface; and thus we may explain the extreme disturbance in the strata of countries which are only hilly, like parts of Great Britain; and the occurrence there of such axes of elevation, as they are generally called, but which probably, in most cases, would be more appropriately termed axes of subsidence.“

„In der Richtung einer durch Senkung hervorgebrachten Spaltung wird wahrscheinlich die Verdrehung rund um das Umwerfen der Schichten selbst noch grösser sein als an einem durch Erhebung bewirkten Bruche, und zwar wegen des Umstandes, dass, sobald das Gewicht der Masse deren Cohäsion überwunden hatte und dieselbe zu sinken begann, keine Kraft vorhanden ist, welche diesen Wirkungen entgegenstrebend das Gleichgewicht zu halten sucht, wie die Schwerkraft während der Erhebung, um so die Bewegung aufzuhalten, allerdings wohl mit Ausnahme des seitlichen Druckes der Massen aufeinander, und dieser dürfte nur die Störung noch vermehren. In diesem Falle würde keine Axe von eingespritzten plutonischen Gesteinsmassen vorhanden sein, oder mindestens keine, welche oberhalb der allgemeinen Oberfläche vorragte; und hieraus

können wir die ausserordentliche Störung in der Lage der Schichten in Ländern erklären, welche nur hügelig sind, wie Theile von Grosz-Britannien, und das dortige Vorkommen von Erhebungsaxen, wie sie meistens genannt werden, welche aber wahrscheinlich in den meisten Fällen noch passender Senkungsaxen genannt werden dürften.“

### 3.8.4. Die direkte Ursache der Erdbeben: Spannungsausgleich mit anschließender Dislokation

Ob es sich nun um Hebungen oder Senkungen handelt, immer sind solche Vorgänge, wenn sie schrittweise erfolgen, durch das Zerbrechen von Schichten gekennzeichnet und von Spaltenbildung begleitet, die die eigentlichen und direkten Ursachen der Erdbeben und ihrer wellenförmigen Ausbreitung darstellen. In den vulkanischen Hebungsgebieten in Südamerika lassen sich solche Einzelschritte an der Lage der Schichten genau rekonstruieren. DARWIN schließt sich mit seinen theoretischen Überlegungen an eine Abhandlung von HOPKINS aus den Cambridge Philosophical Transactions<sup>300)</sup> an. Dort hat HOPKINS nachgewiesen, dass die erste Wirkung einer gleichmäßigen Erhebung einer longitudinalen Partie der Erdrinde die Bildung von parallelen Spalten ist, die der längeren Achse parallel verlaufen und zwar in der Form, wie sie in der von HOPKINS stammenden und von DARWIN übernommenen Abbildung 42a dargestellt sind.

Wenn diese viereckigen, jetzt unzusammenhängenden Massen wieder niedergesetzt werden, dann kann das nicht mehr in der gleichmäßigen Form wie bei der Erhebung geschehen. Die Blöcke werden vielmehr in einer sehr unregelmäßigen Form abgelagert, die bestenfalls noch solche Stellungen erwarten lassen, wie sie die ebenfalls von HOPKINS stammende Abbildung 42b zeigt:

In den Cordilleren sind jedoch die Schichten gewöhnlich mehr als 45° geneigt, manchmal stehen sie sogar absolut senkrecht. Daher fragt sich auch Darwin mit Recht<sup>301, 302)</sup>,

<sup>300)</sup> Vol. VI, S. 43-45.

<sup>301)</sup> DARWIN, Ch.: On the Connexion, S. 626.

<sup>302)</sup> DARWIN, Ch.: Über den Zusammenhang, S. 48.

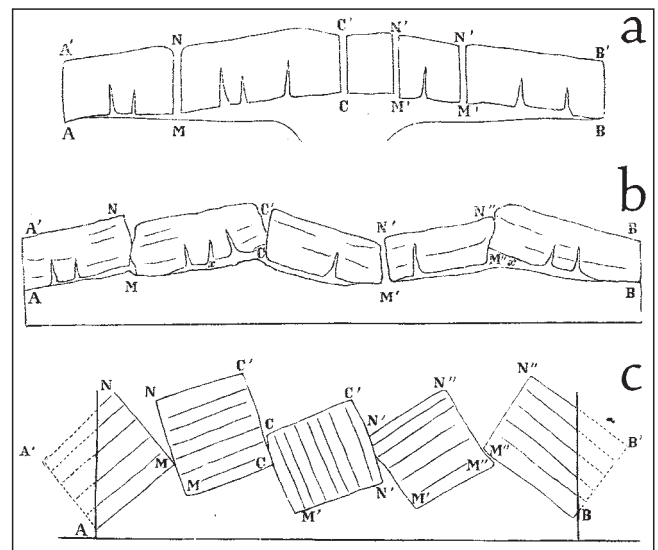


Abb. 42. Abbildungen zum Zerbrechen der Erdkruste bei DARWIN (1840).  
a) Hebung eines longitudinalen Teils der Erdrinde (nach HOPKINS).  
b) Unregelmäßige Form der Ablagerung der Steinblöcke nach der Hebung (nach HOPKINS).  
c) Dislokation der Fragmente der Erdkruste.

<sup>298)</sup> DARWIN, Ch.: On the Connexion, S. 623.

<sup>299)</sup> DARWIN, Ch.: Über den Zusammenhang, S. 44.

„ ... how is it possible, that some of the masses of strata should be placed vertical, and others absolutely overturned, by the action of the fluid rock, without the very bowels of the earth gushing out“

„ ... wie es möglich ist, daß einige von den Schichten-Massen haben senkrecht gestellt, andere absolut überbogen werden können, und zwar durch die Wirkung flüssigen Gesteins, ohne daß geradezu die Eingeweide der Erde vorgestürzt sind?“

Die Antwort von DARWIN lautet, dass es sich bei dieser Hebung nicht um einen einmaligen gewaltsamen Vorgang handelt, sondern um eine langsame schrittweise Erhebung, bei der immer Zeit genug bleibt, dass sich die einzelnen Spalten, die nicht bis zur Oberfläche reichen, mit flüssigem Gestein füllen und dann abkühlen. Nur dort, wo die Spaltenbildung die ganze Rinde quer durchsetzt, wird ein Vulkan gebildet<sup>303, 304</sup>:

„In this manner the strata, each new fracture being firmly cemented by the cooling of the injected rock, might be overturned into any possible position, and yet, from a gradually thickening crust being formed over the fluid mass, on which the whole is believed to rest, the earth would be protected from a deluge of lava. If this reasoning be sound, we may deduce this remarkable conclusion, that in a mountain-chain, having an axis of plutonic rock, which was propelled upwards in a fluid state, where the strata betray the effects of the most violent action, although it be on a gigantic scale, there we have the best evidence of an almost infinite series of small movements.“

„Auf diese Art und Weise, wenn jeder neue Bruch durch das Abkühlen der injicirten Gesteinsmasse fest verkittet wird, können die Schichten in jede nur mögliche Lage umgestürzt werden, und doch wird die Erde, weil sich eine allmählich verdickende Kruste über der flüssigen Masse bildet, auf welcher der Annahme nach das Ganze ruht, gegen eine Sintfluth von Lava geschützt. Ist diese Argumentation richtig, so läßt sich die merkwürdige Schlussfolgerung ableiten, dass wir bei einer Gebirgskette mit einer Axe von plutonischem Gestein, welches in einem flüssigen Zustande nach aufwärts getrieben worden ist, wo die Schichten die Wirkungen der allerheftigsten Thätigkeit verrathen, wenn gleich wir nach einem riesenhaften Maszstabe doch die besten Belege für eine beinahe endlose Reihe kleiner Bewegungen haben.“

Zur Erläuterung fügt DARWIN eine eigene Darstellung (Abb. 42c) an, in der er zwar die Länge der Teile der Schichten wie in der Zeichnung von HOPKINS beibehält, ihre Dicke aber beträchtlich vergrößert. Auf diese Weise wird deutlich, dass die Massen nach der Hebung nicht wieder in ihre früheren horizontalen Grenzen eingezwängt werden können. Die Zusammenquetschungen solcher riesenhafter Bruchstücke wird vielmehr eine ungeheure Verwirrung der Schichten hervorrufen, die jedoch nicht plötzlich und schlagartig erfolgt, sondern in vielen kleinen Schritten.

DARWIN gibt auch explizit an, in welcher Tradition er mit seiner Argumentation steht<sup>305, 306</sup>:

„This whole view is nothing more than an application of Hutton's doctrine of the repetition of small causes to produce great effects; and which Mr. Lyell has already brought distinctly to bear on this particular subject.“

„Diese ganze Ansicht ist nichts weiter als eine Anwendung von Huttons Lehre von der Wiederholung kleiner

Ursachen zur Hervorbringung grosser Wirkungen, welche Lyell bereits ausdrücklich in ihrer Anwendung auf diesen besonderen Gegenstand verwerthet hat.“

Zusammenfassend gibt DARWIN selbst folgende Punkte als Charakteristik seiner plutonistischen Erdbeben-theorie an, die jedoch auf Grund eigener Erlebnisse weit über die Ansichten seiner Vorläufer hinaus geht<sup>307, 308</sup>:

„From these considerations, we may, I think, fairly conclude, with regard to the earthquakes on the west coast of South America,

1<sup>st</sup>. That the primary shock is caused by a violent rending of the strata, which seems generally to occur at the bottom of the neighbouring sea.

2<sup>nd</sup>. That this is followed by many minor fractures, which, though extending upwards nearly to the surface, do not (excepting in the comparatively rare case of a submarine eruption) actually reach it.

3<sup>rd</sup>. That the area thus fissured extends parallel, or approximately so, to the neighbouring coast mountains.

4<sup>th</sup>. That when the earthquake is accompanied by an elevation of the land in mass, there is some additional cause of disturbance.“

„Nach diesen Betrachtungen können wir, wie ich meine in Bezug auf die Erdbeben an der Westküste von Südamerika ruhig schließen,

1) daß der hauptsächlichliche Stoß durch eine heftige Spaltung der Schichten verursacht wird, welche allgemein am Grunde des benachbarten Meeres vorzukommen scheint;

2) daß demselben viele geringere Brüche folgen, welche, obschon sie sich aufwärts bis nahe nach der Oberfläche hin erstrecken, dieselbe (ausgenommen den vergleichsweise seltenen Fall einer submarinen Eruption) nicht wirklich erreichen;

3) daß das so gespaltene Gebiet sich parallel, oder annähernd so, zu den benachbarten Küstengebirgen hinzieht;

4) daß, wenn das Erdbeben von einer Erhebung des Landes in Masse begleitet wird, noch irgend eine weitere Ursache der Störung vorhanden ist.“

### 3.9. HUMBOLDTS allgemeiner Vulkanismus als Grundlage seiner Erdbeben-theorie

Während DARWIN, nachdem er sich der Begründung der biologischen Evolutionstheorie zugewandt hatte, sich nicht mehr mit geologischen Fragestellungen beschäftigte, blieb das Interesse an der Erdbebenforschung bei HUMBOLDT bis zu seinem Tode aufrecht.

Man kann in HUMBOLDTS Erdbeben-theorie deutlich drei Entwicklungsphasen unterscheiden, die sich über mehr als ein halbes Jahrhundert erstrecken:

- Die erste Phase fällt in jene Zeit des Niederganges des Neptunismus, in der sich die bedeutendsten Schüler WERNERS wie Leopold VON BUCH und HUMBOLDT von den Lehren ihres Meisters abkehren. Sie ist dokumentiert in HUMBOLDTS Reiseberichten und findet ihren Abschluss in der Abhandlung „Über den Bau und die Wirkungsart der Vulkane in den verschiedenen Erdstrichen“, die am 24. Januar 1823 in der öffentlichen Versammlung der Akademie zu Berlin verlesen worden ist. Diese Abhandlung enthält bereits in systematischer Form den Grundgedanken des allgemeinen Vulkanismus, der die Ursache der Erdbeben in den unterirdi-

<sup>303</sup>) Ebenda.

<sup>304</sup>) DARWIN, Ch.: Über den Zusammenhang, S. 48 f.

<sup>305</sup>) DARWIN, Ch.: On the Connexion, S. 629.

<sup>306</sup>) DARWIN, Ch.: Über den Zusammenhang, S. 52.

<sup>307</sup>) DARWIN, Ch.: On the Connexion, S. 619.

<sup>308</sup>) DARWIN, Ch.: Über den Zusammenhang, S. 38.

schen Kräften sieht, die aus dem Innern unseres Planeten nach den entferntesten Punkten der Erdoberfläche hinwirken.

- In der zweiten Phase, die im 1. Band des „Kosmos“ vom Jahre 1845 ihre abschließende Darstellung erhält, wird das Konzept des allgemeinen Vulkanismus zu einer Theorie der Erdbeben ausgearbeitet und in den umfassenden Rahmen einer „Physik der Erde“ gestellt. Das aber heißt, dass Erdbeben nicht mehr als isolierte Phänomene angesehen werden, sondern mit den Untersuchungen über die Gestalt, Dichte und den thermischen Zustand der Erde zu einer einheitlichen, logisch konsistenten Theorie verknüpft werden.
- Die dritte Phase fällt in die letzten Lebensjahre HUMBOLDTS und ist im vierten Band des „Kosmos“ dargestellt, der 1858, ein Jahr von seinem Tode erschien. Sie ist bereits durch die Theorie der Erdbebenwellen von MALLETT bestimmt, die von HUMBOLDT, der selbst schon unabhängig von MALLETT die den Schallwellen analoge Wellennatur der Erderschütterungen erkannt hat, völlig akzeptiert wird. Da MALLETT selbst keine Theorie der Ursachen der Erdbeben lieferte, sondern nur eine mathematische Theorie der Ausbreitung der Erdbeben, kann HUMBOLDT diese Theorie übernehmen ohne seinen allgemeinen Vulkanismus als Ursachenklärung aufgeben zu müssen<sup>309)</sup>.

Man kann diese lebenslange Beschäftigung HUMBOLDTS mit dem Phänomen des Vulkanismus und der Erdbeben nur dann verstehen, wenn man die Tatsache berücksichtigt, dass HUMBOLDT seine wissenschaftliche Laufbahn als Bergfachmann begonnen hatte, der nicht nur über mineralogische Themen wie über die Basaltfrage<sup>310)</sup> schrieb und als Oberbergmeister in seinem Spezialgebiet, dem Salinenwesen, praktische Verbesserungsvorschläge über „Salzgradierung und Salzfindung“ machte, sondern auch technische Erfindungen für die Sicherheit der Bergleute lieferte, die man als Vorwegnahme der Grubenlampe von DAVY und als Vorspiel der modernen Gasmasken ansehen kann<sup>311, 312)</sup>.

Als sich HUMBOLDT, ebenso wie sein Freund und Freiburger Studienkollege Leopold VON BUCH dazu entschloss, den Neptunismus seines Lehrers WERNER aufzugeben, geschah diese Entscheidung aufgrund seiner fachmännischen mineralogischen Kenntnisse und Untersuchungsmethoden, die er sich sowohl in seinem Studium in Freiberg als auch in der fünfjährigen Ausübung seines Dienstes in der preußischen Bergbauverwaltung angeeignet hatte. Während jedoch sein Lehrer WERNER jede theoretische Spekulation aus den rein empirischen „geognostischen“ Untersuchungen verbannen wollte, unterschied HUMBOLDT das Studium der Vulkane, die er in Südamerika kennenlernte in zwei ganz getrennte Teile<sup>313)</sup>:

*„Der eine, rein mineralogische, beschäftigt sich nur mit der Untersuchung der durch das unterirdische Feuer gebil-*

*deten oder umgewandelten Gesteine, von der Trachyt- und Trapp-Porphyrformation, von den Basalten, Phonolithen und Doleriten herauf bis zu den neuesten Laven. Der andere, nicht so zugängliche und auch mehr vernachlässigte Teil, hat es mit den gegenseitigen physikalischen Verhältnissen der Vulkane zu thun, mit dem Einfluß, den die Systeme aufeinander ausüben, mit dem Zusammenhang zwischen den Wirkungen der feuerspeienden Berge und den Stößen, welche den Erdboden auf weite Strecken und lange fort in derselben Richtung erschüttern.“*

Diese zweite Art des Wissens kann nach HUMBOLDTS Meinung nur dann fortschreiten, wenn man die verschiedenen Epochen der gleichzeitigen Tätigkeit der Vulkane genau verzeichnet, ferner die Richtung, Ausdehnung und Stärke der Erschütterungen, die mit den Vulkanausbrüchen verbunden sind, und das Zusammentreffen der Vulkanausbrüche mit jenem in Südamerika so häufigen unterirdischen Getöse, das die Bewohner der Anden „bramidos y truenos subterranos“ nennen.

Genau diese Listen von gleichzeitig eintretenden vulkanischen Erscheinungen und Erdbeben, die der junge HUMBOLDT auf seiner Amerikareise in den Jahren 1799 bis 1804 aufstellte, waren – wie bereits dargestellt – der Anstoß für DARWINS umfassende plutonistische Erdbeben-theorie.

Während jedoch DARWIN weitgehend an dem Aktua-lismus LYELLS festhielt, war der junge HUMBOLDT ein radikaler Vertreter der Katastrophentheorie im Sinne CUVIERS, nur mit dem Unterschied, dass er nicht neptunistischer, sondern vulkanistischer Katastrophentheoretiker war. Nicht großartige Überschwemmungskatastrophen, sondern vulkanische Erhebungen von unvorstellbarer Großartigkeit und Gewaltigkeit waren es, die das heutige Aussehen der Erdoberfläche geprägt haben. Diese Kräfte im Innern der Erde wirken auch in der Gegenwart, wenn auch nur mehr in beschränktem Maß weiter. Sie können aber noch immer ein Licht auf die Frühzeit der Erdgeschichte werfen<sup>314)</sup>:

*„Man hat sich lange darauf beschränkt, die Geschichte der Natur nach den alten, in den Eingeweiden der Erde begrabenen Denkmälern zu studieren; aber wenn auch im engen Kreise sicherer Ueberlieferung, nichts von so allgemeinen Umwälzungen vorkommt, wie die, durch welche die Kordilleren emporgehoben und Myriaden von Seetieren begraben worden, so gehen doch auch in der jetzigen Natur, unter unseren Augen, wenn auch auf beschränktem Raume, stürmische Auftritte genug vor sich, die, wissenschaftlich aufgefaßt, über die entlegensten Zeiten der Erdbildung Licht verbreiten können. Im Inneren des Erdballes hausen die geheimnisvollen Kräfte, deren Wirkungen an der Oberfläche zu Tage kommen, als Ausbrüche von Dämpfen, glühenden Schlacken, neuen vulkanischen Erdsteinen und heißen Quellen, als Aufreibungen zu Inseln und Bergen, als Erschütterungen, die sich so schnell wie der elektrische Schlag fortpflanzen, endlich als unterirdischer Donner, den man monatelang, und ohne Erschütterung des Bodens, in großen Entfernungen von thätigen Vulkanen hört.“*

### 3.9.1. Die Erdbeben von Cumana und Caracas

Als HUMBOLDT am 16. Juli 1799 im Hafen von Cumana landete, war er sich darüber im Klaren, dass er sich hier in einer Gegend befand, die seit Jahrhunderten der Herd der furchtbarsten Erdbeben war<sup>315)</sup>. So schreibt er ausdrücklich im ersten Band seines Reisewerkes<sup>316)</sup>:

<sup>314)</sup> HUMBOLDT, A. v.: a.a.O. S. 164.

<sup>315)</sup> HUMBOLDT, A. v.: a.a.O. Bd. 1, S. 170.

<sup>316)</sup> HUMBOLDT, A. v.: a.a.O. S. 173 f.

<sup>309)</sup> Diese dritte Phase der Erdbeben-theorie HUMBOLDTS wird erst im nächsten Teil dieser Untersuchung abgehandelt, der von MALLETT bis zum Ende des 19. Jhdts. reicht.

<sup>310)</sup> HUMBOLDT, A. v.: Mineralogische Beobachtungen über einige Basalte am Rhein. – Braunschweig 1790.

<sup>311)</sup> HUMBOLDT, A. v.: Über die einfache Vorrichtung, durch welche sich Menschen stundenlang in irrespirablen Gasarten, ohne Nachtheil der Gesundheit und mit brennenden Lichtern aufhalten können; oder vorläufige Anzeige einer Rettungsflasche und eines Lichterhalters. – Chem. Ann., Bd. 2, S. 99–110, 196–210.

<sup>312)</sup> HUMBOLDT, A. v.: Über die unterirdischen Gasarten und die Mittel ihren Nachtheil zu vermindern. Ein Beytrag zur Physik der praktischen Bergbaukunde. Mit e. Vorrede Wilhelm v. HUMBOLDTS. – Braunschweig 1799.

<sup>313)</sup> HUMBOLDT, A. v.: Reise in die Äquinoctial-Gegenden des neuen Kontinents. In deutscher Bearbeitung von H. HAUFF. Nach Anordnung und Mitwirkung des Verfassers. – Bd. 2, S. 163, Stuttgart o.J.

„Wenn Naturforscher, welche die Schweizer Alpen oder die Küsten von Lappland besuchen, unsere Kenntnis von den Gletschern und dem Nordlicht erweitern, so läßt sich von einem, der das spanische Amerika bereist hat, erwarten, daß er sein Hauptaugenmerk auf Vulkane und Erdbeben gerichtet haben werde. Jeder Strich des Erdballes liefert der Forschung eigentümliche Stoffe, und wenn wir nicht hoffen dürfen, die Ursachen der Naturerscheinungen zu ergründen, so müssen wir wenigstens versuchen, die Gesetze derselben kennen zu lernen und durch Vergleichung zahlreicher Thatsachen das Gemeinsame und immer Wiederkehrende vom Veränderlichen und Zufälligen zu unterscheiden.“

Auch der Zeitpunkt, an dem HUMBOLDT in Cumana ankam, war für seine Erdbebenstudien günstig. Denn kaum zwei Jahre zuvor hatte ein großes Erdbeben diese Stadt völlig in Trümmer gelegt. Überall waren noch die Spuren der Zerstörung zu sehen und die Erinnerung an diese schreckliche Katastrophe war noch so frisch, dass HUMBOLDT dieses Ereignis nach Augenzeugenberichten genauestens rekonstruieren konnte.

Im Unterschied zu bereits in den Jahren 1766 und 1794 vorangegangenen Beben, bei denen nur waagrechte, wellenförmige Bewegungen auftraten, erschütterte am Unglückstag des 14. Dezember 1797 ein gewaltiger, von unten nach oben gerichteter Stoß die Stadt Cumana, die sofort zu vier Fünftel völlig zerstört wurde. Dieser Stoß, dem zuvor nur leichte Wellenbewegungen vorausgingen, war von einem starken unterirdischen Getöse begleitet und glich der Explosion einer in großer Tiefe angelegten Mine. Eine halbe Stunde vor der großen Katastrophe verspürte man in Cumana am Schlossberg von San Antonio starken Schwefelgeruch und in der näheren Umgebung brachen aus dem trockenen Boden Flammen aus.

Nach solchen Angaben konnte zwar HUMBOLDT schwerlich in Zweifel ziehen, dass in weiter Ferne von den Schlünden noch tätiger Vulkane der durch Erdstöße geborstene und erschütterte Boden manchmal Gase in die Luft ausströmen lässt. Er weigerte sich aber von allem Anfang an, in einem solchen Phänomen den Beweis zu sehen, dass Erdbeben bloß lokale Erscheinungen sind, wie man etwa in Cumana glaubte, dass unter dem Schlossberg von San Antonio große Massen von Schwefel und andere brennbare Stoffe liegen, deren Entzündung die Ursache der Erdbeben sein sollte. Vielmehr war HUMBOLDT noch aus anderen Beispielen, insbesondere durch das große Lissaboner Erdbeben davon überzeugt, dass die hohe Geschwindigkeit, mit der sich Schwingungen auf große Entfernungen fortpflanzen, darauf hinweisen, dass der Mittelpunkt der Bewegung (das heutzutage sogenannte „Hypozentrum“) von der Erdoberfläche sehr weit entfernt ist<sup>317)</sup>, oder wie er ausdrücklich sagt, dass die Ursachen der Bewegung in ungeheuren Tiefen liegen<sup>318)</sup>. Wobei er zu dieser Zeit aber noch immer an chemische Entzündungsvorgänge glaubt, wenn er behauptet, dass man sie in jenen Erdbildungen zu suchen habe, die wir Urgebirge nennen oder überhaupt unter der erdigen oxydierten Kruste, in Tiefen, wo die halbmetallischen Grundlagen der Kieselerde, der Kalkerde, der Soda und der Pottasche liegen.

Was HUMBOLDT aber ausdrücklich ablehnt, ist jedoch der Versuch FRANKLINS, Vulkanismus und Erdbeben als elektrische Phänomene oder Gewittererscheinungen in der unterirdischen Hohlkugel zu deuten. Obwohl er ganz offensichtlich von der alten, seit ARISTOTELES bekannten Analogie von oberirdischer und unterirdischer Atmosphäre fasziniert ist, was sich durch folgendes Zitat belegen lässt<sup>319)</sup>:

„Ununterbrochene Ruhe herrscht in der oberen Atmosphäre, aber – um einen Ausdruck Franklins zu brauchen, der mehr witzig ist als richtig – in der unterirdischen Atmosphäre, in diesem Gemisch elastischer Flüssigkeiten, deren gewaltsamen Bewegungen wir an der Oberfläche empfinden rollt häufig der Donner.“

Doch diese Analogie berechtigt nicht dazu, Erdbeben als Wirkungen des Galvanismus aufzufassen. Es lässt sich zwar nach den HUMBOLDT vorliegenden Beobachtungen nicht leugnen<sup>320)</sup>,

„... daß häufig, wenn im Verlauf einiger Stunden starke Erdstöße aufeinander folgen, die elektrische Spannung der Luft im Augenblick, wo der Boden am stärksten erschüttert wird, merkbar zunimmt; um aber diese Erscheinung zu erklären, braucht man seine Zuflucht nicht zu einer Hypothese zu nehmen, die in geradem Widerspruch steht mit allem, was bis jetzt über den Bau unseres Planeten und die Anordnung seiner Erdschichten beobachtet worden ist.“

Alle diese Überlegungen waren von HUMBOLDT zwar zunächst nur auf Grund fremder Berichte über den Ablauf des Erdbebens von Cumana aus dem Jahre 1797 angestellt worden. Er selbst konnte jedoch bald genug diese Berichte durch eigene Erfahrungen ergänzen. Denn bereits bei seinem zweiten Aufenthalt in Cumana einige Monate später, erlebte er sein erstes Erdbeben, das bei ihm einen unauslöschlichen Eindruck hinterließ. Es ereignete sich am 4. November 1799 um vier Uhr Nachmittag und setzte mit zwei Erdstößen ein, die im Abstand von 15 Sekunden hintereinander folgten. Diese Erdstöße waren wirkliche Hebungen von unten nach oben und keine wellenförmige Bewegungen. Sie richteten zwar keinen großen Schaden an, aber, wie HUMBOLDT mit fast den gleichen Worten sagt wie DARWIN nach ihm und SENECA mehr als 1800 Jahre vor ihm, das Vertrauen auf die feste Erde war damit für immer verloren<sup>321)</sup>:

„Von Kindheit auf prägen sich unserer Vorstellung gewisse Kontraste ein; das Wasser gilt uns für ein bewegliches Element, die Erde für eine unbewegliche träge Masse. Diese Begriffe sind das Produkt der täglichen Erfahrung und hängen mit allen unseren Sinnesindrücken zusammen. Läßt sich ein Erdstoß spüren, wankt die Erde in ihren alten Grundfesten, die wir für unerschütterlich gehalten, so ist eine langjährige Täuschung in einem Augenblick zerstört. Es ist, als erwachte man, aber es ist kein angenehmes Erwachen; man fühlt, die vorausgesetzte Ruhe der Natur war nur eine scheinbare, man lauscht hinfort auf das leiseste Geräusch, man mißtraut zum erstenmal einem Boden, auf den man so lange zuversichtlich den Fuß gesetzt.“

Kleinere Erdbeben dieser Art erlebte HUMBOLDT während seines längeren Aufenthaltes auf der Hochebene von Peru so häufig, dass er sich jedoch wie alle Bewohner dieser erdbebenreichen Zonen an die Bewegungen des Bodens so gewöhnte, wie der Schiffer an die Stöße, die sein Boot von den Wellen erhält. In der Stadt Quito dachte er gar nicht mehr daran, bei Nacht aufzustehen, wenn ein unterirdisches Gebrüll einen Stoß ankündigte, obwohl er wusste, dass im selben Jahr des großen Erdbebens von Cumana am 11. Februar 1797 die ganze Provinz Quito und insbesondere die Stadt Riobamba von einem der fürchterlichsten Erdbeben heimgesucht worden war, das mehr als 40.000 Tote forderte.

So schrecklich dieses Ereignis auch war, es gehörte jedoch der Vergangenheit an. Den größten Eindruck auf HUMBOLDT machte dagegen jenes Erdbeben, das sich mehrere Jahre nach seiner Abreise am 26. März 1812 in Caracas ereignete. Denn dieses Erdbeben legte nicht nur

<sup>317)</sup> HUMBOLDT, A. v.: a.a.O. S. 178.

<sup>318)</sup> HUMBOLDT, A. v.: a.a.O. S. 182.

<sup>319)</sup> HUMBOLDT, A. v.: a.a.O. Bd. 2, S. 166 f.

<sup>320)</sup> HUMBOLDT, A. v.: a.a.O. Bd. 1, S. 183.

<sup>321)</sup> HUMBOLDT, A. v.: a.a.O. Bd. 2, S. 49 f.



das Haus, das er selbst während seines Aufenthaltes in Caracas bewohnt hatte, in Trümmern, sondern die ganze Stadt, die er beschrieben hatte, war verschwunden. Unter den vielen Menschen, die dabei ihr Leben verloren, waren auch viele Freunde und Bekannte HUMBOLDTS. Seine Beschreibung dieses Erdbebens beruht zwar nicht auf eigenen Erlebnissen, stützt sich aber auf zuverlässige Berichte von Augenzeugen. Sie waren für ihn deswegen so bedeutsam, weil sie in aller Deutlichkeit die zwei unterschiedlichen Arten von Bodenbewegungen, die senkrechte von unten nach oben, und die etwas längere wellenförmige beschrieben und außerdem noch auf das Phänomen der Überkreuzung der Schwingungen hinwiesen.

So zitiert HUMBOLDT aus einem ihm vorliegenden Manuskript<sup>322, 323</sup>:

„Der 26. März war ein sehr heißer Tag; die Luft war still, der Himmel unbewölkt. Es war Gründonnerstag, und ein großer Teil der Bevölkerung in den Kirchen. Nichts verkündete die Schrecken dieses Tages. Um 4 Uhr 7 Minuten abends spürte man den ersten Erdstoß. Er war so stark, daß die Kirchenglocken anschlugen, und währte 5 bis 6 Sekunden. Unmittelbar darauf folgte ein anderer, 10 bis 12 Sekunden dauernder, währenddessen der Boden in beständiger Wellenbewegung war wie eine kochende Flüssigkeit. Schon meinte man, die Gefahr sei vorüber, als sich unter dem Boden ein furchtbares Getöse hören ließ. Es glich dem Rollen des Donners; es war aber stärker und dauerte länger als der Donner in der Gewitterzeit unter den Tropen. Diesem Getöse folgte eine senkrechte, etwa 3 bis 4 Sekunden anhaltende Bewegung und dieser wiederum eine etwas längere wellenförmige Bewegung. Die Stöße erfolgten in entgegengesetzter Richtung, von Nord nach Süd und von Ost nach West. Dieser Bewegung von unten nach oben und diesen sich kreuzenden Schwingungen konnte nichts widerstehen. Die Stadt Caracas wurde völlig über den Haufen geworfen. Tausende von Menschen (zwischen 9000 und 10000) wurden unter den Trümmern der Kirchen und Häuser begraben.“

Was aber nun die kausale Erklärung dieses schrecklichen Erdbebens anbelangt, musste sich HUMBOLDT gegen eine ihm zugeschriebene Deutung einer lokalen Verursachung entschieden wehren. Denn in mehreren, aus Anlass der Zerstörung von Caracas veröffentlichten Nachrichten war zu lesen, dass er und BONPLAND 12 Jahre vor der großen Katastrophe nach ihren mineralogischen und physikalischen Untersuchungen erklärt haben, der in der Nähe befindliche Berg Silla sei ein gefährlicher Nachbar für die Stadt, weil er viel Schwefel enthalte. Nach HUMBOLDTS Meinung aber waren es nicht lokal begrenzte Ursachen wie Schwefelbrände, die das Erdbeben von Caracas zur Folge hatten, sondern gleich nach der Ankunft in Cumana fiel ihm auf, dass das Erdbeben vom 14. Dezember 1797 mit dem Ausbruch der Vulkane auf den kleinen Antillen verbunden war. Etwas Ähnliches zeigte sich auch bei der Verwüstung von Caracas am 26. März 1812. Diesmal war es ein Vulkan auf der Insel San Vincent, der bis nach Caracas wirkte. Die Schlussfolgerung vom HUMBOLDT war daher, dass wahrscheinlich beide Male der Herd des Ausbruches in ungeheurer Tiefe war, gleich weit von den Punkten der Erdoberfläche entfernt, bis zu welchen sich die Bewegung fortpflanzte.

Mit dieser Schlussfolgerung wendete sich HUMBOLDT endgültig von der von seinem Lehrer WERNER vertretenen Auffassung ab, dass vulkanische Erscheinungen und Erdbeben kleine lokale Ursachen haben könnten, wie Schichten von Schwefelkiesen und brennende Steinkohlenbrände. Vielmehr sprechen die von ihm geschilderten Ereignisse

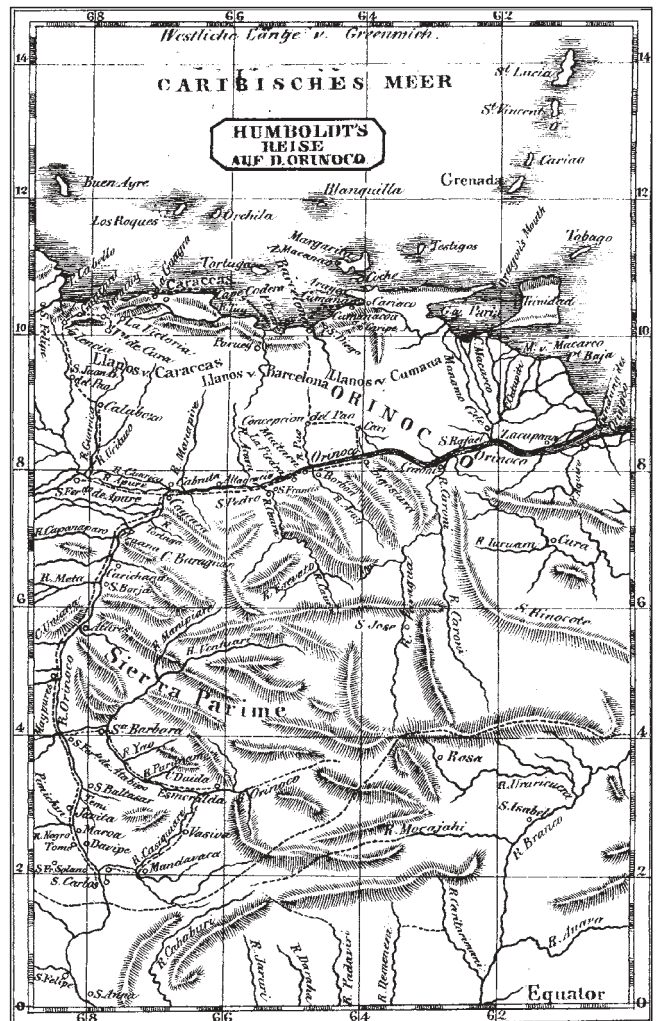


Abb. 43.  
HUMBOLDTS Karte seiner Reise auf dem Orinoco.  
Aus MAGGILLIVRAY (1822).

nisse für seine neu entworfene Theorie von den vulkanischen Reaktionen, das heißt für den Einfluss, den ein System von Vulkanen auf den weiten Landstrich umher ausübt.

Die Ergebnisse seiner ersten Erfahrungen über den Zusammenhang von Vulkanismus und Erdbeben in Südamerika zusammenfassend schreibt er in seinem Reisebericht<sup>324</sup>:

„Alles weist darauf hin, daß im Inneren des Erdballes nie schlummernde Kräfte walten, die miteinander ringen, sich das Gleichgewicht halten und sich gegenseitig stimmen. Je mehr die Ursachen jener Wellenbewegungen des Bodens, jener Entbindung von Hitze, jener Bildung elastischer Flüssigkeiten für uns in Dunkel gehüllt sind, desto größere Aufforderung hat der Physiker, den Zusammenhang näher zu beobachten, der zwischen diesen Erscheinungen sichtbar besteht und auf weite Entfernungen und in sehr gleichförmiger Weise zu Tage kommt.“

### 3.9.2. Über Bau und Wirkungsart der Vulkane

Den ersten systematischen Ansatz seiner Theorie des allgemeinen Vulkanismus legte HUMBOLDT jedoch erst fast zwanzig Jahre nach seiner Rückkehr nach Europa in einer öffentlichen Versammlung der Akademie zu Berlin am 24.

<sup>322</sup> DELPECHE: Sur le tremblement de terre de Venezuela, en 1812 (Manuskript).

<sup>323</sup> HUMBOLDT, A. v.: a.a.O. Bd. 2, S. 154.

<sup>324</sup> HUMBOLDT, A. v.: a.a.O. Bd. 2, S. 166.

Jänner 1823 vor. Sie bedeutete das Ende der neptunistischen Geologie in Deutschland. Denn auch Goethe, überzeugter Anhänger der WERNERSchen Lehre, musste, nachdem ihm HUMBOLDT diese Abhandlung zugesandt hatte, zugeben, dass diese überzeugende Darstellung der vulkanistischen Lehre ihn zum Umdenken angeregt hat. Wie schwer ihm die Akzeptierung der neuen Lehre fiel, zeigen seine eigenen Worte<sup>325)</sup>:

*„Die Verlegenheit kann vielleicht nicht größer gedacht werden als die, in der sich gegenwärtig ein fünfzigjähriger Schüler und treuer Anhänger der so wohl gegründet scheinenden als über die ganze Welt verbreiteten Wernerischen Lehre finden muß, wenn er aus seiner ruhigen Ueberzeugung aufgeschreckt, von allen Seiten das Gegenteil derselben zu vernehmen hat.“*

HUMBOLDTS Abhandlung, die den Titel: „Über Bau und Wirkungsart der Vulkane in den verschiedenen Erdstrichen“ trägt, war die erste Arbeit, die die Theorie des Vulkanismus auf eine breite, ja geradezu weltweite empirische Untersuchungsbasis stellte.

Obwohl man sehr frühzeitig Kenntnisse von den Vulkanen in Südamerika hatte und bereits VARRENIUS<sup>326)</sup> und A. KIRCHER<sup>327)</sup> vor HUMBOLDT und Leopold von Buch sehr umfangreiche Vulkankataloge aufgestellt hatten, bildeten doch lediglich die Untersuchungen an Vesuv und Aetna die Grundlage einer Theorie des Vulkanismus und da der Vesuv der zugänglichere von beiden war, lieferte dieser niedrige „Hügel“ wie ihn HUMBOLDT fast verächtlich bezeichnet, das Vorbild, nach dem man auch Bau und Wirkungsweise der mächtigen Vulkane der Neuen Welt und der asiatischen Inseln zu erklären versuchte. Ein solches Verfahren vergleicht HUMBOLDT mit jenem Hirten VERGILS, der in seiner engen Hütte das Vorbild für die Hauptstadt des römischen Reiches Rom sah<sup>328)</sup>.

Die Form isolierter Kegelberge wie die des Vesuv, des Aetna, des Pico von Teneriffa ist zwar im gegenwärtigen Zustand der Erde auch nach HUMBOLDTS Ansicht die gewöhnlichste Form der Vulkane, aber daneben findet man auch wie in Südamerika ganze Ketten von Vulkanen auf langgedehnten zackigen Bergrücken und zwar nicht nur in der Mitte, sondern auch am Ende gegen den Abfall des Bergrückens wie z. B. der durch die Barometermessungen BOUGUERS berühmte Pichincha in der Nähe von Quito oder die Vulkane in der zehntausend Fuß hohen Steppe de los Pastos. Das ganze Hochland von Quito, dessen Gipfel der Pichincha, der Cotopaxi und Tunguragua bilden, ist nach HUMBOLDTS Meinung ein einziger vulkanischer Herd. Das unterirdische Feuer bricht bald aus der einen, bald aus der anderen Öffnung aus. Dass zwischen diesen Vulkanen, die man voneinander isoliert betrachtet, unterirdische Verbindungen bestehen, wird nach HUMBOLDT gerade durch die Erdbeben bewiesen.

Von den vielen Beispielen einer zeitlichen Aufeinanderfolge von vulkanischen Erscheinungen und Erdbeben erwähnt HUMBOLDT vor allem die Tätigkeit des Vulkans von Pasto, der drei Monate lang im Jahre 1797 ununterbrochen eine hohe Rauchsäule ausstieß, die in demselben Augenblick verschwand, als 60 Meilen davon entfernt das große Erdbeben von Riobamba stattfand. Auch das plötzliche Erscheinen der azorischen Insel Sabrina war für HUMBOLDT ein „Vorbote“ der fürchterlichen Erdstöße, welche viel weiter westlich in den Jahren 1811 bis 1813 fast unaufhörlich

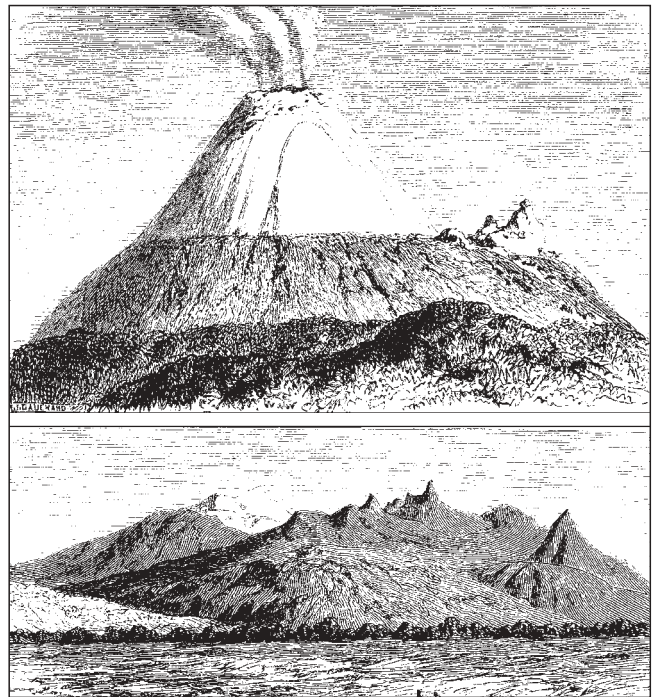


Abb. 44.  
Die Vulkane Cotopaxi und Pichincha bei Quito nach HUMBOLDT.  
Aus KLENCKE (1870).

zuerst die Antillen, dann die Ebene des Ohio und Mississippi und zuletzt die der Ebene gegenüber liegende Küste Südamerikas erschütterten<sup>329)</sup>. Auch das berühmte Erdbeben von Lissabon, das Auswirkungen sowohl auf die Schweizer Seen und die Baltische See an der schwedischen Küste als auch eine Flutwelle in den östlichen Antillen hervorrief, war für HUMBOLDT ein Beweis, dass es die gleichen unterirdischen Kräfte tief im Innern des Planeten sind, die sich an weit entfernten Punkten der Oberfläche entweder dynamisch, spannend und erschütternd in Erdbeben oder produzierend und chemisch verändernd in den Vulkanen äußern<sup>330)</sup>.

Auch die Frage, was denn in den Vulkanen brenne, wird nun von HUMBOLDT nicht mehr im Sinne von GAY-LUSSAC auf eine chemische Reaktion von brennbaren unoxydierten Metalloiden im Erdinnern auf das Eindringen von Sauerstoff zurückgeführt. Denn inzwischen hatte der mit HUMBOLDT befreundete Chemiker diese Theorie schon selbst wieder aufgegeben. Die primitive Ursache der unterirdischen Wärme ist für HUMBOLDT jetzt im Sinne der KANTSchen Theorie der Entstehung des Sonnensystems, wie in allen Planeten der Bildungsprozess selbst, das Abscheiden der sich ballenden Masse aus einer kosmischen dunstförmigen Flüssigkeit. Alle vulkanischen Erscheinungen sind daher wahrscheinlich nichts anderes als das Resultat einer ständigen oder vorübergehenden Verbindung des Innern und Äußeren unseres Planeten. Elastische Dämpfe drücken die geschmolzenen, sich oxydierenden Stoffe durch tiefe Spalten aufwärts<sup>331)</sup>.

Der Gipfel von Vulkanen, die in dauernder Verbindung mit dem Erdinnern stehen, besteht aus gehobenen, durch Gänge mannigfaltig durchschnittene Massen von Trachyt und Lava. Daneben gibt es aber auch, wie HUMBOLDT der Hebungstheorie seines Freundes Leopold von Buch fol-

<sup>325)</sup> GOETHEs sämtliche Werke, hrsg. von GOEDEKE. – Bd. 33, S. 110, Stuttgart (Cotta).

<sup>326)</sup> VARRENIUS, B.: Geographia generalis. – lib. 1, cap. 10, S. 71–74, Neapoli 1715.

<sup>327)</sup> KIRCHER, A.: Mundus Subterraneus. – lib. 4, sect. 1, cap. b, S. 194–197, Amstelodami 1678.

<sup>328)</sup> HUMBOLDT, A. v.: Über den Bau und die Wirkungsart der Vulkane. – In: Ansichten der Natur, Stuttgart und Augsburg 1860, S. 182.

<sup>329)</sup> Nach heutiger Auffassung kann allerdings zwischen so weit voneinander entfernten Ereignissen kein Zusammenhang angenommen werden (G. GRÜNTAL).

<sup>330)</sup> HUMBOLDT, A. v.: a.a.O. S. 189.

<sup>331)</sup> HUMBOLDT, A. v.: a.a.O. S. 203.

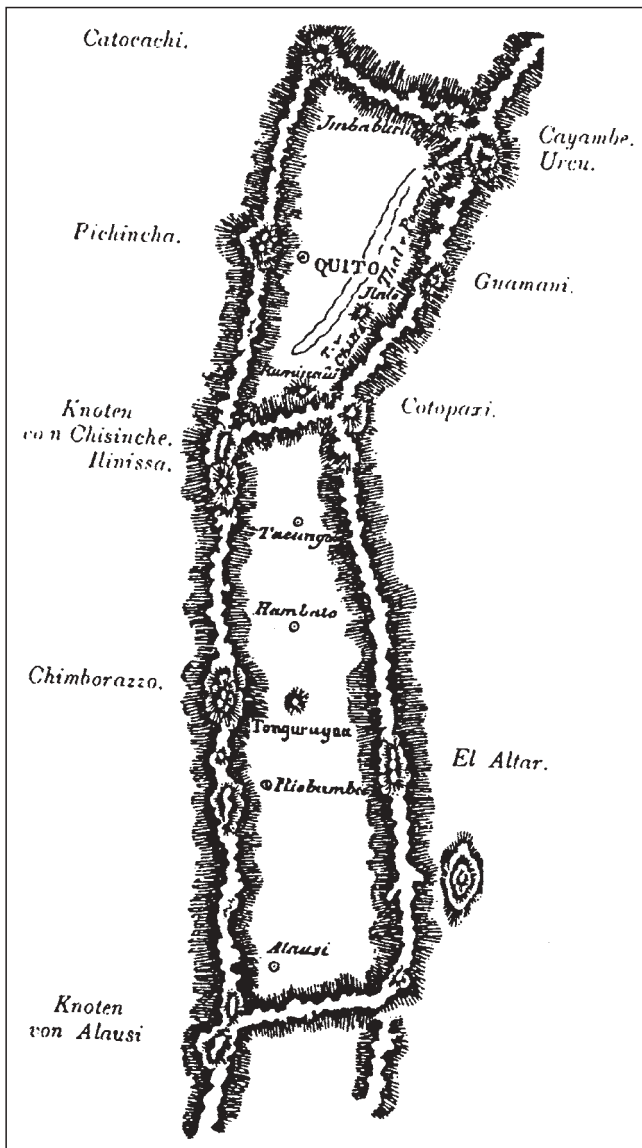


Abb. 44.  
Die Vulkane in der Nähe von Quito nach HUMBOLDT.  
Aus KLENCKE (1870).

gend meinte, die dieser fünf Jahre zuvor vor der Akademie am gleichen Ort vorgetragen hatte, konische Basalthügel und glockenförmige, kraterlose Trachytberge.

Alle diese Erscheinungen beweisen<sup>332)</sup>,

*„... daß diese Kräfte nicht oberflächlich aus der dünnen Erdrinde, sondern tief aus dem Innern unseres Planeten durch Klüfte und unausgefüllte Gänge nach den entferntesten Punkten der Erdoberfläche gleichzeitig hinwirken.“*

Diese Aussage bildet die Grundlage zur vulkanistischen Erdbeben-theorie HUMBOLDTS, wie er sie in ihrer ersten Form im ersten Band des Kosmos dargestellt hat.

### 3.9.3. HUMBOLDTS „Physik der Erde“ als übergeordneter Rahmen seiner vulkanistischen Erdbeben-theorie

Man kann HUMBOLDTS Ausarbeitung seiner schon frühzeitig auf seiner Amerikareise konzipierten vulkanistischen Theorie der Erdbeben im ersten Band des Kosmos deshalb als eine zweite Phase seiner Erdbebenforschungen anse-

<sup>332)</sup> HUMBOLDT, A. v.: a.a.O. S. 189.

hen, weil sie erst zu diesem Zeitpunkt (1845) in den umfassenden Rahmen einer Physik der Erde gestellt wird.

Auf diesen Rahmen hat Alexander VON HUMBOLDT selbst mit fast den selben Worten wie 100 Jahre zuvor KANT hingewiesen<sup>333)</sup>:

*„Was Erdstöße erregen kann, ist überall unter unseren Füßen.“*

Das aber bedeutet, dass für jede kausale Erforschung der Erdbeben die Kenntnis des inneren Zustandes der Erde unerlässlich ist.

Je nach den Dichtigkeitsverhältnissen und dem Wärmezustand der Erde ergaben sich sowohl für die Theorie der Ursachen als auch für die Theorie der Fortpflanzung der Erdbeben Konsequenzen, die über die vorgebrachten Alternativen entschieden. So war bereits die Kenntnis der mehr als fünfmal die Dichte des Wassers übersteigenden mittleren Dichte des Erdkörpers ein Argument gegen die neptunistischen Erdbeben-theorien, die nicht nur entwicklungs-geschichtlich, sondern auch für den zeitgenössischen Zustand der Erde einen zu großen Anteil an Wassermassen annehmen mussten, deren geringe Dichte mit den experimentell erfassten Werten der Erddichte insgesamt nicht zu vereinbaren war, während ein hoher Wärmezustand des Erdkörpers vulkanistische und plutonistische Erdbeben-theorien unterstützte, aber auch durch die Einsichten in den säkularen Erkaltungsprozess der Erde die Kontraktionstheorie und somit die Entwicklung der Theorie der tektonischen Erdbeben begünstigte.

So entscheidend die Kenntnis des Wärmezustandes der Erde für die Theorien über die Ursachen der Erdbeben ist, so wichtig ist die Kenntnis über die Dichte des Erdkörpers für die Theorien der Ausbreitung der Erdbeben. Denn die errechnete mittlere Dichtigkeit des Erdkörpers lieferte einerseits die Grundlage zur Theorie der Erdbebenwellen und andererseits lieferte die Theorie und experimentelle Messungen der tatsächlich aufgetretenen Erdbebenwellen, die wegen der unterschiedlichen Dichteverhältnisse der Erdschichten mehrfach gebrochen werden, ein immer genaueres Bild von der inneren Struktur des Erdkörpers. Die große Bedeutung, die den theoretischen Überlegungen über Dichte und Temperatur des Erdkörpers für die Erdbeben-theorien zukommt, rechtfertigt die genaue Darstellung ihrer Geschichte. Denn solange man sich nicht über die innere Beschaffenheit der Erde im Klaren war, hing jede Überlegung über die Ursachen der Erdbeben in der Luft.

KANT musste noch zu seiner Zeit eingestehen, dass die größte Tiefe, in die Menschen zu seiner Zeit in das Erdinnere vorgedrungen sind, noch nicht einmal 500 Klafter beträgt; das heißt noch nicht den sechstausendsten Teil von der Entfernung bis zum Mittelpunkt der Erde<sup>334)</sup>. Daran sollte sich bis zu HUMBOLDTS Zeiten kaum etwas ändern. Denn auch er konnte nur feststellen, dass alles, was tiefer liegt als der vom Senkblei an einzelnen Stellen erreichte Meeresgrund

*„... uns ebenso unbekannt ist, wie das Innere der anderen Planeten unseres Sonnensystems.“*

Was auf Grund astronomischer Daten und Berechnungen zur Zeit HUMBOLDTS jedoch bereits bekannt war, ist die Masse der ganzen Erde und ihre mittlere Dichte, verglichen mit den oberen, uns zugänglichen Schichten. Alles andere beruht auf bloßen Vermutungen<sup>335)</sup>:

*„Wo alle Kenntnis chemischer und mineralogischer Naturbeschaffenheit im Inneren des Erdkörpers fehlt, sind wir wieder, wie bei den fernsten um die Sonne kreisenden*

<sup>333)</sup> HUMBOLDT, A. v.: Kosmos, Bd. IV, S. 228.

<sup>334)</sup> KANTS Werke I, S. 432.

<sup>335)</sup> HUMBOLDT, A. v.: Kosmos, Bd. I, S. 167.

*Weltkörpern, auf bloße Vermutungen beschränkt. Wir können nichts mit Sicherheit bestimmen.“*

Während aber den bereits dargestellten<sup>336)</sup> Auffassungen über das Erdinnere in der Antike und in der beginnenden Neuzeit ebenso wie den phantastischen oft noch mit biblischen Sintflutvorstellungen vermischten Erdentstehungstheorien noch jegliche empirische Stützung fehlte, kann HUMBOLDT schon zumindest einen indirekten Beweis für seine Vorstellung eines feuerflüssigen Erdkerns liefern. Denn zu seiner Zeit war bereits die von NEWTON aus theoretischen Gründen vermutete Abplattung der Erde durch die berühmten Gradmessungen von LA CONDAMINE und BOUGUER in Peru und von MAUPERTIUS und CLAIRAULT in Lappland bestimmt worden. Dazu kamen noch acht europäische und zwei ostindische, aus denen dann nach den strengsten theoretischen Anforderungen des deutschen Astronomen BESSEL eine Abplattung von 1/299 errechnet worden ist, die sehr nahe dem von NEWTON vorausgesetzten Wert von  $1/300$  kam und überdies mit dem aufgrund der Mondstörungen von LAPLACE astronomisch berechneten Wert fast völlig übereinstimmte<sup>337)</sup>. Damit war die lang andauernde Diskussion über die wahre Gestalt der Erde endgültig entschieden. Denn über die Abweichung von der Kugelgestalt war man sich zunächst nicht einig. COLUMBUS nahm bekanntlich eine birnenförmige Gestalt der Erde an, in der man noch die Nachklänge der alten Vorstellung vom Weltberg spürt, wie ihn nicht nur die Babylonier, sondern auch noch die Kirchenväter des frühen Mittelalters angenommen hatten<sup>338)</sup>. Und sogar noch im 17. Jahrhundert gab es einer der Abplattungstheorie völlig entgegengesetzte Vorstellung von der Figur der Erde. Sie stammt von dem Kaplan CHILDREY, der in seiner Schrift „Britannia Baconica“ vom Jahre 1661 die seltsame Ansicht vertrat, dass die Erde an den Polen zugespitzt sei<sup>339)</sup>. Sie war zwar ursprünglich nach seiner Meinung kugelförmig, aber die ununterbrochen fortschreitende Zunahme der Eisschichten an den Polen veränderte die Figur des Erdkörpers. Und da das Eis sich aus Wasser bildet, nimmt die Wassermenge überall ab<sup>340)</sup>.

Nachdem aber durch empirische Untersuchungen, Messungen und Berechnungen die Entscheidung für die Abplattung der Erde gefallen war, konnte HUMBOLDT dieses Ergebnis für seine entwicklungsgeschichtlichen Überlegungen benützen. Denn die so nachgewiesene Abplattung bezeugt nach seiner Meinung die Art der Entstehung der Erde – „sie ist ihre Geschichte“. Und ein elliptisches Rotations-Sphäroid deutet auf eine „einst weiche oder flüssige Masse“, die im Laufe der Zeit immer mehr erstarrte<sup>341)</sup>.

Den Grad der Starrheit oder Dichtigkeit, welche die Erde heute erreicht hat, konnte ebenfalls zu HUMBOLDTS Zeiten empirisch festgestellt werden. Nach Untersuchungen von CAVENDISH, BAILY und REICH ergab sich ein Wert, der mehr als fünfmal größer ist als die Dichtigkeit des reinen Wassers. Damit waren auch die Vorstellungen mancher Neptunisten, dass das Erdinnere hauptsächlich aus einer Wasserkugel besteht, erledigt. Weil aber die Dichtigkeit der trockenen und ozeanischen Erdoberfläche nach HUMBOLDTS Schätzung zusammen kaum 1,6 beträgt, so folgt aus der umgebenen mittleren Dichte der Erde, dass die relative Dichtigkeit gegen das Zentrum hin zunehmen muss. HUMBOLDT nahm deswegen die Vorstellung eines feuerflüssigen Erdkerns mit sehr hoher Dichtigkeit und Temperatur an.

### 3.9.3.1. Kontroversen über den Wärmezustand des Erdinnern

Der Temperaturanstieg in größerer Tiefe des Erdinnern war schon frühzeitig bekannt. So schloss ATHANASIUS KIRCHER aus den Berichten der Freiburger Grubenarbeiter, dass in der Tiefe die Hitze immer mehr zunehme, auf ein Zentralfeuer im Innern der Erde<sup>342)</sup>. Ebenso deutlich sprachen sich auch ROBERT BOYLE<sup>343)</sup> und BOERHAVE<sup>344)</sup> für eine Zunahme der Wärme gegen das Erdinnere aus.

Auch KANT<sup>345)</sup> vertrat anlässlich der Diskussion um den vulkanischen Ursprung der Unebenheiten des Mondes in einer Schrift vom Jahre 1786 die Vorstellung, dass das Innere der Erde, wie auch das aller anderen Planeten und Monde und das Sonnensystem selbst mit erhitzten elastischen Dünsten erfüllt sei. Wie groß das Ausmaß der Wärme sei, kann er zwar nicht angeben, doch von seiner Nebularhypothese der Entstehung des Sonnensystems aus betrachtet, muss die Größe der Erhitzung der Quantität der zusammengeballten Materie proportional sein. Deswegen besitzt auch der Zentralkörper als die größte Masse auch die größte Hitze und wird in jedem Planetensystem eine leuchtende Sonne sein<sup>346)</sup>.

*„Wie groß der Anwachs sein möge, darüber haben wir keine Eröffnung; doch scheint das Maß der ursprünglichen Verdünnung der Grad der nachmaligen Verdichtung und die Kürze der Zeit derselben hier in Anschlag zu kommen. Da die letztere und auf den Grad der Anziehung, die den zerstreuten Stoff vereinigte, diese aber auf die Quantität der Materie des sich bildenden Weltkörpers ankommt: so musste die Größe der Erhitzung der letzteren auch proportional sein. Auf diese Weise würden wir einsehen, warum der Centrankörper (als die größte Masse in jedem Weltsystem) auch die größte Hitze haben, und allerwärts eine Sonne sein könne.“*

Zu HUMBOLDTS Zeiten war jedoch noch lange nicht die Entscheidung für einen feuerflüssigen oder heißen Erdkern gefallen. Denn obwohl GAY-LUSSAC die chemischen Hypothesen DAVYS einer strengen Kritik unterzog, unterstützte er letzten Endes die Annahmen von DAVY, die in Frankreich vor allem von AMPÈRE aufgenommen worden ist. Während AMPÈRE noch wie DAVY der unwahrscheinlichen Meinung war, dass die Erdwärme nur eine Folge der fortwährenden chemischen Wirkung eines Kernes von erd- und alkalischen Metallen gegen die oxydierende äußere Rinde sei<sup>347)</sup>:

*„On ne peut douter qu'il existe dans l'intérieur du Globe des courants électro-magnétiques et que ces courants sont la cause de la chaleur qui lui est propre. Ils naissent d'un noyau métallique central, composé des métaux que Sir Humphry Davy nous a fait connaître, agissant sur la couche oxidée qui entoure le noyau.“*

suchte dagegen GAY-LUSSAC, wie HUMBOLDT berichtete, die Ursache der vulkanischen Erscheinungen in einer<sup>348)</sup>

*„... affinité très énergique et non encore satisfaite entre les substances, à laquelle un contact fortuit leur permettait d'obéir; r begünstigt im Ganzen die aufgegebenen Davy'sche und Ampère'sche Hypothesen; en supposant que les radicaux de la silice, de l'alumine, de la chaux et du fer soient unis*

<sup>336)</sup> OESER, E.: Historical Earthquake Theories from Aristotle to Kant. – In: GUTDEUTSCH, R., GRÜNTAL, G. & MUSSON, R.: Historical Earthquakes in Central Europe. Vol. I. – Abh. Geol. B.-A., 48, S. 11–31, Wien 1992.

<sup>337)</sup> LAPLACE, P.S.: Mécanique Céleste T.V. – S. 13 u. 43.

<sup>338)</sup> Vgl. SAPPER, K.: Die Erforschung der Erdrinde. – In: H. KRAEMER (Hrsg.): Weltall und Menschheit, S. 50–55, Berlin o.J.

<sup>339)</sup> CHILDREY: Britannia Baconica. – p. 148, 1661.

<sup>340)</sup> HUMBOLDT, A. v.: Kosmos, Bd. I, S. 409.

<sup>341)</sup> HUMBOLDT, A. v.: a.a.O. S. 171.

<sup>342)</sup> KIRCHER, A.: Mundus subterraneus II. – S. 184, Amsterdam 1664.

<sup>343)</sup> BOYLE, R.: Tractatus de temperie subterraneanarum.

<sup>344)</sup> BOERHAVE, H.: Elementa chemiae I. – p. 479, Leiden 1732.

<sup>345)</sup> KANT, I.: Über die Vulkane der Monde, Werke VIII. – Akademieausgabe, S. 75.

<sup>346)</sup> KANT, I.: a.a.O. S. 75.

<sup>347)</sup> Théorie des phénomènes électro-dynamiques. – 1826, p. 199; vgl. HUMBOLDT, Kosmos I, S. 439.

<sup>348)</sup> Reflexions sur les Volcans. – In: Annales de Chimie et de Physique T XXII, p. 419, 420, 423, 426. Vgl. HUMBOLDT, Kosmos Bd. IV, S. 489.

*au chlore dans l'intérieur de la terre; auch das Eindringen des Meerwassers ist ihm nicht unwahrscheinlich unter gewissen Bedingungen.“*

Eine ganz andere kosmologisch-astronomische Hypothese über die Wärmeverhältnisse im Inneren der Erde, die als erster AEPINUS in seinem 1761 in St. Petersburg erschienenen Werk „De distributione caloris per tellurem“ aufgestellt hatte, wurde von POISSON in seiner „Théorie mathématique de la Chaleur“ (1835) vertreten. Er lehnte die Vorstellung FOURIERS vom flüssigen Zustand des Erdinneren ab und glaubte, dass bei dem Erkalten der Erdoberfläche durch Strahlung gegen den Weltraum die an der Oberfläche zuerst erstarrten Teile abgesunken sind. Durch einen doppelten ab- und aufwärts gerichteten Strom sind nach seiner Meinung die großen Unterschiede im Wärmezustand der Erdkugel vermindert worden, die bei einem festen, nur von der Oberfläche her erkalteten Körper vorhanden sein würden. Im Gegensatz zur KANT-LAPLACE-These über die Entstehung des Sonnensystems hielt er es überhaupt für wahrscheinlicher, dass die Erstarrung der Erde in den dem Mittelpunkt näher liegenden Schichten angefangen habe. Das empirisch festgestellte Phänomen, dass mit der Tiefe die Wärme zunimmt, erstreckt sich nach seiner Meinung gar nicht auf die ganze Erdmasse, sondern ist bloß die Folge der Bewegung unseres Sonnensystems durch unterschiedliche Gegenden des Weltraums, die nach seiner Meinung durch „Sternenwärme“ (chaleur stellaire) sehr verschiedene Temperatur haben. POISSON vergleicht den Erdkörper mit einem Felsblock, der in kurzer Zeit in klimatisch unterschiedliche Gegenden der Erde transportiert wurde. Vom Äquator nach dem Pol geschafft würde dieser Felsblock in so kurzer Zeit weder ganz erkalten, noch würde sich die Temperaturzunahme in diesem Block bis zu den Schichten seiner Mitte erstrecken<sup>349)</sup>.

HUMBOLDT dagegen stützt seine Ansicht über den gegenwärtigen Zustand der Erde auf LAPLACES Kosmologie, die den flüssigen Kern nicht auf die angeblich unterschiedlichen Wärmeverhältnisse des Weltraums zurückführt, sondern ihn vielmehr aus der Zusammenballung der gasförmig-flüssigen rotierenden Materie erklärt. Als Beweis dafür sieht HUMBOLDT, wie bereits oben erwähnt, die Abplattung der Erde an und zumindest als berechtigter Analogieschluss die bisher nachgewiesene ununterbrochene Zunahme der Wärme bei zunehmender Tiefe der Erde. Zu der Erklärung des Prozesses der Erstarrung der Erde und der daraus resultierenden Ansicht vom flüssigen Erdkern, folgt HUMBOLDT gänzlich der analytischen Wärmetheorie von FOURIER<sup>350)</sup>:

*„Die Abplattung, Folge der auf eine rotierende Masse einwirkenden Schwerkraft, offenbart den früheren Zustand der Flüssigkeit unsres Planeten. Bei dem Erstarren dieser Flüssigkeit, die man geneigt ist als eine dunstförmige, bereits ursprünglich zu einer sehr hohen Temperatur erhitzte anzunehmen, ist eine ungeheure Menge latenter Wärme frei geworden. Fing der Prozeß der Erstarrung, wie Fourier will, von der zuerst durch Strahlung gegen den Himmelsraum erkaltenden Oberfläche an, so blieben die dem Mittelpunkt der Erde näheren Theile flüssig und glühend. Da nach langer Ausströmung der Wärme vom Mittelpunkt gegen die Oberfläche auch endlich ein Stabilitätszustand in der Temperatur des Erdkörpers hergestellt hat, so wird angenommen, daß mit zunehmender Tiefe auch die unterirdische Wärme ununterbrochen zunehme. Die Wärme der Wasser, welche den Bohrlöchern (artesischen Brunnen) entquellen, unmittlere Versuche über die Temperatur des Gesteins in den Bergwerken, vor allem*

*aber die vulkanische Thätigkeit der Erde, d.i. der Erguß geschmolzener Massen aus geöffneten Spalten: bezeugen diese Zunahme auf das unwidersprechlichste für sehr beträchtliche Tiefen der oberen Erdschichten. Nach Schlüssen, die sich freilich nur auf Analogien gründen, wird dieselbe auch mehr als wahrscheinlich weiter gegen das Centrum hin.“*

Gerade weil HUMBOLDT sehr genau die Kalküle der analytischen Wärmelehre von FOURIER, BIOT, LAPLACE, POISSON, DUHAMEL und LAMÉ, die eigens für diese Untersuchungen des Wärmezustandes der Erde an dem Idealfall der Bewegung der Wärme in homogen metallischen Sphäroiden entwickelt worden sind, kennt und ausdrücklich zitiert<sup>351)</sup>, ist er auch sehr viel vorsichtiger in seinen Vermutungen über den realen Zustand des Erdinneren, als in späteren Darstellungen seiner Ansichten<sup>352)</sup> angenommen wurde. Zwar hat er immer schon die Annahme bevorzugt, dass die feste, schon erstarrte Erdkruste von unterschiedlicher Dicke wie ein gezacktes Gewölbe über der geschmolzenen Masse liegt und zerklüftet und in Gänge zerrissen ist<sup>353)</sup>, doch hat er andere Aggregatzustände zwischen flüssig und fest im Inneren der Erde nicht ausgeschlossen<sup>354)</sup>:

*„Am schwierigsten für unsere Fassungskraft ist die Vorstellung von der Grenzlinie zwischen der flüssigen Masse des Inneren und den schon erhärteten Gebirgsarten der äußeren Erdrinde, von der allmähigen Zunahme der festen Schichten und dem Zustande der Halbflüssigkeit erdiger zäher Stoffe, für welche die bekannten Gesetze der Hydraulik nur unter beträchtlichen Modificationen gelten können.“*

Über die Dicke der festen Erdkruste hat sich HUMBOLDT ebenfalls wegen der damaligen geringen Kenntnis der Stoffe, aus denen die Erde zusammengesetzt ist und bei der Verschiedenheit der Wärmekapazität und Leitungsfähigkeit aufeinander geschichteter Massen ebenso wie bei den möglichen chemischen Umwandlungen, die feste und flüssige Stoffe durch den ungeheuren Druck erleiden, nur sehr vorsichtig geäußert. Nach übereinstimmenden Untersuchungen über die mit der Tiefe zunehmenden Wärme wurde von HUMBOLDT vermutet, dass ca 5 geographische Meilen unter der Oberfläche (das ist 4 bis 5 mal gleich dem höchsten Gipfel des Himalaya-Gebirges) eine „granit-schmelzende Glühhitze“ herrsche<sup>355)</sup>.

Allerdings handelt es sich bei dieser Angabe, ebenfalls wie bei den Spekulationen um die Temperatur des Erdkerns, um eine umstrittene Analogie, nach der mit zunehmender Tiefe ein stetiger Anstieg der Temperatur angenommen wurde. Aus der ebenso sorgfältigen Zusammenstellung der Temperaturmessungen in Bergwerken und Bohrlöchern, wie sie HUMBOLDT gleichzeitig mit der die Tiefenmessungen betreffenden durchgeführt hat, geht seiner Meinung nach hervor, dass pro 30 Meter Tiefe ein Temperaturanstieg um 1° des hundertteiligen Thermometers (Celsius) festzustellen ist.

Dass HUMBOLDT eine gleichbleibende stetige Zunahme in den nicht erforschten Tiefen der Erde annahm, geht daraus hervor, dass er den untersten Steinkohlenflöz im Saarrevier in der Gegend von Duttweiler, der nach seiner Meinung bis auf 20.665 Fuß oder 9/10 geographischer Meile herabreicht, auf eine Temperatur von 224° schätzte<sup>356)</sup>.

<sup>351)</sup> Ebenda.

<sup>352)</sup> DÜCK, J.: Die Stellung Alexander VON HUMBOLDT zur Lehre von den Erdbeben. – In: Die Erdbebenwarte, 3–4, S. 59–68, Laibach 1903-1905.

<sup>353)</sup> HUMBOLDT, A.v.: Über den Bau und die Wirkung der Vulkane, S. 189.

<sup>354)</sup> HUMBOLDT, A.v.: Kosmos, Bd. I, S. 180.

<sup>355)</sup> HUMBOLDT, A.v.: a.a.O. S. 27.

<sup>356)</sup> HUMBOLDT, A.v.: a.a.O. S. 419.

<sup>349)</sup> HUMBOLDT, A.v.: Kosmos, Bd. I, S. 425.

<sup>350)</sup> HUMBOLDT, A.v.: a.a.O. S. 179.

Doch war die Hypothese einer gleichmäßigen Wärmezunahme, wie ja HUMBOLDT selbst betont hatte, immer umstritten. Weitere Bohrungen, wie etwa in dem in Salz abgetauften Bohrloch von Sperenberg<sup>357)</sup> wiesen darauf hin, dass man in immer größere Tiefen gehen muss, um einen Zuwachs von 1°C zu erhalten.

Die physikalische Erklärung dieser Erscheinung ergibt sich aus der LAPLACESchen Nebularhypothese der Entstehung des Sonnensystems. Die hohe Temperatur des Erdkerns ist danach als Rest der ursprünglichen Ballungswärme anzusehen. Die gegen den Mittelpunkt abnehmende Zunahme der Wärme ist dann eine Folge der Abkühlung der glühenden Erdkugel, durch Ausstrahlung der Wärme in den kalten Weltraum. Diese wird an der Oberfläche der Erde am stärksten sein und in tieferen Schichten immer geringer werden, je mehr diese Schichten von den darüber gelagerten geschützt sind. Der innerste Erdkern wird daher notwendigerweise seine Glut am längsten bewahren. Wenn also die Abstrahlung immer geringer wird, je tiefer die Schicht liegt, so muss auch der Temperaturverlust immer kleiner und demnach auch die Temperaturzunahme in den tieferen Schichten immer geringer werden. Nur wer den ehemals glutheißen Zustand der Erde nicht annimmt und die Erdwärme, wie POISSON, durch einen von außen herkommenden Erwärmungsvorgang erklären will, kann daher einen kalten Erdkern annehmen. Alle anderen Überlegungen weisen auf einen heute noch vorhandenen heißen Erdkern hin.

Über die dort vorhandene Temperatur war man sich völlig uneins. Manche Autoren, z.B. CORDIER und KUPFFER, die wie HUMBOLDT noch von einer gleichmäßigen Wärmezunahme in arithemischer Progression ausgingen, hatten Temperaturgrade von 200.000 bis 250.000° C herausgerechnet<sup>358)</sup>. Andere wiederum, die angenommen hatten, dass die geothermischen Tiefenstufen immer größer und größer werden, je tiefer man herabsteigt, gelangten zu wesentlich niedrigeren Temperaturen. Man muss zwar dann die Dicke der festen Erdkruste viel größer annehmen, als es etwa HUMBOLDT getan hatte, statt 4–5 Meilen „vielleicht 30–40 Meilen“<sup>359)</sup>. Aber von hier an bis zum Mittelpunkt ist man dann nicht mehr nach dieser Auffassung gezwungen ein viel weiteres Steigen der Temperatur, d.h. über ca. 2.000° anzunehmen. Denn, so meinte der deutsche Geologe NAUMANN<sup>360)</sup>,

„... ist das Innere wirklich flüssig, so braucht auch die Temperatur jenseits der Grenze des flüssigen Kernes nicht viel höher zu steigen, während sie innerhalb desselben ziemlich constant sein kann, weil dort nothwendig Strömungen stattfinden müssen, durch welche sich die etwaigen Differenzen mehr und mehr ausgleichen.“

Auch über die Annahme verschiedener Aggregatzustände der Erde, über die sich bereits HUMBOLDT Gedanken gemacht hat, gab es zunächst große Meinungsverschiedenheiten. Es waren vor allem astronomisch-physikalische Gründe, die Zweifel an der Flüssigkeit des Erdinnern aufkommen ließen. Der englische Astronom HOPKINS schloss aus der Präcessions- und Nutationsbewegung der Erdachse, die man sich als eine Bewegung vorstellen kann, wie sie ein wankender Kreisel ausführt, dass ein großer Teil der Erde sehr starr sein muss. Sein Argument war, dass diese ablenkenden Wirkungen, die von Sonne und Mond auf der Erde ausgeübt werden, sehr gering sein müssten, wenn das Erdinnere zum größten Teil flüssig wäre. Denn unter Voraussetzung idealer Liquidität würden keine ablen-

kenden Wirkungen in der Bewegung der Erde hervorgerufen werden. Es würden vielmehr nur periodische Verzerrungen des Erdkörpers im Sinne von Ebbe und Flut stattfinden. Die beobachtbaren Ablenkungen (Präcession und Nutation) sind jedoch so groß, dass man nach HOPKINS eine sehr dicke Erdkruste von mindestens dem fünften oder sogar dem vierten Teil des Erdradius annehmen muss. Der flüssige Kern der Erde wäre nach HOPKINS viel kleiner als alle Berechnungen, die sich aus der mit der Tiefe zunehmenden Erdwärme bisher ergaben.

Gegen diese Überlegungen von HOPKINS richtet sich aber der nicht minder bekannte französische Astronom DELAUNY<sup>361)</sup> mit einem entscheidenden, für die Erklärung der Erdbeben wichtigen Argument. HOPKINS hatte in seinen Berechnungen einen starren Körper einerseits und eine ideale Flüssigkeit andererseits angenommen. Aber ein solcher idealer Zustand der Flüssigkeit ist eine Abstraktion, die es in der Realität nicht gibt. Jedem uns bekannten Körper kommt vielmehr ein gewisser Grad von Viskosität zu. Nach DELAUNY besteht wegen des gewaltigen in der Tiefe herrschenden Druckes das Erdinnere aus einer zähen Masse.

Aus dieser kontroversen Diskussion über den Aggregatzustand der Erde zog dann der Geologe E. REYER in seinem 1877 erschienen Buch „Beitrag zur Physik der Eruptionen und Eruptivgesteine“ den Schluss, dass, gleichgültig wie immer man die einzelnen Aggregatzustände im Inneren der Erde annehmen will, die Erde im Ganzen als ein sehr starrer Körper anzusehen ist<sup>362)</sup>:

„Man wird allerdings zugestehen müssen, daß die beobachteten Erscheinungen in zweierlei Weise gedeutet werden können: Entweder ist ein kleiner Kern absolut flüssig oder was mehr Wahrscheinlichkeit für sich hat – der Kern ist größer und viscos. Wir haben uns hier aber nicht für ein oder das andere zu entscheiden, sondern halten uns an das beiden Lösungen Gemeinsame: die Erde im großen Ganzen ist sehr starr.“

### 3.9.3.2. Die Veränderung der Größe der Erde und ihre Auswirkung auf die äußere Gestalt der Rinde

Ein weiteres – bis zum Ende des 19. Jahrhunderts umstrittenes Problem –, das einen wesentlichen Einfluss auf die Theorienbildung über die Ursachen der Erdbeben hatte, war die Frage nach der Veränderung der Größe bzw. des Volumens der Erde. Aufgetreten ist diese Fragestellung im Zusammenhang mit der Annahme einer zeitlich sehr lange andauernden Veränderung des thermischen Zustandes der Erde.

Bereits HUMBOLDT<sup>363)</sup> unterschied dreierlei Bewegungen der Wärme im Erdkörper:

- Die erste ist periodisch und verändert die Temperatur der Erdschichten, indem entsprechend der Verschiedenheit des Sonnenstandes und der Jahreszeiten die Wärme von der Erdoberfläche nach unten eindringt oder auf dem selben Weg von unten nach oben wieder ausströmt. Diese jahreszeitliche Veränderung der Temperatur betrifft jedoch nur die obersten Schichten der Erdkruste. Der Unterschied zwischen der höchsten und niedrigsten Temperatur des Jahres ist umso kleiner, je tiefer man hinabsteigt. Nach FOURIER, dem HUMBOLDT in seinen Betrachtungen folgt<sup>364)</sup>, nimmt der Unterschied in geometrischer Reihe ab, wenn die Tiefe in arithmetischer Reihe wächst. Die invariable Erdschicht, die überhaupt keine jahreszeitlichen Temperaturschwankungen

<sup>357)</sup> FALB, R.: Über Erdbeben. – S. 89, Wien, Pest, Leipzig 1859.

<sup>358)</sup> CORDIER: Mém. de l'Institut. Tom VII. KUPFFER, Poggendorff's Annalen Bd. XV. S. 159; vgl. LYELL, Principles of Geology, S. 278.

<sup>359)</sup> FALB, R.: a.a.O. S. 95.

<sup>360)</sup> NAUMANN: Geologie I, S. 59.

<sup>361)</sup> Comptes rendus 1868.

<sup>362)</sup> Vgl. FALB, R.: a.a.O. S. 88.

<sup>363)</sup> HUMBOLDT, A.v.: Kosmos, Bd. I, S. 118.

<sup>364)</sup> HUMBOLDT, A.v.: Kosmos, Bd. IV, S. 38

aufweist, ist in ihrer Tiefe abhängig von der Polhöhe, von der Leitungsfähigkeit des umgebenden Gesteins und der Größe des Temperaturunterschiedes zwischen der heißesten und kältesten Jahreszeit.

- Die zweite Art der Bewegung, die HUMBOLDT durch vergleichende Untersuchungen der Verteilung der Wärme über die Erdoberfläche feststellen konnte, ist ebenfalls eine Wirkung der Sonne, aber von „außerordentlicher Langsamkeit.“<sup>365)</sup> Ein Teil der Wärme, die in den Äquatorialgegenden eingedrungen ist, bewegt sich nämlich nach der Auffassung von HUMBOLDT im Inneren der Erdrinde gegen die Pole und strahlt dort in die Lufthülle und den fernen Weltraum aus.
- Die dritte Art der Bewegung ist die langsamste von allen. Sie besteht in der säkularen Erkaltung des Erdkörpers. Der Verlust, den die Zentralwärme erleidet, war nach HUMBOLDTS Auffassung in der frühen Entwicklung der Erde sehr groß, ist aber in historischen Zeiten so gering geworden, dass er für die damaligen Instrumente kaum messbar ist.

Entscheidend für die weitere Entwicklung der Erdbeben-theorien ist jedoch die Folgerung, die HUMBOLDT aus diesem säkularen Wärmeverlust des Erdkörpers zieht. Er stellt nämlich bereits ausdrücklich fest, dass dieser Wärmeverlust eine „Faltung (Runzelung) der starren Oberfläche bewirkt“<sup>366)</sup> und hat damit den ersten Ansatz der für die Erklärung der so genannten tektonischen oder Dislokationsbeben grundlegenden Schrumpfungstheorie des Erdkörpers geliefert.

HUMBOLDT war jedoch nicht so einseitig wie die späteren Vertreter dieser Schrumpfungstheorie HEIM<sup>367)</sup> und SUESS<sup>368)</sup>, welche die gesamte Gebirgsentstehung auf den säkularen Prozeß der Erkaltung der Erdoberfläche zurückzuführen versuchten. Vielmehr waren für ihn im Sinne seines allgemeinen Vulkanismus, der den Plutonismus, d.h. die Wirkung der tieferliegenden Erdregionen, mit einschloss, die Hebungskräfte des glutflüssigen Erdinnern für die Gebirgsbildung von ungleich größerer Bedeutung. Auch vertrat er gegenüber dem von den Schrumpfungstheoretikern angenommenen „fixistischen“ Standpunkt eine eher dynamische „mobilitische“ Auffassung, die als Vorläufer der Kontinentaldrift von WEGENER und der modernen Plattentektonik auch eine horizontale Verschiebung von kontinentalen Landmassen annahm, wie folgendes Zitat beweist<sup>369)</sup>:

*„Unser atlantischer Ocean trägt alle Spuren einer Thalbildung. Es ist als hätten fluthende Wasser den Stoß erst gegen Nordost, dann gegen Nordwest, und dann wiederum nordöstlich gerichtet. Der Parallelismus der Küsten nördlich von 10° südl. Breite an, die vor- und einspringenden Winkel die Convexität von Brasilien dem Golf von Guinea gegenüber, die Convexität von Afrika unter einerlei Breiten mit dem antillischen Meerbusen sprechen für diese gewagt scheinende Ansicht.“*

Andererseits stellt er jedoch resignierend fest, dass man für eine kausale Erklärung dieses Phänomens der gegenseitigen Passung der Küstenlinien nur wenig empirische Gründe angeben kann. Fest steht für ihn jedoch, dass die wirkenden Ursachen unterirdisch sein müssen<sup>370)</sup>:

*„Über den Causalzusammenhang solcher großen Begebenheiten der Länderbildung, der Aehnlichkeit und des Contrastes in der Gestaltung, ist wenig empirisch zu*

*ergründen. Wir erkennen nur das Eine: dass die wirkende Ursache unterirdisch ist.“*

Diese „plutonischen Mächte“ sind für HUMBOLDT auch heute noch wirksam. Sie haben sich in ihrer Intensität keineswegs vermindert. Alle geologischen Phänomene wie Erdbeben, Hebungen von kontinentalen Landmassen und das Entstehen von neuen Inseln durch die Tätigkeit von Vulkanen deuten auf einen periodischen Wechsel von Tätigkeit und Ruhe<sup>371)</sup>:

*„Die Ruhe, die wir genießen, ist nur eine scheinbare. Das Erdbeben, welches die Oberfläche unter allem Himmelsstrichen, in jeglicher Art des Gesteins erschüttert; das aufsteigende Schweden, die Entstehung neuer Ausbruchs-Inseln zeugen eben nicht für ein stilles Erdenleben.“*

### 3.9.4. HUMBOLDTS vulkanistische Erdbeben-theorie

Aus diesen theoretischen Vorstellungen des inneren Aufbaus der Erde resultiert HUMBOLDTS vulkanistische Erdbeben-theorie, die mit den gegenwärtigen Vorstellungen lokal begrenzter vulkanischer Erdbeben jedoch nicht zu vergleichen ist. Niedergeschrieben wurden diese Ideen in den Jahren 1843/44, also in einem Alter von 74 Jahren „am späten Abend“, wie HUMBOLDT selbst sagt „eines vielbewegten Lebens“, das ihn nicht nur nach Amerika, sondern auch nach Rußland und Zentralasien geführt hatte. Aus diesen reichhaltigen empirischen Erfahrungen seiner Reisen und den lebenslangen theoretischen Überlegungen, die er immer wieder durch umfangreiche wissenschaftshistorische Untersuchungen, die bis in die Antike reichen, unterstützt, lieferte er ein in sich logisch geschlossenes Lehrgebäude, in dem der von ihm vertretene Vulkanismus eine ganz allgemeine, nicht allein auf die Erde beschränkte Bedeutung erhält. So sagt er in der Einleitung zum ersten Band des Kosmos<sup>372)</sup>:

*„Vulkanismus nenne ich aber im allgemeinsten Sinne des Worts, sei es auf der Erde oder auf ihrem Trabanten, dem Monde, die Reaction, welche das Innere eines Planeten auf seine Rinde ausübt.“*

Nach dieser Definition, die eine Präzisierung seiner bereits 1823 in der Abhandlung über den Bau und Wirkung der Vulkane vertretenen Ansichten darstellt, wirkt sich dieser Vulkanismus auf zweifache Weise aus<sup>373)</sup>:

*„Entweder dynamisch spannend und erschütternd in Erdbeben, oder producirend und chemisch verändernd in den Vulkanen.“*

Von diesen beiden Auswirkungen des Vulkanismus im weitesten Sinn sind die Erdbeben die viel bedeutsamere und schrecklichere Erscheinung. So furchtbar und male-ri-sch auch das Bild ist, das ein feuerspeiender Berg darbietet, so ist doch seine zerstörerische Wirkung immer auf einen sehr kleinen Raum beschränkt. Ganz anders aber ist es mit den Erdbeben, die, wie HUMBOLDT sagt<sup>374)</sup>,

*„... dem Auge kaum bemerkbar, bisweilen gleichzeitig in tausend Meilen Entfernung ihre Wellen fortpflanzen.“*

Aus dieser von HUMBOLDT selbst vorgenommenen deutlichen Unterscheidung zwischen dem Vulkanismus im engeren Sinn als Ausbruch feuerflüssiger Massen aus einem Kraterberg und den Erschütterungen des Erdbodens, die sich ohne Massentransport als Wellen in kürzester Zeit fortpflanzen, ist klar, dass der Vulkanismus wie ihn HUMBOLDT versteht, nämlich als<sup>375)</sup>

<sup>365)</sup> HUMBOLDT, A.v.: Kosmos, Bd. I, S. 181.

<sup>366)</sup> HUMBOLDT, A.v.: a.a.O. S. 312.

<sup>367)</sup> HEIM, A.: Untersuchungen über den Mechanismus der Gebirgsbildung im Anschlusse an die geologische Monographie der Tödi-Windgällen-Gruppe. – Bd. 2, Basel 1878.

<sup>368)</sup> SUESS, E.: Das Antlitz der Erde. – 3 Bde. Prag – Leipzig 1885–1901.

<sup>369)</sup> HUMBOLDT, A.v.: Kosmos, Bd. I, S. 309.

<sup>370)</sup> HUMBOLDT, A.v.: a.a.O. S. 311.

<sup>371)</sup> HUMBOLDT, A.v.: a.a.O. S. 320.

<sup>372)</sup> HUMBOLDT, A.v.: a.a.O. S. 26.

<sup>373)</sup> HUMBOLDT, A.v.: Über Bau und Wirkungsart der Vulkane. – a.a. O. S. 189.

<sup>374)</sup> HUMBOLDT, A.v.: Kosmos, Bd. I, S. 217.

<sup>375)</sup> HUMBOLDT, A.v.: a.a.O. S. 209.

„Reaktion des Innern eines Planeten gegen seine Rinde und Oberfläche“

nicht zu verwechseln ist mit Vulkanausbrüchen oder den die Vulkanausbrüche als Nebenerscheinungen begleitenden, später so genannten „vulkanischen Erdbeben“. Konsequenterweise sind vielmehr nach HUMBOLDTS Theorie des allgemeinen Vulkanismus die dynamischen Erschütterungen und Erhebungen des Erdbodens gerade dort am größten, wo es nicht zu Vulkanausbrüchen und damit zu einer lokalen Entlastung der Spannungen im Erdinnern kommt.

Das beste Beispiel dafür ist das große Erdbeben von Lissabon am 1. November 1755, dessen Wirkungen bereits wie HUMBOLDT anerkennend sagt<sup>376)</sup>

„... der große Weltweise Immanuel Kant so trefflich nachgespürt hat.“

Bei diesem Ereignis erbebte gleichzeitig ein Erdraum, welcher an Größe viermal die Oberfläche von Europa übertraf.

Die Allgegenwärtigkeit und Unbegrenztheit der Erdbeben sieht HUMBOLDT nicht nur darin, dass man im Unterschied zu einem lokalen Vulkanausbruch, dem man entfliehen kann, beim Erdbeben glaubt, überall, wohin auch die Flucht gerichtet ist, über dem Herd des Verderbens zu sein. Er spricht vielmehr auf Grund seiner weltweiten eigenen Erfahrungen eine Hypothese aus, die erst viel später in unseren Zeiten durch genaue Erdbebenstatistiken bestätigt worden ist.

Die zukunftsweisende Einsicht lautet in HUMBOLDTS eigenen Worten<sup>377)</sup>:

„Wenn man Nachricht von dem täglichen Zustande der gesamten Erdoberfläche haben könnte, so würde man sich wahrscheinlich davon überzeugen, daß fast immerdar, in irgend einem Punkte diese Oberfläche erbebt.“

Diese allgemeine Verbreitung des Phänomens der Erdbeben weist auch auf seine Unabhängigkeit von der stofflichen Natur der Erdschichten und Gebirgsarten hin<sup>378)</sup>:

„Es ist nicht die chemische Natur der Bestandteile, sondern die mechanische Structur der Gebirgsarten, welche die Fortpflanzung der Bewegung (die Erschütterungswelle) modifiziert.“

Auf Grund dieser Überlegungen kommt HUMBOLDT zu seiner zumindest schon qualitativen Charakteristik der Erdbeben als mechanische Schwingungserscheinungen<sup>379)</sup>:

„Erdbeben, Erderschütterungen zeichnen sich aus durch schnell aufeinanderfolgende senkrechte, oder horizontale, oder rotatorische Schwingungen.“

Die zwei ersten Arten der Bewegung hatte HUMBOLDT sowohl auf dem festen Lande und zur See in beiden Welt-Hemisphären in nicht unbeträchtlicher Zahl selbst erlebt. Sie waren manchmal nur schwer zu unterscheiden und schienen ihm oft gleichzeitig aufzutreten zu sein.

Am auffälligsten aber sollen nach den von ihm untersuchten Berichten die minenartigen Explosionen von unten nach oben in der Stadt Riobamba bei jenem großen Erdbeben gewesen sein, das sich bereits zwei Jahre vor seiner Ankunft im Jahre 1797 ereignet hatte. Die senkrecht nach oben geführten Stöße aus dem Erdinnern waren so heftig, dass viele Leichen der Einwohner auf einen mehrere hundert Fuß hohen Hügel in der Nähe der Stadt geschleudert wurden<sup>380)</sup>.

Während diese senkrecht von unten nach oben gerichteten Stöße für die Beobachter auf der Erdoberfläche sich schlagartig ereignen, pflanzt sich die zweite Art der Bewegung, die wellenförmige Schwingung, meist geradlinig mit einer Geschwindigkeit von 5 bis 7 geographischen Meilen in der Minute fort. Teils aber erfolgt diese wellenförmige Bewegung in ellipsenförmigen Erschütterungskreisen, in denen sich die Schwingungen vom Zentrum aus gegen den Umfang mit abnehmender Stärke fortpflanzen<sup>381)</sup>.

Wie stark bereits HUMBOLDT von der Wellennatur der Erdbeben überzeugt war, zeigt seine Annahme, dass die Erschütterungskreise sich sowohl überschneiden, als auch als getrennte Wellensysteme gleichzeitig existieren können. Und sogar Interferenzerscheinungen hält er für möglich<sup>382)</sup>:

„Wenn die Erschütterungskreise sich durchschneiden, wenn z.B. eine Hochebene zwischen zwei gleichzeitig in Ausbruch begriffenen Vulkanen liegt, so können mehrere Wellensysteme gleichzeitig existieren und, wie in den Flüssigkeiten, sich gegenseitig nicht stören. Selbst Interferenz kann hier, wie bei den sich durchkreuzenden Schallwellen, gedacht werden.“

Obwohl HUMBOLDT selbst keine mathematische Theorie der Erschütterungswellen vorgelegt hat, weist er darauf hin, dass die quantitative Bestimmung der Größe der fortpflanzten Erschütterungswellen ausschließlich nach den allgemeinen Gesetzen der Mechanik erfolgt<sup>383)</sup>:

„Die Größe der fortpflanzten Erschütterungswellen wird an der Oberfläche der Erde nach dem allgemeinen Gesetze der Mechanik vermehrt, nach welchem bei der Mittheilung der Bewegung in elastischen Körpern die letzte, auf einer Seite frei liegende Schicht sich zu trennen strebt.“

HUMBOLDT weiß auch bereits genau, dass die Erschütterungswellen zumindest in ihrer Richtung und totalen Stärke durch Messinstrumente wie Pendel und „Sismometer-Becken“ ziemlich genau bestimmt werden können, jedoch noch nicht in ihrer Natur als periodische Schwingungen kürzerer oder längerer Art. Deshalb blieben ihm auch viele Erdbebenschäden rätselhaft, weil sie trotz großer Heftigkeit der Erdstöße manchmal nur geringe Zerstörungen hervorriefen. Andererseits waren wiederum die Auswirkungen jener von ihm fälschlich angenommenen „kreisenden“ oder „rotatorischen“ Erschütterungen unvorstellbar groß<sup>384)</sup>:

„Umwenden von Gemäuer ohne Umsturz, Krümmung von vorher parallelen Baumpflanzungen, Verdrehung von Aeckern, die mit verschiedenen Getreidearten bedeckt waren: sind bei dem großen Erdbeben von Riobamba, in der Provinz Quito (4 Februar 1797), wie bei dem von Calabrien (5 Februar – 28 März 1783) beobachtet worden. Mit dem letzteren Phänomen des Verdrehens oder Verschiebens der Aecker und Culturstücke, von welchen gleichsam eines den Platz des andern angenommen, hängt eine translatorische Bewegung oder Durchdringung einzelner Erdschichten zusammen. Als ich den Plan der zerstörten Stadt Riobamba aufnahm, zeigte man mir die Stelle, wo das ganze Hausgeräth einer Wohnung unter den Ruinen einer andern gefunden worden war. Das lockere Erdreich hatte sich wie eine Flüssigkeit in Strömen bewegt: von denen man annehmen muß, daß sie erst niederwärts, dann horizontal um zuletzt wieder aufwärts gerichtet waren. Streitigkeiten über das Eigenthum solcher viele

376) HUMBOLDT, A.V.: a.a.O. S. 217.

377) HUMBOLDT, A.V.: a.a.O. S. 218 f.

378) HUMBOLDT, A.V.: a.a.O. S. 219.

379) HUMBOLDT, A.V.: a.a.O. S. 210.

380) Ebenda.

381) HUMBOLDT, A.V.: a.a.O. S. 211.

382) Ebenda.

383) Ebenda.

384) HUMBOLDT, A.V.: a.a.O. S. 212.



*hundert Toisen weit fortgeführten Gegenstände sind von der Audiencia (dem Gerichtshofe) geschlichtet worden.“*

Die Vorstellung einer solchen rotatorischen Bewegung, die hier bei HUMBOLDT mit den auch beim Erdbeben von Kalabrien von LYELL beschriebenen Phänomenen der Verflüssigung des Erdbodens vermischt wird, wurde noch lange Zeit, nachdem HUMBOLDT sie bereits unter dem Einfluss MALLETS aufgegeben hatte, in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts vertreten<sup>385</sup>). Der erste jedoch, der gegen diese weitverbreitete Ansicht Einwände erhob, war DARWIN. Bereits in seinem Reisebericht hatte DARWIN Bedenken gegen eine solche Bewegungsform erhoben. Diagonale Verdrehungen an viereckigen Ornamenten auf den Giebeln von Häusern hatte er zwar selbst nach dem Erdbeben von Concepción feststellen können, doch hält er es für äußerst unwahrscheinlich, dass sie durch eine wirbelartige Bewegung des Erdbodens hervorgerufen worden sind. Vielmehr liegt für ihn der Grund in den (wenn auch unterschiedlichen) Neigungsformen der aufeinandergeschichteten Steine, die durch Stöße von unten in ähnlicher Weise aus ihrer Richtung gebracht werden wie Stecknadeln auf einem Papier, wenn dieses erschüttert wird<sup>386</sup>).

Wenngleich HUMBOLDT in diesem Fall die Einwände DARWINs, die er sonst sehr häufig zustimmend zitierte, übersehen zu haben scheint, stimmt er doch mit ihm, wie bereits gezeigt, in der Erklärung des unauslöschlichen Eindruckes eines größeren Erdbebens, auch wenn es nicht zur Zerstörung führt, auf jeden Menschen, der es zum ersten Mal erlebt, überein. So schließt HUMBOLDT auch seine im Kosmos ausgearbeitete Theorie der Erdbeben mit einer Erklärung dieses Eindruckes ab, die fast mit den selben Worten wie LYELL auf die Umkehrung der Vorstellung von der festen Erde und dem beweglichen Wasser hinweist<sup>387</sup>:

*„Ein solcher Eindruck, glaube ich, ist nicht Folge der Erinnerung an die Schreckensbilder der Zerstörung, welche unsrer Einbildungskraft aus Erzählungen historischer Vergangenheit vorschweben. Was uns so wundersam ergreift, ist die Enttäuschung von dem angeborenen Glauben an die Ruhe und Unbeweglichkeit des Starren, der festen Erdschichten. Von früher Kindheit sind wir an den Contrast zwischen dem beweglichen Element des Wassers und der Unbeweglichkeit des Bodens gewöhnt, auf dem wir stehen. Alle Zeugnisse unserer Sinne haben diesen Glauben befestigt. Wenn nun urplötzlich der Boden erbebt, so tritt geheimnisvoll eine unbekanntere Naturmacht als das Starre bewegend, als etwas Handelndes auf. Ein Augenblick vernichtet die Illusion des ganzen früheren Lebens. Enttäuscht sind wir über die Ruhe der Natur; wir fühlen uns in den Bereich zerstörender, unbekannter Kräfte versetzt.“*

### **3.10. Der extreme Vulkanismus: Ebbe- und Fluttheorien des flüssigen Erdkerns als Ursache der Erdbeben: PERREY und FALB**

Dass HUMBOLDT'S Erdbeben-theorie in Misskredit kam und für die heillose Vermengung von Vulkanismus und Erdbeben verantwortlich gemacht worden ist<sup>388</sup>), hat mehrere Gründe. Es wurde nicht nur der fundamentale Rah-

men einer „Physik der Erde“ vergessen, sondern in der Nachfolge HUMBOLDT'S wurde auch der allgemeine Vulkanismus simplifiziert und radikalisiert. Die extremste Form des Vulkanismus, die bestenfalls in der ersten Periode der Erdbebenforschungen HUMBOLDT'S einen Anhaltspunkt hatte, war die Vorstellung, dass sich direkt unter einer relativ dünnen Erdkrinde ein flüssiges Magmameer befände, das den größten Teil des Erdinnern ausfüllt. Unter dieser Voraussetzung lag die Auffassung nahe, dass die eigentliche Ursache der Erdbeben auf eine durch Sonne und Mond verursachte Gezeitenwirkung dieses Magmameeres im Erdinnern zurückzuführen ist.

Historisch gesehen ist die Vorstellung einer extraterrestrischen, dem Ebbe- und Flutphänomen analogen Verursachung der Erdbeben durch Sonne, Mond und Planeten sehr alt. So wurde eine größere Häufigkeit der Erdbeben zur Zeit des Vollmondes und Neumondes bereits 1703 von BAGLIVI behauptet<sup>389</sup>):

*„In singulis Lunae aspectibus, seu quadraturis, potissimum in plenitudine ejusdem, seu totali oppositione cum sole, certò succedebant Terraemotus, & frequenter paulum praecedebant ipsos aspectus.“*

Doch seine Sprechweise von den „Aspekten“ des Mondes und der Planeten zeigt, dass seine Behauptungen astrologischer und nicht astronomisch-physikalischer Natur sind. Der Hinweis, dass auch auf die Quadraturen des Mondes Erdbeben folgen, steht sogar im direkten Widerspruch zur Gezeitentheorie NEWTONS. BAGLIVI kann daher nicht als Vorläufer der Ebbe- und Fluttheorie des flüssigen Erdkerns angesehen werden, wie der englische Seismologe MILNE<sup>390</sup>) es will.

Einen anderen Hinweis findet man schon bei KANT, der in seinen Abhandlungen über das Lissaboner Beben einen Bericht von BOUGUER zitiert. BOUGUER erzählt in diesem Bericht, den er anlässlich der südamerikanischen Expedition zur Gradvermessung verfasst hat, von einem peruianischen Astronomen, dem es gelungen sein soll, astronomische Berechnungen zur Voraussage von Erdbeben auf Grund der Bewegungen des Mondes durchzuführen<sup>391</sup>):

*„Herr Bouguer, ein berühmter französischer Akademist, erzählt, daß bei seinem Aufenthalt in Peru ein Gelehrter, welcher Professor der Mathematik auf der Universität zu Lima werden wollte, ein Buch unter dem Titel einer astronomischen Uhr der Erdbeben geschrieben habe, darin er sich unternimmt diese aus dem Lauf des Mondes vorher zu verkündigen. Man kann leicht raten, daß ein Prophet in Peru gut habe Erdbeben vorherzusagen, weil sie sich daselbst fast täglich zutragen und nur durch die Stärke unterschieden werden. Herr Bouguer setzt hinzu, daß ein Mensch, der ohne Nachdenken mit dem auf- und absteigenden Knoten des Mondes, der Erdnähe und Erdferne, der Konjunktion und Opposition um sich wirft, wohl von ungefähr bisweilen etwas sagen könne, was durch den Ausgang bestätigt wird, und gesteht, daß er nicht immer unglücklich geweissagt habe. Er vermutet selbst, daß es nicht gänzlich unwahrscheinlich sei, daß der Mond, der die Gewässer des Ozeans so kräftig bewegt, einigen Einfluß auf die Erderschütterungen haben könne, entweder indem er das Gewässer, welches er außerordentlich erhebt, in gewisse Erdspalten führt, dahin es sonst nicht würde gelangt sein, und dieses die tobende Bewegung in den tiefen Höhlen verursache, oder durch irgendeine andere Art des Zusammenhanges.“*

<sup>385</sup>) Vgl. SIEBERG, A.: Handbuch der Erdbebenkunde. – S. 6 f., Braunschweig 1904.

<sup>386</sup>) DARWIN, Ch.: Reise eines Naturforschers um die Welt. – Übers. von J.V. CARUS, S. 354, Stuttgart 1875.

<sup>387</sup>) HUMBOLDT, A.V.: Kosmos, Bd. I, S. 244.

<sup>388</sup>) HOBBS, W.H. & RUSKA, J.: Erdbeben. Eine Einführung in die Erdbebenkunde. – S. 10, Leipzig 1910.

<sup>389</sup>) BAGLIVI, G.: Historia Romani Terraemotus, v. Urbium adjacentium Anno infelicissimo 1703. – In: Opera omnia, p. 367, Venetiis 1721.

<sup>390</sup>) MILNE, J.: Earthquakes and other Earth Movements. – S. 286, London 1886.

<sup>391</sup>) KANT, I.: Fortgesetzte Betrachtung der seit einiger Zeit wahrgenommenen Erderschütterungen 1756. – In: Werke I, S. 467.

Eine Wiederbelebung dieser Theorie von der Verursachung der Erdbeben durch den Einfluss der Attraktion des Mondes geschah jedoch nicht durch HUMBOLDT, sondern zuerst in Frankreich. HUMBOLDT selbst äußerte sich in seinen späteren Jahren sehr vorsichtig über diese Hypothese einer Gezeitenwirkung des flüssigen Erdkerns als Ursache der Erdbeben. Denn er kannte bereits die Einwände von HOPKINS und MALLET<sup>392)</sup>:

„Zweifel über die Wirkung auf das geschmolzene 'subja-cent fluid confined into internal lakes' hat Hopkins geäußert im meeting of the British Assoc. in 1847 p. 57; wie über the subterraneous lava tidal wave, moving the solid crust above it, Mallet im meeting in 1850 p. 20.“

Nach HUMBOLDTS eigenen Angaben war es vor allem POISSON, der ihn davon überzeugte, dass die Wirkung einer solchen unterirdischen Ebbe und Flut unbedeutend ist<sup>393)</sup>:

„Auch Poisson, mit dem ich mehrmals über die Hypothese der unterirdischen Ebbe und Fluth durch Mond und Sonne gesprochen, hielt dem Impuls, den er nicht läugnete, für unbedeutend: da im freien Meere die Wirkung ja kaum 14 Zoll betrage.“

Und AMPÈRE, der wie bereits gezeigt, von der Annahme eines kalten und festen Erdkerns ausging, verwendete die Hypothese von einer mächtigen unterirdischen Ebbe und Flut nur als Gegenargument gegen den feuerflüssigen Zustand des Erdinnerns. Denn nach seiner Auffassung müsste eine derartige im Vergleich zu den Meeren auf der Erdoberfläche viel größere und dichtere Flüssigkeit im Erdinnern auch eine ungleich schrecklichere Wirkung auf die Erdhülle ausüben<sup>394)</sup>:

„Ceux qui admettent la liquidité du noyau intérieur de la terre, paraissent ne pas avoir songé assez à l'action qu'exercerait la lune sur cette énorme masse liquide: action d'où résulteraient des marées analogues à celles de nos mers, mais bien autrement terribles, tant par leur étendue que par la densité du liquide. Il est difficile de concevoir, comment l'enveloppe de la terre pourrait résister, étant incessamment battue par une espèce de bélier hydraulique de 1400 lieues de longueur“.

Diese Phantasievorstellung eines über tausend Meilen großen hydraulischen Rammbockes, der die dünne Erdhülle durch seine Stöße zerbersten lässt, ist jedoch zumindest für die gegenwärtige Epoche der Erdentwicklung eine maßlose Übertreibung. Für die frühen Epochen der Erdentwicklung wurden jedoch solche Vorstellungen zu HUMBOLDTS Zeiten allgemein angenommen<sup>395)</sup>:

„... Solange der Erdkörper noch ganz flüssig war, so lange wurde durch die Ebbe und Fluth seine ganze Masse stürmisch durch einander geschüttelt ... sobald die Erde ringsum erstarrt, von einer festen Hülle umschlossen war, mußten diese Bewegungen des flüssigen Innern nothwendig gemäßiget werden, vielleicht ganz aufhören ... Um sich selbst sich drehend, begleitet von einem Theile der Masse, welche einstmals das Dunstsphäroid bildete, aus dem sich die Erde zusammenzog, begleitet von dem Monde, geht sie den ihr von Anbeginn vorgeschriebenen Weg um die Sonne, und da nun Mond und Sonne fortwährend an ihr ziehen und zerren, sowie sie hinwiederum nach dem Verhältniß ihrer Größe auch an ihnen zieht, so war natürlich Ebbe und Fluth bei der ganz flüssigen Erde vorhanden, ja eben, weil sie ganz, durch und durch flüssig war, in einem höheren Grade vorhanden, als jetzt, wo sie zum großen Theil erstarrt ist ...“

<sup>392)</sup> HUMBOLDT, A.v.: Kosmos, Bd. IV, S. 488.

<sup>393)</sup> Ebenda.

<sup>394)</sup> Ebenda.

<sup>395)</sup> ZIMMERMANN, W.F.A: Die Wunder der Urwelt. – S. 298 ff., Berlin 1865.

HUMBOLDT selbst spricht von der übergroßen Wahrscheinlichkeit<sup>396)</sup>,

„... daß im Jugendalter unseres Planeten die oszillierenden Bewegungen des Bodens, die Hebung und Senkungen der Oberfläche, intensiver als jetzt waren ...“

und er war auch der Meinung,

„... daß zu dieser Zeit im Innern des Erdkörpers größere Veränderungen vorgingen.“

Für die gegenwärtige Zeit jedoch kann HUMBOLDT die Schreckensvision AMPÈRES von einer gewaltigen Ebbe und Flut des flüssigen Erdinnern durch zwei Argumente entkräften. Nach dem Newtonschen Attraktionsgesetz wird einerseits die fluterregende Kraft in größerer Tiefe unter der Oberfläche nach dem Erdmittelpunkt zu immer schwächer werden, da die Entfernung zu den anziehenden Gestirnen immer größer wird. Andererseits ist nach HUMBOLDTS Schätzung, die mit den Angaben von ELIE DE BEAUMONT<sup>397)</sup> sehr gut übereinstimmt, für die Dicke der festen Erdkruste ein Betrag von 45 km anzunehmen. Es wird daher nach der Ansicht des von HUMBOLDT befragten Astronomen BRÜNOW keine sich an der Oberfläche der Erde auswirkende Flut des flüssigen Erdinnern, sondern nur ein Druck gegen die Erdrinde entstehen<sup>398)</sup>:

„Ist das Erd-Innere flüssig, wie im allgemeinen nicht zu bezweifeln ist, da trotz des ungeheuren Druckes die Theilchen doch verschiebbar bleiben; so sind in dem Erd-Innern dieselben Bedingungen enthalten, welche an der Erdoberfläche die Fluth des Weltmeeres erzeugen: und es wird die fluth-erregende Kraft in größerer Nähe beim Mittelpunkte immer schwächer werden, da der Unterschied der Entfernungen von je zwei entgegengesetzt liegenden Punkten, in ihrer Relation zu den anziehenden Gestirnen betrachtet, in größerer Tiefe unter der Oberfläche immer kleiner wird, die Kraft aber allein von dem Unterschiede der Entfernungen abhängt. Wenn die feste Erdrinde diesem Bestreben einen Widerstand entgegengesetzt, so wird das Erd-Innere an diesen Stellen nur einen Druck gegen die Erdrinde ausüben; es wird (wie mein astronomischer Freund Dr. Brünow sich ausdrückt) so wenig Fluth entstehen, als wenn das Weltmeer eine unzersprengbare Eisdecke hätte.“

Während HUMBOLDT zwar eine Wirkung der Anziehung der Gestirne auf das von ihm angenommene flüssige Erdinnere nicht leugnete, aber mit POISSON für unbedeutend hielt, erneuerte Francois ARRAGO ausdrücklich die alten Vorstellungen von der Verursachung der Erdbeben durch den Einfluss von Mond und Sonne. Unter der ausdrücklichen Verwendung der Formel HUMBOLDTS für den allge-

<sup>396)</sup> HUMBOLDT, A. v.: Kosmos Bd. I, S. 314.

<sup>397)</sup> Geologie, hrsg. von VOGT 1846, Bd. 1, S. 32.

<sup>398)</sup> HUMBOLDT, A.v.: Kosmos Bd. IV, S. 488.



Abb. 46. Durchbruch von geschmolzener Masse durch die Erdkruste verursacht durch die Flutwelle des flüssigen Erdinnern. Aus ZIMMERMANN (1865).

meinen Vulkanismus („Reaktionen des Innern der Erde gegen die äußere Hülle“) nahm er an, dass auch das Innere der Erde ebenso wie die Meeressgewässer der Anziehungskraft von Sonne und Mond folgen und dadurch Erdbeben hervorrufen. Als Nachweis für diesen Zusammenhang von Erdbeben und der Lage der Erde gegen Sonne und Mond sieht ARRAGO die Ergebnisse an, die Alexis PERREY auf Grund seiner Erdbebenkataloge festgestellt hatte. PERREY, der die von ARRAGO selbst seit dem Jahre 1817 begonnenen Aufzeichnungen der Erdbeben für die Jahre 1843–1869 fortsetzte und in den Mitteilungen der belgischen Akademie der Wissenschaften und in denen der Akademie von Dijon herausgab, fiel auf, dass Erdbeben zu gewissen Zeiten des Jahres häufiger sind und eine gewisse Beziehung zu den Bewegungen des Mondes haben. Als Ergebnis seiner Untersuchungen formulierte er folgende drei Gesetzmäßigkeiten: Es treten mehr Erdbeben ein<sup>399)</sup>

- „1. Zur Zeit des Neu- und Vollmondes (Syzygien) als zur Zeit der Viertel (Quadraturen).
2. Zur Zeit der Nähe des Mondes an der Erde (Perigäum) als bei seiner größten Entfernung (Apogäum)
3. Zur Zeit der Nähe des Mondes am Meridian als bei seiner Nähe am Horizont, d.h. zur Zeit der Wintermonate der nördlichen Hemisphäre als zur Zeit der Sommermonate.“

Diese Feststellung entspricht der NEWTONSchen Theorie von der wechselnden Stärke des Gezeitenphänomens. Denn nach der allgemeinen Gravitationstheorie übt nicht nur der Mond eine anziehende Kraft auf das Wasser der Erde aus, sondern auch die Sonne. Aus der unterschiedlichen Stellung von Sonne und Mond zur Erde ergeben sich jene als Spring- und Nippfluten bekannten Verstärkungen und Abschwächungen der Gezeiten. In den so genannten Syzygien zur Zeit der Konjunktion und Opposition der beiden Gestirne, also bei Neumond und Vollmond, treffen ihre Wirkungen zusammen und es entstehen die größten Fluten.

In den Quadraturen, bei Halbmond, wenn der Mond im ersten und letzten Viertel steht, wirken die Anziehungskräfte von Sonne und Mond einander entgegen. Ebbe und Flut sind dann am geringsten<sup>400)</sup>:

„In Luminarium conjunctione vel oppositione conjunguntur eorum effectus, & componetur fluxus & refluxus maximus. In quadraturis Sol attollet aquam ubi Luna deprimit, deprimetque ubi Luna attollit; & ex effectuum differentiâ astus omnium minimus orietur.“

Außerdem müssen nach NEWTONS Gravitationsgesetz die Wirkungen beider Gestirne von ihren Abständen von der Erde abhängig sein. Auf die Sonne bezogen heißt das, dass während des Winters, zur Zeit der Erdnähe der Sonne, die Fluten der Syzygien noch etwas größer werden und in den Quadraturen noch etwas kleiner als bei der Erdferne der Sonne im Sommer. Während sich beim Mond, der sich einmal während jedes Monats in Erdnähe befindet, dementsprechend auch monatlich eine größere Flut ergibt<sup>401)</sup>:

„Igitur Sol tempore hyberno, in perigæo existens, majores edit effectus, efficitque ut astus in syzygiis paulò majores sint, & in quadraturis paulò minores (ceteris paribus) quàm tempore æstivo; & Luna in perigæo singulis mensibus majores ciet astus quàm antè vel post dies quindecim, ubi in apogæo versatur.“

Auch die dritte Feststellung von PERREY, die sich auf die Deklination des Mondes, d.h. auf seinen Abstand vom Äquator bezieht, hat in der NEWTONSchen Theorie ihre

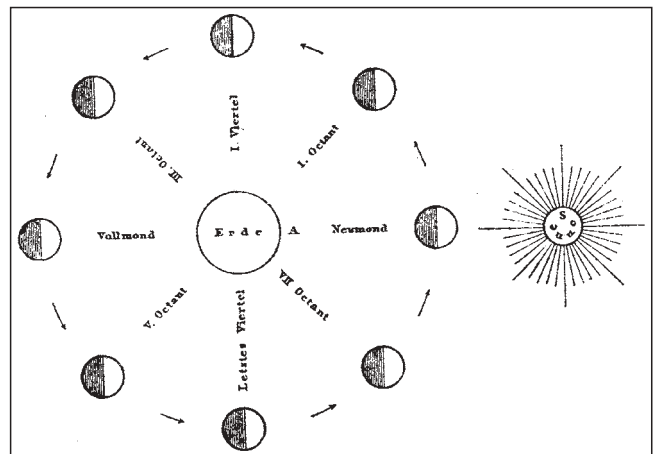


Abb. 47.  
Verstärkungen und Abschwächungen der Gezeiten entsprechend den Mondphasen.  
Aus SUPPAN (1921).

Grundlage. Denn NEWTON selbst weist ausdrücklich auf jene jahreszeitlichen Schwankungen der Intensität des Gezeitenphänomens hin, die auf die wegen der schiefen Stellung der Erdachse zur Ekliptik sich ständig ändernde Deklination der Gestirne zurückzuführen sind<sup>402)</sup>:

„Pendet etiam effectus utriusque luminaris ex ipsius declinatione seu distantia ab æquatore. Nam si luminare in polo constitueretur, traheret illud singulas aquæ partes constanter, sine actionis intentione & remissione, ideòque nullam motus reciprocactionem cieret. Igitur luminaria recedendo ab æquatore polum versus, effectus suos gradatim amittent, & propterea minores ciebunt æstus in syzygiis solstitialibus quàm in æquinoctialibus. In quadraturis autem solstitialibus majores ciebunt æstus quàm in quadraturis æquinoctialibus, eo quod Luna jam in æquatore constituta effectus maximè superat effectum Solis. Incidunt igitur æstus maximi in syzygiis & minimi in quadraturas luminarium, circa tempora æquinoctii utriusque.“

Auf Grund der Übereinstimmung seiner statistischen Resultate über diese komplizierten Beziehungen zwischen den Stellungen des Mondes und der Sonne zur Erde und der unterschiedlichen Häufigkeit der Erdbeben bildete PERREY in zahlreichen Veröffentlichungen seine Vorstellungen von der Ebbe und Flut des flüssigen Erdinnern als gemeinsame Ursache von Vulkanausbrüchen und Erdbeben aus: Der magmatische Ozean besitzt die gleichen Gezeiten wie das Weltmeer. Wenn Flutzeit herrscht, drückt die Gezeitenwoge stärker als sonst auf die untere Grenzfläche der festen Erdkruste. Findet sie da eine Öffnung, so strömt ein Teil des Magmas als Lava aus, während da, wo sich kein Austrittsweg öffnet, der stärkere Druck Erschütterungen hervorbringt<sup>403)</sup>. Doch war dieser fleißige Sammler von Daten über ungefähr 10.000 Erdbeben nicht so einseitig, die Komplexität der Phänomene des Vulkanismus und der Erdbeben auf die Wirkungen des Mondes als einzige Ursache zurückzuführen. So sagt er in einer späteren Veröffentlichung ausdrücklich<sup>404)</sup>:

„On a dit que j'attribuais les tremblements de terre à l'action de la Lune; on a exagéré ma pensée. Ja n'ai pas fait une théorie séismique. Considérant le phénomène comme complexe, lié intimement à l'activité volcanique et dû, dans

<sup>399)</sup> Vgl. FALB, R.: Von den Umwälzungen im Weltall. – 2. Aufl. S. 157 f., Wien, Pest, Leipzig 1887.

<sup>400)</sup> NEWTON, I.: Principia Mathematica Philosophicæ Naturalis. – Vol. III, S. 124., Genf 1740.

<sup>401)</sup> Ebenda.

<sup>402)</sup> NEWTON, I.: a.a.O. S. 125.

<sup>403)</sup> PERREY, A.: Propositions sur les tremblements de terre et les volcans. – Paris 1863.

<sup>404)</sup> Comtes rendues 18. Oct. 1875.

*son ensemble, à plusieurs causes, j'ai seulement eu pour but de mettre en évidence l'action prédominante, ou au moins différentielle, de l'une de ces causes. Une théorie réactionnelle devra tenir compte des trois lois que j'ai établies relativement à l'influence lunaire sur les tremblements de terre.*"

Fortgesetzt und erweitert wurden diese Untersuchungen durch den deutschen Astronomen JULIUS SCHMIDT, der seit dem Jahre 1859 als Direktor der Sternwarte in Athen Gelegenheit hatte, in einem der erdbebenreichsten Länder Europas während eines Zeitraumes von 20 Jahren mehr als 3800 Erdbeben zu registrieren. Sein ausdrückliches Ziel war jedoch nicht der weitere Ausbau dieser spekulativen Gezeitentheorie des Erdinnern, sondern es ging ihm um statistische Berechnungen über die Häufigkeit der Erdbeben im Vergleich mit den Stellungen der Erde gegen den Mond und gegen die Sonne, mit der Tageszeit, dem Luftdruck und den Gewittern.

Im Unterschied zu PERREY, der in seinen mehr als 20 Abhandlungen keine Details über die Art seiner Vorgehensweise und über die Sicherheit der Resultate angibt, macht SCHMIDT, der, wie er selbst zugibt, am Beginn seiner Arbeit gar nicht an einen großen Einfluss der Gravitation des Mondes glauben wollte, genaue Angaben darüber, wie er zu seinen Resultaten kam. Diese Angaben zeigen jedoch zugleich auch die Schwierigkeit des astronomischen Problems. Denn die Bahn des Mondes ist bekanntlich wegen der Störungen nicht konstant, sondern im hohen Grad veränderlich: sowohl was die Exzentrizität der elliptischen Umlaufbahn anbelangt, als auch im Bezug auf die Veränderung der Geschwindigkeiten der Umlaufbewegung des Mondes. Außerdem geben die astronomischen Ephemeriden nicht direkt die Entfernung des Mondes von der Erde an, sondern nur seine Parallaxe, d.h. den Winkel unter welchem vom Mittelpunkt des Mondes gesehen der Halbmesser des Erdradius erscheint, was wiederum komplizierte Umrechnungen zur Folge hat. Da genaue Angaben über die Bewegungen des Mondes von 1776–1829 in den Bodeschen Jahrbüchern und seit 1830 in Encke's Jahrbüchern und später im Nautical Almanac für die Jahre 1842–1873 vorlagen, konnte sich SCHMIDT auf einen Zeitraum von fast hundert Jahren beziehen, in dem es bereits wenigstens ab 1820 auch relativ genaue Erdbebenkataloge gab. Hauptsächlich bezieht sich SCHMIDT auf die Kataloge von PERREY und MALLET, die er durch eigene Zusammenstellungen der Erdbeben in Griechenland und im Orient ergänzte.

Das Ergebnis seiner mühevollen und langwierigen statistischen Berechnungen, in denen er zuerst von einer Gleichverteilung der Erdbebenlage ausging und diese erreichten Werte mit den wirklichen Beobachtungen verglich, war die Feststellung eines geringfügigen Anstiegens der Häufigkeit der Erdbeben bei der größeren Erdnähe des Mondes<sup>405)</sup>. Eine weniger genaue Untersuchung über die Häufigkeit der Erdbeben in den verschiedenen Monaten des Jahres ergab ein ähnliches Resultat in Bezug auf die Stellung der Sonne zur Erde<sup>406)</sup>:

*„Die größte Häufigkeit der Erdbeben im Allgemeinen fällt auf die Zeit der Sonnennähe, die geringste auf die Zeit der Sonnenferne.“*

Am eindeutigsten waren jedoch die Beziehungen zwischen Häufigkeit der Erdbebenlage und den Mondphasen. Denn für den allerdings relativ geringen Zeitraum von 32 Jahren (1842–1874), für den Tag für Tag im Nautical Almanac die Mondphasen angegeben sind, ergaben sich ein „entschiedenes Maximum am Tage nach dem Neumond“ und die geringste Häufigkeit am Tage des letzten Viertels.

<sup>405)</sup> SCHMIDT, J.: Studien über Erdbeben. – S. 13 f., Leipzig 1879.

<sup>406)</sup> SCHMIDT, J.: a.a.O. S. 20.

Der Unterschied von 305 Erdbebenlagen im Maximum gegenüber 259 Erdbebenlagen im Minimum war für SCHMIDT ausreichend, um jeden Zweifel an dem veränderlichen Einfluss der Stellung des Mondes gegen Erde und Sonne auf die Häufigkeit der Erdbeben zu beseitigen. Obwohl er sämtliche physikalischen Spekulationen über eine der Ebbe und Flut analogen Beziehung zwischen Mond und Erdbeben anderen überlassen wollte, war SCHMIDT davon überzeugt, dass derartige auf Beobachtung und Rechnung beruhende Resultate wichtiger für die Erdbebenforschung sind als alle bisherigen Hypothesen<sup>407)</sup>:

*„Gelingt es, diese und verwandte Fragen durch Rechnung auf bestimmte Weise zu erledigen, so haben derartige Resultate doch mehr Wert als die Hypothesen aus 24 Jahrhunderten, von denen man nicht sagen kann, daß sie unser Wissen von dem großartigen und hochwichtigen Phänomen des Erdbebens merklich gefördert haben.“*

Der Höhepunkt und zugleich die umstrittenste Version dieser Theorie von der Ebbe und Flut des feuerflüssigen Erdinnern als Ursache der Erdbeben ist jedoch mit dem Namen Rudolf FALB verbunden. In mehreren weitverbreiteten Publikationen<sup>408)</sup> vertrat er nach seinen Angaben unabhängig von PERREY die wohl populärste Form dieser Theorie, die er jedoch auf Grund der immer heftiger werdenden Kritik mehrfach revidieren musste. Anders als PERREY, der seine hypothetischen Vorstellungen von der Flut des feuerflüssigen Erdinnern nicht als seismologische Theorie sehen wollte, erhebt FALB den Anspruch auf eine nach den Regeln der Logik und unter steter Bezugnahme auf die Tatsachen ausgearbeitete und bewiesene Theorie der Verursachung der Erdbeben durch ein unterirdisches Flutphänomen<sup>409)</sup>:

*„Die Verteilung der Erdbeben im Allgemeinen und der Verlauf der sekundären Erschütterungen im Besonderen, sowohl nach den Stellungen des Mondes zur Erde und Sonne, als auch nach der Stellung der Sonne zur Erde, beweist exact und zur Genüge, daß es sich hier um ein Flutphänomen handelt.“*

Dieses Flutphänomen ist jedoch nicht wie PERREY sich vorstellte und auch FALB selbst anfänglich in Betracht zog, nach Analogie des Ozeans als eine Flutwelle anzusehen, die zur Zeit der Springfluten an die feste Erdrinde anschlägt und dadurch Erschütterungen hervorruft. Denn eine derartige Vorstellung wäre nur unter der durch nichts begründeten Annahme eines Hohlraumes zwischen der starren Erdkruste und der flüssigen Masse des Magma-meeres möglich.

Deshalb kann auch nach FALBS Meinung, der die Existenz dieses Hohlraumes nicht anerkannte, keine räumlich ausgeprägte Flutwelle in Form von Berg und Tal an der Oberfläche des Magma-meeres entstehen<sup>410)</sup>. Ebensovienig ist nach der bereits ausdrücklich von HUMBOLDT und später von anderen Kritikern der Fluttheorie, wie z.B. HOERNES, widerlegten Auffassung eine elastische Flutwelle anzunehmen, die sich von der flüssigen Masse auf die direkt aufliegende starre Erdkruste überträgt. Denn eine solche Flutwelle müsste zahlreiche Sprünge auf der Erdoberfläche in der Richtung der Meridiane hervorrufen, die an den Stellen der Flutberge auseinanderklaffen und an den Stellen der Ebbe sich wieder schließen müssten. Von all dem ist jedoch nichts zu beobachten<sup>411)</sup>. Jedenfalls nicht

<sup>407)</sup> SCHMIDT, J.: a.a.O. S. 15.

<sup>408)</sup> FALB, R.: Über Erdbeben. – Wien, Pest, Leipzig 1895.

Von den Umwälzungen im Weltall. – 2. Aufl., Wien 1887.

Grundzüge einer Theorie der Erdbeben und Vulkanausbrüche. – Graz 1869.

<sup>409)</sup> FALB, R.: Über Erdbeben, S. 11.

<sup>410)</sup> Ebenda.

<sup>411)</sup> HOERNES, R.: zit nach FALB, R. a.a.O. S. 140.

im gegenwärtigen Erdzeitalter. Was jedoch nach FALBS Meinung statistisch aus dem von PERREY, MALLET, SCHMIDT und anderen gesammelten Erdbebenbeobachtungen, die bis in die Antike zurückreichen, hervorgeht, ist eine größere Häufigkeit von Erdbeben zu Zeiten, in denen die günstigen Konstellationen von Mond und Sonne die größten Fluten hervorrufen. In diesem Sinne erweiterte FALB PERREYS drei Flutfaktoren auf sechs, in denen dann auch die Erdnähe und der Äquatorstand der Sonne berücksichtigt wird<sup>412)</sup>.

In der endgültigen Version seiner vulkanistischen Fluttheorie nimmt FALB nur eine indirekte Auswirkung dieser Flutfaktoren an: Wenn die fluterzeugenden Kräfte zusammenwirken und am größten sind, wird zwar keine Welle im Innern der Erde entstehen, jedoch ein Druck, der die unterirdische Lava in die Kanäle der Erdkruste hineinpresst oder die schon darin befindliche Masse empordrängt, wodurch sowohl Erdbeben als auch Vulkanausbrüche zustande kommen. Diese Vorstellung vom vulkanischen Ursprung der Erdbeben weicht jedoch in drastischer Weise von der Auffassung HUMBOLDTS ab. Während HUMBOLDT unter dem allgemeinen Vulkanismus jede Reaktion des Erdinnern gegen die äußere Kruste versteht, die sich dann in zwei unterschiedliche Formen als Erdbeben oder Vulkanausbrüche an der Erdoberfläche äußern, identifiziert FALB Erdbebenkatastrophen mit Vulkanausbrüchen, die sich nur in größeren Tiefen unter der Erdoberfläche abspielen<sup>413)</sup>:

*„... so wurde es mir klar, daß der Typus einer Erdbebenkatastrophe sich von jenem eines vulkanischen Ausbruches nicht unterscheidet und beide Arten von Naturerscheinungen identifiziert werden müßten, somit die Erdbebenkatastrophe ein Vulkanausbruch sei, der sich in großen Tiefen unter der Oberfläche vollzieht.“*

Voraussetzung für diese Vorstellung eines „unterirdischen Vulkanausbruches“ ist allerdings die Annahme von unterirdischen Hohlräumen, in die sich an Stelle der freien Oberfläche der Erde das Eruptionsmaterial ablagert. Durch den mechanischen Kraftaufwand, der zum Durchbruch des unterirdischen Vulkans in einen solchen Hohlraum nötig ist, muss dann eine mächtige Erschütterung der überlagernden Erdschicht eintreten<sup>414)</sup>. Als Beweis für diese reichlich phantastische Vorstellung über Erdbeben als unterirdische Vulkanausbrüche sieht FALB jene auch von HUMBOLDT zitierten geradezu unglaublich klingenden Berichte über eine mächtige „aufstoßende Bewegung“ (moto susultorio) bei den Erdbeben von Calabrien (1783) und Riobamba (1797) an, wo Pflastersteine, Leichname, ganze Bäume mit ihren Wurzeln und die Grundmauern von Häusern aus der Erde gerissen und mehrere Fuß hoch in die Höhe geschleudert worden sind.

Während diese Theorie FALBS durch populäre Darstellungsweise<sup>415)</sup> in der breiten Öffentlichkeit lange Zeit großen Anklang fand, wurde sie jedoch von den Fachleuten trotz ständiger Revision und Korrekturen, die FALB selbst über mehr als 20 Jahre lang an ihr anbrachte, immer schärfer kritisiert.

Im Wesentlichen waren es drei Argumente, die gegen die „PERREY-FALBSche Hypothese“ vorgebracht wurden:

### 1) Das Argument vom großen Starrheitsgrad der gesamten Erde

Es stammt, wie bereits erwähnt, ursprünglich von dem englischen Astronomen HOPKINS und wurde bereits von HUMBOLDT akzeptiert. Später wurde es auch von

<sup>412)</sup> FALB, R.: Von den Umwälzungen im Weltall. Drei Bücher: In den Regionen der Sterne – Im Reich der Wolken – In den Tiefen der Erde. – 2. Aufl., S. 109 ff., Wien 1887.

<sup>413)</sup> FALB, R.: Über Erdbeben, S. 13.

MILNE<sup>416)</sup>, HOERNES<sup>417)</sup> und GUENTHER<sup>418)</sup> gegen die unterirdische Ebbe- und Fluttheorie PERREYS und FALBS verwendet; allerdings in einer noch stärker von den Vorstellungen von PERREY und FALB abweichenden Version. Während HOPKINS auf Grund der geringen Präzessions- und Nutationsbewegung der Erde eine dicke Erdkruste mit einem relativ kleinen flüssigen Erdkern annahm, ging man später allgemein dazu über, unterschiedliche Aggregatzustände des Erdinneren anzunehmen. Die Vorstellung, dass zwischen dem flüssigen Erdinnern und der starren Erdkruste eine latent plastische oder zähflüssige Schicht eingeschaltet sein könnte, ist mit der Zurückführung der Erdbebenstöße auf Flutzustände des internen Magmameeres unvereinbar, weil dann keine dauernde Verbindung des flüssigen Erdinnern mit der Erdkruste vorhanden wäre.

### 2) Das Argument von der Unbedeutendheit der Flutkräfte

Dieses ursprünglich von POISSON erhobene Argument, das auch HUMBOLDT akzeptierte, wurde auch gegen FALBS Theorie mehrmals angewendet. Selbst dann, wenn man der höchst unwahrscheinlichen Hypothese eines flüssigen Magmameeres unter einer starren Erdkruste folgen könnte, wären auch die gemeinsam wirkenden Flutkräfte von Mond und Sonne zu gering, um Vulkanausbrüche und Erdbeben zu bewirken. Denn sie betragen nur etwa den fünften Teil des Atmosphärendruckes<sup>419)</sup>. Völlig absurd jedoch ist die Annahme einer lokalen Flutwirkung in einzelnen Vulkanschloten, da ja schon in kleinen abgeschlossenen Meeren die Fluthöhen sehr gering sind. Wenn FALB auch selbst zugestehen muss, dass im Innern der Erde keine Flutwelle entstehen kann, dann reicht auch der direkte Druck des hypothetisch angenommenen Magmameeres auf die Erdkruste nicht aus, um die Lava in den Vulkanschloten zu heben.

So sagt HOERNES ausdrücklich<sup>420)</sup>:

*„Wenn, wie Falb selbst angesichts der Tatsache zugeben muß, keine Flutwelle im Erdinnern zu Stande kommen kann, dann vermag die schönste Fluthconstellation nicht, die Lava auch nur um einen Fuß zu heben. Es müßte der Effect jedoch mehrere tausendmal so groß sein, um Eruptionen aus dem Gipfelkrater des Aetna oder aus den Riesenvulkanen der Anden herbeizuführen.“*

Um dieser berechtigten Kritik zu entgehen, muss daher FALB zu einer weiteren chemisch-physikalischen Zusatzhypothese greifen, mit der er allerdings seine ursprüngliche Behauptung von der im Magmameer eine Flut erzeugende Kraft der Gestirne als Hauptursache der Erdbeben aufgibt und durch eine viel schwächere Hypothese ersetzt, die in den Flutkräften lediglich ein auslösendes Moment sieht, das durch eine zusätzliche Bedingung unterstützt werden muss. Diese zusätzliche Bedingung ist, dass eine genügende Menge von Gasen oder Dämpfen sich bereits entwickelt haben muss, die die Hebung der Lava unterstützt.

### 3) Das Argument von der mangelnden Signifikanz des statistischen Datenmaterials

Schon BOUGUER und KANT hatten gegenüber den von ihnen erwähnten peruanischen Erdbebenpropheten ein-

<sup>414)</sup> FALB, R.: a.a.O. S. 18.

<sup>415)</sup> FALB, R.: Von den Umwälzungen im Weltall.

<sup>416)</sup> MILNE, J.: a.a.O. p. 289.

<sup>417)</sup> HOERNES, R.: Die Erdbebenlehre Rudolf FALBS und ihre wissenschaftliche Grundlage. – Wien 1881.

<sup>418)</sup> GUENTHER, S.: Geophysik, Bd. 1, 1897, S. 422 f.

<sup>419)</sup> SAALSCHÜTZ: Zur Kritik von R. FALBS Hypothese über die Ursachen der Erdbeben. S.P.Ö.G:XXX: Vgl. GUENTHER, S.: a.a.O. S. 434.

<sup>420)</sup> HOERNES a.a.O.

gewendet, dass es sehr leicht ist, in einem Land, in dem sich fast täglich Erdbeben ereignen, Beziehungen zwischen dem Lauf des Mondes und den Erdbeben herzustellen. Das gleiche Argument konnte gegen die PERREY-FALBSche Theorie eingewendet werden. Denn auch die zu diesem Zweck statistisch ausgewerteten Erdbebenkataloge von PERREY, MALLET und SCHMIDT, zu denen FALB jedoch keinen weiteren Beitrag leistete, lieferten keine signifikanteren Resultate. Zwar ergab sich, wie die meisten Kritiker auch anerkannten, im Allgemeinen eine geringfügige Steigerung der Häufigkeit der Erdbeben zu den kritischen Zeiten der Hochflut. Insbesondere zur Zeit des Zusammenwirkens der Anziehungskräfte von Sonne und Mond. Doch waren diese Abweichungen von den monatlichen Durchschnittsprozentzahlen der Erdbeben so unbedeutend, dass man mit Recht annehmen konnte, dass diese Abweichungen bei einem größeren Beobachtungsmaterial vollständig verschwinden müssten<sup>421</sup>).

Tatsächlich haben weitere statistische Untersuchungen eher eine Gleichverteilung der Erdbeben zu den Zeiten der verschiedenen Mondphasen in Amerika<sup>422</sup>) oder in Japan<sup>423</sup>) sogar ein den PERREYSchen Untersuchungen entgegengesetztes Resultat ergeben. Auf Grund solcher Ergebnisse war man sich gegen Ende des 19. Jahrhunderts vor allem im deutschsprachigen Raum Europas darüber einig, dass die PERREY-FALBSche Hypothese trotz ihrer großen Popularität wissenschaftlich nicht haltbar ist<sup>424</sup>).

Hinzu kamen noch eine Reihe von schwerwiegenden Bedenken geologischer Art, die sich grundsätzlich gegen die Gleichsetzung von Erdbeben und Vulkanausbrüchen wendeten, wie die geringe Tiefe der Erdbebenherde und die im Gegensatz zu einem dort angenommenen unterirdischen Vulkanausbruch stehende weite Verbreitung der Erschütterungen oder die schon von der neuen Auffassung der tektonischen Erdbeben bestimmte Vorstellung von der linearen Ausdehnung des Erdbebenherdes<sup>425</sup>), auf die FALB keine Entgegnung liefern konnte.

Was von der vulkanistischen Ebbe- und Fluttheorie übrigblieb, war jedoch die von keinem Kritiker geleugnete Erkenntnis von den „körperlichen Gezeiten“ der gesamten Erde, die jedoch nicht auf eine interne Flut eines flüssigen Magmameeres zurückgeführt werden musste. Diese Art von Gezeitenwirkung, die von dem nächsten und dem massenreichsten Himmelskörper, dem Mond und der Sonne ausgeht, erzeugt wechselnde Spannungszustände in der äußeren starren Hülle der Erde und kann auch nach Meinung mancher Kritiker der PERREY-FALBSchen Hypothese wie z.B. S. GUENTHER „vulkanische und seismische Erscheinungen influieren“<sup>426</sup>).

Die allgemeine Beachtung, die die letzten Endes unhaltbare Theorie von der Ebbe und Flut eines unterirdischen Magmameeres gefunden hatte, wäre nicht so groß gewesen, wenn nicht mit ihr von vornherein ein prognostischer Anspruch verbunden gewesen wäre. Denn unter der Annahme, dass die Erdbeben tatsächlich von den Anziehungskräften von Mond und Sonne hervorgerufen werden,

ergibt sich auch die Möglichkeit, dass sie vorausgesagt werden können<sup>427</sup>):

*„This Falb does, and when his predictions have been fulfilled he has certainly gained notoriety. He commenced by the predictions of great storms. In 1873 he predicted the destructive earthquake of Belluno, which earned for himself a eulogistic poem, which he has republished in his ‘Gedanken und Studien über Vulcanismus’. After this, in 1874, he predicted the eruption of Etna. He also explained why, in B.C. 4000, there should have been a great flood, and for A.D. 6400 he predicts a repetition of such an occurrence.“*

### 3.11. Die Bedeutung der Theorien über die Ursachen der Erdbeben für die Erdbebenprognose

An der vulkanistischen Gezeitentheorie zeigt sich am deutlichsten der pragmatische Hintergrund aller Theorien über die Ursachen der Erdbeben. Denn die kausale Erklärung dient wie in allen Bereichen der Naturwissenschaften letzten Endes der Prognostik<sup>428</sup>). Das gilt nicht nur für den Versuch, das Auftreten von Erdbeben an Gesetzmäßigkeiten der Astronomie zu knüpfen, die seit der Antike das erfolgreichste Gebiet der Prognostik darstellt, sondern auch für alle anderen konkurrierenden Theorien über die Ursachen der Erdbeben, die aus der Mechanik, Hydro- und Thermodynamik, Elektrizitätslehre und Chemie entlehnt worden sind. In all diesen Theorien geht es darum, aus den erfassten allgemeinen Ursachen der Erdbeben Prognosen für konkrete zukünftige Einzelereignisse abzuleiten.

In früheren Zeiten waren mit diesem pragmatischen Anspruch sogar die phantastischen Vorstellungen verbunden, Erdbeben verhindern zu können. Das zeigen insbesondere jene hilflosen und zum Teil grotesken Versuche, Löcher in die Erdrinde zu bohren, um den Druck von heißen Dämpfen zu verringern oder dem in der Tiefe tobenden Feuer Abzugskanäle zu schaffen, wie es nach KANTS Angaben der deutsche Philosoph HOLLMANN vorschlug<sup>429</sup>). Ebenso sonderbar erscheinen uns heute die im 18. Jahrhundert auf Grund elektrischer Theorien der Verursachung der Erdbeben vorgeschlagenen Konstruktionen von Erdbebenableitern von dem französischen Philanthropen BERTHOLON DE ST. LAZARE oder dem deutschen Physiker WIEDEBURG. Auch der Italiener VIVENZIO dachte sowohl an „Paratremuoti“ als auch an „Paravolcani“, die er sich als einfache Seitenstücke zu den „Paratuoni“ vorstellte. Der bekannte englische Chemiker PRIESTLEY dagegen, der ebenfalls in den Erdbeben elektrische Kraftäußerungen sah, schlug hochfliegende Drachen vor, die einen Ausgleich zwischen Luft- und Erdelektrizität schaffen sollten<sup>430</sup>).

Mit neptunistischen Vorstellungen waren seit der Antike (PLINIUS) die Vorschläge verbunden, in den Veränderungen insbesondere Trübungen des Wassers der Brunnen Anzeichen von einem baldigen Eintreten eines Erdbebens zu sehen. Auch bei den alten Erdrandtheorien, die sich vor allem auf die Selbstentzündung von Schwefel beriefen, erhoffte man sich in den vor und während der Erdbeben aufgetretenen Schwefelgerüchen einen nicht unbeträchtlichen, prognostischen Gehalt. Wenngleich man in der zweiten Hälfte und vor allem gegen Ende des 19. Jahrhun-

<sup>421</sup>) HOERNES, R.: a.a.O.

<sup>422</sup>) NOGUÉS: Refutation de la théorie sismologique de FALB (Société Scientifique de Chili, 22.8.1881) Vgl. SIEBERG, Handbuch der Erdbebenkunde, S. 341, Braunschweig 1904.

<sup>423</sup>) CHAPLIN, W.S.: An Examination of the Earthquake recorded at the Meteorological Observatory, Tokio. – Transactions of the Asiatic society of Japan, vol. VI, ot. I, S. 353. Vgl. MILNE, J.: a.a.O., s. 253.

<sup>424</sup>) GUENTHER, S.: Geophysik, Bd. 1, 1897. S. 423. – SIEBERG a.a.O. S. 342.

<sup>425</sup>) HOERNES, R.: Die Erdbebenlehre Rudolf FALBS und ihre wissenschaftliche Grundlage. – Wien 1881.

<sup>426</sup>) GUENTHER, S.: Geophysik, S. 423.

<sup>427</sup>) MILNE, J.: Earthquakes and other Earth Movements. – S. 287, London 1886.

<sup>428</sup>) Vgl. OESER, E.: Historical Earthquake Theories from Aristotle to Kant. – In: GUTDEUTSCH, R., GRÜNTAL, G. & MUSSON, R.: Historical Earthquakes in Central Europe Vol. I. – Abhandlungen der Geologischen Bundesanstalt, 48, Wien 1992.

<sup>429</sup>) Vgl. GUENTHER, S.: Geophysik, S. 457.

<sup>430</sup>) PRIESTLEY-KRÜNZITZ: Geschichte und gegenwärtiger Zustand der Elektrizität, neben eigentümlichen Versuchen. – S. 799 ff., Berlin – Stralsund 1771. – Vgl. GUENTHER, Geophysik, S. 457, S. 501.

derts diese Versuche zur Erdbebenprognose, die auf unterschiedliche Theorien über die primären Ursachen der Erdbeben beruhen, nicht nur sehr skeptisch beurteilte, sondern sie sogar als völlig unhaltbar verwarf, sind sie nicht völlig nutzlos. Sobald man erkannte, dass es nicht nur eine Art der Verursachung der Erdbeben gibt, sondern dass die Ursachen der Erdbeben vielfältig und die sie begleitenden Nebenumstände sehr komplex sein können, war es nicht mehr nötig, in den unterschiedlichen Theorien über die Ursachen der Erdbeben konkurrierende Alternativen zu sehen.

Nach der in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts erreichten Erkenntnis, dass alle großen und katastrophalen Erdbeben tektonischer Art sind, hat sich zwar der dogmatische Anspruch sowohl des Neptunismus wie des Vulkanismus, die einzig wahre kausale Erklärung der Erdbeben zu liefern, als unzulänglich erwiesen. Trotzdem aber bleibt bei den Erklärungsversuchen ein gewisser reduzierter Wahrheitsgehalt erhalten. Denn auch nach dem Auftreten der Theorie der tektonischen Erdbeben sprach man sowohl von Einsturzbeben, deren Ursachen die aushöhlende Wirkung des Wassers ist, als auch von vulkanischen Beben, die im Zusammenhang mit dem Ausbruch eines Vulkans stehen, die aber beide örtlich begrenzt sind und deren zerstörende Auswirkungen im Vergleich zu den großen tektonischen Katastrophenbeben relativ gering sind.

Als falsch hatte sich am Vulkanismus lediglich die Theorie der Erhebungskrater erwiesen, die nach dem Tode HUMBOLDTS von den Vulkanisten auch fallengelassen worden ist, ohne jedoch den allgemeinen Vulkanismus aufgeben zu müssen. So hatte in Deutschland K. VON SEEBACH<sup>431</sup> eine Dichotomie der Vulkantypen in aufgeschüttete Stratovulkane und aufgehobene Domvulkane eingeführt, mit der weder Leopold VON BUCH noch HUMBOLDT einverstanden gewesen wären. Die vulkanische Hebungstheorie hatte er aber trotzdem als Grundlage für die Erklärung der primären Ursachen der Erdbeben beibehalten. In der weiteren Folge wurde schließlich auch den Domvulkanen, die von den vulkanistischen Hebungstheoretikern noch als ruckartige, plötzlich stattfindende Aufblähungen angesehen worden sind, der gewaltsame und katastrophenartige Charakter ihrer Entstehung genommen. Denn sie wurden als Quellkuppen mit vulkanischen Ergussmänteln angesehen, die durch ein ruhiges Abscheiden der Magmamasse aus dem Innern entstehen<sup>432</sup>. Trotzdem wurden jedoch sowohl langsame sekulare als auch plötzliche ruckartige Hebungen großer Landmassen angenommen. Für K. VON SEEBACH ist sogar der größte Teil Deutschlands durch einen solchen Hebungsvorgang aus dem Meer hervorgegangen<sup>433</sup>:

*„Während so das Meer einerseits die Küsten immer weiter zurückschiebt und unterstützt von den Atmosphäriken die Masse des über seinem Spiegel erhabenen Landes immer mehr verringert, erhöht es andernteils kontinuierlich seinen Boden; und mit Sicherheit müßte, wenn auch in ferner Zukunft, einmal die Zeit kommen, in welcher die Wasseroberfläche gleichmäßig unsern Planeten bedeckte, wenn nicht durch die innern Kräfte der Erde bald in sekulärer steter Hebung, bald in gewaltigem Rucken plötzlich immer neuer Grund und Boden über der Seefläche gewonnen würde. So ist gerade die innere Thätigkeit der Erde, deren gewöhnlicher Ausdruck in Vulkanen und weit verbreiteten Erdbe-*

*ben bei oberflächlicher Betrachtung der Menschheit größter Feind zu sein scheint, ihr wahrer Freund, der ihr allein die Möglichkeit einer dauernden Existenz auf unserer Erde sichert. Was früher in des Meeres Tiefe verborgen lag, bringen sie an das warme Sonnenlicht, der alte Meeresschlamm erscheint nun als ein festes geschichtetes Gestein, das die Bewohner der Vergangenheit noch in Versteinerungen enthält. Wohl die Hälfte alles festen Landes ist so allmählig vom Boden des Meeres erhoben worden. Die sarmatische Tiefenebene war einst der Tummelplatz von Muscheln und Fischen, und die gewaltig aufragenden Zacken unserer Wolkalpen lagen einst verborgen im Schooße des Meeres, vielleicht eben so tief hinabgesenkt als sie jetzt empor sich thürmen. Der größte Theil von Deutschland ist ein alter Meeresgrund, und fast das ganze nördliche Deutschland ist nur eine emporgehobene Gabe der unfruchtbaren Salzfuth.“*

Ebenso übernimmt der Bonner Geologe J. NÖGGERATH, der zwar auch nicht mehr an die Theorie der Erhebungskrater glaubt und im Gegensatz zu Leopold VON BUCH und HUMBOLDT in allen Vulkanbergen nur Aufschüttungskegel sieht, die Hebungstheorie als Grundlage der kausalen Erklärung und Wirkungsweise der Erdbeben. Erdbeben sind für ihn die Folge einer Explosion im Innern der Erde entweder nahe an der Grenze des flüssigen Erdkerns oder in höher gelegenen Höhlungen, die mit dem flüssigen Kern in Verbindung stehen.

Diese vulkanistische Hebungstheorie, die Erdbeben als ruckartige Hebungen oder Stöße aus dem glutflüssigen Erdinnern ansieht, ließ sich dann auch ohne Widerspruch mit der einfachsten Form einer Wellentheorie der Erdbeben verbinden, wie folgende Darstellung (Abb. 48) von NÖGGERATH zeigt<sup>434</sup>:

*„Wir denken uns, daß die erregende Ursache unter der festen Erdrinde nahe an der Grenze des flüssigen Erdkerns zu suchen sei oder in höher gelegenen Höhlungen, welche mit jenem Kern in Verbindung stehen. Das Bild zeigt uns, daß die Wirkung des Erdbebenstoßes zuerst in dem Punkte A auf der Oberfläche ankommen und sich dann in weiteren Wellen nach den Punkten B, C, D und E verbreiten muß, daß dieselbe Kraft nach den Richtungen F, G und s.w. aber nicht die Oberfläche der Erde berührt, weil sie dazu nicht stark genug ist und sich im Innern der Erde bereits erschöpft hat.“*

NÖGGERATHS gemäßiger Vulkanismus liefert auch ein Beispiel für den langsamen Übergang der vulkanistischen

<sup>434</sup> NÖGGERATH, J.: a.a.O. S. 431.

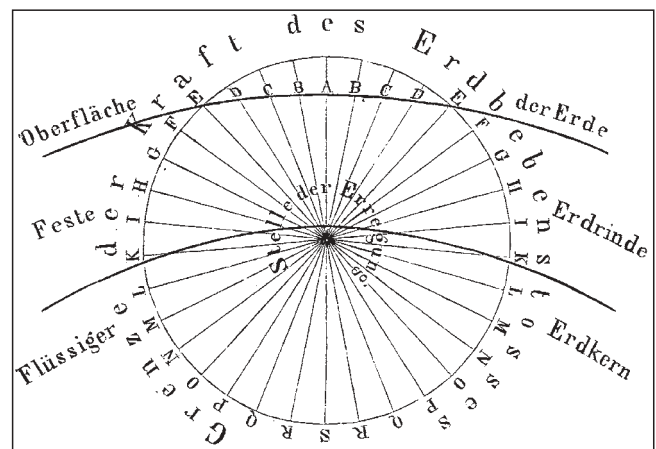


Abb. 48. Vertikaler Durchschnitt eines Teils der Erde zur Darstellung der Erdbebenwirkung. Aus NÖGGERATH (1877).

<sup>431</sup> SEEBACH, K. v.: Vorläufige Mitteilung über die typische Verschiedenheit im Bau der Vulkane und deren Ursachen. – Z.d.G.G., XVII, S. 643 ff.

<sup>432</sup> GUENTHER, S.: Geophysik, S. 371.

<sup>433</sup> SEEBACH, K. v., zit. nach NÖGGERATH, J.: Geognosie und Geologie. – In: Die gesammten Naturwissenschaften, 3. Aufl., 3. Band, S. 454, Essen 1877.

Erdbeben­theorie zur Theorie der tektonischen Erdbeben. Es wird zwar noch immer an der engen Verbindung von Erdbeben und Vulkanismus festgehalten, aber auch noch andere Ursachen für die Entstehung von Erdbeben zugelassen. Eine bereits von HUMBOLDT klar erkannte Ursache der Erdbeben, die auf die Abkühlung der Erde zurückzuführen ist, besteht in der Lageveränderung von Teilen der Erdkruste. Solche Veränderungen gehen jedoch nicht überall und langsam vor sich, sondern auch stoß- und ruckweise.

Wie noch genauer gezeigt werden soll, war auch für HUMBOLDT selbst, der in den letzten Jahren seines Lebens mit der Theorie der Erdbebenwellen von MALLETT konfrontiert wurde, der allgemeine Vulkanismus ebenso mit dieser Theorie über die Wirkungsweise der Erdbeben ohne Massentransport vereinbar, wie sie auch mit den vulkanistischen Vorstellungen von SEEBACHS übereinstimmte. Denn MALLETT selbst ging noch nicht von der Theorie der tektonischen Erdbeben aus, die als primäre Ursache Brüche in den unterirdischen Platten annahm, sondern war noch immer ein Anhänger der alten, nach Analogie zu den Geysireruptionen erdachten Dampfkesseltheorie, die von einem punktförmigen Erdbebenherd ausging. Auch der eigentliche Begründer der Theorie der tektonischen Dislokationsbeben, Eduard SUESS, war, wie er selbst zugibt, in manchen Fällen in Verlegenheit<sup>435)</sup>, wo die scharfe Grenze zwischen tektonischen und vulkanischen Erdbeben zu ziehen sei. Denn der allgemeine Vulkanismus HUMBOLDTS, der seine Grundlage in einer physikalischen Theorie des Erdinneren hatte, führt alle Spannungen und Veränderungen der Erdkruste auf Reaktionen des flüssigen oder gasartigen Erdinneren zurück. In diesem Sinne wurden schließlich auch die Vulkanausbrüche als Folge von unterirdischen Dislokationen angesehen (MILNE). Daher hatte man konsequenterweise auch die Ansicht vertreten, dass zwischen den „rein tektonischen“ und den nichttektonischen, vulkanischen oder Einsturzbeben noch eine Zwischenform „vulkanisch-tektonischer“ Erdbeben anzunehmen ist, die sich insbesondere für die japanischen, italienischen und mittelamerikanischen Verhältnisse als notwendig erweist.

Auch nach heutiger Auffassung ist die Erde selbst kein vollkommen starrer Himmelskörper, sondern enthält in ihrem Innern einen thermischen Energievorrat, der sowohl in der Tätigkeit der Vulkane als auch in der Bewegung der Erdbeben freigesetzt wird. In diesem Sinne liegt auch in dem allgemeinen Vulkanismus, der die Erdbeben und Vulkanausbrüche auf die Reaktionen des heißen Erdinneren auf die Erdkruste als letzte Ursache zurückgeführt hat, ein Wahrheitskern.

Aber nicht nur dem allgemeinen Vulkanismus im Sinne HUMBOLDTS und seiner Nachfolger, sondern auch den alten atmosphärischen, chemischen und elektrischen Theorien kommt ein freilich sehr begrenzter Erklärungswert zu, wenn man sie als Erklärungen von Nebenursachen und Begleiterscheinungen von Erdbeben betrachtet.

So kann man noch in den Lehrbüchern über Elektrizität<sup>436)</sup> in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts immer noch Hinweise auf einen kausalen Zusammenhang zwischen Erdbeben und atmosphärischer Elektrizität finden, wie er früher von ARAGO und GAY-LUSSAC vermutet wurde. Wobei man sich allerdings nicht im klaren war, ob elektrische Ströme als Ursache oder als Wirkung von Erdbeben anzusehen sind. So glaubte LAMONT, dass Erdbeben, wenn auch vielleicht nicht in allen, so doch in einzelnen Fällen elektrische Ströme erzeugen können<sup>437)</sup>, während

SAMPIERI und REGONA annahmen, dass elektrische Ströme, die von der Erde in die Atmosphäre gerichtet sind, als Ursache der Erdbeben anzusehen sind. Anlass zu dieser Vermutung gab ein Ereignis im Telegraphenamts von Savigno am 12. März 1873. Dort verwirrten sich während des Empfangs einer Depesche plötzlich die Zeichen und wenige Augenblicke darauf fand ein Erdbeben statt. Nach SAMPIERIS Publikationen im „Nuovo Cimento“ über den Zusammenhang von Elektrizität und Erdbeben sah sich die Telegraphen-Direktion veranlasst, allen ihren Untergebenen die gleichzeitige Beobachtung der Erdbeben und der elektrischen Erdströme aufzutragen. Die darauf in den nächsten Jahren erfolgten Beobachtungen waren zum Teil nicht absolut verlässlich, in jedem Fall jedoch zu wenig zahlreich, als dass man einen kausalen Zusammenhang zwischen Elektrizität und Erdbeben in bestimmter Weise behaupten konnte. Lediglich die Annahme war gerechtfertigt, dass Elektrizität als zeitweilige oder Nebenursache der Erdbeben nicht ganz auszuschließen ist, sodass der Beobachtung und Registrierung elektromagnetischer Veränderungen ein gewisser prognostischer Wert zukommt. Außerdem schrieb man dem Vorhandensein bedeutender elektrischer Spannungen in der Atmosphäre jene physiologischen Wirkungen zu, welche man vor dem Eintritt von Erdbeben an dem Verhalten von Tieren feststellen konnte.

In ähnlicher Weise haben auch die chemischen Theorien einen, wenn auch noch so begrenzten Prognosegehalt als Bebenvorboten behalten. Denn auch heute werden Veränderungen der atmosphärischen Konzentration von chemischen Elementen wie Quecksilber und Schwefel, die über das unterirdische Wasser oder die Bodenluft erfolgen, ebensowenig geleugnet, wie etwa die Veränderung der elektrischen Leitfähigkeit der Gesteine. Dagegen sind jedoch die unter anderen auch von KANT zitierten Beobachtungen von atmosphärischen Leuchterscheinungen vor den Erdbeben eher fragwürdig geblieben. Andererseits hält man heutzutage die Übertragung der durch Zug- und Druckbeanspruchung in den Gesteinen erzeugten Elektrizität auf die Atmosphäre unter bestimmten Bedingungen für physikalisch nicht unmöglich<sup>438)</sup>. Von den seit der Antike immer wieder angeführten Beziehungen von atmosphärischen Störungen wie Regen, Gewitter, Stürme und Temperaturveränderungen zu den Erdbeben<sup>439)</sup> sind im 19. Jahrhundert lediglich die Luftdruckschwankungen als nicht zufällig erkannt worden. Untersuchungen von Barometerständen bei Erdbeben in verschiedenen Ländern, die vor allem in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts durchgeführt worden sind<sup>440)</sup>, haben gezeigt, dass der durch Luftdruckveränderungen hervorgerufene Wechsel in der Belastung der äußeren Erdkruste zwar nicht bedeutend genug ist, Erderschütterungen direkt zu erzeugen, aber als sekundäre auslösende Ursache wirken kann.

Damit zeigt sich, dass die in der Vergangenheit entwickelten Erklärungsversuche über die primären und sekundären Ursachen der Erdbeben durchaus noch ihren praktischen Wert besitzen. Nach heutiger Auffassung sind zwar solche geophysikalischen Modellvorstellungen über die primären Ursachen der Erdbeben im Erdinneren und die zumindest als Vorläuferphänomene akzeptierbaren sekun-

<sup>435)</sup> SUESS, E.: Das Antlitz der Erde. – I. Bd. S. 229.

<sup>436)</sup> URBANITZKY, A. Ritter v.: Die Elektrizität des Himmels und der Erde. – S. 358, Wien, Pest, Leipzig 1888.

<sup>437)</sup> URBANITZKY, A.: a.a.O. S. 918.

<sup>438)</sup> Vgl. NEUMANN/JACOBS/TITTEL: Erdbeben. – S. 164, Leipzig 1986.

<sup>439)</sup> Vgl. SIEBERG, A.: Die Beziehungen zwischen meteorologischen und seismologischen Vorgängen. – Meteor. Jahrbuch für 1902, VIII Jg., Karlsruhe 1903.

<sup>440)</sup> THOMASSEN, T.Ch.: Erdbeben in ihrer Beziehung zum Luftdruck. – In: Bergens Museums Aarborg for 1893. Vgl. Referat von J. HANN in der Meteorologischen Zeitschrift 1895, S. 240.

GUENTHER, S.: Luftdruckschwankungen in ihrem Einflusse auf die festen und flüssigen Bestandteile der Erdoberfläche. – GERLANDS Beiträge zur Geophysik II. Bd., I. Heft, Stuttgart 1894.



dären Ursachen chemischer oder elektrischer Art selbst noch keine Prognosen, sie können jedoch Beiträge zu einer vollständigen Prognose liefern. Andererseits waren sich die alten Erdbeben-theoretiker durchaus über die Problematik der Wirkung unvollständiger Prognosen im Klaren, die auf nur wenigen Indizien oder gar nur auf einem einzigen Anzeichen beruhen. So berichtet HUMBOLDT von den Wirkungen jener Schallerscheinungen in Mexiko und in den südamerikanischen Erdbebenregionen (bramidos y truenos subterranos), auf die jedoch keine fühlbaren Erdschütterungen folgten. In der mexikanischen Bergstadt Guanajuato führte das am 9. Januar 1784 einsetzende und über einen Monat andauernde unterirdische Getöse zu einer Panik<sup>441</sup>:

*„Fast alle Einwohner verließen vor Schrecken die Stadt, in der große Massen Silberbarren angehäuft waren; die muthigeren, an den unterirdischen Donner gewöhnt, kehrten zurück und kämpften mit der Räuberbande, welche sich der Schätze bemächtigt hatte.“*

Um Plünderungen und Gewalttaten zu vermeiden, wurden vom Magistrat der Stadt Maßregeln angeordnet, deren Auswüchse von HUMBOLDT scharf kritisiert worden sind<sup>442</sup>:

*„Jede Flucht einer Familie sollte bei Reichen mit 1000 Piastern, bei Armen mit zwei Monaten Gefängniß bestraft werden. Die Miliz sollte die Fliehenden zurückholen.“*

Am bemerkenswertesten aber fand HUMBOLDT die Meinung, welche die Obrigkeit (el Cabildo) von ihrem „Besser-Wissen“ hegte. Er fand nämlich in einer der Proklamationen den Satz<sup>443</sup>:

*„... die Obrigkeit würde in ihrer Weisheit (en su Sabiduría) schon erkennen, wenn wirkliche Gefahr vorhanden sei, und dann zur Flucht mahnen; für jetzt seien nur Processionen abzuhalten.“*

Zur Vollständigkeit der „wissenschaftlichen Prognose“ einer Katastrophe gehören nach übereinstimmender Meinung in der modernen Erdbebenforschung die Summe folgender Auskünfte<sup>444</sup>:

- 1) Ort der Katastrophe
- 2) Zeitpunkt ihres Eintretens
- 3) Größe der Katastrophen
- 4) Angabe der Wahrscheinlichkeitszunahme für ihr Eintreten gegenüber dem langjährigen Mittelwert, oder eine andere Form der Verlässlichkeitsangabe der Prognose.

Da unter dem Begriff der Wahrscheinlichkeit im Punkt 4 die mathematische oder statistische Wahrscheinlichkeit zu verstehen ist, dürfte auch klar sein, dass in der vorinstrumentellen Phase der Erdbebenforschung alle bisherigen Angaben unvollständig waren und eine wissenschaftliche Prognose im eigentlichen Sinn nicht erreicht worden ist.

Das zeigt auch die bereits angeführte äußerst kritische Diskussion über die „Erdbebenpropheten“ der Gezeitentheorie der Erdbeben, bei denen zwar auf Grund geophysikalischer Modellvorstellungen Ort und sogar manchmal die Zeit aus den Vorläuferphänomenen vorausgesagt werden konnte, aber jede Angabe über die Größe oder Wahrscheinlichkeit des Eintretens der Katastrophe fehlten. Da man sich auch in den bereits vorhandenen Erdbebenkatalogen der vorinstrumentellen Periode ausschließlich auf makroseismische Ereignisse stützen konnte und die Theorien hauptsächlich im Bezug auf nur wenige große Erdbebenkatastrophen wie Lissabon (1755), Kalabrien (1783), Riobomba (1797) Carracas (1832) Concepción (1835) usw. aufgebaut worden sind, fehlte ein statistisch ausreichendes Datenmaterial zur Abschätzung von Wahrscheinlichkeitsgraden. Trotzdem kann man sagen, dass die auf Grund von geophysikalischen Modellvorstellungen entwickelten kausalen Erklärungsversuche der Erdbeben Beiträge zur Prognose im eigentlichen Sinn lieferten, weil sie zu „Langzeitvermutungen als Vorstufen der wissenschaftlichen Prognose“<sup>445</sup> führten. Als solche „Langzeitvermutungen“ lassen sich bereits die von LYELL, DARWIN und HUMBOLDT so besonders betonten Hebungerscheinungen ansehen.

Fasst man nun die seit der Antike gelieferten Erklärungsversuche über die Ursachen der Erdbeben zusammen und vergleicht sie mit den jeweils zu dieser Zeit stattgefundenen Erdbeben, so zeigt sich deutlich ein in der Neuzeit, insbesondere in der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts und im 19. Jahrhundert, immer stärker ausgeprägter Zusammenhang von Beobachtung und Theorie, der bereits bei Alexander VON HUMBOLDT einen Höhepunkt erreicht. Während in der Antike, im Mittelalter und in der beginnenden Neuzeit theoretische Spekulationen über die Ursachen der Erdbeben mit Ausnahme des Erdbebens von Helike und Bura und des Ausbruchs des Vesuvs meist unabhängig von den konkreten Ereignissen betrieben wurden, bildeten später detaillierte Augenzeugenberichte über den Ablauf von Erdbeben und zum Teil auch eigene Erfahrungen die Grundlage der Erdbeben-theorien. Die Beobachtungen und die Daten über die auch schon exakt vermessenen bleibenden Bodenveränderungen und Gebäudebeschädigungen waren nicht nur der heuristische Ausgangspunkt, sondern wurden sowohl zur empirischen Stützung der eigenen Theorie als auch zur Falsifikation konkurrierender Theoreme eingesetzt, und in immer stärkerem Maße wurde Quellenkritik an den Berichten über die historischen Erdbeben geübt. Wobei sowohl der Unterschied zwischen wissenschaftlich gebildeten Beobachtungen und den laienhaften, von eigenem Schrecken und Leid beeinflussten Berichten der Augenzeugen als auch bereits der Einfluss der Theorie auf die Auswahl und Bewertung der Beobachtungsdaten erkannt worden ist.

<sup>441</sup> HUMBOLDT, A.V.: Kosmos Bd. I, S. 216.

<sup>442</sup> HUMBOLDT, A.V.: a.a.O. S. 444.

<sup>443</sup> Ebenda.

<sup>444</sup> Vgl. GUTDEUTSCH, R.: Naturkatastrophen der Gegenwart – Vorhersage und Vorsorge 1986, S. 2.

BOLT, B.A.: Erdbeben, Eine Einführung. – S. 135, Wien, Heidelberg, New York (Springer) 1984.

<sup>445</sup> GUTDEUTSCH, R.: a.a.O. S. 3.

## 4. Theorien über die Natur und Wirkungsweise der Erdbeben

### 4.1. Der Paradigmawechsel in der Theorie der Erdbeben

So vielfältig die gesamte zweitausendjährige Geschichte theoretischer Erklärungsversuche über die Ursachen und Wirkungsweise der Erdbeben von der Antike bis zum 18. Jhd., von ARISTOTELES bis KANT, war, so lässt sie sich auf eine gemeinsame Grundvorstellung bringen: Immer handelt es sich bei diesen ältesten Theorien um die Vorstellung, dass sich die Vorgänge im Erdinneren, ob sie nun feuriger oder wässriger Natur oder beides im Wechselspiel zusammen sind, in Höhlungen und Kanälen abspielen, durch die leichte oder schwere Massen, Winde, Dämpfe, Wasser, Lava, Asche oder Gesteinsbrocken, meist ruckartig oder explosionsartig, transportiert werden, wodurch diese Höhlen aufbrechen oder einstürzen. Was entweder völlig unbekannt war oder bestenfalls andeutungsweise vorausgeahnt worden ist, war die für die zweite Hälfte des 19. Jhdts. so charakteristische Erkenntnis von der Wellenausbreitung der Erderschütterungen ohne jeglichen Massentransport.

Zwar hat schon ARISTOTELES nach der Art und Weise, wie die Erdbeben wirken, eine Klassifikation in „Neigungsbeben“, die diagonal wirken, und in „Rüttler“, die vertikale Bewegungen durchführen, geliefert und zumindest seit HUMBOLDT war die Unterscheidung in sukzessorische, undulatorische und rotatorische Bewegungsarten der Erdbeben allgemein bekannt, von denen sich die umstrittene „rotatorische“ Bewegung, die niemals direkt beobachtet worden waren, sondern auf die meist nachträglich aus Verdrehungen von Gebäudeteilen geschlossen worden ist, als falsch erwiesen hatte. Doch waren diese Überlegungen zur Wirkungsweise der Erdbeben noch nicht, wie HUMBOLDT selbst zugeben musste, von der primären Ursache des „ersten Impulses“ getrennt.

Erst MALLETS physikalisch-mechanische Theorie der Erdbebenwellen ohne Massentransport, die auf der Analogie von Schall- und Erdbebenwellen beruhte, machte eine saubere Trennung beider Problem- und Erklärungsbereiche möglich.

Alexander VON HUMBOLDT, dessen Erdbebenforschungen vom Ende des 18. Jhdts. bis in die zweite Hälfte des 19. Jhdts. reichen, stellt ein Verbindungsglied zwischen diesen alten Theorien und der neuen Auffassung dar. Er war es auch, der zu Recht in der neuen Auffassung der Erdbeben als dynamische Wellenphänomene auch eine endgültige Falsifikation aller bisherigen Theorien gesehen hat, auf die er sich zum Teil selbst gestützt hatte. So schrieb er durchaus selbstkritisch im 4. Band seines Kosmos aus dem Jahre 1858, nachdem er Kenntnis von MALLETS „Dynamics of Earthquakes“ (1848) erhalten hatte<sup>446</sup>:

*„Alles was wir von den Erschütterungswellen und Schwingungen in festen Körpern wissen, zeigt das Unhaltbare älterer Theorien über die durch eine Reihung von Höhlen erleichterte Fortpflanzung der Bewegung.“*

Erst nachdem man den Erdkörper in idealisierter Weise physikalisch als einen homogen isotropen Festkörper mit einer bestimmten Dichte ansah, in dem sich elastische Wellen wie die Schallwellen in Luft oder Wasser fortpflanzen, ergab sich jener für die moderne Seismologie unseres Jahrhunderts charakteristische Paradigmawechsel von der beschreibenden und klassifizierenden Erdbebenkunde zu einer exakten Naturwissenschaft.

Ein Paradigmawechsel<sup>447</sup> ist dadurch gekennzeichnet, dass sich sowohl die Zielsetzung und Methoden als auch die Grundbegriffe einer Theorie ändern. Genau das hat MALLET für sich beansprucht, wenn er am Beginn seiner Pionierarbeit aus dem Jahre 1846 schreibt<sup>448</sup>:

*„The present paper constitutes, so far as I am aware, the first attempt to bring the phenomena of the earthquake within the range of exact science, by reducing to system the enormous mass of disconnected and often discordant and ill-observed facts which the multiplied narratives of earthquakes present, and educing from these, by an appeal to the established laws of the higher mechanics, a theory of earthquake motion.“*

Wiederum war es A.v. HUMBOLDT, der die grundlegende und revolutionäre Bedeutung dieser Unterscheidung erkannt und rückhaltlos akzeptiert hat<sup>449</sup>:

*„Indem man ... die Betrachtungen über das, was den Impuls zur Erschütterung gibt, sorgfältig von denen über das Wesen und die Fortpflanzung der Erschütterungswelle trennt; so unterscheidet man dadurch zwei Classen der Probleme von sehr ungleicher Zugänglichkeit.“*

Aus dieser neuen Zielsetzung, bei der die Erforschung der primären Ursache gegenüber der Dynamik und Wirkungsweise der Erdbeben in den Hintergrund tritt, resultiert dann die neue Definition des Begriffes Erdbeben als<sup>450</sup>

*„... der Durchgang einer oder mehrerer in Folge elastischer Zusammendrückung entstandener Wellen durch die Kruste und Oberfläche der Erde in was immer für einer Richtung, vertical aufwärts, schief oder horizontal in jeglichem Azimuth, von einem oder mehreren Stossmittelpunkten aus, und häufig begleitet von Schall- oder Flut-Wellen, je nach dem Impuls und dem Verhältnisse der Lage zu See und Land.“*

Die weitere Folge dieses Paradigmawechsels war die Umdeutung der alten Einteilung der Erdbeben nach ihren Bewegungsformen zu der neuen Form einer Einteilung nach der Schwingungsart der Erdbebenwellen. Die sukzessorische Bewegung, die früher mit einem vertikalen Transport von feuerflüssiger Materie oder Dampf aus dem heißen Erdinnern gleichgesetzt worden ist, wurde als longitudinale Kompressionswelle analog der Schallwelle angesehen, die sich durch das Erdinnere bis an die Oberfläche fortpflanzt und dort im so genannten Epizentrum als ein von unten nach oben senkrecht geführter Stoß wahrgenommen wird. Die ursprüngliche Annahme war, dass jedes Erdbeben prinzipiell nur aus einem einzigen Stoß besteht, auf den alle weiteren Wirkungen zurückführbar sind. Erst später unterschied man den Hauptstoß (principal shock) von den nachfolgenden Stößen (after shock).

Über die sogenannte „undulatorische“ Bewegung war man sich jedoch noch weniger im Klaren. Einerseits sah

<sup>447</sup> KUHN, T.S.: Die Struktur wissenschaftlicher Revolutionen. – Suhrkamp, Frankfurt 1973.

<sup>448</sup> MALLET, R.: On the Dynamics of Earthquake; being an Attempt to reduce their observed Phenomena to the known Laws of Wave Motion in Solids and Fluids. – Transactions of the Royal Irish Academy, Vol. XXI, 1846.

<sup>449</sup> HUMBOLDT, A. v.: Kosmos, Bd. 4, 1858, S. 217.

<sup>450</sup> MALLET, R.: On Earthquake Phenomena Admiralty Manual of Scientific Enquiry, Third Edition, London 1859; Dt: Ueber Erdbeben und die Beobachtung der dabei vorkommenden Erscheinungen. Mit Erlaubnis des Verfassers deutsch bearbeitet von Ludwig Heinrich JEITTELES. – In: Programm des K.K. Kathol. Staatsgymnasiums in Kaschau für das Schuljahr 1860.

<sup>446</sup> HUMBOLDT, A. v.: Kosmos, Bd. 4, 1858, S. 491.

man darin eine Art von Wellenbewegung, bei der sich wie bei einem Wasserspiegel Wellenberge oder Wellenkämme (crests) und Wellentäler bilden, andererseits wurde aber darunter auch ein horizontales Hin- und Herschwingen des Erdbodens verstanden oder ein „seitliches Vibrieren“ (TRAVAGINI).

Als Erklärung dieser Phänomene, die sich an Bäumen und hohen Gebäuden wie das Schwanken eines Schiffes am Meer äußerten, wurde zunächst im Rahmen der Wellentheorie der Fortpflanzung der Erdbeben angenommen (MALLETT), dass die elastische longitudinale Kugelwelle bei Austritt an der Oberfläche eine undulatorische Bewegung hervorruft, deren Höhe entsprechend dem immer schräger werdenden Emergenzwinkel und der Entfernung vom Ursprungsort fortwährend abnimmt. Dass auch elastische Transversalwellen vom Ursprungsort ausgehen und sich bis an die Oberfläche fortpflanzen, wurde ebenso angenommen, wie dass die Oberflächenwellen selbst elastische Transversalwellen (WERTHEIM) sind, entweder mit vertikaler (EWING) oder horizontaler Schwingungsrichtung (CANCANI) der Materieteilchen oder in eliptischer Form in jede Richtung. Außerdem wurden entsprechend der alten Unterscheidung von *successio* und *inclinatio* „Neigungswellen“ an der Erdoberfläche angenommen, unter denen sowohl quasi-elastische sog. „Gravitations-“ (MILNE) oder „Fallwellen“ (VOLGER) verstanden wurden.

Die Entwicklung dieser Theorien über Natur- und Wirkungsart der Erdbebenwellen war bis zum Ende des 19. Jahrhunderts zwar nicht abgeschlossen, doch wurden wesentliche Fortschritte in der Erfassung der komplizierten Vorgänge der Fortpflanzung der Erdbebenwellen im Laufe der letzten beiden Jahrzehnte des 19. Jahrhunderts durch die Konstruktion von Erdbebenmessinstrumenten erreicht. Unter dem Einfluss dieser Messinstrumente entstand aus der bloß qualitativ beschreibenden Erdbebenkunde die Seismologie als exakte Wissenschaft.

## 4.2. Die Entwicklung der Wellentheorie und ihre Anwendung auf die Erdbeben

Die Wellentheorie der Fortpflanzung der Erdbeben hatte ihre Grundlage in der Analogie sowohl zu den Schallwellen als auch zu den Wasserwellen. Denn die Schallwellen waren das Vorbild für die longitudinalen Kompressions-Kugelwellen in der Erde selbst, die deshalb auch „Erdwellen“ genannt wurden und die vom eigentlichen, in der Tiefe liegenden Erdbebenherd (oder dem später sog. „Hypozenrum“) als stoßförmig oder sukzessorische Bewegungen senkrecht nach oben zum Oberflächenmittelpunkt (dem sog. „Epizentrum“) gerichtet sind, während die Wasserwellen das Vorbild für die zu dieser Bewegung quer oder schräg verlaufenden transversalen Wellen oder Undulationen an der Erdoberfläche waren. Diese transversalen Oberflächenwellen wurden jedoch mit wenigen Ausnahmen (VOLGER) als sekundäre Nebenerscheinung der direkt durch den Erdkörper hindurchgehenden Kompressionswellen angesehen, die beim Austritt an der Erdoberfläche den Wasserwellen ähnliche Phänomene hervorrufen soll. Obwohl MALLETT auch die Existenz von transversalen Wellen annahm, die direkt vom Ursprungsort in schräger Richtung durch den Erdkörper bzw. die Erdkruste hindurchgehen, maß er ihnen wegen ihrer angeblich geringen Auswirkungen keine besondere Bedeutung bei. Erst durch die Registrierung dieser sich sehr weit fortpflanzenden transversalen Wellen durch empfindliche Seismometer bzw. Seismographen wurde das Interesse an dieser Art der Schwingung in der theoretischen Erklärung der Erdbeben größer. Damit ergab sich aber noch eine weitere Analogie. Denn die Theorie der transversalen Wellen und ihre mathematische Darstellung wurde vor allem in der physikali-

schen Optik im Rahmen der Undulationstheorie des Lichtes ausgearbeitet.

Somit konnten aus drei physikalischen Gebieten, der Akustik, der Hydrodynamik und der Optik, grundlegende theoretische Einsichten auf das Gebiet der Seismologie übertragen werden. Naheliegender war diese Übertragung schon deswegen, weil ja einerseits Erdbeben häufig mit Schallphänomenen verbunden sind und andererseits von allem Anfang an die Auswirkungen der Erdbeben, die unter See stattfanden, in Form von Wasserwellen bekannt waren. In beiden Fällen handelt es sich zwar um Wellenbewegungen in weitgehend homogenen Medien wie Luft und Wasser. Aber schon zu dieser Zeit war man sich vollkommen darüber im Klaren, dass die aus der Newtonschen Mechanik abgeleiteten Gesetze der unterschiedlichen Schwingungsformen der Wellenbewegungen für alle Arten von Medien gelten müssen, auch wenn sie inhomogen sein sollten, wie es die unterschiedliche materielle Beschaffenheit der geschichteten Erdkruste ist. Im Unterschied zu einem homogenen Medium wird nur die Anwendung dieser Gesetze schwieriger. Denn entsprechend dem unterschiedlichen Material der Bodenbeschaffenheit ändert sich auch die Fortpflanzungsgeschwindigkeit und es treten vielfache Brechungen, Überlagerungen und Reflexionen der Wellenbewegungen auf, die jedoch alle den gleichen Grundgesetzen der Mechanik gehorchen. Denn diese beziehen sich sowohl auf feste und elastische als auch auf flüssige Körper, unter der Voraussetzung, dass die einzelnen Teile einer Flüssigkeit denselben mechanischen Gesetzen von frei beweglichen festen Körpern gehorchen.

### 4.2.1. Die Theorie der Schallwellen

Wie bereits William WHEWELL, ein Zeitgenosse von Robert MALLETT und neben John HERSCHEL der bedeutendste Vertreter der induktiven Wissenschaftstheorie in England, deutlich erkannt hat, war die heute akzeptierte Theorie des Schalles in ihrem Ansatz schon in der Antike bekannt. Denn es war ARISTOTELES, der in seiner Schrift „Vom Ton und vom Hören“ die grundsätzlich richtige Ansicht vertreten hat, dass ein Ton dann entsteht, wenn ein Körper die Luft in Bewegung setzt. Die Luft wird dabei zusammengedrückt und auseinandergezogen. Auf diese Weise wird nach seiner Auffassung auch der Ton der menschlichen Stimme durch die Luft weiterverbreitet<sup>451</sup>:

*„Der Ton entsteht, wenn ein Körper die Luft bewegt, nicht indem er der Luft, wie manche glauben, eine gewisse Form eindrückt, sondern indem er diese Luft auf eine angemessene Weise in Bewegung setzt, die Luft wird dabei zusammengedrückt und auseinander gezogen; diese Luft wird durch den Impuls des Atems oder der schwingenden Seite eingeholt oder überfallen und gleichsam gestoßen. Denn wenn der Atem auf die Luft fällt und die ihm nächsten Teile desselben bewegt, so wird diese Luft mit einer gewissen Kraft vorwärts getrieben, und die ihr zunächst liegende Luft wird dadurch ebenfalls weiter geführt, und auf diese Weise verbreitet sich derselbe Schall immer weiter nach allen Richtungen, wo die Luft noch bewegt werden kann.“*

Τὰς δὲ φωνὰς ἀπὸ πάσης συμβαίνει γίνεσθαι καὶ τοῦς ψόφους ἢ τῶν σωματίων ἢ τοῦ ἀέρος πρὸς τὰ σώματα προσπίπτοντος, οὐ τῶ τὸν ἀέρα σχηματίζεσθαι, καθάπερ οἰοῦνται τινες, ἀλλὰ τῶ κινεῖσθαι παραπλησίως αὐτὸν συσπυκνόμενον καὶ ἐκτεινόμενον καὶ καταλαμβάνομενον, ἔτι δὲ σύγκρουοντα διὰ τὰς τοῦ πνεύματος καὶ τῶν χορδῶν γιγνομένης πληγῆς

<sup>451</sup>) ARISTOTELES: Opera edidit Academia Regia Borussica. Aristoteles Graece ex recognitione Immanuelis Bekkeri. – S. 800, Berlin 1831.

Auch das Zurückwerfen der Schallwellen, die auf ein Hindernis stoßen, war ARISTOTELES als Entstehungsursache des Echos bekannt<sup>452)</sup>:

„Ein Echo entsteht, wenn die Luft, die in Beziehung auf den Raum, in dem sie enthalten ist, als ein Körper betrachtet wird, wegen der Grenzen dieses Raumes nicht vorwärtsschreiten kann, und von dessen Wänden, wie ein Ball zurückgeworfen wird.“

ἤχῳ δὲ γίνεται ὅταν, αἰέρος, ἐνός, γενομένου διὰ τὸ ἀγγεῖον τὸ διορίσαν καὶ κωλύσαν θρυφθῆναι, πάλιν ὁ αἴρ ἀπωσθῆ, ὡς περ σφαίρας

VITRUV vergleicht die Wellenbewegung der Luft mit den Wellen des Wassers und stellt auch den wesentlichen Unterschied zwischen diesen Wellenarten fest, der darin besteht, dass sich die Schallwellen in allen Richtungen, in die Breite und in die Tiefe fortpflanzen, während im Wasser die kreisförmigen Oberflächenwellen sich nur horizontal in die Breite ausdehnen<sup>453)</sup>.

Zu diesen Erklärungen, sagt WHEWELL mit Recht, wurde bis in die neueren Zeiten nichts Wesentliches mehr hinzugefügt<sup>454)</sup>. Es wurden sogar, weil diese Art der Bewegung der Luft mit den sonst gewöhnlichen Luftbewegungen, wie etwa mit den Winden, die einen Massentransport darstellen, nicht in Übereinstimmung zu bringen war, scheinbar sehr plausible Einwände dagegen erhoben. So meint etwa BACON, dass es sich bei der Fortpflanzung des Tones keineswegs um eine Bewegung der Luft handeln könne, da der Ton die Flamme einer Kerze genausowenig in Bewegung versetzt wie einen Faden oder sonst einen sehr leichten Körper, der doch schon die leiseste Bewegung der ihn umgebenden Luft verrät<sup>455)</sup>.

Deshalb fragte auch noch Otto von GUERICKE, der Erfinder der Luftpumpe, wie der Ton durch die Bewegung der Luft fortgepflanzt werden könnte, da doch diese Fortpflanzung in der stillen Luft besser vor sich geht, als wenn sie vom Winde bewegt wird<sup>456)</sup>. Wie schon vor ihm Athanasius KIRCHER versuchte GUERICKE auch experimentell zu demonstrieren, dass die Luft nicht der Träger des Schalles sein kann. Diesen Nachweis glaubte er dadurch erbracht zu haben, dass das Läuten einer Glocke auch in einem luftleeren Raum zu hören sei. Jedoch beruhten beide Experimente, sowohl das von KIRCHER als auch das von GUERICKE auf einer unzulänglichen Versuchsanordnung. In beiden Fällen war weder ein für diese Zwecke hinreichendes Vacuum erreicht worden, noch war sicher gestellt, dass der Ton der Glocke nicht auch durch das Material der Aufhängungen bzw. Befestigungen der Glocke nach außen übertragen wurde. Erst die Wiederholung dieses Experimentes im Jahre 1660 durch Robert BOYLE mit einer wesentlich sorgfältigeren Versuchsanordnung zeigte deutlich eine Abschwächung der Intensität des Glockentones je mehr die Luft ausgepumpt werden konnte. Daraus schloss Robert BOYLE definitiv, dass die Luft das Medium für die Übertragung des Schalles ist, jedoch nicht das einzige. Denn der Schall pflanzt sich ja auch in flüssigen und festen Körpern fort<sup>457)</sup>:

„We caus'd a cylinder of box to be turn'd of a length suitable to that of the receiver, wherein it was to be employ'd. Out of the lower basis of this cylinder, which was about an inch and a half in diameter, there came a smaller cylinder

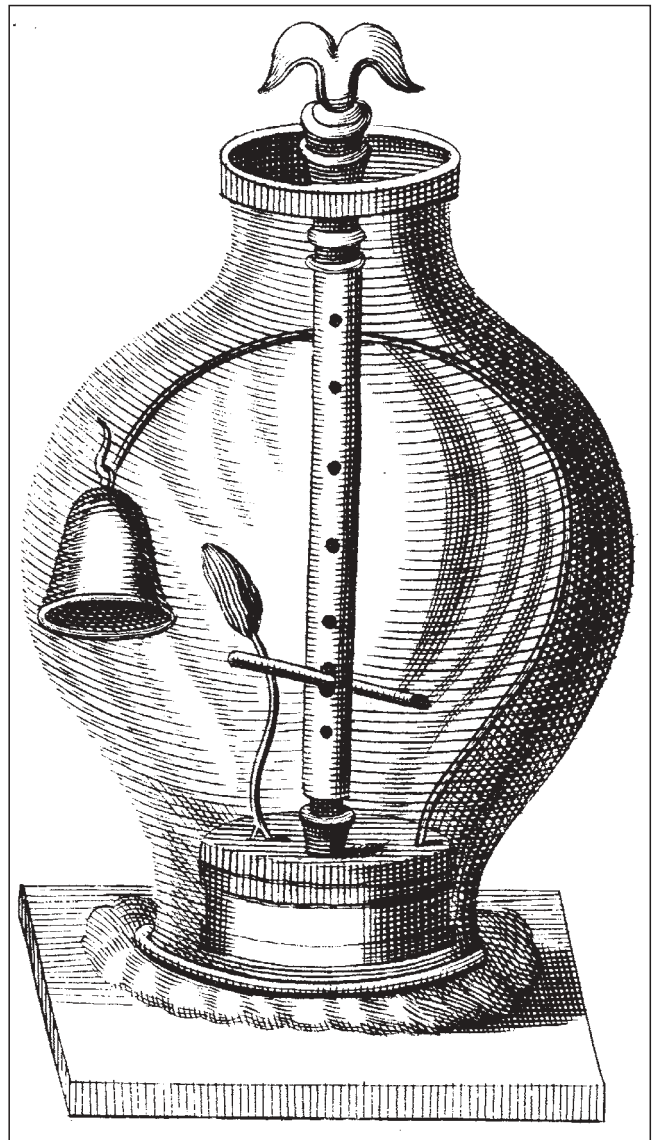


Abb. 49. BOYLES Experimente zur Abschwächung eines Glockentones im Vacuum aus dem Jahre 1660 (BOYLE, 1738).

or axle-tree, not a quarter so thick as the other, and less than an inch long: this was turn'd very true, that it might move smoothly in a little ring of brass made for it in the midst of a fix'd trencher, or piece of solidwood, shap'd like a mill-stone; being four or five inches in breadth, and between one and tow in thickness: and the large round groove, purposely made, in the lower part of this trencher, I caused to be fill'd up with lead, to keep the trencher steady: and in the uppermost part of this trencher we intended to have holes made, to place bodies in at several distances, as occasion should require. The upper basis of the cylinder had, also, another axle-tree coming out of the midst of it, but wider than the former, that into its cavity it might receive the lower end of the turn-key, to which 't was to be fasten'd by a slender peg of brass, thrust thro' two correspondent holes, the one made in the turn-key, and the other in the socket of the axletree. There were also several horizontal perforations made in the pillar itself to which this axis belong'd; which pillar we call the vertical cylinder. The general use of this contrivance, is, that the end of the turn-key being put into the socket, and the lower axis of the vertical cylinder into the trencher; by the motion of the key, a body fasten'd at one of the holes to the cylinder may be

452) ARISTOTELES: De anima II, 8, 419 b 25-27.

453) VITRUV: De Architectura. V. 3.

454) WHEWELL, W.: Geschichte der induktiven Wissenschaften. – Bd. II, S. 325.

455) BACON, F.: Historia Soni et Auditus. – Opp. Bd. IX, S. 68.

456) De Vacuo Spatii, S. 138.

457) BOYLE, R.: The propagation of sounds in the exhausted receiver. – In: The Philosophical Works of the Honourable Robert Boyle, Esq. Ed. by P. Shaw, M.D. Sec. Ed., Bd. II, S. 508 f., London 1738.

brought to, or remov'd from, or made to strike against another body, fasten'd, in a convenient posture, to the upper part of the trencher.

We caus'd then a hand-bell without its handle and clapper, to be so fasten'd to a strong wire, that one end of the wire being fixed in the trencher, the other, which was bent downwards, took hold of the bell. In another hole, made in the circumference of the same trencher, was wedg'd a steel spring, to the upper part whereof was wedg'd a gad of steel less than an inch long, but considerably thick; the length of this spring made the upper part of the hammer, or piece of steel, of the same height with the bell; and the distance of the spring from the bell was such, that when forc'd back the other way, it might, at its return make the hammer strike briskly upon the outside of the bell. The trencher being thus furnish'd and plac'd in a capp'd receiver, the air was diligently pump'd out, and then, by the help of the turn-key, the vertical cylinder was made to go round, by which means, as often as one of the two stiff wires, or small pegs, that were fasten'd at right angles into holes made near the bottom of the cylinder, pass'd by the spring, they forcibly bent it in their passage from the bell, so that as soon as the wire was gone by, and the spring ceas'd to be press'd, it would fly back with violence enough to make the hammer give a smart stroke upon the bell. And, by this means, we could both continue the experiment at discretion, and make the percussions more equally strong than it would otherwise have been easy to do.

Now, when the receiver was well emptied, it sometimes appear'd doubtful whether any sound was produc'd or no; but to me, for the most part, it seem'd, that, after great attention, I heard a very faint and languid sound, and yet methought it had some shrillness in it, and seem'd to come from afar. But letting in the air, at competent intervals, it was easy to observe, that the vertical cylinder being still made to go round, when a little air was let in, the stroke of the hammer upon the bell became very audible: when more air was admitted, the sound grew greater, and so increased till the receiver was again replenish'd with air; tho', even then, the sound was observ'd to be much less than when the receiver did not interpose between the bell and the ear."

Erst die theoretische Erklärung, die NEWTON im Rahmen seiner Mechanik lieferte, sollte einigermaßen Klarheit über diese Art der Bewegung der Luft bringen. In der ersten Auflage seiner „Principia“ vom Jahre 1687 demonstriert er, dass ein in einem elastischen Medium schwingender Körper seine Schläge (pulsus) durch dieses Medium dadurch fortsetzt, dass die kleinsten Teile dieses Mediums sich vor- und rückwärts wie die Bewegungen eines Pendels bewegen. Das heißt, es findet kein Massentransport der Luftteilchen statt<sup>458</sup>):

„Pulsibus per fluidum propagatis, singulae fluidi particulae, moto reciproco brevissimo euntes et redeuntes, accelerantur semper et retardantur pro lege oscillantis penduli.“

„Pflanzen sich die Stöße in einer Flüssigkeit fort, so werden die einzelnen Theilchen der letzteren, welche mit der kürzesten gegenseitigen Bewegung vor- und rückwärts gehen, immer nach dem Gesetz eines schwingenden Pendels beschleunigt und verzögert.“

Wenn sich diese Luftteilchen nach vorwärts bewegen, erzeugen sie eine Verdichtung, und wenn sie gleich darauf rückwärts gehen, bewirken sie eine Verdünnung oder Ausdehnung der Luft. Diese aufeinander folgenden Verdichtungen und Verdünnungen, Kompressionen und Dilatationen der Luft machen die Bewegung des Schalles aus, der sich auf diese Weise in alle Richtungen fortpflanzen kann<sup>459, 460</sup>:

„Designent AB, BC, CD, pulsum successorum aequales distantias; ABC plagam motus pulsum ab A versus B propagati; E, F, G puncta tria physica, medii quiescentis in recta AC ad aequales ab invicem distantias sita; Ee, Ee', Gg spatia aequalia perbrevia per quae puncta illa motu reciproco singulis vibrationibus eunt & redeunt;  $\epsilon$ ,  $\phi$ ,  $\gamma$  loca quaevis intermedia eorundem punctorum; & EF, FG lineolas physicas seu medii partes lineares punctis illis interjectas, & successive translatas in loca  $\epsilon\phi$ ,  $\phi\gamma$  &  $e f$ ,  $f g$ . ... Hac lege punctum quodvis E, eundo ab E per  $\epsilon$  ad e, & inde redeundo per  $\epsilon$  ad E, iisdem accelerationis ac retardationis gradibus vibrationes singulas peraget cum oscillante pendulo.“

„Es bezeichnen AB, BC, CD etc. gleiche Abstände der aufeinander folgenden Stöße, ABC die Richtung, in welcher die Bewegung der Stöße von A gegen B erfolgt; E, F, G drei physische Punkte des ruhenden Mittels, welche auf der Linie AC in gleichen Abständen von einander liegen. Ferner seien Ee, Ee', Gg sehr kurze gleiche Wege, über welche jene Punkte bei gegenseitiger Bewegung in den einzelnen Schwingungen vor- und rückwärts gehen;  $\epsilon$ ,  $\phi$ ,  $\gamma$  beliebige zwischenliegende Orte derselben Punkte; EF, FG physische Linien oder lineare Theile des Mittels, welche zwischen jenen Punkten liegen, und nach und nach zu den Orten  $\epsilon\phi$ ,  $\phi\gamma$  und  $e f$ ,  $f g$  übertragen werden ...

Hiernach wird jeder Punkt E, welcher von E durch  $\epsilon$  nach e geht, und von hier durch  $\epsilon$  nach E zurückkehrt, die einzelnen Schwingungen mit demselben Grade der Beschleunigung und Verzögerung ausführen, wie ein schwingendes Pendel.“

Nachdem nun feststand, dass die Luft das primäre Medium der Übertragung des Schalles ist, war das nächste zu lösende Problem die Frage nach der Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalles in der Luft und in anderen Medien. Untersuchungen dieser Art wurden bereits

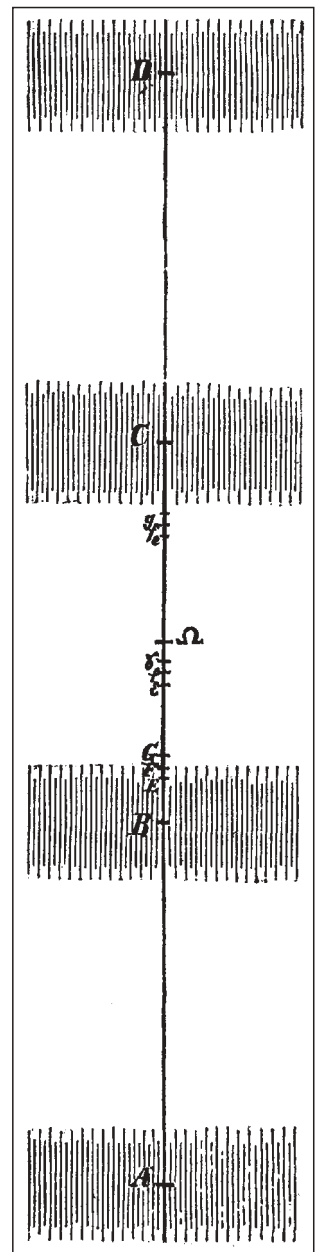


Abb. 50. NEWTONS Analogieexperiment der Kompressionen und Dilatationen der Luft bei der Fortpflanzung des Schalles ohne Massentransport nach dem Gesetz der Pendelbewegung.

im 17. Jahrhundert von MARIAN MERSENNE und BOYLE selbst durchgeführt. Beide stellten zwar fest, dass die Geschwindigkeit der Fortpflanzung des Schalles in der Luft „außerordentlich groß“ (exceeding great) sei, stimmten aber in den genauen numerischen Angaben ihrer Resultate nicht überein. So erhielt MERSENNE einen Wert von 1380 Pariser Fuß in einer Sekunde<sup>461</sup>), was zwar wesentlich geringer war als eine frühe-

<sup>458</sup>) NEWTON, I.: Princ. Lib. sec. sect. VIII. Prop. XLVII, Theor. XXXVII.

<sup>459</sup>) Ebenda.

<sup>460</sup>) NEWTON, I.: Mathematische Prinzipien der Naturlehre. – S. 360 f.

<sup>461</sup>) MERSENNE, M.: Phaenom. ballistica prop. 39.

re Messung aus dem Jahre 1635 von Pierre GASSENDI, der 1473 Pariser Fuß in einer Sekunde angab, aber noch ungleich größer war als BOYLES Messung von 1125 Pariser Fuß. BOYLE erklärte die Differenz mit der unterschiedlichen Dichtigkeit (consistence) der Luft in Frankreich und in England<sup>462</sup>:

*„Mersennus observes, that a bullet, shot out of a cannon, moves tw hundred and forty yards in a second; but I have more than once found, that sounds pass above four hundred yards in the some time, in ENGLAND: tho' according to Mersennus, a sound moves in that time, many yards more in FRANCE; which may possibly proceed from the different consistence of the air in those two places.“*

Die Methode zur Messung der Schallgeschwindigkeit leitet MERSENNE aus der bei Seegefechten und Belagerungen bereits längst bekannten Tatsache ab, dass zwischen Blitz und Knall eines entfernt aufgestellten Geschützes ein zeitlicher Unterschied besteht. Während sich das Licht über sehr weite Entfernung in einer so kurzen Zeit verbreitet, dass es nicht wahrgenommen werden kann, kommt dagegen der Schall mit beträchtlicher Verspätung an. So kann man auch die Axt eines Holzfällers in größerer Entfernung zweimal niederfallen sehen, ehe man den ersten Hieb hört. MERSENNE schlägt daher vor, die Pulsschläge zwischen dem Augenblick zu zählen, in dem man den Blitz beim Abfeuern einer Muskete oder eines schweren Geschützes sieht, und demjenigen, in dem man den Schuss vernimmt. Die unterschiedlichen Resultate solcher Beobachtungen legten ihm nahe, dass bei gleichbleibenden Bedingungen zwar die Fortpflanzungsgeschwindigkeit konstant bleibt, jedoch bei unterschiedlichen atmosphärischen und lokalen Umständen sich sehr verändern kann. Ähnliche Experimente wurden bereits um 1660 von der Akademie del Cimento in Florenz durchgeführt, die nach den späteren Angaben vom MUSCHENBROEK<sup>463</sup> eine Fortpflanzungsgeschwindigkeit von 1185 Pariser Fuß (= 385 Meter) in der Sekunde ergaben.

Als bisher genauestes Resultat wurde jedoch die englische Messung von FLAMSTEAD und DERHAM<sup>464</sup> vom Jahre 1708 angesehen, die eine Schallgeschwindigkeit von 1142 englische Fuß (1072 Pariser Fuß) in der Sekunde ergab. Die ersten Experimente der Akademie der Wissenschaften in Paris, die gemeinsam von CASSINI, HUYGENS, PICARD und RÖMER durchgeführt wurden, ergaben, dass der Schall eine Sekunde brauche, um 180 Toisen oder 1080 Pariser Fuß zu durchlaufen<sup>465</sup>. Dieser Betrag war zwar kleiner als die meisten älteren Versuche, aber doch noch größer als der in England festgestellte.

Deshalb entschloss sich die Pariser Akademie zu einer Wiederholung ihrer Versuche und übergab diese Aufgabe CASSINI, MARALDI und DE LA CAILLE, die sie im März 1738 ausführten. Das Besondere an diesen Versuchen war die große Weite zwischen den drei Beobachtungsorten in Paris, der Pyramide am Montmartre, dem Observatorium, der Mühle von Fontenay aux Roses und dem 29 Kilometer entfernten Turm von Montlhéry. Da auch bei dieser Entfernung die Fortpflanzung des Lichtes unmessbar gering war, denn man hatte bereits zu dieser Zeit berechnet, dass es vom Monde bis zur Erde nur ungefähr 2 Sekunden braucht, war man davon überzeugt, dass man mit derselben Methode der Registrierung des Unterschiedes zwischen Blitz und Knall wesentlich genauere Zeitmessungen über die Schallgeschwindigkeit erreichen könnte. Denn bei größeren Entfernungen mussten die Messfehler geringer werden. Als Resultat der zahlreichen Versuche, die mit Böllern und Ka-

nonen unterschiedlicher Größe und unterschiedlicher Ladung von einem halben Pfund bis 12 Pfund Pulver sowohl bei Tag als auch bei Nacht bei unterschiedlicher Witterung und Windverhältnissen durchgeführt wurden, ergab sich eine mittlere Geschwindigkeit von 173 Toisen (1038 Pariser Fuß) in einer Sekunde.

Verglichen mit der englischen Beobachtung zeigte sich somit ein beträchtlicher Unterschied von 11 Meter oder 34 Pariser Fuß. Bei der Entfernung von Montlhéry bis Montmartre würde sich ein Unterschied von insgesamt fast 3 Sekunden ergeben, den man nicht mehr als Beobachtungsfehler tolerieren kann. Denn nach CASSINI'S Meinung könnten in diesem Fall Beobachtungsfehler von nur höchstens einer halben Sekunde zugelassen werden.

Weitere Ergebnisse waren, dass die Geschwindigkeit unabhängig von der Stärke des Schalles ist, ebenso vom Unterschied von Tag und Nacht, dem Unterschied in der Bodenbeschaffenheit, über die der Schall hinweggeht, und auch unabhängig von der Richtung und Neigung der Geschütze, was darauf hindeutet, dass der Schall in gerader Linie und in jeder Richtung sich ausbreitet.

Die einzige Veränderung der Schallgeschwindigkeit wurde bei einer Windrichtung parallel oder entgegen der gemessenen Strecke festgestellt. Die Geschwindigkeit des Schalles wurde jeweils um jenen Betrag beschleunigt oder verzögert, den der günstige oder widrige Wind selbst hatte. Diese Veränderung der Schallgeschwindigkeit wird von CASSINI auf Grund der Elastizität der Luft erklärt<sup>466</sup>:

*„Denn wenn man eine Feder annimmt, die zur Zeit, da sie losschnappet, durch eine Kraft in eben der Richtung getrieben wird, so ist gewiß, dass, nachdem sie losgesprungen, das Ende der Feder von dem Orte, den es einnahm, als sie zusammen gedrückt war, um die ganze Größe der Ausdehnung dieser Feder, und die der mitgeteilten Bewegung, entfernt seyn werde.“*

Offen blieb jedoch die Frage nach dem Einfluss der Jahreszeiten und Gegenden auf die Fortpflanzung des Schalles. Das aber wollte CASSINI auf einer späteren Reise in den südlichen Teil Frankreichs untersuchen. Tatsächlich durchgeführt wurde ein derartiger Vergleich durch Giovanni BIANCONI, der feststellte, dass der Schall im Winter langsamer sei als im Sommer usw. um 4 Sekunden langsamer bei einer Strecke von 13 italienischen Meilen<sup>467</sup>.

Ein weiterhin noch ungelöstes Problem war die immer noch sehr große Diskrepanz zwischen diesen experimentell gewonnenen Ergebnissen und den theoretischen Bestimmungen der Schallgeschwindigkeit. Die ersten wesentlichen Schritte zur theoretischen Ableitung und Berechnung der Fortpflanzung des Schalles in der Luft wurde ebenfalls von NEWTON geleistet. Nach den Gesetzen der Mechanik, die für die Bewegungen fester Körper gelten, ging er von der Annahme aus, dass Schallgeschwindigkeit gleich derjenigen ist, die ein fester Körper im freien Fall durch die halbe Höhe einer homogenen Atmosphäre erhalten würde. Unter dieser „Höhe einer homogenen Atmosphäre“ versteht NEWTON die Höhe, welche die Atmosphäre der Erde haben müsste, wenn sie überall gleich dicht wäre, aber trotzdem an der Oberfläche der Erde denjenigen Druck hervorbringen würde, den sie tatsächlich mit ihrer in der Höhe sehr schnell abnehmenden Dichte hervorbringt. Das Resultat von 968 Fuß in der Sekunde war jedoch viel kleiner als der Wert, den DERHAMS spätere Messungen von 1142 Fuß ergaben. NEWTON

<sup>463</sup> MUSCHENBROEK: Tentam. exper. capstorum in Academ. del cimento. Lugd. Batav. 1731, S. 113.

<sup>464</sup> DERHAM: Philos. Trans. N<sup>o</sup>. 113, S. 2.

<sup>465</sup> Du HAMEL: Histor. Academ. reg. Scien. L. II. sect. 3. cap. 2.

<sup>466</sup> CASSINI VON THURY: Von der Fortpflanzung des Schalles. – In: Der Königl. Akademie der Wissenschaften in Paris. Physische Abhandlungen. XII. Theil welcher die Jahre 1737 und 1738 in sich hält. Übers. von W.B.A. von STEINWEHR, Breslau 1756.

<sup>467</sup> BIANCONI, G.: Comment. Bonon. – Bd. II, S. 365. (zit. n. FISCHER, 1801, S. 385).

bemühte sich daher in der zweiten Auflage seiner „Principia“ (1713) diese Diskrepanz zwischen Theorie und Beobachtung durch Zusatzklärungen wie z.B. durch den Hinweis auf die Dimensionen der Luftteilchen oder auf die der Atmosphäre beigemischten Dünste aufzuheben<sup>468, 469</sup>:

„Cæterum in hoc computo nulla habetur ratio crassitudinis solidarum particularum aeris, per quam sonus utique propagatur in instanti. Cum pondus aeris sit ad pondus aquæ ut ad 870, & sales sint sere duplo densiores quàm aqua; si particula aeris ponantur esse ejusdem circiter densitatis cum particulis vel aquæ vel salium, & raritas aeris oriatur ab intervallis particularum: diameter particula aeris erit ad intervallum inter centra particularum, ut 1 ad 9 vel 10 circiter, & ad intervallum inter particulas ut 1 ad 8 vel 9. Proinde ad pedes 979, quos sonus tempore minuti unius secundi juxta calculum superiorem consiciet, addere licet pedes 979/9, seu 109 circiter, ob crassitudinem particularum aeris: & sic sonus tempore minuti unius secundi conficiet pedes 1088 circiter. His adde quod vapores in aere latentes, cum sint alterius elateris & alterius toni, vix aut ne vix quidem participant motum aeris veri quo soni propagantur. His autem quiescentibus, motus ille celerius propagabitur per solum aerem verum, idque in subduplicata ratione minoris materiae. Ut si atmosphaera constet ex decem partibus aeris veri & una parte vaporum, motus sonorum celerior erit in subduplicata ratione 11 ad 10, vel in integra circiter ratione 21 ad 20, quam si propagaretur per undecim partes aeris veri: ideoque motus sonorum supra inventus, augendus erit in hac ratione. Quo pacto sonus, tempore minuti unius secundi, conficiet pedes 1142.“

„Übrigens habe ich bei dieser Rechnung keine Rücksicht auf die Dicke der festen Theilchen der Luft genommen, durch welche sich der Schall augenblicklich fortpflanzt. Das Gewicht der Luft verhält sich nämlich zu dem des Wassers, wie 1 : 870, und Salze sind fast zweimal so dicht, als das letztere. Setzt man nun voraus, dass die Lufttheilchen ungefähr ebenso dicht, als Wasser- oder Salztheilchen seien und der lockere Zustand der Luft nur von den zwischen den Theilchen befindlichen Zwischenräumen herrühre; so wird der Durchmesser eines Lufttheilchens sich zum Abstände der Mittelpunkte zweier Theilchen ungefähr wie 1 : 9 oder 1 : 10 und zum Abstände der Theilchen selbst wie 1 : 8 oder 1 : 9 verhalten. Man muss daher zu den 979 Fuss, welche der Schall in 1 Secunde durchlaufen soll, nach der vorhergehenden Rechnung noch = 109 Fuss ungefähr addiren; also legt der Schall in 1 Secunde etwa 1088 Fuss zurück. Hierzu kommt noch, dass die in der Luft enthaltenen Dämpfe eine andere Spannung als jene haben und einen anderen Ton angeben; sie nehmen daher kaum Theil an der Bewegung der reinen Luft, welche den Schall fortpflanzt. Befinden sich nun diese Theile in Ruhe, so wird die Bewegung schneller durch die reine Luft fortgepflanzt, und zwar im halben Verhältnis der geringeren Menge der Materie. Ist daher die Atmosphäre aus 10 Theilen reiner Luft und einem Theile Dampf zusammengesetzt, so wird die Bewegung des Schalles schneller sein im Verhältniss 11 : 10 d.h. ungefähr wie 21 : 20, als wenn sie 11 Theile reiner Luft enthielte. In diesem Verhältniss muss man die vorhergefundene Geschwindigkeit des Schalles vergrössert werden. Sie wird daher in 1 Secunde = 1142 Fuss.“

Diese ad hoc-Erklärungen NEWTONS zur Anpassung seiner Theorie an die Beobachtungsdaten wurden jedoch von den meisten seiner Zeitgenossen, wie z.B. EULER<sup>470</sup> als unzureichend angesehen.

<sup>468</sup>) NEWTON, I.: Princ. Lib.sec.sect. VIII. Prop. XLVII, Theor. XXXVII. S. 364.

<sup>469</sup>) NEWTON, I.: Mathematische Prinzipien der Naturlehre, S. 366 f.

<sup>470</sup>) Coniectura physica circa propagationem soni ac luminis. – § VII, Berol. 1750.

Auch die Weiterentwicklung dieser Lösung im Rahmen der analytischen Mechanik, wie sie LAGRANGE<sup>471</sup> in seiner Turiner Abhandlung von 1759 durchführte, veränderte die Newtonsche Formel und somit auch die Diskrepanz von Theorie und Erfahrung nicht. Erst LAPLACE erkannte, dass das gewöhnliche Gesetz von der Veränderung der Elastizität der Luft, das bloß von der Kompression abhängt, nicht auf die sehr schnellen Bewegungen angewendet werden können, die den Ton erzeugen. Denn durch eine derart plötzliche Kompression wird die Temperatur der Luft und damit auch ihre Elastizität erhöht<sup>472</sup>.

Die Korrektur der NEWTONSchen Formel, welche den Einfluss der „Wärmeentbindung durch die Kompression der Luft“, heutzutage als „adiabatische Kompression“ bezeichnet, noch nicht enthielt, wurde LAPLACE durch die Versuche zur Bestimmung der Schallgeschwindigkeit nahegelegt, die von der französischen Expedition anlässlich der Gradvermessung in Peru durchgeführt wurden. LA CONDAMINE<sup>473</sup> stellte bei diesem Versuch auf der Hochebene von Quito, die eine Schallgeschwindigkeit von 1050 Pariser Fuß ergaben, fest, dass auf dieser Höhe von 3000–4000 Meter der Schall eines Neunpfüunders auf etwas weniger als 20 Kilometer Entfernung kaum mit dem eines Achtpfüunders zu vergleichen war, der in der Ebene bei Paris auf 31 Kilometer gehört wurde. Nach den Überlegungen von LAPLACE sollte daher die NEWTONSche Formel durch einen konstanten Faktor korrigiert werden, der das Verhältnis der spezifischen Wärme der Luft bei konstantem Volumen zu der spezifischen Wärme der Luft unter konstantem Druck wiedergibt<sup>474</sup>:

„Les savants français et espagnols envoyés au Pérou pour mesurer un degré du méridien ont fait à Quito l'observation de la vitesse du son, qu'ils ont trouvée la même à fort peu près que l'on avait observée à Paris, quoiqu'il y ait une grande différence entre les pressions de l'atmosphère dans ces deux villes, la hauteur moyenne du baromètre n'étant à Quito que de 544mill.. Cette observation fournit le moyen de vérifier le théorème que j'ai donné pour corriger la formule newtonienne sur la vitesse du son. La vérité de ce théorème exige que C désignant la chaleur spécifique de l'air, lorsque la pression est constante, et C désignant cette chaleur spécifique, lorsque le volume est constant, le rapport C/C<sub>1</sub> soit à peu près le même, sous les deux pressions barométriques 544mill. et 760mill. c'est en effet ce que MM. Gay-Lussac et Welter ont trouvé par l'expérience.“

Diese Versuche von GAY-LUSSAC und WELTER ergaben für die atmosphärische Luft den Wert: 1,3748. LAPLACE war es auch, der dem Längenbureau die Wiederholung der Experimente zur Bestimmung der Schallexperimente der Pariser Akademie vom Jahre 1738 vorschlug mit dem Ziel, den „thermometrischen Zustand der Atmosphäre“ zu berücksichtigen und eine größere Genauigkeit in der Zeitmessung zu erreichen. Denn in CASSINIS Abhandlung waren nur zwei einander entsprechende Beobachtungen zu finden. Dem Vorschlag von LAPLACE zufolge wurde eine Kommission gebildet, der ARAGO, DE PRONY, BOUVARD und MATHIEU angehörten. Weiterhin wurden A. v. HUMBOLDT und GAY-LUSSAC eingeladen, dessen Versuche über die spezifische Wärme der Luft LAPLACE als Grundlage für die neue theoretische Bestimmung der Geschwindigkeit des Schalles gedient hatten<sup>475</sup>.

<sup>471</sup>) LAGRANGE, J.L.: Recherches sur la nature et la Propagation du Son. Miscelana Taurinensia. – Tom. 1, 1759.

<sup>472</sup>) LAPLACE, P.S.: Mécanique Céleste. – Bd. V, Lib. XII, S. 153, Paris 1825.

<sup>473</sup>) LA CONDAMINE: Voyage de la riviere des Amazon. – S. 206.

<sup>474</sup>) LAPLACE ebenda.

<sup>475</sup>) ARAGO, F.: Geschwindigkeit des Schalles. Resultat der 1822 im Auftrage des Längenbureaus zur Bestimmung der Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalles in der Atmosphäre unternommenen Versuche. - In: F. ARAGOS sämtliche Werke. Mit einer Einleitung von A. v. HUMBOLDT. Hrsg. VON W.G. HANKEL, Bd. 15, S. 4, Leipzig 1860.

Abb. 51.  
Messung der Schallgeschwindigkeit durch die Pariser Akademie im Jahre 1822.

Die ersten Versuche fanden am 21. Juni 1822 bei heiterem und fast vollständig ruhigem Wetter statt. HUMBOLDT, GAY-LUSSAC und BOUVARD waren in Montlhéry stationiert, ARAGO, DE PRONY und MATHIEU in Villejuif. Als einzige Möglichkeit, bei diesen Versuchen den Einfluss der Geschwindigkeit des Windes zu beseitigen, wurden ebenso wie bei den Versuchen vom Jahre 1738, gegenseitige Schüsse vereinbart. Der Abstand zwischen der Kanone in Villejuif von der Kanone in Montlhéry wurde auf das genaueste mit der Triangulationsmethode vermessen. Er ergab den Wert von 9.549,6 Toisen (= 18.612,51982 Meter). Die Zeiten zwischen dem Erscheinen des Lichtblitzes und der Ankunft des Schalles wurden mit Chronometern gemessen, die Zehntelsekunden angeben. Und ebenfalls sehr genau wurden Temperatur, Luftfeuchtigkeit und Luftdruck bei jedem Versuch gemessen. Das Resultat aller Messungen am 21. Juni 1822, reduziert auf eine einheitliche Temperatur von 10° Celsius, ergab eine Schallgeschwindigkeit von 173,01 Toisen. Weitere Wiederholungen dieser Messungen in Holland mit noch weiter getriebener Präzision durch MOLL und BECK<sup>476)</sup> und in anderen Ländern sowie unter extremen Bedingungen in den Polargegenden durch FRANKLIN und PARRY ergaben eine durchschnittliche Schallgeschwindigkeit von 332 Meter in der Sekunde bei ruhiger Luft und Null Grad.

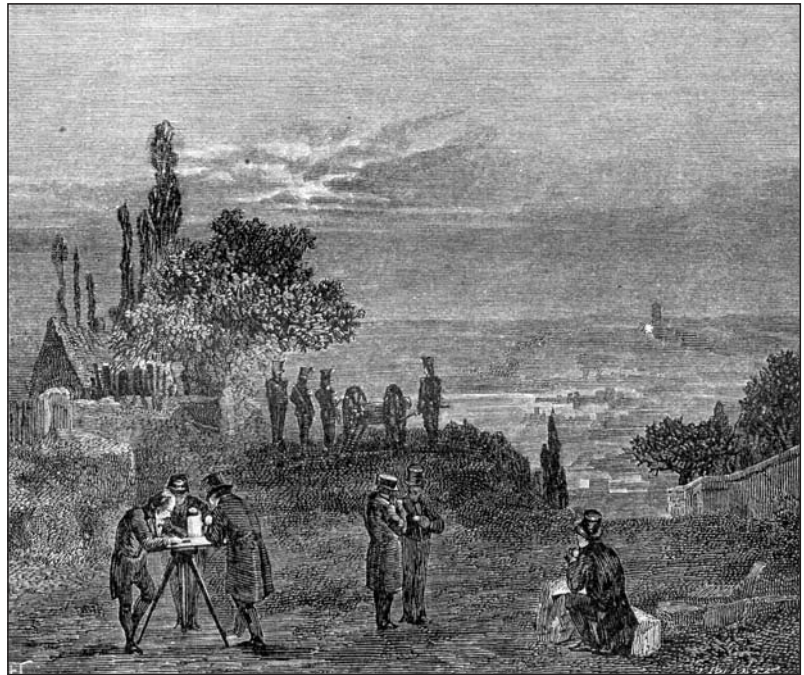
Damit war auch die theoretisch vorausgesagte Veränderung der Schallgeschwindigkeit bei unterschiedlicher Temperatur experimentell nachgewiesen. Bereits von ARAGO wurde die noch heute grundsätzlich gültige Feststellung getroffen, dass die Entfernung, die der Schall in einer Sekunde zurücklegt, bei jedem Grad Temperaturerhöhung um 0,626 Meter wächst<sup>477)</sup>.

Aus der seit BOYLE bekannten Feststellung, dass nicht nur die Luft, sondern jedes elastische Medium, ob es nun gasförmig, flüssig oder fest ist, den Schall weiterleitet, ergab sich eine Reihe weiterer theoretischer Berechnungen und Versuche. Nach den Berechnungen von LAPLACE, die sich auf die jeweilige elastische Gegenwirkung (*réaction élastique*) des Mediums stützen, ergibt sich, wenn man die Geschwindigkeit, mit der sich der Schall in der Luft fortpflanzt, mit 1 bezeichnet, eine Geschwindigkeit von  $10\frac{1}{2}$  in Messing,  $4\frac{1}{2}$  in

<sup>476)</sup> Pogg. Ann.: V. S. 335, S. 369.

<sup>477)</sup> ARAGO a.a.O. S. 12.

Abb. 52.  
Messung der Schallgeschwindigkeit im Wasser des Genfersees durch COLLADON und STURM im Jahre 1828 (Beobachtungsstation 1).  
Nach GUILLEMIN (1868).



Regenwasser,  $\frac{47}{10}$  in Meerwasser. Also in jedem dieser Fälle ein Mehrfaches als in der Luft.

Experimentell wurden diese Berechnungen vor allem durch BIOT bestätigt, der mit den gusseisernen Röhren der Pariser Wasserleitungen eine Reihe von Versuchen durchführte<sup>478)</sup>:

*„Ich selbst habe Beobachtungen dieser Art an einer Verbindung von 376 Röhren aus Gußmetall angestellt, die zusammen eine Länge von 951 Metern (2827 par. Fuß) hatten. An eine der Mündungen dieses Canals ward ein Eisenring, der mit ihm von gleichem Durchmesser war, angefügt, und in seiner Mitte durch Stäbe, ebenfalls von Eisen, eine Glocke und ein, von einer Stahlfeder gehaltener, Hammer befestigt, vermöge deren man letztern nach Belieben an die Glocke anschlagen lassen konnte. Dann pflanzte sich der Schlag des Hammers an die Glocke zur Röhre*

<sup>478)</sup> BIOT, J.B.: Experimental-Physik. – Bd. III, S. 15 f., Leipzig 1829.

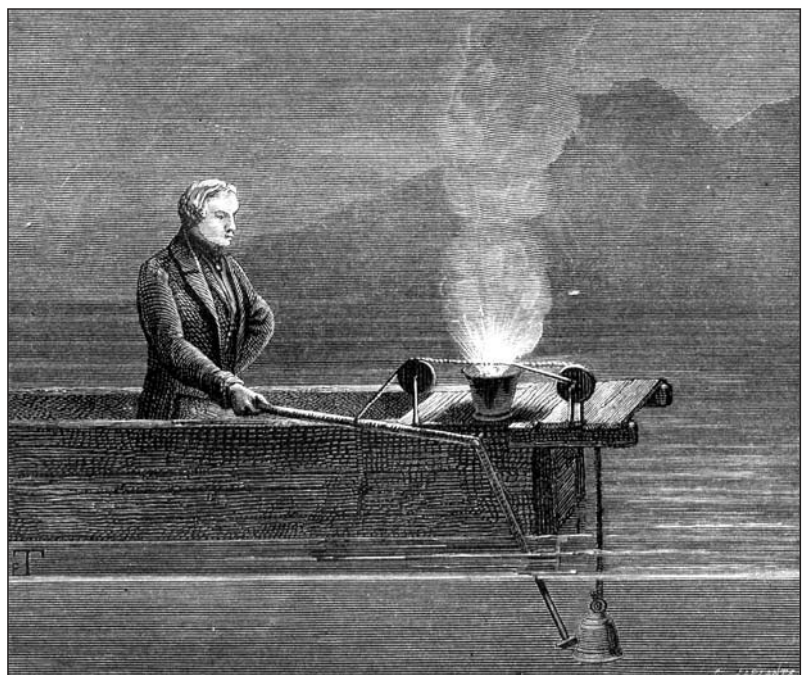




Abb. 53.  
Messung der Schallgeschwindigkeit im Wasser des Genfersees durch COLLADON und STURM im Jahre 1828 (Beobachtungsstation 2).  
Nach GUILLEMIN (1868).



*mittels der Stäbe und des Ringes von Eisen fort: und stellte man sich an das andre Ende der leitenden Linie, so musste man einen doppelten Schall hören, einen, der durch das Metall der Röhre, den anderen, der durch die Luft fortgepflanzt wurde. Auch nahm man wirklich beide ganz deutlich wahr, wenn man das Ohr an die Röhre hielt; ja es bedurfte dessen nicht einmal. Eben so zeigte sich bei Hammerschlägen, die man unmittelbar auf die letzte Röhre fallen ließ, diese doppelte Fortleitung. Durch Chronometer, welche halbe Secunden zeigten, wurde die Zwischenzeit zwischen dem Anlangen beider fortgepflanzten Töne gemessen. Ich fand auf solche Weise, dass der Schall sich 10 mal so schnell durch das Metall, als durch die Luft fortpflanzte.“*

Am genauesten wurde die Geschwindigkeit des Schalles im Wasser im Jahre 1828 von J.D. COLLADON und J.C.F. STURM<sup>479)</sup> im Genfersee gemessen. An den beiden Beobachtungsstationen in der Nähe von Rolle und Thonon, die 13.487 Meter voneinander entfernt waren, wurden zwei Boote verankert.

Das eine Boot in Rolle war unterhalb der Wasseroberfläche mit einer 130 Pfund schweren Glocke ausgestattet, die von einem Hammer angeschlagen werden konnte. In dem Augenblick, in dem der Hammer unter Wasser die Glocke berührte, entflamte eine Zündrute auf dem Verdeck des Bootes einen Haufen Pulver. Im zweiten Boot, das in Thonon verankert war, wurde die Ankunft des Schalles unter Wasser mit Hilfe eines besonderen Hörrohres registriert. Dieses Hörrohr bestand aus einer 5 Meter langen konischen, unten erweiterten Blechröhre, deren untere Öffnung durch eine Membran verschlossen war. Diese Membran wurde im Wasser nach der Schallseite ausgerichtet. Der Beobachter legte das Ohr an das obere Ende des Rohres, wobei er aufmerksam nach dem ersten Boot blickte.

Beim Erscheinen des Blitzes setzte er ein Zählwerk in Gang, dessen Zeiger bei der ersten Wahrnehmung des Schalles wieder arretiert wurde und auf diese Weise die Zwischenzeit von  $9\frac{1}{4}$  Sekunden wiedergab. Indem man die Entfernung zwischen den beiden Boten durch die Anzahl der Sekunden, die zwischen der Ankunft von Blitz und Glockenton verging, dividierte, erhielt man eine Schallgeschwindigkeit von 1435 Meter pro Sekunde im Wasser, das zu dieser Zeit eine Temperatur von  $8^\circ$  hatte. Damit waren auch die theoretisch berechnete Angaben, dass die Schallgeschwindigkeit im Wasser mehr als vier mal so groß ist, bestätigt.

Abgeschlossen wurden die theoretischen Betrachtungen der Fortpflanzung des Schalles in unterschiedlichen Medien durch die Abhandlung von POISSON aus dem Jahre 1829, in der er ganz allgemein auf Grundlage der mathematischen Analysis die Wellenbewegungen in isotropen elastischen Medien behandelt<sup>480)</sup>. Diese rein mathemati-

sche Behandlung der Wellentheorie konnte sich auf die Erdbebenlehre jedoch erst nach der Konstruktion von geeigneten Präzisionsinstrumenten auswirken. In den Anfängen der Wellentheorie der Erdbeben, als man entweder noch gar keine oder nur sehr einfache Messinstrumente besaß, waren es vor allem die experimentellen Untersuchungen über die sichtbaren Phänomene der Schwingungen flüssiger und fester Körper, wie sie sich am deutlichsten bei den Wasserwellen zeigten, welche die theoretischen Überlegungen über die Fortpflanzung der Erdbeben bestimmten.

#### 4.2.2. Die Theorie der Wasserwellen

Die Ähnlichkeit von Schallwellen und Wasserwellen, die beide Schwingungen ohne Massentransport sind, wurde zwar schon frühzeitig erkannt. Allerdings war man der Meinung, dass die Wellen auf der Oberfläche des Wassers nur aus Erhöhungen des Wassers, die Schallwellen dagegen aus der Verdichtung der Luft bestehen.

Der Grund für die strikte Trennung von Wasser- und Schallwellen war die noch von EULER vertretene weitverbreitete Vorstellung, dass im Unterschied zur Luft, die man schon seit ARISTOTELES als einen elastischen Körper angesehen hatte, der sich ausdehnen und zusammenpressen lässt, Wasser und überhaupt alle tropfbaren Flüssigkeiten nur eine geringe oder überhaupt keine Elastizität besitzen<sup>481)</sup>:

*„Hier haben wir also einen wesentlichen Unterschied zwischen Luft und Wasser, den nämlich, dass das Wasser sich nicht zusammendrücken lässt, während man Luft nach Belieben zusammendrücken kann ... Je dichter die Luft zusammengedrückt wird, desto mehr Gewalt wendet sie an, sich wieder auszudehnen und in ihren natürlichen Zustand zurückzusetzen. Dies nennt man die Federkraft oder die Elastizität der Luft.“*

Zahllose Versuche, in denen man Wasser gewaltsam zusammendrücken wollte, zeigten jedenfalls, dass das

<sup>479)</sup> Pogg. Ann. XII. – S. 171.

<sup>480)</sup> POISSON, S.D.: Sur l'équilibre et le mouvement des corps solides élastiques. – Mem. in Acad. de Paris, Bd. VIII, 1829.

<sup>481)</sup> Léonhard EULER'S Briefe an eine deutsche Prinzessin über verschiedene Gegenstände der Physik und Philosophie (9. Brief vom 10. Mai 1700). – S. 25–26, Stuttgart 1847.

Wasser den Kompressionen einen fast unüberwindlichen Widerstand entgegengesetzt. Das lehrreichste Beispiel dafür ist das so genannte „hydrostatische Paradox“, das PASCAL zugeschrieben wird und noch lange Zeit in den zeitgenössischen Lehrbüchern der Physik<sup>482)</sup> auf folgende Weise anschaulich dargestellt worden ist: Wenn man zum Gesamtgewicht des Wassers, mit dem ein Fass gefüllt ist, ein vergleichsweise unbedeutendes Gewicht dadurch hinzufügt, dass man ein sehr hohes, senkrecht nach oben gerichtetes Rohr, das in das Fassspundloch eingeführt ist, mit Wasser vollschüttet, dann zerspringen die Dauben des solide gebauten Fasses.

„Pascal a mis en évidence ce fait qu'on nomme le paradoxe hydrostatique: il fit éclater les douves d'un tonneau solidement construit et rempli d'eau, dont la bonde était surmontée d'un tube très-étroit et très-élevé, et cela simplement en remplissant d'eau ce tube, c'est-à-dire en ajoutant au poids total un poids insignifiant“.

Daher war es auch naheliegend, die Wellen an der Oberfläche des Wassers darauf zurückzuführen, dass die well-

<sup>482)</sup> GUILLEMIN, A.: Les phénomènes de la physique. – S. 79, Paris 1868.

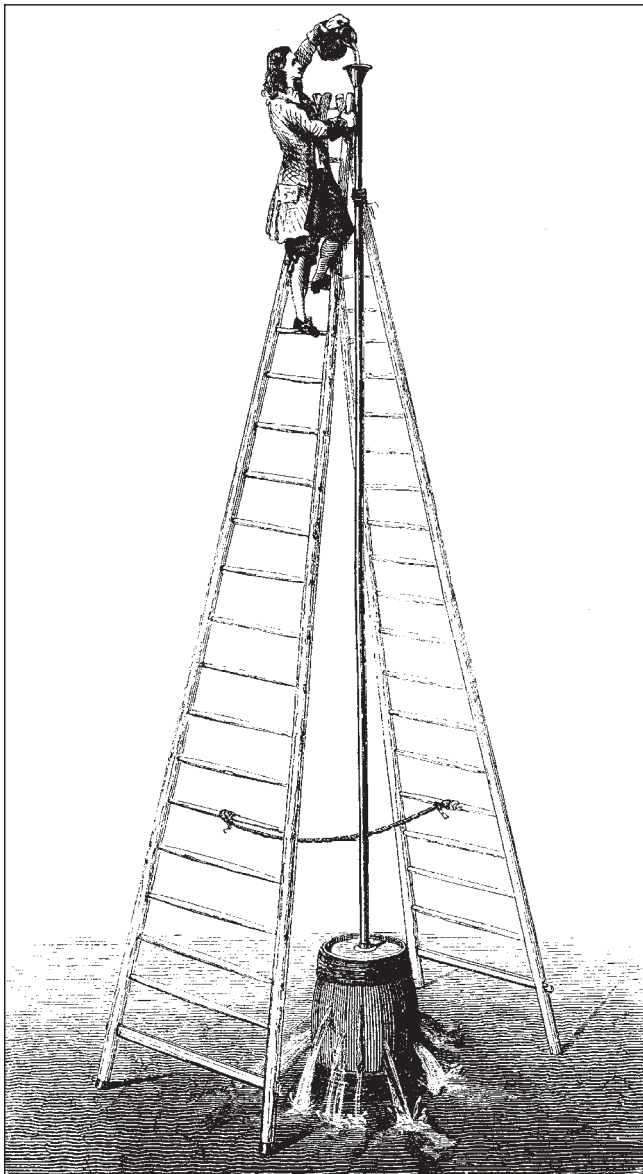


Abb. 54.  
Das hydrostatische Paradox von PASCAL.  
Nach GUILLEMIN (1868).

enerregenden Kräfte den Druck, den die Teilchen der Flüssigkeit nach allen Richtungen gegeneinander ausüben, in einer Richtung verstärken. Die Wellenerscheinung, die am bekanntesten ist, weil sie sich dem Menschen von selbst aufdrängt, sind die auf der Wasseroberfläche im Freien durch den Wind hervorgebrachten Wellen. Es war insbesondere die Schifffahrt, die von allem Anfang an die Aufmerksamkeit auf diese Art der Wellenerscheinung gelenkt hat. Diese Überlegung war auch der Anlass für die experimentelle Untersuchung jener einfacheren Wellenbewegungen, die durch Ursachen erregt werden, welche nur augenblicklich wirken und die erzeugten Wellen sich dann ungestört selbst überlassen. Eine solche auf Experimente gegründete Wellenlehre über die Wellen tropfbarer Flüssigkeiten mit Anwendung auf die Schall- und Lichtwellen haben die Gebrüder Ernst Heinrich WEBER und Wilhelm WEBER im Jahre 1825 geliefert<sup>483)</sup>.

Sie bildete, wie noch an Zitaten von MALLET und VOLGER gezeigt wird, die wichtigste Grundlage für die Anfänge einer Theorie der Erdbebenwellen, weil sie sowohl das Phänomen der Oberflächenwellen als auch das Phänomen der longitudinalen Kompressionswelle erklären konnte. Ihr heuristischer Wert war vor allem deswegen so groß, weil die dabei verwendete Versuchsanordnung sich nicht nur auf die Bewegung der Wellen selbst bezog, sondern auch die zugleich stattfindende Molekularbewegung beobachten ließ und auch<sup>484)</sup>

„... die dabei auftretenden Erscheinungen des Fortschreitens, der Zurückwerfung, der Durchkreuzung und

<sup>483)</sup> WEBER, E.H. & WEBER, W.: Wellenlehre auf Experimente gegründet oder über die Wellen tropfbarer Flüssigkeiten mit Anwendung auf die Schall- und Lichtwellen. Leipzig 1825. – In: Wilhelm WEBERS Werke, hrsg. von der Königl. Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen. 5. Bd., Berlin 1893.

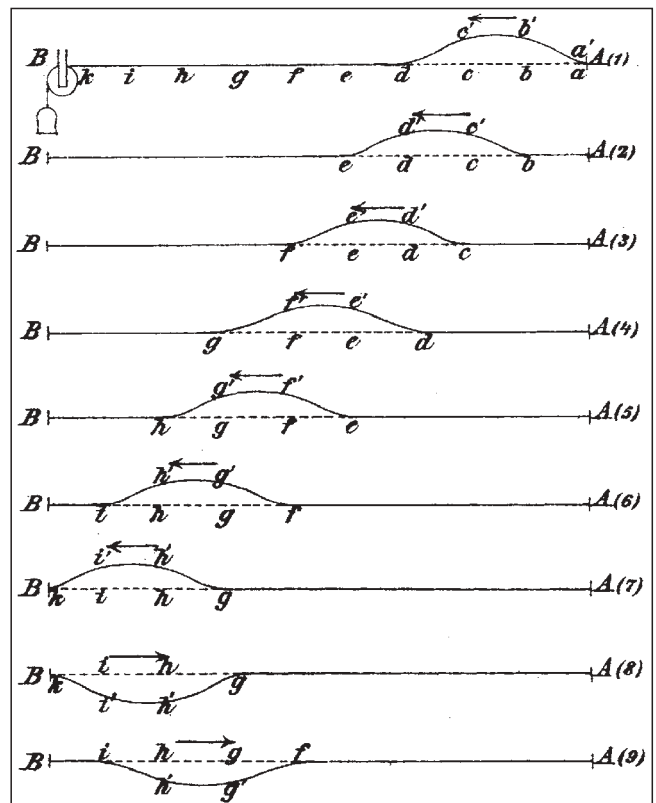


Abb. 55.  
Geometrische Darstellung der einzelnen Zeitabschnitte der Wellenbewegung durch die Gebrüder WEBER (1825).

der dabei stattfindenden Interferenz, der Inflexion der Wellenbewegungen Schritt für Schritt verfolgt werden ...“

konnten.

Ausgangspunkt der Experimente war die allgemeine theoretische Überlegung, dass die Wellenbewegung (motus undulatoris) nichts anderes ist als eine fortschreitende Schwingung (oscillatio progressiva), die durch eine Störung des Gleichgewichtes zustandekommt. Diese fortschreitende Schwingung lässt sich am einfachsten an einem aufgespannten Seil beobachten, das in der Nähe eines seiner Befestigungspunkte durch einen plötzlichen Stoß nach oben aus seiner Ruhelage gebracht wird. Im Augenblick des Stoßes wird jedoch nur jene Strecke des Seils, die der gestoßenen Stelle sehr naheliegt, nach oben ausgebeult, weil der Stoß viel schneller beendet ist, als er sich der ganzen Länge des Seils von Teil zu Teil mitteilen kann. Es wird daher eine nach dem entgegengesetzten Ende fortschreitende schwingende Bewegung, d.h. eine Wellenbewegung verursacht, wie die geometrische Darstellung (Abb. 55) der einzelnen Zeitabschnitte in untereinander angeordneten Linien (1–9) zeigt. Aus dieser Darstellung kann man leicht erkennen, dass die Fortbewegung der Welle nur eine scheinbare Bewegung ein- und desselben Körpers und keine wirkliche ist. Die wirkliche Bewegung, die diesen Schein veranlasst, ist vielmehr nur eine sukzessive Schwingung der einzelnen Teilchen des Seils, die von den Gebrüdern Weber auf folgende Weise beschrieben wird<sup>485)</sup>:

„Nachdem nämlich seit der Beendigung des Stosses ein erster Zeittheil verflossen ist, rückt unseren Versuchen nach die nach oben gekehrte Ausbeugung abcd nach bcde weiter fort. In einem zweiten gleichgrossen Zeittheile sieht man sie bei cdef, in einem dritten bei defg, in einem vierten bei efgh in einem fünften bei fgih und in einem sechsten bei ghil. So hat nun die Ausbeugung den zweiten Befestigungspunkt des Seils erreicht. So wie nun eine Wasserwelle von dem Rande eines Gefässes, so wird diese Welle eines Seils von den Befestigungspunkten desselben zurückgeworfen, und schreitet auf demselben Wege rückwärts nach A, auf dem sie bis jetzt nach B vorwärts gegangen war, mit dem Unterschiede jedoch, dass die Welle, die vor der Anprallung bei B ihre Ausbeugung nach oben wendete, sich nun in eine nach unten gerichtete Ausbeugung verwandelt, so wie man sie bei Fig. 1 (7), (8) und (9), von kihg nach ihgf dargestellt sieht.“

Versuche mit einem Seil von unterschiedlicher Länge und Dicke wurden von den Gebrüdern WEBER auch tatsächlich vorgenommen<sup>486)</sup>:

„An einem dicken, 190 Fuß langen Seile, welches über die Saale bei Halle gespannt war, sahen wir die Welle 16 Mal über den Fluß hinüber und herüber laufen.“

Da die Wellenbewegung der Seile bereits von EULER<sup>487)</sup> in einer Abhandlung aus dem Jahre 1783 auf vollkommenste Weise berechnet worden ist, war es für die Gebrüder WEBER klar, dass man für die Analyse der Wellenbewegung der übrigen Körper, der festen Körper, des Wassers und der Luft, daraus Nutzen ziehen kann, wenn man sie mit der so einfachen Wellenbewegung eines Seiles vergleicht. Denn überall dort, wo, wie bei einem Seil, ein einzelner Teil oder Abschnitt eines Körpers in Schwingung versetzt wird, scheint es notwendig zu sein, dass die Schwingung über die übrigen Abschnitte des Körpers, mit denen der zuerst in Schwingung geratene Teil in Verbin-

dung steht, fortschreite. Folglich tritt unter diesen Umständen eine Wellenbewegung ein.

Durch diese Überlegungen gelangten dann die Gebrüder WEBER zu jener Verallgemeinerung, auf die sich in der Erdbebenliteratur VOLGER<sup>488)</sup> ausdrücklich beruft<sup>489)</sup>:

„Da nun die Bedingungen der fortschreitenden Schwingung, d. i. der Wellenbewegung, fast überall gegeben sind, so gehört die fortschreitende Schwingung, oder Wellenbewegung, zu den am allerhäufigsten in der Natur vorkommenden Erscheinungen, und es kann sich der Mensch in der That kaum bewegen, ohne in der Luft, oder in anderen Körpern Wellenbewegungen zu erregen. Jeder Tritt auf dem Fussboden einer Stube, jede Berührung eines Körpers, erregt in demselben Wellenbewegungen, welche nach sehr ähnlichen Gesetzen fortschreiten, und von den Grenzen der Körper zurückgeworfen werden, wie die Wellen im Wasser fortschreiten, und von dem Rande, der es begrenzt, zurückgeworfen werden.“

Bei all diesen Wellenbewegungen handelt es sich nie um einen Massentransport, sondern immer nur um die sukzessiv aufeinander folgende Bewegung von Teilchen des schwingenden Körpers. Nach der Verschiedenheit der Richtung der Bahn, die jedes Teilchen durchläuft, werden auch die fortschreitenden Schwingungen oder Wellenbewegungen in der Wellenlehre der Gebrüder WEBER in longitudinale, transversale oder drehende (rotatorische) eingeteilt. Bei der von CHLADNI zum ersten Mal so genannten longitudinalen Schwingung bewegen sich die schwingenden Teilchen in der Richtung des längeren Durchmessers hin und her. Bei den transversalen Schwingungen bewegen sich dagegen die schwingenden Teilchen in der Richtung des kürzesten Durchmessers hin und her und bei der drehenden Schwingung befinden sich die schwingenden Teilchen in einer drehenden Bewegung. Ein Beispiel für die fortschreitenden longitudinalen Schwingungen sind die Schallwellen, ein Beispiel für die transversalen fortschreitenden Wellen liefern die Wellenbewegungen eines Seiles und ein Beispiel für die drehende oder rotatorische Welle erhält man dadurch, dass man einem an einem Ende befestigten Seil mit der Hand am anderen Ende eine schnelle drehende Bewegung mitteilt, die dann sofort an diesem Seil viele Male hin und herläuft.

Auch über die Frequenz von der die Wahrnehmbarkeit der Wellenbewegung abhängt, findet man in der Wellenlehre der Gebrüder WEBER eine bemerkenswerte allgemeine Aussage<sup>490)</sup>.

„Die Schwingungen kommen aber in der ganzen Natur in festen, tropfbarflüssigen und elastischflüssigen Körpern vor, und können von der äussersten Kleinheit und Geschwindigkeit, bei der sie unseren Sinnen unwahrnehmbar sind, bis zu der ungeheuersten unübersehbaren Grösse wachsen, und mit einer Langsamkeit vollbracht werden, dass sie uns wieder aus diesem entgegengesetzten Grunde unwahrnehmbar werden.“

Aus diesen theoretischen Überlegungen ergibt sich vor allem für die experimentelle Feststellbarkeit der Schwingungen die Konsequenz eines dreifachen Verhältnisses zu unserem sinnlichen Erkenntnisvermögen, das noch nicht durch instrumentelle Beobachtungsgeräte unterstützt ist:

1) Die Schwingungen sind entweder groß genug und geschehen langsam genug, um als Veränderungen an

<sup>484)</sup> WEBER, E.H. & W.: a.a.O. S. XII.

<sup>485)</sup> WEBER, E.H. & W.: a.a.O. S. 2.

<sup>486)</sup> WEBER, E.H. & W.: a.a.O. S. 330.

<sup>487)</sup> EULER, L.: Determinatio omnium motuum, quos chorda tensa et uniformiter crassa recipere potest. Acta Petrop. pro anno 1779, Petropoli 1783.

<sup>488)</sup> VOLGER, G.H.O.: Untersuchungen über das Phänomen der Erdbeben in der Schweiz., seine Geschichte, seine Ausserungsweise, seinen Zusammenhang mit anderen Phänomenen und mit den petrographischen und geotektonischen Verhältnissen des Bodens und seine Bedeutung für die Physiologie des Erdorganismus. Dritter Teil: Die Erdbeben in Wallis. – S. 428, Gotha 1783.

<sup>489)</sup> WEBER, E.H. & W.: a.a.O. S. 4.

<sup>490)</sup> WEBER, E.H. & W.: a.a.O. S. 16 f.

den Körpern in ihrem ganzen Vorgang wahrgenommen zu werden. Das ist der Fall bei den Wellen des Wassers und bei den Wellen an einem langen Seil, die man mit freiem Auge beobachten kann.

- 2) Oder die Schwingungen sind zu klein und werden zu schnell vollbracht, oder schreiten zu schnell fort, um noch Eindrücke auf unsere Sinne zu hinterlassen, die deutlich voneinander unterschieden werden können. In diesem Fall kann die Wellenbewegung nicht mehr in ihrem ganzen Ablauf wahrgenommen werden. Es entsteht vielmehr ein Gesamteindruck, der keine Vorstellung von den kleinen und schnellen Schwingungen verschafft, durch den er entstanden ist. Beispiele für solche Schwingungen, die nicht mehr als solche wahrgenommen werden aber dennoch eine Sinnesempfindung hervorrufen, sind der Schall und das Licht, die beide nichts anderes als schnelle Undulationen der Materie sind.
- 3) Darüber hinaus gibt es noch eine unendliche Menge von Schwingungen, die so schnell geschehen, dass sie für keinen Sinn mehr wahrnehmbar sind.

Die Experimente, mit denen sich die Gebrüder WEBER beschäftigten, bezogen sich zwar nur auf die Schwingungen erster Art, die in ihrem Gesamtablauf beobachtet werden können. Sie sind jedoch in ihrem theoretischen Ergebnis auf alle Arten der Schwingungen, ob sie nun sinnlich wahrgenommen werden können oder nicht, übertragbar.

Neben der einfachsten Form einer fortschreitenden Schwingung an einem gespannten Seil ist die wegen ihrer Einfachheit für die Experimente geeignetste Art der Wellenbewegung die fortschreitende Schwingung der Wasseroberfläche, die durch einen Stoß von einem Punkt aus veranlasst wird und dann sich selbst überlassen bleibt, ohne vom Wind oder einem anderen Einfluss fremder Kräfte gestört zu werden. Auf diese Weise kann man die Entwicklung und Fortpflanzung der Wellen unter den einfachsten Verhältnissen sehen. Von einem Punkt aus entstehen die Wellen, wenn man einen Tropfen derselben Flüssigkeit oder einen fremden Körper auf die Oberfläche der zu untersuchenden Flüssigkeit fallen lässt.

Die folgende Beschreibung der Wellenbewegung an der Wasseroberfläche und ihre theoretische Erklärung durch die Gebrüder WEBER bildete, wie noch gezeigt wird, für MALLET und VOLGER die Grundlage für die Erklärung der bei den Erdbeben auftretenden Oberflächenwellen sowohl im Wasser der Seen und Meere als auch im festen Gestein<sup>491)</sup>:

*„Wenn man einen Wassertropfen oder ein kleines Steinchen von der Grösse einer Erbse auf eine ruhige Wasserfläche fallen lässt, so bemerkt man, dass im nächsten Zeitmomente, nachdem der hereinfallende Körper die Oberfläche des Wassers erreicht hat, ein Tropfen Wasser an derselben Stelle, an der der hereingefallene Körper verschwand, in die Höhe springt. Bei grösseren Massen, die man in ein hinlänglich tiefes ruhiges Wasser fallen lässt, kann man sogar ein 2 bis 3 Mal wiederholtes In-die-Höhe-springen des Wassers auf dieser Stelle unterscheiden.“*

Dass es sich bei dem Emporspringen von Wasser an der Stelle, wo der Flüssigkeitstropfen oder der Stein ins Wasser fiel, nicht um ein Abprallen oder Zurückspringen der auf die Wasseroberfläche gefallenen Flüssigkeit selbst oder nur ein Aufspritzen des Wassers durch den Steinwurf, also

nicht um einen Massentransport, sondern um eine Wellenbewegung handelt, wird von den Brüdern WEBER folgendermaßen nachgewiesen<sup>492)</sup>:

*„Man darf, um sich hiervon zu überzeugen, nur in ein mit reinem Wasser gefülltes Glas einzelne Milchtropfen von einer gewissen Höhe hereinfallen lassen. Den Milchtropfen sieht man dann, während das Wasser an dem Orte des Auf-fallens zurückspringt, in die Tiefe des Wassers herunter fallen, so dass das zurückspringende Wasser höchstens ein wenig Milch beigemischt enthält. Das Wasser, welches, nachdem ein großer Stein auf eine ruhige Oberfläche geworfen wurde, mehrmals senkrecht in die Höhe springt, kann auch nicht mit dem Wasser verwechselt werden, welches im Augenblicke, wo ein Stein das Wasser erreicht, umher spritzt, denn dieses spritzt augenblicklich bei der Berührung des Steins und nicht senkrecht umher, jenes dagegen springt nicht im Momente der Berührung des Wassers, sondern in dem darauf folgenden Zeitmomente und senkrecht in die Höhe.“*

In der Fallwellentheorie der Erdbeben von VOLGER wird diese „aufhüpfende Bewegung“ zur Erklärung des beim Walliser Erdbeben und bei anderen großen Erdbeben häufig festgestellten Emporschleuderns von Gegenständen verwendet. Für die Entstehung einer Reihe von Wellen, die sich nach dem Auftreffen des fremden Körpers auf der Wasseroberfläche nach allen Seiten hin kreisförmig ausbreiten, wird dann folgende plausible Erklärung gegeben<sup>493)</sup>:

*„Von einem in Wasser einsinkenden Körper wird ein Theil des Wassers an dem Orte, wo der Körper einsinkt, aus dem Wege gedrängt, das, weil es nach unten nicht ausweichen kann, in einer mittleren Richtung zur Seite und nach oben gedrängt wird, und um den Ort, wo der Körper eingesunken war, gleichsam einen kreisförmigen Wasserwall bildet, innerhalb dessen im Augenblicke des Einsinkens eine trichterförmige Vertiefung enthalten ist. Dieser Wasserwall theilt sich, wie später gezeigt werden soll, in zwei Hälften, von denen die eine als Welle nach aussen fortgeht, die zweite, nach innen fortschreitend, die im Mittelpunkte dieser kreisförmigen Wellen gelegene Flüssigkeit von Neuem zu steigen nöthigt und zwar beträchtlich höher als der kreisförmige Wall selbst ist. Die Flüssigkeit steigt daher kegelförmig in die Höhe, und wiederholt diese ganze Erscheinung, indem sie einen zweiten Wall veranlasst, von Neuem, und so bilden sich 3, 4 und mehr Wellen, von denen die später entstandenen deswegen immer mehr an Grösse abnehmen, weil die in die Höhe springende Wassermasse, welche jedes Mal eine neue Welle verursacht, bei jedem neuen In-die-Höhe-springen immer kleiner wird. So erklärt sich denn sehr gut, warum, nachdem ein Stein ins Wasser geworfen wurde, mehrere an Grösse mehr und mehr abnehmende, in gewissen immer kleiner werdenden Zwischenräumen auf einander folgende kreisförmige Wellen von einem und demselben Mittelpunkte, dem Auffallspunkte des Steins, ausgehen.“*

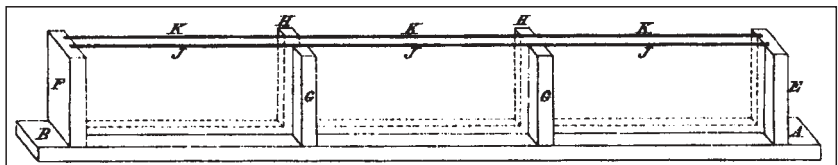
Für den experimentellen Nachweis, dass es sich bei dieser Wellenbewegung um eine fortschreitende Bewegung handelt, die nur die Form, nicht aber die Flüssigkeit selbst betrifft, konstruierten die Gebrüder WEBER die von ihnen so genannte „Wellenrinne“.

<sup>492)</sup> WEBER, E.H. & W.: a.a.O. S. 69 f.

<sup>493)</sup> WEBER, E.H. & W.: a.a.O. S. 70.

<sup>491)</sup> WEBER, E.H. & W.: a.a.O. S. 69.

Abb. 56.  
Wellenrinne der Gebrüder WEBER (1825).



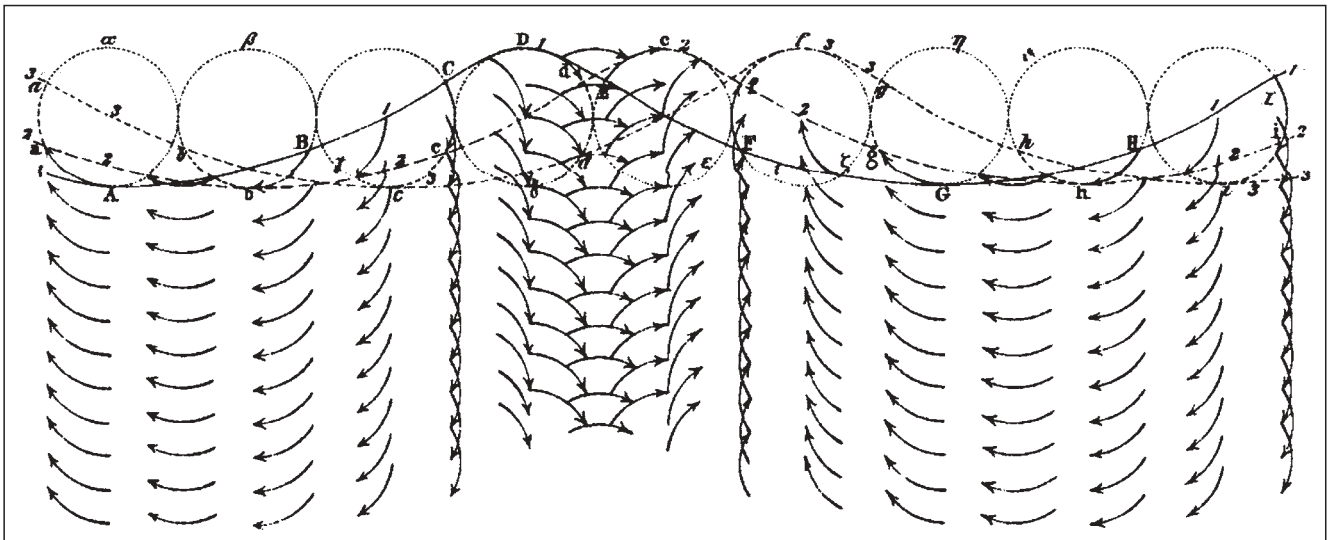


Abb. 57.  
Darstellung der fortschreitenden Schwingungen der Flüssigkeitsteilchen durch die Gebrüder WEBER (1825).

Diese Wellenrinne mit Seitenwänden aus Glas ermöglichte es, die Bewegung der Flüssigkeitsteilchen unter der Wasseroberfläche sichtbar zu machen<sup>494</sup>:

„Wir wählten hierzu absichtlich Wasser aus der Saale bei Halle, in dem viele kleine Theilchen von gleichem specifischen Gewichte als das Wasser schwebten. Nun sahen wir durch die Glaswände und das eingeschlossene Wasser hindurch gegen das zu den Fenstern eindringende Licht und beobachteten theils mit blossen Augen, theils mit einem angeschraubten einfachen Mikroskope, dessen Brennweite etwa 4 Linien betrug, die Bewegung, in welche die kleinen sonst ruhig schwebenden Theilchen geriethen, wenn eine Welle durch das Wasser zog.

Auf diese Weise konnten nicht nur die Bahnen der Theilchen gesehen, sondern auch mit einem sehr kleinen Federzirkel gemessen werden. Das Ergebnis dieser Experimente war, dass die Schwingungsbahnen der in der Nähe der Oberfläche der Flüssigkeiten befindlichen Theilchen Ellipsen sind, die sich der Kreisgestalt nähern. Mit der Tiefe wird jedoch die elliptische Gestalt der Bahnen immer kleiner und gestreckter und fällt schließlich mit einer horizontalen geraden Linie zusammen. Das Fortschreiten der Schwingungen der Flüssigkeitsteilchen besteht darin, dass die horizontal in der Richtung der fortschreitenden Welle hintereinander liegenden Theilchen sukzessive in eine schwingende Bewegung geraten, und zwar so, dass sich niemals mehrere von ihnen, die zu einer Welle gehören, gleichzeitig in entsprechenden Punkten ihrer Schwingungsbahnen befinden, sondern immer erst sukzessiv in diese entsprechenden Punkte kommen, was sich durch das Diagramm der Abb. 57 anschaulich darstellen lässt.

Diese Darstellung der Brüder WEBER wurde von MALLET direkt zur Erklärung der bei Erdbeben auftretenden Oberflächenwellen verwendet, indem er die Theilchenbahnen einer Flüssigkeit mit denen in einem soliden Körper verglich.

Was jedoch die Kraft anbelangt, die das Fortschreiten der Wasserwelle bewirkt, so wird sie von den Brüdern WEBER strikte von dem ersten Stoß unterschieden, der zur Entstehung der Welle geführt hat. Die Kraft, die die Fortpflanzung der Welle an der Oberfläche des Wassers bewirkt, ist die Schwerkraft. Sie bewirkt, dass die über das Niveau der Oberfläche erhobenen Flüssigkeitsteilchen herab-

sinken, wodurch ein neues Steigen ringsherum veranlasst wird. Werden jedoch die Flüssigkeiten, etwa Wasser, gehindert an der Oberfläche auszuweichen, z.B. dadurch, dass die Flüssigkeit ringsum eingeschlossen ist, so ist die Entstehung von Wasserwellen unmöglich, wohl aber ist die Flüssigkeit zur Verbreitung von Schallwellen fähig, denn diese werden dadurch nicht gehindert.

Auf Grund dieser Überlegungen kommen dann die Gebrüder WEBER zu der für die Wellentheorie der Erdbeben wichtigen Unterscheidung von Fallwellen und Stoßwellen, die sich in verschiedenen Dimensionen und Geschwindigkeiten auf Grund unterschiedlicher Kräfte ausbreiten<sup>495</sup>:

„Eine freie Oberfläche ist eine wesentliche Bedingung der Entstehung von Wasserwellen, und sie schreiten auch nur in zwei Dimensionen, nämlich der Länge und Breite fort, und könnten deswegen Kreiswellen, oder weil die unter der Oberfläche liegenden tieferen Schichten dieselbe Bewegung haben, Ringwellen, cylinderförmige Wellen genannt werden. Diese Ringwellen haben zwar gleich anfangs eine Ausdehnung nach drei Dimensionen, indem der Stoß, der sie hervorbringt, nach drei Dimensionen wirkt; aber sie schreiten nur in zwei Dimensionen fort. Wenigstens lässt es sich durch Versuche nicht nachweisen, dass sie auch in der Dimension der Tiefe fortschritten. Die Schallwellen dagegen gehen nach drei Dimensionen fort, und können daher, weil sie hohlen Kugeln gleichen, die sich mit ausserordentlicher Geschwindigkeit ausdehnen, Kugelwellen genannt werden. In Beziehung auf die Kraft, die die Ursache des Fortschreitens der Wellen ist, könnten die Wasserwellen Fallwellen, die Schallwellen dagegen Stoßwellen heißen.“

In der Übertragung auf die Wellentheorie der Erdbeben haben sich jedoch diese Bezeichnungen nicht durchgesetzt. Zwar bezeichnet VOLGER noch ganz im Sinne der Gebrüder WEBER die seismischen Oberflächenwellen als „Fallwellen“, doch wurde diese Bezeichnung später durch die Bezeichnung „Gravitationswellen“ (MILNE) und schließlich durch die moderne Terminologie der Oberflächenwellen ersetzt, die sich an den Namen ihrer Entdecker RALEIGH und LOVE orientiert. Die Bezeichnung „Stoßwelle“ dagegen hat überhaupt einen völligen Bedeutungswandel erfahren. Denn sie bezeichnet heute eine sehr starke Kompressionswelle, bei der das Material nicht mehr zurückschwingen kann.

<sup>494</sup>) WEBER, E.H. & W.: a.a.O. S. 88.

<sup>495</sup>) WEBER, E.H. & W.: a.a.O. S. 209 f.

### 4.3. Die Vorläufer MALLETS

Dem ersten Report über die Fakten der Erdbebenphänomene stellt MALLET einen, wie er sagt, kurzen Überblick (brief survey) über die bisherigen Theorien voran, wobei er besonders ausführlich auf die sonst wenig bekannten Vorläufer seiner Wellentheorie der Erdbeben eingeht. Welche Bedeutung MALLET einer solche Rekonstruktion der historischen Erdbeben-theorien im Rahmen der Erforschung der historischen Erdbeben beimisst, zeigt folgende Bemerkung in der kurzen Vorankündigung seines Reports über die Fakten der Erdbebenphänomene<sup>496</sup>:

„It has been found indispensable to arrange these facts with reference to theoretic views, for the sake of perspicuity.“

Wie er jedoch am Schluss dieses Überblickes sagt, soll dieser kurze Überblick nicht als ein Versuch einer vollständigen Darstellung der Erdbebenliteratur missverstanden werden, sondern nur als ein Bericht, der ausreicht, um den Fortschritt der menschlichen Erkenntnis in diesem Bereich zu kennzeichnen<sup>497</sup>:

„I have thus brought the literature of earthquakes down to the present time; in doing so I would not be misunderstood as attempting a complete account thereof, but such merely as is sufficient to mark the progress of human knowledge in our subject.“

Er liefert damit auch im Rahmen der Untersuchungen über historische Erdbeben-theorien ein weiteres Beispiel für die Rückkehr zu den Originalquellen. Denn er betont ausdrücklich, dass er seine Darstellungen nicht den Resümees entlehnt, wie sie von LYELL oder anderen Autoren bereits gemacht worden sind. Wie ernst dieser Rückgriff auf die Originalquelle von ihm gemeint ist, zeigt sich schon darin, dass er an den Beginn seiner Dokumentation eine sechs Seiten lange Sammlung von griechischen Texten aus den Originalschriften des ARISTOTELES stellt.

An diese Textstellen knüpft nun MALLET seine kritischen Bemerkungen über die Interpretation der Aristotelischen Terminologie an. Die Hauptschwierigkeit liegt in der Interpretation des Wortes πνεῦμα<sup>498</sup>:

„A mere regard for the verbal construction of the preceding passages would, on the whole, lead the reader (especially if unaided by reference to the Greek) to the conclusion, that Aristotle meant to convey that wind simply in some form or another, was the efficient cause of earthquakes.“

Nach sorgfältigen Überlegungen kommt jedoch MALLET zu dem Schluss, dass ARISTOTELES, insofern er mit diesem Begriff in der Realität eine Reihe von unterschiedlichen Vorstellungen miteinander verbinden wollte, ein viel allgemeineres Prinzip gemeint hat<sup>499</sup>:

„It was that of some intangible, imponderable force or agent present in the earth and above it, acting upon the winds, and acted on by them; though not the winds themselves, and giving rise in such reactions to earthquakes and volcanoes.“

Nach MALLETS Ansicht fällt das Aristotelische πνεῦμα mit jener weitgehend noch unbekannt Kraft zusammen, die HUMBOLDT als „die Reaktion des Inneren eines Planeten gegen sein Äußeres nennt“. Damit hat MALLET einen großen Bogen über die Entwicklung der Theorien von den Ursachen der Erdbeben gezogen, der von der Antike bis zum 19. Jahrhundert reicht. Denn alle anderen Erklärungsversuche, sowohl in der Antike, wie PLINIUS und SENECA,

als auch im Mittelalter und in der Neuzeit, sind für ihn lediglich nur Abwandlungen oder Vereinfachungen der Aristotelischen Theorie.

Eines der bemerkenswertesten Bücher aus der Erdbebenliteratur, in denen er bereits die Grundidee seiner eigenen Theorie vorweggenommen sieht, ist für MALLET das 1679 erschienene Werk von Franciscus TRAVAGINI über das schreckliche Erdbeben am 6. April 1676, das ganz Ragusa zerstörte, die ganze Romagna erschütterte und auch in Venedig deutlich spürbar war.

Denn dieses Werk enthält den frühesten Versuch einer physikalischen Theorie der Erdbebenbewegung, die TRAVAGINI mit folgenden Worten beschreibt<sup>500</sup>:

„Moveri multiplicatis vibrationibus, ab occidente ad orientem et reciproce.“

Empirisch hat TRAVAGINI diese Bewegungen sowohl an der Wellenbewegung des Wassers in den venetianischen Kanälen festgestellt, in denen der Stoß in der Richtung vom Westen nach Osten entlang lief, als auch an Erschütterungen der Gebäude und der schwingenden Körper, wie etwa die Kirchenlampen. Darüber hinaus beschreibt er auch seine eigenen Wahrnehmungen, die ähnlich waren wie bei einem Mann in einem in Bewegung befindlichen Boot, das auf ein Hindernis stößt.

Aus all diesen Beobachtungen schließt TRAVAGINI, dass es drei Grade oder Erscheinungsformen desselben Erdbebens gibt. Alle sind sie gemischt aus einer von unten nach oben stoßenden sukzessorischen Bewegung und einer seitlich verlaufenden lateralen Vibration. Je nach Entfernung von der eigentlichen, die Bewegung hervorrufenden Ursache werden die sukzessorischen Stöße stärker sein als die lateralen Vibrationen. Während die sukzessorischen Bewegungen lokal eng begrenzt sind, treten die seitlichen Schwingungen (lateralen Vibrationen) in reiner Form sehr weit entfernt vom Ort der primären Ursachen der Bewegung auf, wie z.B. in Venedig, wo die Art der Bewegung als Folgeerscheinung des Erdbebens von Ragusa deutlich registriert werden konnte.

MALLET zitiert in diesem Zusammenhang aus der lateinischen Originalarbeit von TRAVAGINI folgende Stelle<sup>501</sup>:

„Ecce igitur, mi lector, ex observatione communi in eodem terræmotu, quasi tres gradationes seu facies; prima qua motus illi est mixtus ex succussatione atque ex laterali illa vibratione, ita tamen ut lateralis ista vibratio minor sit succussatione, quod accedit eo loco ubi maxime deservit causa movente. Altera qua motus iste etiamnum mixtus minore præfert succussationem, quam vibrationem, quod contingit in locis remotioribus ab causa movente, ubi plus minusve desidit illa succussatio pro ratione, majoris aut minoris sue remotionis causa movente. Terti adenique, ubi sola lateralis illa vibratio percipitur, quod contingit in locis remotissimis ab illa causa movente, quæ tamen sint intra spheram activitatis illius, cujusmodi erat Venetia nostra respectu motus Ragusæi.“

Was immer auch die physikalischen Kräfte sein mögen, die die Kruste der Erde durchbrechen, entscheidend ist für TRAVAGINIS Erdbeben-theorie der Verlauf der lateralen Vibrationen von einem Ort der Erde zu einem anderen. Zur Illustration seiner Ansichten liefert Travagini eine Darstellung (Abb. 58) mit dem von MALLET wiedergegebenen lateinischen Originalzitat<sup>502</sup>:

„Terra sit A, loco ubi sunt vel sulphura vel nitrum, vel aquæ bullientes, &c., sit B. Sentiatur motus corporis exitu-

<sup>496</sup> MALLET, R.: Report of the meeting of the British Association for the Advancement of Science; held at Oxford in June 1847. – S. 30. London, John MURRAY 1848.

<sup>497</sup> MALLET, R.: First Report 1850. – S. 24.

<sup>498</sup> MALLET ebenda.

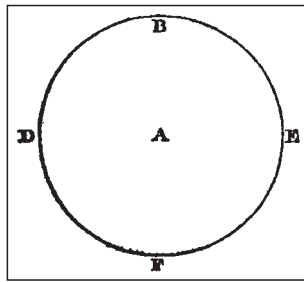
<sup>499</sup> MALLET ebenda.

<sup>500</sup> TRAVAGINI, F.: Super observationibus a se partis, tempore ultimorum terræmotuum, ac potissimum Ragusiani: Physica disquisitio, seu giri terræ diurni indicium. – Lug. Bat. 1679.

<sup>501</sup> MALLET, R.: First Report 1850. – S. 13.

<sup>502</sup> Ebenda.

Abb. 58.  
TRAVAGINIS Darstellung (1679) des  
Verlaufs der lateralen Schwingungen  
vom Ursprungsort des Bebens (B)  
und von einem Ort (D) der Erdober-  
fläche zu einem anderen (F).  
Nach MALLETT (1850).



*rientis a D per B usque ad E. Si motus iste esset etiam vibrationis lateralis a B ad D, necessario deberet etiam terra vibrari a D in F, et ab F in E ob solidam continuitatem totius globi, secundum omnes suae partes.*“

Für MALLETT ist diese Aussage vor allem deswegen sehr bemerkenswert, weil sie für ihn der erste Ansatz zu einer Theorie der Wellenausbreitung der Erdbeben ohne Massentransport ist<sup>503</sup>:

*„It is the first glimpse, as it were, that I can find in any author, of a true conception of pulse forces moving in solids, a notion that none of the ancient authors on earthquakes seen ever to have approaches; all of them insisting upon the cavernous and perforated interior of the globe being the condition essential to the transmission of earthquakes.“*

Auf das Erdbeben von Ragusa (1676) bezogen, dessen Auswirkungen TRAVAGINI selbst in Venedig spürte, ergibt sich das folgende konkrete geometrisches Modell<sup>504</sup>:

*„Verum ut magis sibi constat hęc nostra opinio, ac solidius firmetur, ipsi diligentius hic consideremus singulares omnes illos affectus qui supradictis materiis dum terram movent atque exitum suum moluntur possunt adscribi quocumque modo debeant prorumpere: statuo igitur hanc figuram. ABCF sit hypogæum seu locus subterraneus in quo materia ejusmodi recluditur. Ragusium sit in D, Venetia in E, Neapolis in I-Pars terre concussæ sit in E, D, O, I hoc supposito-videtur certe quod spiritus ille exituriens debeat quaquaversum spherice agere ac diffundi nempe ab A ad C, ad B et ad F, ita tamen ut haud dubie longe violentius*

<sup>503</sup>) Ebenda.  
<sup>504</sup>) MALLETT a.a.O. S. 14.

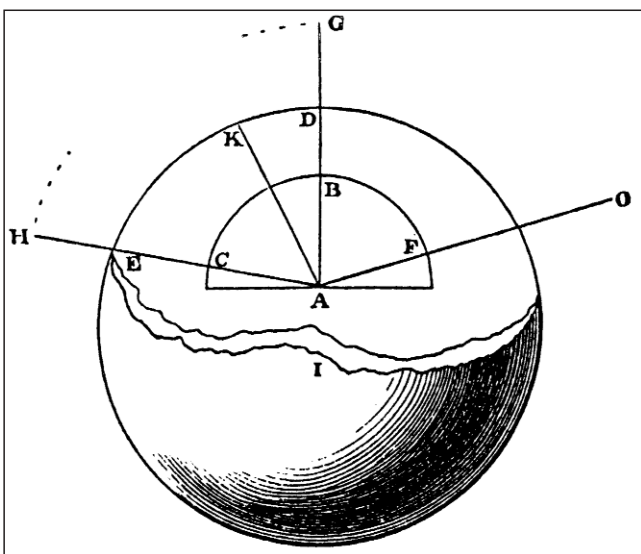


Abb. 59.  
TRAVAGINIS Geometrisches Modell der Wellenausbreitung des Erdbebens von Ragusa (D) mit Hypogäum (ABCF) und den anderen erschütterten Orten: Venedig (E) und Neapel (I).  
Nach MALLETT (1850).

*feratur in altum secundum lineam perpendiculararem ad B quam per lineas obliquas AC et AF, cum de spirituum ejusmodi natura sit potissimum ut perpendiculariter in altum deferantur; atque adeo sua successione deferent terram BD versus G, ut contigit Ragusii, ubi et exhalationes et flammæ et odores ac similia visa sunt expire.*“

Zur Demonstration der Auswirkungen der Entfernung über den unterirdischen Schlag und die Art und Weise der Ausbreitung liefert er ein weiteres anschauliches Diagramm (Abb. 60) eines Analogieexperimentes. Es zeigt die Anschläge einer Reihe von Pendel, die durch die von unten nach oben gerichteten Schläge eines Hammers auf die Unterlage hervorgerufen werden<sup>505</sup>.

*„Certum enim quod iteratos dicti mallei ictus omnia vibrabuntur versus illam partem ad quam ictus illi adiguntur, et quod tamen ipsa tabula nullatenus usquam discessit a loco suo aut divellitur ab aliis tabulis contiguis.“*

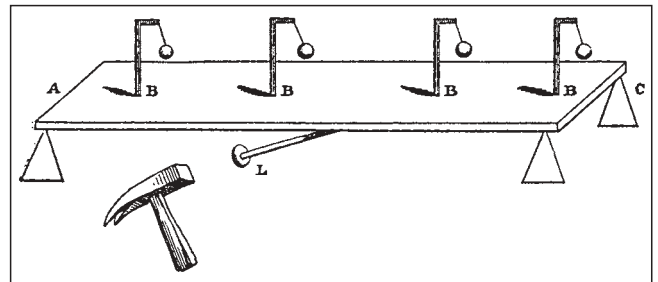


Abb. 60.  
TRAVAGINIS Analogieexperiment zur Darstellung der Ausbreitung der Wellenbewegung an der Erdoberfläche nach einem unterirdischen Schlag.  
Nach MALLETT (1850).

Und um zu zeigen, dass die Auf- und Abwärtsbewegung der Erdkruste eine seitliche Schwingung in Körpern hervorruft, die auf ihr fixiert sind, liefert TRAVAGINI noch ein weiteres Diagramm (Abb. 61), das von MALLETT auf folgende Weise kommentiert wird<sup>506</sup>:

*„Thus he says, let A represent the earth, whose surface, DBI, is thrown up by some force so as to assume the form between D and I of DCI; further, let there be two rods, DC, DB, jointed at D, which shall represent one-half of the elevated portion of the earth’s crust, viz. DC, DB in the former figure. Now, he says, if motion towards and away from the rod A be given to the rod DC, round the point D, then will the pendulums fixed to the rod DC swing laterally.“*

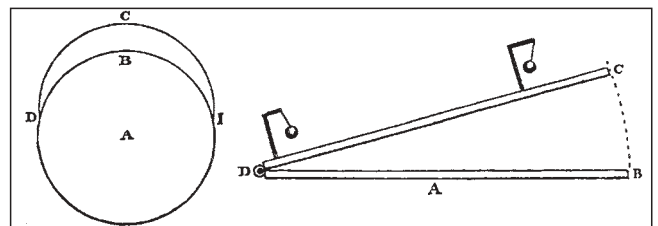


Abb. 61.  
Seitliche Schwingungen hervorgerufen durch Auf- und Abwärtsbewegung der Erdkruste.  
TRAVAGINI (1679) nach MALLETT (1850).

Kritisch verhält sich dagegen MALLETT gegenüber jenen Autoren, die sich zwar mit Ursache und Folge der Erdbeben, nicht aber mit deren Wirkungsweise beschäftigen. So ist für ihn Robert HOOKES posthum veröffentlichter Diskurs über Erdbeben (discourse of earthquakes) in Wirklichkeit nur eine Art von physikalischer Geologie, in der die Kräfte,

<sup>505</sup>) Ebenda.  
<sup>506</sup>) MALLETT, R.: a.a.O. S. 15.

Formen, Bedingungen und Auswirkungen von Hebungen des Landes sehr breit diskutiert werden, in dem aber der scharfsinnige Autor vollständig die Sicht darüber verliert, was überhaupt ein Erdbeben ist. Für die Geologen enthält zwar dieses Werk wertvolle Informationen und Gedanken, aber nur wenig, was dem Titel entspricht. Die Aufzählung der Gattungen und der vielen Arten von Erdbebenphänomenen, die HOOKE liefert, weist vielmehr darauf hin, dass er alle geologischen Vorgänge an der Erdoberfläche als Erdbeben im weitesten Sinn versteht und es ist vielleicht mehr in diesem statt im strikten Sinn, dass er zu der richtigen Schlussfolgerung kommt<sup>507)</sup>:

„There is no country almost in the world but has been some time or other shaken by earthquakes.“

Außerdem gibt HOOKE nach MALLETS Auffassung seinem eigenen Sinn des Wortes eine ungehörliche Bedeutsamkeit, wenn er unterstellt, dass die durch die Erdbeben verursachten Hebungen das Gravitationszentrum der Erde und damit die Länge des Jahres verändert haben.

Noch kritischer als über HOOKE äußert sich MALLET über einen weiteren Zeitgenossen NEWTONS. Er bezeichnet die physikalische Theorie, die der Astronom JOHN FLAMSTEED in einem Brief vom Jahre 1693 veröffentlichte, als reichlich vage und obscur. Denn FLAMSTEED behauptete das Vorhandensein einer ätherischen explosiven Materie in der Atmosphäre, die bei ihrer gelegentlichen Entzündung Stöße auf Gebäude und Schiffe überträgt. Nichts als der berühmte Name machen nach seiner Meinung dieses Pamphlet überhaupt bemerkenswert.

Ebenso kritisch äußert sich MALLET über die Versuche, die Elektrizität als direkte Ursache der Erdbeben anzugeben. STUKELEYS Argumente gegen die Ansicht, dass Expansion elastischer Flüssigkeiten die direkte Ursache der Erdbeben sind, werden zwar von MALLET als wertvoll in ihrer Überprüfung angesehen. Sie sind aber nicht frei von Irrtum und dienen letzten Endes nur zur Unterstützung der eigenen Ansichten STUKELEYS über den ausschließlich elektrischen Ursprung der Erdbeben. MALLET ist überhaupt der Ansicht, dass diese Vorstellungen über die aus Experimenten bekannte Kraft und Größe der elektrischen Phänomene von STUKELEY, PERCIVAL, BECCARIA, PRIESTLEY und noch einigen anderen auf weitschweifige und konfuse Weise auf jene elektrischen Phänomene angewendet wurden, die allgemein nur als sekundäre Begleiterscheinungen von großen Erdbeben zu beobachten sind.

Während MALLET eine weitere Beschäftigung mit diesen Ansichten für unnötig hält, bezeichnet er die im Jahre 1760 in den Philosophical Transactions erschienene Arbeit über Erdbeben von John MICHELL<sup>508)</sup> als die wichtigste und bemerkenswerteste Arbeit zu diesem Gegenstand. Wenn man bedenkt, zu welcher Zeit er schrieb, liefert nach MALLETS Beurteilung MICHELL eine wundervolle und genaue Ansicht von den geologischen Formationen der oberen Erdkruste und ihrer Anordnung in Schichten und deren Verbindung durch Spalten. Ebenso hebt MALLET MICHELLS differenzierte Ansicht von dem Zusammenhang von Vulkanismus und Erdbeben hervor und weist auf die Theorie einer wellenähnlichen Fortpflanzung der Erdbeben hin, die MICHELL insbesondere zur Erklärung des großen Lissaboner Erdbebens geliefert hat. Nach MALLETS Auffassung enthält MICHELLS Abhandlung viel Brauchbares.

Aber das, worüber sich MICHELL am meisten getäuscht hat, war seine Ansicht über die Natur der Wellenbewegung selbst. MALLET weist in diesem Zusammenhang auf jenes

bereits ausführlich zitierte<sup>509)</sup> Analogieexperiment mit einem Teppich hin, das die Ausbreitung der Wellenbewegung an der Oberfläche der Erde veranschaulichen soll. Gerade dieses Experiment zeigt aber für MALLET, dass MICHELL die Natur der Wellenbewegung selbst gänzlich mißverstanden hat, da er sie auf die Wellenbewegung der darunterliegenden flüssigen Materie zurückführt.

In seiner ersten theoretischen Abhandlung zur Dynamik der Erdbeben fällt MALLET trotz der Anerkennung der sonstigen Verdienste MICHELLS folgendes hartes Urteil über dessen Theorie der Wellenbewegung der Erdbeben<sup>510)</sup>:

„The existence of such a wave as he assumes is totally inconsistent with the phenomena of earthquake motion, as recorded by himself and others; and the mechanism which he imagines to account for the origin of his wave, and its propagation through the floating crust, is inconsistent with the conditions essential to that order of wave which the ascertained phenomena of earthquakes shew to be the true one.“

Dieses Urteil von MALLET über MICHELL ist viel später durch eine eingehende Untersuchung der Originalschriften von MICHELL revidiert worden. In einer umfangreichen Abhandlung über MICHELL wirft DAVISON (1923) MALLET seinen beharrlich insistierenden Anspruch auf Priorität vor, verbunden mit einer Ungenauigkeit der Referierung der Werke von anderen Autoren<sup>511)</sup> und gibt ihm die Schuld, durch seinen ungenauen Bericht über MICHELLS Erdbeben-theorie bewirkt zu haben, dass dessen Verdienste über die Natur der Wellenbewegung der Erdbeben so wenig bekannt sind<sup>512)</sup>. Denn MICHELL unterscheidet zwei Arten von Bewegungen: Neben der wellenähnlichen Bewegung spricht er auch von Vibrationen der Erdkruste, die MALLET in seiner Kritik an MICHELL überhaupt nicht erwähnt. Obwohl DAVISON zugeben muss, dass das Analogieexperiment mit dem Teppich zu einem Missverständnis der wahren Ansicht über die Natur der wellenähnlichen Bewegung (wave-like motion) führen muss, ist nach seiner Meinung die Erklärung, die MICHELL über die Art und Weise gibt, wie die Vibrationen durch die feste Erdkruste fortgepflanzt werden, durchaus so klar, wie sie MALLET fast ein Jahrhundert später geliefert hat.

Die an der Erdoberfläche sichtbare wellenähnliche Bewegung geschieht zwar für MICHELL durch den Transport einer großen Menge von heißen Dämpfen, welche die Erdoberfläche heben und senken, indem sie durch die horizontal gelagerten Erdschichten an den Stellen hindurchgehen, wo sich diese leicht trennen lassen. Was dagegen die primären Vibrationen anbelangt, vertritt MICHELL, wie DAVISON mit Recht betont, bereits die moderne Auffassung einer Bewegung ohne Massentransport. Denn diese Bewegung, stellt MICHELL eindeutig fest<sup>513)</sup>

„... will be propagated through the solid parts of the earth, and, therefore, it will much sooner become too weak to be perceived by the vapour insinuating itself between the strata, may be propagated to very great distances.“

Hervorgerufen werden beide Bewegungen nach MICHELLS vulkanistischer Theorie der Ursachen der Erdbeben durch heißen Dampf eines unterirdischen Feuerherdes, dessen Lage in Abb. 62 dargestellt ist.

A ist ein senkrechter Schnitt durch den Feuerherd, BB sind Teile derselben Schicht, die noch nicht entzündet sind, D sind die Schichten, die über dem Feuerherd liegen

<sup>507)</sup> HOOKE, R.: Posthumous works. – Ed. by R. WALLER, 1705, S. 311; vgl. MALLET, R.: First Report 1850, S. 16.

<sup>508)</sup> MICHELL, J.: The Nature and Origin of Earthquakes. – Phil. Transactions, Vol. LI, London 1760.

<sup>509)</sup> OESER, E.: Theories on the Causes of Earthquakes in the 18<sup>th</sup> and 19<sup>th</sup> Centuries. – In: GUTDEUTSCH, R., GRÜNTAL, G., MUSSON, R. (eds.): Historical Earthquakes in Central Europe. – Siehe oben, Kap. 3.4.2.

<sup>510)</sup> MALLET, R.: On the Dynamics of Earthquakes. – S. 59.

<sup>511)</sup> DAVISON, Ch.: The Founders of Seismology. – S. 66, Cambridge 1927.

<sup>512)</sup> DAVISON, Ch.: 1927, S. 14.



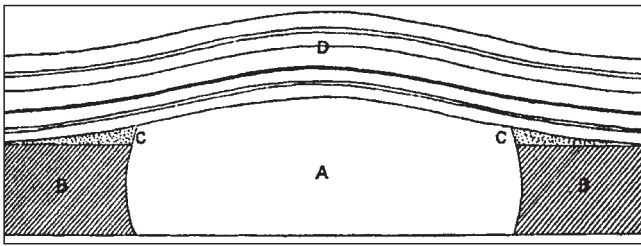


Abb. 62. Unterirdischer Feuerherd mit Hebung der Erdschichten und Wellenausbreitung nach MICHELL (1760).

und durch die Expansion der heißen Materie in A gehoben worden sind; und CC ist ein ringförmiger Raum um den Feuerherd herum. Während die wellenähnliche Bewegung durch eine große Menge von Dampf entsteht, der vom Feuerherd ausgeht, sich horizontal durch den Raum zwischen den Schichten fortpflanzt, kommen die Vibrationen dadurch zustande, dass sich als erster Effekt schon einer geringen Menge von Dampf eine Höhle zwischen der geschmolzenen Materie und der darüberliegenden Erdschicht durch Kompression des unmittelbar über der Höhle liegenden Materials bildet und<sup>514)</sup>

„... this compression must be propagated on account of the elasticity of the earth, in the same manner as a pulse is propagated through the air; and again the materials immediately over the cavity, restoring themselves beyond their natural bounds, a dilatation will succeed to the compression; and these two following each other alternately for some time a vibratory motion will be produced at the surface of the earth.“

Dass diese elastische Kompressionswelle, die durch die Erdkruste hindurchgeht, nicht nur mit einer Schallwelle verglichen werden kann, sondern sogar, wenn die Dilatationen und Kompressionen in sehr kurzen Intervallen erfolgen, sogar mit ihr identisch sind, vermutet MICHELL ebenfalls, wenn er die Erdbebengeräusche zum Teil auf diese Ursache zurückführt<sup>515)</sup>:

„The noise, that is usually observed to precede or accompany earthquakes is probably owing partly to this cause, and partly to the grating of the parts of the earth together, occasioned by that wave-like motion before mentioned.“

MICHELLS Ansicht lässt sich nach DAVISON in der modernen Terminologie der Seismologie so ausdrücken, dass die wellenähnliche Bewegung sich in zwei, die vibrierende Bewegung dagegen in drei Dimensionen ausbreitet. Mit dieser Unterscheidung einer wellenähnlichen an der Erdoberfläche sichtbaren Bewegung und einer durch die feste Erdkruste hindurchgehende Schwingung hat MICHELL als einer der ersten, wenn nicht überhaupt der erste die Natur und Wirkungsweise der Erdbeben als elastische Wellen erkannt, die sich durch Kompression und Dilatation in der festen Erdkruste fortpflanzen. Insofern ist daher auch der Vorwurf berechtigt, dass MALLET der Bedeutung MICHELLS, zumindest was die Erklärung der Fortpflanzungsart der elastischen Kompressionswelle betrifft, nicht gerecht geworden ist oder sie wegen seiner Prioritätsansprüche verschwiegen hat.

Gemildert wird diese Fehlbeurteilung MICHELLS durch MALLET lediglich dadurch, dass MICHELL auch nach MALLET'S Auffassung in der Frage der relativen Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Wellenbewegung eines Erdbebens, das, wie bei dem großen Lissaboner Beben, wie bei fast allen großen Beben nach MICHELLS Meinung, den Herd

unter dem Meer liegen hatte, eine bedeutsame Feststellung macht. Denn MICHELL behauptet, dass die großen Differenzen in der Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Wellen von der Tiefe des Wassers abhängen, durch das sie hindurchgehen<sup>516)</sup>:

„Those moving most rapidly which passed over the deep ocean, and those moving most slowly that entered the shallower seas or estuaries.“

Diese letztere Schlussfolgerung zeigt nach MALLET den großen Scharfsinn MICHELLS, der zu einer Zeit schrieb, als die Gesetze der Gezeitenwellen noch schlecht verstanden wurden und wenig Aufmerksamkeit hervorriefen.

Da das Hauptinteresse der Untersuchung MICHELLS über die historischen Erdbeben-theorien nicht in der Frage nach der Ursache sondern nach der Natur und Wirkungsweise der Erdbeben liegt, erwähnt er die vulkanistischen Vorstellungen von BOUGUER und DON ULLOA nur ganz kurz und zitiert etwas ausführlicher die Theorie von DOLOMIEU und Sir W. HAMILTON, die anlässlich des calabrischen Erdbebens vom Jahre 1783 entstanden sind. Die neptunistischen Theorien dagegen erwähnt er überhaupt nicht. Alle diese älteren Autoren waren in ihrem Blick vollständig auf den angenommenen Herd des Erdbebens fixiert, mit Ausnahme von MICHELL, der zu zeigen versuchte, auf welchem Weg die Kräfte von ihrem Ursprung der vulkanischen Aktivität transferiert werden und so auf weite Distanzen und in Ländern wirksam werden, wo es keine vulkanische Aktivität gibt.

Ein weiteres Werk, das MALLET trotz schärfster Kritik als Vorwegnahme seiner Ideen anerkennt, ist die „Theorie der Vulkane“ von A. DE BYLANDT PALSTERCAMP<sup>517)</sup>. MALLET will zwar nichts mit den wilden und inkohärenten Spekulationen in diesem weitschweifenden und außerordentlich seltsamen Werk zu tun haben, das sich, wie der Titel besagt, hauptsächlich mit dem Vulkanismus beschäftigt. Da aber BYLANDT alle Erdbeben als Folge von vulkanischen Tätigkeiten ansieht, kommt er in einem Abschnitt seines Werkes auch auf die Erdbeben zu sprechen und verwendet in diesem Zusammenhang das Wort „vibration“. Für MALLET ist es zwar offensichtlich, dass BYLANDT keine klare Vorstellung von einer Schwingung besitzt, die durch ein elastisches Medium allein infolge der Elastizität des soliden Körpers selbst transportiert wird, vielmehr sind es ganz analoge Überlegungen, wie sie bereits MICHELL angestellt hat; trotzdem kann aber MALLET auf eine Reihe von Aussagen hinweisen, die der Wahrheit schon sehr nahekommen.

So stellt BYLANDT zunächst prinzipiell fest, dass die Wirkungen der Erdbeben immer den Ursachen, die sie veranlassen haben, entgegengesetzt sind, indem sie in entgegengesetzte Richtungen gelenkt werden und dadurch Wirkungen an entgegengesetzten Orten veranlassen<sup>518)</sup>.

„Etablissons d'abord comme principe que les effets des tremblemens de terre sont toujours contradictoires aux causes qui les produisent, et dirigés dans le sens inverse, et que les mêmes causes produisent des effets coutradictaires dans les lieux opposés.“

Und er teilt dann die Erdbebenbewegungen in drei Klassen ein<sup>519)</sup>:

„... en verticaux ou directs, en horizontaux ou indirects, et en circulaires ou accidentels, comme ni tenant à aucune cause, ni à aucun système regulier.“

<sup>513)</sup> DAVISON, Ch.: 1927, S. 20.

<sup>514)</sup> DAVISON, Ch.: 1927, S. 19 f.

<sup>515)</sup> DAVISON, Ch.: 1927, S. 20.

<sup>516)</sup> MALLET, R.: On the Dynamics of Earthquakes, 1848, S. 60.

<sup>517)</sup> DE BYLANDT PALSTERCAMP, A.: Théorie des Volcans. – 3 vols., Paris 1835.

<sup>518)</sup> MALLET, R.: First Report 1850. – S. 21.

<sup>519)</sup> MALLET, R.: a.a.O. S. 22.

<sup>520)</sup> Ebenda.

Nach der Erläuterung der ersten Art der Bewegung als einer direkten Auf- und Abwärts-Bewegung über dem vulkanischen Zentrum wendet er sich dann der Erklärung der horizontalen Bewegung zu. Er vergleicht diese undulatorische Bewegung mit den Wellen des Meeres und weist auf ihre geringe Höhe hin, wie gewaltig die Erdbeben auch sein mögen<sup>520</sup>:

„Ce mouvement ondulatoire ressemble aux vagues de la mer, et ne dure, comme tous les tremblemens de terre, que peu d'instans; du moment où l'élévation s'est fait, elle s'abaisse de suite, et ne reste jamais permanente. Un tremblement de terre quelque violent qu'il soit ne peut élever le terrain que par ondulation de 4 à 5 pieds au plus.“

Eine der bemerkenswertesten Schlussfolgerungen des Autors ist aber für MALLET die Auffassung, dass die Entfernung, auf welche sich die Erdbebenbewegungen erstrecken in erster Linie von der Tiefe des Herdes, in dem sich die Erschütterung entwickelt hat und in zweiter Linie von den Verbindungen der Leitungen der Bewegungen abhängt<sup>521</sup>:

„La distance à laquelle les tremblemens de terre étendent leur chocs, dépend en premier lieu de la profondeur du foyer dans lequel la commotion s'est développée, en second lieu de la liaison des conducteurs du mouvement dans l'intérieur de la terre.“

Aber MALLET fügt hinzu, dass man bei BYLANDTS „Conducteurs“ nicht an schwingende solide Körper denken darf, sondern immer an hohle Röhren und Kanäle im Innern der ausgehöhlten Erde.

Einen weiteren Schritt zur Seismologie als exakter Wissenschaft macht jedoch BYLANDT dadurch, dass er über die vergleichende Klassifikation der Erdbeben hinausgeht und den Versuch einer mathematischen Formulierung des Gesetzes der Fortpflanzung der Erdbeben in einer offensichtlichen Analogie zum Newtonschen Gravitationsgesetz unternimmt<sup>522</sup>:

„Mais après avoir comparé les tremblemens de terre entre eux, définissons les mathématiquement, et éprouvons que les effets des tremblemens de terre, sont entre eux en raison inverse du carré de distance de chaque point de la surface au centre du foyer.“

In der anschaulichen Darstellung, die BYLANDT in Form eines Diagramms liefert (Abb. 63) ist nach MALLETS Meinung Wahres mit Falschem in so seltsamer Weise vermischt, dass sie einer originalgetreuen Wiedergabe wert ist. Das Diagramm zeigt den vulkanischen Herd im Erdinnern, die Fortpflanzung des senkrecht nach oben geführten Stoßes und die Ausbreitung der horizontalen Wellenbewegung in entgegengesetzter Richtungen, die mit dem Quadrat der Entfernung vom Ursprungsort abnimmt und auf der Oberfläche oder im Zentrum des Herdes entgegengesetzte Wirkungen zeigt.

Dargestellt wird diese „entgegengesetzte“ Wirkung dadurch, dass die beiden Türme an den äußersten Punkten der Wellenbewegung nach innen fallen. Zu diesem Diagramm fügt jedoch MALLET kritisch hinzu, dass die Linien, die vom Zentrum auseinandergehen, keineswegs Kraftlinien repräsentieren, sondern nur Kanäle der unterirdischen vulkanischen Verbindung<sup>523</sup>:

„Les effets des tremblemens de terre sont entr'eux en raison inverse du carré des distances de chaque point de la surface au centre du foyer et leur produits seront contradictoires, dans les lieux opposés.“

Der erste, der als Alternative zu einem Massentransport durch unterirdische Verbindungen überhaupt die Wahrscheinlichkeit ins Auge fasste, dass die Erdbebenbewegungen Schwingungen analog den Schallwellen sind, war Thomas YOUNG in seinen Vorlesungen über „Natural Philosophy“, was MALLET mit folgendem Zitat nachweist<sup>524</sup>:

„When the agitation produced by an earthquake extends further than there is any reason to suspect a subterraneous communication, it is probably propagated through the earth nearly in the same manner as a noise is conveyed through the air.“

Derjenige aber, der diese Ansicht erst in eine definitive Form gebracht hat, war GAY-LUSSAC. Am Ende seiner Abhandlung über die chemischen Theorien der Vulkane in den „Annalen der Chemie“ definiert er unter Berufung auf YOUNG ein Erdbeben als eine sehr starke Schallwelle, die in der festen Masse der Erde durch irgendeine Erschütterung hervorgerufen wird und sich dort mit derselben Geschwindigkeit fortpflanzt, mit der der Schall sich fortpflanzen würde. Was an diesem schrecklichen Naturphänomen überrascht, ist das ungeheure Ausmaß an Verwüstungen, mit dem es sich bemerkbar macht. Daher meint auch GAY-LUSSAC, dass man dem leichten Schwingen aller Teilchen einer festen Masse bisher nicht genügend Aufmerksamkeit geschenkt hat, und er führt eine Reihe von Beispielen an, die demonstrieren, wie sich Schwingungen durch einen leichten Stoß in festen Körpern, etwa durch einen Holzbalken, von einem Ende zum anderen übertragen können. So kann auch die Bewegung eines Wagens auf den Pflastersteinen der Straßen von Paris die mächtigsten Gebäude erschüttern. Daher ist es auch gar nicht erstaunlich, dass eine starke Erschütterung im Innern der Erde einen Umkreis von mehreren hundert Orten erzittern lässt. Denn nach dem Gesetz der Bewegungsübertragung strebt in elastischen Körpern die äußerste Schicht danach, sich von der erschütterten Masse loszureißen, in der gleichen Weise wie bei einer Reihe von Billardkugeln, bei denen die erste angestoßen wird und sich die letzte allein losreißt, indem sie den Antrieb mit sich nimmt<sup>525</sup>:

„Un tremblement de terre comme l'a très bien dit le Dr. Young est analogue à un tremblement d'air, c'est une très forte onde sonore, excitée dans la masse solide de la terre par une commotion quelconque, qui s'y propage avec la même vitesse que le son s'y propagerait. Ce qui surprend dans ce grand et terrible phénomène de la nature c'est l'étendue immense à laquelle il se fait sentir les ravages qu'il produit et la puissance de la cause qu'il faut lui supposer. Mais on n'a pas assez fait attention au branlement facile de toutes les particules d'une masse solide. Le choc produit par la tête d'une épingle, à l'un des bouts d'une longue poutre, fait vibrer toutes ses fibres, et se transmet distinctement à l'aut-

524) YOUNG's Lectures on Natural Philosophy, Bd. I. 1807. – S. 717; vgl. MALLET ebenda.

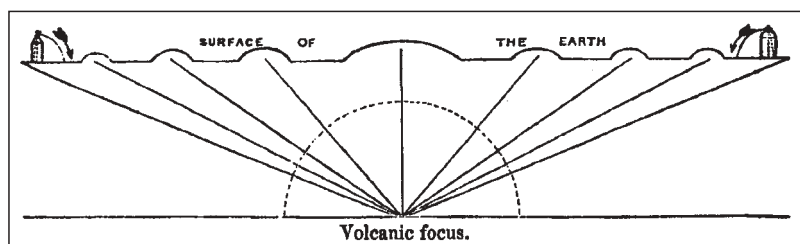
525) Ebenda.

521) Ebenda.

522) Ebenda.

523) MALLET, R.: a.a.O. S. 23.

Abb. 63. Vulkanischer Herd und Ausbreitung der horizontalen Wellenbewegungen in entgegengesetzter Richtung nach A. DE BYLANDT PALSTERCAMP (1835).



*re bout à une oreille attentive. Le mouvement d'une voiture sur le pavé ébranle les plus vastes édifices et se communique à travers des masses considérables, comme dans les carrières profondes au dessous de Paris. Qu'y aurait il donc d'étonnant qu'une commotion très forte dans les entrailles de la terre la fit trembler dans un rayon de plusieurs centaines de lieues? D'après la loi de transmission du mouvement dans les corps élastiques la couche extrême ne trouvant pas à transmettre son mouvement à d'autres couches, tend à se détacher de la masse ébranlée, de la même manière que dans une file de billes, dont la première est frappée dans le sens de contacts, la dernière seule se détache et prend du mouvement.*"

Während GAY-LUSSAC sonst mit den Ansichten seines Freundes HUMBOLDT übereinstimmt, stellt er doch, was die Wirkungen der Erdbeben anbelangt, eine neue Theorie der Erdbeben auf, da er diese als die Fortpflanzung einer Erschütterung quer durch die Erdmasse hindurch ansieht, die völlig unabhängig von unterirdischen Höhlen ist und sich umso mehr ausstrecken würde, als die Erde homogener wäre<sup>526)</sup>:

*„En un mot, les tremblemens de terre ne sont que la propagation d'une commotion à travers la masse de la terre, tellement, indépendante des cavités souterraines, qu'elle s'étendrait d'autant plus loin que la terre serait plus homogène.“*

Auf diesen Ansätzen einer Theorie der Wellenbewegung der Erdbeben bei YOUNG und GAY-LUSSAC gründete MALLETT selbst seine eigene Theorie, die er, wie er selbst sagt, auf einer „strikten physikalischen Basis“ errichtet hat. In Übereinstimmung mit MALLETS Theorie erschien ein Jahr später nach seiner Abhandlung „Dynamic of Earthquakes“ 1846 die Theorie der „Erhebungen und Erdbeben“ des Astronomen HOPKINS, in der die Erdbebenbewegungen als elastische und flüssige Wellen bereits in eine mathematische Formulierung gefasst worden sind.

Auf MALLETT und HOPKINS wiederum baut A. VON HUMBOLDT eine zweite Version seiner Erdbeben Theorie auf, in der er seine von MALLETT, wie noch gezeigt werden soll, zurecht kritisierte Auffassung von den Bewegungsarten der Erdbeben revidiert.

#### 4.4. HOPKINS' Ansätze zu einer mathematischen Theorie der Wellenbewegungen der Erdbeben

Obwohl MALLETS Report über die Dynamik der Erdbeben, der von HOPKINS ausdrücklich erwähnt wird, bereits mehr als ein Jahr früher in der Irischen Akademie der Wissenschaften erschienen ist als HOPKINS' Report über die geologischen Theorien der Erhebungen und der Erdbeben in der British Association for the Advancement of Science, kann man HOPKINS weder als Anhänger noch als Nachfolger von MALLETT bezeichnen. Denn seine mathematisch ausgearbeiteten Ansätze zu einer Theorie der Erdbebenwellen wurden weitgehend unabhängig von MALLETT als zweiter Teil seiner geologischen Hebungstheorie dargestellt, die er für sich allein bereits in einer ersten Version in drei Teilen in den „Transactions of the Royal Society“ des Jahres 1839, 1840 und 1842 veröffentlicht hatte und von der DARWIN, wie bereits gezeigt worden ist<sup>527)</sup>, stark beeinflusst worden ist.

Auch in seinem Report vom Jahre 1847 stand die geologische Theorie, die sich mit den bleibenden Veränderungen der Erdoberfläche wie Hebungen und Senkungen

beschäftigt, im Vordergrund. Nur knapp ein Drittel der fast 60 Seiten umfassenden Arbeit war den Erdbebenphänomenen gewidmet. Die Vibrationen der Erdkruste, die als Nebenerscheinung zu den Vorgängen der Hebungen und Senkungen auftreten, sind zwar, weil sie keine bleibenden Veränderungen in den Gesteinen hervorrufen, durch die sie sich fortpflanzen, für die Geologie von geringem Interesse. Sie bekommen aber eine besondere Bedeutung, wenn sie mit den Erdbeben in Beziehung gesetzt werden.

Wie MALLETT in seinem ersten Artikel beruft sich auch HOPKINS in diesem Zusammenhang auf die Feststellung von YOUNG, der erstmals die Fortpflanzung der Erdbeben in Analogie zu den Schallwellen in der Luft gesehen hat<sup>528)</sup>. Während jedoch MALLETT in seiner ersten Abhandlung zunächst nur von den zerstörenden Wirkungen an Gebäuden auf den Wellencharakter der Erdbeben zurückschließt, liefert HOPKINS bereits eine Anwendung der allgemeinen mathematischen Theorie der Wellenbewegungen, wie sie vor allem von POISSON und CAUCHY entwickelt worden ist, auf die Erdbeben.

Entscheidend ist, dass HOPKINS bereits eine sehr klare Vorstellung von der Komplexität der Wellenbewegung der Erdbeben hat. Denn er geht davon aus, dass von dem ursprünglichen Ort der Störung, welcher Art und welcher Ursache sie auch sein möge, sich völlig verschiedenartige Wellenbewegungen fortpflanzen, die sich erst im Laufe ihrer Fortpflanzung wegen ihrer unterschiedlichen Geschwindigkeit voneinander trennen.

Deshalb zerlegt auch HOPKINS in seiner Theorie die Wellenbewegungen, die bei einem Erdbeben auftreten können, in mehrere vereinfachte Modelle. Er beginnt zunächst mit der für die weitere Entwicklung der Theorie der Erdbebenwellen grundsätzlichen Unterscheidung zwischen longitudinaler und transversaler Welle, die in der Schallwelle in der Luft und in der an der Oberfläche auftretenden Wasserwelle ihre bekannten und bereits theoretisch untersuchten Vorbilder haben. Zur Erklärung des Unterschiedes zwischen diesen beiden Wellenarten stellt HOPKINS zwei Modelle gegenüber: Die Fortpflanzung einer Schallwelle in einer geschlossenen, mit Luft gefüllten Röhre und die Fortpflanzung einer Wasserwelle in einem offenen Kanal.

Im ersten Fall der geschlossenen, mit Luft gefüllten Röhre von unbestimmter Länge (Abb. 64) wird sich die Schwingung in sehr kurzer Zeit vom Ursprungsort der Störung in der Mitte der Röhre nach links und nach rechts fortpflanzen. Die Abschnitte p' q' und p, q, sind die Teilstücke, die im Zustand der Schwingung sind. Jeder dieser Abschnitte wird als „Welle“ (wave) bezeichnet. Und jede hat die gleichen Eigenschaften und die selbe Länge. Die Teilchen jenseits von q' und p haben noch nicht mit ihrer Schwingung begonnen und alle die zwischen p' und q, haben ihre Schwingung vollendet und sind zum Zustand der Ruhe zurückgekehrt.

Entsprechend diesem idealisierten Modell einer einfachen, nicht unterbrochenen Wellenbewegung, die noch nicht die beiden Endpunkte A und B erreicht hat, stellt HOPKINS folgende Charakteristik einer derartigen Wellenbewegung auf<sup>529)</sup>.

<sup>528)</sup> YOUNG's Lectures on Natural Philosophy, 1807. – Bd. I, S. 717.  
HOPKINS, W.: On the Theories of Elevation and Earthquakes. Report of the Seventeenth Meeting of the British Association for the Advancement of Science. Held at Oxford in June 1847, London. – John Murray 1848, S. 74.

<sup>529)</sup> HOPKINS, W.: a.a.O. S. 75.



Abb. 64.  
Fortpflanzung der Schwingungen in einer zylinderförmigen Röhre.  
HOPKINS (1847).

<sup>526)</sup> GAY-LYSSAC, L.J.: Annal. de Chim. vol. xxii, S. 428–429.

MALLETT a.a.O. S. 23.

<sup>527)</sup> Siehe oben Kapitel 3.8.4.

- „(1.) The length  $p'q'$  ( $= l$ ) of the wave will be constant.  
 (2.) The velocity ( $V$ ) with which the wave will pass from one point to another (the velocity of propagation) is constant, and depends on the elasticity of the air.  
 (3.) Each particle will vibrate in succession exactly in the same manner. The time during which it will continue in motion, or that required for the wave to pass over it,  $= l/V$ , and is the same for each particle in succession.  
 (4.) The extent through which each particle moves in its vibration (the amplitude of vibration) is by hypothesis extremely small compared with the length of the wave; it will depend on the original disturbance. The direction of vibration will, at a sufficient distance from the original place of disturbance, be parallel to the axis of the tube, or perpendicular to the anterior and posterior bounding surfaces of the waves, those bounding surfaces being transverse sections of the tube perpendicular to its axis.“

Aus dieser Charakteristik geht hervor, dass bei der Fortpflanzung der Wellenbewegung die einzelnen Partikel notwendigerweise entweder zusammengedrückt oder ausgedehnt werden, bzw. dass sie abwechselnd einer Verdichtung oder Verdünnung während der Periode eines Durchgangs der Welle unterworfen sind. Deswegen bezeichnet HOPKINS diese Art der Wellen Verdichtungs- oder Verdünnungswellen (waves of condensation or faction).

Da alle gasförmigen, flüssigen und festen Substanzen irgendeinen Grad von Kompressibilität haben, sind sie alle mehr oder weniger perfekt geeignet, Wellen dieser Art zu übertragen. Würde z.B. die Röhre AB mit Wasser gefüllt, so würde in ihr genau diese Art von Welle entlang fortgepflanzt, wie die in der mit Luft gefüllten Röhre. Da jedoch die Kompressibilität des Wassers wesentlich geringer ist als die der Luft, würden die Amplituden der Schwingungen wesentlich kleiner sein. Die Geschwindigkeit der Fortpflanzung ist nach HOPKINS' Schätzung in Wasser ungefähr viermal so groß wie in der Luft. Sie hängt von dem Verhältnis der elastischen Kräfte des Wassers zu seiner Dichte ab.

Während bei der Übertragung einer Schwingung in einer komplett mit Wasser gefüllten Röhre keine andere Verlagerung der Partikel als Verdichtung und Verdünnung stattfinden kann, hat der Transport einer Welle in einem offenen Kanal einen wesentlich anderen Charakter. Zur Erklärung der Wellenart bedient sich HOPKINS eines ebenfalls stark vereinfachten Modells eines offenen Kanals von gleicher Breite und Tiefe (Abb. 65).

Angenommen, ein Teil der Flüssigkeit, die den Abschnitt  $pq$  des Kanals einnimmt, wird durch eine plötzliche kleine Hebung des Kanalgrundes in diesem Bereich gestört, so wird die Oberfläche der darüber liegenden Flüssigkeit nahezu in demselben Grad gehoben und wird dann dem Gesetz der Gravitation gehorchend versuchen, ihre horizontale Lage wiederherzustellen. Auf diese Weise werden zwei Wellen  $p'q'$  und  $p q$ , hervorgerufen, die sich in entgegengesetzter Richtung entlang der Oberfläche der Flüssigkeit fortpflanzen.

Eine Welle dieser Art hat, das Fehlen jeder Behinderung an den Seiten des Kanals vorausgesetzt, bei Annahme einer viel geringeren Tiefe des Kanals im Vergleich zur Länge der Welle, nach HOPKINS folgende Eigenschaften<sup>530)</sup>:

- „(1.) The length ( $l$ ) of the wave (not necessarily equal to  $pq$ ) will be constant.  
 (2.) The velocity of propagation will depend on the square root of the depth of the canal nearly, that depth being much greater than the height of the crest of the wave.  
 (3.) Particles of the fluid situated in the same vertical section perpendicular to the axis of the tube, will have the

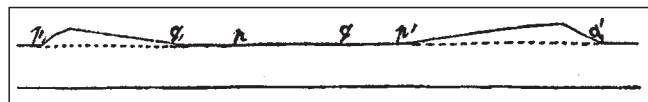


Abb. 65. Fortpflanzung der Wellen entlang der Wasseroberfläche in einem offenen gleich tiefen Kanal.

same motion at the same instant. Every such section of particles will be carried in the direction of propagation through a certain space, during the passage of the wave, and will then be left at rest. Consequently a wave of this kind will be attended by a current, the velocity of which will depend on the height of the crest of the wave and the depth of the canal.

(4.) The elevation of the bottom  $pq$  being sudden, as we have supposed, the front of the wave will be steep, the descent from the crest to the posterior boundary being a gradual slope.“

Durch die Darstellungsweise mit Hilfe vereinfachter Modelle kann HOPKINS auch den grundsätzlichen Unterschied beider Wellenarten demonstrieren, von denen die eine allein auf der Kompressibilität oder Elastizität des Mediums und die andere nach seiner Meinung ausschließlich auf der Wirkung der Schwerkraft beruht<sup>531)</sup>:

„In the first case the waves depend entirely on the compressibility and elastic force of the fluid, the motions being independent of gravitation; while in the latter the motion depends on gravitation, and is independent of the compressibility and elasticity.“

Außerdem macht er die wichtige Feststellung, dass bei einer gleichzeitigen Entstehung beider Wellenarten diese sich gewöhnlich sehr schnell voneinander trennen und zwar auf Grund des großen Unterschiedes der Geschwindigkeiten, mit der sich jede von ihnen auf ihre Weise fortpflanzt.

Als nächsten Fall erörtert HOPKINS die Wellenausbreitung im Zentrum einer Flüssigkeit, die er als Kompressions- oder Dilatationswellen („waves of compression or dilatation“) bezeichnet. Die Annahme ist hier, dass die ursprüngliche Störung im Innern einer Flüssigkeit sowohl räumlich sehr begrenzt als auch zeitlich auf einen kurzen Augenblick beschränkt ist. Die Wellenbewegung (vibratory motion) wird sich in diesem Fall schnell den benachbarten Partikeln mitteilen, während die ursprünglich gestörten Teilchen in völliger Ruhe zurückbleiben.

Der Raum, in dem die Wellenbewegung sich in jedem Augenblick befindet, ist nach der Definition von HOPKINS die Welle selbst. Dieser ist zwischen zwei konzentrischen Kugeln enthalten, deren gemeinsames Zentrum das Zentrum der ursprünglichen Störung ist. In einem ausreichenden Abstand vom Ursprung wird die Wellenbewegung in einem bestimmten Grad unabhängig von der Form der ursprünglichen Störung werden und Eigenschaften haben, die ganz analog der Wellenbewegung einer Flüssigkeit in einer geschlossenen Röhre sind, nur dass sich diese Wellenbewegung kugelförmig nach allen Richtungen ausbreitet.

Als weiteren Fall und als Vorstufe der Erklärung des komplexeren Falles der Wellenbewegung in einer festen Substanz nach allen Richtungen betrachtet HOPKINS die Fortpflanzung von Schwingungen entlang eines Balkens. Dabei unterscheidet er zwei Arten von Schwingungen. Die eine Art ist eine longitudinale Schwingung, die derjenigen in einer mit einer elastischen Flüssigkeit komplett gefüllten Röhre ähnlich ist, und die andere Art ist eine transversale

<sup>530)</sup> HOPKINS, W.: a.a.O. S. 76 f

<sup>531)</sup> HOPKINS, W.: a.a.O. S. 77.

Schwingung, die der Schwingung einer Saite eines Musikinstrumentes analog ist.

Bei der longitudinalen Schwingung hängt die Elastizität von jener Kraft ab, durch die jede Substanz, die zusammengepresst oder gedehnt wird, ihr natürliches Volumen wiederbekommt, während es sich bei der transversalen Schwingung um eine Kraft handelt, durch die die ungewohnte Form wiederhergestellt wird, wenn diese Form ohne Veränderung des Volumens verzerrt worden ist.

Bei der Bestimmung der Fortpflanzungsgeschwindigkeiten dieser beiden Wellenarten beruft sich HOPKINS auf POISSONS Angabe des Verhältnisses zwischen den Koeffizienten der beiden Arten von Elastizität, die in allen Fällen bei der transversalen Schwingung geringer ist als bei der longitudinalen. Daher muss auch die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der longitudinalen Welle größer sein als die der transversalen. Bei einer kurzzeitig wirkenden störenden Kraft, wie etwa beim Schlag eines Hammers, werden beide Arten von Schwingungen hervorgerufen, die sich jedoch in einer bestimmten Distanz von ihrem gemeinsamen Ursprung wegen ihrer unterschiedlichen Fortpflanzungsgeschwindigkeiten voneinander trennen.

Nachdem HOPKINS auf diese Weise die Komplexität der unterschiedlichen Wellenbewegungen in verschiedene Substanzen in einzelne vereinfachte Erklärungsmodelle zerlegt hat, kommt er schließlich zum letzten Fall der Fortpflanzung der Schwingungen in einer festen Masse, die in allen Richtungen erfolgt. Dieser letzte theoretische Fall ist das direkt auf die Theorie der Erdbeben anwendbare Modell. Es handelt sich auch hier zunächst um ein idealisiertes Modell. Denn HOPKINS geht davon aus, dass der Ort der Störung im Innern der festen Masse verhältnismäßig klein im Vergleich zu dem Raum ist, in welchem dann die Schwingungen divergieren und dass die die Störung verursachende Kraft nur eine sehr kurze Zeit wirkt wie etwa die Explosion einer Mine. Außerdem nimmt er den einfachsten Fall einer homogenen Masse an, deren Dichte und Elastizität an jedem Punkt die gleiche ist. In diesem Fall wird die ursprüngliche Störung, welcher Art sie auch immer sein mag, zwei Wellen (eine longitudinale und eine transversale) hervorrufen, die sich zunächst überlagern, dann aber wegen ihrer unterschiedlichen Geschwindigkeit vollkommen trennen.

Als weiteren der Realität der Erdbeben bereits näher kommenden Fall behandelt HOPKINS die Reflexion und Brechung einer Welle, wenn sie sich von einem Medium in ein anderes mit unterschiedlicher Dichte und Elastizität fortpflanzt. Mit Hilfe des folgenden Diagramms (Abb. 66) demonstriert er, dass in diesem Fall genau die Gesetze der Reflexion und Brechung des Lichtes gelten<sup>532</sup>:

„Let  $APB$  (fig. 66) be the common surface of the two media, and let  $OP$  be the direction, as above defined, of a wave propagated through the lower medium with a velocity  $V$ . Let  $PQ'$  be the direction of the reflected wave, and  $PQ$  that of the wave transmitted into the upper medium, where the velocity of propagation is  $V'$ . Also let  $MPN$  be perpendicular to  $AB$ . Then shall we have  $Q'PN=OPN$ , and  $\sin QPM/\sin OPN = V'/V$ , so that the direction of the refracted wave will turn from or towards  $PM$ , according as  $V'$  is greater or less than  $V$ . These are in fact exactly the laws of reflexion and refraction of common light.  $O$  being the point from which the wave diverges, if the point of incidence be to the right of  $P$ , the direction of the refracted wave will approximate more nearly to  $AB$  the surface of junction, and if the incidence take place at a sufficient distance to the right, as at  $P'$ , the perpendicular to the refracted wave will become parallel to  $AB$ . When the point of incidence is beyond  $P'$ , the vibration will not be propagated at all into

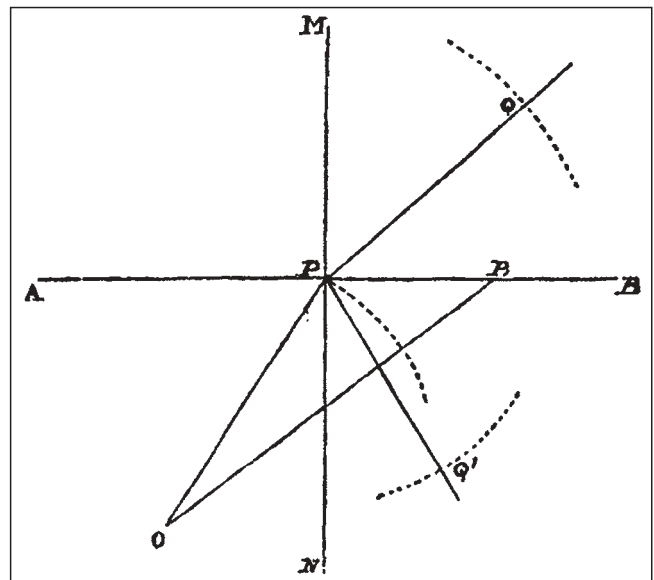


Abb. 66.  
Reflexion und Brechung einer Welle nach HOPKINS (1847).

*the upper medium, but will be entirely reflected back into the lower one.*“

Nach diesen rein theoretischen Überlegungen wendet sich HOPKINS ihrer Anwendung auf die Erdbeben zu, wobei er zunächst von der vereinfachten Annahme einer homogenen Erdkruste ausgeht, um sie dann später zu den komplizierteren Fällen einer inhomogenen Schichtenstruktur zu erweitern. Wie er auch bisher in allen seinen vorausgehenden Überlegungen angenommen hat, nimmt er auch hier an, dass die ursprüngliche Störung oder der Stoß, von dem sich die Schwingungen ausbreiten, in einem vergleichsweise kleinen Raum stattfindet, was immer auch die Ursache dieser Störung sein mag: sei es eine tiefgelegene vulkanische Explosion, das Einstürzen der Decke einer unterirdischen Höhle oder das plötzliche Zerreißen des festen Gesteins.

Der vielleicht wichtigste Punkt ist nach HOPKINS Meinung die Bestimmung der Position oder genauer der Tiefe des vulkanischen Herdes oder der anderen Quelle der Störung, von der die Erdbeben ausgehen. Zu diesem Zusammenhang trifft er eine Feststellung, die für die weiteren Lösungsversuche dieses schwierigen Problems wegweisend werden sollte<sup>533</sup>:

„We may observe that the roughest approximation to this position would constitute a very important geological ele-

<sup>533</sup> HOPKINS, W.: a.a.O. S. 90.

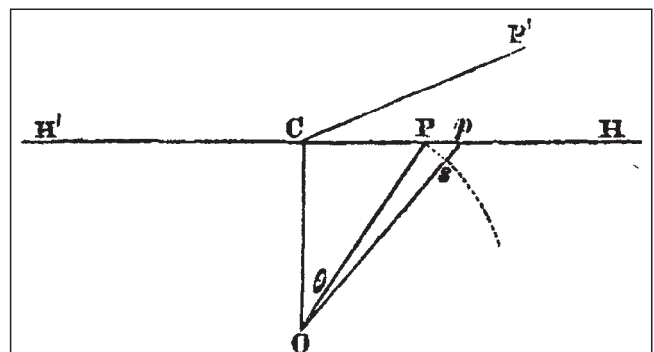


Abb. 67.  
Die Lage des Störungsherdes nach HOPKINS (1847).

<sup>532</sup> HOPKINS a.a.O. S. 81 f.

ment, and might sweep away much that is vague and fanciful in geological speculation.“

Mit seiner graphischen Darstellung des Störungsherd leitete HOPKINS eine Reihe von Versuchen ein, durch geometrische Modelle aus den unterschiedlichen Geschwindigkeiten und Richtungen der Wellenbewegungen sowohl Herdtiefe als auch das später sogenannte Epizentrum zu bestimmen<sup>534</sup>.

„Let  $O$  (fig. 67) be the centre of disturbance;  $OC$  a vertical line meeting the surface  $H'H$  in  $C$ ;  $P, P'$  two points on the earth's surface, situated on different lines through  $C$ . The directions of the horizontal projections of the normal vibrations will determine the directions of  $PC$  and  $P'C$ , whose intersection will determine the point  $C$ . It is manifestly desirable that, for this particular purpose, the angle  $PCP'$  should be nearly a right angle.“

Zur Bestimmung der Herdtiefe schlägt HOPKINS zwei Methoden vor: Die erste Methode geht davon aus, dass sowohl die Geschwindigkeit der Welle ( $V$ ) im Inneren der festen Erdkruste als auch die Geschwindigkeit jener Welle bekannt ist, die von einem Punkt der Erdoberfläche zu einem anderen läuft. Diese Geschwindigkeit der Oberflächenwelle wird von HOPKINS „scheinbare horizontale Geschwindigkeit“ (apparent horizontal velocity =  $v$ ) benannt. Ein weiteres notwendiges Bestimmungsstück ist die horizontale Richtung in jedem angenommenen Punkt, durch den die Oberflächenwelle hindurch geht. Diese Richtung fällt mit einer Linie zusammen, die durch einen Punkt der Erdoberfläche und jenen Punkt festgelegt wird, der senkrecht über dem Zentrum der Störung im Erdinnern an der Oberfläche liegt – also das später sogenannte Epizentrum.

Bei der Bestimmung der Geschwindigkeit der Welle im Erdinnern bezieht sich HOPKINS zunächst nur auf die longitudinale Kompressionswelle, die als erste die Oberfläche erreicht und zu einer horizontalen Projektion mit einer bestimmten Richtung führt.

Entsprechend dieser ersten Methode lautet dann die Formel zur Bestimmung der Herdtiefe

$$CO = a \sqrt{\frac{v^2 - V^2}{V}}$$

wobei  $a$  die Distanz des jeweiligen Punktes ( $P$ ) an der Erdoberfläche, an dem die Geschwindigkeit der Oberflächenwelle gemessen werden kann, zum Epizentrum ( $C$ ) ist.

Während diese mit so vielen Voraussetzungen behaftete Methode praktisch nur von geringem Wert ist, hat HOPKINS mit seiner zweiten Methode zur Bestimmung der Herdtiefe bereits jenen Weg eingeschlagen, der auch heute noch üblich ist. Denn er benützt bereits den in seinen theoretischen Überlegungen ausführlich behandelten Unterschied der Geschwindigkeit zwischen den longitudinalen Kompressionswellen und transversalen Wellen<sup>535</sup>.

„It may be worth while also to indicate a formula for determining the direct distance  $OP$ , and depending on the retardation of the wave in which the vibrations are transversal, with reference to the wave in which they are normal. Let  $V_1$  be the velocity of the latter wave.  $V_2$  that of the former;  $V_1$  will be greater than  $V_2$ . Also let  $t_1 t_2$  be the respective times in which the waves pass from  $O$  to  $P$ , and  $T$  the observed interval between the arrivals of the two waves at  $P$ .“

Daraus resultiert dann die Formel

$$OP = T \cdot \frac{V_1 \cdot V_2}{V_1 - V_2}$$

<sup>534</sup>) HOPKINS, W.: a.a.O. S. 83.

<sup>535</sup>) HOPKINS, W.: a.a.O. S. 84.

Allerdings ist sich HOPKINS auch darüber im Klaren, dass für die Bestimmung des zeitlichen Unterschiedes  $T$  ein Instrument nötig ist, das mit ausreichender Genauigkeit und Sensibilität den Unterschied in der Art der beiden Wellen aufdeckt, die gleichzeitig von Punkt  $O$  ausgehen. Außerdem stellt er fest, dass die Distanz  $OP$  ausreichend groß sein muss, um die vollständige Separation der zwei Wellen zu erlauben.

Die bisher von HOPKINS durchgeführten Überlegungen gingen immer von der in der Realität der Erdbeben niemals wirklich zutreffenden Annahme aus, dass die Masse, durch die die Schwingungen hindurchgehen, homogen ist. Folgerichtig modifiziert er daher seine Theorie der Erdbeben durch zwei der wichtigsten Fälle:

- einerseits durch den Fall, dass die Welle sich durch eine Masse mit unterschiedlichen Graden der Elastizität, die einander überlagern, fortpflanzt
- und andererseits durch den wesentlich komplizierteren Fall, dass der Ursprungspunkt der Störung  $O$  in einer flüssigen Masse liegt. Von diesem Punkt geht die Welle zunächst durch die flüssige Masse dann durch die darüberliegende feste Erdkruste und schließlich durch die darüberliegende See.

Für den ersten Fall schlägt HOPKINS das vereinfachte geometrische Modell (Abb. 68) einer einzigen horizontalen Schicht mit einer von der darunterliegenden Masse, in der der Ursprungsort der Störung liegt, unterschiedlichen Dichte und Elastizität vor und beschreibt es auf folgende Weise<sup>536</sup>.

„Let  $H'H$  be the surface of the earth, and  $h'h'$ , parallel to  $H'H$  the common surface of the upper and lower media. Let  $V$  denote the velocity of propagation in the lower medium, and  $V_1$  that in the upper; and let  $pP$  be the direction in which the wave from  $O$  arrives at  $P$  after refraction at  $p$ . The absolute direction of vibration will be changed by refraction at  $p$ , as well as at  $P$ , but the direction of the horizontal projection of the normal vibrations will not be altered. Consequently the rule before given for finding the point  $C$  will be equally applicable in the present case“.

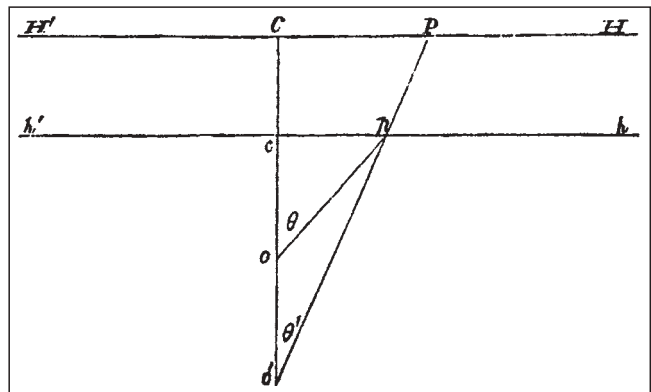


Abb. 68. Fortpflanzung einer Welle durch eine Masse mit unterschiedlichem Grade der Elastizität nach HOPKINS (1847).

Den komplizierteren Fall eines Erd- bzw. Seebebens, dessen Schwingungen durch drei unterschiedliche Medien gehen, stellt HOPKINS in Abb. 69 dar<sup>537</sup>.

„ $CH$  represents the surface of the sea;  $BqH$  the sea bottom to the coast line through  $H$ ;  $DK$  the lower surface of the solid crust. The lines, such as  $Opqr$ , are the directions of propagation of the wave at each point of those lines respectively, and show how the wave is refracted in passing out of

<sup>536</sup>) HOPKINS, W.: a.a.O. S. 85.

<sup>537</sup>) HOPKINS, W.: a.a.O. S. 86.

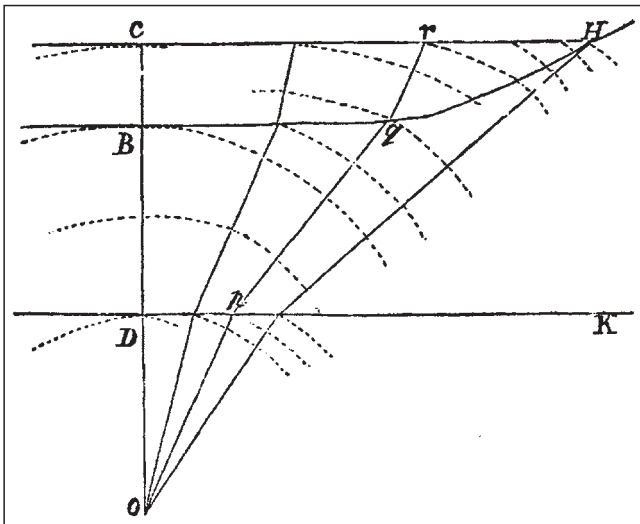


Abb. 69.  
Fortpflanzung einer Welle durch eine flüssige Masse, durch die feste Erdkruste und durch die See nach HOPKINS (1847).

*one medium into another. The consecutive fronts of the wave are represented by the curved lines, which meet all the directions previously mentioned at right angles. It is supposed that, in these three media, the velocity of propagation is least in the water, greatest in the solid crust, and intermediate in the subjacent fluid.“*

Weitere Überlegungen von HOPKINS, die er allerdings nur wenig ausführlich behandelt, beziehen sich auf den Fall, dass der Ort der Störung nicht punktförmig oder sehr klein, sondern von beträchtlicher Ausdehnung ist und auf den Fall, dass die See in ihrer Tiefe nicht gleichförmig ist, wie in dem oben angegebenen Modell (Abb. 69), sondern von unterschiedlicher Tiefe. In diesem letzteren Fall wird die Seewelle in den Bereichen verschiedener Seetiefe ihre zirkuläre Form nicht mehr aufrechterhalten.

Der vielleicht wichtigste, weil am einfachsten praktisch durchführbare Vorschlag zur Bestimmung des Epizentrums, der später immer wieder<sup>538)</sup> angewendet worden ist, stammt ebenfalls von HOPKINS<sup>539)</sup>.

*„Suppose for instance two points were known, at which the vibratory wave arrived at the same instant, then, if we bisected the line joining these two points, and drew another line perpendicular to it through the point of bisection, the latter line would pass through C, assuming always the spherical form of the general vibratory wave. In some cases also, as in those of earthquakes in the neighbourhood of insulated volcanoes, circumstances may indicate, antecedently to any instrumental observations, the approximate position of the point in question.“*

Bei dieser Fülle von bemerkenswerten und einflussreichen Ansätzen zu einer Theorie der Wellenbewegungen der Erdbeben ist es bedauerlich, dass sich HOPKINS' Interesse von den seismologischen Fragestellungen wieder abwandte und sich auf die mathematische Behandlung rein geologischer Probleme, wie etwa der Bewegung der Gletscher, konzentrierte<sup>540)</sup>. Auch blieben alle seine theoretischen Überlegungen ohne jeden Bezug zu einem wirklichen historischen Erdbeben. Das war auch der Grund für die überragende Bedeutung der Leistungen von Robert MALLETT, der selbst HOPKINS' theoretische Abhandlungen

hoch einschätzte, ihn aber dann völlig in den Schatten stellte. Denn MALLETT schloss an seine zunächst nur aus Literaturkenntnissen über historische Erdbeben orientierten theoretischen Überlegungen seine berühmte Untersuchung des damals größten aktuellen Erdbebens des sogenannten „Neapolitanischen Erdbeben“ an, die mit Recht als der erste Versuch gilt, alle Eigenschaften eines Erdbebens nach der Wellentheorie sorgfältig bestimmt zu haben, und daher auch als „Basis für alle weiteren Bestrebungen auf diesem Gebiet“<sup>541)</sup> angesehen worden ist.

## 4.5. MALLETS Theorie der Wellenausbreitung der Erdbeben

Obwohl MALLETT selbst eine Reihe von Vorläufern für seine Theorie der Wellenausbreitung anführen kann, war er jedoch der Meinung, dass weder die klassischen Autoren der Antike noch die modernen der Neuzeit eine klare Vorstellung von der Natur der Erdbebenbewegung hatten. Das lässt sich schon an dem unterschiedlichen Gebrauch der Worte für dieses Phänomen erkennen. Für die griechischen Autoren war die Erdbebenbewegung so etwas wie das Schütteln eines Siebes, von dem das Wort „σεισμός“ stammen soll, während die modernen Autoren auch nicht viel exakter von einem „Erzittern“ („a trembling“), einem „Vibrieren“ („a vibration“, „a concussion“) oder sehr allgemein von einer Bewegung („a movement“) sprachen. Insofern MICHELL, LYELL, DARWIN und manch andere das Wort „Undulation“ gebrauchten, waren sie jedoch der Wahrheit bereits näher gekommen. Aber keiner von ihnen hatte eine präzise Theorie der Erdbebenbewegungen geliefert. MALLETT dagegen beansprucht mit seiner Abhandlung über die Dynamik der Erdbeben vom Jahre 1846, den ersten Versuch unternommen zu haben, durch Anwendung der Gesetze der „höheren Mechanik“ die Theorie der Erdbebenbewegungen in den Rang einer exakten Wissenschaft gehoben zu haben. Denn bis zu dieser Zeit war für ihn die Erdbebenforschung einer der wichtigsten aber am meisten unsystematischen und unwissenschaftlichsten Teile der „physikalischen Geologie“. Sein Ziel war es, die enorme Masse an falsch verknüpften, schlechten und oft widersprüchlichen Beobachtungen durch systematisierte Einträge von Fakten zu ersetzen, die mit richtigen Methoden und mit den für die räumlich-zeitliche Messung der Bewegung nützlichen Instrumenten gewonnen wurden. Doch zuvor mussten die bereits vorhandenen Fakten im Lichte der neuen Theorie umgedeutet werden. Das war auch der konkrete Inhalt seiner ersten Abhandlung, die einen Wendepunkt in der Geschichte der Erdbebenforschung darstellt.

### 4.5.1. Die Dynamik der Erdbeben (1846)

Der ursprüngliche Anlass zur Beschäftigung MALLETS mit der Frage der Erdbebenbewegung war nur ein einzelnes besonderes Teilphänomen, das eher zufällig bei diesen Erschütterungen beobachtet wurde, aber sein Interesse als Bauingenieur erweckte. Es handelte sich um jene Drehbewegung von separaten Steinen auf einem Sockel, auf den Zinnen oder auf anderen Teilen des Mauerwerks eines Gebäudes, die während eines Erdbebens um die vertikale Achse auf der jeweiligen Unterlage stattgefunden hat, und allgemein auf eine eigene Form von „wirbelnder“ (vortico-so) Erdbebenbewegung zurückgeführt worden ist.

Beispiele für solche Verdrehungen findet MALLETT in den Berichten über das Bostoner Erdbeben vom 18. Nov. 1755, bei dem Schornsteine nicht nur umgestürzt, sondern manche wie an einem Drehhaken herumgedreht worden sind.

<sup>538)</sup> SEEBACH, K.V.: Das mitteldeutsche Erdbeben vom 6. März 1872. Ein Beitrag zu der Lehre von den Erdbeben. – Leipzig 1873.

<sup>539)</sup> HOPKINS, W.: a.a.O. S. 91.

<sup>540)</sup> Vgl. DAVISON, Ch.: The Founders of Seismology. – S. 84, Cambridge 1927.

<sup>541)</sup> SEEBACH, K.V.: Das mitteldeutsche Erdbeben vom 6. März 1872. – S. 128.

Abb. 70.  
Verdrehung von zwei Strebe­pfeilern einer Kirche in Valparaiso (MALLET, 1846).

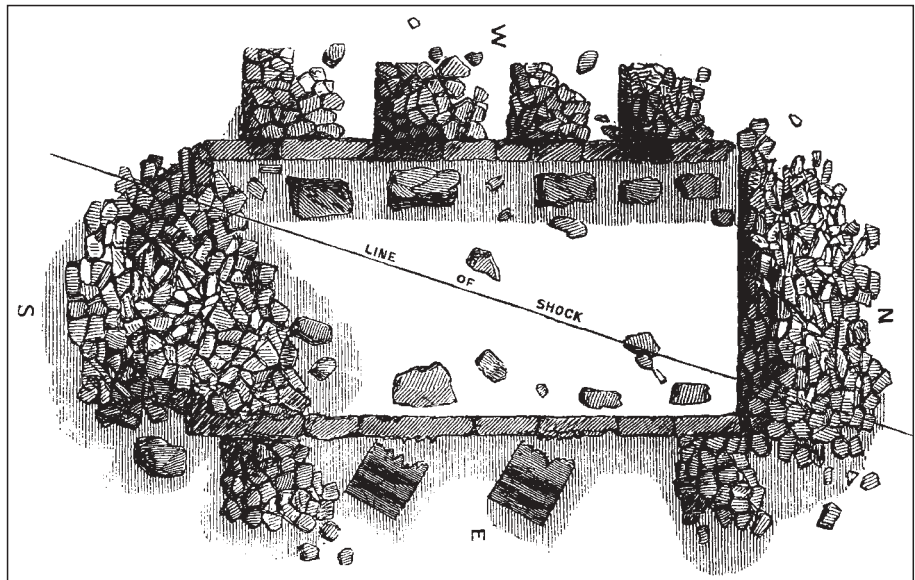
Über ähnliche Phänomene hatte MALLET auch in alten Reiseberichten gelesen. Der am besten dokumentierte Fall ist die Verdrehung der beiden Obelisken in St. Stephano del Bosco anlässlich des kalabrischen Erdbebens vom Jahre 1783, den, wie bereits gezeigt<sup>542</sup>, LYELL unter Berufung auf den Bericht dieses Erdbebens durch die Mitglieder der Neapolitanischen Akademie in England ausführlich dargestellt hat. Einen zweiten, ebenfalls gut dokumentierten Fall kennt MALLET aus dem Bericht von F. PLACE ESQ. im „Quarterly Journal of the Royal Institution“ über das Erdbeben in Chile vom Jahre 1822, bei dem zwei Strebe­pfeiler einer Kirche in Valparaiso auf ähnliche Weise verdreht wurden (Abb. 70).

Auch DARWIN erwähnt solche Verdrehungen von Gebäudeteilen in Concepción während desselben Erdbebens und vergleicht sie mit denen in Valparaiso, wobei er auch auf ARAGOS Bericht in „l'Institut“ 1839 hinweist, der Ähnliches an den alten griechischen Tempeln bemerkt hatte.

An DARWINS Kritik der Erklärung dieser Drehungen durch eine eigene Form einer wirbelnden Erdbewegung knüpft auch MALLET direkt an. Er stimmt DARWIN zu, dass eine derartige Wirbelbewegung nicht nachweisbar ist. DARWINS Hinweis jedoch, dass jeder der Steine von so großem Gewicht sich in ähnlicher Weise ihre Lage arrangieren, wie die Nadeln auf einem Stück Papier, das geschüttelt wird, oder wie der Sand auf CHLADNIS akustischen Platten, ist für ihn eine Erklärung, die noch weiter von der Wahrscheinlichkeit entfernt ist als die seiner Vorgänger. Es müsste dann für jeden Stein eine eigene Drehachse vorhanden sein, abgesehen von der unbegreiflichen Winkelgeschwindigkeit an den äußersten Punkten des Radius der Wirbelbewegung.

MALLETS eigene Erklärung geht von der Voraussetzung aus, dass der Körper auf seiner Basis ein, wie er es nennt, „Zentrum der Adhärenz“ besitzt, ebenso wie jeder Körper einen Schwerpunkt (center of gravity) hat. Je nach Lage dieser Zentren zueinander ergeben sich bei einer Erschütterung folgende Möglichkeiten:

- 1) Liegt der Schwerpunkt des Körpers sehr hoch über der Basis, dann wird er wegen seiner eigenen Trägheit umfallen. Das ist der Fall bei Häusern, Türmen und Mauern, die bei einem Erdbeben einstürzen.
- 2) Liegt das Zentrum der Adhärenz senkrecht unter dem Schwerpunkt des Körpers oder in einer vertikalen Ebene, die durch den Schwerpunkt geht, dann scheint sich der Stein in der entgegengesetzten Richtung zur Basis zu bewegen. In Wirklichkeit ist jedoch die Basis unter dem Körper weggerutscht.
- 3) Liegt aber das Zentrum der Adhärenz in solchen Punkten, die außerhalb der Schnittlinie der Ebene des Schwerpunktes sind, dann wird der Körper bei einer geradlinigen Bewegung in der Ebene der Basis rund um seine Lage gedreht.



Zur Demonstration dieser Drehbewegung hat MALLET auch ein Modell von einem der beiden kalabrischen Fußgestelle verfertigt, an der man anschaulich mit der Hand eine geradlinige Bewegung ausführen kann, um diesen Dreheffekt zu erzeugen (Abb. 71).

Nachdem MALLET nun bewiesen hatte, dass keine wirbelnde Bewegung für die Drehung der Körper vorausgesetzt werden muss, wie sie bei den genannten Erdbeben beobachtet worden sind, sondern nur eine einfache geradlinige Bewegung erforderlich ist, stellt er sich die entscheidende Frage, die ihn zu seiner Theorie über die Natur der Erdbebenbewegung geführt hat:

*„If the earth shake both back and forwards - how is it that these and other displaced bodies are not replaced by the reverse motion - by the same sort of motion acting in the contrary direction?“*

Es müsste sich um eine horizontale Bewegung handeln, die entweder nur nach vorwärts gerichtet oder in der einen Richtung langsamer als in der anderen ist.

Da aber eine nur nach vorwärts gerichtete Bewegung bewirken würde, dass alle Körper in eine Richtung fallen und dann dort liegen bleiben, was genauso wenig zu beobachten war wie ein Zurückversetzen der Körper in ihre

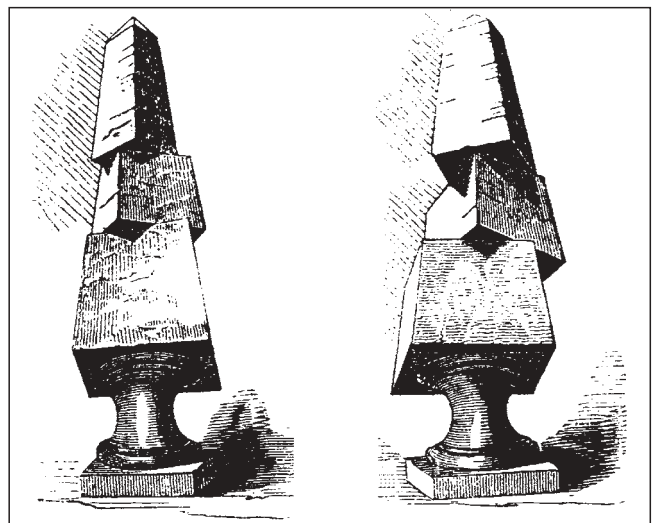


Abb. 71.  
MALLETS Modell der beiden kalabrischen Fußgestelle zur Demonstration der Drehbewegung.

<sup>542</sup> Siehe oben Kapitel 3.7.1.



ursprüngliche Lage, kann es sich nur um eine Bewegung handeln, die nach vorwärts schneller als nach rückwärts verläuft. Die einzige Art einer solchen Bewegung ist aber nur die Fortpflanzung einer elastischen Kompressionswelle<sup>543</sup>):

*„The transit of a wave of elastic compression, or of a succession of these, in parallel or in intersecting lines, through the solid substance and surface of the disturbed country.“*

Mit dieser Formulierung hat MALLET die Grundlage zu einer Theorie der Erdbeben geliefert, in der im Unterschied zu den bisherigen Theorien der erste Impuls als Ursache von der Art und Weise der Fortpflanzung der Wellenbewegung deutlich getrennt wird. Der ursprüngliche Impuls, von dem die Kompressionswelle ausgeht, kann unterschiedliche Ursachen haben. Er kann durch Abstürzen schwerer Massen bewirkt werden oder durch das Aufbrechen von Erdschichten durch den Druck von elastischer oder flüssiger Materie von unten her oder, wie MICHELL angenommen hatte, durch den heißen Dampfdruck in Höhlen, in die kaltes Wasser geraten ist, oder durch die Explosion eines verstopften Vulkans, bei dem, wie HUMBOLDT am Beispiel des Cotopaxi berichtet, eine Felsenmasse von über zweihundert Tonnen über eine Distanz von neun Meilen weggeschleudert wurde. Gleichgültig um welche Ursache es sich handelt, MALLET will mit seiner Theorie der Wellenbewegung der Erdbeben lediglich die bekannten Gesetze der Wellen oder Schwingungen in gasförmigen, flüssigen und festen Körpern anwenden.

Obwohl zu seiner Zeit noch nicht bekannt war, dass in präzise analoger Weise die Bewegungsform der Partikel in soliden Körpern innerhalb der Grenzen ihrer Elastizität so stattfindet wie in Flüssigkeiten, hält es MALLET für höchst wahrscheinlich, dass die Partikel in beiden Fällen ähnliche kreis- oder ellipsenförmige Kurven durchlaufen, wie sie in der Wellenlehre der Gebrüder WEBER dargestellt werden (Abb. 72).

Eins jedoch ist für MALLET schon aus Beobachtungen sicher, dass die Oberfläche der festen Erde als Wirkung der elastischen Welle oder des großen Erdbebenstoßes „wogt“ (undulate), d.h. eine Wellenbewegung durchführt. Diese Fortpflanzung einer Welle entlang der Oberfläche wurde nach MALLET bereits beim großen Erdbeben von Jamaika im Jahre 1692 eindeutig beobachtet. So schwierig es auch ist, unsere gewöhnliche Vorstellung von soliden Körpern mit derartigen inneren Bewegungen in Einklang zu

bringen, die durch sie hindurchgehen, Kompressionen verursachend oder auch eine Bewegung zwischen den Partikeln innerhalb der Grenzen ihrer Elastizität, so kann doch MALLET, ähnlich wie GAY-LUSSAC vor ihm, eine Reihe von plausiblen Beispielen anführen: Das Klavierspiel in einem Empfangsraum kann die Wände des Hauses erschüttern, ein vorbeifahrender Zug kann den Boden in Schwingungen versetzen, Häuser und Türme schaukeln mit dem Wind und die hohen Schornsteine von Fabriken schwingen hin und her. In all diesen Fällen gibt es keinen Bruch im Zusammenhang der Teilchen der vibrierenden Körper, während sie innerhalb ihrer Elastizitätsgrenzen schwingen.

MALLET weist auch auf Ereignisse hin, die den gleichen Charakter von Erdbeben haben, weil auch sie Bodenschwingungen in der Art der Erdbebenwellen auslösen, wie Einstürze in den Kohlenbergwerken Nordenglands oder das Umfallen einer oder mehrerer der großen vertikalen Steine von Stonehenge, das eine derartige Erschütterung hervorrief, dass alle in der näheren Umgebung glaubten, es hätte ein Erdbeben stattgefunden, was es auch nach der Definition von MALLET auch war – nur nicht durch natürliche Ursachen hervorgerufen.

Entscheidend für die Durchsetzung von MALLET'S Theorie war jedoch ihre überragende Erklärungskraft. Es gelingt ihm, alle jene in der Erdbebenliteratur beschriebenen und zum Teil ungeklärt gebliebenen Phänomene auf die einheitliche Grundlage der Wellenbewegung zurückzuführen wie z.B. das Umstürzen von Mauern in entgegengesetzten Richtungen durch reflektierte Erdbebenwellen, die jene Mauern umwerfen, die beim Durchgang der ersten direkten Erdbebenwelle noch stehen geblieben sind. Insbesondere blieben in den Darstellungen der großen Erdbeben durch MICHELL (Lissabon 1755), DARWIN (Concepción 1833) und LYELL (Lissabon und Concepción) die dabei aufgetretenen Wasserbewegungen an den Küsten der Meere und an den Inlandseen ungeklärt oder führten zu widersprüchlichen Hypothesen. Das sowohl beim Erdbeben in Lissabon als auch in Concepción festgestellte Zurückweichen des Meeres unmittelbar im Zusammenhang mit dem ersten Stoß und das viel später etwa eine halbe Stunde verzögerte Auftreten einer großen, alles vernichtenden Seewelle wurde von MICHELL durch das Einstürzen eines Teils des Meeresbodens zu erklären versucht. LYELL dagegen sieht in dem Zurückweichen des Meeres an der Küste eine Folge der Erhebung eines Teils des Meeresbodens, wobei das Wasser sogar an den weit entfernten Meeresküsten unmittelbar abgezogen wird. Keiner von diesen Autoren kann jedoch das nach längerem zeitlichem Abstand darauffolgende

<sup>543</sup>) MALLET, R.: On the Dynamics of Earthquakes. – S. 58.

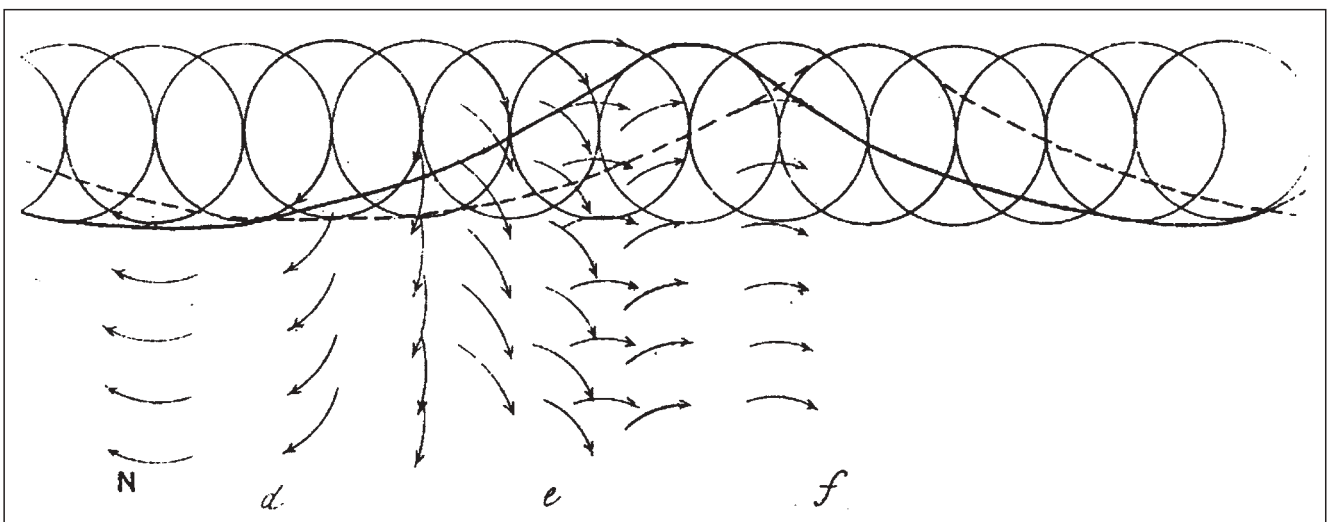


Abb. 72.  
Diagramm zur Darstellung der Bewegungsform der Partikel in Flüssigkeiten nach der Wellenlehre von WEBER (MALLET, 1846).

Auftreten der großen Seewelle an den Küsten erklären. Auch DARWIN schildert lediglich die Vernichtungen, die von der großen Seewelle in Concepción angerichtet worden sind, ohne eine theoretische Erklärung für ihr Auftreten zu finden.

MALLET dagegen hat alle diese Erscheinungen auf ein System von Wellenbewegungen zurückführt, die zwar von einem Störungszentrum ausgehen, aber mit unterschiedlicher Geschwindigkeit durch die feste Erde, durch das Wasser und durch die Luft als Schallwellen fortgepflanzt werden. Liegt das Zentrum der Störung unter dem Meeresboden, wie bei den großen Erdbeben von Lissabon oder Concepción, dann ergibt sich nach MALLETS Theorie folgende Reihenfolge von Wellenbewegungen:

- 1) Die elastische Kompressionswelle, die als Folge des ersten Stoßes mit ungeheurer Geschwindigkeit von ca. 7.000–10.000 Fuß pro sec. von dem senkrecht über dem Stoßzentrum befindlichen Punkt aus in allen Richtungen nach außen hin fortschreitet und an der Oberfläche des Meeresbodens eine echte Undulation erzeugt.
- 2) Die „forcierte See-Welle“, die in demselben Augenblick entsteht, in dem die Undulation des Meeresgrundes auf seichtes Wasser trifft und gerade über sich selbst eine Wasseraufstauung bewirkt, die wiederum sowohl das rätselhafte Zurückweichen des Wassers an der Meeresküste als auch die Veränderung an den Ufern der Binnenseen hervorruft.  
Wenn beim ersten Stoß im Ursprungsort eine Schallwelle durch das Zerreißen oder Abstürzen von Felsen oder Erdschichten oder das Explodieren eines Feuerherdes erzeugt wird, dann entsteht
- 3) die Schallwelle durch die Erde,
- 4) die Schallwelle durch das Wasser, die wegen ihrer geringeren Geschwindigkeit später ankommt als jene durch die Erde, aber früher als
- 5) die Schallwelle durch die Luft.

Wo jedoch keine Spaltenbildungen oder Explosionen stattfinden, können die Schallwellen gänzlich fehlen.

Von diesen elastischen Wellen unterschieden ist die große Seewelle, die zuletzt und ziemlich spät nach dem großen Stoß die Küsten erreicht und große Verheerungen anrichten kann. Sie ist eine Flüssigkeitswelle (liquid wave) und gehorcht den Gesetzen der Wasserwellen, die sich vom Ursprungsort an in Kreisen fortbewegen, wie die Wellen in einem Teich, in den man einen Stein wirft. Die Höhe und das Volumen dieser Welle hängt von der Heftigkeit des Stoßes und von der Tiefe des Wassers oberhalb des Ursprungsortes ab. Ihre Fortpflanzung, Gestalt und Dimension wird bestimmt durch die jeweilige Tiefe und die Beschaffenheit des Meeresbeckens, in dem sie sich bewegt. Sie kann dementsprechend in ganzer Höhe und Volumen an die Küste gelangen und weit ins Land einbrechen, oder sich, wenn die Meerestiefe geringer als ihre Höhe ist, überstürzen und als lebhaft Brandung an die Küste kommen, falls sie sich nicht schon zuvor durch

mehrfachen Wechsel der Wassertiefe in kleinere Wellen zerlegt hat.

Von diesen primären Erscheinungen der verschiedenen Wellenbewegungen sind nach MALLETS Theorie der Dynamik der Erdbeben die sekundären Phänomene zu unterscheiden, die durch den Durchgang dieser Wellen erzeugt werden. Und beide müssen genau von anderen gleichzeitig stattfindenden Kraftäußerungen wie z.B. vulkanische Ausbrüche, bleibende Hebungen und Senkungen des Landes etc. unterschieden werden, die entgegen den früheren Meinungen von HOOKE, LYELL, DARWIN und HUMBOLDT keinen integrierenden Teil eines Erdbebens darstellen.

Der Paradigmawechsel in der Erdbeben­theorie, den MALLET mit seiner Definition des Erdbebens als Durchgang von Wellenbewegungen erreicht hat, zeigt sich am deutlichsten in der Neuinterpretation jener Phänomene, die man früher als charakteristische Bestandteile eines Erdbebens angesehen hat, bei dem man immer den Transport von festen, flüssigen, heißen oder dampf- oder gasförmigen Massen voraussetzen musste, wie z.B. das Öffnen und Schließen von Spalten oder die Auswürfe von festen und flüssigen Substanzen aus solchen Spalten oder Löchern wie Asche, Sand oder Wasserfontänen oder die Ausbrüche von Feuer, Rauch, Gas und Dampf, die insbesondere beim Erdbeben von Kalabrien 1783 von DOLOMIEU und anderen beschrieben wurden.

Alle diese Erscheinungen sind für MALLET nur sekundäre Folgen des Durchganges von einer oder mehrerer z.T. reflektierter oder sich überlagernder elastischer Wellen. Sogar das Beispiel von radial von einem Knotenpunkt auseinanderlaufenden Spalten, das bei Jerocarne 1783 zu beobachten war und von LYELL als Beweis für seine Theorie der Hebungen und Senkungen angeführt worden ist<sup>544</sup>, kann MALLET als Auswirkung von einander überkreuzenden Wellenbewegungen erklären<sup>545</sup>. Daher kann er auch zu Recht abschließend feststellen, dass sich auch alle anderen sekundären Erdbeben-Phänomene auf die mechanische Wellentheorie zurückführen lassen<sup>546</sup>:

*„To this many other such curious, minute, accidental earthquake consequences might be added and explained, but it would be a tedious and useless labour, as the explanation of all such will be apparent easily to those acquainted with physics, where the conditions have been properly observed.“*

Seine Wellentheorie der Erdbeben hat MALLET später in zwei weiteren Abhandlungen noch weiter präzisiert: einerseits im „4<sup>th</sup> Report“ über die Erdbebenphänomene in der British Association for the Advancement of Science vom Jahre 1858 und andererseits in der seit dem Jahre 1851 in mehreren Auflagen des Admiralty Manual of the British Navy erschienenen Abhandlung „On Earthquake Phenomena“ (3. Aufl., 1859). Dort bezeichnet er die elastische

<sup>544</sup>) Vgl. oben Kapitel 3.7.1.

<sup>545</sup>) MALLET, R.: On the Dynamics of Earthquakes. – S. 80.

<sup>546</sup>) MALLET, R.: a.a.O. S. 74.

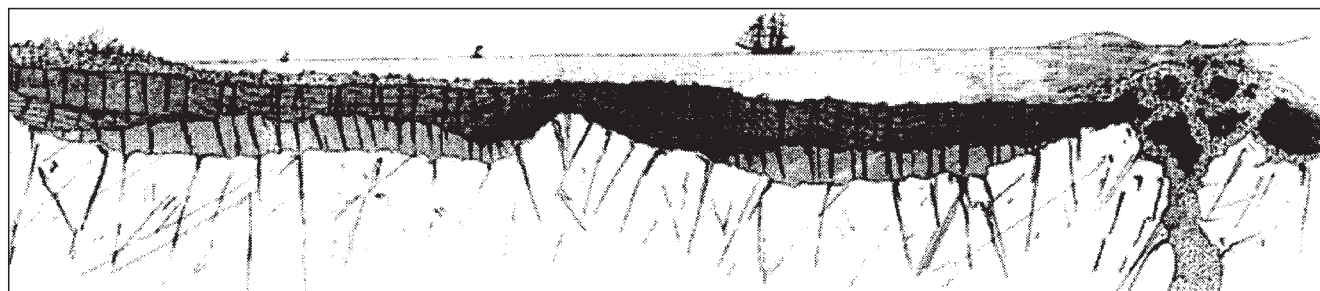


Abb. 73.  
Die große Seewelle (MALLET, 1846).

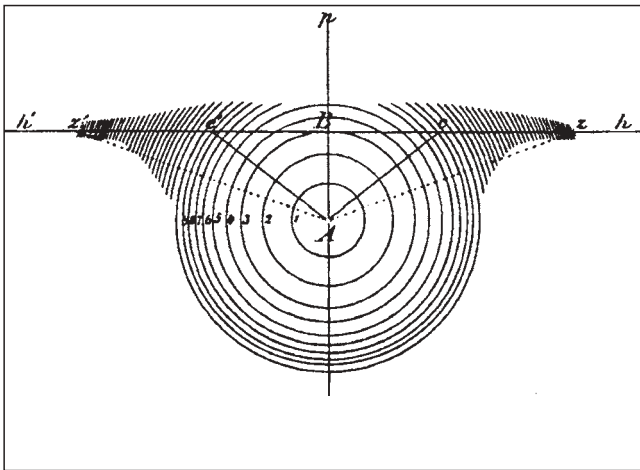


Abb. 74.  
Ausbreitung der longitudinalen Kompressionswelle durch die Erde und an der Erdoberfläche (MALLET, 1859).

Welle als die „große Erdwelle“, die von dem „wahren Stoß“ (true earthquake shock) und mit ungeheurer Geschwindigkeit von dem senkrecht über dem Stoßzentrum befindlichen Punkt aus in allen Richtungen nach außen hin fortschreitet und an der Oberfläche eine Undulation erzeugt, deren Höhe fortwährend abnimmt, je weiter sie sich vom Ursprungsort entfernt. Um sich eine klare Ansicht über die Grundbedingungen der Fortpflanzung der Erdbebenwellen bilden zu können, veranschaulicht MALLET seine Theorie durch ein Diagramm (Abb. 74).

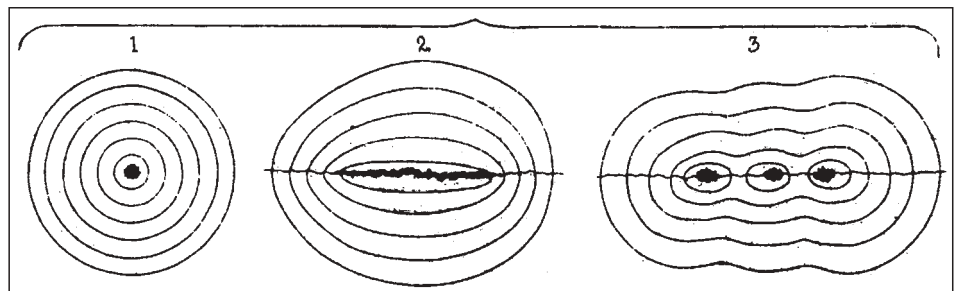
Dieses Diagramm stellt einen senkrechten Durchschnitt eines Teils der Erde in der Ebene eines größten Kreises dar, der die Oberfläche bei h'h schneidet und durch den Ursprungsort des Stoßes bei A durchgeht; Ap ist eine Senkrechte von diesem Punkt aus, dessen Tiefe unter der Oberfläche BA ist.

Die Welle geht vom Ursprungsort (die Erdmasse als homogen angenommen) mit einer normalen und zwei transversalen Schwingungen aus; vernachlässigt man letztere zunächst, so kann man sich das in allen Richtungen stattfindende Fortschreiten der Welle nach außen hin durch konzentrische Kugelschalen vorstellen, deren Volumen in derselben Wellenphase dasselbe ist. Ist R der mittlere Radius, so nimmt der Zwischenraum zwischen je zwei solchen Kugelschalen ab wie  $r^2$ , und die niederwerfende Kraft des Stoßes (the overthrowing energy of the shock) in der Richtung von r wird geringer im Verhältnis des Quadrates der Entfernung vom Ursprungsort.

Der Stoß erreicht die Oberfläche bei B gerade senkrecht über dem Ursprungsort; aber für alle Punkte rings um B kommt er unter Winkeln an, welche sich in dem Maße mehr der horizontalen Linie nähern, als die Entfernung von der Oberfläche zunimmt.

Die Fläche oder der horizontale Umriss einer jeder dieser Wellen, welche an der Oberfläche der Erde austreten, ist mehr oder weniger kreis- oder ellipsenförmig entsprechend dem jeweiligen Ursprungsort oder dem Zentrum der Störung. Dieses Zentrum kann entweder aus einem Punkt, einer Linie oder aus mehreren Punkten von Impulsen bestehen. In der weiteren Fortpflanzung dieser kreis- oder ellipsen-

Abb. 75.  
„Earthquake cotidal lines“ nach MALLET (1846).



förmigen Linien, die MALLET in seiner ersten Abhandlung vom Jahre 1846 in Analogie zur Gezeitenwelle „earthquake cotidal lines“ später aber „coseismal lines“ nennt, wird sich zwar ihrer ursprünglichen Form mehr und mehr entsprechend der Bodenbeschaffenheit verändern, sie werden aber in jedem Fall geschlossene Linien<sup>547)</sup> bleiben (Abb. 75).

„The diagrams (1, 2, 3) show the variable forms which the closed curves of the earth wave cotidal lines may assume, in the same uniform formation, according to the nature and position of the original disturbance. Where, as in (1) this is at a single point, the curves will be nearly circular; where the disturbance is along an uniform right line, they will be ovals (2); and where the original impulse comes simultaneously from several distinct points, the curves will be irregular closed figures of contrary flexure (3). All these are subject to the changes already described in passing from one formation to another.“

Aus dieser Darstellung geht auch hervor, dass sich MALLET durchaus Gedanken über die unterschiedlichen Formen des Herdgeschehens gemacht hat und den Ursprungsort des Erdbebens keineswegs nur auf einen Punkt eines vulkanischen Herdes reduziert hat, wie ihm später vorgeworfen wurde<sup>548)</sup>.

Von besonderer Bedeutung ist für MALLET die Tiefe des Ursprungsortes des Erdbebens, da sich daraus unterschiedliche Systeme von elastischen Wellen ergeben<sup>549)</sup>:

„Where successive fractures at different, but great, depths, take place in this way, two distinct systems of elastic waves, one of them having a vertical, and the other an horizontal or largely inclined direction of transit, will traverse the mass of the earth's crust, and be felt upon its surface at once; but the amplitude of the waves of the former system will be very small, as compared with the waves of the latter, and hence an undulating and oscillatory motion will be experienced at the surface, accompanied by a sharp upward jar or vibration at the same time – circumstances which have been occasionally recorded as having been observed during earthquakes.“

In seiner ersten Abhandlung über die Dynamik der Erdbeben hat MALLET seine theoretischen Überlegungen über die Natur und Wirkungsweise der elastischen Kompressionswellen, die entweder durch Biegen oder Brechen (flexure or fracture) der Gesteinsschichten produziert werden, durch anschauliche Diagramme dargestellt.

Wie komplex das System der Wellenbewegung beim Bruch der Erdkruste ist, die aus mehreren horizontalen Gesteinsschichten oder Massen von einzelnen Felsen besteht, schildert MALLET auf folgende Weise<sup>550)</sup>:

„Where the elevated crust consists of horizontally, or nearly horizontally stratified rock, or of several parallel superimposed masses of independent rock, of whatever sort,

<sup>547)</sup> MALLET, R.: a.a.O. S. 103.

<sup>548)</sup> HOBBS/RUSKA 1910, S. 12.

<sup>549)</sup> MALLET, R.: a.a.O. S. 90.

<sup>550)</sup> Ebenda.

those that lie deepest will be first and most bent, and, ceteris paribus, will be the first to give way by fracture; those above them will break in succession, and when the area and amount of elevation are very great, each layer or plate of the whole elevated crust may be fractured successively at several places, so that from a single locus of elevation a number of earth waves may be produced and propagated in succession, each constituting a true earthquake shock: nay, even after numerous fractures have taken place, the further upheaval and tilting over of vast masses of the now broken up plate will, where its thickness is considerable, produce renewed mutual pressures and violent constraint, in the directions of the diagonals of the several tabular blocks, which will afterwards give rise to minor shocks, as in the further progress of elevation, the several masses of the ruptured crust are raised and freed from each other, and the compression and constraint of their elastic particles thus successively removed.“

Die einzelnen Phasen der Hebung und Senkung der Erdkruste durch vulkanische Kräfte und die dadurch entstehenden Kompressionen und Dehnungen der Gesteinsschichten, die schließlich zum Bruch der Erdkruste führen, werden von MALLET durch die Abb. 76–78 dargestellt und erläutert<sup>551, 552, 553</sup>:

„The mass of stratified formation is in act of being elevated by the protrusion of lava from beneath, carrying up the loose materials reposing upon it. The arrows above and below the neutral plane indicate the directions of the compressions and extensions, and hence of the transit of elastic waves, if the flexure be of sufficient extent and rapidity to produce such.“

551) Ebenda.

552) Ebenda.

553) Ebenda S. 103.

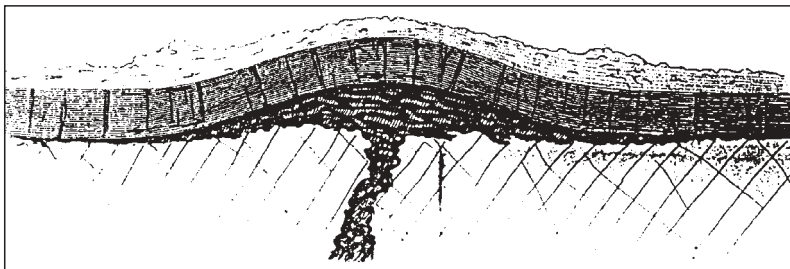
„A similar stratified mass is supposed to be in progress of subsidation, and the arrows show that all the previous forces remain operative, but changed in direction.“

„The flexure has been attended with fracture, and earth waves have passed outwards in all directions, and the diagram shows the directions of compression produced by the wedging together of masses of rock in progress of being lifted or tilted over, by continued upheaval after previous fracture, by which minor earth waves, subsequent to the great shock, may be propagated.“

Kurz zusammengefasst lautet die Vorstellung über den wahren Ursprung und die Natur des Erdbebenstoßes in MALLETS eigenen Worten<sup>554</sup>:

„Such, then, I conceive to be the true origin and nature of the earthquake shock. It is produced by any force which disturbs the equilibrium of elasticity of the materials constituting the crust of the globe, and it is propagated from the locus of its origination, in accordance with the laws of transit of elastic waves through such materials.“

Aus diesen theoretischen Überlegungen ergibt sich jedoch für MALLET die praktische Konsequenz, die Durchgangsgeschwindigkeit der elastischen Welle, ihre Amplitude und die Höhe des Wellenkammes für jede Art oder Sorte des Felsen zu bestimmen, aus der die Erdkruste besteht. Alle diese für seine Theorie notwendigen Bestimmungsstücke sind abhängig von der Elastizität und Kohäsion der mineralischen Substanzen, aus denen die lockeren und felsigen Teile der Erdkruste sich zusammensetzen, von denen jedoch nur sehr wenige, u. zw. nur die, welche im Gebrauch der Bauingenieure und Architekten waren, in ihrer Elastizität und Bruchfestigkeit bekannt waren. Da jedoch in England Erdbeben sehr selten sind, um aus Beobachtungen und Analysen des Bodens die ge-



554) Ebenda S. 90.

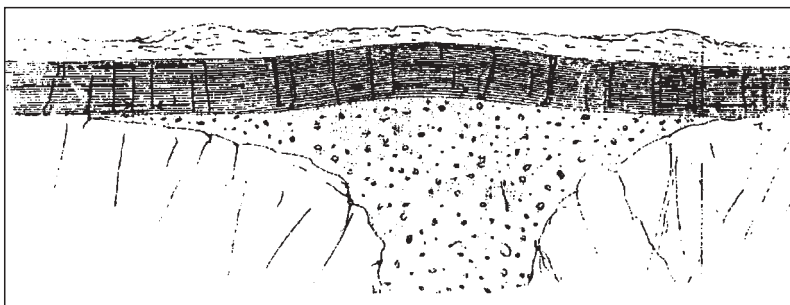


Abb. 77.  
Beginn der Senkung nach MALLET (1846; Dynamics of Earthquake).

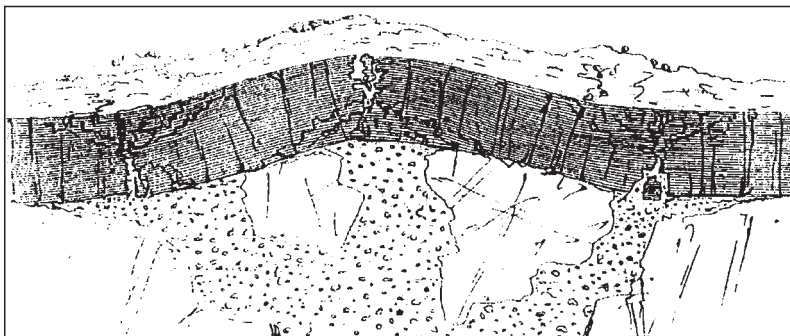


Abb. 78.  
Bruch der Erdkruste nach MALLET (1846; Dynamics of Earthquake).

suchten Daten über die Durchgangsgeschwindigkeit zu erfassen, schlägt MALLETT die künstliche Erzeugung eines Erdbebens durch Sprengungen an unterschiedlichen Stellen des Erdbodens vor<sup>555</sup>):

*„But another, and much more rapid, and perhaps even certain, method, remains to be noticed, for obtaining part of our data as to the specific period of wave transit, viz. by direct experiment, which in all matters of inductive science may be pronounced, whenever it is possible, better than mere observation.*

*I have already stated that it is quite immaterial to the truth of my theory of earthquake motion what view be adopted, or what mechanism be assigned to account for the original impulse; so, in the determination of the time of transit of the elastic wave through the earth's crust, if we can only produce a wave, it is wholly immaterial in what way, or by what method, the original impulse be given.*

*Now the recent improvements in the art of exploding, at a given instant, large masses of gunpowder, at great depths under water, give us the power of producing, in fact, an artificial earthquake at pleasure; we can command with facility a sufficient impulse to set in motion an earth wave that shall be rendered evident by suitable instruments at the distance, probably, of many miles, and there is no difficulty in arranging such experiments, so that the explosion shall be produced by the observer of the time of transit himself, though at the distance of twenty or thirty miles, or that the moment of explosion shall be fixed, and the wave period registered by chronometers, at both extremities of the line of transit.*

*For this alone very moderate charges of powder will answer, but if the explosion be made out at sea with sufficient energy, there will not only be produced the transit of the earth wave and the sound waves through the sea and air, but the accumulation and subsequent coming in of the great sea wave, so that all the phenomena of the natural earthquake are thus placed within our power of production, observation, and control.“*

Diese Sprengexperimente zur Erzeugung eines künstlichen Erdbebenstoßes wurden MALLETT bewilligt und von ihm auch mit größter Sorgfalt und in unterschiedlichen geologischen Formationen durchgeführt.

#### 4.5.2. Das Experimentum crucis: MALLETT'S Sprengexperimente zur Bestimmung der Durchgangsgeschwindigkeit der Erdbebenwelle

MALLETT selbst bezeichnet in seinem 2. Report in den „Transactions of the British Association for 1851“ die von ihm im Sommer und Herbst der Jahre 1849–50 durchgeführten Sprengversuche zur Auslösung von künstlichen Erdbeben als „experimentum crucis“ für seine Theorie. Seine Absicht war, die Durchgangsgeschwindigkeit der Erdbebenwellen in zwei unterschiedlichen Medien zu messen, in denen die möglichst extremen Grenzwerte der Geschwindigkeit auftreten, d.h. die langsamste und die schnellste, wie sie überhaupt in den unterschiedlichen Formationen der Erdkruste stattfinden können.

Auf Grund der ihm schon bekannten Experimente über die Geschwindigkeit der Fortpflanzung der Schallwellen in

unterschiedlichen Medien vermutet MALLETT, dass die langsamste Geschwindigkeit in irgendeinem diskontinuierlichen Medium zu finden ist, in dem auch die rascheste Auslöschung der Wellenbewegung erfolgt, während fester Granit oder anderes kristallines Gestein als das Medium mit der schnellsten Ausbreitungsgeschwindigkeit anzusehen ist, in dem die Übertragung des Impulses am spätesten aufhört.

Glücklicherweise gab es beide Arten von Medien in der geforderten Form nur wenige Meilen von Dublin entfernt an einem Punkt der Küste, der leicht mit der Eisenbahn zu erreichen war. Die Killiney Bay bot eine genügend lange Strecke mit feuchtem Sand für die Messung der unteren Grenzen der Geschwindigkeit, während der Granit des kaum eine halbe Meile von der Küste entfernten Dalkey Island am besten für die Berechnung des oberen Grenzwertes geeignet war.

Der Platz war auch so gewählt, dass die notwendigen Explosionen keine Gefahr für Personen darstellten. Unterstützt wurde MALLETT und sein Team, in dem sich auch sein ältester Sohn William befand, sowohl von der Küstenwache als auch von den kommandierenden Offizieren der Artillerie, für deren prompte und freundliche Art der Hilfeleistung sich auch MALLETT in seinem Report bedankt.

Da es sich bei diesen „mit bewundernswertem Scharfsinn angestellten“ (JEITTELES) Experimenten um die ersten Ansätze einer Seismologie als exakter Wissenschaft handelt, die nicht nur auf qualitativen Beobachtungen, sondern auf Messungen beruht, verdienen sie weniger wegen ihrer Ergebnisse als wegen ihrer Methodik der Vergessenheit entrissen zu werden. Umsomehr deswegen, weil MALLETT in seinem heute fast nur allein bekannten Hauptwerk über das Neapolitanische Erdbeben, dessen Auswirkungen er nur nachträglich an den Gebäudezerstörungen untersuchen konnte, nicht zu Unrecht wegen der Unzulänglichkeit seiner Methodik kritisiert worden ist. Seine Experimente in der Killiney Bay dagegen, bei denen eine Serie von künstlich hervorgerufenen Erdbeben in ihrem aktuellen Ablauf beobachtet wurde, enthalten bereits alle Komponenten einer exakten Wissenschaft. Denn es handelt sich dabei um einen in seiner Lage genau bekannten Ursprungsort mit einer genau bekannten Stärke des ersten Impulses, dessen Fortpflanzung als elastische Welle über eine genau ausgemessene Strecke in einem zuvor ausgewählten Medium von einem sehr empfindlichen Seismoskop festgestellt worden ist.

Die Vorgangsweise war folgende: Zuerst wurden die Versuche im losen Sand der Killiney Bay selbst durchgeführt. Dazu wurde sehr genau eine Strecke von einer statute mile = 5280 Fuß in einzelnen Abschnitten mit einer geeichten Meßplatte vermessen und mit Stangen markiert. Die einzige Schwierigkeit war die Überkreuzung des Shanganak Flusses, der in die Killiney Bay mündete.

Wie es sich aber später herausstellte, war gerade diese Hälfte der Messstrecke völlig unwichtig, denn die am 25. Okt. 1849 durchgeführten Explosionen von 2 Pfund Sprengpulver ergaben weder bei einer Distanz von einer halben noch von einer Viertelmeile ein durch das Seismoskop merkbare Erschütterung, obwohl bei einer Distanz von einer Viertelmeile auch die Tiefe des Sprengherdes von 4 Fuß auf 3 Fuß reduziert wurde. Erst in einer Entfernung von einer Achtelmeile (furelong) konnte eine genau sichtbare Welle mit dem Seismoskop registriert werden.

<sup>555</sup>) Ebenda S. 97.

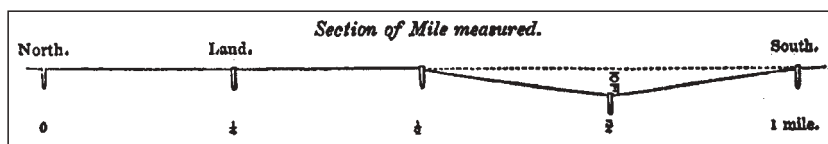


Abb. 79.  
Durchschnitt der vermessenen Meile am Strand der Killiney Bay (MALLETT, 1851).

Bei dem Seismoskop selbst, das am nördlichen Ausgangspunkt der vermessenen Meile lokalisiert war, handelte es sich um ein Flüssigkeitsseismoskop, das aus einer gusseisernen rechteckigen Schale voll mit Quecksilber bestand, auf dessen spiegelnder Oberfläche zwei um 45° geneigte Fernrohre den Schatten von zwei gekreuzten Drähten warfen, wenn die gußeiserne Schale in perfekter Ruhe war. Die leiseste Bewegung aber verursachte eine Störung des Abbildes der gekreuzten Drähte auf der Quecksilberoberfläche. Die Sensibilität dieses Gerätes war so groß, dass der Schlag eines Hammers in 100 Yard Entfernung auf den Felsen, auf den es gestellt wurde, bereits

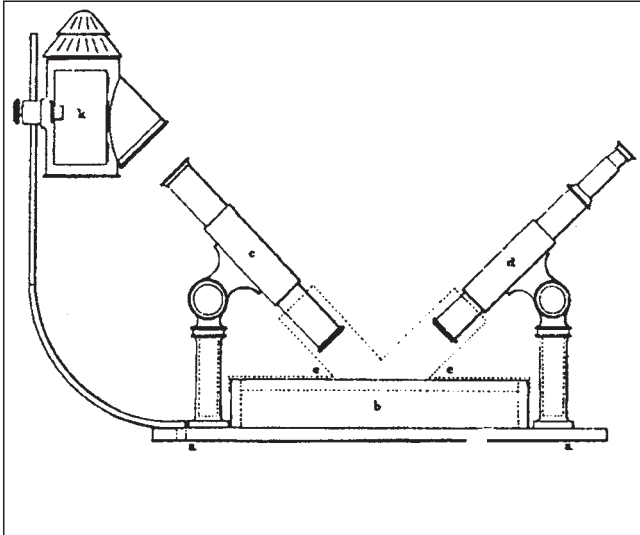


Abb. 80.  
Quecksilberseismoskop (MALLET, 1851).

eine Störung hervorrief oder das Stampfen eines Fußes in 60 Yard Entfernung eine Wirkung im Seismoskop hervorrief.

Um die Entfernung zwischen dem Sprengherd und dem Beobachtungspunkt auf eine Meile so auszudehnen, dass eine sichtbare Veränderung im Seismoskop registriert werden kann, müsste nach MALLETS Berechnungen die Sprengladung von 2 Pfund (lbs) auf 128 lbs erhöht werden. Er verzichtete daher auf seinen ursprünglichen Plan, seine Experimente auf einer Strecke von einer Meile durchzuführen und beschränkte sich auf die Strecke von einer halben Meile, was außerdem noch den Vorteil hatte, dass die unvermeidlichen Messfehler bei der Überkreuzung der Mündung des Shanganak-Flusses wegfielen, die jenseits der halben Meile lag.

Die dafür berechnete Sprengladung von 32 lbs konnte auf 25 lbs reduziert werden, da es sich herausstellte, dass

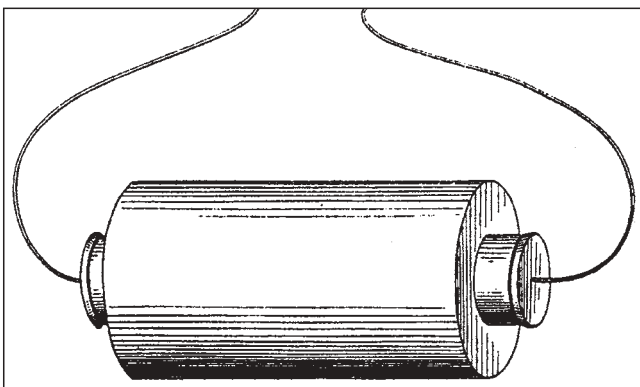


Abb. 81.  
Kanister mit 2 Pfund Sprengladung (MALLET, 1851).

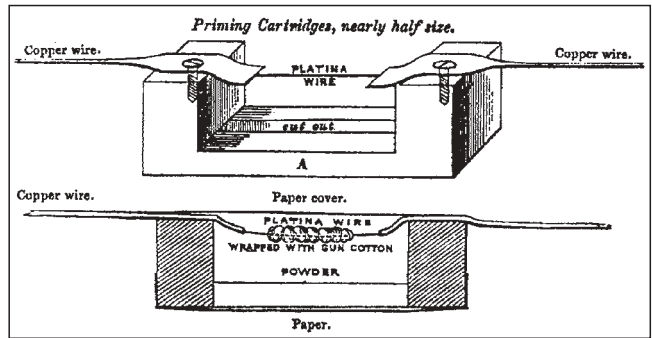


Abb. 82.  
Zündpatrone (MALLET, 1851).

die 2 lbs für die Achtelmeile (furelong) mehr als ausreichend waren. Trotzdem musste bei der Sprengladung von 25 lbs Sprengpulver eine neue Konstruktion erfunden werden. Bei 2 lbs war ein Kanister (Abb. 80) ausreichend, der in seinem Innern eine Zündpatrone (Abb. 81) enthielt, die über einen Kupferdraht entzündet werden konnte.

Die Sprengladung von 25 lbs musste MALLET in einem Fass unterbringen, in dessen Zentrum die Zündpatrone angeordnet wurde (Abb. 82, 83).

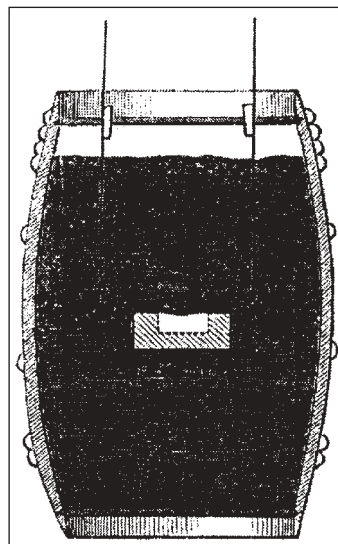
Das Fass selbst wurde dann in einer Tiefe von 6 Fuß, 6 Zoll versenkt und an der Oberfläche noch mit einem Fuß mit festgestampftem Sand bedeckt, so dass schließlich die gesamte Tiefe 7 Fuß und 6 Zoll betrug.

Die Messung der Zeit zwischen der Zündung der Explosion und der Ankunft der Welle beim Seismographen wurde mit einem eigenen von dem Astronomen WHEATSTONE erfundenen und von dem Uhrmacher Richard SHARP in Dublin hergestellten Chronographen (Abb. 84) durchgeführt.

Die Explosion riss einen tiefen Krater in den Sand in Form eines, wie MALLET sagt, „wunderschön perfekten Paraboloids“ (Abb. 85).

Die allgemeine Anordnung (Abb. 86), nach der über einer Strecke von einer halben Meile in den Tagen vom 30. Okt. bis 2. Nov. 1849 die Experimente im Sand der Killiney Bay durchgeführt wurden, beschreibt MALLET mit folgenden Worten<sup>556</sup>:

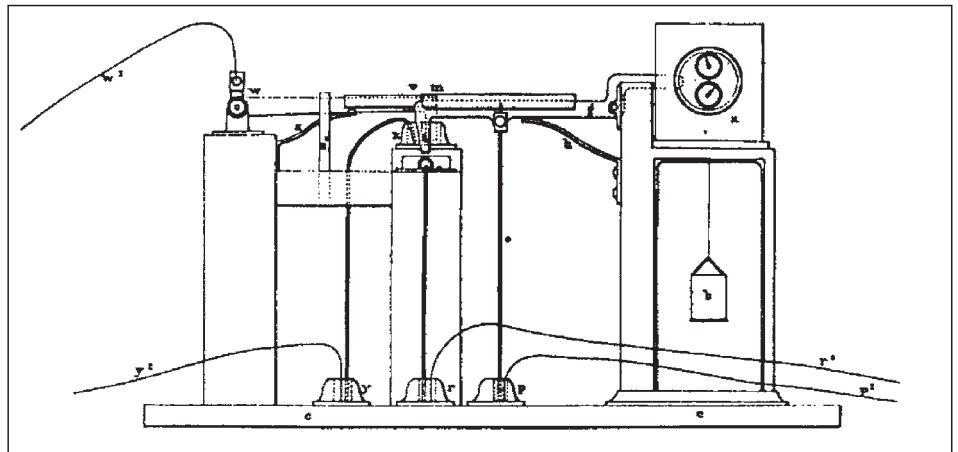
*„The range of half a mile extending from A to B, the powder was buried at P, one extreme; at the other was placed the seismoscope S and a chronograph C<sup>2</sup>, so arranged, (see detail plate of apparatus) that on my releasing it, contact was made right through the whole line of both wires v and w, through the firing batteries at B, and through a magnetic coil attached to the second chronograph at C (Sharp's), and so arranged that it released this chronograph at the moment contact was made by me: the wires, each of 3 twisted galvan-*



<sup>556</sup> MALLET, R.: Second Report 1851, S. 290.

Abb. 83.  
Durchschnitt durch das Fass mit 25 Pfund Sprengladung und Zündpatrone (MALLET, 1851).

Abb. 84.  
Chronograph zur Messung der Zeit zwischen der Explosion und der Ankunft der Welle beim Seismographen (MALLET, 1851).



ized iron wires severally of No. 13 wire-gauge, were soldered together, and at first lying upon the sand, but afterwards insulated on woodstakes. According to this arrangement, when contact was made at C<sup>2</sup>, both chronographs were released at once. The moment the explosion took place, an assistant (William Mallet) stopped the chronograph C, placed within 150 yards or so of the charge; and as soon as the wave reached me and was seen in the seismoscope S, I stopped the second chronograph C; the first chronograph C<sup>2</sup> showed the time of bang-fire, and the difference of these chronographs the gross time of wave transit.“

Die zweite Versuchsserie im Granit des nahegelegenen Dalkey Island bedurfte jedoch noch umfangreicherer Vorbereitungen. Es musste zunächst die Erlaubnis des dortigen Militärkommandanten General BURGOGNE eingeholt werden und der Farmer, der die Nutzung der Weiden auf der Insel hatte, bezahlt werden mit der Auflage, die Flurschäden an der Oberfläche wieder zu beseitigen. Nach einigen vorbereitenden Sprengversuchen, die dazu dienten, das vom dortigen Government zur Verfügung gestellten Kanonenschießpulvers zu testen, das wesentlich stärker war als das am freien Markt käufliche, wurden in den Granitfels am nördlichen Ende der Insel 10 Löcher gebohrt, die am 3. Oktober 1850, einem windstillen Tag in 2 Serien zu je 5 Explosionen mit einer Menge von 18–20 lbs Kanonenschießpulver gesprengt wurden.

Die mit der großen Sorgfalt eines erfahrenen Sprengmeisters vorbereiteten Sprenglöcher lieferten die bei der Explosion des Pulvers erwartete Wirkungen. Es gab keine lauten Schallgeräusche, nur ein tiefes Dröhnen war hörbar. Nur zwei von den Bohrlöchern warfen Steine aus und in einem Fall wurde ein 90–100 Tonnen schwerer Fels horizontal verschoben. In allen anderen Fällen wurde die Ener-

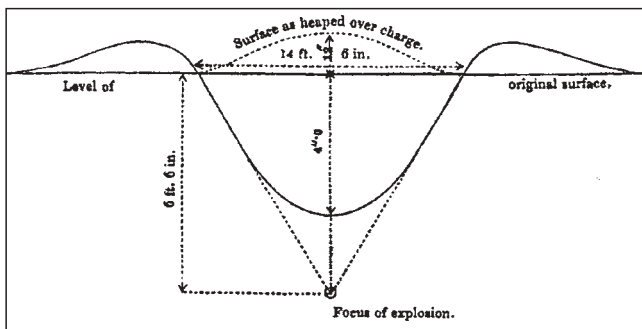


Abb. 85.  
Durchschnitt durch den Explosionskrater am Strand der Killiney Bay (MALLET, 1851).

gie der Explosion in Wellen fortgepflanzt, die von dem bereits beschriebenen Seismoskop registriert wurden.

Die Anordnung dieser Sprengexperimente im Granit von Dalkey Island (Abb. 87) war im Prinzip genau die gleiche wie im Sand der Killiney Bay und wurde von MALLET auf folgende Weise beschrieben<sup>557</sup>:

„I found I could get one excellent range of 1166 feet, or the choice of another and shorter one of 900 feet. In the former one, the end was not visible from the other extreme; but a ruined old church on the island, within about 400 feet of the firing end and visible from both extremities, gave the means of elevating the batteries for firing, &c., and the signal man, so as to answer as well as if the whole range were in view together.“

Das endgültige Ergebnis beider mit soviel Aufwand über mehr als ein Jahr betriebenen Versuchsserien im Sand der Killiney Bay und im festen Granit von Dalkey Island war nach den eigenen Worten MALLETS ebenso „unerwartet“ (unexpected) wie „bemerkenswert“ (remarkable).

Denn MALLET hätte nach seinen eigenen theoretischen Überlegungen eine viel größere Differenz in der Ausbreitungsgeschwindigkeit in diesen beiden extrem unterschiedlichen Medien erwartet. Die Durchgangsgeschwindigkeit der Erdbebenwelle durch den festen Granit hätte er nach eigenen Angaben auf 8.000 Fuß pro Sekunde und noch mehr geschätzt. Tatsächlich aber überschritt diese Durchgangsgeschwindigkeit im festen Granit nach seinen Versuchen nie mehr als 1662 Fuß pro Sekunde, während sie im Sand 966 Fuß pro Sekunde betrug. Damit stellte sich für ihn die Frage, woher diese große Diskrepanz zwischen Hypothese und Experiment kommt.

Die Antwort, die MALLET auf diese Frage gibt, kann man als wegweisend für die weitere Entwicklung der Theorie der Erdbebenwellen ansehen. Denn MALLET erkannte bereits sehr klar die Komplexität der tatsächlich in dem nur theoretisch in idealisierter Form als homogenes Medium zu betrachtenden Erdkörper stattfindenden Wellenvorgänge<sup>558</sup>:

„No such thing as an absolutely solid and homogeneous rock formation exists anywhere on the earth's surface. Whatever may be the rate of wave-transit in any one solid block

<sup>557</sup> MALLET, R.: a.a.O. S. 295.

<sup>558</sup> MALLET, R.: a.a.O. S. 308

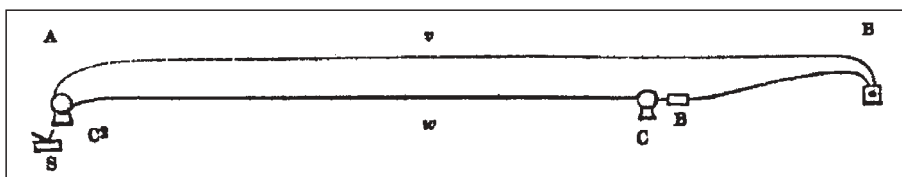


Abb. 86.  
Anordnung der Sprengexperimente im Sand der Killiney Bay (MALLET, 1851).





ation the facts above noticed, as ascertained by Wertheim and Breguet.“

Abschließend stellt MALLET seine eigenen Experimente zur künstlichen Erzeugung eines Erdbebens relativierend fest<sup>563</sup>:

„It follows, from the conclusions that we have so far arrived at, that while experiments in the closet to ascertain the moduli of elasticity of various rocks or other mineral masses cannot but be of great interest and value to science, they will be of less direct importance to seismology than was at first anticipated, and that no determinations of the transit rate of earthquake waves can be made in a trustworthy manner, except – 1st, by multiplying experiments in various rocks or discontinuous formations of different degrees of heterogeneity and homogeneity, by the method described in the preceding pages, by that of Mm. Wertheim and Breguet, which is applicable in some instances with great advantage and convenience, or by some other which may be devised; and 2nd, by actual instrumental determinations of the rate of earthquake-waves as they occur in nature: this can only be done by self-registering instruments such as that at present attempted to be constructed.“

Noch bevor MALLET seine Reise nach Süditalien zur Untersuchung des großen Neapolitanischen Erdbebens vom Dezember des Jahres 1857 antrat, begann er eine weitere Reihe von Sprengexperimenten in den staatlichen Steinbrüchen von Holyhead (Island of Angleson, North Wales), die er im Mai 1861 abschloss. Bei gleicher Anordnung der Experimente wie in der Killiney Bay und auf Darcy Island waren jedoch die Sprengladungen, die in großen Gallerien der fast senkrechten, 150 Fuß hohen Wand des Steinbruches untergebracht wurden, auf die enorme Menge von jeweils 2.100 bis zu 12.000 lbs oder fast 6 Tonnen Pulver erhöht. Bei diesen gewaltigen Explosionen konnten an dem Quecksilberseismoskop nicht nur die große Erdwelle, sondern auch die nachfolgenden Zitterbewegungen (tremors) beobachtet werden.

Das Ziel dieser Untersuchung war es, die folgenden drei aus den ersten Versuchen in der Killiney Bay und auf Darcy Island provisorisch gezogenen Schlüsse, durch weitere in unterschiedlich geschichteten geologischen Formationen durchgeführte Experimente zu stützen<sup>564</sup>:

„1. In cases where the line of movement of the wave is not far from vertical, occurring in hard crystalline and very solid rock of one sort, and having an origin at a considerable depth, the rate of wave transit will approximate nearly to that of a normal wave due to the modulus of the formation, the rate of the wave being also probably affected by the limits of the mass in which it moves.

2. That in every superficial rock formation, as being all more or less shattered and none homogeneous, and in any given extensive range several different formations intervening, the rate of transit will be found probably seldom or never to approach the preceding velocity.

3. While in discontinuous media, such as sand, gravel, diluvial clays, mud, &c., the rate of transit will be the slowest of all, although for reasons given in the former Report, the destructive effects of the wave in such materials may be greater than in any other.“

Die Resultate, die MALLET erhält, ließen sich insofern gut in diejenigen der ersten Sprengexperimente einordnen, als die Durchgangsgeschwindigkeit der Wellen von durchschnittlich 1088,559 Fuß pro sec. in verdrehten und geschichteten Felsen (contorted and stratified rock) wie erwartet zwischen den schon früher festgestellten Ge-

schwindigkeiten im Sand und festem Fels lag, so dass MALLET feststellen konnte<sup>565</sup>:

„Experiment and observation have thus alike sustained the three provisional conclusions anticipated by me as to the transit-velocities of earthquake-waves in nature (at the conclusion of 'Second Report,' &c., Report of Brit. Assoc. 1851, p. 316), in passing through formations different in character.“

Darüber hinaus lieferten ihm die Experimente in Holyhead eine wichtige Erklärungsgrundlage für die Interpretation der im Anschluss an das große Neapolitanische Erdbeben gewonnenen Daten. Denn aus den Versuchen in den ihrer geologischen Formation und Struktur nach genau bestimmten Felsarten dieser Steinbrüche ging hervor<sup>566</sup>

„... that the velocity of wave-transmission is greater in the material of these rocks in a direction of across their lamination than in one longitudinal to the same, provided or assuming the material be perfectly unshattered in both.“

### 4.5.3. Das große Neapolitanische Erdbeben

Nachdem MALLET in den Jahren 1846 bis 1854 seine grundlegenden theoretischen Abhandlungen über die Ursachen und Wirkungsweise der Erdbeben und darüber hinaus den damals umfangreichsten Erdbebenkatalog veröffentlicht hatte, gab ihm ein großes destruktives Erdbeben die Gelegenheit, seine theoretisch entwickelten Untersuchungsmethoden zur Bestimmung des Epizentrums und der Tiefe des Erdbebenherdes anzuwenden. Darüber hinaus konnte er auch seine an den Sprengexperimenten in der Killiney Bay und in den Steinbrüchen von Holyhead gewonnenen Erkenntnisse über den Weg und die Durchgangsgeschwindigkeit der Erdbebenwelle an einem natürlichen Erdbeben überprüfen und erweitern. Denn am 16. Dez. 1857 fand im damaligen Königreich von Neapel südöstlich der Stadt Neapel im Landesinnern ein großes Erdbeben statt, bei dem ganze Städte zerstört wurden und annähernd 12.000 Menschen ihr Leben verloren. Im Auftrag und mit finanzieller Unterstützung der Royal Society unternahm MALLET Anfang des darauf folgenden Jahres seine Reise nach Neapel. Von dort brach er am 10. Februar ins Landesinnere auf und verbrachte zwei nasskalte Wintermonate mit der Untersuchung der am meisten zerstörten Städte und Dörfer. Seine Ergebnisse veröffentlichte er 4 Jahre später in zwei umfangreichen Bänden mit dem Titel: Great Neapolitan Earthquake of 1857. The First Principles of Observational Seismology. – London 1862.

#### 4.5.3.1. MALLETS Methode

Über die heute umstrittene Methode, wie man Monate nach einem bereits stattgefundenen Erdbeben den Ursprung und Weg der Erdbebenwelle an ihren Wirkungen rekonstruieren kann, hat sich jedoch MALLET schon früher in der 3. Auflage seiner Abhandlung „On Earthquake Phenomena“ im Admiralty Manual of Scientific Enquiry, London 1859 geäußert. Dort geht er grundsätzlich von Beobachtungen an drei Arten von unmittelbaren Wirkungen der Erdbeben aus:

- 1) Beobachtungen an Gebäuden und anderen Gegenständen, die gespalten, von ihrer Stelle gerückt oder umgeworfen wurden.
- 2) An Körpern, welche gebogen, weggeschleudert, entfernt oder umgekehrt wurden.
- 3) An Körpern, die um ihre vertikale Achse gedreht und dabei mehr oder weniger verschoben wurden.

<sup>563</sup>) MALLET R.: a.a.O. S. 316 f.

<sup>564</sup>) MALLET R.: a.a.O. S. 316.

<sup>565</sup>) MALLET, R.: Report 1861, S. 220.

<sup>566</sup>) MALLET, R.: a.a.O. S. 234.

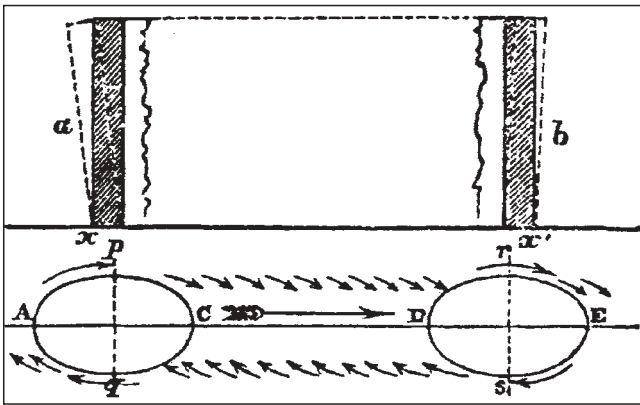


Abb. 89.  
Vertikale Risse, hervorgerufen durch einen fast horizontalen Stoß (MALLET, 1862).

Von Gebäuden, deren Grundriss rechteckig und deren Mauerwerk ziemlich fest ist, die möglichst nur aus einem einzigen Stockwerk bestehen und deren Hauptmauern von Norden nach Süden und von Osten nach Westen verlaufen, kann man nach MALLET die wertvollsten Daten erhalten. Er nennt sie deshalb „Cardinal-Gebäude“. An der Richtung und Ausdehnung der Risse kann man entsprechend seiner Theorie der longitudinalen Kompressionswelle die Richtung und Stärke der Stöße erkennen: Die Richtung der Risse (cracks) ist nahezu vertikal, wenn die Stöße fast horizontal sind.

Stöße, die unter einem stumpfen Winkel die Erdoberfläche treffen, bringen stark geneigte und einander oft kreuzende Risse hervor. Gebäude, die fast senkrecht über dem Erschütterungsmittelpunkt stehen zeigen Dislokationen in jeder Richtung, da sie einerseits von dem vertikalen

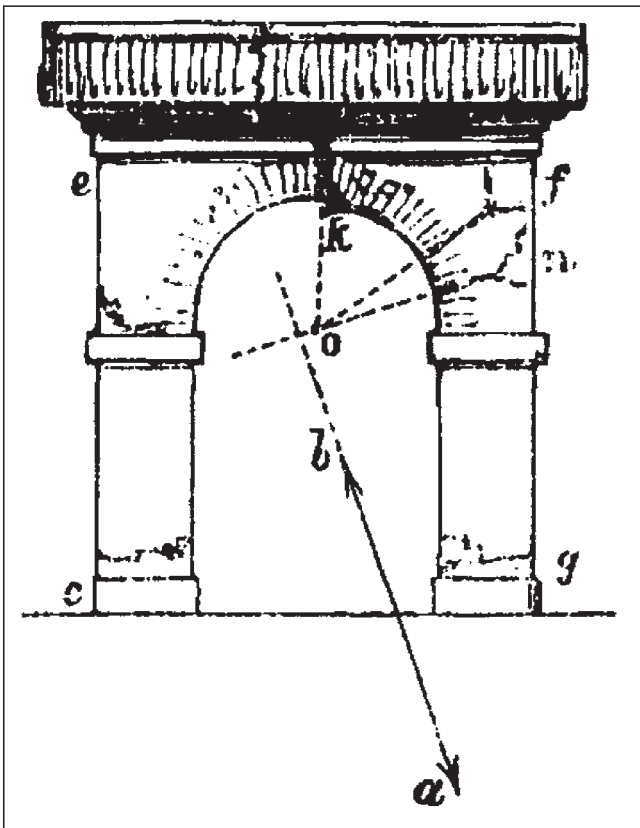


Abb. 90.  
Risse an Dächern und Gewölben durch steil ansteigende Stoßwellen (MALLET, 1862).

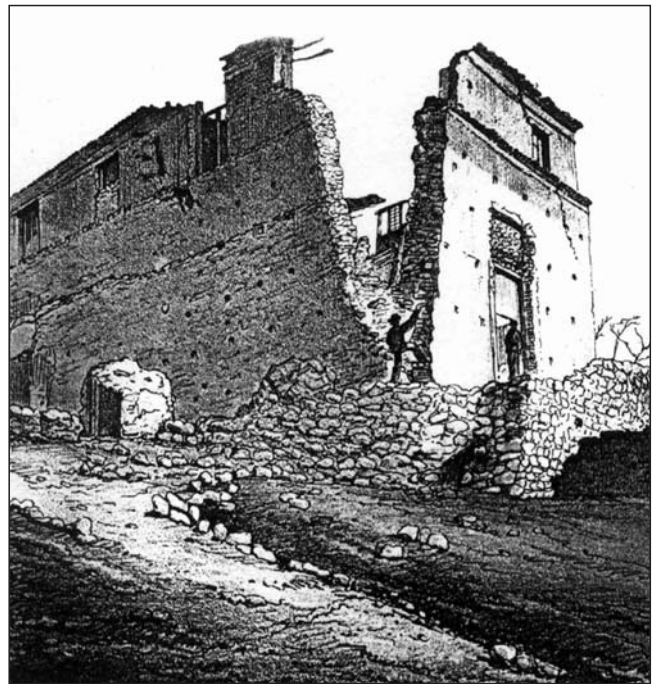


Abb. 91.  
Die zerstörende Wirkung eines diagonalen Stoßes an der Kathedrale von Paterno (MALLET, 1862).

Anprall der longitudinalen „Normal-Schwingung“ und andererseits von den nahezu horizontalen Bewegungen der zwei Transversal-Schwingungen in rechtwinkliger Ebene getroffen werden. Steil ansteigende Stoßwellen lassen sich auch an den Schäden an den schweren Dächern und gewölbten Vorhäusern (arched floors) erkennen. Cardinalgebäude werden von Stößen, deren horizontale Komponente entweder Nord-Süd oder Ost-West ist, hauptsächlich in der Nähe der Ecken gespalten. Wenn jedoch die Richtung des Stoßes diagonal zum Grundriss der Mauern ist, dann wird eine dreieckige Masse vom oberen Teil der Mauern, von deren Ecke die Welle kommt, abgetrennt, wie das vielfach abgebildete Beispiel der Kathedrale von Paterno zeigt.

Das später vielkritisierete geometrische Verfahren, aus der nachträglichen Registrierung der Gebäudeschäden die Stoßrichtung zu ermitteln, wird von MALLET an folgender Grundfigur (Abb. 92) erläutert<sup>567</sup>.

„Join  $m q$ , then because the mass of matter dislodged in each wall is proportionate to the force acting in the direction of its plane, or to  $q e$  and  $m e$ , draw  $t o$  and  $s o$  proportionate to these, cutting  $m q$  in  $o$ ; and draw  $d' b'$  through  $o e$ . This is the path of an abnormal wave, corresponding to the subabnormal sought; and the path of the latter will be found in a vertical plane passing through  $a' b'$ . Join  $o p$ , which is in the same vertical plane, and also in the plane of the fissures or fractures,  $m p$ ,  $q p$ , and through the point of the quoin  $e$  intersecting  $a' b'$ , draw  $a b$  perpendicular to  $o p$ ;  $a b$  is then the path of the subabnormal wave, emergent in the direction  $a$  to  $b$ . This is tantamount to finding the resultant of all the parallel forces that resisted fracture, and of course assumes, that the masonry fractures equally readily everywhere.“

Bei den umgefallenen oder weggeschleuderten Körpern muss der Beobachter immer daran denken, dass alle diese Bewegungen in der Trägheit der Körper im Moment des Wellendurchgangs ihren Grund haben. Jeder Körper hat

<sup>567</sup> MALLET, R.: Great Neapolitan Earthquake of 1857. The First Principles of Observational Seismology. – Bd. 1, S. 67 f., London 1862.

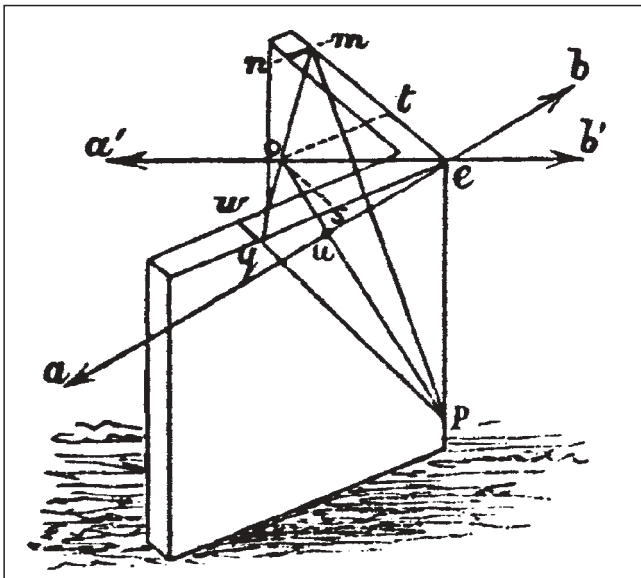


Abb. 92.  
MALLETS Methode zur Ermittlung der Stoßrichtung aus der nachträglichen Registrierung der Gebäudeschäden (MALLET, 1862).

daher zuerst das Bestreben, in die der Wellenbewegung entgegengesetzte Richtung zu fallen. Trifft die Stoßwelle den Horizont unter einem stumpfen Winkel, dann werden Körper, wie z.B. Steine vom Kranzgesimse (cordon) oder Glocken aus den Glockentürmen oder Statuen, Vasen und Kugeln von erhöhten Punkten an Gebäuden herabgeschleudert und erreichen den Boden, indem sie eine trajektorische Bahn beschreiben (Abb. 93).

Eiserne Kreuze oder eiserne Laternenpfähle, die durch einen Erdbebenstoß gebogen wurden, liefern ebenfalls wertvolle Daten über die Richtung und Stärke des Erdbebenstoßes und können auch Elemente zur Berechnung der Geschwindigkeit der Erdbebenwelle zur Verfügung stellen. Das Gleiche gilt von den um ihre vertikale Achse verdrehten Körpern, wie die kalabrischen Obelisken, so dass der Beobachter, der die mechanischen Bedingungen dieser Bewegung im Sinne MALLETS auffasst, ebenfalls solche Bewegungserscheinungen zur Berechnung der Geschwindigkeit, Richtung etc. der Welle benutzen kann.

Alle diese Berechnungen aus den nachträglich an den Zerstörungen und Veränderungen nach dem schon stattgefundenen Erdbeben gewonnenen Daten gehen von der Grundidee MALLETS aus, dass die eigentliche zerstörerische

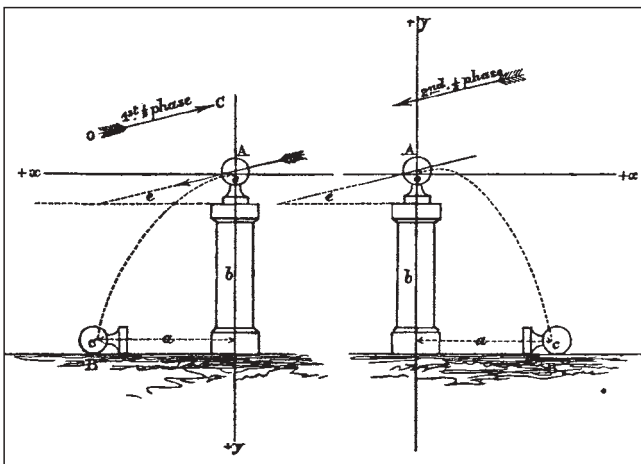


Abb. 93.  
Trajektorische Bahn eines durch die Stoßwelle herabgeworfenen Körpers (MALLET, 1862).

Welle eine longitudinale Kompressionswelle ist, die MALLET, die „Normal-Welle“ nennt. Er nimmt zwar, wie bereits an seinem Diagramm (Abb. 74) ersichtlich ist, auch zwei transversale Wellen an, die in entgegengesetzter Richtung schräg vom Zentrum weg zur Erdoberfläche laufen, hält sie aber fälschlicherweise in ihrer Wirkung für äußerst gering. Die umwerfende Kraft (overthrowing power), die zu den vernichtenden Zerstörungen von Gebäuden führt, stammt nach seiner Meinung nur von der großen Kompressionswelle, die – wenn sie in schrägem Emergenzwinkel die Erdoberfläche erreicht – eine wirkliche Undulation erzeugt. Ihre zerstörerische Wirkung ist in jenem Kreis am größten, in dem sie im Unterschied zu jenem Punkt an der Erdoberfläche, der senkrecht über dem unterirdischen Herd liegt, bereits in schrägem Emergenzwinkel aber mit einem noch sehr hohen Wellenkamm, dessen Höhe mit der Entfernung vom Zentrum abnimmt, an die Oberfläche austritt. Diese Zone der stärksten Zerstörungen nennt MALLET „meizoseismische Linie“, die anderen Zonen mit gleichem geringerem Zerstörungsgrad nennt er nun nicht mehr wie früher „cotidal lines“ oder „coseismische Linien“, sondern sprachlich korrekter „isoseismische Linien“.

#### 4.5.3.2. Die Bestimmung des Punktes an der Oberfläche vertikal über dem Herd

Als Hauptaufgabe seiner Untersuchung sah MALLET die Bestimmung des später sogenannten Epizentrums, das er selbst „den Punkt an der Oberfläche, vertikal über dem Herd“ (the point on the surface vertically above the focus) nennt. MALLET war zwar nicht der Erste, der darüber nachgedacht hat, wie man aus der Richtung des Erdbebenstoßes das Epizentrum errechnen kann. Er hatte sowohl in John MICHELL (1760) einen Vorläufer als auch in David MILNE, der das Epizentrum des Erdbebens von Comrie aus den Daten feststellen wollte, die er von seinem Seismometer, einem umgekehrten Pendel (inverted pendulum) bekam. Unabhängig von MALLET hatte auch W. HOPKINS bereits 1847 die im Wesentlichen gleiche Methode zur Lokalisierung des Epizentrums angegeben. Aber es ist, wie schon DAVISON (S. 75) bemerkte, etwas anderes, eine Methode vorzuschlagen oder sie anzuwenden.

Wie schwierig diese Anwendung in der Realität ist, hat MALLET selbst erst anlässlich seiner Untersuchung des Neapolitanischen Erdbebens feststellen müssen<sup>568</sup>:

„When the observer, first enters upon one of those earthquake-shaken towns, he finds himself in the midst of utter confusion. The eye is bewildered by 'a city become an heap.' He wanders over masses of dislocated stone and mortar. Houses seem to have been precipitated to the ground in every direction of azimuth. There seems no governing law, nor any indication of a prevailing direction of overturning force. It is only by first gaining some commanding point, whence a general view over the whole field of ruin can be had, and observing its places of greatest and least destruction, and then by patient examination, compass in hand, of many details of overthrow, house by house and street by street, analysing each detail and comparing the results, as to the direction of force, that must have produced each particular fall, with those previously observed and compared that we at length perceive, once for all, that this apparent confusion is but superficial.“

In den zwei Monaten, die MALLET hauptsächlich in der meizoseismischen Zone verbrachte, machte er zur Bestimmung des Epizentrums 177 Beobachtungen an 78 Orten.

<sup>568</sup> MALLET, R.: Neap. earthquake of 1857. – Bd. 1, S. 35 f.

Vgl. DAVISON a.a.O S. 76.

<sup>569</sup> MALLET, R.: Neap. earthquake of 1857, Bd. 2, S. 244.

Obwohl, wie MALLET betont, im Prinzip nur zwei Bestimmungen des Wellenganges nötig sind, aus deren Schnittpunkt sich dann das Epizentrum oder der Oberflächenmittelpunkt ergibt, kann MALLET 8 Paare von Wellenzügen aus den Gebäudebeschädigungen rekonstruieren, die sich alle von einem gemeinsamen Punkt oder innerhalb von 500 Yards um ihn herum kreuzen. Deswegen kann er mit großer Überzeugung sagen<sup>569)</sup>:

*„If therefore, we were to put out of view all the others, the evidence from these alone is irresistible, that we have obtained the real position, of the place upon the earth's surface, vertically above that one beneath, whence the shock emanated.“*

Die Stoßlinien oder Wellenzüge von 32 weiteren Orten fallen innerhalb eines konzentrischen Kreises, der um diesen Punkt mit einer geographischen Meile als Radius gezogen werden kann, 16 andere innerhalb eines Radius von 2<sup>1</sup>/<sub>2</sub> geographischen Meilen und 12 weitere fallen innerhalb eines Kreises mit dem Radius von 5 Meilen.

Den Grund für diese Divergenzen, die sich bei diesen weiteren Bestimmungen der Wellenwege ergeben haben, sieht MALLET darin, dass das Zentrum des Impulses in der Natur nicht ein mathematischer Punkt ist, sondern eine unterirdische Region mit einer oft sehr großen Ausdehnung. Daher starten auch die einzelnen Wellenzüge an unterschiedlichen Punkten dieses Herdes und können sich auch deshalb, wenn sie berechnet werden, niemals in einem mathematischen Punkt schneiden, vielmehr geben ihre Divergenzen die horizontale Dimension des Erdbebenherdes an, welche Gestalt er auch haben mag<sup>570)</sup>:

*„The amount of divergence of the wavepaths grouped round the seismic vertical, from a common emanation of impulse therefrom, is therefore mainly due to the size and form of the focal cavity, and hence the diameter of the focal circle that equals such divergence, becomes an approximate measure of the horizontal dimensions of the focal cavity itself, whether it be, a rent, or suddenly blown out chamber, or whatever else.“*

Als Grundlage für seine geographischen Eintragungen benützte MALLET die in Mercator-Projektion und mit einer Einteilung in geographischen Meilen versehene und wegen ihrer Größe sehr genaue Karte von Italien, die in den Jahren 1809 bis 1812 von ZANNONI hergestellt worden ist. Auf Grund der sorgfältigen Eintragung aller seiner Beobachtungen und Berechnungen kommt er zu folgendem Ergebnis über die geographische Lage des Epizentrums des großen Neapolitanischen Erdbebens<sup>571)</sup>:

*„We have thus ascertained, the point of the surface vertically above the seismic focus, which we find to pass nearly through Caggiano, a village 58 geographical miles east of Naples, and 16 <sup>1</sup>/<sub>2</sub> geographical miles south of it.“*

#### 4.5.3.3. Die Bestimmung des Erdbebenherdes (Tiefe, Gestalt, Temperatur)

Nachdem MALLET auf diese Weise zur Bestimmung jenes Punktes gekommen ist, an dem die seismische Vertikale die Erdoberfläche trifft, kann er diese Feststellung zur Berechnung der Herdtiefe benützen. Denn bei Kenntnis der Distanzen von irgend einer Station auf der Erdoberfläche zur seismischen Vertikale lässt sich nach MALLET mit Hilfe eines einzigen Emergenzwinkels einer Wellenbewegung die Tiefe des Herdes nach folgender Formel bestimmen:

$$d = \frac{r \cdot \sin e}{\cos e}$$

wobei  $r$  die Distanz zwischen der seismischen Vertikale und der jeweiligen Beobachtungsstation ist und  $e$  den Emergenzwinkel darstellt, in dem die Kompressionswelle an dieser Stelle an der Erdoberfläche austritt.

Zur Bestimmung der Herdtiefe des Neapolitanischen Erdbebens verwendet aber MALLET insgesamt 26 Emergenzwinkel innerhalb einer Distanz von 35 Seemeilen vom Epizentrum bei Caggiano entfernt. Die Herdtiefen, die MALLET nach der angegebenen Formel berechnet, sind jedoch sehr divergierend. Sie reichen von einer maximalen Tiefe von 8,125 Seemeilen (9,3 Meilen = 49.359 Fuß = 15.073 Meter) bis zur minimalsten Tiefe von 2,75 Seemeilen (3,2 Meilen = 16.705 Fuß = 5.092 Meter).

18 von diesen nehmen auf der seismischen Vertikalen einen Abschnitt von 12.000 Fuß (2,3 Meilen = 3.657 m) ein und haben eine mittlere Tiefe von 5,75 geographischen (See)Meilen (= 6,6 Meilen = 34.930 Fuß = 10.650 Meter). Aus der dichten Häufung jener Punkte auf der seismischen Vertikalen schließt MALLET, dass die wahrscheinliche vertikale Erstreckung der Höhle des Erdbebenherdes (focal cavity) nicht größer als 3 Seemeilen oder 18.225 Fuß (= 5.554 m) sein kann. Auf Grund der Gestalt der meioseismischen Linie und den beinahe parallelen Emergenzwinkeln von mehr als 2 Seemeilen entfernten Orten wie Saponara und Tramutola nimmt MALLET weiterhin eine horizontale Erstreckung der Höhle des Erdbebenherdes über 9 Seemeilen in Richtung Südwesten an. Außerdem glaubt er auch wegen der beobachteten Emergenzwinkel der nordöstlich gelegenen Orte wie Salvitello, Auletta, Villa Caruso etc., dass der vertikale Durchschnitt durch die Höhlung des Erdbebenherdes mehr oder weniger gekrümmt oder gegen die Vertikale geneigt sein muss, wobei die Dicke dieser Höhlung eher gering anzunehmen ist, so dass die Gestalt des Erdbebenherdes als eine langgestreckte lamellenförmige Spalte anzusehen ist<sup>572)</sup>:

*„We therefore finally come to this conclusion, that the focal cavity, when at its full dimensions, was a curved fissure, whose height was three geographical miles, and length along its curve of contrary flexure was nine geographical miles, while its thickness, or third dimension, between wall and wall, was probably very small, but is uncertain.“*

Über die Frage, auf welche Art und Weise diese Spalte zustande gekommen ist, will zwar MALLET kein Urteil abgeben, aber aus den dem Hauptstoß vorausgehenden Zitterbewegungen geht hervor, dass es sich dabei um ein Zerreißen (rending) gehandelt hat, was immer auch die Ursache war<sup>573)</sup>.

*„Whether this were previously an open cavity, which becoming suddenly surcharged with dense steam, had its lateral dimensions suddenly enlarged, and by the impulse of which the wave of shock was generated; or whether a fissure was thus widely rent, where there was nothing before, but perhaps some cavity, at this mean depth and mean central point, which became extended under pressure, along the plane of greatest weakness, in the surrounding formations.“*

Wenn man von der verbreiteten Lehre über das Anwachsen der Temperatur unter der Erde ausgeht, nach der 1° Fahr. für je 60 Fuß Tiefe angenommen werden muss, so ergibt sich für die mittlere Tiefe des Erdbebenherdes eine Temperatur von 582° Fahr. Nach den Experimenten von BONTIGNY und anderen findet am raschesten die Produktion von Dampf, die in einer Höhlung des Herdes möglich ist, bei einer Temperatur von 500°–550° Fahr. statt. Daher liegt für MALLET der Schluss nahe, dass die primäre Ursache des Neapolitanischen Erdbebens ein explosionsarti-

<sup>570)</sup> MALLET, R.: a.a.O. S. 246.

<sup>571)</sup> MALLET, R.: a.a.O. S. 247.

<sup>572)</sup> MALLET, R.: a.a.O. S. 306.

<sup>573)</sup> MALLET, R.: a.a.O. S. 306 f.

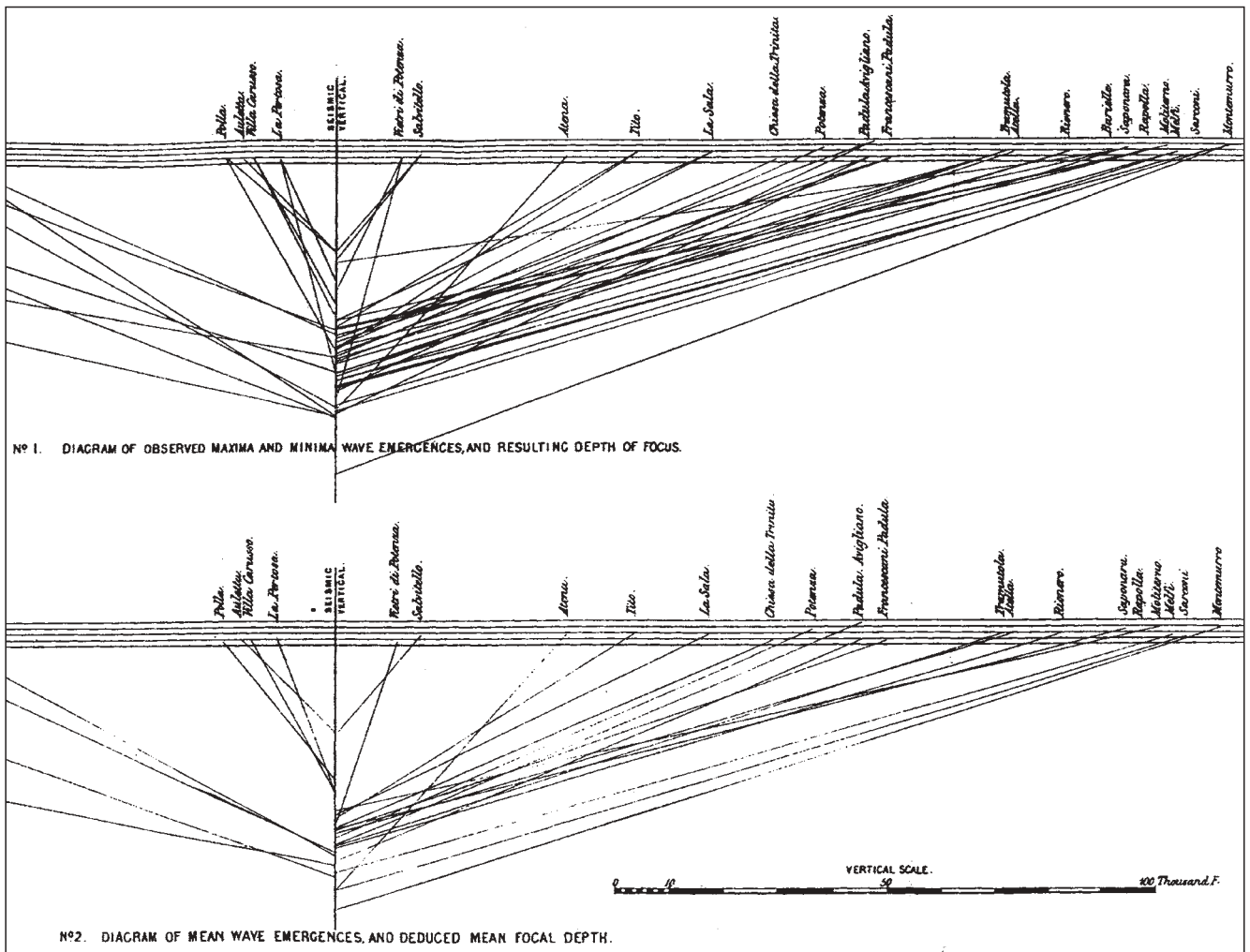


Abb. 94.  
Bestimmung des Erdbebenherdes des Neapolitanischen Erdbebens durch MALLET (1862).

ges Zerreißen einer unter hohem Dampfdruck stehenden Spalte war.

Auch über die Zeit des Zerreißens glaubt MALLET eine sehr genaue Angabe liefern zu können<sup>574)</sup>:

*„The time of rending, then, would have been 7 seconds, and this would be the least period of time, during which the tremulous movements would be felt, previous to the arrival of the great shock, supposing the latter generated, at the moment the fissure attained its full dimensions.“*

Sein enthusiastisches Vertrauen, auf diese Weise einen Weg zum wahren Verständnis „der nicht sichtbaren und nicht messbaren Meilen von Erdmassen unter unseren Füßen“ („the viewless and unmeasured miles of matter beneath our feet“) gefunden zu haben, wurde jedoch wegen der unzureichenden ausschließlich auf Gebäudebeschädigungen basierenden Methode sehr bald in Zweifel gezogen. So weist bereits GÜNTHER in seinem 1897 erschienenen Handbuch der Geophysik auf eine mathematisch genau begründete Arbeit von STAPFF über die MALLETsche Methode der Bestimmung des Erdbebenzentrums“ hin<sup>575)</sup>, in der gezeigt wird, dass im Innern des erschütterten Körpers, wie z.B. einer Hauswand, sich entsprechend dem jeweiligen Material des Mauerwerkes eine natürliche Ablösefläche herausbildet, die zu Spalten führt,

welche keineswegs immer zur Druckrichtung senkrecht stehen müssen, wie MALLET behauptet.

Auch die aus der Öffnung der Mauerrisse von MALLET berechnete Amplitude der Erdbebenwelle von 2,5 bis 4,75 Inches muss als äußerst zweifelhaft angesehen werden. Während die ebenfalls von MALLET berechnete mittlere Oberflächengeschwindigkeit der Erdbebenwelle einen viel zu geringen Wert von 788 Fuß in der Sekunde ergab, worauf, wie noch gezeigt wird, schon v. SEEBACH hingewiesen hat, war dagegen der von MALLET angegebene Wert für die Geschwindigkeit der Wellenpartikel, der zwischen 9,8 und 21,2 Fuß in einer Sekunde lag, viel zu hoch. Kombiniert man die mittlere Geschwindigkeit der Wellenpartikel von 145 Fuß mit der damit schwer zu vereinbarenden Amplitude von 4 Zoll, dann erhält man eine verdächtig hohe Frequenz von 5 Zyklen in einer Sekunde, die zu einem unmöglich hohen Wert der Bodenbeschleunigung von 13 g führt, wie DAVISON und andere bereits berechnet haben<sup>576)</sup>.

Für MALLET erhebt sich an dieser Stelle seiner Überlegungen die Frage, wie groß die größtmögliche Geschwindigkeit eines Erdbebenstoßes sein kann, der sich irgendwann einmal ereignet hat oder sich ereignen kann.

Obwohl MALLET sonst, wo immer es ihm möglich ist, HUMBOLDT kritisiert, beruft er sich in diesem Fall auf dessen große Autorität, um eine extrem vulkanistische Auffassung der Erdbeben wiederum durch die bereits erwähnte, aber unglaublich klingende Geschichte des Emporwerfens

<sup>574)</sup> MALLET, R.: a.a.O. S. 307.

<sup>575)</sup> GÜNTHER, S.: Handbuch der Geophysik. 1. Band. – S. 474, Stuttgart 1897.

<sup>576)</sup> Vgl. DAVISON, Ch.: Earthquake, Nature and Observation, S. 36.

der Leichen aus ihren Gräbern beim großen Erdbeben von Riobamba zu stützen<sup>577)</sup>:

*„We have, curiously enough, one fact recorded on no less authority than that of Humboldt, which enables us to answer this in part. In the great earthquake of Riobamba, 4th February, 1797, 'The explosive movement,' he says (Humboldt, Voy.tom.i. p. 317, and Cosmos), was such, as is produced by the firing of a mine, and the vertical action from below upwards, was most conspicuously displayed near the town of Riobamba, which was totally destroyed, when the bodies of many of the inhabitants were thrown upon the hill of La Culla, which rises to the height of several hundred feet at the other side of the Lican torrent.“*

Bei einer geschätzten Wurfhöhe von 100 Fuß ergibt dies eine Geschwindigkeit von 80 Fuß in einer Sekunde, also einen Wert der 5-mal größer ist als der beim Neapolitanischen Erdbeben. Da diese große explosive Kraft und Schnelligkeit der vom Erdbebenherd direkt durch die Erdkruste gehenden Welle im Vergleich zur langsamen horizontalen Geschwindigkeit von 3 oder 4 Fuß in der Sekunde Überraschung und Zweifel auslösen könnte, versucht MALLET seine Berechnungen dem mathematisch nicht gebildeten Leser auf folgende Weise anschaulich näher zu bringen<sup>578)</sup>:

*„It may enable the unmathematical reader, therefore, better to estimate tactilely, the effects of a low velocity, to state, that the shock that such a velocity as that of this earth-*

*quake wave would communicate to him, if he were standing upon a solid floor, and the wave-path were vertically upwards, would feel the same, as if he had jumped down upon the floor from a height of 3feet, alighting upon his heels and with his knees stiffened.“*

#### 4.5.3.4. Die Konstruktion der isoseismischen Linien des Neapolitanischen Erdbebens

Wie groß auch diese kritischen Einschränkungen der Leistungen MALLETS in der Darstellung des Neapolitanischen Erdbebens auch sein mögen, die Konstruktion der isoseismischen Linien markiert eine neue Epoche in der Entwicklung der Seismologie. Er war zwar, wie bereits DAVISON bemerkt hat, nicht der Erste, der solche Linien unterschiedlicher Intensitätsgrade auf einer Landkarte abgebildet hat. Ihm voraus gingen NÖGGERATH mit seiner freilich noch sehr groben Darstellung einer isoseismischen Linie, welche die wahrscheinliche Form des Störungsgebietes des Rheinischen Erdbebens vom Jahre 1846 darstellt, und VOLGER mit der schon wesentlich genaueren Abbildung von 3 isoseismischen Linien des Walliser Erdbebens vom Jahre 1855. MALLETS Darstellung des Störungsgebietes des Neapolitanischen Erdbebens übertrifft jedoch an Genauigkeit der Beobachtung alles bisher Dagewesene (Abb. 95).

Wie er selbst ausführte, teilte er zunächst das gesamte Gebiet, indem auf irgend eine Weise die Erschütterung

577) MALLET, R.: a.a.O. S. 340.

578) MALLET, R.: a.a.O. S. 346.

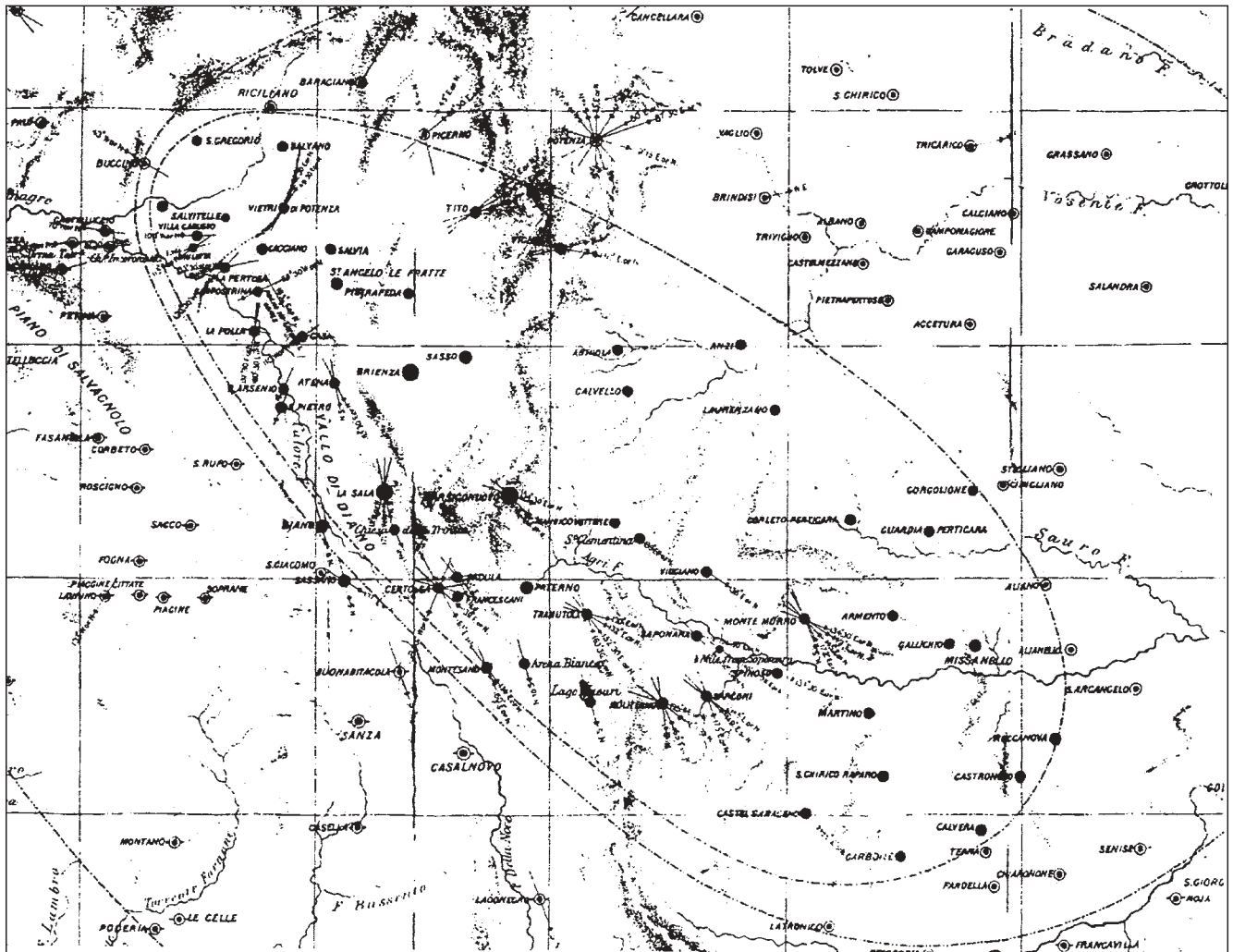


Abb. 95. Ausschnitt aus MALLETS Darstellung des Störungsgebietes des Neapolitanischen Erdbebens (1862).

wahrgenommen worden ist, in fünf mehr oder weniger konzentrische Kreise, die auf der im Besitz der Royal Society befindlichen Originalkarte durch unterschiedliche Farben, in der gedruckten Version durch unterschiedliche Markierungen gekennzeichnet sind<sup>579</sup>).

<i>Isoseismical Area</i>	<i>Area in Geographical Square Miles</i>
1. <i>Meizoseismal (orange) area; that of general total destruction of edifices and great loss of life.</i>	716
2. <i>First isoseismal (red) area; that of great prostration of edifices and loss of life.</i>	1.685
3. <i>Second isoseismal (blue) area; that of partial prostration and of universal fissuring of edifices, with partial or with no loss of life.</i>	4.976
4. <i>Third isoseismal (yellow) area; within which the shock was distinctly perceived by the unassisted senses, and produced more or less alarm; and more or less fissuring and damage, towards the parts nearest the preceding isoseismal line.</i>	29.500
5. <i>Fourth isoseismal (lilac) area; the area of which is unknown, and only partially marked, to the northward; being that within which the shock could have been easily perceived by instrumental disturbance.</i>	Area uncertain

#### 4.5.3.5. Die Anwendung der Wellentheorie auf die Form der Isoseismen des Erdbebens

Ausgehend von seinen frühesten Überlegungen in seiner Arbeit „Dynamik der Erdbeben“ über die kreisförmige Gestalt der an der Erdoberfläche austretenden longitudinalen Kugelwelle trifft er auch in seiner Monographie über das Neapolitanische Erdbeben zunächst die grundlegende Feststellung<sup>580</sup>

„... that the forms of the isoseismal curves, indicate truly to the eye the relative distances in all directions around the seismic vertical, to which the same degree of overthrowing force, has extended horizontally.“

Ebenso wie HOPKINS nimmt er jedoch folgende Vereinfachung an<sup>581</sup>:

„If the impulse were the same, in all horizontal or emergent directions, and the earth were perfectly homogeneous, all radii for equal overthrow must be equal, and the isoseismal curves must all be circles. If the impulse be the same in all directions, but these curves be found, ellipses or ovals, then the longer radii indicate the directions, in which the conditions of the medium (the earth), have permitted it to transmit the wave furthest, with least loss.“

Da jedoch MALLET selbst weiß, dass diese idealisierten Bedingungen bei keinem natürlichen Erdbeben realisiert sind, fügt er noch folgende wichtige Bemerkung hinzu<sup>582</sup>:

„If the impulse be greater, towards one or both opposite directions in some given azimuth, then even in an homogeneous medium, the isoseismals must be elliptic; and if both conditions concur – i. e., preponderance of original impulse in one direction, and heterogeneity of medium, – then from both causes the curves will become distorted; and although still closed curves, and of the elliptic order, they may assume almost any form“.

Zu der Inhomogenität des Erdinnern selbst kommen noch die unterschiedlichen Bedingungen hinzu, die sich aus der Beschaffenheit der Erdoberfläche ergeben und

einen großen Einfluss auf die Weite des Fortpflanzung der zerstörerischen Oberflächenwellen haben<sup>583</sup>:

„The conditions in nature that are most effective and frequent in modifying the distance of transmission of the wave, in formations of the same, or nearly the same materials, are

1st. The existence of continuous mountain chains, and their direction with regard to the position of the seismic vertical, or origin of impulse.

2nd. The occurrence of great faults, or lines of dislocation, whether parallel or transverse, to the great chains, filled with loose, or with heterogeneous material, and their direction with regard to the origin, &c., as before.

3rd. The existence of deep and continuous valleys, narrow in character, and with precipitous flanks, and their direction with regard to the origin, &c.

4th. The great prevailing positions, of the stratification and bedding of the formations, of the shaken country, whether highly inclined, with generally parallel anticlinals, or with these in many different azimuths; or with prevailing horizontal, or gently inclined stratification, extending over great areas.

Wie bereits HUMBOLDT in Bezug auf die Erdbeben Nordasiens bemerkt hat (und, wie man hinzufügen muss, KANT anlässlich des Erdbebens in Lissabon) folgt die Ausbreitung der Erdbeben dem Lauf eines großen Flusses. Für dieses Faktum liefert jedoch HUMBOLDT nach MALLETS Auffassung keine Erklärung. Zwischen dem Lauf eines Flusses und der Ausbreitungsrichtung der Erdbeben gibt es nach MALLET keinen direkten Zusammenhang. Der Grund liegt vielmehr darin<sup>584</sup>

„... that the river marks the direction of the great continuous chains, and of the direction also, in which the valley formations are least broken and discontinuous, namely, parallel to the alignment of the flanking chains ...“

Als experimentelle Verifikation dieser Auffassung verweist MALLET auf die bereits erwähnten Sprengexperimente im geschichteten und gespaltenen Fels von Holyhead<sup>585</sup>:

„The author has since shown, by experiments for the determination of the elastic modulus of the stratified and laminated rocks of Holyhead (North Wales), that although waves of impulse are best transmitted as above stated, ‘end on’ or edgeways, through stratified formations in mass, they are best transmitted transversely through the lamination of solid portions of the same rock, i. e. the elasticity of the material is greatest in the latter direction, but the amount of discontinuity between the different beds more than neutralizes this, when the wave-path is transverse or oblique to both stratification and lamination. See Proc. Roy. Soc. 1862.“

Erfolgt jedoch die Ausbreitung des Erdbebens nicht in der Richtung der Bergkette, sondern erfolgt sie vom Berg zum Tal und umgekehrt, dann durchläuft die Welle kontinuierlich eine geologische Formation nach der anderen und wird deshalb ihre „vis viva“ an der Verbindungsstelle der geologischen Formation verlieren. Auf welcher Weise die Welle gebrochen und reflektiert werden kann, wenn diese transversal durch verschiedene geologische Schichten mit unterschiedlicher Dichte, Härte und Elastizität hindurchläuft, illustriert MALLET mit Abb. 96 und stellt dazu fest<sup>586</sup>:

„The general tendency being, at each parallel range to depress the wave-path, and reduce the apparent angle of emergence, the wave losing by partial reflection at every such change of direction.“

579) MALLET, R.: a.a.O. S. 255 ff.

580) MALLET, R.: a.a.O. S. 258.

581) Ebenda.

582) Ebenda.

583) MALLET, R.: a.a.O. S. 259 f.

584) MALLET, R.: a.a.O. S. 261.

585) Ebenda.

586) MALLET, R.: a.a.O. S. 262.

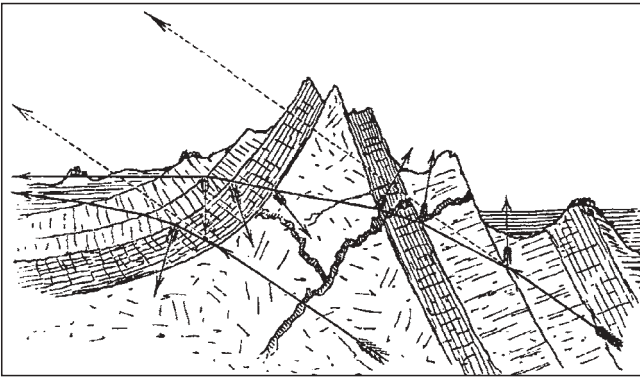


Abb. 96. Brechung und Reflexion einer Erdbebenwelle beim Durchgang durch unterschiedliche geologische Schichten (MALLET, 1862).

Ein weiterer typischer Fall, der sich auf die beim Neapolitanischen Erdbeben vielfach beobachtbare Abschwächung der Kraft der Oberflächenwelle bezieht, ist der Durchgang dieser Welle quer durch ein tiefes Tal<sup>587)</sup>:

„Lastly, deep and continuous valleys with precipitous sides, cut off and extinguish the wave at their free lying surfaces, upon which the wave-path passes off into free space at their emergent flanks. In this case the portion of the wave that passes on, beneath the bottom of the valley between, and through the lateral flanking range beyond, lies so deep, that its path is not emergent to the surface beyond, until after a distance horizontally, so great, that the energy of the wave is almost expended, or greatly reduced. This will be understood from Fig. 97; almost the whole of the wave emergent in the direction a b, above the level of c d, is extinguished at the free lying surface f r; but the portion that passes on, below the level of c d, is not emergent at the surface until it has passed through the long distance to e, when its force has become decayed. In such a case, a city at t, may be unconscious of anything, but perhaps some tremors, emergent in nearly vertical directions, while another city, a very few miles off, at k, may have been totally destroyed, by a shock nearly horizontal in direction.“

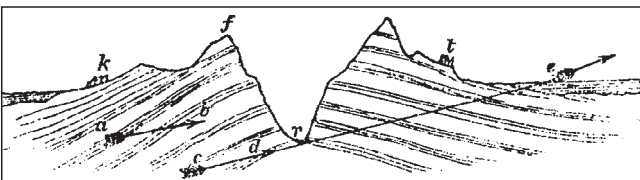


Abb. 97. Abschwächung der Erdbebenwelle beim Durchgang durch ein tiefes Tal (MALLET, 1862).

Dass der Herd des Neapolitanischen Erdbebens keine punktförmige Gestalt besitzt, hat MALLET bereits bei der Bestimmung der Herdtiefe mit Hilfe der Emergenzwinkel angenommen. Die unterschiedlichen Schnittpunkte der Stoßlinien mit der seismischen Vertikale hatten ihn zur Ansicht geführt, dass es sich dabei um eine beträchtliche vertikale Erstreckung handeln muss. Zur theoretischen Erklärung der extrem elliptischen Form des meizoseismischen Areals und der darauf folgenden ersten isoseismischen Linie liefert MALLET zwei unterschiedliche Argumente: einerseits die zur Vertikalen stark geneigte Lage der lamellenförmigen langgestreckten Spalte des Erdbebenherdes und andererseits die unterschiedliche Bodenbeschaffenheit auf beiden Seiten der Spalte, deren Effekt er durch folgendes Gedankenexperiment demonstriert<sup>588)</sup>:

„If two large blocks – one of marble, and the other of caoutchouc – be laid in mutual contact; and in a cavity, formed equally, in the centre of the plane of contact of both materials, a small charge of gunpowder be exploded, its impulse will be almost entirely expended, in propagating a wave of movement through the india-rubber, the range of movement in which, will be far greater, than in the marble, although the rate of its propagation may be slower; but a loose body, laid upon the upper surface of either block, will be disturbed by the shock transmitted at a far greater distance, upon the caoutchouc, than upon the marble, &c., &c.“

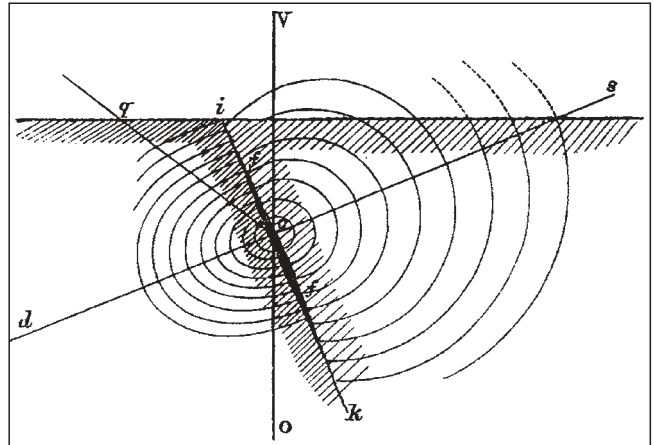


Abb. 98. Gedankenexperiment zur Demonstration der unterschiedlichen Ausbreitung der Wellenbewegung in Marmor und Kautschuk.

Betrachtet man nun konkret die Bodenbeschaffenheit und Struktur der Erdoberfläche in dem meizoseismischen Areal des Neapolitanischen Erdbebens, so sieht man, dass es im Nordwesten von der Bergkette des Apennin begrenzt wird und die seismische Vertikale wie im Brennpunkt eines durch dieses Gebirge gebildeten Amphitheaters liegt, das wie ein riesengroßer elliptischer Reflektor den Impuls nach Südwesten zurückwirft.

Alle diese Erklärungen MALLETS beruhen jedoch auf der Annahme eines zwar nicht punktförmigen aber doch explosiven Erdbebenherdes, dessen longitudinale Kompressionswelle, die eigentlichen zerstörenden Wirkungen hervorgerufen haben soll, während er die transversalen Wellen für unbedeutend und vernachlässigbar hielt. Deshalb

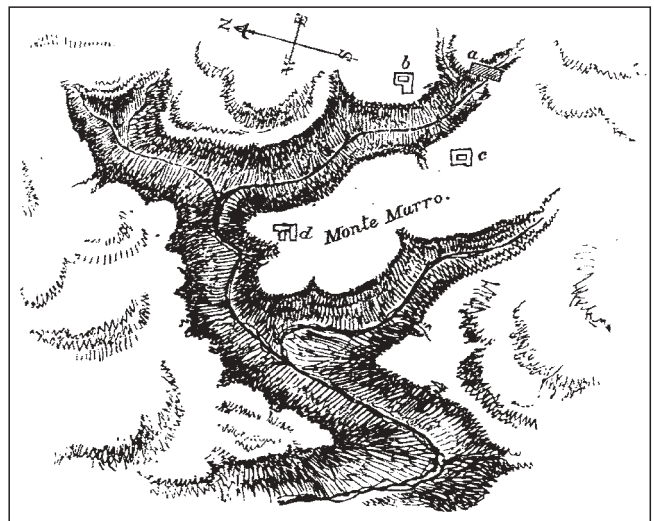


Abb. 99. Plan von Montemurro in der meizoseismischen Zone des Neapolitanischen Erdbebens vom Jahre 1857 (MALLET, 1862).

<sup>587)</sup> MALLET, R.: a.a.O. S. 265 f.

<sup>588)</sup> MALLET, R.: a.a.O. S. 272 f.



wurde auch später von DAVISON (1927) als eine viel wahrscheinlichere Erklärung für die exzentrische Position des Epizentrums ein doppelter Erdbebenherd angenommen: einer nahe bei Caggiano, wie ihn MALLETT selbst berechnet hat, und ein anderer im Südosten der meizoseismischen Zone in der Nähe von Montemurro, wo besonders hohe Todesraten festgestellt worden sind<sup>589</sup>).

#### 4.5.4. MALLETS Entdeckung der seismischen Bänder

So kritisch auch die konkreten Resultate von MALLETS theoretischen Überlegungen über das Neapolitanische Erdbeben vom Jahre 1857 zu betrachten sind, weil er, wie v. SEEBACH bereits festgestellt hat, offensichtlich viel mehr beweisen wollte als er tatsächlich konnte, so bedeutsam und wegweisend war sein grundsätzlicher Ansatz, die Dynamik und Wirkungsweise der Erdbeben als Wellenbewegungen ohne Massentransport anzusehen. Es gab in dieser frühen Entwicklung der Seismologie als selbständige Wissenschaft keinen, der auf allen ihren sowohl empirischen als auch theoretischen Einzelgebieten mehr geleistet hat als er: So verfasste er den bis dahin umfangreichsten Erdbebenkatalog, der durch den Katalog von PERREY für die darauf folgenden Jahre ergänzt wurde.

Er lieferte nach YOUNG den ersten umfassenden Katalog der Erdbebenliteratur, die in den europäischen Bibliotheken vorhanden war. Auf Grund dieser Literaturkenntnisse ist es ihm auch gelungen, einen systematisch-kritischen Überblick über seine Vorläufer in der Theorie der Wellenbewegung der Erdbeben zu erstellen. Er war es auch, der ausgehend vom Mittelmeerraum eine Weltkarte der geographischen Verteilung der Erdbebenzonen geliefert hat, die in ihren Grundzügen noch heute ihre Gültigkeit hat und bereits eine klare Vorahnung der Plattentektonik erkennen lässt (Abb. 101).

Von besonderer und aktueller Bedeutung für die historische Erdbebenforschung und bisher viel zu wenig beachtet ist sein Vergleich der Isoseismen der historischen Beben in Italien, die er anlässlich seiner Untersuchung des Neapolitanischen Erdbebens in Form einer eigenen Karte dargestellt hat (Abb. 100).

Sein erklärtes Ziel, das er mit dieser Rekonstruktion der Isoseismen der historischen Beben verfolgte, war, modern ausgedrückt, die Bestimmung der Seismizität dieses Gebietes. Aus dem Vergleich der einzelnen Linien ist zu erkennen, dass das Neapolitanische Erdbeben vom Dezember 1857 mit Ausnahme des großen kalabrischen Erdbebens vom Jahre 1783 das schrecklichste und am weitesten ausgebreitete von all den bekannten Erdbeben war, die Italien verwüstet haben. Das einzige Beben, dessen erste isoseismische Linie mit derjenigen von 1783 und 1857 vergleichbar ist, ist das aus dem Jahre 1740 im Norden, das zwischen Volterra und Mailand Verwüstungen angerichtet hat. MALLETT erkennt aber auch, dass die seismischen Areale allein noch keine Auskunft über die vergleichbare seismische Energie liefern. Nur dann, wenn die Herdtiefe dieselbe ist, stellen die seismischen Areale ein Maß zur Vergleichung der Energie dar. Gerade aber die Herdtiefe schwankt in derselben Region oft sehr beträchtlich. So lag der Herd des Erdbebens von 1851 in einer nur geringen Tiefe, was zur Folge hatte, dass in der zentralen Region rund um Melfi, wo der Emergenzwinkel extrem steil war, die zerstörerische Energie zwar furchtbar, aber das gesamte Erschütterungsgebiet von nur geringer Größe war und der Abfall der Wirkung der seismischen Energie mit der Entfernung vom Zentrum extrem rasch erfolgt ist.

Aus der geographischen Lage der Herde dieser historischen Erdbeben ist für MALLETT auch jene Regelmäßigkeit ersichtlich, die bereits HUMBOLDT an den mexikanischen und südamerikanischen Beben bemerkt hat: Im Lauf der Zeit ändern die Erdbeben das Zentrum ihrer Wirksamkeit dadurch, dass sie die Grenzen ihrer Störung in eine Richtung ausbreiten und in der Gegenrichtung zurückziehen. Genau das trifft auch nach MALLETT auf die italienische Halbinsel zu. Denn seine Karte der historischen Erdbeben zeigt<sup>590</sup>,

„... that the locus of their numerous focal centres follows generally the lines of the great ridges of the Apennines.“

Entsprechend seiner im Report an die Brit. Ass. vom Jahre 1858 bereits dargestellten Weltkarte der Erdbeben, die das Gesetz der Verteilung der Erdbeben über den ganzen Erdglobus zeigt, dehnt MALLETT seine historischen Untersuchungen über die Verteilung der Erdbeben in Italien auf den gesamten Mittelmeerraum aus. Das Ergebnis ist auch hier, dass sich die seismischen Bänder im Lauf der Zeit immer nach demselben Prinzip entlang der großen Gebirgserhebungen ausbreiten (Abb. 102).

Diese langsame sekuläre Bewegung der Zentren der seismischen Intensität entlang einer bestimmten Linie wurde auch, wie MALLETT angibt, von einer Reihe von italienischen Autoren (z.B. GRIMALDI, BATTISTA u.a.) festgestellt. Im vergangenen Jahrhundert vor dem großen Neapolitanischen Beben war das Zentrum der seismischen Intensität in Kalabrien, während es MALLETT zur Zeit der Veröffentlichung seiner Untersuchung zwischen dem Erdbebenherd von Melfi (1851) und dem Neapolitanischen Beben vom Dezember 1857 vermutet. Nach MALLETT sind es daher dieselben Kräfte, was immer sie auch sein mögen, die sich als Vulkanische Öffnungen und seismische Bänder entlang der Achsenlinien von fast allen großen Bergketten auf unserem Globus entwickeln. Die Frage jedoch, welcher Art die wirklichen Ursachen des Vulkanismus, der Gebirgsbildung und der Erdbeben sind, kann MALLETT auch am Ende seiner Untersuchung des Neapolitanischen Erdbebens nicht beantworten. Sie bleibt für ihn offen und ist sogar auf Grund der von ihm erhobenen Fakten noch viel schwieriger geworden<sup>591</sup>:

„Can we possibly, with these facts before us, rest in the commonly-received vague notion that volcanic and seismic action have their common origin, in an all-pervading and perfectly uniformly-distributed, planetary temperature, increasing everywhere alike, by a uniform hypogean increment? Can we remain satisfied with the pompous, but almost empty phrase, (although sanctioned by a Humboldt,) that 'they are due to the reaction of the interior of our planet upon its exterior'; if the only meaning that we are to attach to the phrase is, that the reaction is that, of a universal ocean of heated or of molten matter, everywhere to be reached within some certain limit of depth? Do not the facts rather all point towards some cause that has been long present, and is so now, and still in action wherever mountain ranges have been elevated, as well as wherever volcanic vents have thrown or are throwing up, their lines of cones; but whose nature must be such, as is called locally and spasmodically into action, now most energetically at one point, now at another of the same line, but yet is never exhausted at any? The discovery of the real nature of this cause will be the key to all true knowledge, both of volcanic action, which is only its symptom, and of all the forces that have produced, and do produce, the elevations, or, to speak more correctly, the changes of level of the surface, of our own and that of other planets. Earthquakes, then, demand

<sup>589</sup>) Vgl. DAVISON, Ch.: 1927, S. 80.

<sup>590</sup>) MALLETT, R.: a.a.O. S. 378.

<sup>591</sup>) MALLETT, R.: a.a.O. S. 282 f.



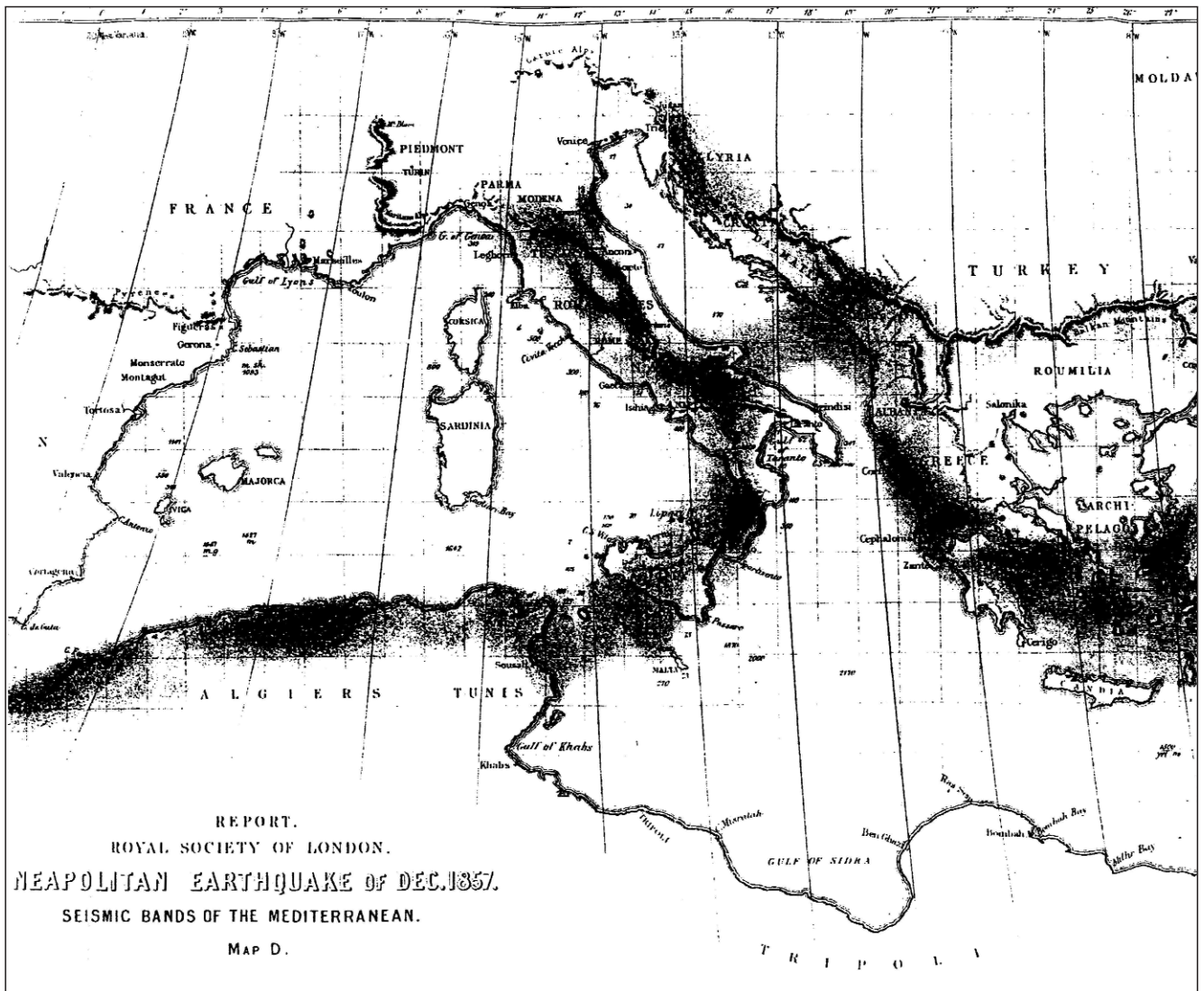


Abb. 102.  
MALLETS Darstellung der seismischen Bänder im Mittelmeerraum (1858).

*to be regarded, not as themselves agents of permanent elevation of the land, which they cannot be at all, and with respect to which, even the greatest volcanic efforts (accumulated cones) upon our globe, are mere skin-deep phenomena. We must regard seismic and volcanic phenomena as both unequal effects and local evidences of a wide-spread, and constantly, but unequally acting, yet always active force, resulting in elevation; which is not evidenced indifferently all over the surface of the globe, but is mainly confined to broad bands conforming to its mountain ranges.*

#### 4.6. HUMBOLDTS Theorie der Wellenausbreitung der Erdbeben

Nach den Arbeiten von MALLETT und HOPKINS über die Natur und Wirkungsweise der Erdbeben und der Kritik von MALLETT an seinen früheren Ideen, entwickelt HUMBOLDT im vierten Band des „Kosmos“ (1858) eine zweite wesentlich erweiterte Version seiner Erdbeben-theorie, in der die Dynamik der Erdbeben von der Ursachenforschung getrennt und in den Vordergrund gerückt wird. Darüber hinaus unterscheidet HUMBOLDT präziser als je zuvor die vulkanischen Erdbeben im engeren Sinn von den am meisten verbreiteten Erdbeben, die in keiner direkten Beziehung zu den Vulkanen stehen. Diese zweite Version seiner Erdbeben-theorie ist in den bisherigen Darstellungen des Vulkani-

nismus bei HUMBOLDT nicht berücksichtigt worden<sup>592</sup>). Sie macht deutlich, wie sehr es notwendig ist, bei der Rekonstruktion der historischen Erdbeben-theorien auf die Originalquellen zurückzugehen.

##### 4.6.1. MALLETS Kritik an HUMBOLDT

*„Die strenge Kritik, welche Herr Mallet meine frühere Arbeit in seinen sehr schätzbaren Abhandlungen (Irish Transact. p. 99–101 und meeting of the British Assoc. held at Edinb. p. 20) unterworfen hat, ist von mir mehrfach benutzt worden.“*

Mit diesen Worten<sup>593</sup>) weist HUMBOLDT selbst auf den Anlass hin, der zu einer gründlichen Revision seiner eigenen Erdbeben-theorie geführt hat. MALLETT hatte seine Untersuchung über die Dynamik der Erdbeben vom Jahre 1848 bereits abgeschlossen, als er auf die Passagen in HUMBOLDTS „Kosmos“ stieß, die sich mit den Erdbeben beschäftigten. Er musste mit Recht um seine Priorität der Entdeckung der Wellennatur der Fortpflanzung der Erdbeben fürchten. So sagt er am Ende seiner Abhandlung<sup>594</sup>):

<sup>592</sup>) Vgl. DÜCK, HOBBS & RUSKA, HOERNES, MILNE u.a.

<sup>593</sup>) HUMBOLDT, A.V.: Kosmos, Entwurf einer physischen Weltbeschreibung. – 4. Bd., S. 487, Stuttgart und Augsburg 1858.

<sup>594</sup>) MALLETT, R.: On the Dynamics of Earthquakes, S. 99.

„Since writing the preceding pages, and not before, I have been enabled to read the portions of Humboldt's *Cosmos* which treats of earthquakes. On opening this book I fully expected to have found my views anticipated by the great German philosopher.“

Bei genauerer Durchsicht des entsprechenden Kapitels des *Kosmos* stellt er aber erleichtert fest<sup>595</sup>:

„In this, however, I find I was mistaken. While admiring the exuberance of facts, the copious sources of far-drawn observation of the veteran traveller, I was disappointed to find that Humboldt had not even made the attempt to frame a theory of earthquake motion. He notices the transit of the shock as of waves of some sort (as many others have done before), and even suggests their production at centres of disturbance, and hints at their having some connexion with the elasticity of the rock through which they pass, and at their possible mutual intersection and interference; but it is impossible to discover (throughout the whole chapter) that he has formed any distinct idea as to the nature or mode of propagation of the great earth wave.“

Dass dieses Urteil allzu hart und ungerecht war, musste MALLET selbst gefühlt haben, denn er fügt vorsichtshalber hinzu<sup>596</sup>:

„At one place the reader is led to fancy that he speaks of the wave of elastic compression in the solid crust, which I contend to be the true earthquake wave.“

Der originale Wortlaut der Stelle, auf die MALLET hier anspielt, zeigt jedoch deutlich, dass HUMBOLDT nicht nur von der Wellennatur der Fortpflanzung der Erdbeben überzeugt war, sondern auch die unterschiedliche Art und Form der Wellenbewegungen auf der Erdoberfläche erkannt hat, wobei er sogar schon Aussagen über die Fortpflanzungsgeschwindigkeit anführen kann<sup>597</sup>.

„Die Fortpflanzung geschieht meist in linearer Richtung wellenförmig, mit einer Geschwindigkeit von 5 bis 7 geographischen Meilen in der Minute; theils in Erschütterungskreisen oder großen Ellipsen, in denen wie aus einem Centrum die Schwingungen sich mit abnehmender Stärke gegen den Umfang fortpflanzen.“

Wie bereits gezeigt<sup>598</sup> weist HUMBOLDT nicht nur auf die von MALLET selbst ihm zugeschriebenen Interferenzerscheinungen der Wellenbewegungen hin, sondern erklärt auch mit ausdrücklichem Hinweis auf die Gesetze der Mechanik das Abtrennen der an der Oberfläche der Erde freiliegenden Schicht, die durch die „Mittheilung der Bewegung in elastischen Körpern“ bewirkt wird.

Da aber MALLET schließlich HUMBOLDTS Ansicht als nichts anderes als eine Fortsetzung der alten vulkanischen Ideen von MICHELL ansieht, dessen fundamentalen Beitrag zur Wellentheorie der Erdbeben – wie bereits gezeigt – er völlig ignoriert<sup>599</sup>, fällt er auch über HUMBOLDT ein vernichtendes Urteil<sup>600</sup>:

„When, however, we find Humboldt seriously ascribing the dome-shaped forms of the Puy de Dome and of Chimborazo, to their being hollow bubbles of trachyte or dolerite, blown out by elastic vapours at some former period, we see the evidence that the greatest minds may be captivated by a favourite fancy, and feel no surprise at his adoption of the untenable, but analogous theory of Michell, if, indeed, such be his view, for he leaves the subject in entire doubt.“

<sup>595</sup>) Ebenda.

<sup>596</sup>) Ebenda.

<sup>597</sup>) HUMBOLDT, A.v.: *Kosmos*, Bd. I, S. 210 f.

<sup>598</sup>) Vgl. oben Kap. 3.9.2.

<sup>599</sup>) Vgl. die Kritik an MALLET durch DAVISON S. 66.

<sup>600</sup>) MALLET, R.: a.a.O. S. 100.

In seinem ersten Report an die British Association vom Jahr 1850 wiederholt zwar MALLET seine Kritik, beschließt sie aber mit einer geradezu überschwenglichen Lobeshymne auf HUMBOLDT<sup>601</sup>:

„Before concluding, however, the remarks that I am called upon to make upon the views of Humboldt, I would wish to add that they are made with the fullest appreciation of that almost universal and yet searching genius, that derives its resources form, and illustrates nearly every portion of creation.“

#### 4.6.2. Die Erweiterung der vulkanistischen Erdbebentheorie zu einer Theorie der Wellenausbreitung der Erdbeben

HUMBOLDT beginnt die Darstellung seiner erweiterten Erdbebentheorie mit einem Hinweis auf die unmittelbar nach der Veröffentlichung des ersten Bandes des *Kosmos* (1845) erschienenen Arbeiten zur Dynamik der Erdbeben<sup>602</sup>:

„Seitdem in dem ersten Bande dieses Werkes (1845) die allgemeine Darstellung der Erdbeben-Phänomene erschienen ist, hat sich das Dunkel, in welches der Sitz und die Ursachen derselben gehüllt sind, wenig vermindert; aber durch die vortrefflichen Arbeiten von Mallet (1846) und Hopkins (1847) ist über die Natur der Erschütterung, den Zusammenhang scheinbar verschiedenartiger Wirkungen, und über die Trennung begleitender oder gleichzeitig eintretender physikalischer und chemischer Prozesse einiges Licht verbreitet worden.“

Die Analogien zwischen den Schwingungen fester Körper und den Schallwellen der Luft, auf die Thomas YOUNG schon im Jahre 1807<sup>603</sup> aufmerksam gemacht hat, waren HUMBOLDT ebenso bekannt wie die mathematische Darstellungsweise von POISSON<sup>604</sup>:

„Mathematische Gedankenentwicklung kann, nach Poisson's Vorgänge, hier, wie überall, wohltätig wirken. Die Analogien zwischen den Schwingungen fester Körper und den Schallwellen der Luft, auf welche Thomas Young schon aufmerksam gemacht hat, sind in den theoretischen Betrachtungen über die Dynamik der Erdbeben besonders geeignet zu einfacheren und befriedigenderen Ansichten zu führen.“

HUMBOLDT selbst kann aber auch auf seine eigene Darstellung der Erschütterungen als mechanische Schwingungserscheinungen hinweisen, wie er sie bereits im ersten Band des *Kosmos* noch vor dem Erscheinen der ersten Abhandlung MALLETS geliefert hat. Wie bereits erwähnt<sup>605</sup>, war HUMBOLDT nicht nur von der Wellennatur der Erdbeben überzeugt, sondern hielt auch Interferenzerscheinungen der Erschütterungswellen analog denen der Schallwellen für möglich<sup>606</sup>.

Als den wesentlichen Fortschritt, der durch die neuen Theorien über die Dynamik der Erdbeben erreicht worden ist, sieht HUMBOLDT in der allgemeinen Erkenntnis, dass Luft, Wasser- und Erdwellen räumlich den selben Gesetzen folgen, die in der mechanischen Bewegungslehre gelten. Aufgrund dieser Einsicht ist es gelungen,

<sup>601</sup>) MALLET, R.: First Report on the Facts of Earthquake phenomena. – S. 21., 1851.

<sup>602</sup>) HUMBOLDT, A.v.: a.a.O. S. 215.

<sup>603</sup>) YOUNG, Th.: Lectures on Natural Philosophy. – Bd. 1, S. 717, 1807.

<sup>604</sup>) HUMBOLDT, A. v.: *Kosmos*, Bd. 4, S. 487.

<sup>605</sup>) Vgl. oben 3.9.4.

<sup>606</sup>) HUMBOLDT, A. v.: *Kosmos*, Bd. 4, S. 491; *Kosmos*, Bd. 1, S. 211; Kleinere Schriften, Bd. 1, S. 379.

- spezielle Erkenntnisse über die Verbreitung der Erschütterungswellen durch Gebirgsarten von verschiedener Dichte und Elastizität zu gewinnen,
- die Fortpflanzungsgeschwindigkeit und ihre Abnahme durch Brechung, Reflex und Interferenz mathematisch zu bestimmen und
- die Einteilung der Erschütterungen auf zwei Arten von Erschütterungswellen zu reduzieren.

In diesem Zusammenhang anerkennt HUMBOLDT auch die Kritik, an der von ihm selbst angenommenen dritten Art von Erschütterungswellen in Form einer scheinbar kreisförmigen oder rotatorischen Bewegung. Denn das vielbesprochene und auch von LYELL angeführte Beispiel der beim Erdbeben von Kalabrien 1783 zustande gekommenen Verdrehung der Obelisk vor dem Kloster San Bruno in der kleinen Stadt Stephano del Bosco konnte von MALLET (1849, p. 213; 1850 p. 33, p. 49) durch einen geradlinigen Stoß erklärt werden, der auf einen an seiner Grundfläche nachgiebigen Körper auftritt ohne ihn umzuwerfen. Es erfolgt dann das Rotieren um die Stelle der größten Reibung, die MALLET den Adhäsions-Mittelpunkt nennt. Darüber hinaus lassen sich, wie HUMBOLDT selbstkritisch anmerkt, noch weitere Ansichten korrigieren, die er selbst in der ersten Version seiner vulkanistischen Erdbeben-theorie vertreten hat. So ist es nun für ihn auch klar, dass Höhlen, in denen sich Dämpfe und verdichtete Gasarten sammeln, nur in sekundärer Weise bei Erdbeben wirken können, nicht aber primär durch Massentransport an der Fortpflanzung der Bewegung beteiligt sind<sup>607</sup>:

*„Alles, was wir von den Erschütterungswellen und Schwingungen in festen Körpern wissen, zeigt das Unhaltbare älterer Theorien über die durch eine Reibung von Höhlen erleichterte Fortpflanzung der Bewegung. Höhlen können nur auf sekundäre Weise bei dem Erdbeben wirken, als Räume für Anhäufung von Dämpfen und verdichteten Gas-Arten.“*

HUMBOLDT kann sich in diesem Zusammenhang nicht nur auf MALLET (1846, S. 74) und HOPKINS (meet. at Oxford, S. 74–82) berufen, sondern auch auf die bereits erwähnte, viel ältere Arbeit von GAY-LUSSAC aus dem Jahre 1823, die ihm jedoch unabhängig und vor MALLET schon bei der Abfassung des ersten Bandes des Kosmos (1845) bekannt war<sup>608</sup>,

*„La terre, vieille de tant de siècles conserve encore une force intestinale, qui élève des montagnes (dans la croûte oxydée), renverse des cités et agite la masse entière. La plupart des montagnes, en sortant du sein de la terre, ont dû y laisser de vastes cavités, qui sont restées vides, à moins qu’elles n’aient été remplies par l’eau (et des fluides gazeux). C’est bien à tort que Deluc et beaucoup de Géologues se servent de ces vides, qu’ils s’imaginent se prolonger en longues galeries, pour propager au loin les tremblements de terre. Ces phénomènes si grands et si terribles sont de très fortes ondes sonores, excitées dans la masse solide de la terre par une commotion quelconque, qui s’y propage avec la même vitesse que le son s’y propagerait. Le mouvement d’une voiture sur le pavé ébranle les plus vastes édifices, et se communique à travers des masses considérables, comme dans les carrières profondes au-dessous de Paris.“*

Was nun die Frage nach der Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Erdbeben bzw. der Erschütterungswelle auf der Oberfläche der Erde anbelangt, kommt HUMBOLDT bereits zu wesentlich differenzierteren Vorstellungen, als er sie in der ersten Version seiner Erdbeben-theorie entwickelt hat. Dort hat er die Geschwindigkeit der horizontalen wellenförmigen Schwingung, die vom Zentrum in ellipsenförmigen

Erschütterungskreisen ausgeht, ganz allgemein mit 5 bis 7 geographischen Meilen pro Minute angegeben. Diese auf die südamerikanischen Beben bezogenen Angaben stimmen mit den Angaben, die MALLET im Admiralty Manual über die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der großen Erdwelle auf der Erdoberfläche im festen, elastischen und nicht zertrümmerten Gestein mit 30 englischen Meilen (= 6,5 geographische Meilen) in der Minute macht, überein. Allerdings ist sich HUMBOLDT auch im Klaren, dass diese Angaben über die meist nur geschätzten und nicht gemessenen Fortpflanzungsgeschwindigkeiten je nach den unterschiedlichen Dichtigkeitsverhältnissen der oberen Erdschichten, die die Erschütterungswelle durchläuft, in vielfacher Weise modifiziert werden müssen. Und er bedauert es, dass noch nicht einmal mit Sicherheit die äußersten Grenzen, zwischen denen die Geschwindigkeiten schwanken, bekannt sind<sup>609</sup>:

*„Die Fortpflanzungs-Geschwindigkeit des Erdbebens auf der Oberfläche der Erde muss ihrer Natur nach durch die so verschiedenen Dichtigkeiten der festen Gebirgsschichten (Granit und Gneiß, Basalt und Trachyt-Porphyr, Jurakalk und Gyps) wie des Schuttlandes, welche die Erschütterungswelle durchläuft, mannigfach modificiert werden. Es wäre aber doch wünschenswerth, daß man endlich einmal mit Sicherheit die äußersten Grenzen kennen lernte, zwischen denen die Geschwindigkeiten schwanken. Es ist wahrscheinlich, daß den heftigeren Erschütterungen keineswegs immer die größte Geschwindigkeit zukommt.“*

Wie HUMBOLDT selbst ausdrücklich feststellt, fehlte es zu seiner Zeit an genauen mathematischen Bestimmungen der Fortpflanzungsgeschwindigkeiten. Auch beziehen sich die Messungen ohnedies nicht immer auf die selben Wege, welche die Erschütterungswellen genommen haben. Als eines der wenigen in der älteren Literatur bekannten Beispiele einer mit großer Genauigkeit und Umsicht vorgenommenen Bestimmung der Fortpflanzungsgeschwindigkeit gibt HUMBOLDT das Resultat an, das von Julius SCHMIDT über das rheinische Erdbeben vom 29. Juli 1846 geliefert worden ist. Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Erschütterungswelle betrug nach diesen Angaben 3.739 geographische Meilen in der Minute, d.i. 1376 Pariser Fuß in der Sekunde<sup>610</sup>.

Die älteste von HUMBOLDT zitierte Schätzung der Fortpflanzungsgeschwindigkeit stammt von John MICHELL, der in seinem Artikel vom Jahre 1760 die Ausbreitungsgeschwindigkeit des Lissaboner Erdbebens mit 50 Meilen pro Minute angibt. HUMBOLDT greift diese Angabe mit genauer Zitierung der Originalquelle<sup>611</sup>) auf und spricht von einer davon abgeleiteten Sekundengeschwindigkeit von 4170 Pariser Fuß.

Für HUMBOLDT, der in diesem Zusammenhang Vergleiche zu den inzwischen exakt gemessenen Fortpflanzungsgeschwindigkeiten des Schalles im Wasser nach COLLADON und STURM (4706 Fuß per sec.) und in gegossenen eisernen Röhren nach BIOT (10.690 Fuß) anstellt, sind die für die Erdbeben gefundenen Resultate sehr schwach. Deswegen bevorzugt er die für das Lissaboner Beben ebenfalls von J. SCHMIDT durchgeführte Bestimmung der Fortpflanzungsgeschwindigkeit, die allerdings auf weniger genauen Angaben als die des Rheinischen Erdbebens vom Jahre 1846 beruhen. Denn bei dieser Bestimmung, die auf der Entfernung zwischen der portugiesischen Küste bei Lissabon und der holsteinschen Küste bei Glückstadt beruhte, ergab sich die beträchtlich höhere Geschwindig-

<sup>609</sup>) HUMBOLDT, A.v.: a.a.O. S. 226.

<sup>610</sup>) HUMBOLDT, A.v.: a.a.O. S. 227.

<sup>611</sup>) HUMBOLDT, A.v.: a.a.O. S. 494.

MICHELL, J.: Phil. Transact. Vol. LI. Part II, S. 572.

<sup>607</sup>) HUMBOLDT, A.v.: Kosmos, Bd. 4, S. 491.

<sup>608</sup>) Ebenda.

keit von 19,6 Meilen in der Minute oder 7464 Pariser Fuß in der Sekunde.

Der Vergleich zwischen diesen extrem unterschiedlichen Resultaten lässt HUMBOLDT zu dem Schluss kommen, dass dabei sowohl die Ungenauigkeit der älteren Beobachtungen als auch die Verschiedenheit der Fortpflanzungswege eine Rolle spielen.

Hinzu kommt noch das im 19. Jahrhundert bis zu der am 20. Mai 1875 in Paris abgeschlossenen internationalen Meterkonvention (Convention du mètre) herrschende Maßchaos, das zu zahllosen Fehlern und Missverständnissen führen musste. Obwohl die großen Differenzen in den Angaben über die Fortpflanzungsgeschwindigkeiten der an der Erdoberfläche beobachtbaren Erschütterungswellen in der Natur der Sache, d.h. der unterschiedlichen Dichtigkeitsverhältnisse des Erdkörpers und seiner Kruste liegen, war der eigentliche Grund für die Unsicherheiten die Unzulänglichkeit der Methode, ohne Instrumente vorgehen zu müssen. Daher hatte man auch nach dem epochemachenden Werk von R. MALLET noch keineswegs die Komplexität der unterschiedlichen Arten von Wellenbewegungen und deren Fortpflanzungsgeschwindigkeiten erkennen können. Erst nach der Einführung von empfindlichen Registriergeräten und der auf deren instrumenteller Grundlage erreichten viel größeren Messgenauigkeit war es überhaupt möglich, über die Natur der Wellenbewegung Klarheit zu gewinnen.

#### 4.6.3. Die Unabhängigkeit von Vulkanausbrüchen und Erdbeben bei HUMBOLDT

Wenngleich mit diesen Beschränkungen der Theorie der Dynamik der Erdbeben auf ein vorinstrumentelles Stadium auch den theoretischen Überlegungen HUMBOLDTS eine Grenze gesetzt war, ergab sich durch diese klare Trennung von Ursachen der Erdbeben einerseits und dem Wesen und der Fortpflanzung der Erschütterungswelle andererseits ein neuer Ansatzpunkt für die Betrachtungen über das, was HUMBOLDT den „ersten Impuls zur Erschütterung“ nennt. Es hat sich zwar nach seiner Meinung seit der Darstellung seiner vulkanistischen Erdbeben­theorie im ersten Band des „Kosmos“ (1845) „das Dunkel, in welches der Sitz und die Ursachen der Erdbebenphänomene gehüllt sind“, wenig vermindert. Und er glaubt auch, dass beim derzeitigen Zustand unseres Wissens wie bei so vielen Dingen, bei denen wir versuchen, die letzten Ursachen zu ergründen, keine Möglichkeit besteht, zu allgemein befriedigenden Resultaten zu kommen. Doch weisen die meisten Erklärungsversuche auf die thermische Beschaffenheit des Inneren unseres Planeten als allgemeine Ursache hin.

Damit wird aber von HUMBOLDT keineswegs eine Verbindung zwischen den unterschiedlichen Erscheinungen an der Erdoberfläche behauptet. Vielmehr zeigt sich, dass Vulkanausbrüche und Erdbeben sich „meist ganz unabhängig“ voneinander ereignen.

Als Beispiel führt HUMBOLDT die südamerikanischen Beben an<sup>612)</sup>:

*„Heftige Erdbeben erschüttern z.B. in der Andeskette in ihrer Linear=Verbreitung Gegenden, in denen sich nicht erloschene, ja noch oftmals thätige Vulkane erheben, ohne dass diese letzteren dadurch auf irgend eine bemerkbare Weise angeregt werden. Bei der großen Catastrophe von Riobamba haben sich der nahe Vulkan Tungurahua und der etwas fernere Vulkan Cotopaxi ganz ruhig verhalten. Umgekehrt haben Vulkane mächtige, langdauernde Aus-*

*brüche dargeboten, ohne dass weder vorher noch gleichzeitig in der Umgegend Erdbeben gefühlt wurden.“*

Zwar gibt HUMBOLDT in der zweiten, erweiterten Version seiner vulkanistischen Erdbeben­theorie die früher so betonte Vorstellung von den Vulkanen als „Schutz- und Sicherheitsventile“ für die nächste Umgebung<sup>613)</sup> nicht auf. Doch sind für ihn diese vulkanischen Erdbeben im engeren Sinn, die große Ausbrüche von Vulkanen begleiten oder ihnen vorausgehen, bei weitem nicht die zahlreichsten und verheerendsten. Und er wendet sich nun ganz ausdrücklich gegen den „irrigen, aber verbreiteten Glauben“<sup>614)</sup>,

*„... dass alle Erdbeben der Eruption eines fernen Vulkans zuzuschreiben seien“.*

Dagegen spricht schon die Tatsache, dass große Teile der Erdoberfläche vom Meer bedeckt sind. Die größten und zahlreichsten Erdbeben sind nach HUMBOLDT vielmehr jene, die nach dem, was man an der Oberfläche der Erde erkennen und beurteilen kann, in keinem Zusammenhang mit der Tätigkeit der Vulkane stehen. Trotzdem weisen für HUMBOLDT gerade diese Erschütterungswellen, welche teils ganz unvulkanische Länder, teils vulkanische Länder, wie die Cordilleren von Südamerika und Mexiko durchlaufen, ohne irgendeinen Einfluss auf die nahen Vulkane ausüben, am überzeugendsten auf die thermische Beschaffenheit des Inneren unseres Planeten hin. Er lehnt aber die Bezeichnung „plutonische Erdbeben“, wie sie im Gegensatz zu den „eigentlichen vulkanischen“ Beben genannt worden sind, die meist auf kleinere Lokalitäten beschränkt sind, konsequenterweise ab<sup>615)</sup>.

*„In Hinsicht auf allgemeinere Ansichten über Vulcanicität ist diese Nomenklatur nicht zu billigen. Die bei weitem größere Zahl der Erdbeben auf unserem Planeten müssten plutonische heißen.“*

Der Unterschied zwischen Plutonismus und Vulkanismus ist nicht mit der Definition seiner Auffassung des allgemeinen Vulkanismus zu vereinbaren, unter dem er ja jede „Reaction des Inneren eines Planeten gegen seine Rinde und Oberfläche“ versteht<sup>616)</sup>.

Als letzte Ursache der Erdbeben sieht zwar HUMBOLDT nach dieser Definition des allgemeinen Vulkanismus den thermischen Zustand des Erdinneren an, auf dem diese Reaktionen beruhen, betont aber dabei ausdrücklich, dass sich die Hitze des glutfüssigen Innern keineswegs immer in vulkanischer Tätigkeit an der Erdoberfläche äußern muss.

Wie bereits gezeigt<sup>617)</sup>, hat HUMBOLDT vielmehr aufgrund seiner Auffassung von der Entwicklung der Erde aus einem glutfüssigen Zustand und im Rahmen einer auf den gegenwärtigen thermischen Zustand bezogenen Physik der Erde eine Reihe von grundlegenden Vorstellungen entwickelt, die richtungsweisend sowohl für die Theorie der tektonischen Erdbeben als auch für deren spätere Korrektur werden sollte. Es ist daher keineswegs berechtigt, HUMBOLDT für die „heillose Vermengung von Erdbeben und Vulkanen in der älteren Erdbebenliteratur“ verantwortlich zu machen oder ihm vorzuwerfen, einen „verhängnisvollen Irrtum“ dadurch begangen zu haben, dass er glaubte, weil die leichten Stöße mit vulkanischer Tätigkeit verknüpft sind, es auch die schweren und entfernten sein müssen. Während diese Bewertungen der vulkanistischen Erdbeben­theorie HUMBOLDTS in dem um die Jahrhundertwende verbreiteten Lehrbuch von HOBBS & RUSKA<sup>618)</sup> auf Unkenntnis der Ori-

<sup>613)</sup> HUMBOLDT, A.V.: Kosmos, Bd. 1, S. 222.

<sup>614)</sup> HUMBOLDT, A.V.: Kosmos, Bd. 4, S. 228.

<sup>615)</sup> Ebenda.

<sup>616)</sup> HUMBOLDT, A.V.: Kosmos, Bd. 1, S. 209.

<sup>617)</sup> Vgl. oben Kap. 3.9.3.

<sup>618)</sup> HOBBS, W.H. & RUSKA, J.: Erdbeben. Eine Einführung in die Erdbebenkunde. – Leipzig 1910.

<sup>612)</sup> HUMBOLDT, A.V.: Kosmos, Bd. 4, S. 227 f.

nalliteratur beruhen, werden in dem angeblich auf HUMBOLDTS Originalschriften gestützten Beitrag von JOHANNES DÜCK über „Die Stellung Alexander von HUMBOLDTS zur Lehre von den Erdbeben“<sup>619</sup>) die einzelnen Entwicklungsphasen der Theorienbildung vollkommen missachtet. Das führt dazu, dass nicht nur die auf Grund der Kenntnis von MALLETS Theorie der Erdbebendynamik von HUMBOLDT selbstkritisch durchgeführten Korrekturen seiner frühen Vorstellungen von den unterirdischen Verbindungen weit voneinander entfernter Vulkane, die er ursprünglich mit den Erdbeben in Zusammenhang brachte, übersehen werden, sondern gerade jene Aussagen aus der ersten Phase der Entwicklung HUMBOLDTS in einem verfälschenden Kommentar als Zusammenfassung seiner Lehre vorgebracht werden, die in einem direkten Gegensatz zu HUMBOLDTS zuletzt entwickelten Ansichten stehen. Wie bereits dargestellt<sup>620</sup>), hat sich HUMBOLDT sowohl in seinen frühen Schriften über Vulkanismus als auch im ersten Band des Kosmos im Rahmen seiner „Physik der Erde“ sehr vorsichtig über den realen Zustand des Erdinnern ausgesprochen.

An keiner Stelle, auch nicht in seiner Rede in der Berliner Akademie über Bau und Wirkungsweise der Vulkane (1832) spricht er aber wirklich von einem „großen Magma-meer“, sondern immer nur von „elastischen Kräften“, die nicht oberflächlich, sondern tief aus dem Innern der Erde sich entweder dynamisch, spannend und erschütternd bei Erdbeben oder produzierend und chemisch verändernd an der Erdoberfläche sich äußern<sup>621</sup>). Vielmehr erörtert er ganz explizit auf Grund seiner Einsicht, dass der Aufbau der Erde nicht nur ein geologisches, sondern auch ein allgemeines physikalisches Phänomen ist, die Vorstellung von der<sup>622</sup>)

„ ... allmählichen Zunahme der festen Schichten und dem Zustand der Halbflüssigkeit erdiger zäher Stoffe“.

Wenn daher DÜCK in seinem vorher erwähnten Artikel HUMBOLDTS Ansichten vom sprungweisen Übergehen des festen in den flüssigen Zustand kritisiert, so demonstriert er nicht nur die Unzulänglichkeit seiner Beurteilungsgrundlage, sondern ebenso sehr die Relativität des Presentismus, der diese Beurteilung vom jeweils erreichten Kenntnisstand einer Disziplin durchführt. Denn DÜCK geht von dem (damals) „modernen Standpunkt“ der Kenntnis über die Struktur des Erdinnern aus, bei dem er sich an die bereits geschilderte spekulative Vorstellung einer großen Reihe von kontinuierlich ineinander übergelassenen Aggregatzuständen zwischen festen und flüssigen Erdschichten hält, wie sie S. GÜNTHER entworfen hat<sup>623</sup>). Abgesehen davon, dass HUMBOLDT selbst die Möglichkeit unterschiedlicher Aggregatzustände im Erdinnern gar nicht leugnet, ist auch GÜNTHERS Kontinuitätshypothese von der lückenlosen Aufeinanderfolge von allen nur denkbar möglichen Aggregatzuständen, die keine wie immer beschaffenen Trennungsfächen kennen, bereits längst überholt. Denn fast zur gleichen Zeit hat E. WIECHERT (1897) ein den HUMBOLDTSchen Ansichten viel näher stehendes Schalenmodell des Erdinnern vertreten, das auf der Vermutung von Unstetigkeits- oder Diskontinuitätsflächen, an denen sich die physikalischen Eigenschaften sprunghaft ändern, beruht. Ergänzt wurde diese Vorstellung durch die quantitative Bestimmung der Mächtigkeit der Erdkruste durch A. MOHOROVICIC (1919) und den Nachweis eines flüssigen Erdkerns durch B. GUTENBERG.

Vergleicht man die heute angenommenen Zahlenangaben über die Mächtigkeit der Erdkruste, die regional erheb-

liche Abweichungen aufweist, so liegt der Wert für die Untergrenze von 32 km den Schätzungen von HUMBOLDT, der sie mit 5 geographische Meilen (= 37 km) angegeben hat, erstaunlich nahe. Wenn daher DÜCK die von GÜNTHER vertretene Ansicht von dem relativ geringen Hinabreichen der Erdkruste ins Erdinnere im Gegensatz zu HUMBOLDTS Aussagen stellt, die dieser über die in „sehr großer Entfernung von der Erdoberfläche liegenden Ursachen sowohl der Vulkane als auch der Erdbeben“ gemacht hat, so ignoriert er nicht nur jene quantitative Angabe, sondern es fehlt ihm auch jedes Verständnis der von HUMBOLDT selbst auf Grund der analytischen Wärmetheorie von FOURIER, LAPLACE, POISSON u.a. entwickelten physikalischen Betrachtungsweise der Erde. Als Anhänger der Schrumpfungstheorie der Erde, wie sie von der österreichischen Geologischen Schule von SUESS und HOERNES entwickelt wurde, behauptet DÜCK außerdem noch, dass diese Vorstellung vom Vulkanismus HUMBOLDTS ganz erheblich abweicht und übersieht dabei, dass auch der von ihm zitierte HOERNES ganz ausdrücklich darauf hinweist<sup>624</sup>), dass HUMBOLDT selbst nicht nur die Kontraktionstheorie, sondern auch die Theorie der Entstehung der Gebirge infolge der durch die Schrumpfung der Erde hervorgerufenen Faltung der Oberfläche, wie sie A. HEIM und SUESS vertreten haben, vorweg genommen hat.

Die von DÜCK vertretene Auffassung, die charakteristisch für die Haltung vieler Geologen am Ende des 19. Jh. war, dass die „neuere Forschung“ mit HUMBOLDTS Lehre von den Erdbeben „vollständig gebrochen hat“, erweist sich somit als eine auf unzulänglicher Kenntnis der Originalschriften beruhende Simplifizierung physikalischen Grundvorstellungen HUMBOLDTS von den thermischen und mechanischen Vorgängen im Erdinnern, die später in Form einer dynamisch-mobilistischen Auffassung als Vorläufer der Plattentektonik erneut ihre Bedeutung gewinnen sollten.

#### 4.7. VOLGERS neptunistische Theorie der Fallwellen (1858)

Unabhängig von Robert MALLET und dessen Vorläufern entwickelte G.H. Otto VOLGER eine eigene neptunistische Theorie der Wellenausbreitung der Erdbeben, die jedoch nicht auf der Analogie zu den Schallwellen, sondern zu den Wasserwellen beruht. Wie bereits gezeigt<sup>625</sup>), sah VOLGER nicht ganz zu Unrecht in den meisten Erdbeben der Schweiz Einsturzbeben, die jedoch nach seiner Auffassung durch das Niederbrechen von ausgedehnten Hohl-schichten verursacht sein sollen.

Unmittelbarer Anlass für seine Theorie war das Walliser Erdbeben im Vispatal vom 25. Juli 1855, das sich in der ganzen Schweiz und in den angrenzenden Ländern Deutschland, Frankreich und Italien ausbreitete. Die Darstellung dieses Erdbebens<sup>626</sup>) und die daran anschließenden Erörterungen des Erdbebenphänomens überhaupt, zeigt deutlich, wie sehr eine vorweggenommene Hypothese oder Theorie die Beobachtung beeinflusst. Denn VOLGER gibt nicht nur die Augenzeugenberichte wieder, sondern wählt sie aus und kommentiert oder korrigiert sie im Sinne seiner neptunistischen Theorie, die er in schärfster Form allen vulkanistischen, plutonistischen oder Gas- und Dampftheorien gegenüberstellt, die Hebungen oder Aufblähungen statt Einstürze von Teilen der Erdkruste erfordern. Ent-

<sup>619</sup>) DÜCK, J.: Die Erdbebenwarte 3–4. – S. 59–68, Laibach 1903–1905.

<sup>620</sup>) Vgl. oben Kap. 3.9.2.

<sup>621</sup>) HUMBOLDT, A.V.: Über Bau und Wirkungsart der Vulkane. – S. 189.

<sup>622</sup>) HUMBOLDT, A.V.: Kosmos, Bd. 1, 1845, S. 180.

<sup>623</sup>) Vgl. oben Kap. 3.2.2.

<sup>624</sup>) HOERNES, R.: Erdbebenkunde. – Leipzig 1893, S. 337.

<sup>625</sup>) Vgl. oben Kap. 3.5.2.

<sup>626</sup>) VOLGER, G.H.O.: Untersuchungen über das Phänomen der Erdbeben in der Schweiz, seine Geschichte, seine Äusserungsweise, seinen Zusammenhang mit anderen Phänomenen und mit den petrographischen und geotektonischen Verhältnissen des Bodens und seine Bedeutung für die Physiologie des Erdorganismus. Dritter Teil: Die Erdbeben in Wallis. – Gotha 1858.

scheidend ist jedoch, dass er das Erdbebenphänomen ebenfalls wie MALLETT als eine Wellenbewegung ohne Massentransport ansieht, in allen anderen Punkten diesem aber widerspricht. Denn nach VOLGERS Auffassungen sind die Schallwellen, die nur als Nebenerscheinung der Erdbebenegeräusche auftreten von den Erdbebenwellen, die als „Fallwellen“ nur den gewöhnlichen Wasserwellen analog sind, völlig zu unterscheiden.

#### 4.7.1. Das Walliser Erdbeben vom 25. Juli 1855

Entsprechend seiner neptunistischen Einsturztheorie, die vor dem Erdbeben umfangreiche Ausschwemmungen in den tieferen Schichten der Erdkruste voraussetzte, beginnt VOLGER seine Darstellung des Walliser Erdbebens mit den vorausgegangenen Witterungsverhältnissen.

Aus den meteorologischen Beobachtungslisten des Jahres 1855 geht hervor, dass der Monat Februar durch „ungewöhnliche Kälte“ und durch Schneemassen von einer „seit Menschengedenken beispiellosen“ Fülle gekennzeichnet war. Die Schneefälle hielten auf den Höhen des Jura bis Mitte Mai an. Erst in der letzten Maiwoche setzten in der Schweiz Föhnstürme und damit die Schneeschmelze ein. Der Bodensee, der Genfer See und der Vierwaldstättersee traten über ihre Ufer und in vielen Tälern der Schweiz und im Rheintal und im unteren Tal von Wallis kam es zu Überschwemmungen. Nach dem Föhnwetter erfolgten erneute Schneefälle in den Alpen und Platzregen und Wolkenbrüche in den Tälern. An Ende des Juni traten abermals in der ganzen Schweiz Gewitterstürme auf, zum Teil verbunden mit wolkenbruchartigen Regengüssen.

Zusammenfassend gibt VOLGER die Aufzeichnung des Berichterstatters aus Chur wieder, der in der Augsburger Allgemeinen Zeitung 1855 Nr. 173, 22. Juni schreibt:

*„Welch' grauenhaftes Jahr! ... man möchte mit Tacitus vor der Belagerung Jerusalems sagen: Insuper omnia terribant!“*

Diese Äußerung, einen Monat vor dem mächtigen Erdbeben im Visp-Tal, beweist für VOLGER, dass man nicht nur nach, sondern auch vor einem Erdbeben Ungewöhnliches in der Witterung feststellen kann.

Entsprechend seiner neptunistischen Ausschwemmungstheorie legt VOLGER auch besondere Betonung auf den ungewöhnlichen Wasserreichtum, vor allem der aus großen Tiefen kommenden Thermalquellen<sup>627)</sup>:

*„So berichtete man von den der Taminaschlucht zu Pfäfers im Kanton St. Gallen, daß die ältesten Anwohner der Quellen sich keines ähnlichen Jahres hinsichtlich der gewaltigen Wasserspende derselben erinnern: aus Felsspalten, welche sonst trocken lagen, dringt jetzt das dampfende Wasser armstark hervor.“*

Über die Walliser Thermen hatte sich jedoch VOLGER vergeblich bemüht, durch Korrespondenzen Erkundigungen einzuziehen. Kurz vor dem Erdbeben am 25. Juli 1855 machte sich, vor allem in Visp, unter den Tieren Unruhe bemerkbar. Zum Teil fraßen an diesem Tag die Kühe nicht, einige Hunde heulten ungewöhnlich, andere verkrochen sich und noch nie hatte man so viele Schlangen auf der Oberfläche der Erde gefunden als von der Mitte des Juli bis zur Mitte des August 1855.

VOLGERS allgemeine Schilderung des Hauptschlages, der zwischen 12 und 1 Uhr nachmittags in dem Gebiet der Gorner-Visp, zwischen den Orten St. Nikolaus und Stalden erfolgte, enthält bereits deutliche Hinweise auf seine theoretische Erklärung dieses Ereignisses als eines Einsturz-

bebens, bei dem ein ganzer Gebirgstheil zusammengestürzt sein soll<sup>628)</sup>:

*„Es war im Thale, vom Flecken Visp bis über das Dorf St. Nikolaus hinauf – nach allen Beschreibungen von Personen der verschiedensten Bildung, welche ich theils mündlich, besonders an Ort und Stelle, theils brieflich darüber vernommen habe – ein über alle Vergleichung gewaltsamer Schock, mit welchem so ansatzlos und urplötzlich das ganze Gebirge zusammendröhnte, dass Niemand auch nur die kürzeste Weile vorher eine Wahrnehmung, eine Ahnung oder Anwandlung gehabt zu haben sich erinnerte. Jeder hatte die Empfindung, dass Haus und Grund und Berg mit ihm zusammenstürzten.“*

Nach diesem Schlag erst begann „das ‘Wogen’ des Erdbodens.“

Auch die das Erdbeben begleitenden Schallphänomene wiesen für VOLGER auf einen gewaltigen Einsturz hin<sup>629)</sup>:

*„Die Empfindung des Gehörs war bei jenem ersten Dröhnen eine so sehr über das Mass aller gekannten Schallererschütterungen hinausgehende gewesen, dass die Meisten sich derselben gar nicht als eines Schalles sondern geradezu als einer Erschütterung bewusst wurden, Niemand aber einen Vergleich auszusprechen wagte, weil selbst die Erinnerung noch überwältigend, alles Vergleichbare weit hinter sich zurücklassend wirkte. Dann aber, als die Berge auf und nieder wankten, zahllose Felsen von allen Gipfeln und Abhängen niederstürzten und rollten, die Wände der Häuser sich neigten und als Schutthaufen zusammenfielen, Balken brachen, Dächer abglitten oder ineinandersanken, erschöpfte sich die Natur in der Erregung aller furchtbaren Getöse von Donnerrollen, Sturmesbrausen, Wogenrauschen, Knallen, Krachen, Prasseln, Gellen, Pfeifen und Klirren.“*

Mehrfach spricht auch VOLGER vom „Niederrücken“ des Gebirges<sup>630)</sup> und kritisiert die Berichte, in denen von Rissen oder Brüchen die Rede ist, die durch wellenförmige Bewegungen der Gebirgsmassen bewirkt worden seien. Nach seiner Meinung handelt es sich immer nur um bloße Senkungen des Erdreichs, hervorgerufen durch den Zug der Schwere<sup>631)</sup>. Ja sogar die von dem Vulkanisten NÖGGERATH<sup>632)</sup> festgestellten Abhebungen der Deckenplatten bei der Kinnbrücke in der Nähe von Stalten wird von VOLGER nicht als Wirkung eines „auswärts gehenden Stoßes“ gedeutet, sondern im Gegenteil als das Zurückbleiben in Folge der Beharrung bei einem plötzlichen „vertikalen Niederrücken“<sup>633)</sup>. Überhaupt widerspricht VOLGER, der einige Tage vor NÖGGERATH das Erdbebengebiet besucht hatte, fast allen seinen Bemerkungen. So hält er die Beschreibung von „furchtbaren“ Spaltenbildungen und Zerreißungen des Bodens, die NÖGGERATH noch am 9. September in St. Nikolaus und bei Stalden bemerkt hatte, für völlig übertrieben und sieht sie als eine Folge der Vorurteile der vulkanistischen Theorie an<sup>634)</sup>.

*„Furchtbar fand ich dieselben nicht, weil ich nicht Vorurteil genug besaß, um den Pyriphlegeton unter denselben zu ahnen und seine Aushauchungen allenfalls zu spüren.“*

Noch schärfer als mit NÖGGERATH, den er als wissenschaftlich gebildeten Beobachter anerkennen muss, geht VOLGER mit den laienhaften Berichten von Reisenden um,

<sup>628)</sup> VOLGER, G.H.O.: a.a.O. S. 66 f.

<sup>629)</sup> VOLGER, G.H.O.: a.a.O. S. 67.

<sup>630)</sup> VOLGER, G.H.O.: a.a.O. S. 83, S. 94.

<sup>631)</sup> VOLGER, G.H.O.: a.a.O. S. 83.

<sup>632)</sup> NÖGGERATH, J.J.: Die Erdbeben im Vispthale. – Besonderer Abdruck für Freunde des Verfassers aus Nr. 282–286 der Köln. Ztg. von 1855.

<sup>633)</sup> VOLGER, G.H.O.: a.a.O. S. 94.

<sup>634)</sup> VOLGER, G.H.O.: a.a.O. S. 92.

<sup>627)</sup> VOLGER, G.H.O.: a.a.O. S. 49.



Abb. 103.  
VOLGERS Karte des Walliser Erdbebens vom 25.  
Juli 1855.

die ebenfalls von vulkanistischen Vorstellungen bestimmt waren<sup>635</sup>:

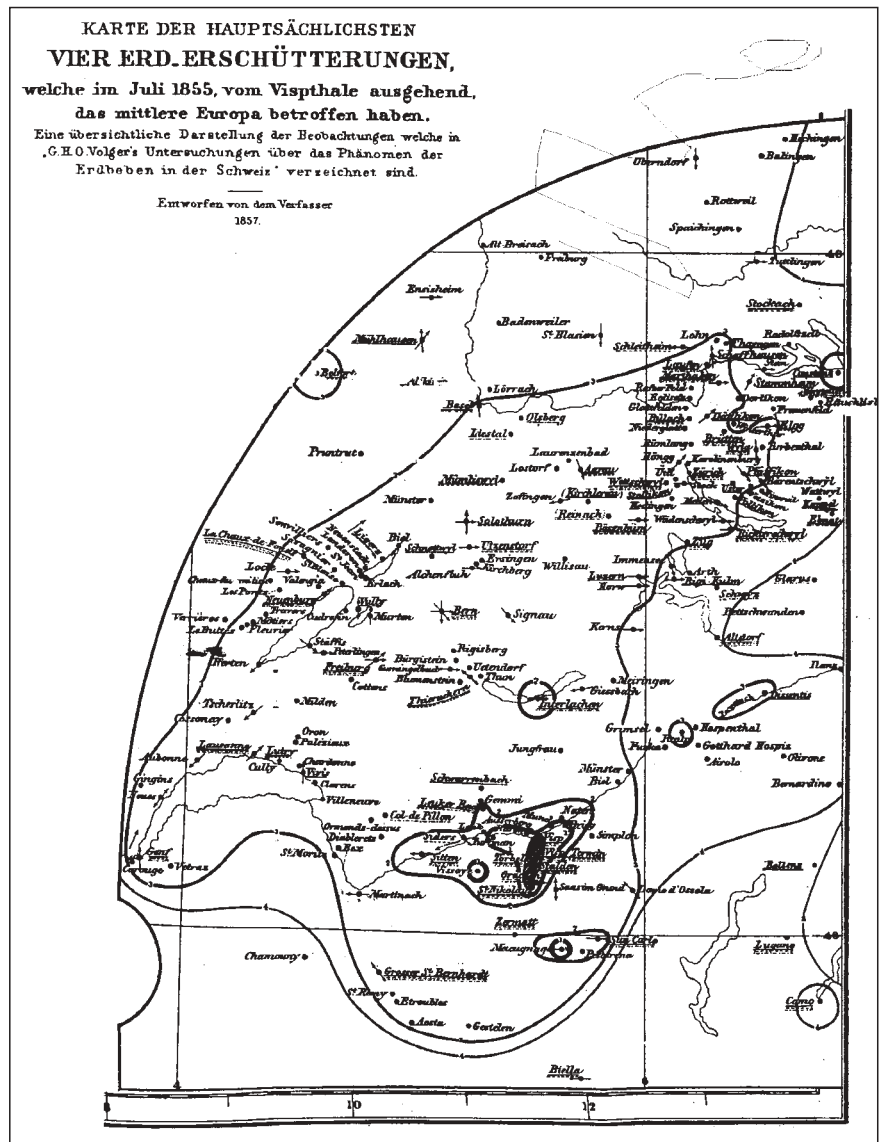
„Wenn Nachrichten Reisender, welche in den Zeitungen verbreitet wurden, von Zerreißungen des Gebirges, von Spaltung des Bodens, von Öffnung der Erde, von Schlammströmen, welche die Erde ausgespieen habe, und ähnlichen Schreckensbildern redeten, so gab sich in dieser Darstellung nur die völlig laienhafte, durch abergläubische, afterwissenschaftliche Vorurtheile bestimmte Anschauungsweise kund. Es ist von allen an Ort und Stelle gewesenen Beobachtern, welche derartige Erscheinungen und ihre Bedeutung zu würdigen im Stande waren, zugestanden worden, dass es sich bei allen diesen 'Spalten' nicht etwa um Zerreißungen und Zerklüftungen des Felsbaues der Gebirge handelte – wie man sich solche etwa durch hebende oder drängende Kraftäusserungen aus der Tiefe entstanden denken könnte und auch wirklich vielfach gedacht, hat – sondern einzig um beginnende und mehr oder minder fortgerückte Erdschlipfe der wenig beträchtlichen Schuttdecke.“

Die mehrfach berichteten Feuererscheinungen und den Schwefelgeruch, die ebenfalls auf unterirdische Feuerherde oder vulkanistische Vorurteile hindeuten, erklärt VOLGER aus dem Zusammenprallen der Felsstücke<sup>636</sup>.

Und die vielfach als „Detonationen“, „Knallputsche“ oder „Chlapfe“ erwähnten Geräusche aus dem Erdboden, die im zentralen Erdbebengebiet im Vispatal ohne wahrnehmbaren Zeitunterschied den ersten Stoß des Bodens begleiteten, waren für VOLGER ein weiterer Beweis für das Niederdrücken einer unterirdischen Hohlenschicht, die in weiterer Folge eine Wellenbewegung der Erdoberfläche in den an die Schweiz angrenzenden Ländern auslöste, wobei diese Wellenbewegung gegen Norden viel weiter ausgegriffen hat als im Süden.

Wie aus der von ihm selbst verfertigten Karte hervorgehen soll, war nach seiner Meinung die auslösende Ursache des Erdbebens ein durch Ausschwemmung eingetretener Mangel an Unterstützung im Schichtenbau des nördlichen Muldenflügels unter dem Gorner-Visp-Tal zwischen St. Nikolaus und Stalden<sup>637</sup>.

„In Folge dessen ein Niederdrücken der über dem unterhöhlten Theile des Gebirges befindlichen Bergmassen veranlasst wurde. Diese Bergmassen und die zunächst mit ihnen zusammenhängenden und an sie sich anlehnenden Gebirgsstücke erhielten hierdurch eine abwärts gehende und zugleich einestheils senkrecht zur Schichtenneigung,



also gegen Norden, andernstheils von den Seiten her gegen die Thallinie gerichtete Bewegung, während sich gegen Süd, Südwest und Südost auskreisend die Erschütterung in den oberen Schichtenmassen der Mulde nur wenig fortpflanzte. Der Stoss der niedergedrückten Gebirgsmasse erschütterte dagegen die tieferen Schichten unter dieser Gegend der Mulde mit unberechenbarer Wucht und erregte in diesen eine wellenförmige Bewegung, welche gegen Nordost, Nord und Nordwest in Zusammenhang mit der unmittelbar von der niedergedrückten Gebirgsmasse sich fortpflanzenden Erschütterung, gegen Südwest, Süd und Südost dagegen unter der wenig erschütterten Gebirgsmasse hindurch und somit durch eine, im Hochgebirge liegende, ruhende Brücke von dem übrigen stärker erschütterten Gebiete geschieden, weiter und weiter in die umliegenden Länder sich ausbreitete.“

#### 4.7.2. VOLGERS Kritik an der plutonistischen Hebungstheorie

VOLGER leitet seine Erdbebenstheorie mit äußerst kritischen, ja geradezu polemischen Bemerkungen ein. Sie beziehen sich in erster Linie auf Leopold VON BUCH und Alexander VON HUMBOLDT. Der Vulkanismus oder Plutonismus ist für VOLGER von vornherein mit einem circulus vitiosus behaftet: Aus dem feuerflüssigen Zustand des Erdinnern wird auf die Entstehung der Erdbeben durch

635) VOLGER, G.H.O.: a.a.O. S. 80 f.

636) VOLGER, G.H.O.: a.a.O. S. 86.

637) VOLGER, G.H.O.: a.a.O. S. 122.

eine Reaktion des feuerflüssigen Erdinnern gegen die Oberfläche des Planeten geschlossen und umgekehrt<sup>638)</sup>.

*„Es war natürlich, dass auf diese Weise beide Annahmen im besten Einklange standen und dass die eine derselben die andere bedingte. Dass dabei der circulus vitiosus nicht vermieden war und dass weder die eine, noch die andere Annahme vor einer einlässlicheren Kritik bestehen konnte – dies entging der kritiklosen Genialität, mit welcher so lange Zeit hindurch gerade die Geologie betrieben wurde, natürlich ganz und gar.“*

Für VOLGER gibt es jedoch keinen wissenschaftlich haltbaren Grund zu der Annahme eines flüssigen oder gar feuerflüssigen Zustandes des Erdinnern<sup>639)</sup>:

*„Es ist nie bei einem Erdbeben eine Erscheinung beobachtet worden, welche die Annahme eines flüssigen Zustandes des Erdinnern erforderte, ja, nie eine Erscheinung, welche – vorausgesetzt selbst, dass die Erde im Innern flüssig sei – gestattet, anzunehmen, dass das Erdbeben mit diesem flüssigen Zustande des Erdinnern in irgendeiner Verbindung oder Beziehung gestanden habe.“*

Ein weiterer Kritikpunkt ist die höchst unterschiedliche Auffassung von der Dicke der Erdkruste, die von 5 Meilen bei HUMBOLDT über die „friedlichen“ Schätzungen von CORDIER von 16,21 und 37 Meilen bis zu den aus astronomischen Verhältnissen geschlossenen 172 bis 215 Meilen reichen, wobei diese letzten Zahlen von HOPKINS nicht als Maximum, sondern als Minimum angesehen werden.

Diese unterschiedlichen Annahmen von der Dicke der festen Erdkruste haben jedoch auch unterschiedliche Konsequenzen für die vulkanistische bzw., wie sie VOLGER nennt, plutonistische Hebungstheorie der Erdbeben. Je dicker die Erdkruste angenommen wird, eine umso stärkere Hebung muss man annehmen, damit ihre Wirkung zur Oberfläche reicht. Andererseits müsste jede stärkere Hebung zu großartigen Zerreißen führen. Bei der Annahme von 5 Meilen Erdkrustendicke würde eine Hebung im Zentrum einer Viertelmeile großen Gebietes von nur einem halben Fuß schon zu vierzig Fuß breiten Schluchten führen – bei der Dicke der Erdkruste von 50 Meilen dagegen würde eine Hebung dieses Gebietes um einen Schuh sich bereits in 800 Schuh breiten Schluchten ausdrücken.

Derartige Spalten- oder gar Schluchtenbildungen, wie sie tatsächlich in eindrucksvoller Weise von LYELL auf Grund der Beschreibungen und Abbildungen der Bodenzerstörungen beim Kalabrischen Erdbeben (1783) von den Mitgliedern der Neapolitanischen Akademie nachgewiesen worden sind, leugnet VOLGER gänzlich<sup>640)</sup>:

*„Alles, was bei Erdbeben von Spalten des Bodens beobachtet worden ist, beschränkt sich dagegen auf blosse Abrutschungen, deren Ablösungsrisse nur sehr wenig von der Oberfläche in das oberste lockere Erdreich hinabreichen, und auf Zerklüftungen innerhalb einzelner Felslagen, welche in Folge ihrer Starrheit den Bewegungen ihrer Unterlage nicht, ohne zu zerbrechen, folgen konnten oder welche, nicht gleichmässig von ihrer Unterlage unterstützt, auf den Anstoss der Bewegung in Folge ihrer Schwere stellenweise sich niedersetzen.“*

Und wie schon ALBERT NECKER<sup>641)</sup> vor ihm, erklärt er das Kalabrische Erdbeben, bei dem weder von Hitze noch von Lava, Dämpfen oder Säuren eine Spur zu bemerken war,

sondern nur Sand und Wasser aus den sogenannten „Spalten“ des Bodens drang, als ein Einsturzbeben<sup>642)</sup>.

Ebenso leugnet VOLGER die Verifikation einer zweiten Konsequenz aus der Überprüfung des Vulkanismus. Nach allgemein anerkannten mechanischen Grundsätzen müsste eine Wellenbewegung, welche die in ihrer ganzen Dicke auf der flüssigen Unterlage erhitzte Erstarrungskruste durchquert, in den höheren Teilen der Erdkruste größere Schwankungen als in den tieferen hervorrufen, wie bei einem Turm, dessen Spitze in einem weiten Bogen hin- und herschwankt, während die unteren Teile kaum wahrnehmbar vom Lot abweichen. Gerade das Walliser Erdbeben vom 25. Juli 1855, dessen Einzelheiten er selbst mit „mikrologischer“ Sorgfalt festgestellt haben will, beweist das Gegenteil<sup>643)</sup>:

*„... eine verheerende Erschütterung der Thalgründe bei geringer Bewegung der höheren Gebirgsteile“*

Auch der in keinem Lehrbuch der plutonistischen Geologie fehlende Hinweis auf HUMBOLDTS „Erdbebenbrücken“, d.h. ruhende Landstriche, unter denen die Erdbeben sich mit ungebrochener Kraft hindurch fortpflanzen, ist für VOLGER ein Gegenbeweis für die Wirkung einer nach NAUMANN'S Lehrbuch der Geognosie sogenannten „abyssodynamischen Tätigkeit“ d.h. der Tätigkeit des Zentralfeuers. Aus diesen kritischen Bemerkungen ergibt sich<sup>644)</sup>,

*„... dass die Erscheinungen, welche wir als Erdbeben zu bezeichnen gewohnt sind, durchaus nicht denjenigen Wirkungen entsprechen, welche von Hebungen und Stößen oder Wellenbewegungen unterhalb der Erdkruste, wie der Plutonismus sich diese denkt, hervorgebracht werden müssten.“*

Ebenso scharf lehnt VOLGER die dem Vulkanismus oder Plutonismus nahestehende Dampfkesseltheorie mit der einleuchtenden Begründung ab, dass diese Analogie wegen der niemals ganz dichten Erdkruste unzulässig sei<sup>645)</sup>:

*„Es ist offenbar, daß man bei der Dampf-Theorie zunächst den Dampfkessel unserer Maschinen im Auge hatte. Die starre Erdkruste ist die Kesselwandung, innerhalb deren die gespannten Dämpfe gefangen sind und gegen welche sie mit ihrer Spannkraft wirken. Aber ist dieser Vergleich, zulässig? - Nimmermehr! - könnte es gegen Explosionen doch kein sichereres Vermeidungsmittel geben, als eine Durchlöcherung der Kesselwandung.“*

Auch eine weitere Alternative, die noch bis Ende des 19. Jh. noch von GÜNTHER vertreten worden ist, die Theorie von den feuerflüssigen Gasen von hoher Dichtigkeit im Erdinnern, die der französische Physiker BABINET als Erklärung der Ursache des Walliser Erdbebens anführte<sup>646)</sup>, wird von VOLGER in polemischer Weise als eine ungewollte Satire auf den Plutonismus bezeichnet<sup>647)</sup>:

*„Er beschreibt uns auch, wie die im Feuermeere des Erdinnern schwimmenden Felschollen unter dem Erdgewölbe dahintreiben, gegen die herabhängenden Schollen schlagen und dröhnend unter der Decke sich fortschieben und wie sie so bald blos die entsetzlichen 'ruidos subterraneos' hervorrufen, welche in erdbebenreichen Gegenden so häufig die Bewohner der Oberfläche mit Entsetzen erfüllen, bald aber mit wiederholten Stößen die ganze Decke mit fürchterlichen Erdbeben erschüttern.“*

Seine Vorliebe für Parodien veranlassen ihn jedoch zu Aussprüchen, die ihm später selbst ernsthaft als eigene Meinung zugeschrieben wurden. So sagt er<sup>648)</sup>:

<sup>638)</sup> VOLGER, G.H.O.: a.a.O. S. 364.

<sup>639)</sup> VOLGER, G.H.O.: a.a.O. S. 364 f.

<sup>640)</sup> VOLGER, G.H.O.: a.a.O. S. 366.

<sup>641)</sup> NECKER, A.: On a probable Cause of certain Earthquakes. – The London and Edinburgh Philosophical Magazine and Journal of Science, Bd. 14, S. 370, 1839.

<sup>642)</sup> VOLGER, G.H.O.: a.a.O. S. 399.

<sup>643)</sup> VOLGER, G.H.O.: a.a.O. S. 367.

<sup>644)</sup> VOLGER, G.H.O.: a.a.O. S. 318.

<sup>645)</sup> VOLGER, G.H.O.: a.a.O. S. 373.

<sup>646)</sup> Revue des deux mondes, 1. Sept. 1855, S. 1119.

<sup>647)</sup> VOLGER, G.H.O.: a.a.O. S. 375.

<sup>648)</sup> VOLGER, G.H.O.: a.a.O. S. 379.

„Man gestatte mir eine Parodie – Kometen deuten auf Krieg, wie die Erdbeben auf Vulkane.“

Diese Parodie wurde später von HOBBS & RUSKA offensichtlich aus Unkenntnis der Originalquelle missverstanden. Der schärfste Gegner der vulkanistischen Erdbeben-theorie wurde auf diese Weise zu einem ihrer unkritischsten Anhänger gemacht<sup>649)</sup>:

„So sehen wir Volger noch im Jahre 1855 das Feldge-schrei erheben: 'Kometen weisen auf Kriege hin, wie Erdbe-ben auf Vulkane!'“

Was jedoch VOLGER beabsichtigte, war eine methodolo-gisch berechnete Kritik an der Auffassung, dass manchmal beobachtete Gleichzeitigkeit von Phänomenen dazu be-rechtigt, auf einen Kausalzusammenhang zu schließen. Während, wie VOLGER sagt, der früher behauptete Zusam-menhang von Kometen und Kriegen nur mehr ein „mitleidiges Kopfschütteln“ hervorrufen kann, ist es die anerkannte Logik der plutonistischen Geologie, aus der zuweilen beob-achteten Gleichzeitigkeit von Erdbeben und Vulkanismus einen Kausalzusammenhang zu machen. Als Beleg kann VOLGER wieder das Lehrbuch der Geognosie von NAUMANN zitieren. Denn dieser schreibt ganz ausdrücklich<sup>650)</sup>:

„Die zuweilen beobachtete Gleichzeitigkeit mancher sehr heftigen Erdbeben mit gewissen Symptomen entfernt liegen-der Vulkane liefert einen direkten Beweis für den Kausal-zusammenhang, welcher die beiderlei Erscheinungen ver-knüpft.“

Obwohl NAUMANN ebenso wie HUMBOLDT weiß, dass<sup>651)</sup>

„... wenn man Nachricht von dem täglichen Zustande der gesammten Erdoberfläche haben könnte, man sich sehr wahrscheinlich davon überzeugen würde, dass fast immer-dar, an irgend einem Punkte, diese Oberfläche erbebt.“

Bei einer so großen Häufigkeit der Erdbeben ist für VOLGER eine derartige Gleichzeitigkeit mit Vulkanausbrüchen in irgendwelchen entfernten Gegenden geradezu unvermeidlich. Mit dieser Kritik bricht VOLGER mit einer langen Tradition spekulativer Überlegungen über die zeitliche Koinzidenz weit voneinander liegender Erdbeben und vulkanischer Phänomene, die wie bereits gezeigt, seit KANT bis zu DARWIN und HUMBOLDT immer wieder als möglicher Kausalzusammenhang gedeutet worden ist<sup>652)</sup>.

„Ein wahrer Unfug ist mit den Zeitbeziehungen getrie-ben worden, durch welche man – ebenfalls in plutonisti-schem Sinne – Erdbeben der verschiedensten Gegenden mit einander in Verbindung zu setzen suchte, um 'das Erdbe-ben' als ein gewisses gespenstisches Etwas erscheinen zu las-sen, welches unter dem Erdboden seinen Sitz hat und lau-nenhaft bald hier, bald dort einen Spuk treibt, der nur zu sehr an Tischrückerei und Klopfgeisterei erinnert.“

VOLGERS scharfe und polemische Kritik wird dadurch verständlich, dass auch das Walliser Erdbeben vom Jahre 1855 auf leichtfertige Weise in einen kausalen Zusam-menhang mit den orientalischen Beben in Konstantinopel und Brussa gebracht und behauptet worden ist<sup>653)</sup>, dass bis zur Mitte des Jahres 1855 das „Zentrum der Erschütterungen“ im Orient gelegen und dann in die Schweiz übergegangen sei, als ob es sich bei einem Erdbeben um ein unter dem Erdboden „wanderndes Gespenst“ handelte. Nach seiner Auffassung muss man in der Behauptung derartiger Zu-sammenhänge ebenso vorsichtig sein wie in der Anerken-nung von „Gleichzeitigkeiten“ von Vulkanphänomenen und

Erdbeben in Quito und Columbien in Amerika und Lissabon und Neapel in Europa, wie sie im vorausgehenden Jahr-hundert immer wieder angeführt worden sind. Solche Spe-kulationen sind nach VOLGER vor allem dann abzulehnen, wenn sie als Beweise für den feuerflüssigen Zustand des Erdinnern als gemeinsame Grundursache für Erdbeben und Vulkanismus dienen.

In diesem Sinne lehnt VOLGER auch die Erklärung der für ihn offenbar erwiesenen Mondperiodizität und der in der Jahresperiode verborgenen Sonnenperiodizität der Häufig-keit der Erdbeben durch die Ebbe und Fluttheorie des flüs-sigen Erdkerns ab. Denn, wie er richtig sagt<sup>654)</sup>,

„... die astronomischen Einflüsse sind ausnahmslos. Das Meer hat daher Ebbe und Fluth auch noch nie vergessen, noch nie eine Periode ohne Gezeiten vorübergehen lassen. In einem Stossgebiete aber vergehen oft viele Monate, ohne dass eine einzige Bewegung eintritt, vergehen oft viele Jahre ohne eine solche. Dieses unterbrochene Auftreten eines von Mond- und Sonnenperiodizität abhängigen Phänomens beweist mit grösster Bestimmtheit, dass der Eintritt geknüpft ist an eine gewisse jedesmalige Vorbereitung, wel-che somit immer von Zeit zu Zeit sich wiederholen, d. h. von Veränderungen, die im Laufe der Zeiten im Erdboden vor sich gehen, abhängen muss.“

#### 4.7.3. Die Verbindung der Hohlschichtenhypothese mit der Theorie der „Fallwellen“

So sinnvoll VOLGERS Kritik an manchen Punkten der plu-tonistischen Hebungstheorie und an dem extremen Vuka-nismus auch ist, sein eigener Erklärungsversuch der pri-mären Ursache des Walliser Erdbebens, den er auf andere große historische Erdbeben wie Lissabon (1755) und Kala-brien (1783) ausdehnte, konnte sich noch weniger durch-setzen. Denn, wie bereits gezeigt<sup>655)</sup>, war die Hypothese vom Niederbrechen der von ihm sogenannten „Hohlschich-ten“ – d.h. von zwar niedrigen aber in der Flächenausdeh-nung sehr großen durch Auswaschung entstandenen Hohl-räumen – aus physikalisch-mechanischen Gründen nicht haltbar. VOLGERS Fixierung auf diese vielkritisierte speziel-le Hypothese verdeckt jedoch den Wahrheitskern seiner Grundidee.

Denn seine auch noch heute akzeptable Grundauffas-sung ist viel allgemeiner. Sie geht von der Überlegung aus, dass Erdbeben von den jeweiligen Bedingungen abhängen, die im Boden selbst vorhanden sind. Der Eintritt von Erdbeben kann zwar durch periodische Einflüsse erfolgen, welche außerhalb des Erdbodens liegen, wie z.B. die Anziehungskraft von Sonne und Mond, Barometerstände, Regenfälle usw. Aber gerade der Umstand, dass der Ein-tritt des Erdbebens keineswegs diesen periodischen Ein-flüssen immer folgt, sondern ebenso oft erfolgt, wie er nicht erfolgt, beweist, dass nicht ein andauernder gleichbleiben-der Zustand wie die Flüssigkeit des Erdinnern die Bedin-gung für das Eintreten von Erdbeben ist, sondern die Ver-änderungen der Beschaffenheit des Bodens, die diesen zur Erzeugung von Erdbeben in unbestimmten Zeiträumen vorbereiten.

Dass es sich bei dieser Vorbereitung um einen Aufbau von Spannungen im Erdboden handelt, die dann zu Brü-chen und Zerreibungen führen, wird durch die Analogie mit dem Zerreißen eines Eisfeldes oder Gletschers deutlich, das VOLGER aus den alten Beschreibungen von Josias SIMMLER und eigenen Erfahrungen kennt. So sagt er von dem „Schründewerfen“ der Gletscher<sup>656)</sup>:

649) HOBBS & RUSKA: Erdbeben. – S. 10, Leipzig 1910.

650) NAUMANN: Lehrbuch der Geognosie, 2. Aufl. S. 185; vgl. VOLGER, G.H.O., a.a.O. S. 380.

651) VOLGER, G.H.O.: a.a.O. S. 380.

652) VOLGER, G.H.O.: a.a.O. S. 380.

653) Favra in Genf, Archives des sciences phys. et nat., Bd. 34, S. 29 ff.

654) VOLGER, G.H.O.: a.a.O. S. 515.

655) Vgl. oben Kap. 3.5.2.

656) VOLGER, G.H.O.: a.a.O. S. 388.

„Ohne hier weiter in Untersuchungen über die Bedingungen des Eintrittes derartiger Ereignisse einzugehen, genügt es, hervorzuheben, dass diese Erschütterungen in den aus 'Eisfels' bestehenden Theilen des Erdbodens hervorgerufen werden durch Zerreibungen, welche unter starker Spannung in einer zu dieser Spannung senkrechten Richtung geschehen. Diese Spannung wird bewirkt entweder durch die zusammenziehende Temperaturverminderung, oder durch die ungleichmässige Begünstigung der Bewegung der verschiedenen Theile des 'Eisstromes', oder endlich durch Einstürzungen unterhöhlter Theile des Gletscherkörpers. Die erste der genannten Ursachen mag auf die Gletscher, bei ihrer Mächtigkeit und bei der geringen Tiefe, bis zu welcher Temperaturveränderungen innerhalb derselben sich erstrecken, kaum in Betrachtung kommen.“

Und fügt aus eigener Erfahrung hinzu<sup>657)</sup>:

„Um so häufiger beobachtet man ihre Wirkung auf der winterlichen Eisdecke stehender Gewässer, wo ich selber beim Schlittschuhlaufe mit zunehmender Kälte nach Sonnenuntergange vielfach das Reissen des Eisfeldes unter schussartig schallenden Schlägen und mit heftigem Erzittern erlebt habe.“

In diesem Sinn ist auch das Zerreißen der unter Spannung stehenden Felsmassen mit Erdbeben und krachenden Geräuschen verbunden. Aufgrund dieser Überlegungen kommt dann VOLGER zu der weiteren bedeutsamen, sowohl das Prinzip des Isostasie als auch der tektonischen Erdbeben vorwegnehmenden Einsicht, dass es sich bei Erdbeben um Störungen und Wiederherstellen des Gleichgewichtszustandes durch Spannungsausgleich des Erdbodens handelt<sup>658)</sup>.

„Nicht durch das Zerreißen fester Eis- oder anderer Felsmassen allein werden Bodenerschütterungen hervorgerufen, sondern auch durch die Ortsveränderung lastender Massen überhaupt, in Folge deren der Gleichgewichtszustand des Erdbodens ganz ähnlich gestört wird, wie in einer Flüssigkeit, und ganz ähnlich, wie hier, die Störung in Wellenbewegungen sich kund gibt, welche bis zu erlangter Ruhe um den neuen Gleichgewichtszustand schwanken.“

Und in einem eigenen Kapitel über „Art und Gang der Bewegung“ stellt er als das wichtigste Ergebnis seiner Untersuchungen des Walliser Erdbebens fest, dass es sich bei dieser Art der Bewegung, welche die eigentlich direkte Ursache der Erdbeben ist, um eine Wellenbewegung ohne Massentransport durch die Schichten der Erdkruste hindurch handelt<sup>659)</sup>.

„Es zeigt sich nämlich, dass Art und Gang der Erdbebenbewegung nicht etwa von einem allgemeinen Schaukeln und Wogen der Unterlage des festen Erdbodens abhängen, sondern dass eine Wellenbewegung stattfindet, welche sich in den verschiedenen Lagen des festen Erdbodens selbst fortpflanzt und welche von einem Stosse ausgeht, den der Erdboden an einem Orte erleidet.“

Wie MALLETT vergleicht auch VOLGER ein Erdbeben mit der Wirkung einer „Sprenggrube (Mine)“, allerdings mit dem grundsätzlichen Unterschied, dass er nicht wie MALLETT an die Sprengwirkung nach oben, sondern an den Rückstoß nach unten denkt. Das Wesentliche an diesem Vergleich ist für ihn also nicht die Sprengung, sondern der abwärts gerichtete Stoß, der eine „Undulation“ oder Wellenbewegung auslöst, die in ähnlicher Weise vor sich geht, wie die sogenannten „Fallwellen“, d.h. die gewöhnlichen Wellen in erschütterten Flüssigkeiten. Und mit ausdrück-

licher Berufung auf die Wellenlehre der Brüder WEBER<sup>660)</sup> sagt VOLGER<sup>661)</sup>:

„Jeder Tritt auf den Fussboden eines Zimmers, jede Berührung eines Körpers erregt in demselben Wellenbewegungen, welche nach sehr ähnlichen Gesetzen fortschreiten und von den Gränzen der Körper zurückgeworfen werden, wie die Wellen im Wasser fortschreiten und von dem Rande, der es begränzt, zurückgeworfen werden. Wie viel mehr müssen plötzliche Überwindungen mächtiger Spannungen, wie solche in den zum Festlande und Gebirge sich empordrängenden Schichten nothwendig entstehen, wie viel mehr müssen plötzliche Bewegungen, welche unter dem Einflusse der Schwere im Erdboden geschehen, mit der Erregung von Wellenbewegungen verbunden sein!“

Entsprechend seiner von ihm bevorzugten Hohlschichtenhypothese will sich VOLGER, der zwar, wie das obige Zitat zeigt, auch den Spannungsausgleich von Erdbodenschichten als primäre Ursache ansieht, ausschließlich nur mit dem Herabstürzen schwerer Massen beschäftigen, die er dann um so leichter und konsequenter mit seiner Theorie der Fallwellen verbinden kann<sup>662)</sup>.

„In der That zeigen uns die Erdbeben, dass der Erdboden gegen mächtige Stösse, welche demselben ertheilt werden, sich ganz nach der Weise flüssiger Körper verhält, mit Abänderungen freilich, welche sich zum Theil künstlich nachahmen lassen, indem man die in Schwingungen versetzten Flüssigkeiten durch beschränkende feste Körper stört, welche aber die Grundgesetze der Schwingungen flüssiger Körper keineswegs zu verlöschen im Stande sind.“

VOLGER bleibt jedoch bei diesen allgemeinen Bemerkungen nicht stehen, sondern liefert vielmehr auf Grund der Wellenlehre der Brüder WEBER eine Theorie des gesamten zeitlichen Ablaufs des Walliser Erdbebens. Er beginnt mit der Erklärung der Ursache des Hauptstoßes. Für ihn ist das einfachste Mittel zur Erteilung eines solchen Stoßes der Fall eines schweren Körpers von der Decke einer Höhle oder das Niederbrechen eines Gebirgsstückes auf die Grundlage einer Hohlschicht. Die unmittelbare Wirkung eines solchen unterirdischen Stoßes ist ähnlich wie der Stoß auf das mit einer Eisfläche bedeckten Wassers. Da der Erdboden leichter zusammendrückbar ist als das Wasser, wird zwar der Stoß sich nach unten hin weit fortpflanzen, aber weil die träge Decke des oberen Erdbodens das nach dem Stoß notwendige Ausweichen an die Oberfläche behindert, wird sich anders als bei einer unbedeckten Flüssigkeit auch die Wellenbewegung horizontal in weite Entfernungen ausbreiten. Der unmittelbare Stoß wird daher nur unter dem Stoßort wahrnehmbar sein, an jedem anderen Ort muss er aber durch die schon eingetretene Wellenbewegung verhüllt werden.

Die Wellenbewegung selbst wird dann von VOLGER ganz analog der Fortpflanzung von Wasserwellen geschildert<sup>663)</sup>:

„Durch den Stoss wird rings um den Stossort, im Wasser augenblicklich, im Felsenbau der Erde jedoch sicher nicht ohne einen gewissen, wenn auch äusserst geringen, Zeitverlust, eine Bewegung erregt. Die Vertiefung, welche durch den Stoss entstehen muss, wie gering sie auch immer sein mag, muss ein Emporsteigen der zum Ausweichen gezwungenen Theile veranlassen. Der somit in der Umgebung des Stossortes entstehende Wall – dessen Form, je nachdem der Stoss einen Punkt, eine Linie oder Fläche traf, eine verschiedene ist – wird sodann der mittelbare Erreger der Fallwellen.“

657) VOLGER, G.H.O.: a.a.O. S. 389.

658) VOLGER, G.H.O.: a.a.O. S. 390.

659) VOLGER, G.H.O.: a.a.O. S. 425.

660) Wellenlehre auf Experimente gegründet etc. Leipzig 1825, S. 7 § 5.

661) VOLGER, G.H.O.: a.a.O. S. 428.

662) Ebenda.

663) VOLGER, G.H.O.: a.a.O. S. 430.

Diese Fallwellen kommen durch die Schwere der durch den ersten Stoß emporgedrückten Teile zustande, die bis zu derselben großen Tiefe hinabsinken, bis zu welcher der Stoß unmittelbar gewirkt hat. Dadurch entsteht außerhalb des Stoßortes ein neuer Wall und über dem Stoßort selbst eine „aufhüpfende Bewegung“, bei der, wenn es sich um Flüssigkeiten handelt, ein aufspringender Tropfen sich sogar von der Oberfläche losreißen kann. Auf diese sozusagen umgekehrte Weise kann VOLGER das vielfach beschriebene und auch beim Walliser Erdbeben beobachtete oder nachträglich festgestellte Emporschleudern von Gegenständen erklären, das heutzutage als vertikale Bodenbeschleunigung hervorgerufen durch die longitudinale Kompressionswelle erkannt worden ist.

Für VOLGER sind alle diese Phänomene ausschließlich als Folge des Niederbrechens einer Hohlschicht zu erklären<sup>664</sup>:

*„Beim Niederbrechen eines Gebirgsstückes über einer Hohlschicht wird das Zusammenrücken von den Seiten her über dem Bruche, das Emporsteigen des ersten Walles und der Rückwurf über dem Stoßorte, in mehrfacher Wiederholung rasch auf einander folgend, nur eine so wilde tumultuarische Erschütterung hervorrufen können, wie sie am 25. Juli 1855 zwischen St. Nikolaus und Stalden stattfand.“*

Auch die darauf folgenden zahlreichen Wogungen des Grundes im Visp-Tal sind nach seiner Auffassung den Erscheinungen der Wasserwellen durchaus vergleichbar<sup>665</sup>:

*„Die neue Umwallung, welche rings um den ersten Wall sich gebildet hatte, hat unterdessen begonnen, ihren Umfang zu erweitern und nach Aussen fortzuschreiten. Sowie aber dieselbe so weit fortgeschritten ist, wie die Breite ihrer eigenen Grundfläche beträgt, drängt sie innerhalb hinter sich eine neue Welle empor, etwas niedriger und schmäler als sie selbst, welche ihr folgt und welche innerhalb hinter sich ebenso wieder eine vierte Welle erzeugt. Auf diese Weise sieht man im Wasser, nachdem man einen Stein hineingeworfen, wohl 50 und mehr Wellen innerhalb hinter einander entstehen und auswärts einander nachfolgen. Es scheint der Erdboden beim Erdbeben ähnliche Vorgänge darzubieten. ... Die erste auskreisende Welle drängt die ihr folgende mehr und mehr empor, wie diese die ihr nachschreitende und jede die ihr folgende. Dabei aber nimmt die erste und nach ihr jede folgende, welche die vorderste wird, allmählig an Höhe ab und an Breite zu, verflacht sich also und verschwindet endlich.“*

Einen wesentlichen Unterschied zu den Wellenbewegungen im Wasser muss jedoch auch VOLGER anerkennen. Wellen in Flüssigkeiten sind immer genau kreis- oder ringförmig. Sie breiten sich auch auf diese Weise immer weiter fort. Seine eigene sorgfältig ausgearbeitete Karte des Walliser Erdbebens zeigt aber deutlich, dass die Fortpflanzung des mächtigen Hauptschlages vom 25. Juli 1855 gegen Norden mindestens dreieinhalbmal so groß wie gegen Süden.

Die Erklärung, dass Erdbeben durch Gebirgsketten, in diesem Fall durch Jura und Alpen abgeschnitten werden, wird jedoch von VOLGER auf das heftigste bestritten<sup>666</sup>:

*„Die Wellen gehen in der Tiefe unter den Gebirgszügen hindurch und wirken in den jenseitigen Niederungen mit fast ungeschwächter Kraft, während in dem Gebirge selbst, besonders in dessen höheren Theilen, wenig oder gar nichts von der Bewegung verspürt wird.“*

<sup>664</sup>) Ebenda.

<sup>665</sup>) VOLGER, G.H.O.: a.a.O. S. 430 f.

<sup>666</sup>) VOLGER, G.H.O.: a.a.O. S. 442.

Der eigentliche Grund für das von der Kreisform so starke Abweichen der Ausbreitung der Erdbebenwellen beim Walliser Erdbeben liegt in dem Unterschied zwischen einer Flüssigkeit und den Gesteinsschichten des Erdbodens. Während sich in einer Flüssigkeit die Wellenbewegung vom Stoßort gleichmäßig in allen Richtungen ausbreitet, kann im Erdboden die Stoßrichtung vom Loth erheblich abweichen. Im Fall des Walliser Bebens war der Stoß nicht vertikal, sondern schräg und zwar nordwärts gerichtet<sup>667</sup>, weil zu beiden Seiten des Visp-Tales die beiden Gebirgsstücke, die das Tal begrenzen, sich nach Meinung von VOLGER in einem „niederrückenden Zusammenstoß“ trafen. Aus dem Zusammenwirken beider Stöße, von denen der eine nordwestlich und der andere nordöstlich gerichtet war, ergab sich für ihn die gemeinsame nach Norden ausgreifende Stoßrichtung<sup>668</sup>.

An diesem Punkt zeigt sich deutlich das auch in der Wissenschaftsgeschichte, z.B. an der ptolemäischen Astronomie, häufig feststellbare Faktum, dass es nach den Regeln der formalen Logik durchaus möglich ist, aus falschen Hypothesen richtige Folgerungen manchmal sogar in Form von zutreffenden Prognosen zukünftiger Ereignisse, wie z.B. Planetenstände aus der falschen geozentrischen Hypothese abzuleiten<sup>669</sup>. In diesem Fall führte die mit Sicherheit aus physikalischen Gründen falsche Hohlschichtenhypothese zu der richtigen Folgerung, dass beim Spannungsausgleich oder beim Wiederherstellen der Gleichgewichtslage im Erdboden bestimmte Stoßrichtungen bevorzugt sind, die dann später im Rahmen der Theorie der tektonischen Erdbeben von HÖFER<sup>670</sup> als „Stoßlinien“ bezeichnet wurden.

Eine weitere Erklärung von Auswirkungen des Walliser Erdbebens, in der sich Wahrheit und Falschheit vermischen, liefert VOLGER im Hinblick auf das Verhalten von Türmen und hohen Gebäuden. Am 25. Juli 1855 wurde allgemein in der Visp-Gegend nicht nur das Hin- und Herschwanke von Türmen beobachtet, sondern man sah auch sehr häufig, dass die Turmspitzen völlig abgeworfen wurden. In Zürich wie in Freiburg bemerkte man ebenfalls das Schwanken der Turmspitze, zu Bern, zu Lentigny im Kanton Freiburg, zu Kirchheim an der Teck in Württemberg und in mehreren anderen Orten fühlte man die Bewegungen auf Türmen sehr stark. Und an den entferntesten Orten, wie in Wetzlar und Bischofswerda wurden die Schwingungen überhaupt nur auf den Türmen wahrgenommen. Sogar in Paris und Stuttgart wurden nicht selten in den oberen Stockwerken hoher Gebäude Schwingungen bemerkt, während sie zu ebener Erde unbemerkt blieben.

Im Rahmen seiner Fallwellentheorie liefert VOLGER folgende plausible Erklärung des verschiedenen Verhaltens von Bergen und Gebäuden bei Erdbeben: Während sich die Berge wie große Schiffe verhalten, unter deren breite Grundfläche meistens mehrere Erdbebenwellen gleichzeitig hindurchlaufen, so dass der Berg nicht als Ganzes in Schwankungen geraten kann, verhält es sich bei den hohen Gebäuden und insbesondere bei den Türmen mit ihrer im Vergleich zur Höhe extrem kleinen Grundfläche ganz anders<sup>671</sup>:

*„Dieselben müssen in dem Augenblicke, wo den Boden unter ihnen die Welle durchläuft, erst durch den Anhub vorwärts in der Richtung der vorschreitenden Welle, dann durch den Abhub rückwärts sich neigen, und diese Schwankung muss sich bei jeder Welle wiederholen.“*

<sup>667</sup>) VOLGER, G.H.O.: a.a.O. S. 433.

<sup>668</sup>) VOLGER, G.H.O.: a.a.O. S. 434.

<sup>669</sup>) Vgl. OESER, E.: Wissenschaftstheorie als Rekonstruktion der Wissenschaftsgeschichte. – Bd. 1, S. 81–108, Wien und München 1979.

<sup>670</sup>) HÖFER, H.: Wien. Ak. S. ber., Bd 74, pt. 1, 1877, S. 819–856.

Vgl. DAVISON, S. 134.

<sup>671</sup>) VOLGER, G.H.O.: a.a.O. S. 445.

Darüber hinaus kann aber VOLGER noch eine weitere, viel bedeutsamere Erklärung abgeben, die bereits beim Erdbeben von Comrie 1845 eine experimentelle Verifikation durch die Konstruktion eines umgekehrten Pendels als Seismometer erfahren hat<sup>672)</sup>:

*„Nicht allein wird dabei die Schwingungsbahn der höheren Theile des Thurmes, weil derselbe ein verkehrtes Pendel bildet, verhältnissmässig lang und daher sehr fühlbar, selbst sichtbar, sondern es tritt noch eine zweite Verstärkung der Bewegung hinzu. Ein Thurm verhält sich wie ein Stab, welcher an einem Ende befestigt, am anderen frei beweglich ist. Bei einem solchen ist das letztere Ende viel beweglicher, als der untere Theil und die Mitte, und folgt, weil es nur von unten her gehalten wird, nach begonnener Bewegung dem Beharrungstrieb noch über die Zeit hinaus, wo dem Anhub schon der Abhub der Welle gefolgt ist, und daher entsteht die Erscheinung, dass so häufig die Thurmspitzen völlig abgeworfen werden.“*

#### 4.8. Seismische Geometrie und Mechanik: KARL VON SEEBACH

Der unmittelbare Anlass zu den theoretischen Überlegungen v. SEEBACHS über Erdbeben war das so genannte Mitteldeutsche Erdbeben vom 6. März 1872, über das er eine eigene Monographie verfasste<sup>673)</sup>. Ein Vergleich mit anderen europäischen Erdbeben, den v. SEEBACH durchführt, demonstriert die beträchtliche Verbreitung dieses Erdbebens: mit Ausnahme des Rheinischen Erdbebens vom 29. Juli 1846, das nach NÖGGERATH wahrscheinlich ein Gebiet von 3.848 Quadratmeilen und des Walliser Erdbebens, das nach VOLGER 3.700 Quadratmeilen umfasst hat, hatte es nach Ausschluss „verdächtiger“ Orte (wie z.B. Passau, München, Heidelberg etc.) mit seinem auf mindestens 3.100 Quadratmeilen geschätzten Erschütterungsgebiet eine größere Verbreitung als die meisten europäischen Erdbeben dieser Zeit. Auch das Neapolitanische Erdbeben vom 16. Dez. 1857, das nach MALLETT 1.843,7 deutsche geographische Quadratmeilen umfasst, war in seiner Verbreitung geringer, jedoch in seinen Auswirkungen wesentlich stärker.

Die große Verbreitung des mitteldeutschen Erdbebens war für v. SEEBACH bereits ein Hinweis auf die größere Tiefe des Erdbebenherdes, dessen genauere Bestimmung er sich durch seine neue Berechnungsmethode erhoffte. Unterirdische Beobachtungen in den Kohlengruben zeigten außerdem, dass einzelne Punkte mitten im Erdbebengebiet in einem „lokalen Erdbebenschatten“ liegen, dessen Ursache sich jedoch v. SEEBACH nicht erklären konnte. Sie stimmen aber sehr gut mit den Angaben älterer Erdbeben überein, aus denen hervorgeht, dass oft einzelne Orte auf der Erdoberfläche in einem erschütterten Gebiet völlig unbewegt bleiben, was bereits HUMBOLDT, auf den v. SEEBACH in diesem Zusammenhang ausdrücklich hinweist, mit dem Ausdruck „Erdbebenbrücken“ bezeichnet hatte.

Über die Art und Weise, wie das Erdbeben wahrgenommen wurde, gab es in den verschiedenen Berichten eine „befriedigende Übereinstimmung“. Allgemein wurde es als eine „wellenförmig vorüberziehende Bewegung des Bodens“ beschrieben. Von den Berichten, die v. SEEBACH bekannt waren, gaben die meisten an, dass es sich um zwei „Stöße“ oder „Anschwellungen“ handelte, wobei manche behaupteten, dass der zweite Stoß stärker war als der erste. Von einigen Orten wurde nur ein Stoß gemeldet. Dagegen wurden an anderen Orten 3, 4 und sogar bis 6

Stöße oder Wellen verspürt, was jedoch v. SEEBACH nur als Folge von bloß „lokalen Brechungen und Spiegelungen“ zu erklären versucht. Auch angebliche sekundäre Erschütterungen, die dem Hauptstoß am 6. März gegen 4 Uhr Nachmittag vorausgegangen oder nachgefolgt sein sollen, werden von v. SEEBACH entweder als Sinnestäuschung verworfen oder als „durch anderweitige Ursachen hervorgerufenes Erzittern des Bodens“ bezeichnet, das nur irrtümlicherweise dem Erdbeben zugeschrieben worden ist.

Somit bleiben für ihn schließlich nur zwei Stöße übrig, die an der Erdoberfläche als wellenförmige Bodenbewegungen bemerkbar waren. Wendet man jedoch die Theorie der longitudinalen und transversalen Wellen an, dann reduzieren sich die beiden Stöße wegen der unterschiedlichen Fortpflanzungsgeschwindigkeit dieser beiden Wellenarten auf einen einzigen Stoß, der beide Wellenbewegungen ausgelöst hat. Wegen der an verschiedenen Orten unterschiedlichen Zeitintervalle zwischen diesen beiden Erschütterungen hat v. SEEBACH grundsätzliche Vorbehalte<sup>674)</sup>:

*„So nahe es aber auch liegt, diese beiden Erschütterungen nur als das Resultat eines einzigen Anstosses anzusehen, welcher das eine mal durch die longitudinalen, das andere mal durch die transversalen Schwingungen fortgepflanzt wurde, so sind doch die Beobachtungen über das Zeitintervall zwischen den beiden Erschütterungen an den verschiedenen Orten bei weitem nicht genau genug um dies beweisen zu können; auch wäre der Theorie nach zu erwarten, dass der erste Stoß dann der stärkere gewesen wäre.“*

Die großen Differenzen in den Zeitangaben über die Dauer des Erdbebens, die von einer Sekunde bis zu 5–6 Minuten reichen, führt v. SEEBACH auf die mangelhafte Übung der Beobachter in der Abschätzung kleiner Zeiträume zurück, doch hält er es für unmöglich festzustellen, wo die Grenze dieser Schätzungsfehler liegt und wo etwa reale Unterschiede beginnen. Obwohl v. SEEBACH die Ursache des Mitteldeutschen Bebens für ungeklärt hält, richtet er als Kenner des Vulkanismus seine besondere Aufmerksamkeit auf die das Beben begleitenden Schallphänomene. Im Allgemeinen wurden diese Schallphänomene mit dem Rollen eines entfernten Donners oder mit dem Geräusch eines vorüberfahrenden Wagens verglichen. Aber an manchen Orten wurde auch ein unheimliches Brausen bei völliger Windstille gehört, das mit dem Vorüberfliegen einer großen Schar von Vögeln verglichen wurde. v. SEEBACH selbst erinnert sich bei diesen Schilderungen an seine eigenen Erlebnisse bei der Besteigung des Vulkans Telica in Nicaragua und anlässlich seines Aufenthaltes auf Santorin<sup>675)</sup>:

*„Bei kaum bewegter Luft wurden wir dreimal durch ein merkwürdiges Getöse aufgeschreckt. Dasselbe begann ähnlich wie ein heftiger Windstoß, steigerte sich dann zu dem schrillen Brausen des Gebläses eines Hochofens und erreichte endlich ein donnerndes Rasseln, wie ein in mässiger Entfernung vorüberfahrender Eisenbahnzug, bis es dann ein wenig nachließ und plötzlich endigte. Es war ein eigenthümliches dumpf rollendes und doch laut dröhnendes Tosen, bei dem wir jedesmal völlig unentschieden blieben woher es komme, ob von oben oder von unten. Ich dachte damals zuerst an einen jähen Wirbelsturm, während meine Begleiter an das Tosen einer großen Stromschnelle oder an das Poltern eines herabstürzenden Felsblocks erinnert wurden. Erst über ein Jahr später gewann ich auf Santorin die Sicherheit, daß dies Getöse ein unterirdisches und vulkanisches war, und in diesen Fällen wenigstens zweifellos veranlaßt durch das Entweichen stark gepreßter Gase.“*

<sup>672)</sup> Ebenda.

<sup>673)</sup> SEEBACH, K. v.: Das mitteldeutsche Erdbeben vom 6. März 1872. Ein Beitrag zu der Lehre von den Erdbeben. Mit zwei Karten und drei Tafeln. – Leipzig 1873.

<sup>674)</sup> SEEBACH, K. v.: a.a.O S. 109 f.

<sup>675)</sup> SEEBACH, K. v.: a.a.O S. 111.

Voneinander abweichend waren die Berichte in der Frage, ob diese Schallphänomene vor oder nach dem eigentlichen Beben zu hören waren. Viele Berichte machen darüber überhaupt keine Angaben. Außerdem war es häufig schwer festzustellen, ob diese Geräusche nicht erst in den Gebäuden selbst als Wirkungen des Erdbebens entstanden sind. Auch an den Angaben über die Richtung der Stöße übt v. SEEBACH massive Quellenkritik. Denn die von ihm in die Karte eingezeichneten Richtungspfeile, die auf diesen Angaben beruhen, verlaufen völlig regellos. Der Hauptgrund für diese Differenzen liegt nach v. SEEBACHS Meinung in der Verwechslung der Richtung der Wellenbewegung mit dem in der astronomischen Fachterminologie sogenannten „Azimut“, der nur die Himmelsrichtung, nicht aber das Woher und Wohin der Wellenbewegung angibt. Häufig wurde auch die der wahren Richtung des Stoßes diametral entgegengesetzte Richtung des Impulses des Trägheitsmomentes des eigenen oder fremden Körpers mit der Richtung der Fortpflanzung der Wellenbewegung verwechselt, obwohl schon seit langem vor allem durch MALLETS Überlegungen klar war, dass die vom Stoß getroffenen, aufrecht stehenden Körper in die entgegengesetzte Richtung fallen.

Dass v. SEEBACH auch von MALLETS Theorie der Seebewellen beeinflusst ist, zeigt die besondere Aufmerksamkeit, die er den freilich nur spärlichen Berichten über Wellenbewegungen in Flüssen und Seen in dem erschütterten Gebiet widmet. Von Teichen, Tümpeln und Stadtgräben wird zwar über „nach westwärts verlaufenden Wellenbewegungen“ berichtet, doch kann man, wie v. SEEBACH kritisch feststellt, aus diesen Wahrnehmungen nicht mit Bestimmtheit die Richtung des Stoßes, sondern wiederum nur die allgemeine Himmelsrichtung erkennen, da es unsicher bleibt, ob die beobachteten Wellen solche sind, die MALLET als „forcierte“ bezeichnet, oder nur die diesen folgenden.

#### 4.8.1. Karl von SEEBACHS Kritik an MALLET

Karl v. SEEBACH beginnt seine theoretischen Betrachtungen im Anschluss an die Darlegung der äußeren Phänomene und Wirkungen des mitteldeutschen Erdbebens vom 6. März 1872 ebenso wie HOPKINS und MALLET mit einem Hinweis auf den historischen Ursprung der Theorie der Wellenbewegungen der Erdbeben bei YOUNG und GAY-LUSSAC<sup>676)</sup>:

*„Will man nicht überhaupt auf die wissenschaftliche Erforschung der Erdbeben verzichten, so wird man sich auf den Standpunkt von Young und Gay Lussac stellen müssen. Ein Erdbeben ist nach ihnen bekanntlich nur der die Erdoberfläche erreichende Theil der Schwingungen, welche durch irgend einen (oder mehrere) ersten Stoß irgendwo in der Erde erzeugt werden und die von dem elastischen Medium der festen Erdkruste nach allen Richtungen hin fortgepflanzt werden.“*

Von dieser Theorie ausgehend beschäftigt sich v. SEEBACH zunächst mit einer Analyse und Kritik der ersten theoretischen Ausarbeitungen dieses Ansatzes von YOUNG und GAY-LUSSAC durch HOPKINS und MALLET. Er schätzt zwar MALLETS Leistungen sehr hoch ein, vor allem wegen seiner umfangreichen Untersuchung des Neapolitanischen Erdbebens vom Jahre 1857, das für ihn das erste Erdbeben war, dessen Ursprungsort ebenso wie alle übrigen Eigenschaften sorgfältig bestimmt wurde<sup>677)</sup>:

*„So bezeichnet R. Mallets' inhaltsreiches Werk doch zweifellos eine Epoche in der Lehre von den Erdbeben und*

*wird auf lange Zeiten hinaus die Basis für alle weiteren Bestrebungen auf diesem Gebiete bleiben.“*

Doch ist seine Kritik an MALLETS theoretischen Deduktionen wesentlich schärfer als an denen von HOPKINS, dem er in fast allen grundsätzlichen Überlegungen folgt. Bei HOPKINS und in gewisser Weise bei Julius SCHMIDT findet er den Ansatzpunkt, für seine eigene Methode aus den beobachtbaren Erdbebenphänomenen die wichtigsten Bestimmungsstücke wie das Epizentrum, die Tiefe und Lage des Herdes und die (wahre) mittlere Fortpflanzungsgeschwindigkeit theoretisch zu berechnen.

Obwohl sich v. SEEBACH, wie er selbst sagt, des Verdachtes gelegentlich nicht erwehren kann, dass MALLET allzuviel mit seinen Deduktionen beweisen wollte, hält er die später viel kritisierte und auch heute nicht mehr akzeptierte Methode MALLETS, aus Ebenen, die durch gewisse Hauptspalten und Risse der beschädigten Gebäude gelegt werden, die Richtung der Wellenbewegung zu bestimmen, die normal zu diesen Ebenen stehen muss, für prinzipiell durchführbar. Der gemeinsame Schnittpunkt der verlängerten Linien der Richtungen, in denen die Wellenbewegungen zwei oder mehrere Orte an der Erdoberfläche getroffen haben, ergäbe dann den Punkt senkrecht über dem Erdbebenherd oder den von v. SEEBACH sogenannten „Oberflächenmittelpunkt“ oder das „Epizentrum“.

Was v. SEEBACH jedoch an diesem Verfahren kritisiert, ist zunächst nur die unzweckmäßige Terminologie. Denn MALLET nennt die Senkrechte, die vom Erdbebenursprungsort oder dem eigentlichen „Centrum“ des Erdbebens ausgeht und bis zur Erdoberfläche reicht, „the prime vertical“. v. SEEBACH bezeichnet dagegen diese Senkrechte mit dem näher liegenden Ausdruck „Erdbebenaxe“ und den Abstand zwischen Epizentrum und irgendeinem Ort des erschütterten Gebietes auf der Erdoberfläche als „Axialabstand.“

Da MALLET aus den Gebäudebeschädigungen auch den Emersionswinkel zu bestimmen versuchte, ergibt sich eine theoretische Lösung des Problems der Bestimmung der Herdtiefe (h) durch die einfache Formel MALLETS, die v. SEEBACH in folgender Notation wiedergibt:

$$h = a \tan \epsilon$$

wobei a der Axialabstand und  $\epsilon$  der Emersionswinkel sein soll. Da aber die Anwendung dieser Methode von der Größe und Vielzahl der Gebäudezerstörungen abhängt, ist ihre Anwendung – abgesehen von den praktischen Schwierigkeiten der Vermessung der Spalten und Risse – äußerst begrenzt. Deshalb sagt auch v. SEEBACH<sup>678)</sup>:

*„Will man daher in Zukunft auch die deutschen und nordwesteuropäischen Erdbeben oder ganz allgemein schwächere Erderschütterungen wissenschaftlich ausbeuten, so ist eine in ihrem wesentlichen Theile neue, von der Mallet'schen verschiedenen Methode erforderlich.“*

Das gilt vor allem auch für das mitteldeutsche Beben, dessen Verbreitung sehr groß aber glücklicherweise, was seine zerstörenden Auswirkungen anbelangt, sehr gering war<sup>679)</sup>:

*„An zahlreichen Punkten ist zwar Mörtel und Kalk abgebröckelt, aber nur in einem, verhältnismäßig kleinen Theile des großen Schütterungsgebietes war der Erdstoß intensiv genug um Baulichkeiten zu beschädigen.“*

Abgesehen von dieser Tatsache, dass bei mitteldeutschen Erdbeben die Gebäudeschäden zu gering waren, als dass man MALLETS Methode hätte anwenden können, kritisiert v. SEEBACH aber vor allem MALLETS Vernachlässigung der Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Wellenbewe-

<sup>676)</sup> SEEBACH, K.V.: a.a.O S. 126.

<sup>677)</sup> SEEBACH, K.V.: a.a.O S. 128.

<sup>678)</sup> SEEBACH, K.V.: a.a.O S. 133.

<sup>679)</sup> SEEBACH, K.V.: a.a.O S. 121.

gung. Denn MALLET versuchte sowohl aus den Rissen und Spalten in den Mauern der Gebäude als auch aus den umgestürzten und fortgeschleuderten Körpern nicht nur den Emersionswinkel, sondern auch die Geschwindigkeit der Schwingungen zu berechnen, während er der Fortpflanzungsgeschwindigkeit nur eine untergeordnete Bedeutung zuschrieb. K. V. SEEBACH beruft sich in seiner Kritik an MALLET in diesem Zusammenhang auf HOPKINS<sup>680</sup>:

*„Den Werth für die mittlere wahre Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Wellenbewegung hat Mallet nicht in genügender Weise festgestellt. Schon die Mittelwerthe, die er für die Oberflächengeschwindigkeit angibt und mit einander vergleicht, müssen verworfen werden, da die Oberflächengeschwindigkeit auch bei der Annahme einer überall gleichen Leitungsfähigkeit nicht constant ist, sondern mit dem Axialabstand rasch abnimmt. Wie Hopkins schon 1847 gezeigt hat, ist die Oberflächengeschwindigkeit grösser als die – in homogenem Medium – constante wahre Geschwindigkeit und nähert sich dieser asymptotisch. Daher ist denn auch die einzige wahre Geschwindigkeit, die Mallet berechnet hat und die größer ist als alle die von ihm gegebenen Oberflächengeschwindigkeiten, falsch. Unverständlicher Weise hat Mallet die Zeit, welche die Erschütterung brauchte, um sich in einem Radius gleich der Tiefe des wahren Erdbebenentrums fortzupflanzen, gänzlich vernachlässigt und findet so eine falsche und viel zu große wahre Geschwindigkeit.“*

Die genaue Bestimmung der mittleren Oberflächengeschwindigkeit war für v. SEEBACH deswegen so wichtig, weil sie die Basis für seine neue „nur auf exacte Zeitbestimmung gegründete Methode“ bildete.

#### 4.8.2. Die auf exakte Zeitbestimmung gegründete Methode

Den Anstoß zur Entwicklung einer eigenen Methode zur Berechnung sowohl der Herdtiefe und des Zeitpunktes des ersten Anstoßes als auch der wahren Fortpflanzungsgeschwindigkeit bekam v. SEEBACH von seinem Freund Julius SCHMIDT, der bereits vor MALLET und HOPKINS für das Rheinische Erdbeben vom 29. Juli 1846 die Erdbebenzeiten der verschiedenen Orte benutzte, um aus ihnen die mittlere Oberflächengeschwindigkeit zu berechnen. Eine weitere Anregung erhielt er von Fr. PFAFF, der 1860 ebenso auf die Wichtigkeit genauer Zeitbestimmungen hingewiesen hat, um aus ihnen die Lage des Erdbebenherdes entwickeln zu können.

##### 4.8.2.1. Die Bestimmung des „Oberflächenmittelpunktes“ (Epizentrum)

Seine eigenen Überlegungen ließen ihn bald erkennen, dass aus Bestimmungen der Zeiten, in denen die Wellenbewegung durch verschiedene Orte hinweggegangen war, sich nicht nur jene drei Elemente Herdtiefe, Zeitpunkt des ersten Anstoßes sowie wahre Fortpflanzungsgeschwindigkeit, sondern auch die Lage des „Oberflächenmittelpunktes“ oder „Epizentrums“ mit Hilfe einer allgemeinen Formel ableiten lassen müssten. Da jedoch diese allgemeine Formel zu kompliziert wäre, entschließt sich v. SEEBACH zunächst, die Ermittlung des Epizentrums mit einem einfacheren graphischen Verfahren durchzuführen, das er direkt von HOPKINS übernimmt, worauf er auch in einer Anmerkung hinweist<sup>681</sup>:

*„Diese einfachste, selbstverständliche Methode ist auch schon 1847 von Hopkins vorgeschlagen, aber meines Wissens bisher noch nie praktisch durchgeführt worden.“*

Zur praktischen Anwendung dieser Methode ist die konkrete Feststellung jener Orte nötig, die gleichzeitig erschüttert worden sind. v. SEEBACH geht von MALLETS Überlegungen aus, dass die Verbindungslinie dieser Orte unter der idealisierten Voraussetzung einer homogenen Erdkruste und somit auch einer ungebrochenen und konstanten Leitung konzentrische Kreise bilden müssen. Er akzeptiert zwar diese Vorstellung, übt aber an der Terminologie MALLETS heftige Kritik. Statt „Coseisme“ führt v. SEEBACH die Bezeichnung „Homoseiste“ ein, mit der Begründung, dass „Coseisme“ eine „vox hybrida“ sei, „deren zweite Hälfte obendrein völlig falsch und verkehrt sei“. Gegen die Bezeichnung „Isochrone“ bei Julius SCHMIDT kann v. SEEBACH zwar sprachlich nichts einwenden, doch hält er seinen Vorschlag für vorteilhafter<sup>682</sup>:

*„Schon wegen der gleichartigen Bildung mit der früher hier angewendeten Bezeichnung der Linien gleicher Intensität als Ioseisten (Ioseismen bei Mallet) ...“*

Was nun die Form der Homoseisten betrifft, geht v. SEEBACH von der Annahme aus, dass sie angenähert die Form wiedergeben, in der sich vom Mittelpunkt der Erde aus gesehen, der Erdbebenherd auf der Erdoberfläche projiziert. Da aber die feste Erdkruste in Wahrheit nicht homogen ist, wird diese ursprüngliche Form nach Maßgabe dieser verschiedenen Beschaffenheit, die eine unterschiedliche Fortpflanzungsgeschwindigkeit bewirkt, mehr oder weniger verzerrt. Diese Verzerrungen werden selbstverständlich mit dem Abstand der Homoseisten vom Centrum wachsen. Daher sind auch die inneren Homoseisten für die Bestimmung des Oberflächenmittelpunktes geeigneter als die äußeren. In der Bestimmung des Epizentrums folgt v. SEEBACH der von HOPKINS vorgeschlagenen Methode<sup>683</sup>:

*„Denken wir uns den Erdbebenherd nur von geringerer Größe und in seiner Projection auf der Erdoberfläche von ungefähr gleichen Dimensionen, so sind die Homoseisten Kreise, oder doch kreisähnliche Curven. Verbinden wir daher zwei Orte einer Homoseiste durch eine Gerade, halbiren diese und errichten ein Loth, so ist dies Loth natürlich der geometrische Ort, und die Gegend, in der eine Mehrzahl solcher Lothe sich schneiden, die Gegend des Oberflächenmittelpunktes selbst.“*

Nach HOPKINS genügen zwar bei dieser Methode rein theoretisch die Angaben über lediglich zwei Ortspaare, die gleichzeitig erschüttert wurden, um aus den Schnittpunkten der Lothe ihrer Verbindungslinien das Epizentrum zu bestimmen. In der Realität ergeben sich jedoch sowohl aus der unterschiedlichen Beschaffenheit der Erdkruste als auch durch Ungenauigkeiten und Irrtümer in den Zeitangaben große Fehlerquellen, abgesehen von Ungenauigkeiten der zu dieser Bestimmung benutzten Karten.

Wie fehlerhaft und ungenau die Zeitangaben sein können, hatte er selbst an seiner Sammlung der Zeitangaben über das mitteldeutsche Erdbeben erfahren. Denn die von ihm in einer Tabelle auf die mittlere Berliner Zeit reduzierten<sup>684</sup>

*„... 147 Zeitbestimmungen gehen so kraus durcheinander, dass man auf den ersten Blick fast daran verzweifeln möchte, in ihnen ein leitendes Gesetz zu erkennen und ich gestehe, dass ich nach ihrer Zusammenstellung anfänglich selbst gesonnen war, die vorstehende Arbeit abzubrechen und ganz liegen zu lassen.“*

<sup>680</sup>) SEEBACH, K.V.: a.a.O S. 131.

<sup>681</sup>) SEEBACH, K.V.: a.a.O S. 144.

<sup>682</sup>) SEEBACH, K.V.: a.a.O S. 143.

<sup>683</sup>) SEEBACH, K.V.: a.a.O S. 144.

<sup>684</sup>) SEEBACH, K.V.: a.a.O S. 138 f.



Um aus diesem Wirrwarr von sicheren und unsicheren, richtigen und falschen Zeitangaben eine Auswahl treffen zu können, ordnet v. SEEBACH zunächst alle Zeitangaben in vier Gruppen<sup>685)</sup>:

„1. Zeitangaben ohne Hinzufügung eines bestimmten Beobachters, meist aus Zeitungen entlehnt.

2. Zeitangaben mit Hinzufügung eines bestimmten Beobachters.

3. Zeitangaben, welche durch ihre sofortige schriftliche Aufzeichnung oder sonstige Details besonderes Vertrauen beanspruchen können.

4. Zwei astronomische Zeitbestimmungen und der astronomisch sichere Breslauer Grenzwert.“

Da nach seiner Meinung nur die allerbesten Daten benützt werden dürfen, muss an alle Zeitbestimmungen eine strenge Kritik angelegt werden<sup>686)</sup>:

„Als Maaßstab einer solchen bleibt freilich nichts weiter übrig, als auszugehen von den beiden astronomisch festgestellten Zeiten und von dem ebenfalls astronomisch gesicherten Grenzwert in Breslau. Die durch innere Uebereinstimmung schon empfohlenen Angaben aus einigen größeren Städten – in denen man noch am ersten eine schärfere öffentliche Zeitbestimmung erwarten darf – sowie ein paar durch angeführte besondere Vorsichtsmaßregeln oder den wissenschaftlichen Namen des Beobachters Vertrauen erweckende Zeiten wird man demnächst anschließen. Führen diese zu einem einheitlichen Resultat, so wird man dann weiter suchen, ob nicht eine größere Zahl anderweiter Beobachtungen und womöglich eine Mehrzahl der schon äußerlich als bessere gekennzeichneten auf das nämliche Resultat sich vereinigen lassen. Ist dies in Wahrheit der Fall, so ist jeder Verdacht eines durch willkürliche Auswahl ausgebeuteten Zufalls ausgeschlossen und man wird wohl berechtigt sein, alle diese Angaben für gute zu halten, alle nicht mit ihnen harmonirenden aber als unzulässig zu verwerfen. Und wenn hyperkritische Naturen trotz des weiter unten entwickelten, fast auffällig genauen, einheitlichen Resultates doch noch eine solche Auswahl als nicht objectiv genug verwerfen sollten, so kommt es natürlich viel weniger auf die in dem vorliegenden Falle zu ermittelnden Ergebnisse an, als auf die allgemein zu verfolgenden Gesichtspunkte und auf die hier versuchte Methode, von denen ich zuversichtlich hoffe, dass sie, wenn nicht diesmal, so doch später, mit der wachsenden Genauigkeit unserer Zeitmessungen, zu guten Resultaten führen werden.“

Nach diesen kritischen Überlegungen wählt v. SEEBACH aus den Gruppen 3 und 4, die er als die allerbesten Daten ansieht, vier Orte mit einer bestimmten abgesicherten Fundamentalzeit aus, die auf dieser Weise vier Glieder einer Homoseiste bilden<sup>687)</sup>:

„1. aus Göttingen und Leipzig, die wir bei einer Differenz von 15 Sekunden, in Anbetracht der nur bis auf die Minute angegebenen Beobachtungen als gleichzeitig annehmen dürfen; 2. Eger und Halle; Eger, wo Professor Stainhaussen ‘durch Uhrenvergleichung das Ende der Erschütterung auf mittlere Egerer Zeit’ bestimmte, verdient offenbar nächst Göttingen und Leipzig das größte Vertrauen. Als zweites Glied dieser Fundamentalzeit habe ich nach längerem Schwanken Halle gewählt. Hier wird wenige Tage nach dem Erdbeben die Zeit auf der Telegraphenstation ‘mit grosser Bestimmtheit’ angegeben und später officiell dieselbe bestätigt, mit dem Zusatz, die Erscheinungen traten genau 5 Uhr 58 Minuten Berliner Zeit an. Lässt sich schon ganz allgemein in einer Stadt von der Größe und

Bedeutung Halle’s eine exactere Zeitmessung erwarten, so wird dies Vertrauen noch durch die Thatsache bestärkt, dass von Halle aus sämtliche Uhren der Thüringer Bahn regulirt werden. Für die Richtigkeit der Hallenser Telegraphenzeit spricht ferner ihre nahe Uebereinstimmung mit der unanfechtbaren Zeit des nachbarlichen Leipzig.“

Und wendet dann die bereits angegebene Methode von HOPKINS an, um das Epizentrum des mitteldeutschen Erdbebens zu bestimmen<sup>688)</sup>.

„Ich verbinde nun Göttingen und Leipzig einerseits, Eger und Halle anderseits, durch eine Gerade, halbire diese und errichte Lothe, die sich dann schneiden. Der Schnittpunkt liegt nahe östlich bei Amt-Gehren, etwa in 50° 38’, 6 N. Br. und 8° 41’, 25 O. L. v. Paris. Dieser Punkt muss annähernd im Oberflächenmittelpunkte liegen und wird, wenn dasselbe nur von geringer Größe ist und in ihm nicht eine Richtung excessiv über die übrigen vorherrscht, direct den Oberflächenmittelpunkt selbst annähernd darstellen.“

Das Resultat dieser „graphischen Lösung“ nennt v. SEEBACH die „Fundamentalbestimmung“ des Epizentrums. Sie ist insofern eine abstrakt idealisierte Lösung, weil sie notwendigerweise nur zu einem geometrischen Punkt führen muss, ohne dass dabei die realen Dimensionen des Oberflächenmittelpunktes berücksichtigt werden. Denn sogar dann, wenn man wie v. SEEBACH in Anlehnung an HOPKINS davon ausgeht, dass der Ursprungsort des Erdbebens unter der Erde auf einen sehr kleinen Raum beschränkt ist, kann seine Projektion senkrecht auf die Erdoberfläche niemals ein dimensionsloser geometrischer Punkt sein.

Um von diesen Dimensionen des realen Epizentrums eine annähernde Vorstellung zu gewinnen, wendet v. SEEBACH noch ein weiteres Verfahren an, das ihm zugleich eine Kontrolle liefern soll, ob diese erste angenäherte Fundamentalbestimmung auf richtigen Elementen beruht. Nach seiner Auffassung kann das nur dadurch geschehen, dass man nicht nur weitere „homoseistische Paare“, sondern ganze aus dem annähernd bestimmten Epizentrum zu schlagende homoseistische Kreise zur Kontrolle heranzieht<sup>689)</sup>.

Schon diese Formulierung zeigt, dass es sich bei diesem Kontrollverfahren nicht um die Kontrolle seiner Theorie durch die Daten, sondern umgekehrt um eine Kontrolle der Daten durch die vorausgesetzte idealisierte geometrische Theorie handelt. Denn die einzelnen Zeitangaben werden so ausgewählt, dass sie einerseits eine kreisförmige Homoseiste bilden und andererseits wenigstens annähernd zu dem bereits festgelegten „Oberflächenmittelpunkt“ führen.

Wie gewaltsam v. SEEBACH mit dem ihm zugänglichen Datenmaterial umgeht, zeigt das Endergebnis seiner Auswahl: Von den 149 Zeitangaben bleiben außer den 4 Fundamentalzeiten nur 75 übrig. Alle anderen werden als „unbrauchbar falsch“ bezeichnet. Von diesen 75 übriggebliebenen Zeitangaben lassen sich wiederum nur 30 auf den Mittelpunkt der 4 Fundamentalzeiten annähernd zurückführen. Nachdem v. SEEBACH alle für seine theoretische Berechnung des Epizentrums unpassenden Daten ausgeschieden hat, kommt er zu dem Schluss<sup>690)</sup>:

„Unter solchen Umständen wird selbst eine strenge Kritik der Uebereinstimmung der eben dargelegten 30 Zeitbestimmungen mit dem Ergebnisse aus den 4 Fundamentalzeiten ihren Werth nicht abzuerkennen vermögen und zugestehen müssen, dass in Wahrheit unweit Amt-Gehren in Thüringen der gesuchte Oberflächenmittelpunkt liegt.“

<sup>685)</sup> SEEBACH, K.V.: a.a.O S. 135.

<sup>686)</sup> SEEBACH, K.V.: a.a.O S. 142.

<sup>687)</sup> SEEBACH, K.V.: a.a.O S. 145 f.

<sup>688)</sup> SEEBACH, K.V.: a.a.O S. 146 f.

<sup>689)</sup> SEEBACH, K.V.: a.a.O S. 144.

<sup>690)</sup> SEEBACH, K.V.: a.a.O S. 158.



higkeit der Gesteine völlig verhüllt werden muss und daher die Homoseisten „nahezu kreisförmig und von analogen Radien bleiben müssen.“<sup>693)</sup>

Nach all diesen theoretischen Überlegungen über die Form des Epizentrums kommt daher v. SEEBACH zu dem Schluss<sup>694)</sup>:

„Wenn der Oberflächenmittelpunkt von linearer Gestalt ist, muss er klein sein und wenn er größer ist, muss er von annähernd kreisförmiger Gestalt sein.“

Jede weitere ins Einzelne gehende Spekulation verbieten nach seiner Meinung die nicht ausreichend genaueren Beobachtungen und eventuelle kleine Fehler in den Karten. Ein solches graphisches Verfahren kann daher immer nur zu einer angenäherten Bestimmung des Epizentrums führen. Abgesehen von der ungenauen Bestimmung der Gestalt des Epizentrums ist aber auch für v. SEEBACH das Auffälligste an seiner Untersuchung über das mitteldeutsche Erdbeben der weite Abstand von Epizentrum und Pleistoseiste, des Oberflächenmittelpunktes vom Gebiet größter Wirkung<sup>695)</sup>. Wie bereits MALLETT (1859) gezeigt hat, muss unzweifelhaft der Stoß auf die Erdoberfläche im Epizentrum zwar die größte Intensität, nicht aber die größte Wirkung zeigen. Unter der Voraussetzung eines homogenen vollkommen elastischen Mediums wird die größte Wirkung vielmehr in einem Kreis stattfinden, für den das Verhältnis  $a : h : r = 1 : \sqrt{2} : \sqrt{3}$  gilt, wobei  $a$  der Axialabstand des Kreises mit der maximalen Stoßkraft,  $h$  die Herdtiefe und  $r$  der Erschütterungsradius ist.

Diese Erkenntnis von MALLETT wurde nach der Meinung v. SEEBACHS bisher viel zu wenig berücksichtigt und wird daher von ihm in seinen theoretischen Schlussbetrachtungen über das mitteldeutsche Erdbeben erneut in einer eigenen mathematischen Ableitung bewiesen<sup>696)</sup>. Wendet man diese Formel auf das mitteldeutsche Beben an, so sollte die Pleistoseiste einen Kreis von 2,2 geographischen Meilen Abstand von Amt-Gehren darstellen. Abgesehen davon, dass nach den empirischen Beobachtungen die Pleistoseiste in Wirklichkeit kein kreisförmiges Gebiet, sondern ein leicht gekrümmtes Band darstellt, liegt sie statt dessen über 10 geographische Meilen von Amt-Gehren, dem graphisch durch v. SEEBACH ermittelten Epizentrum, entfernt. Eine Erklärung für diese merkwürdige Distanz von Epizentrum und Pleistoseiste versucht v. SEEBACH durch die Bestimmung von Lage und Gestalt des Erdbebenherdes zu liefern.

#### 4.8.2.2. Die Bestimmung der wahren Fortpflanzungsgeschwindigkeit, des Zeitpunktes des ersten Anstoßes und der Tiefe des wahren Erdbebenherdes (Centrum)

Nachdem v. SEEBACH zur Bestimmung des Epizentrums HOPKINS' einfache graphische Methode übernommen hat, entwickelt er selbst nach langen und mühsamen Versuchen, die drei anderen theoretisch bestimmbar Elemente des Erdbebens (Herdtiefe, Fortpflanzungsgeschwindigkeit der durch die Erdkruste an die Oberfläche gehenden Wellen und den Zeitpunkt des ersten Anstoßes im Herd selbst) nach einer Formel zu berechnen – ein, wie er sagt, ebenso einfaches graphisches Verfahren, welches nicht nur gestattet, fast mühelos gleichzeitig alle drei Elemente unmittelbar abzulesen, sondern auch noch nachträglich eine scharfe und sichere Kritik der benutzten Zeitbestimmungen liefert.

<sup>693)</sup> SEEBACH, K.V.: a.a.O S. 180.

<sup>694)</sup> SEEBACH, K.V.: a.a.O S. 158.

<sup>695)</sup> SEEBACH, K.V.: a.a.O S. 181.

<sup>696)</sup> Ebenda.

Dieses Verfahren bildete die Grundlage einer „seismischen Geometrie und Mechanik“, die über Jahrzehnte hinweg von seinen Nachfolgern vor allem in Deutschland, wie LASAULX, GUENTHER, SIEBERG u.a. angewendet und weiterentwickelt worden ist. Sie wurde trotz der Bedenken wegen ihrer durch die geometrischen Modellvorstellungen bedingten Idealisierungen so lange aufrecht erhalten, bis sie durch analytischen Rechnungsverfahren auf Grund der instrumentell gewonnenen exakteren Daten verdrängt und ersetzt wurde. Daher war die Selbsteinschätzung, die v. SEEBACH über sein graphisches Verfahren zu dieser Zeit abgab, durchaus berechtigt<sup>697)</sup>:

„Diese soeben entwickelte neue Methode zur Erforschung eines Erdbebens ist eine so übersichtliche, bequeme und sichere, dass es wohl keine Anmaassung ist, wenn ich die Hoffnung hiermit ausspreche, dass in Zukunft kein Erdbeben mehr eine civilisirte Gegend erschüttern wird, ohne dass der jetzt nur noch wenige Stunden in Anspruch nehmende Versuch gemacht wird, nach dem eben vorgeschlagenen Verfahren seine geologisch wichtigsten Elemente klar zu legen.“

Der Ausgangspunkt seines graphischen Verfahrens ist folgende Grundfigur<sup>698)</sup>:

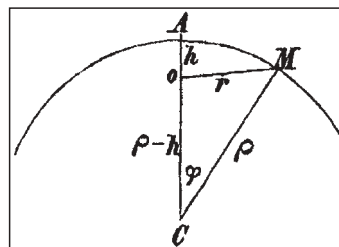


Abb. 105.  
Graphisches Verfahren zur Bestimmung der Herdtiefe nach v. SEEBACH (1873).

„Es sei die vorstehende Figur das Stück eines Durchschnittees der Erde nach einem größten Kreise, welcher gelegt ist, durch den Mittelpunkt der Erde C, durch den wahren Erdbebenherd o, durch den Oberflächenmittelpunkt A und durch einen beliebigen erschütterten Ort M. Dann ist  $h$  gleich der gesuchten Tiefe des wahren Erdbebenherdes,  $r$  ist der Erdradius und da der Axialabstand  $AM$  bekannt ist, so ist auch  $\varphi$  bekannt.“

Da jedoch in den meisten Fällen die Tiefe des Erdbebenherdes ( $h$ ) gegenüber dem Erdradius ( $r$ ) verschwindend gering ist, darf man auch von der Erdkrümmung absehen.

Nach dieser sicherlich zulässigen Vereinfachung stellt v. SEEBACH eine weitere theoretische Forderung auf: Unter der Voraussetzung, dass von dem Sitz der seismischen Kraft, einem bestimmten Punkt unter der Erdoberfläche aus, die Kugelwellen nach allen Seiten gleichmäßig und auch mit gleichförmiger Geschwindigkeit fortschreiten, müssen die Orte gleicher Erschütterungszeiten ebenfalls eine ideale Figur, in diesem Fall eine Hyperbel bilden (Abb. 106).

Für die konkrete Darstellung des mitteldeutschen Bebens verwendet v. SEEBACH Tafeln mit einem Netz von hinreichend großem Maßstab und entsprechend feiner Einteilung, die es mit einem seiner Meinung nach völlig genügenden Grad der Genauigkeit ermöglichen soll abzulesen, wieviel Meilen die Wellenbewegung in einer Minute durchlaufen hat und wann der Zeitpunkt des ersten Anstoßes des Erdbebens war. Nur für den Fall, dass man mit „seismometrisch-telegraphisch“ genau bestimmten, sehr kleinen Unterschieden der Zeiten und Axialabstände arbeiten will, gibt v. SEEBACH ein von MINNIGERODE entwickeltes analytisches Berechnungsverfahren an.

<sup>697)</sup> SEEBACH, K.V.: a.a.O S. 162.

<sup>698)</sup> SEEBACH, K.V.: a.a.O S. 159.

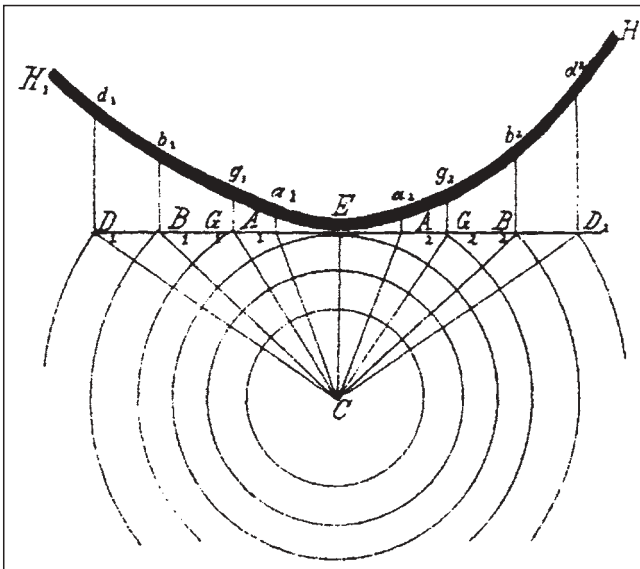


Abb. 106.  
Geometrisches Modell zur Bestimmung des Erdbebenherdes (C) und der Orte gleicher Erschütterungszeiten (A1 A2 - D1 D2), deren Abfolge ( $a_1 a_2 - d_1 d_2$ ) je nach Entfernung vom Epizentrum (E) eine Hyperbel bilden.  
Nach von SEEBACH aus GUENTHER (1897).

Ähnlich wie bei der Annahme der idealen Kreisförmigkeit der Homoseisten bestimmt aber auch hier wiederum die Theorie die Auswahl des Datenmaterials, sodass weniger die Theorie durch die empirischen Daten als umgekehrt die Daten durch die theoretisch vorweggenommene Forderung, dass alle Orte gleicher Erschütterungszeiten auf einer Hyperbel liegen müssen, kontrolliert werden. So sagt v. SEEBACH wörtlich<sup>699</sup>:

„Der Grad der Genauigkeit, mit dem sie dies thun, giebt hierbei zunächst einen Maafstab für die Güte der Zeitbestimmungen an und muss für sich und bei guten Zeitbestimmungen zugleich auch erkennen lassen, ob der Oberflächenmittelpunkt in Wahrheit richtig bestimmt worden ist oder nicht.“

Das Vorbild einer nach geometrischen Grundsätzen aufgebauten synthetischen Mechanik, wie sie NEWTON selbst ursprünglich entworfen hat, ist auch für die seismische Mechanik v. SEEBACHS so stark, dass – ähnlich wie dies bei der klassischen Mechanik NEWTONS freilich unter sehr idealisierten Bedingungen möglich war, Ort und Zeitpunkt eines Ereignisses wie z.B. das Eintreten von Ebbe und Flut zu berechnen – er davon ausging, dass man aus dieser geometrischen Hilfskonstruktion des gesamten Erdbebengeschehens auch direkt ablesen kann, wie viel Meilen die Wellenbewegung in einer Minute durchlaufen hat und wann der Zeitpunkt des ersten Anstoßes war.

Zur Bestimmung des Zeitpunktes des ersten Anstoßes des Erdbebens am 6. März 1872 zieht v. SEEBACH zu dem Hyperbelstück Breslau – Göttingen die Asymptote, deren Schnittpunkt mit der Ordinatenachse, die zugleich die Erdbebenachse selbst ist, den Zeitpunkt  $t_0 = 3$  Uhr 56 Minuten 9 Sekunden p.m. Berliner Zeit ergibt. Und als wahre mittlere Geschwindigkeit lässt sich nach v. SEEBACHS Methode der direkten Ablesung eine Geschwindigkeit von 6 Meilen pro Minute oder 742 m pro Sekunde feststellen.

Der Mangel an exakten Zeitbestimmungen aus der Nähe des Oberflächenmittelpunktes, bei denen die Krümmung der Hyperbel am stärksten sein muss, gestattet es aber nicht, die Tiefe des Erdbebenherdes mit wünschenswerter Genauigkeit bloß aus Zeitbestimmungen zu ermitteln. v.

<sup>699</sup>) SEEBACH, K.V.: a.a.O S. 161 f.

SEEBACH sieht jedoch darin nur einen unglücklichen Zufall, der die Brauchbarkeit seiner Methode nicht in Frage stellt.

Um jedoch diese Lücke in der Bestimmung des mitteldeutschen Erdbebens auszufüllen, macht v. SEEBACH den geradezu heroischen Versuch, trotz der geringen Gebäudeschädigungen die Methode MALLETS anzuwenden.

Aus einer einzigen Vermessung der in einem Haus in Apolda entstandenen Risse, durch deren Ebene eine Senkrechte gelegt wird, ermittelt v. SEEBACH nach der MALLETSchen Formel  $h = a \tan \epsilon$  eine mutmaßliche Herdtiefe von 19.850 Meter. Gerechtfertigt ist diese Verfahrensweise nach der Meinung v. SEEBACHS dadurch, dass seine eigene Methode, durch Zeitbestimmungen das Epizentrum zu ermitteln, eine ausreichend gute Übereinstimmung mit der Methode MALLETS ergibt, die aus der Richtung dieser Risse auf das Epizentrum schließt.

Wie sehr v. SEEBACH durch MALLETS Theorie beeinflusst ist, zeigt darüber hinaus seine Rechtfertigung des großen Abstandes von Epizentrum und Pleistoseiste, dem Gebiet der größten Zerstörung. Zur Erklärung dieses sonderbaren Ergebnisses seiner, wie bereits gezeigt, auf Grund von nur wenigen ausgewählten Daten durchgeführten Berechnungen greift er auf jene von MALLET über die Größe und Gestalt des Herdes des Neapolitanischen Erdbebens angestellten Überlegungen zurück. Obwohl v. SEEBACH in den bisherigen Betrachtungen stets angenommen hat, dass der Erdbebenherd des mitteldeutschen Erdbebens vom 6. März 1872 von „sphäroider Gestalt und geringen Dimensionen“ ist, worauf ja auch die kreisförmige Gestalt der durch die Zeitbestimmungen festgelegten Homoseisten hingewiesen hat, muss er jetzt diese „stillschweigende“ Voraussetzung aufgrund der realen geotektonischen Verhältnisse revidieren<sup>700</sup>:

„In welcher Kraft nun aber auch die erste Ursache eines Erdbebens liegen mag, so muss es nach allen Erfahrungen der Geotectonik doch schon a priori unwahrscheinlich erscheinen, dass die von dieser Kraft betroffene Masse derselben einen Angriffspunkt von sphäroidaler Gestalt darbieten wird. Es ist vielmehr von vornherein zu erwarten, dass derselbe tafelförmig sein wird. Nimmt man daher, wie Mallet dies schon für das Neapolitanische Erdbeben gethan, als Centrum eine Spalte an, so muss, wie Mallet Buch III Cap. 5 ausgeführt hat, normal zur Längsausdehnung der Spalte eine größere Intensität des Stoßes eintreten, als nach allen übrigen Richtungen. Die Iseosteien müssen in diesem Falle ellipsoidische Formen zeigen. Ist der Spalt nicht senkrecht, so muss, wie ebenfalls Mallet schon gezeigt, auf der Seite, welche neben und unter dem Spalt liegt, die Richtung der größten Intensität in das Innere der Erde gehen und auf der Seite neben und über dem Spalt wird auf der Erdoberfläche ein pleistoseistes Gebiet von, im Allgemeinen, eiförmiger Gestalt in einem gewissen Abstand von der Erdbebenachse (bezw. Erdbebenebene) da sein.“

Eine analoge Hypothese, die später gegen MALLETS Erklärung des Neapolitanischen Erdbeben vom Jahre 1857 angeführt worden ist, nämlich die eines zweiten Erdbebenherdes, welcher die großen Zerstörungen in Montemuro verständlich macht, lehnt jedoch v. SEEBACH für das mitteldeutsche Erdbeben von vornherein strikt ab<sup>701</sup>.

„Die Annahme, dass näher am Gebiete der wahren Pleistoseiste z.B. in der Gegend von Zeitz durch den ersten Anstoß etwa ein zweites secundäres Erdbeben erzeugt worden sei, ist unzulässig, da alsdann die beiden Hauptschwankungen des Bodens ein Intervall von rund  $1\frac{1}{2}$  Minuten und nicht von wenigen Secunden zeigen müssten.“

<sup>700</sup>) SEEBACH, K.V.: a.a.O S. 182.

<sup>701</sup>) Ebenda.

Daher sieht v. SEEBACH im Mitteldeutschen Erdbeben einen den Erklärungen MALLETS über die Größe und Gestalt des Herdes der Neapolitanischen Erdbeben völlig entsprechenden Fall<sup>702</sup>:

*„Das Erdbeben vom 6. März 1872 läßt sich als ein eigenthümlicher Fall dieser Art deuten. Die äußerste Isoseiste kann noch am ersten auf eine elliptische Grundform gedeutet werden. Ihre größere Axe ist ungefähr parallel dem Radius Epicentrum–Pleistoseiste. Die Verbreitung des Schallphänomens, welche mit einziger Ausnahme von Schwäbisch Hall nach Süd-West so plötzlich und nahe am Epicentrum abbricht, beweist offenbar, dass diese, dem pleistoseisten Gebiete gegenüberstehende Gegend im relativen Erdbebenschatten lag. Die dritte Isoseiste ist angenähert eiförmig; sie liegt zwar ebenfalls WNW. vom Epicentrum, ihre längere Axe fällt aber allerdings nicht in den Radius Epicentrum–Pleistoseiste. Dagegen liegt genau in diesem das isolierte kleine isoseistische Gebiet von Meissen, und das fragliche von Mühlberg liegt wenigstens nicht weit außerhalb.“*

Als Resultat seiner Untersuchungen stellt dann v. SEEBACH fest<sup>703</sup>:

*„Das Centrum, der Heerd des Erdbebens vom 6. März 1872 liegt unweit Amt-Gehren 2, 4 geographische Meilen unter der Erdoberfläche und ist höchst wahrscheinlich eine Spalte, welche annähernd von NNW. nach SSO. streicht aber nur geringe horizontale Ausdehnung besitzt; sie ist nicht senkrecht, sondern fällt nach ONO. in's Erdinnere.“*

#### 4.8.3. Kritik und Modifikation an der seismischen Geometrie von SEEBACHS durch seine Nachfolger

V. SEEBACHS seismische Geometrie galt zwar neben der Pionierarbeit von MALLET vor allem in Deutschland als die bedeutendste theoretische Leistung. Sie ging jedoch nicht kritiklos und unverändert in die zu dieser Zeit bereits entstehenden Lehrbücher der Seismologie von SIEBERG<sup>704</sup>, GUENTHER<sup>705</sup> und MILNE<sup>706</sup> ein. So wurde vor allem die theoretische Annahme, dass die Orte mit ihren unterschiedlichen Zeitangaben, an denen das Erdbeben verspürt worden ist, auf einer idealen Hyperbel liegen müssen, kritisiert.

Abgesehen von der Brechung (refraction) und Reflexion der elastischen Welle durch die unterschiedliche Bodenbeschaffenheit, die überhaupt solche idealisierten geometrischen Darstellungen unmöglich machen, ist die geforderte Gestalt einer Hyperbel an weitere stillschweigend vorausgesetzte theoretische Annahmen gebunden. Die wichtigste dieser Annahmen, die Geradlinigkeit der so genannten „Erd-“ oder „Stoßstrahlen“, die auf HOPKINS<sup>707</sup> zurückzuführen ist, wurde von allem Anfang an bezweifelt. So rechtfertigt zwar GUENTHER die seismische Geometrie v. SEEBACHS im Sinn der klassischen Modellvorstellung der mathematischen Physik, indem er sagt<sup>708</sup>:

*„Bei jedem Versuche, in die verwirrende Mannigfaltigkeit der Naturereignisse an der Hand der mathematischen Betrachtung einzudringen, sind wir nicht bloss berechtigt,*

*sondern verpflichtet, vereinfachende Annahmen zu Grund zu legen, selbst wenn wir davon überzeugt sind, dass sie sich nicht völlig mit der Wirklichkeit decken. Alle die grossen Mathematiker, welche, zumal im vorigen Jahrhundert, mechanische Probleme in Angriff nahmen, sind in eben diesem Sinne zu Werke gegangen.“*

Er bezweifelt aber, dass auch unter günstigsten Verhältnissen von „Erdbebenstrahlen“ mit gleichem Recht gesprochen werden darf, wie wir uns der Bezeichnung „Schall-, Licht- und Wärmestrahlen“ bedienen<sup>709</sup>.

*„Erdbebenstrahlen gibt es nicht, oder doch nur unter ganz besonderen, selten eintretenden Umständen. Die Welle tritt innerhalb des ihr zugänglichen Bereiches der Erdkruste unausgesetzt in Gebiete von anderer molekularer Beschaffenheit und erleidet deshalb fortwährend Brechungen, welche bewirken, dass die Fortpflanzungslinien, welche wir bisher als gerade behandelten, Kurven werden.“*

Daher kommt auch in der Mehrzahl der Fälle eine Hyperbel, wie sie v. SEEBACHS Theorie verlangt, nicht zustande.

Eine andere Kurve in Form einer Konchoide oder Muschellinie einzuführen, wie es A. SCHMIDT<sup>710</sup> mit seinem „Erdbebenhodographen“ versucht hat, kommt nach dem Urteil sowohl von GUENTHER als auch SIEBERG den wahren Verhältnissen näher. Denn auf diese Weise konnten weiter Beobachtungen erfasst werden, bei denen sich ergab, dass in großen Abständen vom Epizentrum eine stetige Zunahme der Fortpflanzungsgeschwindigkeit festzustellen war, wohingegen das HOPKINS'sche Gesetz und v. SEEBACHS Hyperbeldarstellung eine fortwährende Abnahme verlangt. Nach neuerer Theorie zerfällt das ganze Erschütterungsgebiet an der Erdoberfläche in zwei Zonen. In der einen inneren Zone nahe dem Epizentrum nimmt die scheinbare Oberflächengeschwindigkeit ab, während sie in der äußeren Zone ins Unbegrenzte wächst, wobei aber die Intensität ins Unmerkliche abnimmt. Die kleinste Oberflächengeschwindigkeit, die an der Grenze zwischen beiden Zonen stattfindet, soll dann nach A. SCHMIDT

*„... ein Maß für die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Erdbebenwellen in der dunklen Tiefe des Epizentrums ...“*

sein. Die beiderseitigen Wendepunkte dieser muschelförmigen Erdbebenhodographen nähern sich einander in dem Maße, je dichter der Erdbebenherd an der Erdoberfläche gelegen ist, und umso kleiner wird auch die innere Zone des Erschütterungsgebietes.

Diese Modifikation der seismischen Geometrie v. SEEBACHS wurde von GERLAND für das künftige System internationaler Erdbebenbeobachtung empfohlen und nach ihrer mathematischen Bearbeitung<sup>711</sup> auch in die Lehrbücher von GUENTHER und SIEBERG übernommen. Doch war man sich auch über den „apriorischen Mangel“, mit welchem jede derartige Methode behaftet ist, im Klaren<sup>712</sup>:

*„Ein wirkliches Erdbebenzentrum, von welchem Impulse nach allen Seiten ausgehen, ist wohl nur in ganz wenigen Fällen wirklich vorhanden ... Im Durchschnitt wird der dreidimensionale Raumeil innerhalb der Erdrinde, welcher als der wahre Sitz des Erdbebens zu betrachten ist, eine ziemlich große Ausdehnung besitzen.“*

Daher kann auch nach GUENTHERS Meinung dieses Verfahren, die seismischen Elemente mit Hilfe eines abstrakt

<sup>702</sup> SEEBACH, K.V.: a.a.O S. 183.

<sup>703</sup> Ebenda.

<sup>704</sup> SIEBERG, A.: Handbuch der Erdbebenkunde. – S. 68 ff., Braunschweig 1904

<sup>705</sup> GUENTHER, S.: Handbuch der Geophysik. 1. Bd. – 2. Aufl., Stuttgart 1897.

<sup>706</sup> MILNES Handbuch „Earthquakes on other Earth Movements“. – S. 211 f., London 1896.

<sup>707</sup> HOPKINS, J.: Researches in Physical Geology. – In: Phil. Magazine, Vol. VIII.

<sup>708</sup> GUENTHER, S.: a.a.O. S. 468.

<sup>709</sup> GUENTHER, S.: a.a.O. S. 472.

<sup>710</sup> SCHMIDT, A.: Wellenbewegung und Erdbeben. Ein Beitrag zur Dynamik der Erdbeben. – Jahresheft 1888 des Vereins für vaterländische Naturkunde in Württemberg, S. 249–270.

<sup>711</sup> RUDZKI, M.P.: Über die scheinbare Geschwindigkeit der Erdbeben. I. Studie aus der Theorie der Erdbeben. – In: GERLANDS Beiträge zur Geophysik. Bd. III, S. 495–518, Leipzig 1898.

<sup>712</sup> GUENTHER, S.: a.a.O. S. 475.

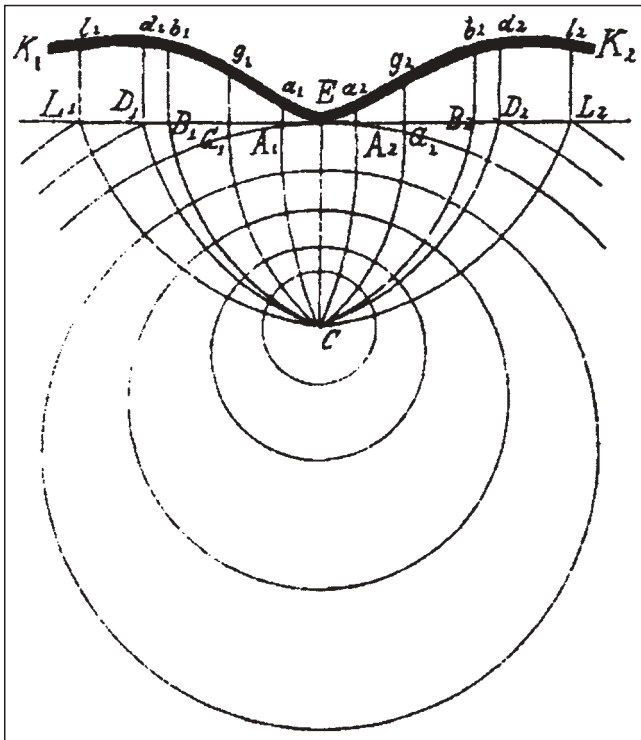


Abb. 107.  
Erdbebenhodograph in Form einer Konchoide nach A. SCHMIDT aus GUENTHER (1897).

idealisierten geometrischen Modells zu ermitteln, nur „approximative Gültigkeit“ haben.

#### 4.8.4. Abschließende Bewertung der seismischen Geometrie und ihrer Ergebnisse

Trotz dieser Modifikationen und Einschränkungen ihres Gültigkeitsanspruches bildete v. SEEBACHS seismische Geometrie über viele Jahre hinweg die theoretische Grundlage für die Berechnung der Elemente der Erdbeben, die sich in dieser Zeit in Europa ereigneten.

Zunächst versuchte v. SEEBACH selbst seine Methode der Hyperbelkonstruktion auf drei dem mitteldeutschen Beben vorausgegangene europäische Erdbeben zu übertragen:

- Das Erdbeben der Veterna hola (= Mincow) vom 15. Januar 1858.
- Das rheinische Erdbeben vom 29. Juli 1864.
- Das Groß-Gerauer Erdbeben in Hessen vom 31. Oktober 1869.

Von den beiden ersten Beben lagen sorgfältige Zeitbestimmungen, die von Julius SCHMIDT vorgenommen wurden, vor. Trotzdem führten sie zu keinem befriedigenden Ergebnis. Die Konstruktion einer Hyperbel gelang beim rheinischen Erdbeben von 1864 nur dadurch, dass das ganze Datenmaterial in zwei Gruppen unterteilt wurde, wovon die eine Hälfte gänzlich verworfen werden musste.

Beim Erdbeben der Veterna hola spricht v. SEEBACH selbst von einem „vielfältigen Probieren“ bei der Zeichnung der Hyperbel, von der er selbst zwar überzeugt war, dass sie „von der Wahrheit nur wenig abweichen wird“, während er die daraus errechneten Werte für die Tiefe des Zentrums und der wahren Fortpflanzungsgeschwindigkeit mit einem Fragezeichen versehen musste.

Das Resultat für das Groß-Gerauer Erdbeben, von dem NÖGGERATH eine umfangreiche Übersicht von Zeitangaben

geliefert hat<sup>713)</sup>, gestaltete sich nach eigenen Angaben v. SEEBACHS<sup>714)</sup>

„... so unbefriedigend, dass der Versuch bald wieder aufgegeben wurde.“

So bleibt schließlich von all diesen Anwendungen der seismischen Geometrie nur das Mitteldeutsche Erdbeben selbst übrig.

Für die Bewertung dieses Ergebnisses der gesamten Untersuchung v. SEEBACHS steht glücklicherweise bereits die neueste Reinterpretation des mitteldeutschen Erdbeben von GRÜNTAL<sup>715)</sup> zur Verfügung, die über die von K. v. SEEBACH gesammelten Berichte hinaus vor allem die Arbeiten von GREBE<sup>716)</sup> und GIEBEL<sup>717)</sup> und weitere Quellen aus Zeitungsberichten und zeitgenössischen Chroniken berücksichtigt.

Diese bisher genaueste und umfassendste auf modernen makroseismischen Praktiken beruhende Reevaluation, der die Untersuchungen von DE LLARENE (1925), SPONHEUER & GRÜNTAL (1981) vorausgingen, bestätigt die in der vorliegenden Abhandlung durchgeführte Kritik an v. SEEBACHS nur auf wenigen ausgewählten Daten beruhende theoretische Berechnung der wichtigsten Elemente des mitteldeutschen Erdbebens. Nicht nur hat sich v. SEEBACHS Bestimmung der mittleren Herdtiefe von 19,85 km statt 12 km als viel zu groß erwiesen, sondern vor allem war auch seine Berechnung des Epizentrums allein aus den ihm übermittelten Zeitangaben von den unterschiedlichen Orten, an denen das Erdbeben wahrgenommen worden ist, ein „hoffnungsloses Unternehmen“ („hopeless undertaking“). Abgesehen von dem ihm selbst bekannten und ausdrücklich kritisierten Umstand, dass die gesammelten Daten dürftig waren, stellt seine von HOPKINS übernommene, in der Grundidee noch heute brauchbare Berechnung des Epizentrums einen jener historisch interessanten Fälle dar, bei dem mit einem großen Aufwand an weitgehend in sich konsistenten theoretischen Überlegungen ein völlig unhaltbares Ergebnis zustande kam. Denn das wahre mit den modernen makroseismischen Methoden ermittelte Epizentrum, das mit dem Gebiet größter Erschütterung identisch ist, lag von dem durch v. SEEBACH theoretisch berechneten Epizentrum 90 km entfernt.

Diese für den speziellen Fall des Mitteldeutschen Erdbebens vom 6. März 1872 so negativ kritische Bewertung der Resultate der Untersuchungen v. SEEBACHS vermindern jedoch keineswegs seine Leistungen im Bezug auf die allgemeinen theoretischen Betrachtungen über das Phänomen der Erdbeben überhaupt. Schon zu seiner Zeit wurde seiner überaus mühevollen und strengkritischen Arbeit das Verdienst zugesprochen, in der Methode der Forschung „ganz neue Bahnen“ eingeschlagen zu haben. Sie wurde von einem Zeitgenossen „als die seit MALLETS klassischer Darstellung des neapolitanischen Erdbebens vom 16. Dezember 1857 unbestritten bedeutendste Schrift über diesen Stoff“ bezeichnet<sup>718)</sup>. Tatsächlich war v. SEEBACH zu seiner Zeit der bedeutendste Erdbeben-theoretiker in Deutschland, der über MALLETS und HOPKINS' Theorien hinaus, die er zwar kritisch behandelt, aber an die er trotzdem direkt anknüpft, noch weitergehende allgemeine Überlegungen über das Verhältnis von Herdtiefe und Intensität, Fortpflanzungsgeschwindigkeit und Wirkung der Erdbebenwellen angestellt hat. Er war es auch, der die

<sup>713)</sup> Verhandl. d. Nat.-Ver. Rheinl. Westph. 1870.

<sup>714)</sup> SEEBACH, K.V.: a.a.O. S. 174.

<sup>715)</sup> GRÜNTAL, G.: The Central German Earthquake of March 6, 1872. – In: R. GUTDEUTSCH, G. GRÜNTAL, R. MUSSON, S. 54 ff.

<sup>716)</sup> GREBE, L.: Beiträge zur Kenntniss der Erderschütterung vom 6. März 1872. – Cassel 1872.

<sup>717)</sup> GIEBEL, C.: Beobachtungen über das Erdbeben am 6. März in und um Halle. – Zeitschr. f. ges. Naturwiss. 39 (1872), 228–243.

<sup>718)</sup> GÜMBEL, 1873, siehe GRÜNTAL, S. 56.

Anwendung und Weiterentwicklung von MALLETS Seismometer empfahl und auch selbst, wie noch gezeigt wird, eine Vorrichtung zur Bestimmung der Fundamentalzeiten vorschlug. Mit seiner Forderung, in den erdbebengefährdeten Gebieten Deutschlands, z.B. im mittleren Rheintal seismometrische Stationen einzurichten, verband er die Hoffnung, dass eines Tages<sup>719)</sup>

„... auch dies furchtbarste und verheerendste Phänomen, welches unsere Erde kennt, nicht mehr mit dem geheimnisvollen Dunkel bekleidet sein wird, welches noch heute seine Ursachen verhüllt und zu einem ungelösten Räthsel macht“.

#### 4.9. Die Theorie der tektonischen Erdbeben

Die Anwendung der Wellentheorie der Erdbeben führte zu einem neuen überraschenden Ergebnis in der Frage nach der Größe und Gestalt des Erdbebenherdes. Obwohl alle theoretischen Überlegungen davon ausgingen, dass der Erdbebenherd, wenn schon in der Realität nicht gerade punktförmig so doch wenigstens eine mehr oder weniger ausgedehnte Höhle sei, die entweder einstürzt (VOLGER) oder in der ein explosiver, durch Hitze und/oder Dampf ausgelöster Vorgang stattfindet (MALLET, v. SEEBACH), ergab sich jedesmal aus der Rekonstruktion der Wellenbewegungen, dass der Erdbebenherd keine Höhle sondern eine meist ausgedehnte eher schiefe als senkrechte Spalte sein musste. Denn die Isoseisten waren nie Kreise sondern stets ellipsenförmig und erstreckten sich außerdem in einer Richtung weiter als in der anderen.

Dadurch erschien auch die Frage nach den Ursachen und Mechanismen der Erdbeben in einem neuen Licht. Wenn der ursprüngliche Herd der Erdbeben eine Spalte in der Erdkruste ist, dann ergibt sich die Frage nach den Ursachen dieser Spaltenbildungen. Spalten entstehen dann, wenn Spannungen in nicht mehr elastischem Gestein der Erdkruste eine bestimmte Grenze überschreitet, und es dadurch zu einem Bruch kommt. Das Auftreten von Spannungen kann aber nur dadurch zustande kommen, dass die Erde nicht vollkommen starr ist, sondern im Innern auf Grund hoher Temperatur und hohem Druck ein flüssiger oder zähflüssiger, jedenfalls aber dynamischer Zustand herrscht, der zur Verformung der bereits festgewordenen Erdkruste führt. Das war der Ursprung der Theorie der tektonischen Erdbeben, deren Ursachen und Mechanismen jedoch auf unterschiedliche Weise erklärt wurden.

Im Wesentlichen waren es zwei Theorien: die Kontraktionstheorie und die Theorie der „Isostasie“ oder des Schwereausgleichs. Beide Theorien verbinden die Erdbeben mit den Mechanismen der Gebirgsbildung.

Die Kontraktionstheorie geht von einer Abkühlung des heißen Erdinnern aus, die ein Zusammenziehen des Erdkerns bewirkt. Soweit die äußere Erdkruste starr und fest geworden ist, kann sie nur zusammenbrechen und niedersinken, während sich die noch weicheren elastischen Teile durch den horizontalen Druck falten und zu Gebirgen auf-türmen.

Die Lehre von der Isostasie dagegen geht davon aus, dass sich die Erdkruste nach Höhen und Tiefen dadurch gestaltet, dass ihre einzelnen Teile der Schwerkraft folgen und auf diese Weise durch Steigen oder Sinken der Schollen ein ständiger Schwereausgleich zustande kommt. Verbunden ist diese Theorie mit der Auffassung, dass die einzelnen, durch Spalten getrennten Schollen auf einem zähflüssigen aber schwereren Untergrund schwimmen, wie die Eisschollen auf der Wasseroberfläche und dabei je nach Dicke mehr oder weniger tief eintauchen. Dabei wurden

nicht nur vertikale, sondern auch schon horizontale Bewegungen angenommen.

In beiden Fällen jedoch ergibt sich eine neue Auffassung vom Ursprung und Mechanismus der Erdbebenentstehung. Denn gleichviel, ob die Erdkruste im Sinne der Kontraktionstheorie nur in die Tiefe sinkt, oder ob sie im Sinne der Isostasie zu einem Teil hinabsinkt, zum anderen in die Höhe steigt oder ob über die tieferen weicheren Schichten der Rinde die höheren dahingleiten, ob die Runzelung oder Faltung der Erdkruste zu Gebirgen durch einseitigen oder mehrseitigen Druck erfolgt, stets müssen durch vertikale oder horizontale Bewegungen der Schollen Reibungen und Verklümmungen und dadurch Spannungen entstehen, die sich dann plötzlich und ruckartig lösen. In allen diesen Fällen kommt es zu starken Erschütterungen der Erdkruste, sodass davon auszugehen ist, dass alle schweren und am weitesten verbreiteten Erdbeben als „tektonische Erdbeben“ zu bezeichnen sind.

##### 4.9.1. Die geotektonische Auffassung vulkanischer Erscheinungen: Robert MALLET

MALLET, dessen Verdienste um die Wellenausbreitung der Erdbeben unbestritten sind, hatte sich aber auch konsequenterweise in seinen späten Jahren mit den Ursachen vulkanischer Erscheinungen beschäftigt, die für ihn als erklärten Vulkanisten auch die primäre Ursache der Entstehung von Erdbeben waren. Denn er führte Erdbeben immer auf explosionsartige Vorgänge im Erdinnern zurück und betonte immer ganz im Sinne HUMBOLDTS den untrennbaren Zusammenhang von Vulkanismus und Erdbeben<sup>720)</sup>. In diesem Zusammenhang lieferte er eine auf der Idee der Kontraktion der Erde beruhende umfassende geotektonische Theorie der vulkanischen Erscheinungen sowohl für die vergangenen erdgeschichtlichen Epochen als auch für die Gegenwart<sup>721)</sup>. In Bezug auf den Kontraktionsvorgang nahm er vier Perioden an:

- In der ersten Periode bildete sich eine dünne biegsame und deshalb auch leicht deformierbare Kruste.
- In der zweiten Periode musste sich die bereits erkaltete Kruste zerspalten und an manchen Stellen aufbrechen. Es konnten sich dann an den Senkstellen lokale Wasseransammlungen bilden, während sich das Erdsphäroid hauptsächlich noch in einem rotglühenden Zustand befand.
- Im dritten Stadium verdickte sich die Kruste und es trat, wenn sich gelegentlich die Spannungen auslösten, ein merklicher Tangentialschub auf, der die äußeren Schichten der Erdkruste spaltete und so zu den gegenwärtig noch sichtbaren Gebirgsbildungen führte.
- Im vierten und letzten Stadium, in dem sich die Erde noch heute befindet, hat die Erdkruste bereits eine so große Verdickung erfahren, dass Abkühlung und Zusammenziehung nur noch in sehr langsamem Tempo vor sich gehen.

Im gegenwärtigen Zeitpunkt der Erdentwicklung bestehen aber doch noch in bestimmten Bereichen erhöhte Spannungen und Linien des schwächsten Widerstandes vor allem längs der großen, durch die Meere gebildeten Senkungsfelder. An diesen größtenteils nahe den Kontinentalrändern verlaufenden Linien setzt sich die Zerdrückung und Zerknickung der Gesteinsmassen fort und daraus resultiert dann die Schmelzhitze, die sich in Vulkan- ausbrüchen und Erdbeben äußert<sup>722)</sup>:

<sup>720)</sup> MALLET, R.: Report 1858, S. 60.

<sup>721)</sup> MALLET, R.: Volcanic Energy: an attempt to develop its true Origin and Cosmical Relations. – Phil. Transactions of the Royal Society of London, Vol. 163, S. 147–227, London 1874.

<sup>722)</sup> MALLET, R.: Volcanic Energy, S. 167.

<sup>719)</sup> SEEBACH, K.V.: a.a.O. S. 188.

„The heat from which terrestrial volcanic energy is at present derived is produced locally within the solid shell of our globe by transformation of the mechanical work of compression or of crushing of portions of that shell, which compressions and crushings are themselves produced by the more rapid contraction, by cooling, of the hotter material of the nucleus beneath that shell, and the consequent more or less free descent of the shell by gravitation, the vertical work of which is resolved into tangential pressures and motion within the thickness of the shell.“

Auf diese Weise lieferte MALLET eine nachträgliche geotektonische Erklärung der Verteilung der „seismischen Bänder“ auf seiner bereits im Report vom Jahre 1858 dargestellten „Seismographischen Weltkarte“. Sinn und Zweck dieser Darstellung hatte er damals folgendermaßen beschrieben<sup>723)</sup>:

„I therefore venture to present this map as more than a mere picture – as being, in fact, a first approximation to a true representation of the distribution of earthquake forces, so far as they are yet known, over the surface of our world.“

Das Datenmaterial, auf das er sich stützen konnte, war sein eigener 1853 veröffentlichter Erdbebenkatalog, der vom Jahre 1606 vor Chr. bis 1850 n. Chr. reicht und auch zum Teil umfängliche Beschreibungen über die Ausbreitung und Intensität der Erdbeben enthält<sup>724)</sup>.

Bereits damals vor mehr als 15 Jahren vermutete er auf Grund dieser Daten einen gemeinsamen Ursprung von seismischer und vulkanischer Energie in der Tiefe der Erde<sup>725)</sup>:

„So also the writer has shown (Earthquake Catalogue, Brit. Assoc. and Seismic Map of the world thereof) that earthquakes on the whole are found to occur within the area of great seismic bands which follow and extend at either side of the mountain-chains of the world. Again, though thermal springs occur everywhere (just as earthquakes may occur anywhere), yet on the whole they are chiefly manifested in regions which have been or are greatly disturbed by mountain elevation or by volcanic and seismic activity. Thus we find this local relationship binding together the whole, viz. that volcanoes, earthquakes, and hot springs follow the lines of mountain elevation or dislocation. And this is almost all that we can certainly affirm connects them as having some common origin beneath.“

Er war sich jedoch auch im Sinne seiner Wellentheorie, in der zwischen Ursprungsort und Ausbreitung der Erdbeben genau unterschieden wird, im Klaren, dass die Grenzen eines Erdbebens nie vollständig bestimmt werden können und beschränkte sich daher auf die im Katalog der historischen Erdbeben ohne instrumentelle Hilfe bestimmten Angaben<sup>726)</sup>:

„Strictly, the limits of every earthquake are completely indeterminate; and were our globe perfectly solid, homogeneous, and elastic, no limits but its own could be assigned to any shock from whatever centre originating. The practical without instrumental aid; for such have been all the observations dealt with in our Catalogue.“

Gerade diese Beschränkung auf die nicht-instrumentell gewonnenen Daten über die größte Intensität und noch direkt sinnlich fühlbare Ausbreitung der bisher in der Menschheitsgeschichte bekannten Erdbeben liefert MAL-

<sup>723)</sup> MALLET, R.: Report 1858, S. 61.

<sup>724)</sup> MALLET, R.: Third Report on the Facts of Earthquake Phaenomena. Catalogue of recorded Earthquakes from 1606. B.V. to A.D. 1850. Report of the Twenty-Second Meeting of the British Association for the Advancement of Science. Held at Belfast in Sept. 1852. – S. 1–326, London 1853.

<sup>725)</sup> MALLET, R.: Volcanic Energy. – S. 148.

<sup>726)</sup> MALLET, R.: Report 1858, S. 58.

LET ein seiner Zielsetzung entsprechendes getreues Abbild erhöhter Seismizität in allen Regionen der Erdoberfläche, das, wie schon mehrfach betont<sup>727)</sup>, deutlich die Grenzen der großen Platten zeigt, wie sie Alfred WEGENER (1912) auf Grund seiner Kontinentalverschiebungstheorie annahm.

Nimmt man nun die Spekulation MALLETS über die verschiedenen Perioden der Abkühlung des Erdinnern hinzu, die zumindest für eine der vergangenen Epochen ein Zerspalten der Erdkruste in mehrere Platten annimmt und auch für die Gegenwart trotz der fortgeschrittenen Erstarung des Erdinnern sowohl Senkungen und Hebungen als auch infolge des tangentialen Druckes horizontale Verschiebungen in einem zwar geringen aber doch vorhandenen Ausmaß fordert, dann sieht man deutlich, wie nahe MALLET mit seinen theoretischen Überlegungen den heute angenommenen Ursachen tektonischer Beben gekommen ist.

In diesem Zusammenhang weist MALLET ebenso wie später Eduard SUESS auf DARWIN als eigentlichen Vorläufer dieser Theorie hin<sup>728)</sup>:

„Should it ultimately prove a fact, as rendered probable from the beautiful investigations of Darwin, that there are great areas of gradual subsidence now in motion beneath the Pacific, it may still happen (though it is not probable) that seismic or even volcanic bands may traverse such areas of subsidence, without materially affecting their general downward movement. Although many portions of the earth's surface now show evidences of vertical instability, either slowly, or per saltum occasionally, rising or sinking, these effects are all comparatively insignificant in extent. The great formative forces, whatever they were, upon which the elevated land of the great continents and the depression of the ocean-beds depended, have ceased sensibly to act. The function of the volcano and the earthquake in the existing cosmos is not creative, but simply preservative; and vast as they appear to eye and sense, their effects are very small in relation to the totality of the great terrestrial machine.“

#### 4.9.2. Die Kontraktionstheorie: DANA, HEIM und SUESS

Schon lange bevor DANA, HEIM und SUESS die Theorie von der Schrumpfung der Erde durch Abkühlung zur Erklärung der tektonischen Erdbeben heranzogen, wurde diese physikalisch plausible Theorie von denjenigen vertreten, die eine ursprünglich glutflüssige Erdkugel annahmen. So hatte bereits LEIBNIZ, der von dem Grundsatz ausging, dass Gott nichts Gestaltloses schafft, 1693 in seiner Schrift „Protogaea“ die Unebenheit der Berge, von denen das Antlitz der Erde start, darauf zurückgeführt, dass die ursprünglich regelmäßig gerundete glutflüssige Erdoberfläche erhärtet und zerbrochen ist<sup>729)</sup>:

„Globum terrae, ut omnia nascentia, regulari forma e naturae manibus exiisse sapientibus placet: DEUS enim incondita non molitur; & quicquid per se formatur, insensibiliter aut concrescit per particulas, aut pro sesse disponentium delectu conflictuque oritur. Itaque asperitas montium, quibus horret facies orbis, postea supervenit. Et certe si liquidus initio fuit, etiam aequabilis fuerit necesse est: generalibus autem corporum legibus consentit, firma ex liquidis induruisse.“

<sup>727)</sup> HAMMERL, Ch. & LENHARDT, W.: Erdbeben in Österreich. – Graz 1997, S. 30.

<sup>728)</sup> MALLET, R.: Report 1858, S. 70.

<sup>729)</sup> Leibnizii Opera Omnia, Tom II, Pars II. – S. 201, Genf (ed. L. Dutens) 1768.



An die Theorie der Kontraktion der heißen Erde durch Abkühlung hat G.L. DE BUFFON seine experimentell mit Hilfe von erhitzten Eisenkugeln gestützten Überlegungen zur Bestimmung des Erdalters geknüpft<sup>730</sup>). Und ELIE DE BEAUMONT hatte in seinem Werk: „Recherches sur quelques-unes des révolutions de la surface du globe“ (Paris 1829–30) darauf hingewiesen, dass die Ungleichheit der Abkühlung die Hülle zu ständiger Einengung zwingt, damit die Föhlung mit der schwindenden Innenmasse nicht verlorren geht. Schließlich war es auch HUMBOLDT, der, wie bereits gezeigt, in seinem „Kosmos“ nicht nur die Kontraktionstheorie, sondern auch die Entstehung der Gebirge infolge der durch Schrumpfung der Erde hervorgerufenen Faltung der Oberfläche vertreten hat.

Der erste jedoch, der in mehreren Artikeln aus den Jahren 1846, 1847 und 1856 die Idee einer „ungleichen, radialen Kontraktion“ (unequal radial contraction) der Erde auf Grund ihrer Abkühlung in Bezug zur Entstehung von Erdbeben dargestellt hat, die wegen eines dabei auftretenden seitlichen Druckes zustandekommen sollen, war James D. DANA<sup>731</sup>):

„Earthquakes were a result of sudden fracturings and dislocations proceeding from lateral pressure. In vol. III, p. 181 (1847) occurs the remark: ‘We see that the lateral pressure exerted would be likely to dislocate’, and in the next line, ‘such fissurings, whether internal or external, would cause shakings of the earth (earthquakes) of great violence, and in all periods of the earths history, and it might be over a hemisphere at once.’“

Den Ausdruck „seitlicher Druck“ (lateral pressure) verwendete DANA synonym mit seitlicher Kraft (lateral force, tension, horizontal force, force acting tangentially) und betont auch ausdrücklich, dass der Ausdruck „tangential thrust“ von MALLET in keiner Weise davon verschieden ist. Obwohl schon PREVOST sechs Jahre vor seinem ersten Artikel die Entstehung der Gebirge durch Kontraktion der sich abkühlenden Erde vertrat und noch andere Autoren die Kontraktionen der Erde annahmen, kann DANA für sich den Anspruch erheben, die Dislokationsbeben oder die später so genannten tektonische Beben als die wichtigsten und eigentlich schweren Erdbeben erkannt zu haben, obwohl sie nur eine sekundäre Erscheinung langwieriger, über Jahrmillionen vor sich gehender Vorgänge der Gebirgsbildung darstellen.

Im Unterschied zu seinen Nachfolgern in Europa HEIM und SUESS hat jedoch DANA die Hebung von Kontinenten nicht ausgeschlossen<sup>732</sup>):

„Moreover, the elevation of Mountains on the borders of continents I have attributed, not to ‘sinking sea-bottoms’ merely, but to lateral pressure produced by contraction over continental as well as oceanic areas, that on the oceanic being made much the greatest, as stated beyond.“

Doch gibt er selbst zu, dass seine Ausdrucksweise in diesem Punkt undeutlich ist<sup>733</sup>):

„My language is frequently ambiguous on this last point, because I speak of the oceanic as the ‘subsiding’ areas. But the term is used relatively. In volume III on p. 179, (1847), I observe that mountain elevations, occur, ‘near the limit between the great contracting and the non-contracting (comparatively non-contracting) areas.’“

<sup>730</sup>) BUFFON, G.L.DE: Époques de la Nature, 1778.

<sup>731</sup>) DANA, J.D.: One some Results of the Earth’s Contraction from cooling, including a discussion of the Origin of Mountains, and the nature of Earth’s Interior. – Am. Jour.Sci., Third Series, Vol. V, No 30, S. 425, June 1873.

<sup>732</sup>) DANA, J.D.: a.a.O. S. 423.

<sup>733</sup>) Ebenda.

In Europa hatte zunächst der Schweizer Geologe A. HEIM die Kontraktion der sich abkühlenden Erde als Mechanismus der Gebirgsbildung dargestellt, indem er aus genauen Profilen des Juragebirges und der Alpen den Zusammenschub der Erdoberfläche bestimmte und daraus die Umfangverkürzung der Erde berechnete<sup>734</sup>):

„Wenn wir ein Kettengebirge in Gedanken wieder ausglätten, so erhalten wir ein zuviel von Erdkruste. Der Erdumfang war also vor der Stauung der Gebirge um denjenigen Betrag grösser, welcher sich aus dem Ausglätten der Kettengebirge im Vergleich zu der jetzigen Breite der Gebirgszone ergibt. Ich habe, soweit die Profile genügend bekannt sind, aus denselben diesen Zusammenschub abgemessen und für den Jura zu 5000 bis 5300 Meter, für die Alpen zu etwa 120,000 Meter gefunden. Früher war die betreffende Zone der Erdrinde um den genannten Betrag breiter. Diese Zahl ist der absolute Zusammenschub, der ein Gebirge gebildet hat. Die jetzige Breite des Gebirges dividirt durch die Breite dieser Rindenzone vor der Faltung ergibt den relativen Zusammenschub ( $1/12$  bis  $4/5$  für den Jura,  $1/2$  für die Alpen). Theilen wir den absoluten Zusammenschub durch die Zahl der Ketten oder Falten, so erhalten wir ein Maass für die durchschnittliche Intensität der Falten, welch’ letztere Zahl von einem zum anderen Querprofil stark wechseln kann. Da der Erdumfang 40.023,512 Meter beträgt, war er vor der Alpenbildung 40,143,512 Meter gross; er hat sich somit durch die Alpenbildung doch bloss um das 0.003fache verkleinert – d.h. um nicht ganz  $1/3\%$ . Schätzen wir die Faltung der anderen von dem Central-Alpen-Meridian geschnittenen Gebirge noch in ihrem Zusammenschube ab, so finden wir, dass die Umfangverkürzung durch die gesammte Gebirgsbildung bis jetzt nicht ganz 1% betragen hat.“

Für eine solche – vergleichsweise geringe – Umfangverkürzung würde nach den Berechnungen von HEIM eine Abkühlung von 200° genügen. Und nur 500° würden ausreichen, um auf einem größten Kreise der Erde drei Gebirge wie die Alpen, d.h. so ziemlich alle Gebirge der Erde aufzutürmen. Eine derartige Abkühlung der Erde während ihrer gesamten Entwicklungsgeschichte ist aber nach der Kontraktionshypothese durchaus anzunehmen.

Wenn auch HEIM nicht annimmt, dass der gebirgsbildende Horizontalschub noch fort dauert, so müssen doch nach seiner Meinung<sup>735</sup>):

„... in der Erdrinde wenigstens durch die Belastungsänderungen, durch Verwitterung und Erosion neue Spannungen entstehen, und von Zeit zu Zeit in Bildung von Rissen, in Stellungsveränderungen ganzer Schichtenkomplexe ihre Auslösung erlangen. Hierin muss die Ursache zu manchen Bodenerschütterungen gegeben sein, die als Erdbeben empfunden werden.“

Andere Autoren dagegen, wie z.B. v. DÜCKER, sehen keinen Grund für die Annahme, dass die seitliche Zusammenschiebung des Erdgewölbes bereits ihr Ende gefunden hatte. Gerade deswegen, weil die heutige Erdrinde nicht mehr weich, sondern hart ist, müssen durch Brüche plötzliche Bewegungen, die als Erdbeben fühlbar sind, entstehen<sup>736</sup>):

„Bestände unsere Erdrinde aus weicheeren Massen, so würden die Schiebungen sich stets in sanfter, unfühlbaren Weise vollziehen, da sie aber zum guten Teil aus harten

<sup>734</sup>) HEIM, A.: Untersuchungen über den Mechanismus der Gebirgsbildung im Anschluss an die geologische Monographie der Tödi-Windgällen-Gruppe. – Basel 1878. Vgl. HOERNES S. 337.

<sup>735</sup>) HEIM, A.: a.a.O. Vol. II, S. 101.

<sup>736</sup>) Vgl. in HOERNES, R.: Erdbebenkunde. Die Erscheinungen und Ursachen der Erdbeben, die Methoden ihrer Beobachtung. – S. 219, Leipzig 1893.

Felsarten besteht, so wird diese Schiebung nach Überschreitung der Elastizitätsgrenze eine plötzliche Bewegung, die eben unseren Erdbeben entspricht, hervorbringen.

Auch HEIM schiebt nicht völlig das Fortbestehen von Faltungen aus<sup>737)</sup>:

„Ein solches häufiges Erzitern des Bodens ... macht vollständig den Eindruck als müßte die Faltung unter uns auch heute noch fort und fort gehen. Ohne zahllose Menge solcher Erschütterungen ist der langsamste Faltenvorgang nicht denkbar.“

Die Entstehung von Erdbeben als sekundäre Wirkung gebirgsbildender Kräfte wurde vor allem auch von Autoren behauptet, die sich mit der Untersuchung von Erdbeben in gebirgsreichen Gegenden beschäftigten. So stellt Alexander BITTNER am Schluss seiner Abhandlung über das Erdbeben von Belluno in Oberitalien vom 29. Juni 1873 fest<sup>738)</sup>:

„Der gewaltige gegenseitige Druck und die Spannung der sich verschiebenden Gebirgsmassen, das Entstehen neuer und die Erweiterung schon bestehender Klüfte und Spalten bilden hinreichende Ursachen, die sowohl einzeln als auch zusammenwirkend die meisten unserer Erdbeben zu erzeugen im Stande sein mögen.“

Und er sieht diese Verhältnisse vor allem an den konkaven Seiten der großen mitteleuropäischen Gebirge, der Alpen, der Karpaten und des Apennin als gegeben an<sup>739)</sup>:

„Die weitgehendsten Störungen, die furchtbarsten Erdbeben und die gewaltigsten Vulkanausbrüche haben hier in enger Vereinigung stattgefunden und finden noch statt, und darum erscheint es mir denn zum mindesten überflüssig, auf ferner liegende Hypothesen zurückzugreifen, um eine einzelne dieser Erscheinungen zu erklären, die sich viel besser im Zusammenhange mit anderen nicht anzufechtenden Erscheinungen als das begreift, was sie wohl ist, als eine in ihrem Auftreten zwar furchtbare, aber doch nur sekundäre Wirkung untergeordneter Art der gebirgsbildenden Kräfte selbst.“

H. CREDNER beruft sich ebenfalls in seiner Abhandlung über das erzgebirgisch-vogtländische Erdbeben vom 23. November 1875 auf die Möglichkeit, dass auch hier gebirgsbildende Kräfte und unterirdische Spaltenbildung die Ursache dieses Erdbebens sein könnten<sup>739)</sup>.

„Das Erzgebirge ist nur ein Theil eines ausgedehnten Falten-systemes, welchem jede centrale, sogenannte Hebung-saxe fehlt, es bietet vielmehr das Bild einer durch einseitigen Druck verursachten Gruppe von Falten. In Folge der seitlichen Pressung mussten zahlreiche Sprünge und Spalten entstehen, durch welches Spaltenwerfen-Erschütterungen hervorgerufen werden mussten. Da aber die gebirgsbildenden Ursachen durch enorme Zeiträume hindurch von den ältesten bis zu den jüngsten Perioden sich bethätigt haben, so ist die Möglichkeit gegeben, dass die ziemlich zahlreichen erzgebirgisch-vogtländischen Erdbeben auch dieses Jahrhunderts sich ebenfalls auf eine derartige Ursache zurückführen lassen, also zu erklären sein dürften als Aeusserungen der Gebirgsentstehung und unterirdischen Spaltenbildung in Folge seitlichen Druckes.“

Am deutlichsten hat jedoch Eduard SUESS die Kontraktionstheorie zur Grundlage sowohl der Erklärung der gebirgsbildenden Kräfte als auch der großen Erdbeben erhoben. In einem kleinen Buch über die „Entstehung der Alpen“ verwies er zunächst auf den großen Vorläufer der Idee der Entstehung der Erdbeben durch Spaltenbildung:

„Schon vor vielen Jahren hat Darwin die Gründe dargelegt, welche es wahrscheinlich machen, dass die grossen Erdbeben Südamerikas durch Spaltenwerfen in der Tiefe des Erdkörpers erzeugt werden. Wenn eine Masse sich in dem Zustande hoher Spannung befindet, werden von Zeit zu Zeit Sprünge entstehen, welche normal auf der Richtung der Spannung stehen und möglicherweise, wie dies bei dem Spaltenwerfen auf Gletschern der Fall ist, Erschütterungen hervorbringen mögen, welche ausser Verhältniss stehen zu der geringen Breite der neu entstandenen Kluft.“

Bereits hier übertrug Eduard SUESS diese Idee auf die Erdbeben in Mitteleuropa und Italien<sup>740)</sup>:

„Die Häufigkeit von Erdbeben in der Nähe der Innenseite, nicht nur des südlichen, sondern auch des nördlichen Apennin, z. B. bei Borgo S. Sepolcro, den Westalpen, z. B. bei Pignerol, des Bakony-Gebirges, z. B. am Berge Csóka, der Karpathen, z. B. bei Sillein, oder an den Grenzen der einzelnen Zweige, aus welchen der Hauptstamm der Alpen gebildet ist, wie bei Visp oder bei Villach, deuten Vorgänge in der Tiefe an, welche vielleicht nur in einem wiederholten Spaltenwerfen bestehen.“

Die Kontraktionstheorie verband jedoch SUESS im Unterschied zu DANA von allem Anfang an mit einer heftigen Kritik an der Hebungstheorie:

„Niemand denkt heute ernstlich daran, die Gebirge, wie man früher meinte, als Massen anzusehen, welche aus der Tiefe herausgehoben worden sind; man sieht im Gegentheile, dass unser Planet sein Volumen ein klein wenig vermindert, und dass diese Verminderung hinreicht, um an einzelnen Stellen an dem oberen Theile des Planeten Faltungen zu veranlassen. Die Falten nennen wir Kettengebirge.“

Nachdem SUESS ausführlich die Beobachtung der Erdererschütterungen erörtert und den Gegensatz zwischen Transversal- und Longitudinalbeben in Kettengebirgen erklärt hat, gelangt er zu dem Schlusse<sup>741)</sup>:

„Stellen wir uns eine Contraction der Erde vor, durch welche die Alpen nordwärts angepresst werden an die böhmische und galizische Masse, so werden sie sich in ähnlicher Weise verhalten, wie etwa eine grosse Eistafel, die angepresst wird an einen entgegenstehenden Pfeiler, und dann entstehen peripherische und transversale Spalten. Wir sehen in diesen Erdbebenlinien nichts Anderes, als das Ueberschreiten der Elasticitätsgrenze der Gesteine an irgend bestimmten Stellen, welches sich eben verräth durch die Axe der Erschütterung und die Beständigkeit der Linie.“

In seinem großen Werk über das „Antlitz der Erde“ dehnte dann SUESS die Idee der Dislokationen im Felsgerüst der Erde, hervorgerufen durch die Kontraktionen des Erdinneren, auf die gesamte Oberfläche der Erde aus<sup>742)</sup>:

„Die sichtbaren Dislocationen in dem Felsgerüste der Erde sind das Ergebniss von Bewegungen, welche aus der Verringerung des Volums unseres Planeten hervorgehen. Die durch diesen Vorgang erzeugten Spannungen zeigen das Bestreben, sich in tangentiale und radiale Spannung und dabei in horizontale (d.i. schiebende und faltende) und in verticale (d.i. senkende) Bewegungen zu zerlegen. Man hat daher die Dislocationen in zwei grosse Hauptgruppen zu trennen, von welchen die eine durch mehr oder minder horizontale, die andere durch mehr oder minder verticale Ortsveränderungen grösserer oder geringerer Gebirgtheile gegeneinander erzeugt worden ist.“

<sup>737)</sup> HEIM, A.: a.a.O. S. 102.

<sup>738)</sup> Sitzungsberichte der mathem.-naturw. Cl. der k. Akademie der Wissenschaften, 69. Bd. – S. 216, Wien 1874.

<sup>739)</sup> Zeitschrift für die gesammten Naturwissenschaften. – 48. Bd., 1876.

<sup>740)</sup> SUESS, E.: Die Entstehung der Alpen. – S. 57, Wien 1875.

<sup>741)</sup> SUESS, E.: Über die Erdbeben der Oesterreich-ungarischen Monarchie. – Beilage zu den Monatsblättern des wissenschaftlichen Clubs, Wien 1880.

HOERNES, R.: a.a.O. S. 216 ff.

<sup>742)</sup> SUESS, E.: Das Antlitz der Erde I. – S. 143.

Nach SUESS gibt es auf der Erdoberfläche weite Gebiete, in denen die erste, und andere, in denen die zweite Gruppe vorherrscht. Und es gibt auch Gebiete, in denen beide Gruppen zusammen auftreten. Die größte Anzahl der Beben in der nördlichen Hälfte der Alpen, das karpathische Beben von Silles vom 15. Januar 1828, das Beben von Belluno vom 29. Juni 1873 und viele andere Beben in den mitteleuropäischen Gebirgsgebieten sind nach seiner Meinung aus tangentialen Bewegungen hervorgegangen. Während solche Beben nur äußerst selten von Vulkanausbrüchen begleitet sind, verhält es sich bei den vertikalen Beben ganz anders. In den Senkungsfeldern treten auf den Dislokationsbrüchen und mit den dadurch hervorgerufenen Erdbeben die meisten vulkanischen Ausbrüche hervor, wodurch die Dislokationsbeben und die vulkanischen Beben nur schwer auseinanderzuhalten sind.

Die Erdbeben des südlichen Italiens, denen SUESS eine eigene Monographie widmete<sup>743)</sup>, stellen ein solches Gebiet dar, in dem vertikale Bewegungen zusammen mit vulkanischen Erscheinungen auftreten.

Ob es sich nun bei diesen Beben um zentrale oder periphere Senkungsbeben handelt, in jedem Fall sind jedoch für SUESS Vulkanausbrüche nur sekundäre Erscheinungen<sup>744)</sup>:

*„Das grosse calabrische Beben von 1783, welches auf einer peripherischen Randlinie die Stosspunkte hin und her treten liess, ist ein Dislocationsbeben und mag als ein peripherisches Senkungsbeben bezeichnet werden, zum Unterschied von den radialen Beben desselben Gebietes. Wo sich die radialen Linien durchschneiden, wie unter den Liparen, mag man auch von centralen Senkungsbeben sprechen. Es mögen auch verschiedene Schollen eines Senkungsfeldes gleichzeitig, doch in verschiedenem Sinne erbeben. In allen Fällen bleibt die Eruption der Vulkane bei den Dislocationsbeben eine sekundäre Erscheinung.“*

Die Ergebnisse seiner Untersuchungen fasst SUESS am Ende des ersten Bandes seines Hauptwerkes folgendermaßen zusammen<sup>745)</sup>:

*„Der Zusammenbruch des Erdballes ist es, dem wir beiwohnen. Er hat freilich schon vor sehr langer Zeit begonnen und die Kurzlebigkeit des menschlichen Geschlechts lässt uns dabei guten Muthes bleiben. Nicht nur im Hochgebirge sind die Spuren vorhanden. Es sind grosse Schollen hunderte, ja in einzelnen Fällen viele tausende von Fussen tief gesunken, und nicht die geringste Stufe an der Oberfläche, sondern nur die Verschiedenheit der Felsarten oder tiefer Bergbau verrathen das Dasein des Bruches. Die Zeit hat Alles geebnet. In Böhmen, in der Pfalz, in Belgien, in Pennsylvanien, an zahlreichen Orten zieht der Pflug ruhig seine Furchen über die gewaltigsten Brüche. Würden die tangentialen Spannungen in dem äusseren Felsgerüste der Erde sich vollkommen das Gleichgewicht halten und würde dasselbe im Stande sein, sich als ein freies Gewölbe selbstständig von allen Vorgängen der Erdtiefe aufrecht zu halten, würden keine Einbrüche und Faltungen eingetreten sein, so würde wahrscheinlich die Oberfläche der Erde ein ziemlich regelmässiges Sphäroid darstellen, allenthalben bedeckt von einer ununterbrochenen oceanischen Hülle. Die Einbrüche sind es, welche die Wasser in tiefen Weltmeeren gesammelt haben: hiedurch erst sind Continente entstanden und sind Wesen möglich geworden, welche durch Lungen athmen.“*

Auf diese Weise gelang es SUESS, ein konsequentes Theoriengebäude von Folgewirkungen zu errichten, die

<sup>743)</sup> SUESS, E.: Die Erdbeben des südlichen Italiens. – Denkschr. d. D. Akademie der Wissenschaften, 34. Bd., Wien 1874.

<sup>744)</sup> SUESS, E.: Antlitz der Erde I. – S. 230.

<sup>745)</sup> SUESS, E.: a.a.O. S. 778.

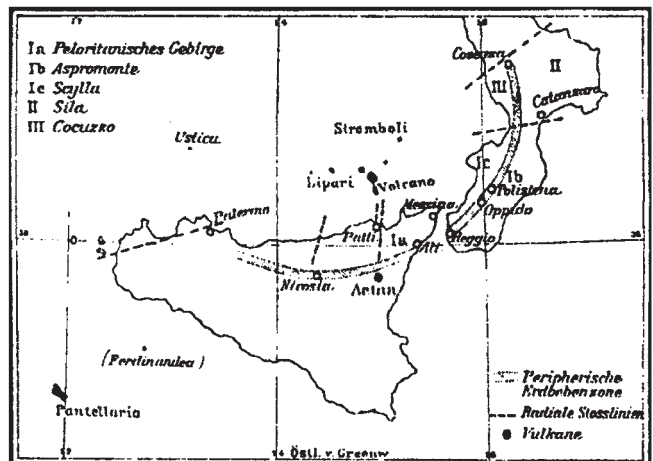


Abb. 108.  
Die Erdbeben des südlichen Italien (SUESS, 1874).

sozusagen nahtlos ineinandergreifen: Abkühlung des Erdinneren – Zusammenbruch der Rinde – Gebirgsbildung – Vulkanismus und Erdbeben.

Die Kontraktionstheorie der Erde ist jedoch nicht unwidersprochen geblieben. So hat schon E. REYER, der in Anlehnung an HOPKINS und THOMSON von einer hochgradigen Starrheit der Erde ausgeht, sie zumindest für ungenügend gehalten, um alle Arten der Gebirgsbildung zu erklären und dagegen eine Anzahl anderer Erklärungsmöglichkeiten vorgeschlagen. Eine Alternative war die sog. Thermalhypothese, nach der die Ablagerung von Sedimenten Erwärmung und in weiterer Folge Hebungen verursachen sollte. Ergänzt wurde diese Hypothese durch die Annahme einer „Gleitfaltung“ in den auf geneigter Unterlage ruhenden Sedimenten, für die sich REYER auch sinnreiche Experimente ausgedacht hatte. Derartige Experimente wurden aber von den Vertretern der Schrumpfungstheorie als künstlich abgelehnt. So sagt E. SUESS<sup>746)</sup>:

*„Ich nehme auch keinen Anstand, zu gestehen, dass bei allem Interesse für die vielfachen Versuche, die Erscheinungen des Bruches oder der Faltung künstlich hervorzu bringen, mir für den Augenblick die Untersuchung entscheidender Punkte in der Natur selbst von weit grösserer Wichtigkeit erscheint.“*

Noch schärfer verurteilt der Grazer Geologe Rudolf HOERNES in seiner „Erdbebenkunde“ die Experimente von REYER. Sie haben für ihn nicht den Wert eines Beweismittels, weil sie unter Voraussetzungen angestellt sind, die vielleicht den natürlichen Verhältnissen in keiner Weise entsprechen. Bestenfalls hält HOERNES es für möglich, dass einige lokale Faltungsvorgänge nach den Vorstellungen von REYER stattfinden können<sup>747)</sup>:

*„Wenn auch nun manche Faltungsvorgänge in der Erdrinde auf das einfache Abgleiten geneigter Schichten auf ihrer Unterlage in Folge der Schwere rückzuführen sein mögen, so kann diese Erklärung unmöglich für die gesamten Faltengebirge hinreichen.“*

#### 4.9.3. Das Prinzip der Isostasie: AIRY, PRATT und DUTTON

Wie die Kontraktionstheorie reicht auch ihre Hauptalternative, die Theorie der Isostasie oder des Schwereausgleiches, weit in die Geschichte der Geowissenschaften

<sup>746)</sup> SUESS, E.: a.a.O. S. 143.

Vgl. HOERNES, S. 338.

<sup>747)</sup> HOERNES, R.: S. 338.

ten zurück. Ansätze dazu findet man schon bei LEONARDO DA VINCI, der zwar, wie bereits erwähnt, im Unterschied zu den späteren Vertretern dieser Theorie im 19. Jahrhundert nicht von einem feuerflüssigen, sondern mit Wasser gefüllten Erdinnern ausgeht, aber ebenfalls eine gleichmäßige Verteilung der schweren Erdmasse annimmt<sup>748)</sup>.

Dass es sich bei diesen Überlegungen LEONARDOS über diese Massenveränderungen der festen Erdkruste tatsächlich um einen Schwereausgleich und nicht nur um die Kraft des Wassers<sup>749)</sup> handelt, beweist folgendes Zitat aus der Leicester-Handschrift<sup>750)</sup>:

*„Wenn der Mittelpunkt der Welt also, wie behauptet wurde, im Wasser liegt, so ist es möglich, dass das Wasser irgendwann die Adern, durch die es floß, durch die unaufhörliche Reibung derart erweitert hat, dass die zwischen diesen Adern liegenden Teile der Erde ihren Zusammenhalt mit dem Rest verloren haben, und die Schwere, die sie gewannen, weil sie über dem Wasser lagen, muss dann dazu geführt haben, dass sie sich von diesem Rest lösten und gegen den Mittelpunkt zu fielen und ihn mit dem Mittelpunkt ihrer Schwere konzentrisch machten. Infolgedessen wird sich der Rest der Erde, da sie in dem Teil, wo die genannte Schwere hinwegfiel, erleichtert worden ist, notwendigerweise vom Mittelpunkt der Welt weiter entfernen, und das Land und die Berge werden aus der in diesem Teil erleichterten Wassersphäre auftauchen. Dabei werden sie auch um das Gewicht des Wassers, das vorher auf ihnen ruhte, erleichtert werden, und folglich werden sie um so mehr gegen den Himmel zu steigen.“*

Die Oberfläche der Wassersphäre, in der die festen Bestandteile der Erdkruste mehr oder weniger tief eingetaucht sind, übernimmt bei LEONARDO die gleiche Rolle wie die feuerflüssige oder zähe Masse des heißen Erdinnern bei den späteren Vertretern der Isostasie<sup>751)</sup>:

*„Aber die Wassersphäre ändert in diesem Fall ihren Zustand nicht, weil das Wasser den Ort ausfüllt, wo die Schwere jenes gefallenen Teils der Erde gewichen ist, und so ändert das Meer seine Höhe nicht.“*

Es war ja auch immer die Analogie mit einer stets gleichbleibenden Wasseroberfläche, auf der Baumstämme oder Eisschollen unterschiedlicher Dicke mehr oder weniger tief eingetaucht schwimmen, die naheliegendste heuristische Vorstellung, die zur Ausbildung der isostatischen Theorie führte.

Den konkreten Anlass zur Ausbildung einer Theorie des Schwereausgleichs bildeten jedoch geodätische Messungen in Indien. George EVEREST, der Leiter dieses Unternehmens, stellte bei der Auswertung der Beobachtungen zwischen zwei auf dem selben Meridian liegenden 600 km voneinander entfernten Stationen südlich des Himalaya eine Differenz von etwas mehr als 5 Bogensekunden fest<sup>752)</sup>.

Zunächst vermutete er eine durch die Anziehung der Gebirgsmassen des Himalaya im Norden hervorgerufene Lotabweichung. Er konnte aber dafür keinen unmittelbaren

Nachweis liefern und behandelte schließlich diese Differenz als zufälligen Beobachtungsfehler<sup>753)</sup>.

Der englische Erzdiakon von Kalkutta, J.H. PRATT, dagegen berechnete einige Jahre später den Einfluss der Massenanziehung auf die Lotrichtung der beiden Stationen und kam auf einen dreimal so großen Betrag der Lotabweichung wie EVERESTS ursprüngliche Beobachtungen ergaben. Das Resultat seiner Untersuchung war daher, dass der von EVEREST festgestellte Fehler der Breitendifferenz mit der Abweichung der Lotlinie nicht in Übereinstimmung zu bringen war<sup>754)</sup>.

Dieses Ergebnis war insofern nicht völlig unerwartet, weil man schon seit hundert Jahren, als man begonnen hatte auf den Hochplateaus großer Kontinente Lotstörungen zu beobachten, erkennen musste, dass sich jedesmal ein zu geringer Betrag ergab. So stellte bereits BOUGUER<sup>755)</sup> bei der peruanischen Gradmessung in der ersten Hälfte des 18. Jahrhunderts fest, dass die gewaltige Masse des Chimborazo eine Abweichung von lediglich acht Bogensekunden verursachte. Daher nahm man an, dass sich unterhalb der Gebirge der großen Kontinente große Hohlräume befinden müssen, die den Überschub der Gebirgsmassen ausgleichen<sup>756)</sup>. Doch übten diese Überlegungen auf die Theorie der Isostasie keinen nachweisbaren Einfluss aus<sup>757)</sup>.

Der erste, der eine theoretische Erklärung für die rätselhaft geringe Lotabweichung im Sinne der Isostasie gab, war der königliche Astronom von der Sternwarte in Greenwich G.B. AIRY. Nur wenige Wochen, nachdem PRATT das Ergebnis seiner Berechnungen der Royal Society mitgeteilt hatte, legte AIRY in einer nur wenige Seiten umfassenden, aber – wie bereits mehrfach festgestellt worden ist<sup>758)</sup> – bedeutsamen Abhandlung seine grundlegende Idee des Tauchgleichgewichts vor.

Er geht von der Annahme aus, dass die Erde nicht starr, sondern flüssig und von einer Erdkruste bedeckt ist, die aus lauter schwimmenden Körpern besteht. Diese Flüssigkeit (fluidity), aus der das Erdinnere besteht, mag zwar nicht vollkommen sein. Sie kann auch zähflüssig (viscosity) oder sogar nur „nachgiebig“ (yielding) sein. Um aber seine Idee in einer möglichst einfachen und klaren Form zu präsentieren nimmt er an, dass das Erdinnere vollkommen flüssig sei und bezeichnet diese ideale Flüssigkeit als „Lava“. Er nimmt weiterhin an, dass diese Lava dichter ist als die leichtere Erdkruste und konstruiert dann ein anschauliches Modell zur Erklärung der Schwereverhältnisse auf der ungleich dicken Erdkruste (Abb. 109).

Der äußere Kreis stellt die kugelförmige Oberfläche der Erde dar, ohne jede Vertiefung oder Erhöhung mit Ausnahme an einer einzigen Stelle, an der sich ein Tafelland von zwei Meilen Höhe und 100 Meilen horizontaler Ausdehnung erstreckt. Der innere Kreis stellt dann die konzentrische Innenseite der Erdoberfläche dar, die einen kugelförmigen Raum bildet, der mit Lava ausgefüllt ist. Die Dicke der Erdkruste beträgt 10 Meilen und somit 12 Meilen an der Stelle des Tafellandes.

In Analogie zu einem Floß, das aus ungleich dicken Baumstämmen zusammengesetzt ist, die in dem gleichen Verhältnis tiefer einsinken als sie höher über die Wasseroberfläche hinausragen, nimmt AIRY an, dass das höher

<sup>748)</sup> Vgl. OESER, E.: Historical Earthquake Theories from ARISTOTLE to KANT. – In: GUTDEUTSCH, R., GRÜNTAL, G. & MUSSON, R. (eds.), Historical Earthquakes in Central Europe, Vol. 1. – Abh. Geol. B.-A., 48, Wien 1992.

<sup>749)</sup> BIALAS, V.: Modelle der Isostasie im Neunzehnten Jahrhundert. – In: BIRET, H., HELBIG, K., KERTZ, W. & U. SCHMUCKER (Hrsg.): Zur Geschichte der Geophysik. – S. 36, Berlin – Heidelberg – New York 1974.

<sup>750)</sup> LEONARDO DA VINCI: Tagebücher und Aufzeichnungen. – S. 256.

<sup>751)</sup> LEONARDO a.a.O. S. 256.

<sup>752)</sup> EVEREST, G.: An account of the measurement of an arc of the meridian between the parallels 18°03' and 24°07'. – London 1830.

<sup>753)</sup> EVEREST, G.: An account of the measurement of two sections of the Meridional Arc of India. – London 1847.

<sup>754)</sup> PRATT, J.H.: On the attraction of the Himalaya Mountains, and of the elevated regions beyond them, upon the Plumb-line in India. – Phil. Trans. Roy. Soc. (London) 145, S. 53–100, London 1855.

<sup>755)</sup> BOUGUER, R.J.: La Figure de la Terre. – Paris 1749.

<sup>756)</sup> BOSCOVICH, R.J.: De litteraria expeditione per pontificiam ditionem ad dimiendos duos meridiani gradus. – Rom 1755.

<sup>757)</sup> BIALAS, V.: a.a.O. S. 36.

<sup>758)</sup> STRASSER, G.: Hundert Jahre Prattsche Theorie? – Dtsch. Geod. Komm., Wissenschaftlicher Übersetzungsdienst, Heft 11, München 1956.

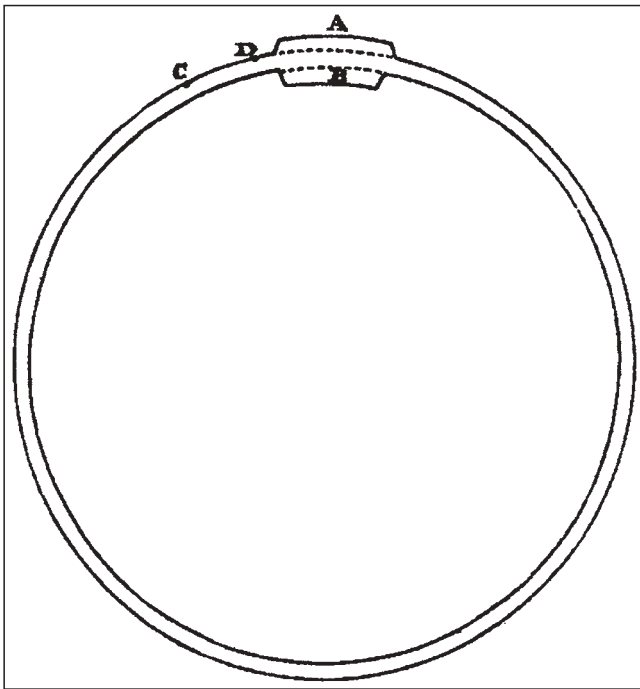


Abb. 109.  
AIRYS Modell zur Erklärung der Schwereverhältnisse auf der ungleich dicken Erdkruste (1855).

aus der sonst gleichmäßigen Erdkruste herausragende Tafelland auch tiefer als die anderen Teile der Erdkruste in die schwere Lava eintauchen muss<sup>759</sup>).

*„Adopting this as the true representation of the arrangement of masses beneath a table-land, let us consider what will be its effect in disturbing the direction of gravity at different points in its proximity. It will be remarked that the disturbance depends on two actions; the positive attraction produced by the elevated table-land; and the diminution of attraction, or negative attraction, produced by the substitution of a certain volume of light crust (in the lower projection) for heavy lava. The diminution of attractive matter below, produced by the substitution of light crust for heavy lava, will be sensibly equal to the increase of attractive matter above. The difference of the negative attraction of one and the positive attraction of the other, as estimated in the direction of a line perpendicular to that joining the centres of attraction of the two masses (or as estimated in a horizontal line), will be proportional to the difference of the inverse cubes of the distances of the attracted point from the two masses.“*

Aus diesen Überlegungen zieht dann AIRY eine allgemeine Schlussfolgerung, die auch die einfachste Erklärung für die scheinbar rätselhaft geringe Lotabweichung bei den geodätischen Messungen im Norden Indiens bietet<sup>760</sup>:

*„In all cases, the real disturbance will be less than that found by computing the effect of the mountains, on the law of gravitation.“*

Im Anschluss an diese Arbeit von AIRY entwickelte PRATT in mehreren Abhandlungen<sup>761</sup> seine eigene Kompensationstheorie von den Massendefekten unterhalb der Gebirgsmassen, die während der Krustenbildung der Erde durch Massenverschiebungen in radialer Richtung zustan-

degekommen sind. Diese Massenverschiebungen ändern nach seiner Theorie jedoch nichts daran, dass die Massen längs einer Vertikalen von einer beliebigen Stelle der Oberfläche bzw. zu einer bestimmten Tiefe während des ganzen Prozesses konstant geblieben sind.

Während AIRY und PRATT ihre Überlegungen ausschließlich zur Erklärung der Lotabweichungen entworfen hatten, ging es dem amerikanischen Geologen Clarence Edward DUTTON, der die Bezeichnung „Isostasie“ geprägt hat, um eines der drei größten Probleme der Geologie. Die beiden ersten Probleme – die Ursachen des Vulkanismus und die Ursachen der Hebungen und Senkungen – hielt er zumindest zu seiner Zeit für unlösbar, für das dritte Problem, die Ursache von Verwerfungen und Brüchen der Erdschichten („the cause of distortions and fractures in the strata“) legte er jedoch eine, wie er sagt, zwar nicht ganz neue, sondern vielmehr alte, aber doch wesentlich umgebildete Lösung vor, die er ausdrücklich als eine Alternative zur Kontraktionstheorie ansah<sup>752</sup>.

*„If the earth were composed of homogeneous matter its normal figure of equilibrium without strain would be a true spheroid of revolution; but if heterogeneous, if some parts were denser or lighter than others, its normal figure would no longer be spheroidal. Where the lighter matter was accumulated there would be a tendency to bulge, and where the denser matter existed there would be a tendency to flatten or depress the surface. For this condition of equilibrium of figure, to which gravitation tends to reduce a planetary body, irrespective of whether it be homogeneous or not, I propose the name isostasy.“*

#### 4.9.4. Abyssodynamik, ein Vorläufer der Geodynamik: G. PILAR

Derjenige aber, der mehr als 10 Jahre, bevor DUTTON den Ausdruck Isostasie prägte, das Prinzip des Schwereausgleichs mit der theoretischen Erklärung der Ursachen der Erdbeben verbunden hat, war der kroatische Geologe an der Franz Josef Universität in Agram (Zagreb) G. PILAR.

Sein heutzutage fast völlig vergessenes, ursprünglich kroatisch geschriebenes Werk mit dem Titel: „Grundzüge der Abyssodynamik“ knüpft an die Tradition der zu dieser Zeit durch die Kontraktionstheorie in den Hintergrund gedrängten Ideen A. v. HUMBOLDTS an<sup>763</sup>:

*„A. von Humboldt sprach von einer Reaktion des Inneren eines Planeten gegen seine Rinde und Oberfläche und reduciert auf diesen allgemeinen Begriff auch die Erdbeben. Nach unserem Dafürhalten wäre diese oft citirte, freilich etwas zu weite Definition noch die beste, denn sie deutet wenigstens den Sitz der Ursache an, ohne allerdings den modus operandi anzugeben.“*

Die klassische Vorstellung des allgemeinen Vulkanismus, der jede Art von Erdbeben auf den Wärmezustand der Erde zurückführt, bleibt zwar auch in der Abyssodynamik PILARS aufrecht. Doch sind nicht explosionsartige Geschehnisse in einem Herd von verhältnismäßig geringer Ausdehnung, sondern Verwerfungen und Spaltenbildungen in der aus Schollen bestehenden Erdrinde die eigentliche Ursache der Erdbeben. Der Grundgedanke, dass diese Verwerfungen eine Folge der ungleichen Schwimmbedingungen der durch Spalten voneinander getrennten Schollen sind, ist nach eigenen Angaben PILARS<sup>764</sup>

<sup>759</sup> AIRY, G.B.: On the computation of the Effect of the Attraction of Mountain-masses, as disturbing the Apparent Astronomical Latitude of Stations in Geodetic Surveys. – Phil. Trans Roy. Soc. of London, Bd 145, Teil I, S. 103.

<sup>760</sup> AIRY, G.B.: a.a.O. S. 104.

<sup>761</sup> Vgl. BIALAS, V.: a.a.O. S. 36 ff.

<sup>762</sup> DUTTON, C.E.: One some of the greater problems of the physical geology. – Bull. Phil. Soc., Wash., Bd. 11. (1892), S. 53.

<sup>763</sup> PILAR, G.: Grundzüge der Abyssodynamik. Zugleich ein Beitrag zu der durch das Agramer Erdbeben vom 9. November 1880 neu angeregten Erdbebenfrage. – Agram 1881.

<sup>764</sup> PILAR, G.: a.a.O. S. III.

„... direkt unter dem Einflusse der zahlreichen Erdstöße, welche Agram im Laufe des letzten Deceniums (1870-1880) heimgesucht hatten, herangereift.“

Wie unterschiedlich die Erklärungen für diese Ereignisse insbesondere für das Erdbeben vom 9. November 1880 in Agram waren, belegt folgendes Zitat aus der Einleitung zu PILARS *Abysso-dynamik*<sup>765</sup>:

„Der Boden zitterte unter den Füßen der erschreckten Bewohner und bereits schossen die Erdbeben-theorien gleich Pilzen aus dem Boden auf. Für die Einen war das Erdbeben ein unterirdisches Gewitter, oder ein Einsturz, für die Anderen die Wirkung der Thermalquellen, oder eine Auslösung der Spannung der Gase etc. Zu den einheimischen kamen noch importierte Erdbeben-Hypothesen hinzu.“

Obwohl PILAR der Überzeugung ist, dass, je mehr eine Disziplin sich auf direkte Beobachtungen und auf die Analyse des empirischen Materials stützen kann, sie umso weniger einer Hypothese bedarf, geht er doch in der Erdbebenfrage davon aus, dass die Beseitigung aller Hypothesen völlig unmöglich ist<sup>766</sup>:

„Es ist eine den Erkenntnisdrang der Menschheit kennzeichnende Erscheinung, dass er sich durch nichts abhalten lässt, auf indirectem Wege über Dinge schlüssig zu werden, die der directen Beobachtung völlig unzugänglich sind und auch wohl stets bleiben werden.“

Hypothesen sind in solchen Fällen offene Fragen, die jeden exakten Forscher mahnen, etwas zu ihrer Lösung beizutragen. Zu den bedeutendsten Hypothesen der Geologie gehört für PILAR unstreitig die Lehre von einem feuerflüssigen, von einer verhältnismäßig dünnen Rinde umgebenen Erdinnern, wie sie HUMBOLDT, v. BUCH, DARWIN, LYELL und HOCHSTETTER vertreten haben. Sie hat gegenüber allen anderen Hypothesen, die von einer bereits erkalteten starren Erde ausgehen, auch wenn diese Ansicht wie bei HOPKINS durch mathematisch ausgefeilte astronomische Argumente gestützt scheint, den Vorteil, eine große Anzahl von Erscheinungen zu einem einheitlichen kausalen Ganzen zu verbinden. Es sind vor allem drei, damals wohlbekannte aber umstrittene oder sogar rätselhafte Phänomene:

- die säkulären Schwankungen der Erdrinde: kontinentale Erhebungen und ozeanische Depressionen
- die fehlende Lotabweichung bei den in mehreren Gebirgsgegenden durchgeführten Pendelbeobachtungen
- und schließlich die Erdbeben selbst, deren Wellennatur bereits allgemein bekannt war, aber deren Ursachen noch immer rätselhaft geblieben sind.

Alle diese gegenwärtigen wie vergangenen Erscheinungen lassen sich nach PILARS Auffassung auf eine ungezwungene Weise durch eine dünne, bewegliche und an unterschiedlichen Stellen verschieden dicke Erdrinde erklären, deren einzelne, durch Brüche oder Spalten voneinander getrennte Schollen auf einem feuerflüssigen Magma schwimmend unterschiedlich tief eingetaucht sind.

Die säkulären Hebungen und Senkungen, die bereits seit mehr als einem Jahrhundert bekannt waren, jedoch von den Vertretern der Kontraktionstheorie HEIM und SUESS immer bestritten wurden, lassen sich nach PILAR dadurch erklären, dass kontinentale Rindenteile durch Zuwachs an der unteren Rindenseite immer dicker werden, also einesteils tiefer in die Zentralflüssigkeit eintauchen, anderenteils sich aber auch über die normale Injektionslinie oder, wie sie PILAR auch nennt, „Rhyakohypse“ emporheben. Die ozeanischen Rindenteile, die vor allem in den großen Meerestiefen eine geringere Wärmeabstrahlung

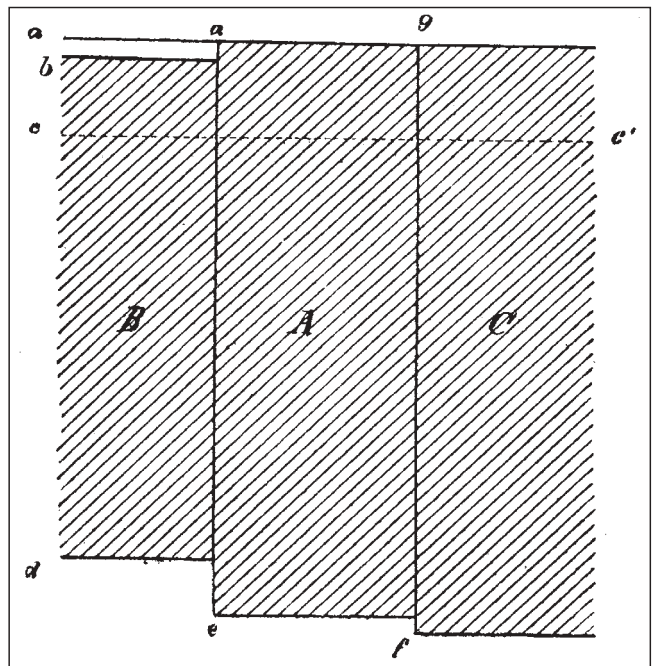


Abb. 110. Darstellung der ozeanischen und kontinentalen Rindenteile und der mittleren Bruchzone (PILAR, 1881).

aufweisen, welche durch eine stets wachsende Decke von Sedimenten noch verringert wird, schmelzen dagegen an der Unterseite ab und sinken dadurch immer tiefer. Dadurch entstehen an den Küsten der Kontinente Bruchzonen, an denen entlang sich die Schollen in entgegengesetzter Richtung heben und senken. Diese Bruchzonen, die sich selbst wie der Stützpunkt eines Waagebalkens weder heben noch senken, bilden dann eine Mittelzone mit „normalen“, weder gehobenen noch gesenkten Schollen von mittlerer Mächtigkeit, in denen jedoch die Bruchlinien auftreten<sup>767</sup>.

Auf diese Weise erklärt sich auch die rätselhafte Anomalie, die sich am deutlichsten bei geodätischen Arbeiten in Indien in der Nähe des Himalaya gezeigt hat, aber auch schon vorher beobachtet worden ist. PILAR weist darauf hin, dass die „Verwunderung der Geometer“, dass bei großen Gebirgsmassen keine Ablenkung des Lotes festzustellen war, „schon mehr als ein Jahrhundert dauert“. Auch in der langen Reihe der in der Nähe des Gebirgsmassivs des Himalaya durchgeführten geodätischen Messungen war nicht<sup>768</sup>

„... die leiseste Andeutung zu finden, dass dieses Massiv vorhanden sei, während man mit denselben Apparaten eine Differenz der Anziehungskraft zwischen der Spitze und dem Fuß einer ägyptischen Pyramide nachweisen könnte.“

Die alte Erklärung für dieses Phänomen, dass sich unterhalb der Gebirge große Hohlräume befinden, hält PILAR für etwas naiv. Denn eine Zusammenstellung der Resultate der geodätischen Messungen aller bisherigen Expeditionen zeigt mit nur einer einzigen Ausnahme, dass alle zu schwachen Attraktionsbeobachtungen auf den Kontinenten vorkamen, obwohl man dort aufgrund des Überschusses von Massen eine stärkere Auswirkung der Schwere hätte erwarten müssen, während alle zu starken Attraktionsbeobachtungen bis auf zwei auf die offene See fielen. Diese Beobachtungen würden dann nicht nur darauf hinweisen, dass sich unter den Kontinenten selbst große Hohlräume befinden, sondern dass auch unterhalb der

<sup>765</sup>) PILAR, G.: a.a.O. S. 1.

<sup>766</sup>) Ebenda.

<sup>767</sup>) PILAR, G.: a.a.O. S. 106

<sup>768</sup>) PILAR, G.: a.a.O. S. 74.

Ozeane ungewöhnlich dichte Stoffe vorhanden sein müssen. Alle diese phantastischen Annahmen fallen aber nach PILARS Meinung weg, wenn man davon ausgeht, dass die Rinde unserer Erde ungleich dick ist und ihre Teile oder Schollen auf einer dichteren aber flüssigen Masse schwimmen.

PILAR folgt mit diesen Ideen jenen Überlegungen, die G. AIRY<sup>769)</sup> zur Erklärung der von I.H. PRATT anlässlich der geodätischen Arbeiten festgestellten Anomalien beigetragen hat<sup>770)</sup>.

*„Airy nimmt nämlich an, dass die festen Gebirgsmassen, von gleicher Dichte, die sie auf der Erdoberfläche zeigen, auf einer spezifisch schweren Flüssigkeit schwimmen, folglich dieselbe im Verhältnisse zu ihrer eigenen Schwere verdrängen. Es folgt daraus, dass der Ueberschuss der Anziehungskraft, welcher den starren Massen zukommt, dadurch beglichen wird, dass die dichteren flüssigen Massen verdrängt werden und somit aus grösserer Entfernung wirken.“*

Während jedoch AIRY glaubt, dass die ozeanische Rinde spezifisch schwerer sei und dagegen die Gebirgsmassen aus weniger dichten Gesteinen bestehen, nimmt PILAR an, dass die ozeanische Rinde dünner ist und der Ausgleich nur dadurch zustande kommt, dass die spezifisch schwere Flüssigkeit unter den Meeren der Oberfläche der Erde näher gerückt ist, weil die ozeanische Scholle weniger weit eingetaucht ist. Er beruft sich in diesem Zusammenhang auf PRATTS Weiterentwicklung von AIRYS Ideen. Nach PRATT geht aus den verschiedenen, auf Kontinenten und über Ozeanen gemachten Beobachtungen hervor, dass jede bis zum Mittelpunkt der Erde reichende Säule der Erdmasse in jeder Erdgegend dieselbe Anziehungskraft besitzen müsse. Geht man jedoch von der Voraussetzung aus, dass unsere Erde flüssig sei und von einer ungleich dicken Erdrinde bedeckt werde, ist dieses Phänomen des Schwereausgleiches leicht verständlich, wie PILAR am folgenden Experiment zeigt<sup>771)</sup>:

*„Man nehme ein Quecksilberbad von gleichmässiger Tiefe und lasse darauf Eisenplatten von verschiedener Dicke schwimmen. Je dicker die Platte, desto tiefer wird sie untersinken und desto höher aufragen. Trotzdem wird aber, wie es einleuchtend ist, eine, sagen wir einen Quadratcentimeter im Durchschnitt messende verticale Säule, gleichviel ob sie durch dicke oder dünne Eisenplatten durchgeht, bis zum Boden des Quecksilberbades verlängert, stets dasselbe Gewicht besitzen.“*

Die Überlegungen von PRATT und AIRY und anderen<sup>772)</sup> zu diesem Phänomen der Isostasie können jedoch nach PILAR nicht den steten Wechsel von Hebungen und Senkungen erklären, sondern legen eine dauernd gleichbleibende Untertauchung nahe und liefern somit ein statisches Bild der Schwereverhältnisse auf der Erdoberfläche. PILARS Lehre von den abyssodynamischen Kräften ist dagegen eine radikale Form einer mobilistischen Denkweise, die auch eine erstaunlich moderne Erklärung der Ursachen tektonischer Erdbeben liefert.

Die Verbindung der von PRATT und AIRY bereits vorweggenommenen Idee des Schwereausgleichs mit den dynamischen Vorstellungen von HUMBOLDTS allgemeinem Vulkanismus ist die Theorie von der sog. „Rhyakohypse“ für die PILAR folgende Definition liefert<sup>773)</sup>:

*„Jene theoretische Fläche, welche unter der Erdoberfläche liegt und bis zu welcher die Lavamassen infolge des hydrostatischen Drucks aufsteigen können, wollen wir die normale Rhyakohypse (ῥυάξι = Lava) nennen.“*

Durch Anlagern von erkaltetem Material unterhalb der kontinentalen Schollen einerseits und durch Abschmelzen der ozeanischen Scholle andererseits ergibt sich ein ständiges Auf und Ab der Schollen zueinander, die infolge ihrer veränderlichen Massen ständig in eine neue Schweregewichtslage kommen. Diese vertikalen Bewegungen äussern sich einerseits in den langsamen, fast unmerklichen säkulären Hebungen und Senkungen, andererseits in den raschen ruckartigen Brüchen oder Verwerfungen, die die eigentliche primäre Ursache der Erdbeben sind<sup>774)</sup>:

*„Die Erdbeben sind eben Erscheinungen, welche mit Spaltenbildung und Verwerfungen in der Erdrinde auf das Innigste zusammenhängen.“*

Nach dieser Auffassung PILARS gibt es daher auch keine „Erschütterungsmittelpunkte“, sondern nur „Stoßflächen“, von denen die Erdbebenwellen ausgehen. Auf der Erdoberfläche sind es Stoßlinien, welche mit bestehenden Spalten zusammenfallen.“

Damit erweist sich für PILAR, dass die Bezeichnung „Epicentrum“ in ihrer ursprünglichen Bedeutung ebenso wie die Bezeichnung „Erschütterungsmittelpunkt“ für den Erdbebenherd unzutreffend ist. Er geht sogar so weit zu sagen<sup>775)</sup>:

*„Die sog. Epicentren, die den Seismologen soviel Kopferbrechen machten, haben sich überlebt.“*

Zusammenfassend zählt PILAR vier Elemente der seismischen Bewegung auf, welche die Erschütterungs-Erscheinungen bei Erdbeben nach seiner Theorie verständlich machen<sup>776)</sup>:

1. Spaltenbildung
2. Hebende und senkende Bewegungen der Keilschollen
3. Rasches Öffnen und Schließen der Spalten
4. Undulierendes Mitbewegen des flüssigen Erdinneren.

Auch das, wie PILAR sagt, „nicht wenig schwierige Problem einer jeden Erdbeben-theorie“, die seit HUMBOLDT so genannten „Erdbebenbrücken“, d.h. im pleistoseisten Kreis unerschüttert gebliebene Gebiete, findet in seiner Theorie tektonischer Erdbeben, die bereits die Wellentheorie mit einschließt, eine befriedigende Erklärung als einfache Interferenzerscheinung<sup>777)</sup>:

*„Die Mittellinie einer jeden Hub- und Senkscholle wird zugleich jene Linie sein, wo die von den gleichzeitig thätigen Spalten ausgehenden Stosswellen mit gleicher Stärke zusammentreffen werden. Es kann also, je nach der Breite der Welle im Verhältnisse zur Distanz der Mittellinie von den beiden Spalten, entweder eine Verstärkung der Undulationen oder aber eine Abschwächung derselben eintreten. Wenn nämlich ein Wellenthal und ein Wellenberg von gleicher Grösse irgendwo zusammentreffen, so vernichten sie sich an jenen Stellen, wo sie denselben Raum einnehmen müssten; es entsteht in diesem Falle eine scheinbare Ruhe, 'eine Erdbebenbrücke'. Sind mehrere Längs- und Querspalten gleichzeitig thätig, so entstehen wirre und unregelmässige Erderschütterungen, welche mehr Gegenstände zum Falle bringen, folglich mehr Schaden anrichten, trotz ihrer geringeren Stärke, als die regelmässig verlaufenden Erdstöße.“*

<sup>769)</sup> AIRY, G.: Adress at the Cumberland Association for the Advancement of Literature and Science. – „Nature“ 1878, Bd. XVIII.

<sup>770)</sup> PILAR, G.: a.a.O. S. 76.

<sup>771)</sup> PILAR, G.: Abyssodynamik. – S. 77.

<sup>772)</sup> FAYE, H.: Sur les variations séculaires de la figure mathématique de la Terre. – Comptes rend, 1880. T.CV. S. 1185–1191.

<sup>773)</sup> PILAR, G.: a.a.O. S. 96.

<sup>774)</sup> PILAR, G.: a.a.O. S. 127.

<sup>775)</sup> PILAR, G.: a.a.O. S. 135.

<sup>776)</sup> Ebenda.

<sup>777)</sup> PILAR, G.: a.a.O. S. 137.

Konsequenterweise sind für PILAR vulkanische Erscheinungen eher Folgen als Ursachen von Erdbeben. Denn Vulkane liegen ja selbst auf Spalten und in der Nähe großer Verwerfungen. Durch die Bewegung benachbarter Keilschollen, wodurch Erdbeben erzeugt werden, gerät auch die Lava in größeres Auf- und Abbewegen und eine Eruption des bereits erloschenen Vulkans ist die Folge. Die Neubildung einer Spalte kann mit der Neubildung eines Vulkans zusammenfallen – aber nicht notwendigerweise. Denn Erdbeben treten in allen Gegenden und ganz unabhängig von Vulkanen auf, am häufigsten aber in Bruchzonen, wo auch die Vulkane entstehen.

Und mit einem Hinweis auf DARWINS Untersuchungen über die große Anzahl von Vulkanen in der Cordillera in Südamerika stellt PILAR im Sinne seiner Verwerfungstheorie der Erdbebenentstehung fest<sup>778)</sup>:

*„Tätige Vulkanreihen sind nur ein Beweis, dass ihr Untergrund eine ausgedehnte Trümmerzone ist, von langen Spalten durchzogen, wo die Bewegung der einzelnen Rindentheile eine sehr lebhaft ist, und folglich neben den vulkanischen Eruptionen oder gleichzeitig mit denselben Frictionserscheinungen der sich bewegenden Schollen, d.h. Erdbeben, vorkommen.“*

Wenn man wie PILAR als Ursache der Erdbeben Spaltenbildung und Verwerfung annimmt, erklärt sich auch, dass bei der Untersuchung der großen Erdbeben in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts die Ioseisten nicht Kreise, sondern meist langachsige Ellipsen waren. Angefangen mit dem von MALLETT untersuchten Neapolitanischen Erdbeben vom 16. Dez. 1857, über das mitteldeutsche Beben vom 6. März 1872 bis zu dem kalifornischen Erdbeben vom 26. März 1872, dem Erdbeben in Mittelitalien vom 12. März 1873 und dem Erdbeben von Belluno am 29. Juni 1873 waren für PILAR immer Spaltenbildungen verantwortlich. Er beruft sich vor allem für den letzten Fall auf BITTNER und HÖFER, der ganz ausdrücklich von zwei Spalten sprach: Die eine bezeichnete HÖFER als „Adria-Spalte“ und die zweite als die „Laibacher-Spalte“<sup>779)</sup>.

Das ausgedehnteste Spaltensystem der Erdrinde befindet sich jedoch am Westrand der Cordilleren in Südamerika und längs der Küste der Südsee, an denen am häufigsten Erdbeben in kurzen Abständen stattfinden<sup>780)</sup>.

*„Diese grossartige Längenausdehnung macht, dass eine gleichzeitige Verschiebung der Spaltenränder nicht notwendig eintreten muss. Verwerfungserscheinungen treten nach einander, auf kurzen Streifen der Trümmerzone auf, so dass die Schollenverschiebung an irgend einer Stelle, eine Schollenverschiebung nördlich und südlich von derselben begünstigt, ja selbst veranlasst. Im Allgemeinen ist man berechtigt den Schluss zu ziehen, dass die Erdbeben desto häufiger auftreten, je bedeutender die Längenausdehnung eines Spaltensystems und je breiter die Trümmerzone (Mittelzone) ist. Da die Letztere sich gewöhnlich zwischen einer Hebungs- und Senkungsarea befindet, also zwischen Festländern und Meeren, so hat man in Küstenländern die häufigsten Erdbeben zu gewärtigen.“*

Aber auch für die langen Perioden von fast 400 Jahren des Eintretens eines Erdbebens, wie es in Agram der Fall war, hat PILAR eine durchaus mit den heutigen Vorstellungen vereinbare Erklärung<sup>781)</sup>:

*„Zwar fanden in der Zwischenzeit kleinere Erdbeben statt, aber sie waren nicht im Entferntesten so heftig und so schädigend für die Stadt wie das vom 9. Nov. Durch das*

*letztere Erdbeben hat eine bedeutende Spannung in der Erdrinde ihre Auslösung gefunden. Die Verwerfung muss eine bedeutende gewesen sein und die einzelnen Schollen haben sich für längere Zeit derart eingekeilt, dass eine längere Periode wird verstreichen müssen, bevor von demselben Sitze aus (den wir im Agramer Gebirge vermuthen) wieder erneuerte Stösse erfolgen sollten. Wir halten also die Einkeilung der Schollen für eine Sicherung gegen weitere starke Erderschütterungen.“*

Vor Erdbeben ist man zwar nie sicher, doch setzt PILAR seine Hoffnung auf die Möglichkeit, das Herannahen der Erschütterungen durch „empfindliche seismographische Apparate“ vorauszusagen<sup>782)</sup>:

*„Da die Erde vor grösseren Erdbeben, ebenso wie nach denselben, nie ganz ruhig ist, so wird es, nach der Ansicht Prof. Palmieris, voraussichtlich möglich werden, aus der Stärkezunahme der leichten Vorbeben die grossen Erdbeben selbst bis auf drei Tage vorherzusagen. Zu dem Zwecke brauchen nur die verschiedenen Regierungen besondere seismographische Stationen, welche mit einander telegraphisch verbunden wären, zu gründen, und ein Netz solcher Stationen würde die bedrohte Gegend leicht von vornherein bezeichnen können.“*

#### 4.10. Der Einfluss der Instrumente: Von der beschreibenden Erdbebenkunde zur Seismologie als exakte Wissenschaft

In einer gekrönten Preisschrift der Kaiser-Wilhelms-Universität Straßburg, die eine mehr als 200 Apparate umfassende „Zusammenstellung, Erläuterung und kritische Beurteilung der wichtigsten Seismometer mit besonderer Berücksichtigung ihrer praktischen Verwendbarkeit“ enthält und somit die umfangreichste Darstellung der bis gegen Ende des 19. Jahrhunderts bekannten Erdbebeninstrumente ist, macht ihr Verfasser R. EHLERT folgende Bemerkung<sup>783)</sup>:

*„Seismometer haben in erster Linie den Zweck, die Bewegung ihres Aufstellortes während eines Erdbebens konform abzubilden. Solange man nun die Art dieser Bewegungen nicht erkannt hatte, war es unmöglich, sogleich richtige Prinzipien für die Konstruktion von Erdbebenapparaten aufzustellen, da dieselben ja erst durch ihre Aufzeichnungen die Theorie der Seismologie erschließen sollen.“*

Es gibt also nach dieser Aussage nicht nur einen Einfluss der Instrumente auf die Theorien der Erdbebenbewegungen, sondern auch umgekehrt einen Einfluss der Theorien auf die Konstruktion dieser Erdbeben-Instrumente. Diese, wie EHLERT sagt, „Kreisprozesse“ zwischen der Theorie der konstruktiven Beobachtungsapparate und den Theorien über die Dynamik der Erdbeben ist jedoch nur eine weitere Stufe in der Wechselwirkung zwischen Theorie und Erfahrung. Denn wie bereits ausführlich gezeigt<sup>784)</sup>, finden solche Kreisprozesse auch auf der rein qualitativen vorinstrumentalen Ebene der Beobachtung zwischen den nicht-instrumentell gewonnenen Erdbeben-Daten (non-instrumental earthquake data) und den Theorien über die Ursachen der Erdbeben statt, indem nicht nur die Beobachtungen die Theorien bestimmen, sondern auch umgekehrt die Beobachtungen „durch antizipierende Theorien“<sup>785)</sup> beeinflusst werden.

Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung der Theorien über Natur und Wirkungsweise der Erdbeben im 19.

<sup>778)</sup> PILAR, G.: a.a.O. S. 187.

<sup>779)</sup> HÖFER, G.: Sitzungsbericht d. K. Akad. d. Wissensch. I. Abth. Dec. Heft 1876.

<sup>780)</sup> PILAR, G.: a.a.O. S. 143 f.

<sup>781)</sup> PILAR, G.: a.a.O. S. 164 f.

<sup>782)</sup> PILAR, G.: a.a.O. S. 166.

<sup>783)</sup> EHLERT, R.: GERLANDS Beiträge zur Geophysik, III. – S. 350 ff., 1896.

<sup>784)</sup> Vgl. oben Kap. 3

<sup>785)</sup> POPPER, K.R.: Objektive Erkenntnis. – S. 86, Hamburg 1973.



Jahrhundert sollen daher vor allem jene Erdbebeninstrumente berücksichtigt werden, deren Konstruktionsprinzipien durch die theoretischen Vorstellungen über die Art der Bodenbewegungen bestimmt sind, die bei Erdbeben auftreten. In einem weiteren Schritt geht es dann darum, wie die Resultate, die aus der Anwendung dieser Instrumente gewonnen wurden, die Theorien über die Natur- und Wirkungsweise der Erdbebenbewegungen beeinflusst haben.

Historischer Ausgangspunkt für diese wechselseitige Beeinflussung und Entwicklung von Erdbeben-theorien und Erdbebeninstrumenten sind die frühen Vorschläge zur Konstruktion von Apparaten, wie sie die Erdbeben-theoretiker MALLEY, v. SEEBACH u.a. gemacht haben, und die auch größtenteils tatsächlich realisiert und angewendet worden sind.

So hatte bereits MALLEY im unmittelbaren Anschluss an seine theoretische Pionierarbeit über die „Dynamik der Erdbeben“ vom Jahre 1846 in der Irischen Akademie der Wissenschaften eine kurze Abhandlung „On the Objects, Construction, and Use of certain new Instruments for Self-registration of the Passage of Earthquake Shocks“ hinzugefügt, die er in einem späteren Report, dem 4. Report an die British Association for Advance of Science vom Jahre 1858 wesentlich um neue Ideen zu einem „perfekten Seismometer“ erweiterte und außerdem durch eine kurzgefasste Geschichte der Erdbebeninstrumente ergänzte.

Diese Abhandlung ist eine der wichtigsten Originalquellen zur Entwicklung der Erdbebeninstrumente und der instrumentellen exakten Seismologie überhaupt. Auf sie stützen sich die weiteren historischen Darstellungen von MILNE (1886) und EHLERT (1896), auf die sich wiederum die Lehrbuchdarstellung von SIEBERG (1904) beruft. MILNE, der selbst einen nach ihm benannten Seismographen entwickelt hat, erweiterte die instrumentelle Seismometrie nicht nur mit der Darstellung einiger neuer in Japan hergestellter Instrumente, sondern lieferte auch einen Beitrag zur Kenntnis des historischen Ursprungs der Erdbebeninstrumente in China.

Diesen Quellen folgend soll nun im Folgenden sowohl der historische Ablauf der einzelnen Erfindungen als auch die systematische Einteilung nach den theoretischen Konstruktionsprinzipien behandelt werden, weil, wie bereits EHLERT betont hat<sup>786)</sup>,

„... auf diese Art das Verständnis der neueren verwickelten Einrichtungen natürlich begründet wird.“

Beschränkt bleibt diese Untersuchung auf die mechanischen Erdbebeninstrumente wie sie bis zum Ende des 19. Jahrhunderts entwickelt, jedoch in ihrer grundsätzlichen Konstruktion bis in die zweite Hälfte des 20. Jahrhundert hinein verwendet worden sind.

Nach einer sehr langen bis in die Anfänge der Erdbebenforschung in China zurückreichenden Vorgeschichte, in der man versuchte mehr intuitiv als theoretisch begründet durch mechanische Vorrichtungen die subjektive menschliche Wahrnehmung der unterschiedlichen Bodenbewegungen bei Erdbeben zu verobjektivieren, lässt sich die eigentliche Entwicklungsgeschichte der Erdbebeninstrumente im 19. Jahrhundert in drei Perioden unterteilen<sup>787)</sup>:

- ① Die Anfänge der instrumentellen Beobachtung und der Ursprung der Seismologie als exakte Wissenschaft. In diese Zeit fällt nicht nur die grundlegende Trennung von Herdgeschehen und Fortpflanzung der Erdbebenwellen und die Ausbildung von alternativen Theorien über Natur und Mechanismus der Erdbebenwellen, sondern bereits auch die Entwicklung zum Teil schon

sehr komplizierter Erdbebenmessinstrumente, mit deren Hilfe man die Theorie zu bestätigen versuchte.

- ② Die Beobachtung von Nahbeben mit selbstregistrierenden Seismometern, die bereits imstande waren, den Verlauf der Erschütterungen während des gesamten Erdbebens zu verfolgen. In dieser Zeit ergab sich jene bereits erwähnte Wechselwirkung zwischen der Entwicklung der Theorien über Schwingungsarten und Weg der Erdbebenwellen und der Entwicklung der Messapparate<sup>788)</sup>: Ein Fortschritt in der Theorie der Wellenbewegung der Erdbeben führte zur Konstruktion von neuen Instrumenten und umgekehrt.
- ③ Die Registrierung von Fernbeben (1890–1900), bei denen die Aufzeichnungen durch geeignete Präzisionsinstrumente mehr Gesetzmäßigkeiten erkennen lassen als diejenigen der Nahbeben, die immer unter den verwirrenden sekundären Bewegungen des Epizentrums zu leiden haben. Der Beginn dieser Periode ist mit den europäischen Beobachtungen von japanischen Erdbeben anzusetzen, wie sie erstmalig E. v. REBEUR-PASCHWITZ mit seinem Horizontalpendel in Deutschland durchführte.

Ausgangspunkt dieser historischen Entwicklung war zunächst jene grobe Unterscheidung zwischen zwei Klassen von Erdbebeninstrumenten, die später zur Differenzierung von „Seismoskopen“ und „Seismometer“ geführt hat. MALLEY nennt die Seismoskope „observational seismometer“. Das sind jene Erdbebeninstrumente, deren Bewegungen durch einen menschlichen Beobachter erfasst und nach jedem Stoß aufgezeichnet werden müssen. Davon sind die selbstregistrierenden (self-registering) Seismometer im eigentlichen Sinn zu unterscheiden, welche eine eigene Vorrichtung besitzen, die in welcher Form auch immer eine Abbildung der Bodenbewegung aufzeichnen und daher später auch als „Seismographen“ oder „Seismometergraphen“ bezeichnet wurden. Jede dieser beiden großen Klassen wird nach MALLEY wiederum in zwei Sorten unterteilt<sup>789)</sup>:

- a) In solche, die auf der Bewegung bzw. Versetzung von Flüssigkeiten beruhen und
- b) in solche, die von der partiellen Versetzung von soliden Körpern abhängen.

Verständlicherweise ist zwischen diesen beiden Klassen von Erdbebeninstrumenten keine genaue Trennung möglich. Je nach den Ansprüchen, die man in Bezug auf die Genauigkeit oder in Bezug auf die Registrierungsmethoden stellt, wurden im Laufe der Entwicklung die Erdbebeninstrumente alter Konstruktionsart, vor allem aber die Flüssigkeitspendel und rollenden oder umstürzenden soliden Körper nur als Seismoskope bezeichnet, bis sie schließlich überhaupt durch die selbstregistrierenden Präzisionsinstrumente verdrängt worden sind.

#### 4.10.1. Die Vorgeschichte der Erdbebeninstrumente

Obwohl die gesamte Erdbebenforschung in Europa bis um die Mitte des 19. Jahrhunderts ihre empirische Grundlage den Augenzeugenberichten verdankt, war man sich schon sehr früh darüber im Klaren, dass die menschlichen Sinnesorgane allein nicht ausreichen, um die faktischen Ereignisse während des Erdbebens erfassen zu können. Denn entweder sind die Bewegungen zu rasch wie die Stoßreihen im Zentrum der Erdschütterungen oder zu langsam und unmerklich wie die Oberflächenwellen in der weiteren Entfernung. Hinzu kommt noch die psychische Erregung der zumeist nicht wissenschaftlich gebildeten

<sup>786)</sup> EHLERT, R.: a.a.O. S. 352.

<sup>787)</sup> Vgl. SCHLÜTER, W.: Schwingungsart und Weg der Erdbebenwellen. – In: Gerlands Beiträge zu Geophysik, V. – S. 314 ff, 401 ff.

<sup>788)</sup> EHLERT, R.: a.a.O. S. 350.

<sup>789)</sup> MALLEY, R.: 4th Report 1858, S. 72 f.

Augenzeugen, von der sich aber auch der kaltblütigste wissenschaftliche Beobachter nicht gänzlich befreien kann.

Eine gewisse Verobjektivierung der aktuellen subjektiven Wahrnehmung ergibt sich jedoch schon dadurch, dass in jeder Beobachtung auch die messbaren aktuellen Veränderungen in der Umgebung des Beobachters miteinbezogen werden, die sogar meist den größten Teil des Augenzeugenberichtes ausmachen. So wird nicht nur und gar nicht in erster Linie von Stoß- oder Wellenbewegungen berichtet, die man am eigenen Körper spürt, sondern vor allem vom Schwanken, Umstürzen und Hochschleudern von Gegenständen auf der Erdoberfläche, deren bleibende Veränderungen auch nach dem Erdbeben selbst festgestellt werden können.

In diesem Sinne kann man jeden Gegenstand auf der Erdoberfläche, an dem sich Veränderungen während des Erdbebens ergeben, als Beobachtungsapparat benutzen, der Auskunft über das Eintreten und die Richtung der Erderschütterungen gibt. Das war auch der weit in der Geschichte der Menschheit zurückliegende Ursprung der Erdbebenmessinstrumente im außereuropäischen Bereich.

Allgemein wird als das früheste Erdbeben-Instrument, das man durch schriftliche Überlieferung kennt, eine Konstruktion aus dem Jahre 136 v. Chr. angesehen, die von einem chinesischen Gelehrten stammt, dessen Name in unterschiedlicher Schreibweise mit CHOKO (MILNE), CHIO-KO (SIEBERG), CHI-O-CHO (HOBBS & RUSKA) und nach neuer Schreibweise (BOLT) mit CHANG-HENG angegeben wird.

Von diesem Instrument gibt es in einem chinesischen Geschichtswerk, das „Gokanjo“ genannt wird, eine ausführliche Beschreibung, die MILNE 1886 in englischer Übersetzung auf folgende Weise wiedergibt<sup>790)</sup>:

*„In the first year of Yoka, A.D. 136, a Chinese called Choko invented the seismometer shown in the accompanying drawing. This instrument consists of a spherically formed copper vessel, the diameter of which is eight feet. It is covered at its top, and in form resembles a winebottle. Its outer part is ornamented by the figures of different kinds of birds and animals, and old peculiar-looking letters. In the inner part of this instrument a column is so suspended that it can move in eight directions. Also, in the inside of the bottle, there is an arrangement by which some record of an earthquake is made according to the movement of the pillar. On the outside of the bottle there are eight dragon heads, each of which holds a ball in its mouth. Underneath these heads there are eight frogs so placed that they appear to watch the dragon's face, so that they are ready to receive the ball if it should be dropped. All the arrangements which cause the pillar to knock the ball out of the dragon's mouth are well hidden in the bottle. When an earthquake occurs, and the bottle is shaken, the dragon instantly drops the ball, and the frog which receives it vibrates vigorously; any one watching this instrument can easily observe earthquakes. With this arrangement, although one dragon may drop a ball, it is not necessary for the other seven dragons to drop their balls unless the movement has been in all directions; thus we can easily tell the direction of an earthquake. Once upon a time a dragon dropped its ball without any earthquake being observed, and the people therefore thought the instrument of no use, but after two or three days a notice came saying that an earthquake had taken place at Rosei. Hearing of this, those who doubted the use of this instrument began to believe in it again. After this ingenious instrument had been invented by Choko, the Chinese Government wisely appointed a secretary to make observations on earthquakes.*

<sup>790)</sup> MILNE, J.: Earthquakes and other Earth Movements. – S. 14 f., 1886.

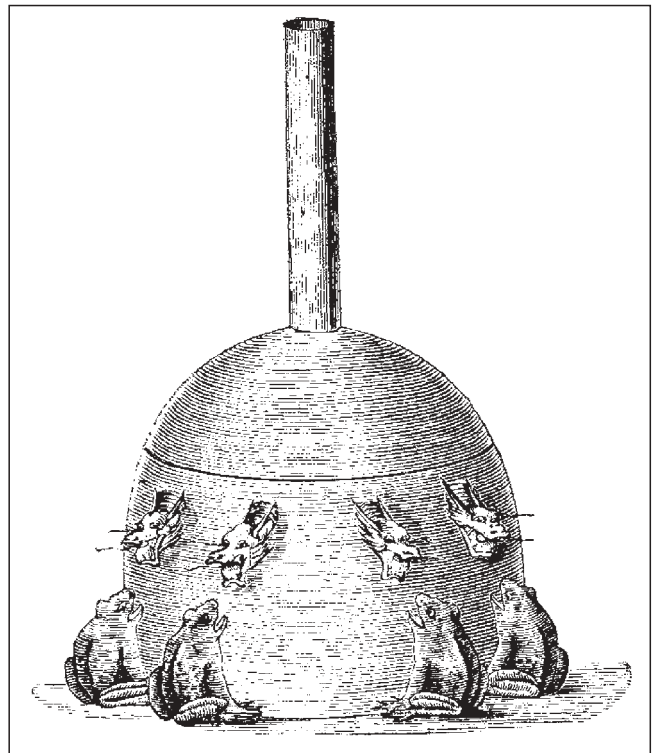


Abb. 111.  
Das älteste Erdbebeninstrument (China, 136 v. Chr.) nach MILNE (1886).

Dieses Instrument war jedoch nach der Terminologie des 19. Jahrhunderts noch kein Seismometer, sondern nur ein Seismoskop, das sowohl den Stoß, als auch die Richtung des Stoßes anzeigte, allerdings unter der Voraussetzung, dass ein Erdbeben nur aus einem großen Stoß besteht. Wäre das Erdbeben nach diesem einzigen Stoß beendet, dann hätte man tatsächlich auf diese Weise die horizontale Stoßrichtung bestimmt. Bei weiterer Fortdauer aber werden andere Kugeln aus den in Form von Drachensäulen konstruierten Öffnungen herausgeschleudert, und man findet schließlich unten in den auffangenden Froschmäulern eine Anzahl Kugeln ohne zu wissen, welche von denen zuerst angestoßen worden ist.

Ein dem Prinzip und dem äußeren Aussehen nach ähnliches Instrument (Abb. 112) wurde in Italien von dem Grafen A. MALVASIA konstruiert<sup>791)</sup>.

Auch hier geht es um das Herunterrollen von Kugeln; in diesem Fall einer einzigen 22 g schweren Kugel o, die auf einer 3 mm langen Spitze i einer mit 8 radialen Mulden f versehenen glockenförmigen Halbkugel von 6 cm Höhe und 10 cm Durchmesser balanciert. Die Kugel wird lediglich durch den Rand eines am unteren Ende n ausgehöhlten, 150 g schweren Gewichtes m, das an einer Kette k aufgehängt ist, gehalten. Schon bei einem geringen Stoß löst sich die Kugel o von dem leichten Druck des aufgehängten Gewichtes m und rollt auf einer der Mulden f herab, wobei sie einen Stift mitherunterzieht, der auf einer der Mulden eine Spur hinterlässt und auf diese Weise die Richtung indiziert, aus der der Stoß gekommen ist. Zusätzlich wird auch ein akustisches Signal dadurch erzeugt, dass die Kugel o wenn sie die leicht geneigte Platte p erreicht, in das Loch a rollt. Anschließend trifft die Kugel den Hahn einer Pistole, die einen Alarmschuss abgibt. Aber diese so sinnreich erdachte Konstruktion hat ebenfalls den Nachteil, dass damit nur ein einziger Stoß ange-

<sup>791)</sup> Programma dell'Osservatorio ed Archivio geodinamico presso il R. comitato geologico d'Italia. M. St. de ROSSI. – S. 118, 1883. EHLERT, R.: a.a.O. S. 450.

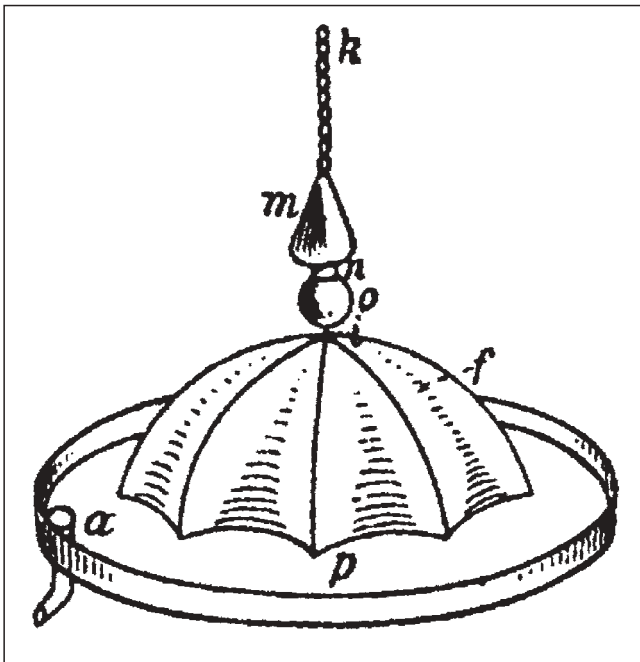


Abb. 112.  
Das Kugelseismoskop des italienischen Grafen MALVASIA.  
Nach EHLERT (1897).

zeigt werden kann, der jedoch immerhin durch ein akustisches Signal gemeldet wird.

Als das erste in Europa verwendete Erdbebeninstrument wird jedoch ein auf der Versetzung von Flüssigkeiten beruhender Apparat angesehen, der von dem französischen Abbé DE HAUTE-FEUILLE im Jahre 1703 konstruiert worden ist. Es handelt sich dabei um einen sehr einfachen Typ von Seismoskop, das sich jedoch lange Zeit bewährt hat und erst durch die Konstruktion und Einführung von selbstregistrierenden Instrumenten außer Gebrauch kam. Die Funktionsweise dieser Flüssigkeitsseismoskope ist am besten durch das Instrument des Italieners CACCIATORE vom Jahre 1848 dokumentiert, das längere Zeit in Palermo benutzt worden ist und das in Deutschland als das Quecksilberseismoskop von LEPSIUS<sup>792)</sup> bekannt war.

Es besteht aus einem flachen Gefäß, das bis zur Höhe eines mit kleinen Löchern versehenen Kreises mit Quecksilber gefüllt ist. Von diesen Löchern im Becken, die den acht Hauptrichtungen des Himmels entsprechen, führen acht Rinnen in ebenso viele tieferliegende Becher. Kommt nun ein Stoß aus einer bestimmten Himmelsrichtung, dann bewirkt er ein Ansteigen des Quecksilbers auf der gegenüberliegenden Seite des Beckens, so dass es aus ein oder mehreren Löchern auf dieser Seite ausfließt. Nach jedem Stoß lässt sich dann aus der Menge des ausgeflossenen Quecksilbers in den Bechern Schlüsse auf die Richtung und Stärke eines einzelnen Erdbebenstoßes schließen.

Einfachere Versionen dieser Flüssigkeitsseismoskope in Form von Wasserschüsseln sollen nach MILNE bereits 1742 bei einem Erdbeben in Leghorn verwendet worden sein. Und wenige Zeit später berichtet der Reverend S. CHANDLER, dass beim Erdbeben in Lissabon Messungen mit kugelförmigen Wasserschüsseln von 3–4 Fuß Durchmesser ausgeführt wurden, deren Innenseiten mit Barbierpuder bestäubt waren und auf sehr vorsichtige Art mit Wasser gefüllt wurden<sup>793)</sup>.

<sup>792)</sup> LEPSIUS: Über ein neues Quecks.-Seismometer. – Zeitschr. d. D. Geol. Ges. 1884, Bd. 36. S. 29.  
EHLERT, R.: a.a.O. S. 416 ff.  
<sup>793)</sup> MILNE, J.: a.a.O. S. 18.

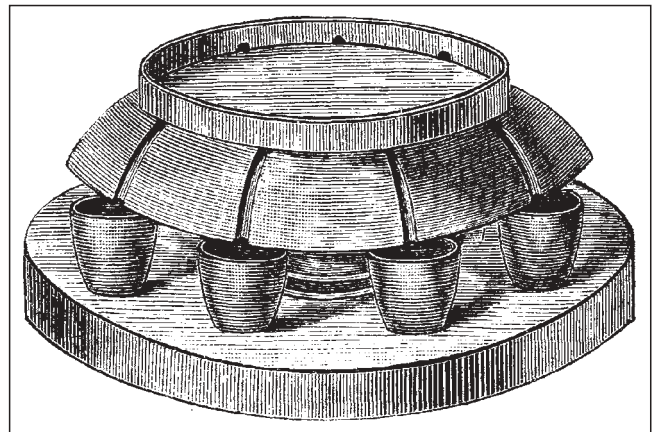


Abb. 113.  
Seismoskop von CACCIATORE bzw. LEPSIUS.  
Nach HOERNES (1893).

Ein geradezu vernichtender Nachteil aller hydrostatischen Apparate ist, dass Vertikalbewegungen auf der Oberfläche der Flüssigkeit, auf der sie Transversalwellen erzeugen, genau in der selben Weise wie Horizontalbewegungen ein einseitiges Aufstauen der Flüssigkeit bewirken<sup>794)</sup>:

„Wir sind also völlig im Unklaren darüber, ob wir Neigungsänderungen, Horizontal- oder Vertikalbeschleunigungen beobachten.“

Eine noch einfachere Art der direkten Beobachtung der Stoßrichtungen der Erdbeben durch selbst hergestellte Vorrichtungen, die bis zum Ende des 19. Jahrhunderts auch wegen der billigen Kosten in Gebrauch waren, wurde mit Hilfe von so genannten Säulenseismoskopen durchgeführt. Sie bestanden aus größeren oder kleineren Säulen aus Holz, Metall oder anderem Material, die in einem flachen Sandbett aufgestellt wurden und bei einem Erdbebenstoß umstürzten, wobei sie einen Abdruck im Sand hinterließen.

Auf diese Weise wurde zwar festgestellt, dass überhaupt ein Erdbebenstoß stattgefunden hat, doch gaben diese umgestürzten Säulen selten zuverlässige Informationen über Richtung und Intensität der Erdbebenstöße, auch dann, wenn man wie später MALLET versuchte, Säulen von unterschiedlicher Größe und Stabilität einzusetzen<sup>795)</sup>.

Schon frühzeitig wurden in Italien Pendel als Erdbebeninstrumente verwendet. Auf diese Weise hatte bereits im Jahre 1731 Nicola CIRILLO eine Serie von Erdbebenstößen in Neapel gemessen. Doch waren diese frühen Pendelinstrumente weder in der Lage, die Ankunftszeit der Wellen festzuhalten noch eine durchgängige Aufzeichnung der Bodenbewegung zu liefern<sup>796)</sup>.

Der bereits als Vertreter der Theorie von der Elektrizität der Erdbeben erwähnte Benediktinermönch Andrea BINA<sup>797)</sup> beschrieb anlässlich des Erdbebens vom Juli 1751 in Umbrien<sup>798)</sup> eine Vorrichtung, die das Eintreten von Erdbeben und, wenn auch nur auf grobe Weise, ihre Richtung und Intensität angeben konnte. Das Instrument bestand aus

<sup>794)</sup> EHLERT, R.: a.a.O. S. 420.

<sup>795)</sup> MILNE, J.: a.a.O. S. 16.

<sup>796)</sup> CIRILLO, N.: Historia terraemotus Apuliam et totum fere Neapolitanum regnum, anno 1731, vexantis. – Philosophical Transactions, 38 (1733–4), S. 79 ff.  
BOLT a.a.O. S. 45.

<sup>797)</sup> Vgl. OESER, E.: Historical Earthquake Theories from ARISTOTLE to KANT, S. 27.  
Vgl. oben Kap. 3.3.

<sup>798)</sup> BINA, A.: Ragionamento sopra la cagione de' terremoti ed in particolare di quello della Terra die Qualdo die Nocera nell'Umbria seguito l'A. 1751. – Perugia 1751.

einem Vertikalpendel, der an einem Balken in einem Obergeschoß eines Gebäudes aufgehängt war, weil dort die Erschütterungen besser bemerkbar sind. Die Pendelmass bestand aus einer schweren Bleikugel. Im unteren Teil der Kugel war eine Nadel eingesetzt, die in eine 2 bis 3 Zoll hohe Schicht Sand oder ähnliche Substanz 1 1/2 Zoll weit eindringen konnte. Diese Sandschicht befand sich in einem hölzernen Behälter, der in einem Wasserbecken schwamm. Beim Eintreten der Erschütterung hinterließ dieser Punkt des Pendels Markierungen im Sand, aus deren Form, Breite und Tiefe der Beobachter Schlüsse über die Intensität, Richtung und Eigenart der seismischen Bewegung ziehen konnte: Je länger oder je kürzer die Furchen waren und je größer oder geringer die Tiefe war, in die die Sonde eindrang, umso mehr oder weniger heftig mussten die Stöße sein, die durch das Erdbeben verursacht wurden<sup>799</sup>).

Ähnlich kompliziert war auch der Erdbebenmesser, den der Mechaniker SALSANO 1785 ebenfalls in Neapel konstruiert hat und der sowohl einem Beobachter die Ankunftszeit angeben als auch die Richtung der Stöße aufzeichnen konnte. Von diesem Instrument hat der deutsche Mathematiker und Philosoph LICHTENBERG folgende Beschreibung geliefert<sup>800</sup>:

„Es besteht dieser aus einem Pendel mit einem Gewicht von 36 Pfund, welches am unteren zugespitzten Ende einen feinen Pinsel mit flüssiger Farbe besitzt. Dieser zeichnet die Richtung der Stöße der Erdbeben auf ein über einer Boussole liegendes Papier. Am Pendel ist eine Querstange mit Knöpfeln angebracht, welche bei der Bewegung desselben an eine Glocke anschlagen, um den Beobachter aufmerksam zu machen.“

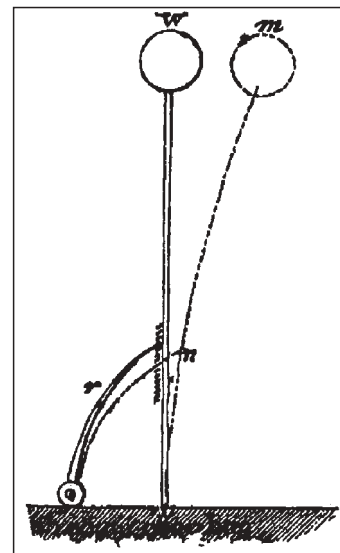
Mehr als ein halbes Jahrhundert musste dann vergehen, als J. FORBES im Jahre 1841 anlässlich des Erdbebens von Comrie auf die Idee kam, ein Messinstrument nach dem Prinzip des umgekehrten Pendels zu konstruieren. Es wird nach eigenen Angaben von FORBES selbst von R. MALLETT auf folgende Weise kurz beschrieben<sup>801</sup>:

„The inverted pendulum, held vertical when at rest by its forming part of a spring at the base (like the watchmakers' noddy), armed with a chalk tracer or pencil above the bob, marking a line or lines upon the concave lower surface of a dish in form like that of the preceding. This was understood to be one of the instruments adopted by the observers of the repeated shocks of Comrie, &c., and the invention, in its improved form, of Prof. J. Forbes. (Phil. Trans. Edin. vol. xv. part 1; Trans. Brit. Ass 1841-42).“

Eine verbesserte Variante des umgekehrten Pendels mit einer Sperrvorrichtung wurde MALLETT durch einen ausführlichen Brief eines Gutsbesitzers aus Valparaiso, Robert F. BUDGE, an seinen Freund Mr. PATTERSON in Belfast vom 12. März 1854 bekannt. Der Vorteil dieses Instruments bestand vor allem darin, dass die horizontale Komponente des Erdbebenstoßes möglichst genau erfasst werden konnte<sup>802</sup>:

„Four cylindrical or square rods of spring steel, each carrying a spherical bob (an iron shot) at top, are fixed vertically. Each is provided with a ratchet, finely cut upon the rod, and a pall, the planes of motion of the four palls passing through the cardinal points, so that each spring pendulum is free to make one semioscillation only in its own

Abb. 114.  
Das umgekehrte Pendel 1854.  
Nach MALLETT (1858).



direction, or that of its ratchet and pall, and be arrested there by the latter until its position of displacement be observed and it be released. Thus, in the figure, p W is the spring pendulum (which, it may be remarked, would be better a flat ribbon of spring steel, the broad dimension being transverse to the arc of vibration, than either round or square as proposed), W the bob, r the ratchet and pall. If we suppose this to be in the N. and S. vertical plane, a shock from the S. may bring the pendulum into the position p m and detain the instrument in its new position until the angle n p W can be observed.“

Fasst man die grundlegende Einsicht dieser zum Teil schon lange vor der Wellentheorie der Erdbeben entwickelten Instrumente zusammen, so kann man sagen, dass bereits hier das Grundprinzip aller Erdbebeninstrumente erfasst worden ist, auf dem letzten Endes auch die modernen Seismographen beruhen. Dieses Prinzip besteht darin, dass bei jedem derartigen Gerät, das ja selbst seinen Standort auf dem bewegten Erdboden hat, inmitten der bewegten Teile eine von diesen Bewegungen möglichst unbeeinflussbare stationäre Masse (steady point) eingebaut werden muss. Erreicht wird das dadurch, dass man die Trägheit von festen oder flüssigen Massen wie Säulen, Kugeln, Pendel oder Flüssigkeiten ausnützt, die gegenüber den mit dem Erdboden verbundenen und daher die Bodenbewegungen mitmachenden Behältern und Rahmen zurückbleiben.

Gemessen wird also die Relativbewegung zwischen einer wegen ihrer Trägheit „in Ruhe“ bleibenden beweglichen Masse und dem vom Erdbeben erschütterten Gehäuse oder Rahmen des Messgerätes, der mit dem Erdboden fest verankert ist. Frühzeitig erkannte man, dass diese Relativbewegungen auch aufgezeichnet werden können – aber auch, dass diese Aufzeichnungen nicht die wahren Bewegungen des Erdbodens wiedergeben. Außerdem wurde klar, dass nur eine Art der Bodenbewegung von einer bestimmten dafür konstruierten Art von Messgeräten festgestellt werden kann.

#### 4.10.2. Die Anfänge der instrumentellen Beobachtung im Rahmen der Wellentheorie der Erdbeben: Seismoskope

Mit all diesen Problemen beschäftigten sich die Erfinder der Erdbebeninstrumente der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts, wodurch erst eine Klassifikation der Erdbebeninstrumente und eine Festlegung ihrer Bezeichnungen erfolgte.

Ausgangspunkt dieser Entwicklung und Differenzierung von unterschiedlichen Klassen und Sorten von Erdbebeninstrumenten waren MALLETT'S Versuche, durch geeignete Konstruktion von Geräten, Richtung, Fortpflanzungsgeschwindigkeit und Amplitude sowie Höhe der Erdbeben-

<sup>799</sup> Vgl. FERRARI, G. (Ed.): Two hundred years of seismic instruments in Italy 1731–1940, published by SG Storia-Geofisica-Ambiente. – S. 38, Bologna 1992.

<sup>800</sup> Magazin für das Neueste aus der Physik und Naturgeschichte. – Bd. II, t. 2, S. 68.  
Vgl. J.C. FISCHER: Physikalisches Wörterbuch, 2. Th. – S. 180, Göttingen 1799.

<sup>801</sup> MALLETT, R.: Report 1858. – S. 73.

<sup>802</sup> MALLETT, R.: a.a.O. S. 73 f.

wellen festzustellen. Er erkannte aber bereits die Komplexität und Schwierigkeit dieser Aufgabe, die nicht allein durch eine Art von Instrumenten gelöst werden konnte.

Hinzu kommt noch das Problem des Aufstellungsortes der Instrumente, zu dessen Bewältigung MALLET folgende Regeln aufgestellt hat<sup>803, 804</sup>:

„1) Der Ganze, zur Beobachtung auserlesene Flächenraum, muss so weit (und auch so tief) als möglich gleichförmig sein in Beziehung auf geologische Beschaffenheit. Sind geschichtete Felsmassen vorhanden, so dürfen sie nicht sehr zerrissen und gebrochen sein, sondern sollen (soweit man sehen kann) gerade verlaufen oder nur wenig gebogen sein. Je härter, dichter und elastischer das Gestein ist, desto besser, es darf aber weder von langen und grossen Gängen durchschnitten, noch mit mächtigeren plutonischen Hervorragungen erfüllt, noch von solchen Bildungen eng und plötzlich begrenzt sein.

2) Die Oberfläche darf nicht von Thälern, tiefen Schluchten und Felsreihen unterbrochen sein. Seismometrische Beobachtungen in einem hohen und zerrissenen Bergland können kaum zu einem anderen Resultat führen als zu Verwirrungen. Wenn die Oberfläche weit und breit aus tiefen Alluvia Land besteht, so ist das weniger nachteilig als Tal-Becken und Mulden von tiefem Alluvium mit Felsrippen dazwischen.

3) Die Grösse des zur Beobachtung gewählten Raumes muss im Verhältniss stehen zur Kraft der zu beobachtenden Stösse. Mässige Stösse eignen sich immer am besten zur Beobachtung und in weit ausgedehnten Räumen von möglichst gleichförmiger Beschaffenheit der Gesteinbildung und Oberfläche wird man die vertrauenswertesten Angaben erhalten.

4) Wenn mehrere Seismometer angewendet werden, so sollten sie alle auf derselben Formation, entweder auf Felsboden oder auf tiefem Alluvium, aufgestellt werden. Felsboden verdient immer den Vorzug. Drei Seismometer an eben so vielen Stationen werden im Allgemeinen hinreichend sein, wenn man vorzüglich die Ermittlung der Lage des Herdes und der Tiefe im Auge hat.“

„1. The whole surface-area of observation, and to as great a depth as possible, must be uniform in geological structure. If of stratified rock, not greatly shattered and overthrown, but (viewed largely) level or rolling only. The harder and more dense and elastic the formations, the better, but neither intersected by long and great dykes, nor by igneous protrusions of magnitude, nor suddenly bounded by such formations.

2. The surface must not be broken up into deep gorges, and rocky ranges, and valleys. Seismometry, in an high and shattered mountainous country, can scarcely lead to any result but perplexity. If the surface be deeply alluvial all over, it is less objectionable than valley-basins, and pans of deep alluvium, with rocky ribs between them.

3. The size of the area chosen for observation must bear a relation to the force of the shocks experienced in it. Moderate shocks are always best for observation, and, in large areas of the most uniform character of formation and surface, will give the most trustworthy indications.

4. If several seismometers be set up in the area, they should be all placed on corresponding formations, either all on rock, or all on deep alluvium. The rock, when attainable, is always to be preferred. Three seismometers, at as many distant stations, will be generally found sufficient, if the object be chiefly to seek the focal situation and depth.“

Nach MALLETS Theorie, der zufolge die longitudinale Kompressionswelle, die vom Erdbebenherd ausgehend in

unterschiedlichen Emergenzwinkeln an der Erdoberfläche austritt, die größte Wirksamkeit ausübt, ist auch die Entfernung des Aufstellungsortes vom Oberflächenmittelpunkt oder Epizentrum für die Konstruktion des Erdbebenapparates von entscheidender Bedeutung. Bei größeren Entfernungen in einem Erschütterungsgebiet, wo der Emergenzwinkel des Austritts der Kompressionswelle an die Erdoberfläche nicht steil ist, d.h. wo die Stösse nahezu horizontal sind, werden grundsätzlich andere Konstruktionen eingesetzt werden müssen als im Epizentrum selbst oder in seiner Nähe, wo alle Stösse vertikal in steilem Winkel auftreten.

Für beide Fälle hat MALLET Konstruktionsvorschläge einfachster Art geliefert, die diese Unterschiede in der Wellenbewegung entsprechend ihrer Entfernung vom Zentrum berücksichtigen. Um vertikale Bewegung zu messen, schlägt er eine Spiralfeder von 18 Zoll Länge vor, mit einem Gewicht einer zwölfpfündigen Kanonenkugel, an der in der Richtung der Schwerkraft der Stiel einer gewöhnlichen Tabakspfeife befestigt ist, dessen Ende in eine tiefe, mit einer ziemlich dicken Tinte gefüllten Schüssel gerade eintaucht und im Falle eines Erdbebens die Stärke des vertikalen Stoßes an der Höhe der Einfärbung des Pfeifenstiels ablesen lässt.

In der Konstruktion noch einfacher, aber in der Aussagekraft wesentlich größer ist das von MALLET nach den Prinzipien seiner Theorie vorgeschlagene Säulenseismoskop, das sich nur auf die horizontalen Bewegungen bezieht, aber in geeigneter mehrfacher Ausführung zumindest annähernde Bestimmungen von folgenden Eigenschaften der Erdbebenwelle liefern kann<sup>805, 806</sup>:

„1. Von der Geschwindigkeit der horizontalen Komponente des Stosses, ohne Rücksicht auf die vertikale Komponente, welche letztere man bei einem kleinen Winkel des Eintreffens (angle of emergence) vernachlässigen kann.

2. Von der Oberflächen-Richtung des Stosses im Azimuth oder von der Richtung der horizontalen Komponente der Erdbeben-Welle.

3. Von der absoluten Richtung der ersten Bewegung, nämlich der Richtung der Uebertragung der Welle, welche immer zusammenfällt mit der Richtung der Molekularbewegung der Welle selbst in der ersten Hälfte der ganzen Phase. Z.B. wenn ein Stoss im Nord-Süd-Azimuth die Cylinders südwärts umwirft, dann ist die Welle von Süden nach Norden gegangen.“

„1. The velocity of the horizontal component of shock, neglecting the vertical component, which may be done where the angle of emergence is not great.

2. The azimuthal direction of the horizontal element of shock.

3. Its absolute direction of primary movement, viz. the direction of translation of the wave, which always coincides with the direction of molecular movement of the elastic wave itself, in the first half of its complete phase: e.g., if the wave show a N.S. azimuth, by the line of direction of axes of the overthrown cylinders, and these be thrown to the northward, then the wave has traversed from S. to N.“

Um diese annähernden Bestimmungen der Erdbebenwelle zu bekommen, gibt MALLET genaue Anweisungen über die Zahl und Anordnung der Säulen<sup>807, 808</sup>:

„Man lasse sich zwei gleichartige Sätze gerader Zylinder – jeder Satz zu etwa 6 bis 12 Stück – fertigen, alle von derselben Höhe a und aus demselben Material, aber von verschiedenem Durchmesser, so dass in jedem Satze eine gleichmässige Abnahme vom grössten zum kleinsten Durchmesser stattfindet. Für Erdbeben-Beobachtungen von mitt-

<sup>803</sup>) Vgl. MALLET, R., übers. v. JEITTELES 1860, S. 09.

<sup>804</sup>) MALLET, R.: Report 1858, S. 85.

<sup>805</sup>) Vgl. MALLET, R., übers. v. JEITTELES 1860, S. 13.

<sup>806</sup>) MALLET, R.: Report 1858, S. 99.

<sup>807</sup>) JEITTELES, 1860, S. 12 f.

<sup>808</sup>) MALLET, R.: Report 1858, S. 98 f.

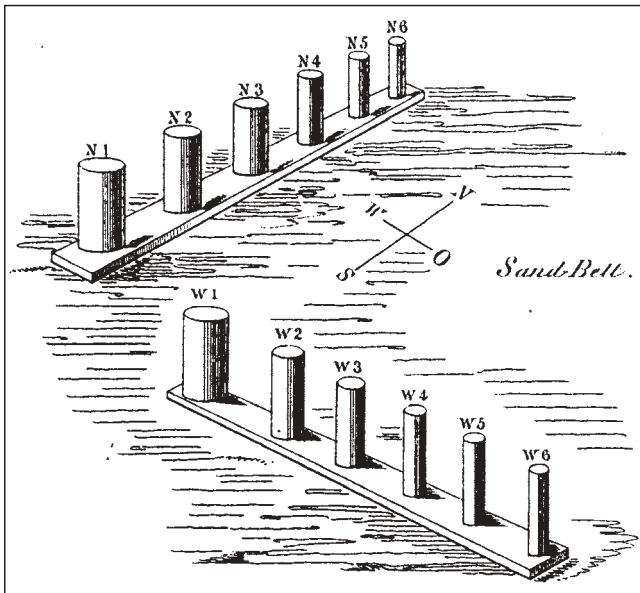


Abb. 115.  
MALLET'S Säulenseismoskop 1858.

lerer Intensität wird es am besten sein, wenn der Cylinder vom grössten Durchmesser eine Höhe hat, welche dem dreifachen Durchmesser entspricht, wo also  $b = \frac{a}{3}$ , und wenn der Cylinder vom kleinsten Durchmesser einen Durchmesser von ein Drittel des grössten hat, wo also  $b = \frac{a}{9}$ . Eine bestimmte Anzahl von Cylindern, deren Durchmesser zwischen diesen beiden Extremen liegt, wird eingeschaltet, und je grösser die Anzahl, desto genauer wird das Instrument. Sechs bis Zehn in jedem Satze werden jedoch zu allen Beobachtungen hinreichen. Für Beobachtung besonders heftiger Stösse werden bei allen Cylindern die Durchmesser im Verhältnis zur Höhe grösser gewählt werden müssen. Das Material der Cylinder ist gleichgültig – Gusseisen, Stein, Thon oder andere Substanzen, die man zur Hand hat (nur dürfen sie beim Umwerfen nicht zerbrochen werden können); kein Material wird aber besser entsprechen, als hartes, gut ausgetrocknetes Holz von gleichmässiger Beschaffenheit, mit gerade verlaufenden Fasern und von gleichem specifischen Gewicht, aus welchem man die Cylinder auf der Drechselbank machen und deren Grundflächen man mit Leichtigkeit vollkommen senkrecht auf die Axen herstellen kann. Auf irgend einem horizontalen und festen Boden bringe man nun zwei Bretter an, wie in Abb. 115 deren Längsrichtung sich beziehungsweise von Norden nach Süden und von Westen nach Osten erstrecken müssen, jedes Brett etwa 3 Zoll dick und so breit als der Durchmesser des grössten Cylinders, dann so lang, dass die Cylinder, wenn sie darauf aufrecht und gleichweit von einander entfernt stehen; einen Zwischenraum unter sich haben, der grösser als ihre Höhe ist. Ist bei dem Cylinder des grössten Durchmessers  $b = 0,5$  eines Fusses, so wird die Länge des Brettes für eine Reihe von 6 Cylindern, wie in der Figur, ungefähr 12 Fuss betragen. Hat man diese Bretter horizontal befestigt, so schüttet man auf den Boden trockenen Sand bis zur oberen Fläche der Bretter auf, und stellt die zwei Sätze von Cylindern an ihre Plätze, einen Satz in der Richtung von Norden nach Süden, den andern in jener von Osten nach Westen, so dass, mag die horizontale Componente des Stosses woher immer kommen, die umgeworfenen Cylinder der einen oder der andern Reihe quer auf die Längslinie der Bretter-Unterlage fallen und, in den Sand sich einbettend, genau in der Azimuthal-Lage liegen bleiben werden, in welcher sie umgeworfen wurden. Wenn nun ein Stoss von was immer für einer horizontalen Geschwindigkeit eintrifft, welcher im Stande ist einige, aber nicht

alle, Cylinder umzuwerfen, so wird er auf einmal alle schmälere Cylinder d.h. diejenigen von kleineren Durchmessern niederwerfen. Nehmen wir z.B. einen Stoss von Norden nach Süden mit einer Geschwindigkeit an, welche W 6, W 5 und W 4 umzuwerfen im Stande ist, W 3, W 2 und W 1 aber stehen lässt, so wird V grösser sein als die Geschwindigkeit, welche W 4 umwirft, und kleiner als jene, durch welche W 3 fällt, und innerhalb dieser Grenzen kann man sie aus der früher angegebenen Gleichung finden. Die umgefallenen Cylinder W 6, W 5 und W 4 werden mit ihren Axen von Norden nach Süden im Sandbett liegend gefunden werden. Die Cylinder N 6, N 5 und N 4 werden auch umgeworfen werden; aber in unserem Falle werden sie in der Linie ihrer eigenen Brett-Unterlage stürzen und wahrscheinlich herumrollen, daher keine Anzeige der Richtung des Stosses im Azimuth geben. Deshalb sind zwei Sätze von Cylindern nothwendig. Es ist jedoch auch ein Satz hinreichend, wenn der Zwischenraum zwischen den Cylindern gross genug ist und jeder einzelne auf einer cylindrischen und abgesonderten Basis von gleichem Durchmesser wie er selbst und von einer der Tiefe des Sandbetts gleichen Höhe steht.“

„Let there be constructed two similar sets of right cylinders, say each set, six to twelve in number, all of equal height (a) and of the same sort of material, but varying in diameter in each set, with a uniform decrement from the greatest to the least. Convenient dimensions for earthquake observations of mean intensity, will be such, that the cylinder of largest diameter shall have its altitude equal to three diameters, or  $b = \frac{a}{3}$ , and that the cylinder of least diameter shall have its diameter one-third of that of the greatest one, or  $b = \frac{a}{9}$ . Any number of cylinders of intermediate diameters may be interpolated between; and the greater the number, the more accurate the instrument becomes. A series of six to ten in each set will, however, be sufficient for any purpose. For observation of shocks of extreme violence, larger diameters, in proportion to altitude, should be chosen for all the cylinders. The material of the cylinders is not important, cast iron, stone, potter, or other substances at hand, whose arrises will not crumble away by being overthrown, may be used; but no material will be found more convenient than some hard heavy wood, of uniform substance, straight grain, and equable specific gravity, from which the cylinders can be formed in the lathe, and their bases brought perfectly square to the axis with facility. Upon any horizontal and solid floor let two planks be placed, as in fig. 115, with their directions in length respectively lying N. and S. and E. and W. each plank to be about 3 inches in thickness, and in width equal to the diameter of the largest cylinder, and its length such that the set of cylinders, when placed upright and equidistant thereon, shall have a space greater than the altitude between each. Thus, if the cylinder of largest diameter have  $b = 0.5$  of a foot, the length of plank will, for a set of six, as in the figure, be about 12 feet. These base-planks being fixed, level, and solid, the floor is to be levelled up to their upper surfaces with dry sand, and the two sets of cylinders adjusted to their places, one set running in an east and west, and the other in a north and south direction, so that in whatever direction the horizontal component of shock may move, the overthrown cylinders, of one or the other set, shall fall transversely to the lengths of either of the plank bases, and, lodging on the sand-bed, remain exactly in the position as to azimuth in which they were overthrown. If now a shock of any horizontal velocity capable of overthrowing some, of the cylinders, but not all of them, arrive, it will throw down at once all the narrower ones, and up to a certain diameter of base. For example, suppose a N. and S. shock, of such velocity as to overthrow W 6, W 5, and W 4, leaving W 3, W 2, and W 1 standing; then V will have been greater than the velocity due to

the overthrow of W 4, and less than that due to the overthrow of W 3, and, within those limits, may be found from the preceding equation. The cylinders here overthrown W 6, W 5, and W 4, will be found with their axes lying N. and S., at rest upon the sand-bed. The cylinders N 6, N 5 and N 4, will be also overthrown; but in this case they will fall in the line of their own plank bases, and may roll and so give no indication as to direction of shock in azimuth. Hence the necessity for two sets of cylinders; one set, however, will be sufficient, if space enough be provided between the cylinders, and if each be placed upon a cylindrical and separate basis of a diameter equal to its own, and in height equal to the depth of the sand-bed.“

Auch über die Bestimmung des wirklichen Zeitpunktes der Ankunft des ersten Stoßes am Instrument hat sich MALLET bereits Gedanken gemacht. Die einfachste Lösung dieser Aufgabe sieht er darin, dass die zwei schmalsten Zylinder (N 6 und W 6), die nach seiner Voraussetzung immer umfallen müssen, mit einer Zimmeruhr verbunden werden. Diese Uhr wird so präpariert, dass im Moment des Umfallens der Säule eine Schnur, die durch die Seitenwände des Uhrengehäuses auf lockere Art mit der Linse des Uhrpendels verbunden ist, straff angespannt wird und auf diese Weise in weniger als einer Sekunde der wahren Zeit des Durchgangs der Welle die Uhr zum Stillstand bringt.

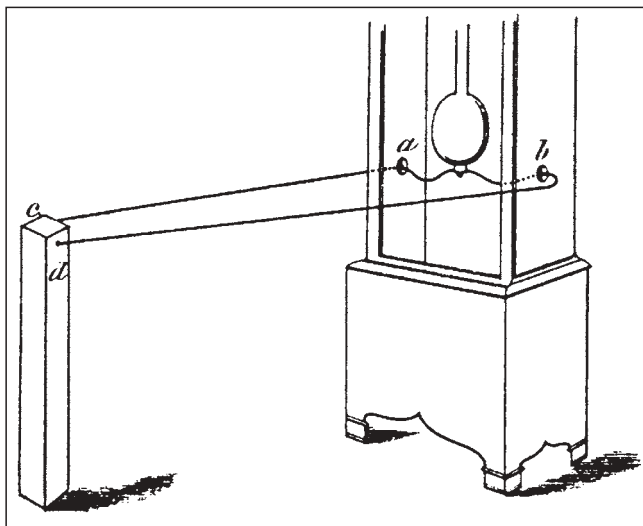


Abb. 116.  
MALLET'S Vorrichtung zur Bestimmung des Zeitpunktes der Ankunft des ersten Stoßes (1859).

Mehr noch als MALLET war Karl v. SEEBACH, der ja – wie bereits gezeigt – seine Methode der Feststellung der Herdtiefe und der wahren Fortpflanzungsgeschwindigkeit auf exakte Zeitbestimmungen des Durchgangs der Erdbebenwelle an verschiedenen Orten gründete, an einer Vorrichtung interessiert, die möglichst genau den Zeitpunkt des Eintreffens des ersten Stoßes festhält. Auch er benützte dazu das Prinzip labiler Systeme. Im Unterschied zu MALLET erdachte er sich aber eine Vorrichtung, welche im entscheidenden Moment des Beginns des Erdbebens die Uhr nicht anhält sondern antreibt<sup>809)</sup>:

„Eine beliebige, gut gehende Uhr, welche auch Sekunden zeigt, wird auf 0 Zeit gestellt. Das Pendel wird aus seiner Gleichgewichtslage gebracht und in seiner Stellung festgehalten dadurch, dass der um ein Geringes schwerere Arm eines Hebels hemmend in das Steigrad eingreift. An dem

<sup>809)</sup> SEEBACH, K. v.: Das mitteldeutsche Erdbeben vom 6. März 1872. – S. 187, Leipzig 1873.  
Vgl. GÜNTHER, S.: a.a.O. S. 460.

anderen, leichten Hebelarme hängt an einem schlaffen Faden ein Gewicht, welches auf einer kleinen Säule von geringer Stabilität aufliegt. Bei einem Erdbeben wird die Säule umgestürzt werden, das Gewicht fällt und löst den schweren Hebelarm aus dem Steigrade aus, wodurch dann das Pendel schwingen und die aufgezugene Uhr den Eintritt des Stoßes anzeigen kann.“

Ein weiterer in Deutschland gebräuchlicher Seismochronograph stammt von A. v. LASAULX, der in seiner Monographie über das Erdbeben von Herzogenrath folgende Konstruktion vorgeschlagen hat<sup>810)</sup>:

„In der Büchse A befindet sich eine Feder f, die um einen Messingstab gewunden ist, und dieser wieder trägt oben einen Teller m, auf welchem ein eiförmiges Gewicht P in ziemlich labilem Gleichgewichte aufruht. Unten ist an jenem Stäbchen, im Charnier e, das Ende eines zweiarmigen, gleichschenkligen Winkelhebels angebracht, dessen Arm C sich in k an den vertikalen, selbständig befestigten Träger T anlehnt und das in einer zur Zeichnungsebene senkrechten Ebene schwingende Uhrpendel vorbeilässt. Ein leiser Ruck bringt P zum Herabfallen, so dass es nun bei P' in der flach-sphärisch gekrümmten Schale S liegen bleibt: jetzt dehnt sich die Feder aus, und während der Teil m in die Lage m' emporschnellt, gelangt e nach e', während der Arm C in die Lage C' gelangt und so dem Pendel Halt gebietet. Eine absolute Augenblickshemmung wird freilich auch so nicht erreicht, da das Pendel, wenn es sich etwa beim Eintreten des Stoßes in seiner größten Elongation befände, noch eine halbe Schwingung auszuführen hätte, um bei C' anzulangen, indessen lässt sich dieser geringe Fehler durch Schätzung noch beträchtlich verkleinern. Der Erfinder ermöglichte auch eine ungefähre Schätzung der Stoßrichtung, indem er die Schale S mit Rinnen versah, die den Hauptweltgegenden parallel verlaufen; bleibt also P' z.B. in der Rinne SE liegen, so war der Stoß aus NW gekommen.“

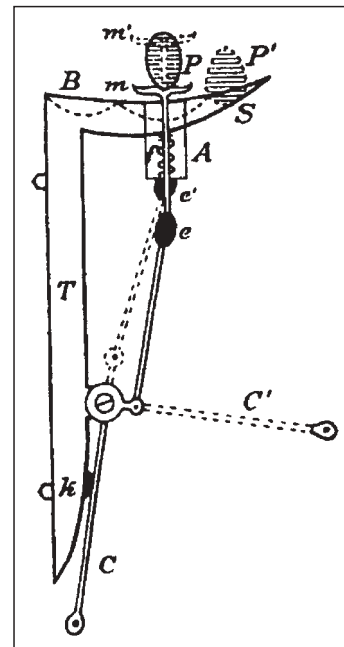


Abb. 117.  
Seismochronograph von A. v. LASAULX (nach GÜNTHER, 1877).

Nach Angaben von EHLERT<sup>811)</sup> wurde dieser Apparat in Telegraphenämtern angebracht. Doch brachten vorüberfahrende Eisenbahnzüge das labile Gewicht stets zum Fallen. Hinzu kam noch der große Nachteil dieser an einer Wand befestigten Vorrichtung, dass die Hauswand selbst

<sup>811)</sup> EHLERT, R.: C.F. GERLANDS Beiträge zur Geophysik, S. 449.

die Schwingungen senkrecht zu ihrer Ebene viel stärker mitmacht als solche parallel zu ihr.

### 4.10.3. Die Beobachtung von Nahbeben mit selbstregistrierenden Seismometern

Während die als „Seismoskope“ oder „Avisatoren“ zu bezeichnenden Erdbebeninstrumente, die entweder überhaupt nur feststellten, dass ein Erdbeben stattgefunden hat oder nur die Zeit des Eintretens bestimmten, ohne die Intensität, variierende Richtung oder die Amplitude der Erdbebenwellen registrieren zu können, stehen die selbstregistrierenden Seismometer bereits auf einer anderen Entwicklungsstufe. Die Selbstregistration bezieht sich nach MALLET auf folgende Punkte<sup>812)</sup>:

„1st. Of the time of transit, or 'wave period', at a given point of the earth's surface, of an earthquake shock, or earth wave, noting same to a small decimal of a second of time.

2nd. Of the vertical element of dimension, or altitude of the earth wave, at the moment of its transit, whether the wave be a positive or a negative one.

3rd. Of the horizontal element of dimension, or amplitude of the wave, at the same moment.

4th. Of the direction, as to azimuth, of the wave transit.“

Hinzu kommt noch als weiterer Punkt die Messung und Selbstregistrierung der Geschwindigkeit der Erdbebenwellen, die jedoch nur durch mehrere, in ausreichender Entfernung aufgestellte Erdbebeninstrumente erfolgen konnte. Die erste Realisierung einer solchen, über große Strecken verteilten instrumentellen Beobachtungsstation waren seine Experimente zur Bestimmung der Durchgangsgeschwindigkeit der Erdbebenwellen in unterschiedlichen Medien, wie er sie im 2. Report vom Jahre 1850 dargestellt hat.

MALLET nimmt für sich auch in Anspruch, den „ersten vollständig selbstregistrierenden Seismometer“ (the first completely self-registering seismometer) erfunden zu haben, und liefert dazu folgende Kurzbeschreibung:<sup>813)</sup>

„It consists essentially of five fluid pendula, - glass tubes, partially filled with mercury, four for horizontal, and one for vertical elements of the shock. The displacement of the mercurial columns breaks contact, in an otherwise closed galvanic circuit, which, acting upon some simple contrivances, cause a pencil to trace a line upon ruled paper, whose length is proportionate to the time that contact remains broken, or to the amplitude and altitude of the earth-wave. The ruled paper, placed upon a cylinder, is maintained in motion by a clock; the position of the commencement of the pencil line traced on the moving paper, therefore, gives the moment in time, of the arrival of the wave, or initial instant of shock. The displacement of the mercurial columns is dependent upon inertia, and on the relative mass of mercury in the adjacent limbs of each bent tube.“

MALLET erkennt aber auch den großen Nachteil aller Flüssigkeitsseismoskope. Er besteht darin, dass die ursprüngliche, durch den ersten Erdbebenstoß hervorgerufene Bewegung der Flüssigkeit von anderen dem ersten Stoß der Kompressionswelle folgenden transversalen Vibrationen und von reflektierten Wellenbewegungen so gestört wird, dass lediglich eine sehr unsichere Information über die Richtung des Durchgangs der horizontalen Komponente der Erdwelle zustande kommt. Das Gleiche gilt natürlich für sein selbstregistrierendes Quecksilber-Instrument:

„Tubes partially filled with mercury give almost unobjectionable indications as to direction of transit. Their evils are too great delicacy or sensitiveness, for the observation of that class of earthquakes of mean power, which are the most

<sup>812)</sup> MALLET, R.: On the Dynamics of Earthquakes. - 1846, S. 107.

<sup>813)</sup> MALLET, R.: 4<sup>th</sup> Report 1858, S. 75.

<sup>814)</sup> MALLET, R.: a.a.O. S. 79.

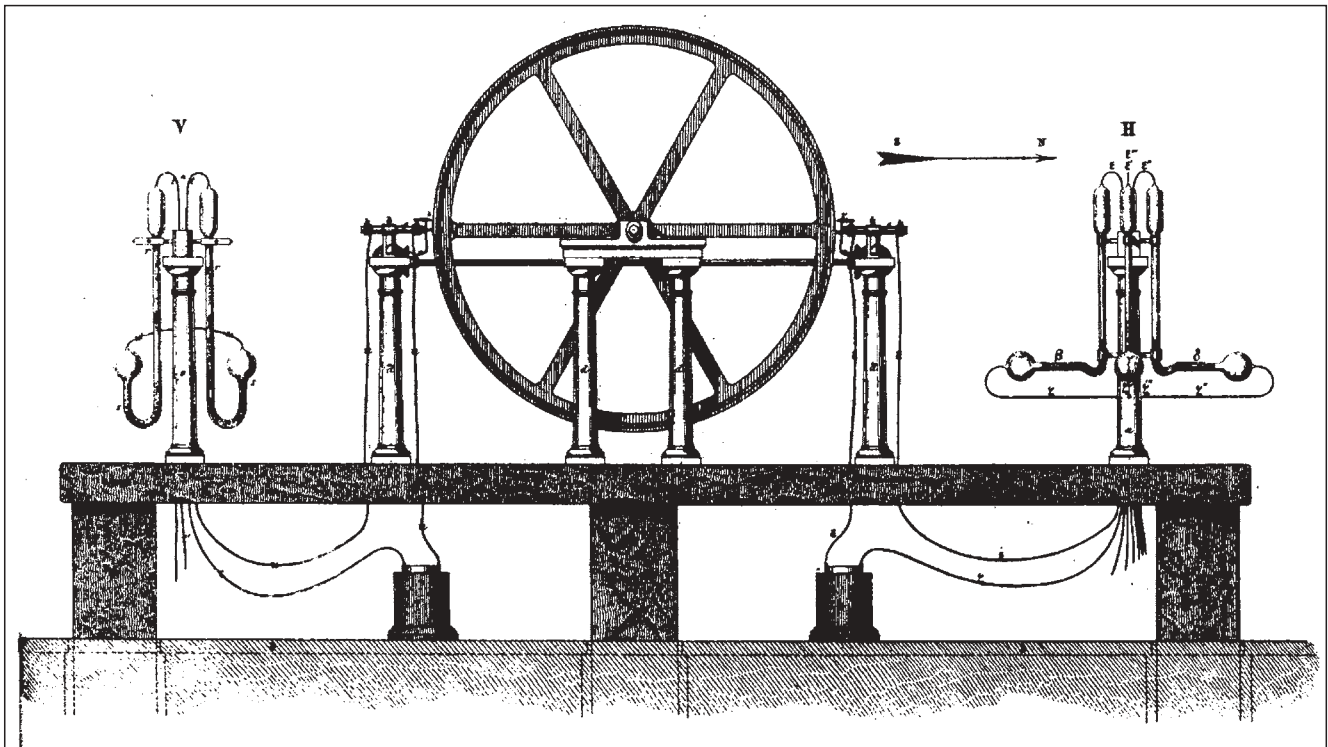
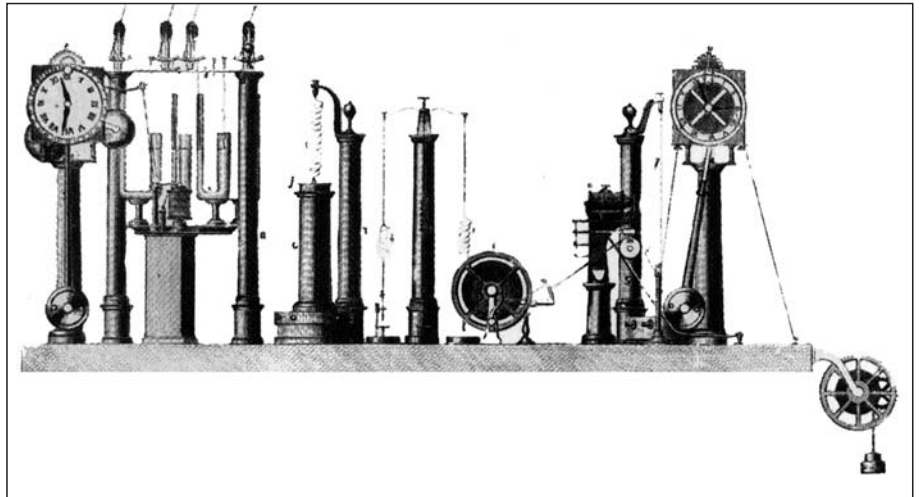


Abb. 118.  
MALLETS selbstregistrierendes Seismometer (1846).



Abb. 119.  
Der elektromagnetische Seismograph von PALMIERI (1867).

*important to be studied, and by which they are completely deranged occasionally, while they are continually being disturbed in such a seismic region by small tremulous movements that are unimportant to notice. As respects their indications of velocity and dimensions of the wave, they are liable to the objections already noticed as applicable to all pendula“.*



Ähnliche Einwendungen hat MALLET gegen den sismographo eletto-magnetico vorgebracht, den Luigi PALMIERI konstruierte und im Jahre 1867 im Vulkanobservatorium auf dem Vesuv zum Einsatz brachte. PALMIERIS Instrument war zwar wesentlich komplizierter: Es konnte die vertikale Bewegung des Bodens durch eine schwere Masse an einer Spiralfeder und die horizontale Bewegung durch U-förmige Röhren messen, die mit Quecksilber gefüllt waren, an dessen Oberfläche Eisenpartikel schwammen und so jede Bewegung registrierten. Außerdem war dieser Apparat mit einer Uhr und einem Läutwerk ausgestattet, das mit Hilfe elektromagnetischer Kontakte in Funktion kam.

Aber auch hier ist die Sensitivität des Quecksilberapparate so groß, dass bereits ein starkes Zittern oder ein heftiger Ruck die elektromagnetischen Kontakte unterbrechen kann und das Gerät in Aktion treten lässt.

MALLET kommt daher schon frühzeitig zu dem Schluss, dass Erdbebeninstrumente, welche auf dem Prinzip der Versetzung von Flüssigkeiten beruhen, nur dann vorzuziehen sind, wenn die Dimensionen der Stöße klein sind. Wo diese aber groß sind, da sind schwere feste Pendel vorteilhafter.

12 Jahre nach seiner ersten Abhandlung über die Dynamik der Erdbeben, als MALLET die Schwierigkeiten erkannt hatte, die sich für die Konstruktion eines selbstregistrierenden Seismometers ergeben, wenn es alle Elemente der Erdbebenwelle an der Oberfläche wiedergeben soll, schlug

er selbst ein Kugelseismometer vor, das zwar noch immer nach dem alten Prinzip der labilen Massen aufgebaut war, aber außerdem noch elektrische Mess- und Registrierungseinrichtungen besaß, die allen Anforderungen eines selbstregistrierenden Seismometers genügen sollten.

Von diesem Instrument gab es zwei Versionen. Die erste, wesentlich kompliziertere Version des Kugel-Seismometers (ball seismometer) ist sowohl ein Horizontal- wie auch Vertikalinstrument. D.h. es kann beide Bewegungsarten der Erdbebenwellen erfassen. Diese Konstruktion ist in Abb.120 dargestellt.

Auf einer gusseisernen Platte (a, a) sind zwei schräg von der Mitte aus ansteigende gusseiserne Kanäle (ii) befestigt, auf der zwei schwere Eisenkugeln liegen, die am tiefsten Punkt in der Mitte Kontakt mit einem vierkantig geformten Block bekommen und durch diese Berührung einen elektrischen Strom geschlossen halten. Die gusseiserne Platte mitsamt dieser Einrichtung wird von einem Eisenstab (b) getragen, der auf einer Spiralfeder (e) gelagert in einem schweren gusseisernen Rahmen c c ruht.

Wenn nun die Kompressionswelle in einem durch den Pfeil Q angegebenen Emergenzwinkel das Instrument erreicht, dann wird durch die Vertikalkomponente der Erdbebenwelle die auf der Spiralfeder ruhende gusseiserne Platte a a erschüttert und der Kontakt unterbrochen. Die auf einem bewegten Streifen aufgezeichnete Länge der Stromunterbrechung gibt dann die Stoßstärke an. Die Horizontalkomponente der Erdbebenwelle, die in dem angegebenen Fall durch den vom Süden nach Norden gerichteten Pfeil dargestellt ist, kann dadurch erfasst werden, dass zwei dieser Instrumente verwendet werden: das eine von Süden nach Norden, das andere von Westen nach Osten ausgerichtet.

Die zweite einfachere Version des „Projektionsseismographen“ entspricht der ursprünglichen Idee MALLETS, Richtung und Intensität der Erdbebenwelle durch herabgeschleuderte Körper festzustellen, wie er sie bei der Untersuchung des Neapolitanischen Erdbebens an den Gebäudezerstörungen angewendet hatte.

Das Instrument besteht aus einer Säule, auf deren Spitze ebenfalls zwei Kugeln

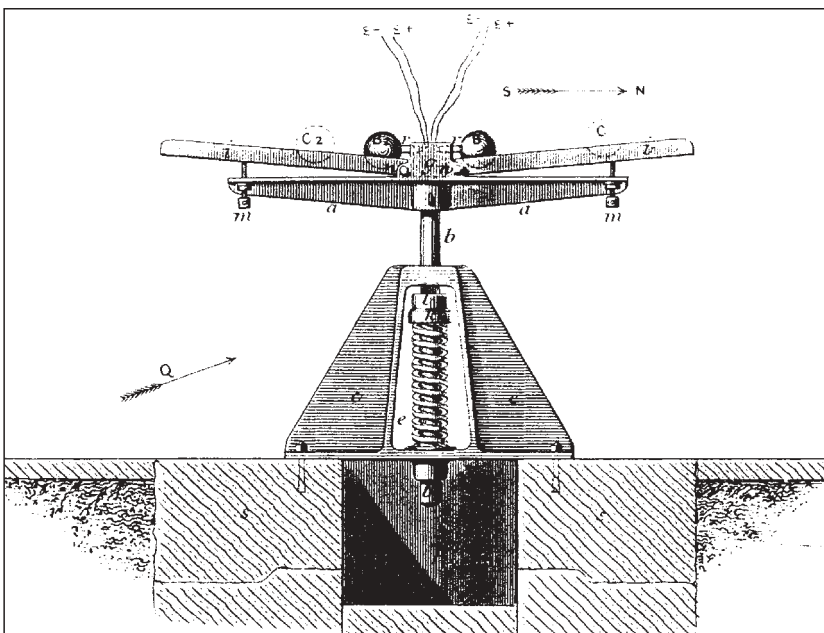


Abb. 120.  
MALLETS Kugel-Seismometer (1858).

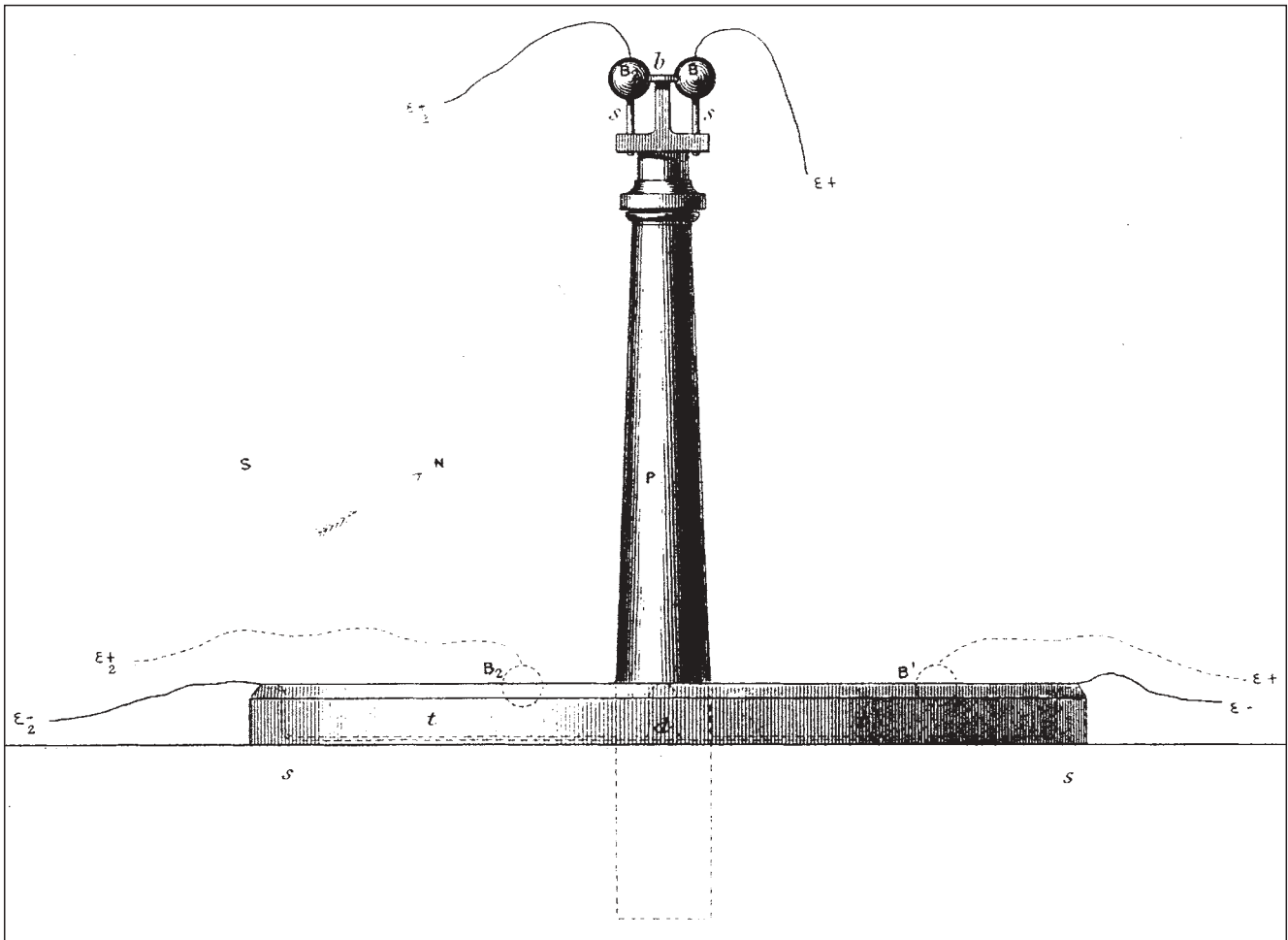


Abb. 121.  
MALLETS Projektionsseismometer (1858).

gelagert sind, die durch ihren Kontakt mit dem Apparat einen elektrischen Strom geschlossen halten. Werden durch die Erschütterung die beiden Kugeln aus ihren Lagern geworfen, so ist der Strom während des Falles unterbrochen. Auch hier wird die Dauer der Stromunterbrechung entsprechend der Weite der fortgeschleuderten Kugel registriert. Dass damit genauso wenig wie bei dem alten chinesischen Kugelseismoskop eine konforme Abbildung der unterschiedlichen Bodenbewegungen erreicht werden kann, versteht sich von selbst. Außerdem ist klar, dass sowohl eine geringe Beschleunigung bei langer Dauer als auch eine weit größere bei kurzer Dauer, je nach Beschaffenheit von Kugel und Lager, den gleichen Effekt hervorbringen kann, so dass eine eigentliche Intensitätsmessung daher auf diese Weise niemals geleistet werden kann<sup>815)</sup>.

Die Nachteile all dieser nach dem Prinzip labiler Massen konstruierten Messinstrumente waren so groß, dass sich die festen frei schwingenden Pendel durchsetzten, die ja wie bereits gezeigt, seit langem in Italien und im südlichen Europa in Gebrauch waren. Auch sie hatten einen großen Nachteil, der darin besteht, dass eine perfekte stationäre Masse, die unabhängig von den Bewegungen des Erdbodens sein soll, nicht zu erreichen ist, weil ein Pendel immer einer Aufhängung bedarf, die mit dem Erdboden verbunden ist.

Daher lieferten auch die älteren Vertikalpendel keine deutlich erkennbaren Beziehungen zu den Bewegungen des Bodens, sondern waren vermischt mit den Eigen-

schwingungen des Pendels. Man kann nur dadurch dem theoretisch geforderten Ideal einer absolut stationären Masse näherkommen, dass man ein möglichst schweres Gewicht an einem möglichst langen Draht aufhängt.

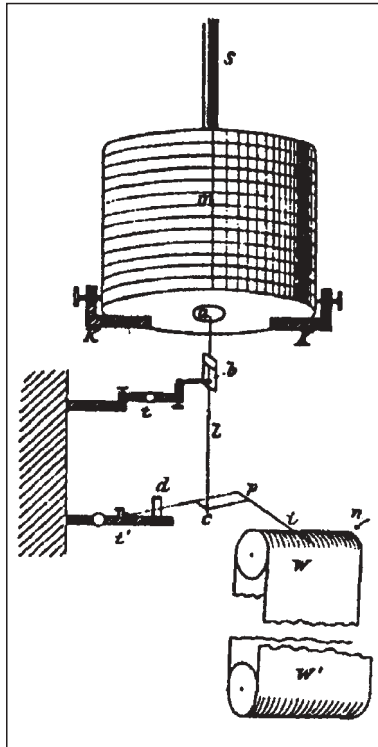
Die Weiterentwicklung der Vertikalpendel bestand daher zunächst in einer immer größeren Zunahme der Schwere des Gewichtes und der Länge des Pendels. Die großen, schweren Pendel waren überhaupt für die Erdbebeninstrumente Italiens besonders charakteristisch. So betrug das Gewicht des Pendels des Seismometergraphen CANCANIS in Rocca di Papa bei Rom 100 kg und hatte eine Länge von 7 m. Eine neuere Version aus dem Jahre 1895 hatte bereits ein Gewicht von 200 kg und war an einem 15 m langen Stahldraht befestigt. Das Riesensystem in Catania hatte ein Pendelgewicht von 300 kg und eine Länge von 26 m.

Übertroffen wurden jedoch alle diese Konstruktionen durch den Mikroseismographen von G. VICENTINI in Padua. Dieser Apparat hatte verschiedene Entwicklungen durchgemacht. Er bestand aus einer Masse von 50, 100 oder 400 kg, die an einem Draht von 1.50, 3.36, 4.50, 6.00 oder 10.50 m Länge aufgehängt war. Das 1896 zum Einsatz gebrachte große Instrument hatte ein Pendel mit einem Gewicht von 408,65 kg, das jedoch nicht mehr aus einer Kugel, sondern aus 13 großen Bleischeiben bestand. Die Gesamtlänge des Pendels betrug 10,68 m.

Damit war jedoch noch nicht das Ende der Entwicklung erreicht. Der unermüdliche Direktor der Erdbebenstation in Rocca di Papa G. AGAMENNONE konstruierte eine ganze Reihe von empfindlichen Seismometergraphen mit Vertikalpendeln, deren schwere Massen gewöhnlich die Form eines Käselaiibes hatten, d.h. Zylinder von geringer Höhe

<sup>815)</sup> EHLERT, R.: a.a.O. S. 449.

Abb. 122.  
Mikroseismograph von G. VICENTINI in Padua.  
Nach EHLERT (1896).



aber großem Durchmesser mit einem Gewicht von 200, 500 und schließlich von mehr als 2000 Kilogramm. Trotz dieser Dimensionen konnte der Nachteil der Vertikalpendel-Instrumente, die natürliche Eigenschwingung der nur annähernd stationären Massen, dadurch einigermaßen kompensiert werden, dass man sowohl Dämpfungseinrichtungen nur für die Eigenschwingung des Pendels als auch geeignete mechanische Vorrichtungen zur Vergrößerung der durch horizontale Bodenbewegungen ausgelösten Bewegungen der stationären Masse vorsah<sup>816</sup>.

Mit diesem Problem der Kompensation der Eigenschwingungen beschäftigten sich vor allem die Engländer in Japan. Unter der Führung von John MILNE konstruierten James EWING und Thomas GRAY an der Imperial University in Tokyo eine Reihe von Instrumenten, die durch geeignete Vorrichtungen die Eigenschwingungen des Pendels kompensierten, ohne dessen Länge und Masse zu erhöhen. Dadurch entstanden kompakte Instrumente, die in vielen Teilen der Welt zum Einsatz kamen.

Außerdem musste das Problem einer geeigneten Registriermethode gelöst werden. Denn die einfachste und naheliegendste Art der Registrierung, wie sei bei den ältesten Vertikalpendeln und zum Teil noch von den Engländern in Japan<sup>817</sup>) verwendet wurde, die wie bereits gezeigt, darin bestand, dass ein unter der Pendelmasse angebrachter Stift auf einer feststehenden Unterlage Aufzeichnungen anfertigte, ließ keine deutlich erkennbaren Beziehungen zu den wirklichen Bodenbewegungen zu. Die einander vielfach überkreuzenden Linien geben zwar eine Vorstellung von der Mannigfaltigkeit der Bewegungen, liefern aber kein Abbild der Aufeinanderfolge der einzelnen Phasen.

Es war daher ein genialer Einfall des Direktors der Zentralanstalt für Meteorolo-

<sup>816</sup>) HOBBS, W.H.: Erdbeben. Eine Einführung in die Erdbebenkunde. – Erweiterte Ausgabe in deutscher Übersetzung von J. RUSKA, S. 226 f., Leipzig 1910.

Abb. 123.  
AGAMENNONES Vertikalpendel mit einer stationären Masse von 500 Kilogramm.  
Nach HOBBS & RUSKA (1910).

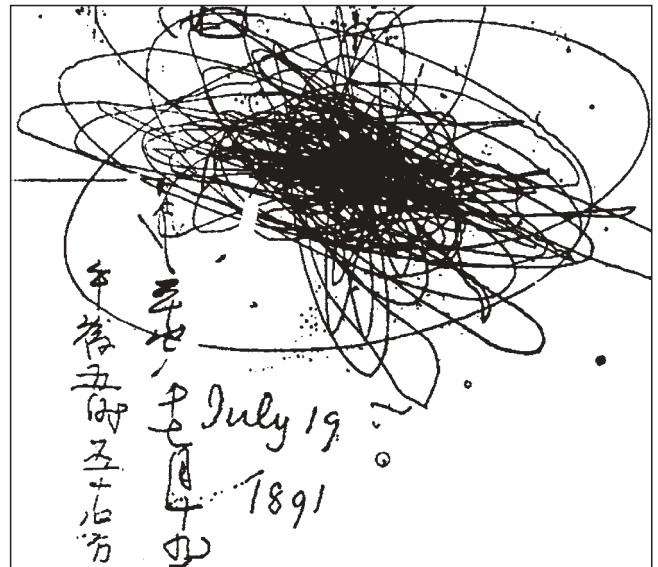
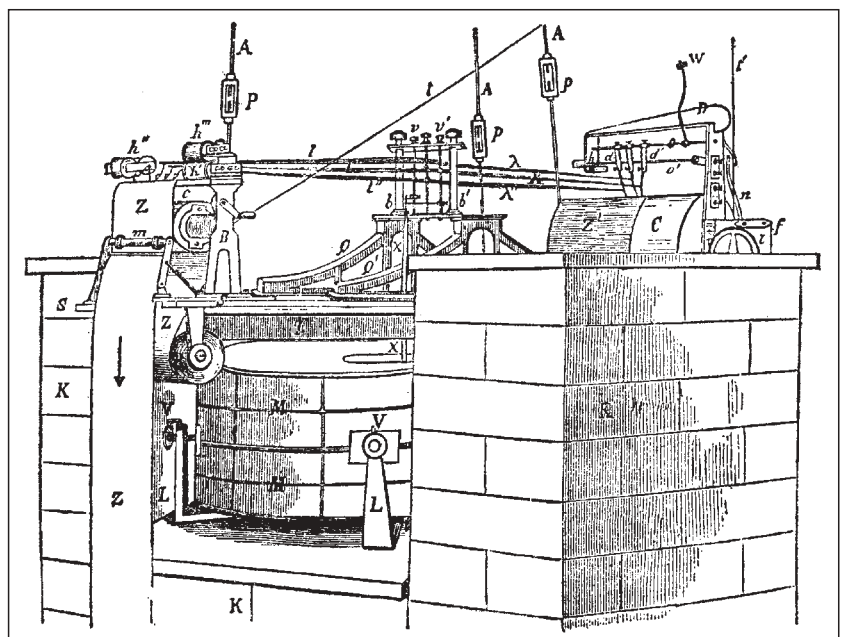


Abb. 124.  
Erdbebenregistrierung auf feststehender Platte durch MILNES Doppelpendel-Seismometer nach SIEBERG (1904).

gie in Wien, Karl KREIL, statt der unbeweglichen Registrierfläche einen von einem Uhrwerk angetriebenen Registrierstreifen zu verwenden<sup>818</sup>):

„Ein guter Erdbebenmesser gehört noch immer unter die frommen Wünsche; er soll nicht nur den Eintritt der stärkeren Stöße, sondern auch jenen der schwächeren, die Zeit, die Richtung und Stärke des Stosses angeben, eine Aufgabe, die für einen selbstzeichnenden Apparat zu gross ist. Es muss daher jede Idee zur Verbesserung solcher Vorrichtungen willkommen sein und aus diesem Grunde erlaube ich mir den beifolgenden Entwurf vorzulegen. Es sei *d* eine in *a* aufgehängte Stange von Holz oder Metall, welche bei *d* an der elastischen Feder *c* nach Art eines Uhrpendel befestigt ist, daher in einer auf die Ebene dieser Feder senkrechten Richtung schwingen kann; *a* *b* sei eine zweite auf die erste senkrecht stehende Feder, welche der Pendelstange in

<sup>817</sup>) SIEBERG, A.: Handbuch der Erdbebenkunde. – S. 223., Braunschweig 1904.

<sup>818</sup>) KREIL, K.: Über einen neuen Erdbebenmesser. – Sitzungsberichte der Kais. Akademie der Wissenschaften, Bd. XV, S. 370 f., 1855.

der Ebene der Feder *c* zu schwingen erlaubt. Die Stange *d* *e* und die an ihr befestigte Last kann daher in jede Richtung schwingen, ohne dass ihr gestattet wäre sich um ihre eigene Längsaxe zu drehen, wie es z.B. bei einem Faden oder dünnem Drahte der Fall wäre. Der Cylinder *f g h i* umfaßt ein Uhrwerk, das ihn nöthigt, sich in 24 Stunden einmal um seine senkrechte Axe zu drehen. Er ist mit Papier überzogen oder einem anderen Stoffe, auf welchem ohne großen Druck geschrieben werden kann. Er enthält am unteren Rande die Stundenzahlen, welche hinter einem am Teller *h i k l* befestigten Zeiger *m* vorüber gleiten. An einem nebenstehenden Pflocke *o p* ist ein elastischer und dünner Arm von Messing *o n* angebracht, der in *n* den Bleistift trägt, der mittelst eines Schraubengewindes gegen den Cylinder geschoben und davon entfernt werden kann. Er ist in stäter Berührung mit demselben und zeichnet darauf eine ununterbrochene Linie, so lange das Pendel in Ruhe bleibt. Fängt aber dasselbe in Folge einer Erschütterung zu schwingen an, so wird die Linie unterbrochen und es entstehen Striche, welche eine horizontale Lage haben werden, wenn das Pendel in der mit *n o* parallelen Richtung schwingt, eine senkrechte, wenn die Schwingung auf die Richtung *n o* senkrecht vor sich geht. Die Stärke und Ausdehnung dieser Striche wird eine Schätzung der Stärke des Stosses erlauben. Die Mitte der Striche oder, wenn sie vertical sind, der Endpunkt der ununterbrochenen Linie gibt die Zeit des Eintrittes an. Stärke und Richtung des

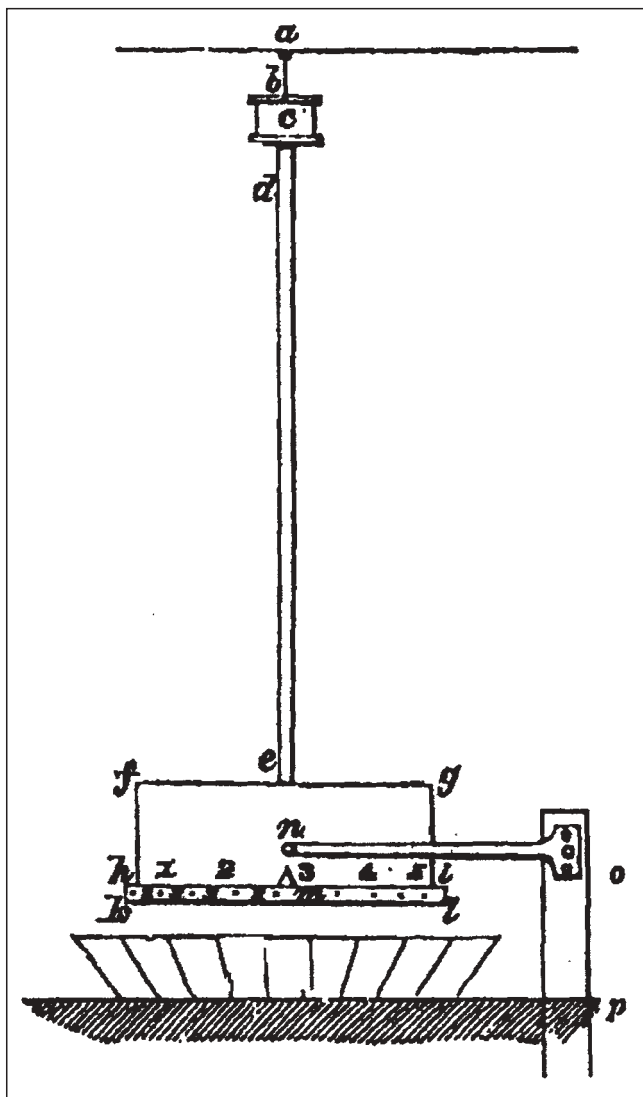


Abb. 125.  
Erdbebenmesser mit beweglichen Registrierstreifen von Karl KREIL (1855).

Stosses können auch abgeschätzt werden, wenn der Teller *h i k l* eine ringförmige Vertiefung hat, die mit Quecksilber zu füllen ist, bis es die an der Seite angebrachten Löcher *s, s, s* ... erreicht. Bei eingetretener Bewegung wird das Quecksilber durch diese Löcher ausgegossen und in einer, in eben so viele Fächer als Löcher sind, getheilten Schale aufgefangen, wie dies bei schon bestehenden Vorrichtungen dieser Art gebräuchlich ist.“

MALLET war der erste, der das bleibende Verdienst dieser neuen Erfindung anerkannte, und er lieferte in seinem Report vom Jahre 1858 eine ausführliche englische Übersetzung<sup>819)</sup> jener Stelle aus den Sitzungsberichten der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften, in der KREIL von seinem Registrierapparat berichtete.

Dass sich KREILS geistreiche Erfindung einer Registriermethode, die den gesamten zeitlichen Ablauf eines Erdbebens wiedergeben konnte, erst so spät durchgesetzt hat, ist allein darauf zurückzuführen, dass man früher die Erdbeben als grundsätzlich in einem einzigen Stoß bestehend angesehen hatte, der entweder durch eine unterirdische Explosion (MALLET) oder durch Einsturz von Hohlräumen (VOLGER) entstanden ist. Nach der Einführung von Messinstrumenten erkannte man jedoch, dass jedes Erbeben aus mehreren Phasen größerer und geringerer Intensität besteht. Für die Registrierung der komplizierten Bewegungen wurden unterschiedliche Methoden angewendet.

Eine direkte unzerlegte Aufzeichnung auf unbewegter Fläche wird, wie bereits gezeigt, wegen der vielen einander überschneidenden Linien sehr schnell unleserlich. Die fortbewegten Unterlagen dagegen haben den Nachteil, die schreibenden Indices mitzuführen und dadurch die Seismometermasse zu irritieren. Hier muss daher in noch höherem Maß als bei den so genannten static records auf möglichste Reibungslosigkeit geachtet werden. Dies wird umso schwieriger, je schneller die Registrierfläche fortbewegt wird. Große Geschwindigkeiten sind jedoch nötig, um die feinsten Details der Störungsfiguren zu erkennen. Das primitivste Schreibmittel und auch nur für static records verwendbar, war ein Stift auf feinem Sand oder ein Pinsel auf Papier. Von diesen Verfahren ist man bei den bewegten Flächen völlig abgekommen. Dort wurden feine Stahl- oder Glasspitzen auf berusstem Papier oder einer Glasscheibe verwendet. Die beste, weil absolut reibungslose Art ist jedoch die photographische Methode, die bereits im 19. Jahrhundert von MILNE u.a. vor allem bei den so genannten Horizontalpendeln angewendet wurde, die eine neue Epoche der instrumentellen Erdbebenbeobachtung einleiteten.

#### 4.10.4. Die Registrierung von Fernbeben: Horizontalpendel

Die Erdbeben, die man mit den bisher konstruierten und oben beschriebenen Instrumenten beobachtet hat, waren ausschließlich Nahbeben. Trotz der Verfeinerung der Bauart und der Registriermethoden reichte die Empfindlichkeit dieser Instrumente für die nicht mehr fühlbaren Bewegungen ferner Beben nicht aus. Das sollte sich erst mit der Erfindung der Horizontalpendel ändern. Ursprünglich dienten diese Instrumente astronomischen Zwecken wie z.B. die „astronomische Pendelwaage“ von Lorenz HENGLER<sup>820)</sup> aus dem Jahre 1832 oder ZÖLLNERS Horizontalpendel aus dem Jahre 1869<sup>821)</sup>, da sie sehr genaue Angaben über Lotswankungen lieferten. Erst später wurde ihre enorme Brauchbarkeit als Seismometer für ferne Beben entdeckt und weiter ausgebildet.

<sup>819)</sup> MALLET, R. Report 1858, S. 76 f.

<sup>820)</sup> EHLERT, R.: a.a.O. S. 320.

<sup>821)</sup> Ber. d. K.Sächs. Ges. d.Wiss. 1869 u. 1871.  
EHLERT, R.: a.a.O. S. 320.

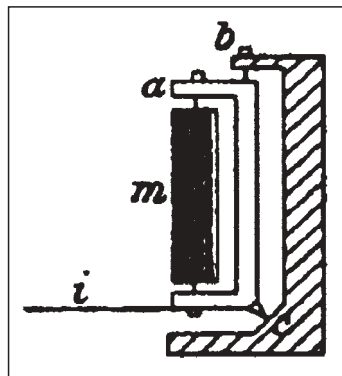
Das Konstruktionsprinzip dieser Horizontalpendel wird von John MILNE folgendermaßen beschrieben<sup>822)</sup>:

„They consist essentially of a heavy weight supported at the extremity of a horizontal bracket which is free to turn on a vertical axis at its other end. When the frame carrying this axis is moved in any direction excepting parallel to the length of the gate-like bracket, the weight causes the bracket to turn round a line known as the instantaneous axis of the bracket corresponding to this motion of the fixed axis. Any point in this line may therefore be taken as a steady point for motions at right angles to the length of the supporting bracket.“

Wenn man zwei dieser Horizontalpendel im rechten Winkel zueinander aufstellt, wird es möglich, die beiden horizontalen Komponenten zu erfassen, während die dritte senkrechte Komponente unberücksichtigt bleibt. Nach MILNES Angaben stammt das erste Horizontalpendel, das 1878 in Japan konstruiert worden ist, von W.S. CHAPLIN.

Es besteht aus einem 13 cm hohen und 3 cm dicken mit Blei gefüllten Messingzylinder *m*, der mit den spitzen Achsenenden seines ebenfalls beweglichen Armes *a* in den Lagern *b* und *c* drehbar ist. Theoretisch war diese Konstruktion einwandfrei, aber praktisch litt sie an der großen Reibung in den Lagern. Die vor allem im Bezug auf die geringe Reibung verfeinerte, aber im Prinzip gleiche Konstruktion von J.A. EWING funktionierte dagegen sehr gut und wurde seit 1880 in Tokio und auch sonst vielfach eingesetzt.

Abb. 126.  
Horizontalpendel von W.S. CHAPLIN (1878).



EWING konstruierte auch eine Reihe von Verbesserungen dieses Modells. So vereinigte er die beiden senkrecht zueinander aufgestellten Horizontalpendel dadurch zu einem einzigen Apparat, dass er an dem einen Arm einen zweiten Arm rechtwinklig dazu anbrachte, und verringerte durch geeignete Maßnahmen den Reibungswiderstand der Registrierungseinrichtung, wobei er darauf achtete, dass der Druck der Spitze auf die Registrierfläche immer konstant bleibt.

Eine weitere Verbesserung dieser Horizontalinstrumente bestand in der Vereinigung mit einer Messvorrichtung für die Vertikalkomponente, die seit jeher durch Vorrichtungen mit Spiralfedern gemessen wurde, wie die frühen Vorschläge von MALLET zeigen. Da aber die Vertikalbeschleunigungen gegenüber den der Schwerkraft entgegenwirkenden elastischen Kräften der Feder oder sonstiger Gegenkräfte wie Wasser, Quecksilber oder Gummilager relativ klein sind, hat man es mit nicht entfernt so feinen Messinstrumenten zu tun wie bei den Horizontalpendeln. Mit der Verfeinerung dieser Messtechnik für die Vertikalkomponenten beschäftigten sich ebenfalls die Engländer GRAY, EWING und MILNE in Japan. Alle diese Bemühungen wurden in dem kompakten GRAY-MILNE-Seismographen (Abb. 128)

<sup>822)</sup> MILNE, J.: Earthquakes and other Earth Movements, 1886, S. 27.

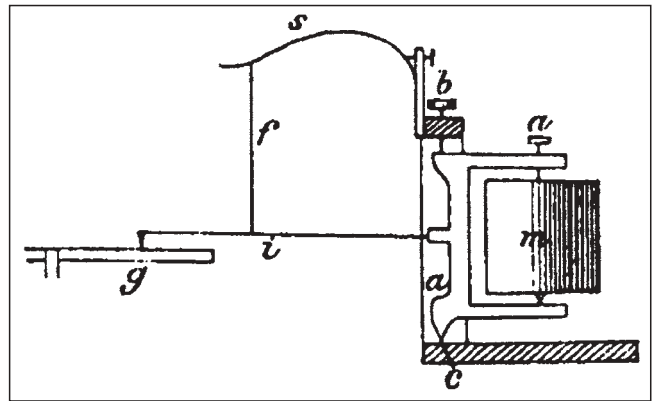


Abb. 127.  
Horizontalpendel von J.A. EWING (1880).

vereinigt, der von MILNE selbst auf folgende Weise beschrieben wird<sup>823)</sup>:

„In this apparatus two mutually rectangular components of the horizontal motion of the earth are recorded on a sheet of smoked paper wound round a drum, *D*, kept continuously in motion by clockwork, *W*, by means of a compensated-spring seismograph, *S L M B*. The time of occurrence of an earthquake is determined by causing the circuit of two electro-magnets to be closed by the shaking. One of these magnets relieves a mechanism, forming part of a time-keeper, which causes the dial of the timepiece to come suddenly forwards on the hands and then move back to its original position.

The hands are provided with ink-pads, which mark their positions on the dial, thus indicating the hour, minute, and second when the circuit was closed. The second electro-magnet causes a pointer to make a mark on the paper receiving the record of the motion. This mark indicates the part of the earthquake at which the circuit was closed. The duration of the earthquake is estimated from the length of the record on the smoked paper and the rate of motion of the drum. The nature and period of the different movements are obtained from the curves drawn on the paper.“

In den erdbebenreichen Gegenden, wie in dem stark erschütterten Tokio, wo diese Apparate konstruiert wurden, erwiesen sie sich als ausgezeichnete Mess- und Registrierungsgeräte. Jedoch in den erdbebenarmen Ländern war die Konstruktion wesentlich empfindlicherer Apparate nötig, weil man auf die Beobachtung der schwachen Oszillationen in Folge ferner Beben beschränkt war. Bereits 1883 äußerte John MILNE die Vermutung, dass es nicht unwahrscheinlich sei, dass jedes starke Erdbeben mit den geeigneten Geräten an jedem Ort der Erde registriert werden kann. Bestätigt wurde diese Vermutung von E.v. REBEUR-PASCHWITZ, der ursprünglich sein Horizontalpendel nur zur Messung langsamer Lotschwankungen benutzte und zunächst von der zeitlichen Übereinstimmung überrascht war, mit der dieses empfindliche Instrument zur selben Zeit in Deutschland einzelne Wellen registrierte, während in Tokio sich ein schweres Erdbeben ereignete. Das Konstruktionsprinzip dieses Apparates ist durch die schematische Darstellung der Abb. 129 wiedergegeben<sup>824)</sup>.

„Der aus Messingröhren *a b c* bestehende Pendelkörper ist durch die Gewichte *d* und *h* so ausgeglichen, dass der Schwerpunkt in *S* liegt. Aufgehängt ist das Pendel an einem

<sup>823)</sup> MILNE, J.: a.a.O. S. 39.

<sup>824)</sup> EHLERT, R.: a.a.O. S. 404.

REBEUR-PASCHWITZ, E.v.: Nova acta acad. Ceres. Leopold. – Bd. 60, 1984, S. 1 ff, Beiträge z. Geoph. II, 2, 1895, S. 211 ff.

Abb. 128.  
Der GRAY-MILNE-Seismograph (MILNE, 1886).

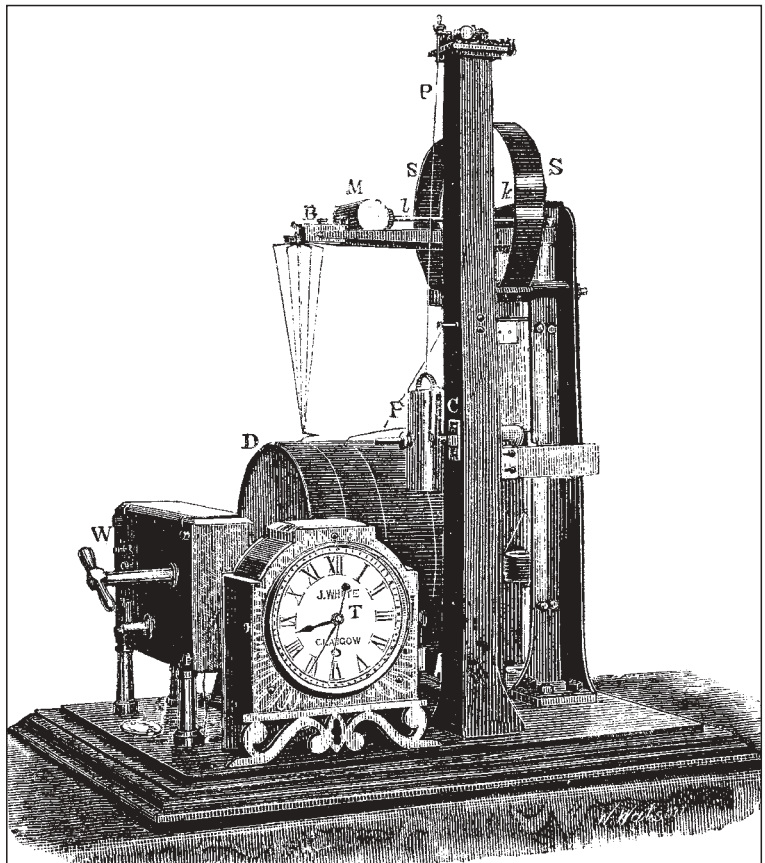
Stab, der senkrecht durch die Durchbohrung  $f$  geht. Die Registrierung erfolgt photographisch. Die entsprechende Einrichtung besteht aus dem Hohlspiegel  $s$ , der das Licht eines vertikalen Lampenspaltes auf eine 4–5 m entfernte, horizontal vor einer photographischen Walze liegenden Zylinderlinse wirft.“

Auf der beweglichen Walze entsteht dadurch ein heller Punkt, der in reibungsloser Weise den Verlauf der Störung durch ein entsprechendes Diagramm wiedergibt.

Auch dieses Instrument hat in seinen verschiedenen Varianten mannigfache Verbesserungen erfahren. Um jedes Erdbeben, gleichviel aus welcher Richtung es herkommt, erfassen zu können, wurden drei Horizontalpendel in einem Kessel in gleichen Abständen von  $120^\circ$  angebracht. Vor allem wurde aber auch die Registrierungs-geschwindigkeit, die ursprünglich nur wenige Millimeter in der Stunde betrug, zunächst auf 4–12 cm und schließlich auf 90 cm pro Stunde erhöht, was dem normalen Verhältnis für Instrumente mit mechanischer Registrierung entspricht. Denn die ursprüngliche, geringe Geschwindigkeit der optischen Registrierungsmethode führte dazu, dass die Linien des Diagramms ineinander verliefen und damit die Details verloren gingen.

#### 4.10.5. Der Einfluss der instrumentellen Beobachtung auf die Theorien über Schwingungsart und Weg der Erdbebenwellen

Mit der instrumentellen Beobachtung von Erdbeben versuchte man zunächst nur die von den Theorien der Wellenausbreitung der Erdbeben geforderten Bewegungsarten, wie sie vor allem von MALLET, HOPKINS und anderen aufgestellt wurden, nachzuweisen und genaue Bestimmungen der Richtung und Geschwindigkeit der Erdbebenwellen zu bekommen. Während MALLET bei der Konstruktion und Anwendung seiner Erdbebeninstrumente davon ausging, dass die größte Zerstörung durch den vertikalen Stoß der longitudinalen Kompressionswelle erfolgte, die sich an der Oberfläche in Wellenbewegungen umsetzt und den transversalen Wellen keine große Bedeutung zubilligte, sollte sich diese Auffassung ändern, als man den gesamten Verlauf des Erdbebens durch geeignete Instrumente registrieren konnte. Dabei machte man die Entdeckung, dass die Aufzeichnung durch kleine schnelle Schwingungen eingeleitet wird, denen dann mit mehr oder weniger scharfem Einsatz größere Schwingungen mit längerer Periode folgen. EWING hielt diese Vorläufer oder „preliminary tremors“ für longitudinale Schwingungen und die darauf folgenden



größeren „Hauptwellen“ für elastische transversale Schwingungen<sup>825</sup>:

„In all probability the quick-period tremors were normal vibrations, while the larger motions were transverse vibrations.“

EWING nimmt bei diesen elastischen transversalen Schwingungen eine horizontale Schwingungsrichtung der Masseteilchen an. Die gleiche Meinung vertrat Th. GRAY, der von sich behauptete, diese Entdeckung schon einige Zeit vor EWING gemacht zu haben<sup>826</sup>. Diese Behauptung führte zu einem Prioritätsstreit, in dem EWING die GRAYsche Beobachtung für unzulänglich erklärte.

Differenzierter als EWING und GRAY behandelte C.G. KNOTT die Frage nach der Art der Bewegung der Erdbe-

<sup>825</sup> EWING, J.A.: Abstract of a lecture etc. Nature 1888, S. 300. Vgl. SCHLÜTER, W.: Schwingungsart und Weg der Erdwellen. – Beiträge zur Geophysik. Hrsg. v. G. GERLAND, V. Bd. 1903, S. 320.  
<sup>826</sup> GRAY, Th.: On recent earthquake investigations. Vgl. SCHLÜTER a.a.O. S. 320.

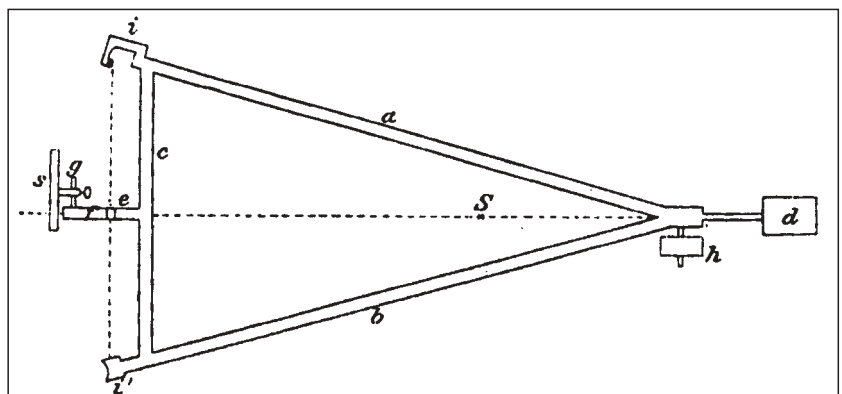


Abb. 129.  
Horizontalpendel von E. v. REBEUR-PASCHWITZ nach EHLERT, 1895.

benwellen<sup>827</sup>). Er deutete die voraneilenden „Tremors“ ebenfalls als longitudinale Wellen (normal motion) von sehr geringer Schwingungsdauer, unterschied aber darüber hinaus „rein elastische“ und „quasi-elastische Bewegungen“ an der Oberfläche. Diese „quasi-elastischen Bewegungen“ entstehen in der epizentralen Region, wo die Bestandteile der Erdkruste über ihre Elastizitätsgrenze beansprucht werden. Mit ihrer Ausbreitung verlieren die elastischen Oberflächenwellen an Energie und geben sich in größeren Entfernungen an den Instrumenten als horizontale Bewegungen zu erkennen.

John MILNE führte die ersten um 1880 erhaltenen Diagramme von Nahbeben in Japan<sup>828</sup>) ebenso wie EWING und GRAY auf elastische longitudinale und transversale Schwingungen zurück. Von den longitudinalen Wellen, die nach seiner Auffassung die „preliminary tremors“ verursachen, nahm er anfänglich in Anlehnung an KNOTTS Auffassung an, dass diese Schwingungen, weil sie stets in vertikalem Sinn erfolgen, von einer durch die Wirkung der Schwerkraft beschleunigten quasi-elastischen Oberfläche herrühren. Die außerordentlich hohe Fortpflanzungsgeschwindigkeit auf großen Entfernungen brachte ihn dann aber zur Vermutung, dass die vorauseilenden Vibrationen von longitudinalen Wellen herrühren müssen, die ihren Weg durch das Innere der Erde nehmen<sup>829</sup>). Die langen Wellen der Hauptstörung in der Nähe des Epizentrums deutete er zunächst als transversale Wellen, die sich an der Oberfläche fortpflanzen. Später, beim großen Mino-Owari-Erdbeben des Jahres 1891 beobachtete MILNE die Bewegung seiner Apparate und eines mit Wasser gefüllten Bassins<sup>830</sup>). Er hatte den Eindruck, als ob die langen Wellen des Erdbebens periodisch wechselnde Neigungen seien und nicht elastische Transversalschwingungen und führte sie auf Schwankungen der auf einer flüssigen Unterlage schwimmenden Erdkruste zurück, die infolge der Erdgravitation auftreten. Das Auftreten von Wellen des Bodens wurde nach MILNES Angaben auch während des großen Erdbebens auf Jedo am 28. Okt. 1891 von vielen Augenzeugen bestätigt<sup>831</sup>). Es entspricht auch den vielen Angaben von Zeugen bei den großen historischen Beben von Kalabrien (1783) und Kachar (1869), wo die Spaltenbildung mit einem Emporbiegen der Erdoberfläche verbunden war, wobei die Elastizitätsgrenze überschritten worden ist. Auch wiesen die vergleichenden Experimente von MILNE<sup>832</sup>), SEKYA & OMORI<sup>833</sup>), die an der Oberfläche und in Tiefen von nicht mehr als 10 Fuss bzw. 18 Fuss durchgeführt wurden, darauf hin, dass die freie Oberfläche ihre eigenen Bewegungsbedingungen besitzt, die sich in sichtbaren Wellenbewegungen (Undulationen) ausdrücken und die den Wasserwellen außerordentlich ähnlich sind.

In ganz neue Bahnen wurde die instrumentelle Erdbebenbeobachtung nach der Aufzeichnung von Fernbeben durch das Horizontalpendel von REBEUR-PASCHWITZ gelenkt. Dieser bemerkte zunächst, dass die Geschwindigkeit der Vorläuferbewegungen mit der Entfernung stark zunimmt und schloss daraus, dass sich diese longitudina-

len Schwingungen durch das Erdinnere hindurch fortpflanzen, während er die Hauptwellen zunächst wie MILNE als Gravitationswellen ansah, die sich längs der Oberfläche der auf dem Magma schwimmenden Erdkruste ausbreiten<sup>834</sup>). Später konstatierte er auch für diese Hauptwellen eine Zunahme der Geschwindigkeit mit der Entfernung und folgerte daraus, dass sie ebenfalls Bewegungen seien, die sich durch die Erde als transversale elastische Schwingungen fortpflanzen<sup>835</sup>). AGAMENNONE<sup>836</sup>) erkannte jedoch bei der Registrierung von Nahbeben bereits, dass durch fortwährende neuerliche Brechung und Spaltung der Wellenformen an den Grenzen der verschiedenartigen Materialien, aus denen die Erdkruste besteht, immer wieder beiderlei Wellen von neuem entstehen, so dass man nicht imstande sein wird, sie nacheinander gesondert wahrzunehmen. Dagegen konnte G. VICENTINI in Padua nachweisen, dass in manchen Fällen eine Trennung beider Phasen in den seismographischen Registrationen ersichtlich ist<sup>837</sup>). Bereits im Jahre 1893 veröffentlichte A. CANCELI eine in Italien vielbesprochene Arbeit über Erdbeben<sup>838</sup>), in der er entsprechend der Theorie von WERTHEIM durch seine instrumentellen Beobachtungen feststellen konnte, dass die Vorläuferwellen sich doppelt so rasch fortpflanzen wie die nachfolgenden Hauptwellen und er schloss daraus, dass die Vorläufer die longitudinalen Schwingungen und die Hauptwellen die transversalen Schwingungen der Theorie der elastischen Wellenbewegungen sind. Während jedoch EWING und GRAY bei den Hauptwellen an elastische Transversalbewegungen mit horizontaler Schwingungsrichtung der Masseteilchen dachten, nahm CANCELI eine vertikale Schwingungsrichtung an, die jedoch ebenfalls eine den Wasserwellen ähnliche Wellenbewegung der Erdoberfläche hervorrufen soll wie die Gravitationswellen von MILNE.

Die Überlegungen MILNES über die Natur der Oberflächenwellen wurden anlässlich des Laibachers Erdbebens vom 14. April 1895 von Franz Eduard SUESS fortgesetzt. In seiner umfangreichen Monographie über dieses Beben<sup>839</sup>) widmete er ein ganzes Kapitel den „Theoretischen Erörterungen über die Natur der Bewegungen“. Er bestätigt dort MILNES Auffassung, dass die auf den Diagrammen der Seismometer aufgezeichneten Schwingungen mit kleiner Amplitude und kurzer Schwingungsdauer, die als „ripples“ bezeichnet werden, „ohne Zweifel“ von einer longitudinalen Welle herrührten, die durch das Innere der Erde geht, während die langsamen großen Wellen (large waves) nach seiner Auffassung schon in der pleistoseisten Zone eine davon deutlich verschiedene Bewegungsform aufweisen. Das völlige Auseinandertreten dieser beiden Bewegungsformen in größerer Entfernung und die Tatsache, dass ihre Geschwindigkeiten beiläufig in dem Verhältnis von 1:2 stehen, legt auch für ihn die Annahme nahe, dass es sich um die longitudinale und transversale Welle der Theorie von WERTHEIM handelt, die dieser rein theoretisch als Bewegungsformen von Wellen, die durch solide Körper gehen, gefordert hat. In diesem Sinne gibt es daher für

<sup>827</sup>) KNOTT, C.G.: Earthquakes and Earthquakes Sounds as Illustrations of the General Theory of Elastic Vibrations. – Transact. of the Seismolog. Soc. of Japan. Vol. XII, S. 115, 1888.

<sup>828</sup>) MILNE, J.: Report of the Committee appointed etc. – Rep. Brit. Assoc. S. 201 ff., 1881.

<sup>829</sup>) MILNE, J.: Investigation of the Earthquake and Volcanic Phenomena of Japan. – Report etc. 1895. British Assoc. for the Adv. of Science, S. 64.

<sup>830</sup>) MILNE, J.: 12. Report of etc. – Rep. Brit. Ass. 1892.

<sup>831</sup>) MILNE, J.: A Note on the Great Earthquake of October 28<sup>th</sup>, 1891. Seismol. Journ. of Japan, Vol. I (Trans. Seis. Soc. XVII) 1893, S. 139.

<sup>832</sup>) MILNE, J.: On a Seismic Survey made in Tokyo in 1884 a. 1885. – Trans. Seism. Soc. X. 1887, S. 1.

<sup>833</sup>) SEKYA & OMORI: Comparison of Earthquake Measurement in a Pit and on the Surface Ground. – Ebenda, Vol. XIV 1892, S. 19.

<sup>834</sup>) REBEUR-PASCHWITZ, E.v.: Horizontalpendelbeobachtungen etc. zu Straßburg 1892–1894. – Beiträge zur Geophysik II, 1895.

<sup>835</sup>) REBEUR-PASCHWITZ, E.v.: Europäische Beobachtungen des großen japanischen Erdbebens etc. – Petermanns Mitteilungen 1895, S. 13.

<sup>836</sup>) AGAMENNONE, G.: Sulla variazione della velocità di propagazione dei terremoti, attribuita alle onde trasversali e longitudinali. – Atti R. Acc. dei Lincei, Ser. 5. III., Rendiconti 1894.

<sup>837</sup>) VICENTINI, G.: Intorno ad alcuni fatti risultanti da Osservazione microscopiche. – Atti e Memor. R. Acc. di sc. litt. e arti Padua, 12 genn. 1896. Vol XII.

<sup>838</sup>) CANCELI, A.: Sulle ondulatione provenienti da centri sismici lontani. – Annali d. Uff. centr. met. e. geod. italiano. Ser. II. Vol XV. Parte I. 1893.

<sup>839</sup>) SUESS, F.E.: Das Erdbeben von Laibach am 14. April 1895. – Jb. k.k. Geol. R.-A., 46, 3. Heft, S. 586 ff., 1896

Suess zwei Arten von Wellen, die sich im Innern der Erde fortpflanzen, die longitudinale und die transversale Welle, die sich beide an der Oberfläche in eine andere Form umsetzen müssen. Und er macht in diesem Zusammenhang eine richtungsweisende Bemerkung, die durch die Existenz von RAYLEIGH- und LOVE-Wellen heutzutage zumindest teilweise bestätigt worden ist<sup>840</sup>).

*„Es wäre wohl nicht undenkbar, dass analog der longitudinalen und der transversalen Welle, auch zwei Typen von Oberflächenwellen zur Entwicklung gelangen, welche sich mit verschiedener Geschwindigkeit fortpflanzen.“*

Er fügt aber hinzu:

*„Die Tatsachen scheinen mir jedoch nicht hiefür zu sprechen.“*

Eduard SUSS nimmt aber bereits zu diesem Zeitpunkt (1896) die Bedeutung von RAYLEIGHs rein theoretischen Überlegungen über die Oberflächenwelle für die Erdbebenforschung vorweg, indem er dessen Abhandlung<sup>841</sup>) aus den Jahren 1885-1886 zitiert<sup>842</sup>):

*„Lord Rayleigh hat in einer mathematischen Abhandlung das Problem der möglichen Oberflächenwelle auf einem elastischen, festen Medium vom rein theoretischen Standpunkte behandelt, ohne auf die Erdbebenerscheinungen näher einzugehen. Seinen Studien zu Folge schwingen in einer solchen Welle die Partikelchen in elliptischen Bahnen und die Fortpflanzungsgeschwindigkeit einer solchen Welle ist immer kleiner als die der transversalen.“*

Diese den Wasserwellen am ähnlichsten Wellen sind diejenigen mit der geringsten Fortpflanzungsgeschwindigkeit, aber auch diejenigen, die am längsten andauern.

Auch für die Existenz der nach A.E.H. LOVE benannten zweiten Oberflächenwelle, die einer transversalen Welle mit rein horizontalen Schwingungsrichtung der Partikel bzw. einer rein horizontalen Verformung der Gesteine ohne vertikale Versetzung entspricht, gab es bereits mehr als ein Jahrzehnt zuvor Ansätze. So hielt es F. OMORI<sup>843</sup>) für wahrscheinlich, dass sich die Erdoberfläche auf Grund ihrer Elastizität zusammendrücken lässt und im Sinne von Translationsverschiebungen seitlich hin und her schwingt, ohne dass dabei Neigungen entstehen. Er war zu dieser Annahme durch ein Seismogramm gekommen, das von zwei gleichgebauten Horizontalpendeln bei einem Nahbeben am 7. Nov. 1878 aufgezeichnet wurde, denen er durch Regulierung auf verschiedene Schwingungsdauer verschiedene Empfindlichkeit für Neigungen gegeben hatte. Sein Resultat war, dass der Unterstützungspunkt der Horizontalpendel Bewegungen von verschiedenen Perioden und verschiedener Weite vollführen könne, ohne sich nach irgend einer Seite zu neigen, vielmehr ausschließlich dadurch, dass er sich seitlich in der normalen Richtung des Rahmens verschiebt.

Unabhängig von OMORI kam auch W. SCHLÜTER in Göttingen zu einem ähnlichen Resultat. Er versuchte die

Streitfrage „Neigungen oder Translationsverschiebungen der Erdoberfläche“ durch die Konstruktion eines besonderen Apparates zu lösen, den er „Klinograph“ nannte. Das Endresultat seiner Versuchsreihe aus dem Jahre 1899, in der 20 Erdbeben verschiedenster Art und Größe registriert wurden, war, dass die bisher unter den Seismologen fast allgemein verbreitete Anschauung, dass die Apparate durch Neigung in Bewegung gesetzt werden, irrig sei. Die bisher an den Seismographen beobachtete Bewegung kann nur durch „Translationsschwingungen“ der Erdpartikel hervorgerufen sein, worunter er im Gegensatz zu den „Neigungsschwingungen“ die Schwingungen mit geradliniger oder elliptischer Bahn versteht. SCHLÜTER fügt aber ausdrücklich hinzu, dass damit nicht behauptet werden soll, dass Neigungsschwingungen überhaupt nicht existieren, sondern nur, dass sie unmerklich sind<sup>844</sup>). Und er glaubte auch, dass er mittels eines Klinographen von mehreren Metern Armlänge diese Neigungswellen aufzeichnen können. Zum Bau eines solchen Instrumentes, zu dem er bereits die Pläne ausgearbeitet hatte, ist es jedoch wegen seines frühen Todes nicht mehr gekommen.

Klinometrische Untersuchungen wurden auch von John MILNE<sup>845</sup>) sowohl in Japan als auch in seiner Erdbebenwarte zu Shide auf der Insel Wight durchgeführt. Er verwendete zunächst ein photographisch registrierendes Klinometer eigener Konstruktion und ergänzte diese Einrichtung durch einen vertikalen Spiralfederseismographen. Die damit gewonnenen Diagramme bestätigten die Ansicht SCHLÜTERS, dass die Horizontalpendel eher durch horizontale Bodenverschiebung als durch Bodenneyigung in Schwingungen versetzt werden. Die Möglichkeit von Bodenneyigungen wurden zwar von MILNE nicht ausgeschlossen, aber er vertrat die Ansicht, dass sie jedenfalls außerordentlich klein sein müssen. An dem undulatorischen Charakter der langen Wellen, ob sie nun Massewellen oder Oberflächenwellen sind, hielt jedoch MILNE stets fest.

Radikaler waren die Vertreter der Neigungstheorie, wie etwa P.G. ALFANI<sup>846</sup>), der an dem geodynamischen Observatorium Ximeniano durch Beobachtungen mit einem verbesserten Instrument von VICENTINI bewiesen zu haben glaubte, dass eine seitliche Beschleunigung unannehmbar sei und dass es sich nur um ein wirkliches und eigenes System von Transversalwellen handeln muss.

Die Lösung dieser Streitfrage wurde 10 Jahre später durch den Nachweis der Existenz einer transversalen Oberflächenwelle mit rein horizontaler Schwingungsrichtung geliefert, die zum ersten Mal von A.E.H. LOVE im Jahre 1912 beschrieben wurde.

Wie man heute weiß, stellen horizontale seitliche Verschiebungen und vertikale Neigungen in Form von Wellen ähnlich den Wasserwellen keine sich ausschließenden Alternativen von Oberflächenwellen dar, sondern können beide als sog. Love- und Rayleighwellen durch die modernen Instrumente eindeutig voneinander getrennt nachgewiesen werden.

<sup>840</sup>) SUSS, E.: a.a.O. S. 598.

<sup>841</sup>) RAYLEIGH, Proc. London Mathemat. Soc. Vol XVII. 1885-1886.

<sup>842</sup>) SUSS, E.: a.a.O. S. 596.

<sup>843</sup>) OMORI, F.: On the Nature of the long-period Undulations of Earthquakes. – Publications of the Earthquake Investigation Committee in Foreign Languages, Nr. 5, S. 42 ff., Tokyo 1901.

<sup>844</sup>) SCHLÜTER, W.: Schwingungsart und Weg der Erdbebenwellen. 1. Teil: Neigungen. – GERLANDS Beiträge zur Geophysik, Bd. V. Heft 4, S. 359.

<sup>845</sup>) MILNE, J.: Clinometric Experiments. Experiments with a Vertical Spring Seismograph. – On the Nature of Earthquake Movement as recorded at a great Distance from its Origin. VII. Rep.

<sup>846</sup>) ALFANI, P.G.: Bollettino sismologico dell' osservatorio Ximeniano dei p.p. delle scuole pie di Firenze. 1902.

Vgl. LAHERNER, A.: Zur Frage von der Natur der Erdbebenwellen. – Die Erdbebenwarte, Heft 11/12.



## 5. Biografien

### THALES VON MILET

(624–546 v. Chr.)

THALES wird von ARISTOTELES als Begründer der jonischen Naturphilosophie bezeichnet. Seine Lebenszeit wurde nach seiner berühmten Vorhersage der Sonnenfinsternis vom Jahre 985, die er im Alter von 40 Jahren machte, berechnet.

Das Fehlen schriftlicher Darstellungen seiner Lehre führte schon in der Antike zu unterschiedlichen Interpretationen seiner Leistungen. Er gilt als Begründer der wissenschaftlichen Geometrie, der den Lehrsatz vom rechtwinkligen Dreieck im Halbkreis aufgestellt und die Höhe der Pyramiden berechnet haben soll. Als Prinzip aller Dinge sieht er das Feuchte oder das Wasser. Die Konsequenz aus diesem Prinzip ist seine Theorie von den Ursachen der Erdbeben als Bewegung der Erdscheibe auf dem Weltmeer.



### ANAXIMENES VON MILET

(584–525 v. Chr.)

Die Lebenszeit von ANAXIMENES beruht auf der Berechnung, dass seine Blütezeit mit der Einnahme der Stadt Sardes und mit dem Todesjahr von THALES (546 v. Chr.) zusammenfällt.

Anders als sein Vorläufer und Nachfolger THALES und ANAXIMANDER VON MILET, der bereits die Kugelgestalt des Weltalls und die Zylinderförmigkeit der Erde annimmt, die ohne Stütze im Weltall schwebt, sieht ANAXIMENES die Erde als Scheibe an, die von der Luft getragen wird. In der Erklärung der Ursache der Erdbeben vertrat er die Einsturzhypothese.

### ANAXAGORAS

(499–428 v. Chr.)

Geboren in Kleinasien (Klazomenai) begab sich ANAXAGORAS nach Athen, wo er dreißig Jahre lang als Freund des PERIKLES lebte, bis er von den politischen Feinden des großen Staatsmannes wegen der Behauptung, die Sonne sei eine glühende Masse, der Gottlosigkeit angeklagt und zu einer hohen Geldstrafe verurteilt wurde. Danach wanderte er nach Lampsakos aus, wo er im Alter von 72 Jahren starb.

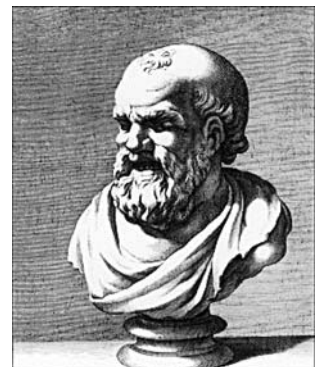
Nach seiner Ansicht ist die Welt aus Dunst und Äther entstanden, die sich durch Rotation voneinander trennten. Anders als ARISTOTELES, der ANAXAGORAS die Kugelgestalt der Erde bereits zuschrieb, war für ANAXAGORAS die Erde eine aus Dunst verfestigte flache zylindrische Scheibe, die wegen ihrer großen Breite im Zentrum der Welt ruht. Seine Erdbeben­theorie beruht auf der Vorstellung des die Erde von unten nach oben durchdringenden Äthers, der die verstopften Poren der Erde mit Gewalt durchbricht.

### DEMOKRIT

(ca. 460–370 v. Chr.)

Aus Abdera stammend unternahm DEMOKRIT aus Wissbegierde ausgedehnte Reisen nach Ägypten, Babylon und Persien. Danach begab er sich nach Athen, wo ihn damals noch niemand kannte.

Als Schüler des LEUKIPPOS vertrat er die Atomistik. Seine Erdbeben­theorie kann man als Vorläufer des Neptunismus ansehen, da er behauptete, dass die in den Höhlen eingeschlossenen Wassermengen die Erde erschüttern.



### PLATON

(428–348 v. Chr.)

Geboren in Athen. Im Jahre 428 begegnete PLATON mit 20 Jahren SOKRATES, dessen Schüler er bis zu dessen Hinrichtung im März 399 war. Nach dem Tode des SOKRATES unternahm er weite Reisen, die ihn bis nach Ägypten geführt haben sollen. Geschichtlich ist jedenfalls sein Besuch in Unteritalien und Sizilien und sein Aufenthalt am Hof des Tyrannen DIONYSOS in Syrakus. Nach seiner Rückkehr in seine Vaterstadt Athen gründete er die Akademie, die er zwanzig Jahre lang leitete. Unterbrochen wurde sein Aufenthalt nur durch seine zweite und dritte Reise nach Sizilien (366/65 und 361/60). Er starb in Athen im Jahre 348.

In die Geschichte der Erdbeben­theorien ist er durch seine Vorstellung von den „Feuerströmen“ im Innern der Erde, auf die sich noch HUMBOLDT beruft, eingegangen.





## ARISTOTELES

(383/384–322 v. Chr.)

Geboren 384 in Stageira als Sohn des Leibarztes des Königs AMYNTAS II von Makedonien, begab sich ARISTOTELES 367 zum Studium an die Platonische Akademie nach Athen, wo er 20 Jahre lang als Mitglied und Schüler PLATONS tätig war. Nach dem Tode PLATONS 348/47 übersiedelte er nach Assos im kleinasiatischen Mysien, wo Hermias ein nach platonischem Muster orientiertes Herrschertum ausübte, und lehrte dort drei Jahre lang als Haupt eines Akademikerkreises. Darnach ging ARISTOTELES von 343–336 als Erzieher ALEXANDERS DES GROSSEN an den makedonischen Königshof. Nach dessen Regierungsantritt kehrte er nach Athen zurück, wo er 335 v. Chr. im Lykeion seine eigene Schule, den „Peripatós“ gründete, dem er 12 Jahre lang vorstand. Die antimakedonische Erhebung in Athen nach dem Tode ALEXANDERS trug ARISTOTELES, der außerdem noch mit dem Reichsverweser ALEXANDER ANTIPATROS befreundet war, eine Verfolgung in Gestalt einer Anklage wegen Religionsfrevels ein. ARISTOTELES entzog sich diesem Prozess, indem er sich nach Chalkis begab, wo er bald darauf im Jahre 322 v. Chr. in seinem 63. Lebensjahr starb.

Seine pneumatische Erdbeben­theorie stellt ARISTOTELES in einen engen Zusammenhang mit atmosphärischen und kosmischen Ereignissen, sodass über viele Jahrhunderte hinweg die Ursachenerklärung der Erdbeben ein Teilgebiet der Meteorologie war.

## STRATON VON LAMPSAKOS

folgte im Jahre 287 v. Chr. dem Schüler und Nachfolger des ARISTOTELES THEOPHRAST in der Leitung der peripatetischen Schule nach.

Entsprechend seiner Lehre von den die Weltbildung bestimmenden Grundkräften „Warmes“ und „Kaltes“, mit der er die Auffassungen von DEMOKRIT und ARISTOTELES vereinigen wollte, nahm er an, dass auch Erdbeben infolge des Kampfes dieser beiden Grundkräfte entstehen.



## L. ANNAEUS SENECA

(4–65 n. Chr.)

Geboren um den Beginn unserer Zeitrechnung in Corduba (Spanien) als Sohn eines Rhetors, kam er als Erzieher NEROS nach Rom, wo er im Jahre 65 n. Chr. auf dessen Befehl getötet wurde.

Unter dem Eindruck des verheerenden Bebens von Pompei im Jahre 62/63 n. Chr. lieferte er im 6. Kapitel seiner „Quaestiones naturales“ die umfassendste Darstellung des antiken Wissens über die Ursache und Wirkungsweise der Erdbeben.

## PLINIUS DER ÄLTERE

(23–79 n. Chr.)

Geboren in Novum Comum (Como), kam PLINIUS als junger Mann nach Rom und arbeitete sich dort zum Feldherrn und hohen Beamten hoch. Als Befehlshaber der Reiterei brachte er längere Zeit in Germanien zu. Im Jahre 67 ging er als Prokurator nach Spanien und war zuletzt Kommandant des römischen Flottenstützpunktes am Vorgebirge Muse­num. Von dort brach er mit seiner gesamten Flotte am 22. August 79 auf, um den vom Ausbruch des Vesuvs bedrohten Anwohnern von Stabiae von See aus zu Hilfe zu kommen. Er starb beim Abmarsch aus dem von Aschen- und Lavaregen eingedeckten und Schwefeldämpfen erfüllten Ort am 23. 8. 79 n. Chr.

In seiner 23 Bücher umfassenden „Historia naturalis“ liefert er auch eine der aristotelischen Auffassung angenäherte Theorie der Erdbeben als unterirdisches Gewitter.



## ALBERTUS MAGNUS

(1193–1280)

Geboren in Lauingen an der Donau, studierte ALBERTUS Medizin in Padua und wurde dann in den Dominikanerorden aufgenommen. Er lehrte an den Ordensschulen u.a. in Köln, Freiburg, Straßburg und ab 1245 an der Universität Paris und von 1248-1258 wieder in Köln.

Als Vertreter des christlichen Aristotelismus, in dem er auch die griechisch-römischen, arabischen und jüdischen Kommentatoren aufnahm, vertrat ALBERTUS MAGNUS auch in der Erdbeben­theorie im Wesentlichen die Ansicht des ARISTOTELES.

## THOMAS VON AQUIN

(1225–1274)

Geboren 1225 oder 1227 in Roccasecca als Sohn des Grafen von Aquino, trat Thomas 1243 in Neapel in den Dominikanerorden ein. Studierte bei ALBERTUS MAGNUS in Paris und folgte ihm 1248 nach Köln. Er lehrte von 1252 bis 1272 mit Zwischenaufenthalten als Leiter des Ordensstudiums in Rom an der Pariser Universität. Die letzten Jahre seines Lebens verbrachte er in Neapel. Er starb auf der Reise zum Konsul von Lyon am 7. März 1274.

Er war der größte Systematiker der Scholastischen Philosophie und konsequenteste Vertreter und Kommentator der Werke des ARISTOTELES, dessen Erdbeben­theorie er in christlicher Umdeutung übernahm.



## KONRAD VON MEGGENBERG

(1309–1378)

Geboren in Mainburg bei Schweinfurt, war er einer der bedeutendsten Wissenschaftler seiner Zeit. Er verfasste nach THOMAS VON CHANTIMPRÉS „Liber de naturis rerum“ die erste deutsche Naturgeschichte und übersetzte das Lehrbuch der Astronomie von Johannes VON SACROBOSCO ins Mittelhochdeutsche. Er starb im Jahre 1378 als Domherr und Ratsherr von Regensburg.

In der Erdbeben­theorie folgte er den Ideen des ARISTOTELES, die ihm durch ALBERTUS MAGNUS bekannt waren.

## LEONARDO DA VINCI

(1452–1519)

Geboren in der Villa Anahiana bei dem florentinischen Dorf Vinci, konnte LEONARDO, der nicht auf Gelderwerb angewiesen war, seit frühen Jugendjahren in Florenz seinen wissenschaftlichen und künstlerischen Neigungen nachgehen. Im Jahre 1482 ging er nach Mailand, wo er als Kriegsin­genieur, Architekt und Maler bis zum Sturz seines Dienstherrn, Lodovico SFORZA im Jahre 1499 tätig war. Nach 16 Jahren un­steten Wanderlebens trat er 1507 in den Dienst des französischen Königs und starb am 2. Mai 1519 auf dem Schloss Cloux bei Amboise.

Als einer der vielseitigsten Künstler und Gelehrten beschäftigte er sich auch mit theoretischen Überlegungen über die Ursachen der Erdbeben, die er als Einstürze von Höhlen ansah, aus denen die zusammengepresste Luft entweicht.



## AGRICOLA (GEORG BAUER)

(1494–1555)

Geboren am 24. März 1494 in Glachau. AGRICOLA war bereits in jungen Jahren von 1518–1522 Rektor der Schule in Zwickau. Studierte dann in Leipzig und Italien Medizin und ließ sich 1527 als Arzt in Joachimsthal nieder. 1531 nach Chemnitz übersiedelt, widmete er sich ganz der Bergbaukunde und wurde später Stadtphysikus und Bürgermeister von Chemnitz, wo er am 21. November 1555 starb.

Er gilt als erster systematischer Mineraloge Deutschlands. In der Erdbeben­theorie vertrat er die Auffassung von sich selbst entzündenden unterirdischen Feuern, die sich aus ihren Höhlen einen Ausweg suchen.

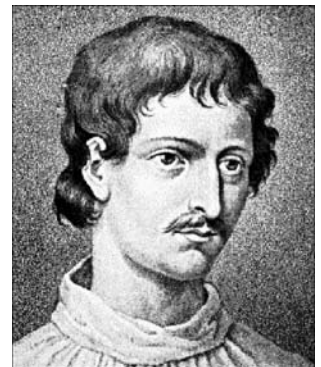


## GIORDANO BRUNO

(1548–1600)

Geboren in 1548 in Nola, kam Bruno mit 10 Jahren nach Neapel. Mit 15 Jahren trat er in das Kloster des heiligen Domenico ein und lebte dann in verschiedenen Klöstern, zuletzt im Kloster della Minerva in Rom. Nach einer Anklage des Provinzials seines Ordens wegen Ketzerei legte er sein Ordenskleid ab und entfernte sich 1576 aus Rom. Nach Aufenthalten in Venedig, Genf und Lyon wurde er Professor der Philosophie in Toulouse und später in Paris. 1584 ging er mit Urlaub nach England und hielt in Oxford Vorlesungen über seine Lehre von den unzähligen Sonnensystemen im unendlichen Weltall. Nach Paris zurückgekehrt bekämpfte er die aristotelische Naturlehre und musste deshalb die Stadt verlassen. Nach einem zweijährigen Aufenthalt im protestantischen Deutschland, wo er in Wittenberg und Helmstedt Vorlesungen hielt, und in Frankfurt, wo er seine Werke veröffentlichte, wurde er nach Venedig gelockt und am 23. Mai 1592 von der Inquisition verhaftet und nach 7-jähriger Gefangenschaft in Rom zum Scheiterhaufen verurteilt und auf dem Campofiori am 17. Februar 1600 verbrannt.

Für ihn waren alle Weltenkörper und so auch die Erde sowohl Maschinen als auch Organismen. Deswegen sah er die Erdbeben als Krankheiten dieses großen Organismus an.





## **GALILEO GALILEI**

(1564–1642)

Geboren am 15. Februar 1564 in Pisa, studierte er zuerst Medizin und dann Mathematik und wurde bereits 1589 zum Professor der Mathematik in Pisa ernannt. 1592–1610 lehrte er als Professor des Mathematik in Padua. Dann wurde er vom Großherzog von Toscana zum Mathematicus primarius der Universität Florenz ernannt. Sein Dialog über die beiden Weltsysteme, der seine Überzeugung von der Überlegenheit des Copernicanischen Weltsystems gegenüber dem ptolemäischen deutlich erkennen ließ, brachte ihm die Verfolgung der Inquisition und 1633 die Verbannung in sein Landhaus in der Nähe von Florenz ein. Er starb am 8. Jänner 1642, bis zum letzten Augenblick mit wissenschaftlichen Problemen beschäftigt.

Für die Erdbeben­theorie von Bedeutung war seine Vorstellung von einem dichten, schweren Erdkern, mit der er die bis ins 19. Jh. vorbereitete Hohlkugeltheorie des Erdinnern bekämpfte.



## **JOHANNES KEPLER**

(1571–1630)

Geboren am 27. Dezember 1571 in Weil in Württemberg, trat er nach dem vorbereitenden Unterricht in den Klosterschulen von Adelberg und Maulbronn im Jahre 1589 in das Tübinger Stift zum Studium der Theologie ein. Aber noch bevor er sein theologisches Studium abgeschlossen hatte, wurde er 1594 vom Senat seiner Hochschule in Tübingen für die Stelle eines Professors für Mathematik an der Stiftsschule in Graz vorgeschlagen, wo er bis zur Ausweisung aller Protestanten im Jahre 1600 verblieb. Nach seiner Entlassung in Graz wurde er über Vermittlung von TYCHO BRAHE als dessen Gehilfe von Kaiser RUDOLPH II angestellt und nahm nach dem kurz darauf erfolgten Tode TYCHO BRAHES dessen Stelle als Kaiserlicher Hofmathematiker ein. Nach dem Tode Kaiser RUDOLPHS 1611 ging KEPLER als Landschaftsmathematiker nach Linz a.D., wo er bis zum Jahre 1628 blieb. Die letzten beiden Jahre seines Lebens verbrachte er als Hofastronom des Feldherrn WALLENSTEIN.

In seiner Erklärung der Erdbeben geht er wie Giordano BRUNO von der Beseelungstheorie der Weltkörper aus. Erdbeben sind für KEPLER Reaktionen der Erdseele, die durch äußere Anlässe wie das Erscheinen eines Kometen aufgerüttelt wird.



## **RENE DESCARTES**

(1596–1650)

Geboren am 31. März 1596 in La Haye in der Touraine. Als Sohn eines begüterten Parlamentsrates von Rennes besuchte DESCARTES 1604–1612 die königliche Jesuitenschule zu La Flèche und studierte zunächst Rechtswissenschaft in Poitiers. Er verließ jedoch dann seine Heimat, um als Freiwilliger zunächst im Gefolge verschiedener Heere die Länder Europas zu durchstreifen. Dann unternahm er weitere Reisen nach Ungarn, Deutschland, Holland und Italien und kehrte 1625 nach Paris zurück, das er aber bereits 1628 wieder verließ, um in Holland an verschiedenen Orten meist verborgen in völliger Unabhängigkeit sich der Ausbildung seines Systems und der Niederschrift seiner Werke widmen zu können. 1649 folgte er einem Ruf der Königin CHRISTINE VON SCHWEDEN und übersiedelte nach Stockholm, wo er jedoch bereits am 11. Februar 1650 starb.

Nicht nur als Philosoph, sondern auch als Mathematiker bedeutend, stellte er ein Schalenmodell der Erde dar und nahm als Ursache der Erdbeben durch Funken entzündete Schwefeldämpfe an, deren Explosion die Wände der unterirdischen Höhlen oft tagelang erschütterten.



## **ATHANASIVS KIRCHER**

(1601–1680)

Geboren am 2. Mai 1601 zu Geisa bei Fulda, wurde KIRCHER 1618 Jesuit und 1628 zum Priester geweiht. 1629 wird er zum Professor für Mathematik in Würzburg ernannt. Nach einem Aufenthalt in Avignon wurde er als Professor für Mathematik und orientalische Sprachen vom Papst an das Collegium Romanum berufen, wo er Mathematik und Hebräisch lehrte. Später konnte er sich ohne Lehramt dem Studium der Hieroglyphen und anderen archäologischen Problemen widmen. Er starb am 27. November 1680 in Rom.

KIRCHER gilt als Erfinder der Laterna magica. Er schrieb aufgrund seiner umfangreichen Literaturstudien wissenschaftliche Werke. Seine Theorie vom Zentralfeuer und den damit verbundenen Feuerherden stellte er in dem reich illustrierten Werk „Mundus subterraneus“ dar.

## ROBERT BOYLE

(1627–1691)

Geboren am 25. Jänner 1627 in Lismore in Irland, erhielt BOYLE seine Erziehung in Genf. Durch den Tod seines Vaters in den Besitz eines beträchtlichen Vermögens gelangt, konnte er sich auf seinem Landgut und später in Oxford und London mit Physik und Chemie beschäftigen.

Er war Mitbegründer der Royal Society und Entdecker des nach ihm benannten Gesetzes über den Zusammenhang zwischen Druck und Volumen eines Gases. Für die Entwicklung der Erdbeben-theorien waren seine Experimente mit der Luftpumpe von Bedeutung, mit denen er die Luft als Träger des Schalles nachwies. Er starb am 30. Dezember 1691 in London.



## JOHN RAY

(1628–1704)

Geboren am 29. Nov. 1628 in Black-Notley in der Grafschaft Essex als Sohn eines Hufschmiedes, studierte er in Cambridge, wo er bereits im zwanzigsten Lebensjahr Professor für Griechisch und bald darauf auch für Mathematik wurde. Bekannt wurde er vor allem wegen seiner botanischen Schriften. 1662–66 unternahm er mehrere botanische Reisen nach Deutschland, Frankreich und Italien. Er starb am 17. Jänner 1704 in seinem Geburtsort.

In seinen physiko-theologischen Diskursen spricht RAY den Erdbeben eine wichtige Rolle bei der Entwicklung der Erde zu.



## ROBERT HOOKE

(1635–1703)

Geboren am 18. Juli 1635 in Freshwater, Isle of Wight, als Sohn eines Hilfsgeistlichen. Während seiner Studienzeit an der Universität Oxford assistierte er Robert BOYLE bei chemischen Experimenten und wurde 1663 auf dessen Empfehlung Kurator der Royal Society. 1665 erhielt er einen Lehrstuhl für Geometrie am Gresham College. Nach dem großen Brand von London wurde HOOKE Mitarbeiter von Sir Christopher WREN, der den Wiederaufbau der Stadt leitete. Seine Kritik an NEWTONS Farbenlehre führte zu einer Auseinandersetzung mit dem berühmten Physiker, dem 1687 ein Prioritätsstreit um die Gravitationstheorie folgte. HOOKE starb am 3. März 1703 in London und stand bis über seinen Tod hinaus im Schatten seines großen Gegners.

In seiner umfangreichen Abhandlung über Erdbeben, die posthum erschien, beschäftigte er sich hauptsächlich mit allgemeinen geologischen Fragen und behauptete eine Richtungsänderung der Erdachse, die durch große Erdbeben erfolgt sein sollte.

## THOMAS BURNET

(1635–1715)

Geboren 1635 in Croft in der Grafschaft York, studierte er in Cambridge und wurde später Hauskaplan und Kabinettssekretär des Königs WILHELM. Er verlor diese Stelle jedoch wieder, weil er sich mit seinen philosophisch-archäologischen Schriften unbeliebt gemacht hatte. Er starb am 27. September 1715.

Im Rahmen seiner Entwicklungsgeschichte der Erde nahm er großartige Einstürze der Oberfläche der Erde in das darunter liegende Tiefenwasser an.

## NICOLAUS STENO (NIELS STENSON)

(1638–1686)

Geboren am 1. Jänner 1638 in Kopenhagen, studierte er in Kopenhagen, Amsterdam und Leiden Medizin, wo er auch zum Doktor promoviert wurde. Nach kurzen Aufenthalten in Paris und Rom erhielt er in Florenz eine Stelle als Anatom. Von dort aus unternahm er umfassende geologische Studien, die ihn durch Italien über Österreich und Deutschland nach Holland führten. Nach Florenz zurückgekehrt, trat er vom lutherischen Glauben zur katholischen Kirche über und ließ sich zum Priester weihen. Er widmete sich dann bis zu seinem Lebensende am 25.1.1686 in mehreren kirchlichen Ämtern als Apostolischer Vikar von Hannover und Weihbischof von Münster ausschließlich der Verbreitung des katholischen Glaubens.

Mit seiner Schrift über die festen Körper, die von Natur aus in anderen festen Körpern eingeschlossen sind, gilt er als Begründer sowohl der Paläontologie als auch Geologie und vertrat in der Theorie der Erdbeben die Ansicht von deren Zustandekommen durch Hebung und Einsturz von Erdschichten.



## MARTIN LYSTER

(1638–1712)

Geboren in Radcliffe im Jahr 1638, studierte LYSTER in Cambridge Medizin. Er unternahm naturhistorische Reisen in England und Frankreich und ließ sich dann als praktischer Arzt in York nieder. 1684 übersiedelte er nach London und wurde Mitglied der Royal Society. 1709 wurde er Leibarzt der Königin ANNA und starb am 2. Februar 1722.

Als Ursache der Erdbeben sah er den Schwefel als entzündbaren Geist des Pyrits an.



## GOTTFRIED WILHELM LEIBNIZ

(1646–1716)

Geboren am 1. Juli 1646 in Leipzig als Sohn eines Notars, der später zum Professor der Moralphilosophie ernannt wurde, studierte LEIBNIZ in Leipzig und Jena Philosophie und Jurisprudenz und wurde schließlich in Altorf promoviert. Statt einer akademischen Lehrtätigkeit, zu der er damit berechtigt gewesen wäre, widmete er sich der politischen Beratung von Staatsmännern und der wissenschaftlichen Forschung. In Mainz wurde er 1670 zum Rat vom Kurfürstlichen Revisionsgericht ernannt und 1672 auf eine politische Mission nach Paris geschickt. Während seines Aufenthaltes in Paris starb der Kurfürst und LEIBNIZ sah sich genötigt, die Stelle eines Bibliothekars beim Herzog JOHANN FRIEDRICH VON HANNOVER anzunehmen, wo er 40 Jahre bis zu seinem Tode am 14. November 1716 verblieb.

Als Schöpfer der Differential- und Integralrechnung, auch wegen seines Prioritätsstreits mit NEWTON berühmt, beschäftigte er sich neben philosophischen Problemen auch mit der Entstehungsgeschichte der Erde aus einem glühenden Körper und sah in den Erdbeben die Folgen von lokalen Brandherden in den durch Erkalting der Erdkruste entstandenen Höhlen.



## EDMUND HALLEY

(1656–1742)

Geboren am 8. November in Haggerston bei London, besuchte HALLEY die St. Paul's School in London und begann 1673 am Queen's College in Oxford mit seinem Studium. Er begab sich 1676 ohne Abschluss für 18 Monate auf die Insel St. Helena, um dort die Fixsternpositionen der Südhalbkugel zu vermessen. Nach London zurückgekehrt wurde er zum Magister ernannt und in die Royal Society gewählt. Mit NEWTON, den er zur Abfassung und Veröffentlichung der Principia anregte, verband ihn eine lebenslange Freundschaft. Von 1698–1700 unternahm er im Auftrag der Britischen Admiralität zwei Forschungsreisen nach Afrika und Amerika bis an die südliche Eisberggrenze, um die magnetische Deklination an möglichst vielen Orten zu messen. Nach seiner Rückkehr wurde er 1703 zum Professor der Geometrie in Oxford ernannt und 1720 zum königlichen Astronomen. Er starb am 14. Jänner 1742 in Greenwich.

Er vertrat als erster die Hohlkugeltheorie des Erdinnern, mit der er die Vorstellung über die chemischen Ursachen der Erdbeben von Humphry DAVY beeinflusste.

## JOHN WOODWARD

(1665–1722)

Geboren am 1. Mai 1665 in der Grafschaft Derley, studierte er Medizin und wurde 1692 Professor für dieses Fach am Gresham College und Mitglied der Royal Society. Er unternahm zu geologischen Studien viele Reisen durch England. Er starb am 25. April 1722.

In seiner Entwicklungsgeschichte der Erde ging er von der neptunistischen Hypothese aus, dass die Erde eine ungeheuer große Wasserkugel war, mit einer festen Rinde, die immer wieder zerbrochen wurde und neu entstand.

## WILLIAM WHISTON

(1667–1752)

1701 zu NEWTONS Nachfolger als Professor für Mathematik in Cambridge ernannt, wurde er aber bereits im Jahre 1710 wegen eines theologischen Streites aus der Universität entlassen. Neben seinen theologischen Streitschriften, mit denen er sich die halbe Welt zu Feinden machte, gab er die Geometrie des EUKLID heraus und verfasste astronomische und physikalische Lehrbücher.

Berühmt wurde er durch seine neue Theorie der Erde 1696, in der er auch Prophezeiungen über das zukünftige katastrophenhafte Schicksal der Erde bei einer Annäherung eines Kometen machte.

**GIORGIO BAGLIVI****(1668–1707)**

Geboren am 8. September 1668 in Ragusa als Sohn armer Eltern und von dem reichen Arzt Pier Angelo BAGLIVI adoptiert, studierte er in Neapel Medizin und ließ sich 1692 in Rom nieder. 1696 erhielt er den Lehrstuhl für Anatomie an der päpstlichen Hochschule, den er 1701 mit dem der theoretischen Medizin vertauschte. Er starb in Rom am 17. Juni 1707.

Er gilt als Hauptvertreter der Iatromechanik, die den menschlichen Körper und seine Organe als Werkzeugkasten betrachtete. Das große Erdbeben vom Jahre 1703, das weite Teile Italiens und auch die Stadt Rom verwüstete, gab ihm Gelegenheit zur Abfassung einer Abhandlung, in der er im Wesentlichen der Erdbebenlehre des ARISTOTELES folgt, wobei er sich jedoch von Analogien zur Physiologie leiten ließ und die Erdbeben mit dem Pulsschlag verglich.

**JOHANN SCHEUCHZER****(1672–1733)**

Geboren 1672 in Zürich, wurde Scheuchzer dort zum Oberstadtkarnt und Professor für Mathematik an der Universität ernannt. Er starb in Zürich im Jahre 1733.

Hauptsächlich beschäftigte er sich mit der Naturgeschichte der Schweiz. Seine geologischen Vorstellungen waren von der biblischen Sündflutgeschichte geprägt.

**WILLIAM STUKELEY****(1687–1765)**

Hauptvertreter der Theorie von der Elektrizität als Ursache der Erdbeben in England.

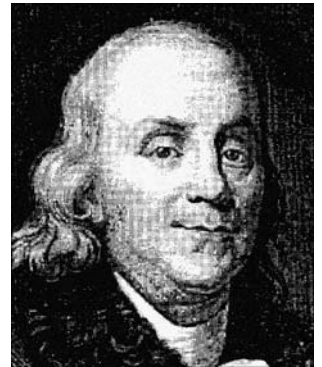
**B. DE MAILLET****(1656–1738)**

Als französischer Generalkonsul in Ägypten verfasste er unter dem Anagramm TELLIA-MED eine „ultraneptunistische“ Entwicklungstheorie der Erde.

**BENJAMIN FRANKLIN****(1706–1790)**

Geboren am 17. Jänner 1706 in Boston als 15. Kind eines Seifensieders, erlernte FRANKLIN zunächst das Buchdruckerhandwerk und gab später selbst eine Zeitung und einen sehr beliebten, über viele Jahre hinweg erscheinenden Kalender heraus. Er war der Gründer der „Philosophical Society“ und errichtete die erste amerikanische Leihbibliothek. Zwischen 1757 und 1776 vertrat er die Angelegenheiten der nordamerikanischen Kolonien in England und wurde selbst zum Vorkämpfer der Unabhängigkeitsbewegung. Auch an der Ausarbeitung der Verfassung war er maßgeblich beteiligt. Er starb am 17. April 1790 in Philadelphia.

Als Wissenschaftler war er vor allem durch seine Briefe über die Elektrizität bekannt und als Erfinder des Blitzableiters. Dementsprechend sah er auch in den Erdbeben nichts anderes als unterirdische Gewitter in den unterirdischen Hohlräumen.

**GEORG LOUIS LECLERC BUFFON****(1707–1788)**

Geboren am 7. September 1707 in Montbar in der Bourgogne als Sohn eines hohen Beamten, reiste BUFFON nach einer guten Erziehung mit dem jungen Herzog VON KINGSTON zu Dijon nach Italien und begleitete ihn nach London, wo er NEWTONS Abhandlung über die Theorie der Fluktionen ins Französische übersetzte. Wegen seines beträchtlichen Erbes finanziell völlig unabhängig widmete er sich ab seinem 25. Lebensjahr naturwissenschaftlichen Forschungen. Im Jahre 1739 wurde er vom König zum Intendanten des „Jardin du Roi“ und des „Musée du Roi“ ernannt, des späteren „Jardin des Plantes“ und des späteren Naturhistorischen Museums in Paris. Sein Plan einer alles umfassenden Naturgeschichte beschäftigte ihn 50 Jahre seines Lebens. Er starb am 16. April 1788 in Paris.

Für die Erdbebenforschung von Bedeutung ist seine Theorie der Erde, in der er wie später HUMBOLDT Erdbeben und Vulkantätigkeit in einem engen Zusammenhang sieht.



## FRIEDRICH JACOBI

(1712–1791)

Studierte in Helmstedt und Jena, wo er 1734 mit einer philosophischen Dissertation promovierte. Er war zunächst in Göttingen als Privatlehrer für Mathematik und Philosophie, später als Prediger in Osterode, Hannover und Celle tätig. Während er in Hannover an seiner „Sammlung einiger Erfahrungen und Mutmaßungen vom Erdbeben“ aus Anlass des Lissaboner Bebens schrieb, ereignete sich dort am 18. Februar 1756 ein Erdbeben, über dessen Verlauf er aus persönlicher Erfahrung einen genauen Bericht liefern konnte.

Seine Dampfdrucktheorie, mit der er das Lissaboner Erdbeben erklären wollte, konnte sich noch nicht auf die erst ab 1759 entwickelte Dampfmaschine von James WATT stützen, sondern nur auf den von Denis PAPIN (†1712) erfundenen Dampfdruckkochtopf und auf die nach den Plänen von NEWCOMEN (1663–1729) gebaute, den atmosphärischen Druck ausnutzende Dampfmaschine, die damals in den englischen Kohlengruben eingesetzt wurde.

## JOHANN GOTTLÖB KRÜGER

(1715–1759)

Stammt aus Halle und war ordentlicher Professor der Medizin und Philosophie an der Universität Helmstedt.

Im Auftrag des preußischen Königs erstellte er ein Gutachten über die lang andauernden Steinkohlenbrände in den Bergwerken und schrieb ein Buch über die Entwicklungsgeschichte der Erde. Im Anschluss an das große Lissaboner Beben vom Jahre 1755 verfasste er eine umfangreiche Abhandlung über die Ursachen des Erdbebens, in der er auch moralische Betrachtungen anstellte und diese Katastrophe als Strafgericht Gottes interpretierte.



## GIOVANNI BATTISTA BECCARIA

(1716-1781)

Geboren 1716 in Mondovi (Piemont), war BECCARIA zunächst als Ordensgeistlicher und Lehrer der Philosophie und Rhetorik in Palermo und Rom tätig. 1748 wurde er zum Professor der Physik an der Universität Turin ernannt. In den Jahren 1760–74 leitete er eine Meridianmessung in Piemont. Er starb 1781 in Turin.

BECCARIA sah wegen der unerklärbar hohen Ausbreitungsgeschwindigkeit der Erdbeben zu Land und im Wasser einen elektrischen Schlag als Ursache der Erdbeben an.

## TOBIAS MAYER

(1723–1762)

Geboren am 17. Februar 1723 in Marbach (Württemberg), verdiente er sich, aus dürftigen Verhältnissen stammend, zunächst seinen Lebensunterhalt mit Herstellung von Landkarten in Augsburg. Auf Grund seiner zahlreichen naturwissenschaftlich-mathematischen Schriften wurde er im Jahre 1751 o. Professor für Mathematik in Göttingen und leitete dort von 1754 bis zu seinem frühen Tod am 20. Februar 1762 die dortige Sternwarte.

Als einer der bedeutendsten Astronomen seiner Zeit gab er die erste, auf Messungen beruhende Mondkarte sowie neue Sonnen- und Mondtafeln heraus. In der Erdbeben-theorie vertrat er die Ansicht von einer plötzlichen Richtungsänderung der Schwerkraft als eigentliche Ursache des Einstürzens von Gebäuden bei Erdbeben.



## IMMANUEL KANT

(1724–1804)

Geboren am 22. April 1724 in Königsberg als Sohn eines Sattlermeisters, besuchte KANT das pietistische Friedrichsgymnasium und studierte seit 1740 an der Universität Königsberg Philosophie, Mathematik und Theologie. Nach Abschluss seiner Studien war er zunächst sieben Jahre als Hauslehrer tätig. 1755 erhielt er die *venia legendi* und eröffnete im Winter dieses Jahres seine erstaunliche Vorlesungstätigkeit, die sich auf Mathematik, Physik, physische Geographie, Mineralogie, Anthropologie, Logik, Metaphysik, Anthropologie und Naturrechtslehre erstreckte. Eine ihm im Jahre 1764 angetragene Professur für Dichtkunst lehnt er ab, nahm aber eine Stelle als Unterbibliothekar der Königlichen Schlossbibliothek an, die er bis zu seiner Ernennung zum ordentlichen Professor für Logik und Metaphysik im Jahre 1772 an der Universität Königsberg bekleidete. Zuvor lehnte er Berufungen nach Erlangen und Jena ab, wie er auch spätere ehrenvolle Berufungen wie z.B. nach Halle nicht annahm. Er verließ nie die nähere Umgebung seiner Geburtsstadt, in der er auch am 12. Februar 1804 starb.

Für die Erdbebenforschung von Bedeutung sind seine drei Abhandlungen aus dem Jahre 1756, die er aus Anlass des Lissaboner Erdbebens verfasste.



## **JOHN MICHELL**

(1724/25–1793)

Das genaue Datum und der Ort von MICHELLS Geburt sind unbekannt. Nach DAVISON (1927) muss das Geburtsjahr entweder 1724 oder 1725 sein und der Geburtsort wahrscheinlich Nottingham. 1742 trat er in das Queen's College in Cambridge ein und wurde nach Abschluss seines Mathematikstudiums dort zum Fellow gewählt. Er hielt Vorlesungen nicht nur in Mathematik, sondern auch in Hebräisch und Griechisch und wurde auch zum Woodward-Professor für Geologie ernannt. Er starb am 21. April 1793 in Thornhill, einem Dorf in Yorkshire.

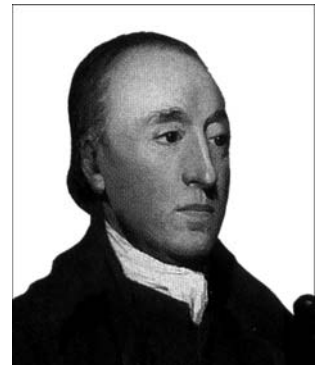
Neben seiner Abhandlung über die Phänomene und Ursachen der Erdbeben und seine Darstellung der Schichtenstruktur der Erdkruste (1760) sind auch seine astronomischen Untersuchungen über die Fixsternparallele (1767) von Bedeutung. Bekannt ist er auch als Erfinder der Drehwaage und der experimentellen Methode, die Dichte der Erde zu bestimmen, die er jedoch selbst nicht mehr durchführen konnte. Nach seinem Tode wurde diese Untersuchung von Henry CAVENDISH (1731–1810) erfolgreich mit dem von MICHELL entworfenen Instrument fortgesetzt.

## **JAMES HUTTON**

(1726–1797)

Geboren 1726 in Edinburgh studierte er zunächst dort und in Leiden Medizin. Nach 1749 lebte er auf seinem Landgut in Berkshire und starb 1797 in Edinburgh.

Erst kurz vor seinem Tode veröffentlichte er seine berühmte „Theory of Earth“ (1795), in der er im Gegensatz zum Neptunismus WERNERS die Ansicht vertrat, dass alle kristallinen Gesteine früher in geschmolzenem Zustand aus dem heißen Erdinnern hervorgegangen sind. Mit seinem Schüler PLAYFAIR lieferte er damit die Grundlage für jede Form des Vulkanismus und Plutonismus in den Erdbeben-theorien.



## **Sir WILLIAM HAMILTON**

(1730–1803)

wurde 1764 zum außerordentlichen Gesandten Englands am Hof zu Neapel ernannt. In dieser Zeit beschäftigte er sich vor allem mit den vulkanischen Erscheinungen im Distrikt von Neapel, die er in dem großen Werk über die „Campi Phlegrei“ (1776) beschrieb, und verfasste eine wertvolle Studie über den Ausbruch des Vesuvs in den Jahren 1776 und 1777. Im Februar 1783 besichtigte er noch während des Erdbebens Kalabriens und verfasste darüber einen Bericht in den „Philosophical Transactions“, mit dem er sich als guter Beobachter auswies, der die anderen Berichte über das kalabrische Erdbeben ergänzte und weitgehend bestätigte. Im Jahre 1800 kehrte er nach England zurück. Die letzten Jahre seines Lebens waren durch die Affaire seiner Frau mit Lord NELSON überschattet.

## **MICHELE SARCONI**

(1731–1797)

Als ständiger Sekretär der Neapolitanischen Akademie der Wissenschaften leitete SARCONI die Kommission zur Untersuchung des großen Erdbebens von Kalabrien im Jahre 1783. In medizinischen Kreisen war er vor allem bekannt durch seine Geschichte des Pestjahres 1764. Nach der Herausgabe des Berichtes der Akademie wendete er sich wieder seinen medizinischen Studien zu und starb 1797 in Ausübung seines ärztlichen Berufes, als er sich bei dem Versuch, einem vom Fieber befallenen Freund das Leben zu retten, selbst ansteckte.

## **PETER SIMON PALLAS**

(1741–1811)

Geboren am 22. September 1741 als Sohn eines Professors am Collegium medico-chirurgicum und ersten Chirurgen an der Charité in Berlin, legte er bereits mit 17 Jahren die anatomischen Prüfungen in Berlin ab und studiert dann Mathematik und Physik in Halle und Göttingen. 1760 verteidigte er an der Universität Leiden in Holland seine Dissertation über die Eingeweidewürmer. 1767 wurde er von KATHARINA II. an die Petersburger Akademie der Wissenschaften als Professor für Naturgeschichte ernannt und unternahm in deren Auftrag ausgedehnte Forschungsreisen durch das russische Reich. Nach einem fünfjährigen Aufenthalt auf der Krim kehrte er 1810 nach Berlin zurück, wo er bereits am 8. September 1811 starb.

In seiner Theorie der Erdbeben kombiniert er Vulkanismus und Neptunismus, indem er sowohl vulkanische Erhebungen als auch Einbrüche der Erdkruste mit anschließenden Großfluten annimmt.



## FRANCESCO ANTONIO GRIMALDI

(1749–1784)

GRIMALDI wurde 1783 zum Kriegsminister des Königreiches Neapel ernannt. Auf Wunsch seines Königs berichtete er von den durch das Erdbeben von Kalabrien zerstörten Dörfern und Städten. Er selbst hatte bei diesem Erdbeben sechs Mitglieder seiner Familie verloren und starb im folgenden Jahr 1784, noch bevor sein Bericht über dieses Erdbeben erschien. Zu seinen Lebzeiten war er bekannt als Autor einer Lebensbeschreibung des DIOGENES und seiner Reflexionen über die Ungleichheit der Menschen. Neben seinem detaillierten Bericht über die Zerstörungen des Erdbebens vom Jahre 1783 lieferte er auch eine Liste aller großen kalabrischen Erdbeben vom Jahre 1181 bis 1756.

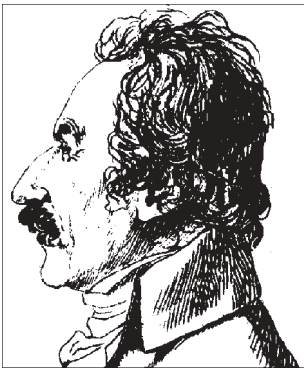


## ABRAHAM GOTTLÖB WERNER

(1749–1817)

Geboren am 25. September 1749 in Wehrau in der Oberlausitz als Sohn des Inspektors der Eisenhütten, studierte WERNER seit 1769 an der zwei Jahre zuvor errichteten Bergakademie in Freiberg und seit 1771 an der Universität Leipzig. Bereits im Jahre 1775 wurde er Inspektor und Lehrer der Mineralogie in Freiberg, wo er auch bis zu seinem Lebensende blieb. Er starb am 30. Juni 1817 in Dresden.

WERNER gilt als Begründer des Neptunismus. Seine berühmtesten Schüler waren LEOPOLD VON BUCH und ALEXANDER VON HUMBOLDT, die zunächst auch von dieser Ansicht beeinflusst waren und erst durch eigene empirische Untersuchungen sich davon lösen konnten.



## DÉODAT DE DOLOMIEU

(1750–1801)

Im Alter von 18 Jahren tötete DOLOMIEU einen Offiziersanwärter im Duell und wurde deswegen zum Tode verurteilt, jedoch begnadigt und nach neun Monaten wieder freigelassen. Im Gefängnis beschäftigte er sich intensiv mit physikalischen Studien und begab sich nach seiner Entlassung auf ausgedehnte wissenschaftliche Reisen im Mittelmeerraum. Im Jahre 1784 unternahm er von der Westküste Unteritaliens aus mehrere Ausflüge in das zerstörte Landinnere von Kalabrien, die er in einem vielbeachteten, sowohl ins Italienische (Rom 1784) und Englische (1809) wie auch ins Deutsche (Leipzig 1789) übersetzten Bericht niederschrieb. 1791 beschrieb er das nach ihm benannte Mineral Dolomit. 1798 beteiligte er sich an der Expedition Napoleons nach Ägypten. Auf der Heimreise geriet er jedoch in Gefangenschaft und verbrachte zwei Jahre in einem Kerker in Neapel. Nach seiner Freilassung im März 1801 wurde er zum Professor für Mineralogie am Naturhistorischen Museum ernannt, starb aber bereits sechs Monate nach seiner Rückkehr an den Folgen seiner Gefangenschaft.

## GIOVANNI VIVENZIO

(Hofarzt von Neapel)

Befürwortete im Anschluss an BERTHOLON in seinem umfangreichen, mit vielen Kommentaren versehenem Werk (1783) die Theorie von der Elektrizität als Ursache der Erdbeben. Er sah im Erdbeben von Kalabrien nicht so sehr ein erdgeschichtliches naturwissenschaftlich zu betrachtendes Ereignis, sondern vielmehr einen beklagenswerten Unglücksfall in der Geschichte des Königreichs von Neapel.

Wegen seines Eintretens für die Theorie der Elektrizität als primäre Ursache der Erdbeben wurde er von DOLOMIEU kritisiert.



## ALEXANDER VON HUMBOLDT

(1769–1859)

Geboren am 14. September 1769 in Berlin, studierte HUMBOLDT zuerst an den Universitäten Göttingen und Frankfurt an der Oder. 1790 unternahm er mit Georg FORSTER eine Reise nach Holland und England, studierte dann ein Jahr an der Bergakademie in Freiberg und wurde 1792 Assessor im Bergwerksamt und bald darauf Oberbergmeister in Bayreuth. 1795 gab er diese Stelle bereits wieder auf, um in die Schweiz und nach Italien zu reisen. 1797 ging er über Wien nach Paris und 1799 nach Madrid, um die Erlaubnis zu bekommen, die spanischen Kolonien zu bereisen. Noch im selben Jahr schiffte er sich mit seinem Begleiter BONPLAND ein und erreichte im Juli 1799 Cumana, eines der erdbebenreichsten Gebiete der neuen Welt. Von dort unternahm er eine Fahrt auf dem Orinoco. Der zweite Teil seiner Reise führte ihn nach Kuba und von dort über Kolumbien und Ecuador nach Peru und der dritte Teil war der Erforschung Mexikos gewidmet. Auf der Heimreise über die Vereinigten Staaten war er Gast des Präsidenten JEFFERSON. 1804 nach Europa zurückgekehrt bestieg er im August 1805 mit seinen Freunden GAY-LUSSAC und Leopold von BUCH den gerade im Ausbruch begriffenen Vesuv. Nach einem kurzen Aufenthalt in Berlin ließ er sich in Paris zur Ausarbeitung der Ergebnisse seiner Forschungsreise nieder und blieb dort mit kurzen Unterbrechungen bis zum Jahr 1827. Nach Berlin zurückgekehrt,

hielt er seine berühmten Vorlesungen über die physische Weltbeschreibung, aus der dann sein „Kosmos“ hervorging. Im Alter von 60 Jahren brach er auf Wunsch des Zaren von Rußland zu einer Reise nach Asien auf, die ihn bis an das Kaspische Meer führte. Von 1830 an bis zu seinem Tode lebte er mit geringen Unterbrechungen in Berlin, wo er auch am 6. Mai 1859 starb.

Mit der Theorie der Ursachen der Erdbeben und ihrer Ausbreitungsweise beschäftigte sich HUMBOLDT seit seiner Südamerikareise, wo er nicht nur selbst mehrere Erdbeben erlebte, sondern auch Berichte über die schweren Beben sammeln konnte. Als Hauptvertreter des Vulkanismus modifizierte er später nach Kenntnis der Schriften von MALLET und HOPKINS seine Theorie, indem er die Ursachen der Erdbeben oder den ersten Impuls streng von der Wellenausbreitung der Erdbeben unterschied, wobei er jedoch an der Grundidee des allgemeinen Vulkanismus festhielt.



### THOMAS YOUNG

(1773–1829)

Geboren am 13. Juni 1773 in Milverton (Somersetshire), studierte YOUNG zunächst Medizin in London und Edinburgh und promovierte 1796 in Göttingen. Er ließ sich als Arzt in London nieder und übernahm auch eine Professur für Physik an der Royal Institution, die er jedoch 1804 wieder aufgab. Nebenbei beschäftigte er sich mit orientalischen Sprachen und beteiligte sich an der Entzifferung der ägyptischen Hieroglyphen. Er starb am 10. Mai 1829 in London.

In der Optik vertrat er die Wellentheorie des Lichtes und gab in einem Brief an ARAGO 1817 den Anstoß, einen Lichtstrahl als transversale Wellen zu behandeln. Mit der von ihm erfundenen Wellenwanne veranschaulichte er an Wasserwellen die Interferenz von Wellenzügen und er war auch der erste, der die Idee hatte, dass die Erdbebenbewegungen als Schwingungen analog den Schallwellen zu betrachten sind. Außerdem lieferte er auch 1807 eine Liste der Erdbebenliteratur.



### LEOPOLD VON BUCH

(1774–1853)

Geboren am 26. April 1774 auf dem Schloss Stolpe bei Angermünde als Nachkomme eines alten preußischen Adelsgeschlechtes, studierte VON BUCH zusammen mit Alexander VON HUMBOLDT, mit dem ihn eine lebenslange Freundschaft verband, an der Bergakademie in Freiberg. Nach kurzem Staatsdienst in der Preußischen Bergverwaltung begab er sich auf geologische Forschungsreisen, die ihn durch ganz Europa bis in den hohen Norden nach Lappland, nach Schottland und zu den Kanarischen Inseln führten. Zusammen mit HUMBOLDT studierte er den Vesuv in einer Periode seiner Aktivität. Er starb am 4. März 1853 in Berlin.

In der Erdbebenforschung wurde er durch seine Theorie der Erhebungskrater bekannt, die von HUMBOLDT sehr geschätzt und verteidigt worden ist.



### HUMPHRY DAVY

(1778–1829)

Geboren am 17. Dezember 1778 in Penzance in Cornwall als Sohn eines Holzschnitzers, kam er mit 16 Jahren in die Lehre eines Chirurgen und Apothekers und dann in die Pneumatic Institution in Clifton bei Bristol, wo er die Wirkung verschiedener Gase auf den menschlichen Organismus untersuchte und in einem Selbstversuch die berauschende Wirkung des „Lachgases“ entdeckte. 1801 wurde er von Sir THOMSON in die neugegründete Royal Institution nach London berufen, ein Jahr später wurde er zum Professor und Mitglied der Royal Society ernannt, deren Präsident er von 1820 bis 1827 war. Er starb am 29. Mai 1829 auf dem Rückweg von einer Europareise in Genf.

In seiner Theorie von den Ursachen des Vulkanismus und der Erdbeben erneuerte DAVY die Vorstellung vom kalten Erdinnern, in dem durch chemische Vorgänge lokale Entzündungen und Feuerherde entstehen.



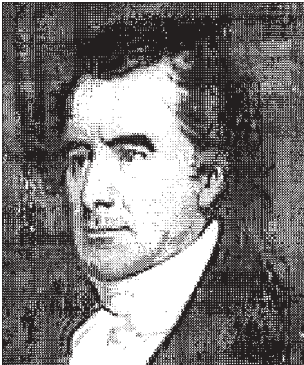


### **JOSEPH-LOUIS GAY-LUSSAC**

(1778–1850)

Geboren am 6. Dezember 1778 in Saint Leonard-de-Noblat als Sohn eines Richters, besuchte GAY-LUSSAC die Ecole Polytechnique in Paris und später die Ecole des Points et Chaussées. Er unternahm zusammen mit A. VON HUMBOLDT 1805 eine Italienreise, auf der er sich mit geologischen und physikalischen Untersuchungen beschäftigte. 1809 kehrte GAY-LUSSAC an die Ecole Polytechnique als Professor für Chemie zurück und übernahm daneben auch eine Professur für Physik an der Sorbonne. 1832 wurde er Professor für Chemie am Jardin des Plantes. Er starb am 9. Mai 1850 in Paris.

In der Theorie der Erdbeben war er einer der ersten, der erkannte, dass sich die Erdbeben wie eine Schallwelle durch den festen Erdkörper hindurch fortpflanzen.



### **DOMINIQUE-FRANÇOIS JEAN ARAGO**

(1786–1853)

Geboren am 26. Februar 1786 in Estagel bei Perpignan, besuchte ARAGO die Polytechnische Schule. 1805 erhielt er die Stelle eines Sekretärs beim Bureau des longitudes und setzte in dieser Eigenschaft die von DELAMBRE und MÉCHAIN begonnene Meridianmessung von Barcelona bis zur Insel Formentera fort. Mit 23 Jahren wurde er Mitglied der Pariser Akademie der Wissenschaften und von NAPOLEON I. zum Professor an der Polytechnischen Schule und 1830 zum Direktor der Pariser Sternwarte ernannt. Er starb in Paris am 2. Dezember 1853.

In der Erdbebenlehre erneuerte er die alten Vorstellungen von der Verursachung der Erdbeben durch die Anziehungskraft von Sonne und Mond auf Grund seiner eigenen Aufzeichnungen der Erdbeben seit dem Jahre 1817, die dann von PERREY fortgesetzt wurden.

### **JOHANN JAKOB NÖGGERATH**

(1788–1877)

Professor für Mineralogie und Bergbau an der Universität Bonn. Die meisten seiner Schriften sind geologischen Inhalts. Aber in den Jahren 1828 bis 1870 schrieb er 13 Abhandlungen über Erdbeben. Die wichtigste seismologische Schrift handelt über das Rheinische Erdbeben vom Jahre 1846.

Er vertrat einen gemäßigten Vulkanismus im Sinne Alexander VON HUMBOLDTS und beschrieb auf diese Weise auch das Schweizer Erdbeben im Visp-Tal vom 25. Juli 1855. Im Alter von 82 Jahren verfasste er sein letztes seismologisches Werk über das Rheinische Erdbeben 1868/1869.

### **KARL GUSTAV CHRISTOPH BISCHOF**

(1792–1870)

Geboren 1792 in Wöhrd bei Nürnberg wurde BISCHOF 1819 zum Professor der Chemie in Erlangen ernannt und 1822 in Bonn, wo er auch im Jahre 1870 starb. Er war Mitherausgeber des Handbuches für Chemie und Physik von E.F. AUGUST.

Sein Hauptverdienst liegt in der Einführung chemischer Methoden in die Geologie. Er beschäftigte sich mit dem Wärmezustand des Erdinneren und erkannte die Wichtigkeit der Wirkung des Wassers im Innern der Erdkruste. Als Anhänger des Neptunismus vertrat er die Einsturztheorie der Erdbeben.

### **WILLIAM HOPKINS**

(1793–1866)

Als Sohn eines Farmers geboren, verkaufte er sein Eigentum und trat in das Peterhouse in Cambridge ein. Nach Abschluss seines Studiums ließ er sich in Cambridge als privater Tutor nieder und betreute mit großem Erfolg später so berühmt gewordene Physiker wie KELVIN, MAXWELL und TOTHUNTER. Beeinflusst durch SEDGWICK studierte er Geologie und beschäftigte sich seit dem Jahre 1836 bis zum Ende seines Lebens mit der Anwendung der Mathematik auf die geologische Theorie der Erhebungen und Erdbeben.

Er lieferte unabhängig von MALLETT eine mathematische Darstellung der Wellenbewegung in flüssigen und soliden Körpern und eine Methode zur Bestimmung der Lage und Tiefe des Erdbebenherdes. Später wandte er sich der mathematischen Behandlung der Bewegung der Gletscher zu.

### **PETER MERIAN**

(1795–1883)

Professor für Physik und Chemie an der Universität Basel. Er entdeckte die größere Häufigkeit der Erdbeben in den Wintermonaten.

## **CHARLES LYELL**

(1797–1875)

Geboren am 14. November 1797 in Kinnordy in der schottischen Grafschaft Forfar, studierte LYELL in Oxford Rechtswissenschaft, wendete sich aber 1820 nach dem Eintritt in die Geologische Gesellschaft zu London ausschließlich den Naturwissenschaften zu. Zahlreiche Reisen durch ganz Europa und Nordamerika dienten seinen geologischen Forschungen. 1832 begann er seine geologischen Vorlesungen am King's College. Er starb am 22. Februar 1875 in London.

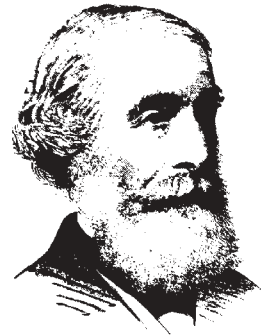
Mit seinem Hauptwerk „Principles of Geology“, das zu seinen Lebzeiten 12 Auflagen erreichte, in das er immer wieder alle neuen Fortschritte der Geologie aufnahm, beeinflusste er vor allem CHARLES DARWIN, dessen Evolutionstheorie er auch später übernahm. In der Frage nach den Ursachen der Erdbeben vertrat er eine Dampfkesseltheorie, lieferte einen kritischen Überblick über die gesamte Erdbebenliteratur der damaligen Zeit und stellte auch eine Auflistung der wichtigsten Erdbeben vor und nach dem 18. Jahrhundert dar, worin er bereits sehr ausführlich Quellenkritik betrieb.



## **GEORGE POULLET SCROPE**

(1792–1876)

Geboren am 10. März 1797 in London, studierte er Geologie und untersuchte die italienischen und zentralfranzösischen Vulkane und begründete damit die moderne Vulkanlehre, die im Gegensatz zur Theorie der Erhebungskrater die Vulkanberge als Aufschüttungskegel annimmt. Er starb am 19. Jänner 1876 in Fairlawn (Surrey).



## **KARL KREIL**

(1798–1862)

Geboren am 4. November 1798 in Ried, Oberösterreich, studierte KREIL in Wien Astronomie. Von 1826 bis 1830 war er Assistent an der Wiener Sternwarte, später war er an der Sternwarte in Mailand angestellt und wurde 1845 zum Direktor an der Sternwarte in Prag ernannt. Im Juli 1851 wurde er als Direktor der von ihm errichteten Centralanstalt für Meteorologie und Magnetismus nach Wien berufen. In dieser Stellung starb er am 21. Dezember 1862.

Er entwarf als erster die Konstruktion eines Erdbebenmessers, der den zeitlichen Ablauf der Erdstöße auf einem fortlaufenden Streifen in Form eines Seismogramms aufzeichnen sollte.



## **JEAN-BAPTISTE ARMAND LOUIS-LÉONCE ELIE DE BEAUMONT** (1798–1874)

Geboren am 25. September 1798 in Canon im Département Calvados, besuchte ELIE DE BEAUMONT die Polytechnische Schule und die École de Mines. Seit 1821 unternahm er im Auftrag der Regierung metallurgische Reisen, besonders nach England und seit 1825 zusammen mit DUFRENOY geologische Untersuchungen in Frankreich. 1829 wurde er zum Professor der Geologie an der École des Mines ernannt und 1832 am College de France in Paris. 1835 wurde er Mitglied der Akademie der Wissenschaften und seit 1853 deren ständiger Sekretär. Er starb am 22. September 1874 auf seinem Schloss Canon bei Caen.

Er war der Hauptvertreter der Theorie der Erhebungen der Gebirgszüge und stand mit HUMBOLDT in einem wissenschaftlichen Briefverkehr.

## **GEORGE BIDELL AIRY**

(1801–1892)

Geboren am 27. Juli 1801 in Alwick in Northumberland, studierte AIRY Mathematik und Physik am Trinity College in Cambridge. 1828 wurde er Professor für Astronomie und Direktor der Sternwarte in Cambridge und 1836 in Greenwich. 1872–73 war er Präsident der Royal Society. Er starb am 2. Jänner 1892 in Greenwich.

Neben seiner Tätigkeit als Astronom beschäftigte er sich mit der Bestimmung der mittleren Dichte der Erde mit Hilfe von Pendelversuchen und nahm die Gradmessung Valencia – Greenwich vor. Er gilt als der Entdecker des Prinzips der Isostasie oder des Tauchgleichgewichtes, demzufolge verdickte Erdrindenstücke in die Tiefe wie schwimmende Baumstämme oder Eisschollen in Wasser eintauchen.

### **JEAN BAPTISTE BOUSSINGAULT**

(1802–1887)

Geboren am 2. Februar 1802 in Paris, besucht BOUSSINGAULT die Bergbauschule zu St. Etienne und ging im Auftrag einer englischen Bergbaugesellschaft nach Columbien in Südamerika. Während des südamerikanischen Befreiungskrieges begleitete er Simon BOLIVAR als Oberst auf dessen Feldzügen. Er bereist Venezuela bis zum Orinoco, Ecuador und Peru und bestieg den Chimborazo. Nach seiner Rückkehr nach Frankreich übernahm er 1839 eine Professur für Chemie in Lyon. 1876 wurde er Direktor der chemischen Laboratorien des Institut Agronomique. Er starb am 12. Mai in Paris.

In seiner Erdbeben­theorie vertrat er die Ansicht von der gewaltsamen Hebung der gehärteten Erdkruste mit anschließendem Einstürzen der dadurch entstandenen Höhlen.

### **DAVID MILNE**

(1805–1890)

Als Sohn des Admirals Sir David MILNE studierte er neben seinem Studium der Rechte in Edinburgh Geologie bei Robert JAMESON. 1845 gab er seinen Beruf als Advokat, den er seit 1826 ausgeübt hatte, auf und widmete sich seitdem der Verwaltung seiner Güter und geologischen Studien.

Sein Interesse für Erdbeben wurde durch den großen Erdstoß in Comrie im Jahre 1839 geweckt, für das die British Association for the Advancement of Science ein eigenes Komitee zur Untersuchung der Erdbeben in diesem Land einrichtete. Als Sekretär dieses Komitees verfasste er vier Berichte über den Zeitraum von 1839–1844, welche als die bis dahin detaillierteste Darstellung irgend eines Britischen Erdbebens gelten.

### **FRANZ MARENZI**

(1805–1886)

Geboren am 12. Juni 1805 in Triest als Nachkomme eines alten lombardischen Adelsgeschlechtes, erlangte Graf MARENZI den militärischen Rang eines österreichischen Feldmarschall-Leutnants. Er starb am 4. Jänner 1886.

In der Erdbeben­theorie vertrat er die Einsturzhypothese.

### **ALEXIS PERREY**

(1807–1882)

Geboren am 6. Juli 1807 als Sohn eines Forstarbeiters in dem kleinen Dorf Sexfontaines im Departement Haute-Marne, begann PERREY im Jahre 1823 mit dem Studium der Theologie in der Absicht, die höheren Weihen zu erlangen. Nach der Revolution von 1830 begann er nach Ablegung der entsprechenden Studien eine neue Karriere zunächst als Lektor für Mathematik in verschiedenen Städten in Frankreich. Im Jahre 1837 wurde er als Professor für reine Mathematik nach Dijon berufen, wo für ihn später im Jahre 1844 ein eigener neuer Lehrstuhl für angewandte Mathematik errichtet wurde.

Sein Interesse für Erdbeben wurde im Jahre 1841 durch einen Briefwechsel mit ARAGO geweckt. Nach 30 Jahren Aufenthalt verließ er Dijon und gab seine Stelle als Professor auf, um sich in Lorient in der Bretagne ausschließlich der Arbeit an seinem Erdbebenkatalog und der Untersuchung der Gesetzmäßigkeit der jährlichen Häufigkeit der Erdbeben im Bezug auf die Mondperioden zu widmen. Ein Jahr vor seinem Tode übersiedelte er nach Paris, wo er am 29. Dezember 1882 nach kurzer Krankheit starb.

### **LUIGI PALMIERI**

(1807–1896)

Geboren am 22. April 1807 in Faicchio in der italienischen Provinz Benevent, war PALMIERI seit 1828 Professor der Mathematik und Physik an den Lyceen in Salerno, Campobasso und Avelino; er wurde 1845 Professor für Physik an der königlichen Marineschule in Neapel und seit 1847 an der Universität von Neapel. Seit 1848 arbeitete er am meteorologischen Observatorium auf dem Vesuv, dessen Leitung er als Direktor offiziell 1854 nach dem Tode des ersten Direktors Macedonio MELLONI, der in politische Angelegenheiten verwickelt und in Neapel an Cholera gestorben war. Den Vesuv beobachtete PALMIERI mehrere Male, vor allem bei den Eruptionen von 1. Mai 1855 und 26. April 1872. Er starb am 9. September 1896 in Neapel.

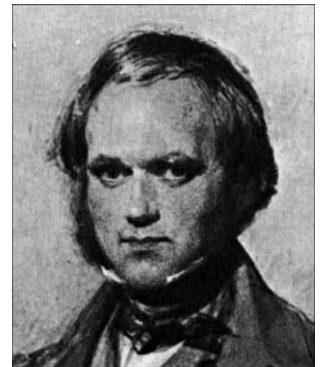
Für die Seismologie von Bedeutung ist vor allem seine Erfindung eines elektromagnetischen Seismographen vom Jahre 1855.

## **CHARLES DARWIN**

(1809–1882)

Geboren am 12. Februar 1809 in Shrewsbury als Sohn eines Arztes, studierte er zunächst in Edinburgh Medizin und in den Jahren 1828–1831 Theologie. In den Jahren 1831–1836 nahm DARWIN an der Weltumsegelung auf der „Beagle“ teil, die um das Kap Hoorn an der Küste Südamerikas entlang zu den Galapagos-Inseln und von dort über Australien und Südafrika nach England zurück führte. Nach seiner Rückkehr zog sich DARWIN auf sein Gut in Down in der Grafschaft Kent zurück, wo er am 19.4.1882 starb.

Als Biologe berühmt durch die Neubegründung der Evolutionstheorie, beschäftigte sich DARWIN zunächst nur mit Geologie und verfasste unter dem Eindruck des großen Erdbebens in Chile am 20. Februar 1835 eine plutonistische Erdbebenstheorie, die er in einer weitgehend in Vergessenheit geratenen Schrift über den Zusammenhang vulkanischer Erscheinungen mit den Hebungen an der Küste von Südamerika darstellte.



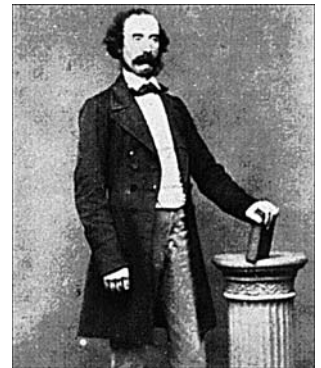
## **ROBERT MALLET**

(1810–1881)

Geboren in Dublin am 3. Juni 1810 als Sohn des Fabrikbesitzers JOHN MALLET, trat Robert MALLET im Alter von 16 Jahren in das Trinity College in Dublin ein und erhielt nach vier Jahren den Grad eines B.A. Nach diesem Studium wurde er 1831 als Partner in die Fabrik seines Vaters aufgenommen, die in Irland alle Arten von Ingenieursarbeiten durchführte, von der Errichtung des 133 Tonnen schweren Daches der St.-Georgs-Kirche in Dublin und dem Bau von Brücken und Eisenbahnstationen bis zur Konstruktion leichter Geschütze und schwerer Mörser.

Während dieser Zeit seiner Ingenieurstätigkeit verfasste er seine grundlegende Arbeit über die Dynamik der Erdbeben (1846), führte Sprengexperimente zur Bestimmung der Fortpflanzungsgeschwindigkeit im Sand und soliden Felsen durch (1851, 1862) und schrieb seine umfangreichen Berichte über die Fakten und Phänomene der Erdbeben an die British Association (1850–1858). Bis zum Jahre 1852 hatte MALLET während seines langen Aufenthaltes in Irland, einem typisch aseismischen Gebiet, keine persönliche Bekanntschaft mit Erdbeben gemacht. Nur das britische Erdbeben vom 2. November dieses Jahres war auch in Irland zu verspüren. Direkte Erfahrungen über die zerstörende Kraft von Erdbeben konnte MALLET erst nach dem großen Erdbeben von Neapel vom 16. Dezember 1857 sammeln, als er dieses Gebiet mit finanzieller Unterstützung der Royal Society in den Monaten Februar und März des darauf folgenden Jahres untersuchte. Nach seiner Rückkehr übersiedelte er im Jahre 1861 nach London und war dort neben seiner wissenschaftlichen Arbeit als beratender Ingenieur (consulting engineer) und Herausgeber des „Practical Mechanic's Journal“ tätig.

Während der letzten sieben Jahre seines Lebens war er fast völlig erblindet. Er starb am 5. November 1881.



## **GEORG HEINRICH OTTO VOLGER**

(1822–1897)

Geboren am 30. Jänner 1822 in Lüneburg, studierte VOLGER in Göttingen Naturwissenschaft und habilitierte sich dort 1847. Dann ging er als Lehrer der Naturgeschichte 1849 an das Kloster Muri im Aargau und 1851 als Professor an die Kantonschule nach Zürich, wo er bereits 1852 sein Lehramt niederlegte. Seit 1856 lebte VOLGER in Frankfurt, wo er bis 1860 als Lehrer für Mineralogie und Geologie am Senkenbergischen Museum tätig war. Er starb in Sulzbach am Taunus am 18. Oktober 1897.

In der Erdbebenstheorie vertrat er die neptunistische Hypothese vom Einbruch der Hohl-schichten und entwickelte unabhängig von MALLET eine eigene Theorie der „Fallwellen“ als Ausbreitungsform der Erdbeben.

## **JOHANN FRIEDRICH JULIUS SCHMIDT**

(1825–1884)

Als Astronom beschäftigte sich SCHMIDT mit veränderlichen Sternen, Sonnenflecken, Kometen und dem Zodiak-Licht und veröffentlichte 1878 eine sehr detaillierte Mondkarte. Bereits mit 20 Jahren begann er mit der Sammlung des Materials für einen Weltkatalog der Erdbeben und lieferte zu NÖGGERATHS Studie über das Rheinische Erdbeben vom Jahre 1846 die Berechnung der Geschwindigkeit der Erdwelle. Im Jahre 1858 wurde er zum Direktor der Sternwarte von Athen ernannt und bekam damit Gelegenheit, die Erdbeben Südosteuropas zu studieren. In der zweiten Auflage seines seismologischen Hauptwerkes „Studien über Erdbeben“ lieferte er einen Katalog dieser Erdbebenregion von den frühesten Zeiten bis zum Jahre 1878, wobei die Jahre von 1859 an ausschließlich auf eigenen Untersuchungen beruhten, während er sich für die Zeit davor hauptsächlich auf die Erdbebenkataloge von PERREY und MALLET stützte. In der Theorie über die Erdbeben beschäftigte er sich vor allem mit den astronomischen und meteorologischen Beziehungen zu den Erdbeben.

### **TIMOTEO BERTELLI**

(1826–1905)

Geboren am 6. Oktober 1826 in Bologna als Sohn eines Astronomieprofessors, trat BERTELLI 1844 in den Barnabiten-Orden ein und hielt Vorlesungen über Mathematik und Physik in den verschiedenen Ordenshäusern in Moncalieri, Neapel etc. Im Jahre 1886 wurde er in das Collegio della Querce in der Nähe von Florenz berufen, wo er, mit einer Unterbrechung von 1895–1898 als Direktor des vatikanischen Observatoriums in Rom, bis zu seinem Tode am 6. Februar 1905 lebte.

Bekannt ist er vor allem durch die Erfindung eines Tromometers, mit dem er seit 1872 in Florenz Messungen der mikroseismischen Bewegungen anstellte.

### **FERDINAND ANDRÉ FOUQUÉ**

(1828–1904)

Professor für Geologie am Collège de France. Beschäftigte sich zunächst mit Vulkanstudien. 1861 nahm er an einer Expedition zum Vesuv teil, untersuchte 1865 den Ausbruch des Ätna und 1866 den Ausbruch des Vulkans in Santorin, der die Falsifikation der Theorie der Erhebungskrater zur Folge hatte. Er war auch der Herausgeber des Berichtes über das andalusische Erdbeben vom 25. Dezember 1884, das gemeinsam von der französischen, italienischen und spanischen Erdbebenkommission untersucht wurde. Zusammen mit A. Michel LÉVY führte FOUQUÉ aus diesem Anlass auch Experimente zur Bestimmung der Geschwindigkeit der Erdbebenwellen im Fels der Erdoberfläche durch.



### **EDUARD SUESS**

(1831–1914)

Geboren am 20. August 1831 in London, studierte er in Prag und Wien, wo er 1857–1901 als Professor für Geologie und Paläontologie lehrte. 1898–1911 war er Präsident der Akademie der Wissenschaften. Er starb in Wien am 26. April 1914. Er gilt als Schöpfer der Wiener Hochquellenleitung und der Donauregulierung.

Er vertrat die Kontraktionstheorie der Erde und verfasste 1873 zwei wichtige Abhandlungen über die Erdbeben in Niederösterreich und Süditalien. Auch der erste Band seines großen Werkes „Das Antlitz der Erde“ (1885–1909) enthält ein Kapitel über Erdbeben, in dem er vor allem die Theorie der Erhebungen bestritt.

### **MICHELE STEFANO DE ROSSI**

(1834–1898)

Geboren am 30. Oktober 1834 in Rom, studierte DE ROSSI an der dortigen Universität. Er beschäftigte sich zuerst mit der Topographie der Katakomben und anderen Altertümern in der römischen Campagna. Dann wandte er sich der Geologie und schließlich der Erdbebenforschung zu, aus Anlass vor allem des Erdbebens am 19. Jänner 1873 in der Nähe von Rom und den folgenden schweren italienischen Erdbeben in den Jahren 1874 und 1875. Angeregt durch die Untersuchungen von BERTELLI errichtete er sich selbst in seiner Villa zu Rocca di Papa eine Beobachtungsstation mit verschiedenen neuen Instrumenten, wie Autoseismographen, Protoseismographen und Microseismographen und führte Untersuchungen über mikroseismische Bewegungen und mit einem eigenen Mikrophon über Erdbebengeräusche durch. Im Jahre 1890 wurde für ihn ein neues Observatorium in Rocca di Papa errichtet, wo er am 23. Oktober 1898 starb.

Er war der Gründer des „Bulletino del Vulcanismo Italiano“, der ersten Zeitschrift, die der „Wissenschaft von den endogenen Kräften der Erde“ gewidmet war. Er schlug eine 10-teilige Intensitätsskala vor, die in modifizierter Weise auch von der Schweiz als ROSSI-FOREL-Skala übernommen wurde. Seine Bezeichnung der Seismologie als „Meteorologia Endogena“ setzte sich jedoch nicht durch.



### **RUDOLF FALB**

(1838–1903)

Geboren am 13. April 1838 in Obdach in der Steiermark (Österreich), studierte FALB in Graz Theologie und wurde dort zum katholischen Priester geweiht. Später war er als Lehrer tätig, studierte in Prag Mathematik, Physik und Astronomie und in Wien Geologie. 1872 trat er zum Protestantismus über und unternahm in den Jahren 1877–80 eine Reise nach Süd- und Nordamerika, um den Vulkanismus zu studieren. 1887 übersiedelte er nach Leipzig und von dort aus später nach Berlin. Er starb am 29. September 1903 in Schöneberg bei Berlin.

Seine extreme Ansicht von der Ebbe und Flut der feuerflüssigen unterirdischen Materie als primäre Ursache der Erdbeben wurde schon zu seinen Lebzeiten u.a. von HOERNES und MILNE heftig bekämpft.



**KARL VON SEEBACH****(1839–1880)**

Professor der Geologie an der Universität Göttingen. Unternahm in jungen Jahren Reisen nach Costa Rica (1864-65) und ins Ägäische Meer (1866). Er verfasste Arbeiten über den Ausbruch des Vulkans Santorin und über die Vulkane von Zentral-Amerika.

Sein bedeutendstes seismologisches Werk ist die Beschreibung des Mitteldeutschen Bebens vom 6. März 1872, in dem er auch seine Theorie über die Bestimmung der Herdtiefe aufgrund exakter Zeitmessungen darstellte und eine Reihe von seismologischen Fachtermini vorschlug, die jedoch nur zum Teil angenommen wurden.

**ARNOLD VON LASAULX****(1839–1886)**

Als Professor für Mineralogie an der Universität Breslau war er wegen seiner petrographischen Studien bekannt. Er beschrieb die Erdbeben von Herzogenrath vom 22. Oktober 1873 und vom 24. Juni 1877. In der Bestimmung der Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Erdwelle und der Herdtiefe folgte er der Methode VON SEEBACHS.

**CLARENCE EDWARD DUTTON****(1841–1912)**

Geboren am 15. Mai 1841, studierte Dutton im Yale College. Nach dem Abschluss 1860 wurde er im Bürgerkrieg 1862–1865 eingezogen und erhielt den Rang eines Hauptmannes und später eines Majors. Im Jahre 1875 trat er in den U.S. Geological Survey ein und verbrachte die folgenden Jahre mit der geologischen Untersuchung des Grand Cañon in Colorado und des Hochplateaus von Utah. Seinen Armeedienst beendete er 1901. Er starb am 4. Jänner 1912.

Sein direkter Beitrag zur Seismologie war ein Bericht über das große Beben in Charleston vom 31. August 1886, dessen offizieller Berichterstatter er war. Darüber hinaus ist sein theoretischer Beitrag zur Begründung der Theorie der Isostasie von Bedeutung, deren Bezeichnung er als erster vorschlug.

**THOMAS GRAY****(1850–1908)**

Studierte Physik bei KELVIN an der Universität Glasgow. In den Jahren 1879–1881 war er Professor für Telegraphentechnik an der Kaiserlichen Universität Tokyo. Nach seiner Rückkehr nach England lebte er einige Jahre in Glasgow. Im Jahre 1888 wurde er zum Professor am Rose Polytechnic Institute in Terre Haute, Indiana, berufen. Diesen Posten behielt er 20 Jahre lang bis zu seinem Tode im Jahre 1908.

Obwohl er sich in England und Amerika hauptsächlich mit physikalischen Problemen beschäftigte, gilt sein Beitrag zur Seismologie während seines kurzen Aufenthaltes in Japan, der hauptsächlich in der Konstruktion von Seismographen bestand, als eine Pionierleistung.

**RUDOLF HOERNES****(1850–1912)**

Geboren am 7. Oktober 1850 in Wien. Studierte in Wien bei Eduard SUESS und wurde später Professor für Geologie in Graz.

Bekannt wurde er durch seine „Erdbeben-Studien“ (1878), in denen er die Klassifikation der Erdbeben in Einsturzbeben, vulkanische und tektonische Beben vorschlug. Er verfasste 1893 ein umfangreiches Lehrbuch über „Erdbebenkunde“ von einem vorwiegend geologischen Standpunkt aus.

**JOHN MILNE****(1850–1913)**

Geboren am 30. Dezember 1850 in Liverpool, ausgebildet als Bergwerksingenieur machte MILNE seine ersten Erfahrungen in den Bergwerken von Cornwall, Lancashire und Zentraleuropa und verbrachte zwei Jahre mit mineralogischen Untersuchungen in Neufundland. 1874 nahm er als Geologe an der Sinai-Expedition der Royal Geographical Society teil und erhielt ein Jahr später einen Ruf als Professor für Geologie und Bergbau an das 1873 gegründete Imperial College of Engineering in Tokyo. Nach einer elfmonatigen Reise über Land mit der Sibirischen Eisenbahn erreichte er 1876 Tokyo, wo er gleich in der ersten Nacht ein Erdbeben erlebt. Auf seine Initiative wurde im Frühjahr 1880 die Seismologische Gesellschaft Japans gegründet, mit I. HATTORI als Präsident und MILNE als Vizepräsident. 1895 verließ MILNE Japan und kehrte nach England zurück, wo er bis zu seinem Tode am 31. Juli 1913 als Sekretär des Seismologischen Komitees der British Association wirkte.

### **GIUSEPPE MERCALLI**

(1850–1914)

Geboren am 21. Mai 1850 in Mailand, besuchte MERCALLI das Höhere Technische Institut in dieser Stadt und war dann als Lehrer in Monza und in verschiedenen Privatschulen in Mailand tätig. Im Jahre 1889 wurde er Professor in Liceo Campanella der Reggio Calabria, 1891 an der Universität Catania und 1893 am R. Liceo Vittorio Emanuele in Neapel. 1911 wurde er Direktor des Observatoriums am Vesuv. Ein Unglücksfall, hervorgerufen durch eine umgestürzte Petroleumlampe beendete am 19. März 1914 auf abrupte Weise sein Leben.

Er ist vor allem durch seine Intensitätsskala bekannt, die er durch viele Einzeluntersuchungen im erdbebenreichsten Distrikt von Italien gewonnen hatte.

### **FERNAND DE MONTESSUS DE BALLORE**

(1851–1923)

Geboren am 27. April 1851, erhielt er an der École Polytechnique eine militärische Ausbildung. Im Jahre 1881 wurde er als Artillerie-Hauptmann auf eine militärische Mission nach San Salvador geschickt und hatte dort sowohl die Gelegenheit Erdbeben zu studieren als auch seine erste wichtige seismologische Arbeit über die Erdbeben und Vulkanausbrüche in Zentralamerika zu veröffentlichen. Nach Frankreich zurückgekehrt wurde er Studiendirektor an der École Polytechnique. 1907 verließ er Frankreich und wurde in Santiago de Chile zum Direktor des seismologischen Dienstes ernannt. Er errichtete dort ein zentrales Observatorium und mehrere Beobachtungsstationen im Land. Er starb am 29. Jänner 1923.

Bedeutend ist er durch seine Arbeiten zur Erdbebengeographie und eine umfassende Bibliographie der Erdbebenliteratur geworden.

### **SEIKI SEKIYA**

(1855–1896)

Beschäftigte sich seit 1880 als Angestellter des kleinen seismologischen Laboratoriums an der Kaiserlichen Universität Tokyo mit der Erforschung der Erdbeben in Japan. Im Jahre 1886 wurde er auf den neu errichteten Lehrstuhl für Seismologie an der Universität Tokyo berufen und übernahm das Amt des Sekretärs des Kaiserlichen Erdbebenkomitees.

Während seiner Amtszeit wurden in Japan die Errichtung von Seismographen-Stationen über das ganze Land weiter betrieben, sodass sich ihre Anzahl zur Zeit seines frühen Todes am 9. Jänner 1896 fast verdoppelten. Weit bekannt wurde er durch sein Modell, das die komplizierten Bewegungen eines Erdpartikels während des Erdbebens darstellt.

### **FUSAKICHI OMORI**

(1868–1923)

Geboren in Fukui am 30. Oktober 1868, studierte er ab 1886 am College of Science der Kaiserlichen Universität von Tokyo Physik. Nach Abschluss seines Studiums 1890 absolvierte er die Postgraduate-Kurse in Seismologie und Meteorologie. Seine Lehrer waren J. MILNE und SEKIYA. 1891 wurde er Assistent bei SEKIYA, ein Jahr später Mitglied des Kaiserlichen Erdbebenkomitees und 1893 Lektor für Seismologie an der Universität Tokyo. In den Jahren 1895–1897 wurde er für weitere Studien nach Italien und Deutschland geschickt und folgte nach seiner Rückkehr seinem inzwischen verstorbenen Lehrer SEKIYA als Professor der Seismologie nach. Seitdem war er der führende Kopf der japanischen Seismologen, der auf allen Gebieten der Erdbebenforschung wie Untersuchungen über Nachbeben, Konstruktion von Seismometern, Beiträge über die Schwingungsart der Erdbebenbewegungen und vor allem über die Verteilung der Periodizität der japanischen Erdbeben fundamentale Beiträge leistete.

Er starb am 8. November 1923 kurz nach dem verheerenden Erdbeben am 1. September im Krankenhaus der Universität, nicht weit entfernt vom Seismologischen Institut, in dem er die längste Zeit seines Leben verbracht hatte und das er durch seine Aktivitäten zu einem weltbekannten Zentrum der Erdbebenforschung gemacht hatte.

### **JOHN WILLIAM MALLET**

(1832–1912)

Roberts ältester Sohn unterstützte R. MALLET bei der Aufstellung des Erdbebenkataloges und der Darstellung der Weltkarte der Erdbebengebiete und wurde später Professor für Chemie an der Universität Virginia.

### **GJURO PILAR**

(1846–1893)

Geboren am 23. April 1846 in Slavonski Brod, Kroatien, studierte PILAR Naturwissenschaften an der Universität Brüssel und an der Sorbonne in Paris. 1875 wurde er zum Professor der Mineralogie und Geologie an der Universität Agram (Zagreb) ernannt, wo er auch am 19. Mai 1893 starb.

Neben seinen geologischen Untersuchungen in Bosnien wurde er vor allem durch seine theoretischen Überlegungen zur „Abyssodynamik“ bekannt, mit denen er bereits das Prinzip des Schwereausgleichs zur Grundlage seiner Erdbeben Theorie machte.



## 6. Historisch vergleichendes Glossar einiger allgemein verwendeter Fachbegriffe der Seismologie

### Seismology

The study of earthquakes (NEIC: Common Terms in Seismology).

„In its simplest sense means the study of earthquakes. To be consistent with a Greek basis for seismological terminology, some writers have thrown aside the familiar expression 'earthquake', and substituted the awkward word 'seism'“.  
(MILNE, 1886).

### Macroseismology

### Earth Movements

„It is difficult to separate these Earth Movements from each other, because they are phenomena which only differ in degree, and which are intimately associated in their occurrence and in their origin.“ (MILNE, 1886).

### Microseism

A more or less continuous motion in the Earth that is unrelated to an earthquake and that has a period of 1.0 to 9.0 seconds. It is caused by a variety of natural and artificial agents (NEIC: Common Terms in Seismology).

### Earth Pulsations

„Slow but large wavelike undulations which travel over or disturb the surface of the globe and escape our attention by the length of their period.“ (MILNE, 1886).

### Earth Tremors

„Small vibratory motions of the ground which escape our attention by the smallness of their amplitude.“ (MILNE, 1886).

### Seismologie

Die Seismologie

„... umfasst alle Bewegungen, welche ihren Sitz in der Erde haben, gleichgültig ob deren Ursachen Vorgänge im Innern des Erdballes selbst oder Folgewirkungen von Bewegungen der Atmosphäre oder gar anderer Gestirne sind.“  
(SIEBERG, 1904)

In der Antike gilt sie nach Aristoteles als ein Teil der Meteorologie, in der Neuzeit wurde sie zunächst als Anhang zur Geologie behandelt. Seit der 2. Hälfte des 19. Jahrhunderts (MALLET, 1846, 1862) bildet sie einen selbständigen Teil der Geophysik.

### Makroseismik

„Jener Teil der Seismologie, der sich mit den bei Erdbeben auftretenden Effekten im Schüttergebiet befaßt, die ohne Seismographen feststellbar sind.“ (GUTDEUTSCH et al., 1987).

### Bodenbewegungen

„Die durch Erdbeben hervorgerufene Deformation des Bodens, die durch die Schwingungsgeschwindigkeit oder Beschleunigung des Bodens gemessen werden kann.“ (LENHARDT).

### Seismisches Hintergrundrauschen – Bodenunruhe

Aufzeichnung sehr kleiner Bodenbewegungen, die meist durch Wind, Meereswellen oder Maschinen verursacht werden.

**Mikroseismische Bewegungen** (E. v. REBEUR-PASCHWITZ) oder **Mikroseismische Unruhe** (E. RUDOLPH)

1875 machte BERTELLI darauf aufmerksam, dass große Erdbeben fast immer von mikroseismischen Störungen eingeleitet oder doch begleitet waren. Zu der Benennung „mikroseismisch“ bemerkt SIEBERG (1904), dass diese Bewegungen zwar mit den Erdbeben unmittelbar nichts zu tun haben, da sie aber unter Umständen Spannungszustände der Erdrinde auslösen können, bezeichnet man sie vielfach als „auslösende Ursachen“ der (makroseismischen) Erdbeben.

### Pulsationen

„Elastische Schwingungen der Erdrinde, die nach Periode und Amplitude regelmäßig sind. Solche regelmäßige und flache Bodenwellen werden von MILNE treffend mit der Dünung des Meeres verglichen. Man hat es daher bei den Pulsationen nicht mit Stößen zu tun, sondern mit allmählich eingeleiteten Spannungen des Erdbodens, welche sich alsbald in kürzerer Zeit wieder auslösen.“ (SIEBERG, 1904).

### Pulsatorische Oszillationen

„Häufige, stets zur Normallage symmetrisch liegende Schwingungen, welche, bevor sie zur Ruhe gekommen sind, immer wieder von neuem erregt werden und dadurch stunden- oder tagelang andauern.“ (SIEBERG, 1904).

## Earth Oscillations

Slow and quiet changes in the relative level of the sea and land which geologists speak of as elevations or subsidences.

## Earthquake

Shaking of the earth caused by a sudden movement of rock beneath its surface (NEIC: Common Terms in Seismology).

„The transit of a wave or waves of elastic compression in any direction, from vertically upwards to horizontally in any azimuth, through the crust and surface of the earth, from any centre of impulse or from more than one, and which may be attended with sound and tidal waves, dependent upon the impulse and upon the circumstances of position as to sea and land.“ (MALLET, 1859).

„The English word earthquake, the German Erdbeben, the French tremblement de terre, the Spanish terremoto, the Japanese jishin &c., all mean, when literally translated, earth-shaking, and are popularly understood to mean a sudden and more or less violent disturbance.“ (MILNE, 1886).

## Artificial Earthquake

„Disturbance produced in the surface of the earth when a heavy weight is allowed to fall on it or by experiments with explosives.“ (MALLET, 1851; MILNE, 1886).

## Preparatory or fore shock

The shock before the principal shock.

## Principal or main shock

The strongest member of a series of earthquakes (J.F. SCHMIDT, 1874).

## Consecutive or after shock

The shock after the principal shock.

## Accessory shock

The slighter shocks of the series (FOREL, 1881).

## Major earthquake

An earthquake having a magnitude of 7 of the Richter scale (NEIC: Common Terms in Seismology).

„The sudden violent movements of the ground.“ (MILNE, 1886).

## Säkuläre Oszillationen

„Langsame (bradyseismische) Bewegungen des Bodens, die mit den Vorgängen der Gebirgsbildung, in Zusammenhang stehen, so namentlich die säkulären Hebungen und Senkungen.“ (GÜNTHER, 1897)

## Erdbeben

„Erschütterungen des Erdbodens, gleichviel, ob mit den menschlichen Sinnen wahrnehmbar oder nicht, welche ihre Entstehung Bewegungsvorgängen in mehr oder minder tiefen Schichten des Erdballs verdanken und sich als Elastizitätsschwingungen durch das Medium der Erdrinde und des Erdinnern fortgepflanzt haben.

Infolgedessen dürfen zu den Erdbeben nicht gezählt werden diejenigen oft deutlich fühlbaren Schwingungen, in welche der Boden durch Explosionen, Geschützfeuer, gewaltige Maschinenkräfte, menschlichen Verkehr usw. versetzt wird, weil sie durch von außen nach innen wirkende Kräfte ausgelöst werden.“ (SIEBERG, 1904).

„Ein Erdbeben - Erdstoß, Erderschütterung (seismos, terrae motus, tremblement de terre, earthquake) - tritt ein, wenn der Boden in eine zitternde, oszillatorische Bewegung gerät. Allerdings wird von der Geophysik noch die Zusatzbedingung gemacht, daß die Ursache dieser Schwankung eine unsichtbare, unter der Oberfläche verborgene sei.“ (GÜNTHER, 1897).

## Induzierte Erdbeben

„Durch menschliche Tätigkeit verursachte Erdbeben. Dazu zählen u.a. durch Bergbau oder Wasserreservoirs ausgelöste Erdbeben, Atomtests, Sprengungen, Bauwerkseinstürze, und der Überschallknall.“ (HAMMERL & LENHARDT, 1997).

## Vorbeben (R. CANAVAL, 1882)

Viele kleine Erdbeben in einem begrenzten Gesteinsvolumen, die einem größeren vorangehen (GUTDEUTSCH et al., 1987).

## Hauptstoß

Das stärkste Beben einer Serie von Erdbeben in einem begrenzten Gebiet (J.F. SCHMIDT, 1874).

## Nachbeben (R. CANAVAL, 1882)

Kleinere Erdbeben, die dem größten Beben einer Serie in einem begrenztem Volumen der Erdkruste nachfolgen (GUTDEUTSCH et al., 1987).

## Akzessorischer (nebensächlicher) Stoß

Die schwächeren Beben einer Serie von Erdbeben in einem begrenzten Gebiet (FOREL, 1881).

## Makroseismische Bewegungen

Erdstöße, die direkt mit den menschlichen Sinnen ohne Instrumente wahrgenommen werden (SIEBERG, 1904).

## Mikroseismische Bewegungen

Minimale Bodenerzitterungen, welche ohne instrumentelle Hilfsmittel nicht wahrnehmbar sind (GÜNTHER, 1897; SIEBERG, 1904)

## Classification of earthquakes

In the „Erdbebenstudien“ (1878) HOERNES introduced his useful classification of earthquakes in:

- rock-fall earthquakes
- volcanic earthquakes and
- tectonic (afterwards dislocation) earthquakes.

Realising that rock-fall earthquakes are infrequent and volcanic earthquakes local, he holds that the most numerous, as well as the greatest, of all earthquakes are the products of mountain-formation, and are due to displacements along peripheral and radial fractures of great mountain-chains. (DAVISON, 1927).

## Stoßlinie

A line that passes through a series of epicentres (H. HÖFER, 1880).

## Fault

A weak point in the Earth's crust where the rock layers have ruptured and slipped (NEIC: Common Terms in Seismology).

## Magnitude

A measure of the strength of an earthquake or strain energy released by it, as determined by seismographic observations. The local body- and surface-wave magnitude will have approximately the same numerical value (NEIC: Common Terms in Seismology).

## Intensity

A measure of the effects of an earthquake at a particular place on humans and (or) structures. The intensity at a point depends not only upon the strength of the earthquake (magnitude) but also upon the distance from the earthquake to the epicenter and the local geology at that point (NEIC: Common Terms in Seismology).

## Klassifikation der Erdbeben (HOERNES, 1878)

*„Einsturzbeben: Daß die Bildung großer unterirdischer Höhlen und das Einstürzen ihrer Decke, wie wir beide in großartigem Maßstabe in den Höhlen des Karstes und seinen Dolinen wahrnehmen, zu lokal ziemlich bedeutenden Erderschütterungen Anlaß geben kann, wird wohl von Niemanden geleugnet. Es ist aber keineswegs gerechtfertigt, die gewiß selten und lokal auftretende Tatsache zur Erklärung häufiger und weitverbreiteter Erscheinungen in Anspruch zu nehmen.*

*Vulkanische Erdbeben: Bodenbewegungen, die ausschließlich auf die nähere Umgebung eines Vulkans beschränkt bleiben und nie zu den über große Flächen ausgedehnten Erscheinungen gehören. Sie tragen fast immer den Charakter von Explosionswirkungen an sich. Der unmittelbare zeitliche Zusammenhang mit Eruptionen und ganz besonders der Nachweis, daß das Zentrum der Erschütterung auch mit dem Zentrum der vulkanischen Tätigkeit zusammenfällt ist unerlässlich um ein wirklich vulkanisches Erdbeben zu charakterisieren. Der bloß örtliche Zusammenhang genügt nicht. Nicht selten treffen Erdbeben vulkanische Gebiete und erschüttern sogar die Wände der Vulkane, ohne von diesen auszugehen.“*

*Tektonische Erdbeben: Jene Erdbeben, welche durch ihre Häufigkeit, durch ihre weite Verbreitung und ihr Gebundensein an gewisse Linien, auf welchen sie wiederholt beobachtet werden können, die Aufmerksamkeit auf sich ziehen. Sie scheinen in unmittelbarem Zusammenhang mit der gebirgsbildenden Tätigkeit zu stehen.“*

## Stoßlinie

Die Verbindungslinie solcher Orte, auf welchen sich die seismischen Kräfte besonders verdichten (SIEBERG, 1904).

## Stoßstrahlen oder Erdstrahlen

In der seismischen Geometrie analog zu Schall- oder Lichtstrahlen gedachte geradlinige Linien der Richtung der Ausbreitung der Kompressionswelle (HOPKINS, SEEBACH).

## Störung

Bruch in der Erdkruste. Oft auch als **Verwerfung** bezeichnet. Versetzung von Gesteinsschichten (HAMMERL & LENHARDT, 1997).

## Magnitude

Logarithmisches Maß der bei einem Erdbeben freigesetzten seismischen Energie (LENHARDT).

## Intensität

Zahlenmäßige Zuordnung des Grades der Bodenerschütterung auf Grund der Gebäudeschäden, Veränderungen der Gestalt der Erdoberfläche und Wahrnehmungen (GUTDEUTSCH et al., 1987).

### **Isoseismal line**

A line connecting points on the Earth's surface at which earthquake intensity is the same. It is usually a closed curve around the epicenter (NEIC: Common Terms in Seismology).

*„As the Result of a simple Explosion at a point in a homogeneous medium, we ought, theoretically, to obtain at points on the surface of the medium equidistant from the epicentrum, equal mechanical effects. This points will lie on circles called isoseismic or coseismic circles. In nature, however, isoseismic lines are seldom circles. Elliptical or irregular curves are the common forms.“ (MILNE, 1886).*

### **Mezoseismic area**

*„The isoseismic area in which the greatest disturbance has taken place. SEEBACH calls the lines enclosing this area pleistoseists.“ (MILNE, 1886).*

### **Focus (center of explosion)**

The point within the Earth from which originates the first motion of an earthquake and its elastic waves (NEIC: Common Terms in Seismology).

The source from which an earthquake originates is called „origin“, „focal cavity“, or „centrum“ (MILNE, 1886).

### **Focal zone**

The rupture zone of an earthquake.

### **Hypocenter**

The calculated location of the focus of an earthquake (NEIC: Common Terms in Seismology).

### **Epicenter**

The point or area on the surface of the ground above the origin (MILNE, 1886).

### **Angle of emergence (MALLETT)**

The angle, which a wave-path, where it reaches the surface of the earth, makes with that surface.

### **Elastic wave**

A wave that is propagated by some kind of elastic deformation, that is, a deformation that appears when the forces are removed. A seismic wave is a type of elastic wave (NEIC: Common Terms in Seismology).

### **Body wave**

A seismic wave that travels through the interior of the Earth and is not related to a boundary surface (NEIC: Common Terms in Seismology).

### **Isoseisten**

Linie gleicher seismischer Intensität, auf einer Landkarte dargestellt (GUTDEUTSCH et al., 1987).

*„Je nach Stärke, mit welcher ein Erdbeben an den verschiedenen Orten eines größeren Gebietes auftritt, kann man Flächen bestimmen; die in geographischen Karten diese Flächen umschließenden Linien nennt man „Isoseisten.“ (SIEBERG, 1904)*

Das Fortschreiten der Oberflächenwellen lässt sich auf geographischen Karten anschaulich zur Darstellung bringen, indem man darin alle Orte verbindet, wo das Erdbeben zu gleicher Zeit, also in ein und demselben Augenblick verspürt wurde, durch eine Linie untereinander verbindet. Derartige Kurvenzüge, die Schnittkurven der homoseistischen Flächen mit der Erdoberfläche, werden verschiedentlich „Homoseiste“, „Isochrone“ oder auch „Koseiste“ genannt. Ihr Abstand gibt die scheinbare Geschwindigkeit  $v$ .

### **Meizoseismische Zone**

Gebiet der stärksten Bodenerschütterungen und Gebäudeschäden durch Erdbeben (GUTDEUTSCH et al., 1987).

### **Focus (Herd)**

wurde zum erstenmal von E. BERTRANT in: „Memoires Historiques et physiques sur les Tremblements de Terre“, arts. 8–11, à la HAYE 1757, verwendet.

### **Hypozenentrum (L.H. JEITTELES)**

*„Die unterirdische Erregungsstelle, von der die an der Erdoberfläche als Erdbeben verspürte Bodenbewegung ihren Ausgang nimmt, bezeichnet man als „Erdbebenherd“ oder „Hypo-zentrum“ (SIEBERG, 1904)*

„Erdbebenursprungsort“ (SEEBACH, 1873)

### **Epizentrum (J.F. SCHMIDT, 1874)**

Punkt auf der Erdoberfläche senkrecht über dem Herd (Hypozenentrum) des Bebens (GUTDEUTSCH et al., 1987).

### **Emergenz- oder Austrittswinkel**

Auftauchwinkel der elastischen Wellen.

### **Seismische Welle**

Elastische Welle im Erdinnern, die durch ein Erdbeben oder Sprengung erzeugt wird (GUTDEUTSCH et al., 1987).

### **Raumwelle**

Seismische Welle, die sich im Erdinnern ausbreitet. (LENHARDT).

### **P wave**

Longitudinal irrotational, push, pressure, dilatational, primary, compressional, push-pull wave (NEIC: Common Terms in Seismology).

In earthquakes, waves of this type are transmitted outward at an equal speed in all directions from the fault rupture, alternately compressing and dilating the rock through which they travel. The particles of rock move forward and backward in the direction of propagation of these waves – in other words, the particles move perpendicular to the wave front. The amount of displacement forward and backward is the wave amplitude (BOLT, 1993).

### **S wave**

Shear, secondary, rotational, tangential equivoluminal, distortional transverse, shake wave (NEIC: Common Terms in Seismology).

Because S waves involve shearing rather than compression, they move the particles of rock transverse to the direction of propagation. These rock motions may be in a vertical or a horizontal plane, and they are similar to the transverse motions in electromagnetic waves. Because shearing motion is not possible in either liquids or gases, S waves are unable to propagate through them. This sharp contrast in the properties of P and S waves can be used to detect the presence of liquid zones deep in the Earth (BOLT, 1993).

### **Surface wave**

The rock motions that are produced when P and S waves arrive at the free surface of the Earth or at the boundaries of a layered geological structure generate other types of traveling seismic waves under certain conditions. The most important of these waves are called Rayleigh waves and Love waves (BOLT, 1993)

### **Love wave**

A major type of surface wave having a horizontal motion that is shear or transverse to the direction of propagation. It is named after A.E.H. LOVE, the English mathematician who discovered it (NEIC: Common Terms in Seismology).

This motion has no displacement. Thus, the rock moves from side to side in a horizontal plane at right angles to the direction of travel (BOLT, 1995)

### **Rayleigh wave**

First described by Lord RAYLEIGH in 1885, these are the earthquake waves that most closely resemble water waves. Rayleigh waves are formed by rock particles moving forward, up, backward, and down, transcribing elliptical orbits oriented in a vertical plane that contains the direction of wave propagation (BOLT, 1993).

### **Primärwelle (P-Welle)**

Eine Kompressionswelle mit den gleichen physikalischen Eigenschaften wie die Schallwellen, die sich abwechselnd durch Kompression (Druck) und Dilatation (Zug) fortpflanzen. Bei Erdbeben breiten sich diese Wellen vom Störungsbruch ausgehend mit gleicher Geschwindigkeit in alle Richtungen nach außen aus. Die Gesteinspartikel bewegen sich dabei longitudinal, d.h. in Fortpflanzungsrichtung vorwärts und rückwärts. Der Betrag dieser Bewegung entspricht der Amplitude. Da Flüssigkeiten und festes Gestein komprimiert werden können, wandert dieser Wellentyp auch durch Ozeane oder Seen und durch die feste Erde (BOLT, 1995).

### **Sekundärwelle (S-Welle)**

Eine Scherwelle, bei der sich die Gesteinspartikel transversal (quer) zur Fortpflanzungsrichtung bewegen. Diese Gesteinsbewegungen können sowohl auf einer vertikalen als auch horizontalen Ebene stattfinden und ähneln den transversalen Bewegungen von Lichtwellen. S-Wellen können sich weder in Flüssigkeiten noch in Gasen ausbreiten. Dieser Unterschied in den Eigenschaften von P- und S-Wellen kann genutzt werden, um flüssige Zonen tief unter der Erde aufzufindig zu machen (BOLT, 1995).

### **Oberflächenwelle**

Seismische Welle, die an die Oberfläche gebunden ist. (GUTDEUTSCH et al., 1987).

### **Wahre Oberflächengeschwindigkeit**

Das Stück eines Stoßstrahles, um welches die Welle in der Minute weiterrückt.

### **Scheinbare Oberflächengeschwindigkeit**

Das Stück der Erdoberfläche zwischen den Homoseisten zweier aufeinander folgender Minuten.

### **Love-Wellen**

Seismische Oberflächenwelle, in der keine vertikale Versetzung auftritt. Das Gestein bewegt sich auf einer horizontalen Fläche im rechten Winkel zur Fortpflanzungsrichtung von einer Seite zur anderen. Sie wurde nach A.E.H. LOVE benannt, der sie 1912 als Erster beschrieb (BOLT, 1995).

*„Oberflächenwellen sind nicht Neigungswellen, sondern ‚Translationsverschiebungen‘“ (OMORI).*

*„Nicht Neigungen, sondern horizontale Translationsverschiebungen setzen das Pendel in Bewegung.“ (SCHLÜTER)*

*„Eher horizontale Bodenverschiebungen als Bodenreibungen versetzen das Horizontalpendel in Bewegung.“ (MILNE)*

### **Rayleigh-Welle**

Eine seismische Oberflächenwelle, die den Wasserwellen am ähnlichsten ist. Die Gesteinspartikel bewegen sich in dieser Welle vorwärts, rückwärts und auf- und abwärts und beschreiben dabei elliptische Bahnen auf einer vertikalen Fläche, auf der sich die Welle fortpflanzt (BOLT, 1995).

## Seismometry

The instrumental aspects of seismology (NEIC: Common Terms in Seismology).

## Classification of earthquake instruments

„All the instruments hitherto devised or set up may be divided into two main groups:

- 1) *observational, those whose motions must be observed and recorded after each shock;*
- 2) *self-registering, which record their own past movements however repeated, and admit of their observation at any subsequent period within certain limits.*

Each of these classes is again divided into two sorts:

- a) *instruments depending upon the movements by displacement of liquids;*
- b) *those depending upon the partial displacement of solids“ (MALLETT, 1858).*

„To construct an instrument which at the time of an earthquake shall move and leave a record of its motion, there is but little difficulty. Contrivances of this order are called seismoscopes. If, however, we wish to know the period, extent, and direction of each of the vibrations which constitutes an earthquake, we have considerable difficulty. Instruments which will in this way measure or write down the earth's motions are called seismometers or seismographs“ (MILNE, 1886).

A comparative analysis of all the instruments documented, whether actually made or only planned, disappeared or still surviving, suggest a classification of the apparatuses themselves into different categories according to the principle of the working of the sensor: oscillation or overflowing.

## Seismograph

An instrument that records the motion of the Earth's surface (NEIC: Common Terms in Seismology).

## Seismometer (David MILNE 1841)

Instruments which will measure or write down the period, extent, and direction of each of the vibrations which constitutes an earthquake are called seismometers or seismographs (MILNE, 1886).

## Seismoscope

An instrument which at the time of an earthquake shall move and leave a record of its motion, but would give no reliable information regarding a continued shaking (MILNE, 1886).

## Amplitude

The maximum height of a wave crest or depth of a trough (NEIC: Common Terms in Seismology).

## Transversale Oberflächenwellen

Seismische Wellen, die gleich sind oder wenigstens Ähnlichkeit besitzen mit den Meereswellen. Demzufolge schwillt also jeweils ein Teil der Erdoberfläche an, wodurch sich die darauf befindlichen Gegenstände etwas heben und neigen, wie es die Wogen mit einem Schiffe tun.

Diese Wellen, welche die Normale der Erdoberfläche gegen die Schwerkraft periodisch schwanken machen werden verschiedentlich als „**Fallwellen**“ (VOLGER), „**Gravitationswellen**“ (MILNE) oder „**elastische Transversal-schwingungen**“ (CANCANI) bezeichnet.

## Seismometrie

Lehre von den seismischen Messmethoden (LENHARDT).

## Einteilung der Erdbebeninstrumente

- Seismoskope (Ankündiger; skopein = schauen)
- Seismometer (Ankündiger mit Messung des betreffenden Stoßes; metrein = messen)
- Seismographen (Messen des Maximalausschlages; graphein = schreiben)
- Seismometrographen (vollständige graphische Darstellung [BRASSART, 1886])

Seismoskope, wenn sie nur die Zeit bestimmen und keinerlei Messung von Amplitude oder Richtung zulassen, Seismometer oder Seismographen, wenn beides geleistet wird (EHLERT, 1897).

Wir trennen die Seismometer am natürlichsten in solche für horizontale und für vertikale Bewegung und stellen diesen also die Seismoskope gegenüber. Die Instrumente für die Horizontalkomponenten sind die vertikalen und horizontalen Pendel, die rollenden Körper und die hydrostatischen Apparate. Die Vertikalinstrumente sind Spiralen oder auf hydrostatischer Grundlage beruhende Systeme. Ebenso teilen wir die Seismoskope nach den Komponenten ein.

## Seismograph

Gerät zur vergrößerten Darstellung der Bodenbewegung (HAMMERL & LENHARDT, 1997).

## Seismometer

Gerät zur Messung der Bodenbewegungen (HAMMERL & LENHARDT, 1997).

Erdbeben-Messer, der außer der Zeit noch Messungen von Amplitude und Richtung ausführt (SIEBERG, 1904).

## Seismoskop (Avisator)

Erdbeben-Ankündiger, der ausschließlich die Zeit des Eintretens eines Erdbebens angibt (SIEBERG, 1904).

Messgerät, das die Bodenbewegung ohne Zeitmaßstab aufzeichnet (HAMMERL & LENHARDT, 1997).

## Amplitude (phys.)

Die maximale Auslenkung aus der Gleichgewichtslage.



## Frequency

The number of times that the sound waves compress and dilate in a second – or – for water waves and other types of vibration, the number of times the waves rise or fall in a second (BOLT, 1993)

## Wave length

The distance between the crests.

## Period

The time for a complete wave (say, crest to crest) to travel one wavelength (BOLT, 1993).

## Frequenz (phys.)

Die Anzahl der Schwingungen in einer Sekunde.

## Wellenlänge (phys.)

Die Entfernung zwischen zwei Wellenkämmen.

## Periode (phys.)

Die Zeit, die eine vollständige Welle von einem Wellenkamm zum nächsten braucht, um eine Wellenlänge zu durchlaufen (BOLT, 1995).

## Literatur

- AEPINUS: De distributione caloris per tellurem. – St. Petersburg 1761.
- AGAMENNONE, G.: Sulla variazione della velocità di propagazione dei terremoti, attribuita alle onde trasversali e longitudinali. – Atti R. Acc. dei Lincei, Ser. 5. III., Rendiconti 1894.
- AGRICOLA (G. BAUER): De ortu et causis subterreaneorum. – Basel 1558.
- AIRY, G.: Adress at the Cumberland Association for the Advancement of Literature and Science. – „Nature“, vol. XVIII, 1878.
- AIRY, G.B.: On the computation of the effect of the attraction of mountain-masses, as disturbing the apparent astronomical latitude of stations in geodetic surveys. – Phil. Trans. Roy. Soc., 145, 101–104, London 1855.
- ALBERTUS MAGNUS: Opera omnia. – 38 vol., Paris (A. Borgnet) 1890–99.
- ALAFANI, P.G.: Bolletino sismologico dell' osservatorio Ximeniano dei p.p. delle scuole pie di Firenze. – Florenz 1902.
- AMPÈRE, A.M.: Théorie des phénomènes électro-dynamiques. – Paris 1826.
- ARAGO, F.: Geschwindigkeit des Schalles. Resultat der 1822 im Auftrage des Längenbureau zur Bestimmung der Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalles in der Atmosphäre unternommenen Versuche. – In: F. ARAGOS sämtliche Werke. Mit einer Einleitung von A. v. HUMBOLDT. Hrsg. von W.G. HANKEL, Bd. 15, Leipzig 1860.
- ARAGO, F.: Über das Gewitter (Nachgelassene Schrift). – Sämtliche Werke, 4. Bd., Leipzig 1854.
- ARISTOTELES: Opera edidit Academia Regia Borussica. Graece ex recognitione Immanuelis Bekkeri, Berlin 1831.
- BAGLIVI, G.: Historia Romani Terraemotus, v. Urbium adjacentium Anno infelicissimo 1703. – In: Opera omnia, Venetiis 1721.
- BECCARIA, G.B.: Lettere dell'elettricismo. – Bologna 1758.
- BENDANT, F.S.: Die Mineralogie und Geologie. – Stuttgart 1844.
- BIALAS, V.: Modelle der Isostasie im Neunzehnten Jahrhundert. – In: BIRET, H., HELBIG, K., KERTZ, W. & SCHMUCKER, U. (Eds.): Zur Geschichte der Geophysik, Berlin – Heidelberg – New York 1974.
- BINA, A.: Ragionamento sopra la cagione de' terremoti ed in particolare di quello della Terra die Qualdo die Nocera nell'Umbria seguito l'A. 1751. – Perugia 1751
- BISCHOF, G.: Die Wärmelehre im Innern unseres Erdkörpers. – Leipzig 1837.
- BISCHOF, G.: Lehrbuch der chemischen und physikalischen Geologie. – 2 Bde., Bonn 1847/1855.
- BOERHAVE, H.: Elementae chemiae. Oder Anfangsgründe der Chymie. – Halberstadt 1733.
- BOLT, A.B.: Earthquake and geological discovery. – New York 1993.
- BOLT, A.B.: Erdbeben. Schlüssel zur Geodynamik. – Heidelberg – Berlin – Oxford 1995.
- BORMANN, P.: Der Beitrag Immanuel KANTS zur Entwicklung wissenschaftlicher Vorstellungen über die Natur der Erdbeben. – In: Geschichte der Seismologie, Seismik und Erdgezeitenforschung, Tagungsband Eisenach, 5.–7. Dez. 1979. Veröffentlichungen des Zentralinstituts für Physik der Erde, 64, 1981.
- BOSCOVICH, R.J.: De litteraria expeditione per pontificiam ditionem ad dimiendos duos meridiani gradus. – Rom 1755.
- BOUGUER, R.J.: La Figure de la Terre. – Paris 1749.
- BOUSSINGAULT, J.B.: Ascension au Chimborazo le 16 déc 1831. – In: Annales de Chimie et des Physique T. LVIII, 1835.
- BOUSSINGAULT, J.B.: Sur les tremblements de terre des Andes. – In: Annales de Chimie et de Physique T. LVIII, 1835.
- BOYLE, R.: The propagation of sounds in the exhausted receiver. – In: The Philosophical Works of the Honourable Robert BOYLE, Esq. Ed. by P. SHAW, M.D., Sec. Ed., vol. II., London 1738.
- BOYLE, R.: Observations upon the effects of languid and unregarded Motions. – In: The Philosophical Works of the Honourable Robert BOYLE, Esq. Ed. by P. SHAW, M.D., Sec. Ed., vol. I., London 1738.
- BRANCO, W.: Wirkung und Ursachen der Erdbeben. Rede am Geburtstage Seiner Majestät des Kaisers und Königs Wilhelm's II in der Aula der Königlichen Friedrich-Wilhelms-Universität zu Berlin am 27. Januar 1902. – Berlin 1902.
- BRUNO, G.: Le opera italiane ristampate da Paolo de Lagarde. – Vol. I/II, Göttinga 1888.
- BUCH, L. von: Physikalische Beschreibung der canarischen Inseln. – Berlin 1825.
- BUFFON: Époques de la Nature. – Paris 1778.
- BUFFON: Oeuvres complètes. – Paris 1847.
- BUNSEN, R. & DESCLOIZEAUX: Comptes rendus des séances de l'Acad. des Sciences. – T. XXIII, 1846.
- BURNET, Th.: Telluris theoria sacra, orbis nostri originem et mutationes, quas aut iam subiit aut subiturus est, complectens. – London 1681.
- CANCANI, A.: Sulle ondulazione provenienti da centri sismici lontani. – Annali d. Uff. centr. met. e. geod. italiano., Ser. II., Vol XV., Parte I., 1893.
- CAPELLE, W.: Die Vorsokratiker. Die Fragmente und Quellenberichte. – Stuttgart 1940.
- CAPELLE, W.: Erdbebenforschung. – In: Real-Encyclopädie der Classischen Altertumswissenschaft, Supplementbd. IV, Sp. 363 ff., Stuttgart 1924.
- CAROZZI, A.V.: De Mailett's Telliamed (1748): An ultra-neptunian theory of the Earth. – In: SCHNEER, C.J. (Ed.): Toward a history of geology, Cambridge, London 1959.
- CARRÉ: Sur la Refraction des balles de Mousquet da l'eau, et sur la résistance de ce fluide. – Historie de l'Academie Royale des Sciences, Année MDCCV, Amsterdam 1707.
- CASSINI VON THURY: Von der Fortpflanzung des Schalles. – In: Der Königl. Akademie der Wissenschaften in Paris. Physische Abhandlungen. XII. Theil welcher die Jahre 1737 und 1738 in sich hält. Übers. von W.B.A. VON STEINWEHR, Breslau 1756.
- CAVALLO: Vollständige Abhandlung der Lehre der Elektrizität. – Leipzig 1797.
- CIRILLO, N.: Historia terraemotus Apuliam et totum fere Neapolitanum regnum, anno 1731, vexantis. – Philosophical Transactions 38 (1733-4), 79–84.
- DA VINCI, L.: Tagebücher und Aufzeichnungen. – Nach den italienischen Handschriften, übers. u. hrsg. von Th. Lücke, Leipzig 1940.
- DANA, J.D.: Manual of Geology. – 2<sup>nd</sup> ed. 1875.
- DANA, J.D.: On some Results of the Earth's Contraction from Cooling. – American Journal of Science and Arts, 1873, 3. Ser., Vol IV + V.

- DARWIN, Ch.: Journal of Researches into the Geology and Natural-History of the Various Countries visited by H.M.S. Beagle. – In: The Works of Charles Darwin, ed. by R.H. BARRET & R.B. FREEMAN, Vol. 3, London 1986.
- DARWIN, Ch.: Reise eines Naturforschers um die Welt. Übers. v. J.V. CARUS. – Stuttgart 1875.
- DARWIN, Ch.: On the Connexion of certain Volcanic Phenomena in South America; and on the Formation of Mountain Chains and Volcanos, as the Effect of the same Power by which Continents are elevated. – Transactions of the Geol. Society of London, 2. Ser. V., 601–631, London 1840.
- DARWIN, Ch.: Über den Zusammenhang gewisser vulcanischer Erscheinungen in Südamerika, und über die Bildung von Bergketten und Vulcanen, als Wirkung derselben Kraft, durch welche Continente gehoben werden. – In: Ges. Werke, übers. von G. CARUS, 12. Bd. 2. Abt., Stuttgart 1878.
- DAVISON, Ch.: The Founders of Seismology. – Cambridge 1927.
- DAVY, H.: Consolations in travel, or the last days of a philosopher. – 5. Ed., London 1851.
- DE BYLANDT PALSTERCAMP, A.: Théorie des Volcans. – 3 vols., Paris 1835.
- DE HAUTE-FEUILLE, J.: Moyen de faire des Observations sur les Tremblements de Terre & de les pouvoir prédire. – Paris 1703.
- DE LUC, J.A.: Lettres physiques et morales sur l'histoire des Tremblements de Terre de la Reine de la Grande-Bretagne. – Tomes V, à la HAYE 1779.
- DESCARTES, R.: Principia Philosophiae. – Amsterdam 1644.
- DIELS, H.: Die Fragmente der Vorsokratiker. – 8. Aufl., Berlin 1956.
- DÜCK, J.: Die Stellung ALEXANDER VON HUMBOLDS zur Lehre von den Erdbeben. – In: Die Erdbebenwarte, 3–4, 59–68, Laibach 1903–1905.
- DUTTON, C.E.: On some of the greater problems of physical geology. – Bull. Phil. Soc. (Wash.), 11, Washington 1892.
- EHLERT, R.: Zusammenstellung, Erläuterung und kritische Beurteilung der wichtigsten Seismometer mit besonderer Berücksichtigung ihrer praktischen Verwendbarkeit. – In: Gerlands Beiträge zur Geophysik, Bd. III, 351–475.
- EISINGER, U., GUTDEUTSCH, R. & HAMMERL, Ch.: Historical Earthquake Research – An Example of Interdisciplinary Cooperation between Geophysicists and Historians. – In: GUTDEUTSCH, R., GRÜNTAL, G. & MUSSON, R. (Eds.): Historical Earthquakes in Central Europe, Vol. I. – Abh. Geol. B.-A, 48, Wien 1992.
- ELIE DE BEAUMONT: Zweiter geologischer Brief an ALEXANDER VON HUMBOLDT. – In: Poggendorff's Annalen, XXV, 1–58.
- EULER, L.: Determinatio omnium motuum, quos chorda tensa et uniformiter crassa recipere potest. – Acta Petrop. pro anno 1779, Petropoli 1783.
- EULERS Briefe an eine deutsche Prinzessin über verschiedene Gegenstände der Physik und Philosophie. – Stuttgart 1847.
- EVEREST, G.: An account of the measurement of an arc of the meridian between the parallels 18°03' and 24°07'. – London 1830.
- FALB, R.: Grundzüge einer Theorie der Erdbeben und Vulkanausbrüche. – Graz 1869.
- FALB, R.: Über Erdbeben. – Wien, Pest, Leipzig 1895.
- FALB, R.: Von den Umwälzungen im Weltall. Drei Bücher: In den Regionen der Sterne – Im Reich der Wolken – In den Tiefen der Erde. – Wien 1881.
- FERRARI, G. (ed): Two hundred years of seismic instruments in Italy 1731–1940. – Bologna (SG Storia – Geofisica – Ambiente) 1992.
- FISCHER, J.C.: Physikalisches Wörterbuch. – Göttingen 1799.
- FOREL, F.A.: Le Léman. – 2 vol., Lausanne 1892–96.
- FOUQUÉ, F.: Santorin et ses éruptions. – Paris 1879.
- FRANKLIN, B.: Conjectures concerning the Formation of the Earth. – Transact. of the American Philosophical Society, held at Philadelphia, Vol. III, num. I, 1793.
- GALILEI, G.: Opere. – Milano 1811.
- GANOT, A.: Cours de physique. – Quatrième édition, Paris 1868.
- GAY-LUSSAC, L.J.: Reflexions sur les Volcans. – In: Annales de Chimie et de Physique, T. XXII, 419–426.
- GERLAND, G.: Die Kaiserliche Hauptstation für Erdbebenforschung und die moderne Seismologie. – Gerlands Beiträge zur Geophysik, IV. Bd.
- GIEBEL, C.: Beobachtungen über das Erdbeben am 6. März in und um Halle. – Zeitschr. f. ges. Naturwiss., 39 (1872), 228–243.
- GILBERT, G.K.: Report on the Geology of Henry-Mountains. – Washington 1877.
- GOETHE, J.W. VON: Naturwissenschaftliche Abhandlungen. Mineralogie und Geologie. – In: Sämtliche Werke, Bd. 33, Hrsg. von K. GOEDEKE, Stuttgart o.J.
- GREBE, L.: Beiträge zur Kenntniss der Erderschütterung vom 6. März 1872. – Cassel 1872.
- GRÜNTAL, G.: The Central German Earthquake of March 6, 1872. – In: GUTDEUTSCH, R., GRÜNTAL, G. & MUSSON, R. (Eds.): Historical Earthquakes in Central Europe, Vol. I. – Abh. Geol. B.-A, 48, 54–109, Wien 1992.
- GUENTHER, S.: Die Entwicklung der Lehre vom gasförmigen Inneren der Erde. – J.G.G.M. XIV.
- GUENTHER, S.: Handbuch der Geophysik. – 1. Bd., Stuttgart 1897.
- GUILLEMIN, A.: Les phénomènes de la physique. – Paris 1868.
- GUTDEUTSCH, R., HAMMERL, Ch., MAIER, I. & VOELKA, K.: Erdbeben als historisches Ereignis. – Berlin – Heidelberg – New York 1987.
- HALLEY, W.: Account of the late surprizing appearance of lights in the air. – Philosophical Transactions, XXIV (for 1714–1716), No. 347.
- HALLEY, W.: On the structure of the internal parts of the Earth and the concave habitated arch of the shell. – Philosophical Transactions, XVII (for 1693).
- HAMMERL, Ch. & LENHARDT, W.: Erdbeben in Österreich. – Graz 1997.
- HEIM, A.: Untersuchungen über den Mechanismus der Gebirgsbildung im Anschluss an die geologische Monographie der Tödi-Windgällen-Gruppe. – Bd. II, Basel 1878.
- HERSCHEL, J.: Letter to Ch. Lyell, Fredhausen 20. Febr. 1836. – Proceed. geol. Soc., II, 1838, 548–569.
- HERSCHEL, J.: Treatise on Astronomy. – London 1833.
- HOBBS, W.H. & RUSKA, J.: Erdbeben. Eine Einführung in die Erdbebenkunde. – Leipzig 1910.
- HOERNES, R.: Die Erdbebenlehre Rudolf Falbs und ihre wissenschaftliche Grundlage. – Wien 1881.
- HOERNES, R.: Erdbebenkunde. Die Erscheinungen und Ursachen der Erdbeben, die Methoden ihrer Beobachtung. – Leipzig 1893.
- HÖLDER, H.: Kurze Geschichte der Geologie und Paläontologie. – Berlin 1989.
- HOOKE, R.: Posthumous Works. – London 1705.
- HOPKINS, W.: Report to the British Association on the Geological Theories of Elevation and Earthquakes. – 1847.
- HOPKINS, W.: Researches in Physical Geology. – Philosophical Magazine, VIII.
- HUMBOLDT, A. VON: Mineralogische Beobachtungen über einige Basalte am Rhein. – Braunschweig 1790.
- HUMBOLDT, A. VON: Über die einfache Vorrichtung, durch welche sich Menschen stundenlang in irrespirablen Gasarten, ohne Nachtheil der Gesundheit und mit brennenden Lichtern aufhalten können; oder vorläufige Anzeige einer Rettungsflasche und eines Lichterhalters. – In: Chem. Ann., 2, 1796.
- HUMBOLDT, A. VON: Über die unterirdischen Gasarten und die Mittel ihren Nachtheil zu vermindern. Ein Beytrag zur Physik der praktischen Bergbaukunde. Mit einer Vorrede Wilhelm v. Humboldts. – Braunschweig 1799.
- HUMBOLDT, A. VON: Kosmos. Entwurf einer physischen Weltbeschreibung. – 4 Bde., Stuttgart und Augsburg 1845–1858.
- HUMBOLDT, A. VON: Über Bau und Wirkungsart der Vulkane. – In: Ansichten der Natur, Stuttgart und Augsburg 1860.
- HUMBOLDT, A. VON: Reise in die Aequinoktial-Gegenden des neuen Continents. – Bd. 1, 2, Stuttgart o.J.
- JACOBI, J.F.: Sammlung einiger Erfahrungen und Muthmaßungen von Erdbeben. – In: Nützliche Sammlungen, 15.–18. Stück, 225–288, Hannover 1756. – In: BREIDERT, W. (Ed.): Die Erschütterung der vollkommenen Welt, 160–185, 1994.
- JAMESON, R.: Elements of Geognosy. – 1808.
- JESSEN: Kongerit Norge fremstillet efter dets naturlige og borgerlige Tilstand. – Kjöbenh. 1763.
- KANT, I.: Von den Ursachen der Erderschütterungen bei der Gelegenheit des Unglücks, welches die westlichen Länder von Europa gegen das Ende des vorigen Jahres getroffen hat. – In: KANTS Werke, Akademie Textausgabe I, 417–428, Berlin 1968.
- KANT, I.: Geschichte und Naturbeschreibung der merkwürdigsten Vorfälle des Erdbebens, welches an dem Ende des 1755sten Jahres einen großen Theil der Erde erschüttert hat, 1756. – In: KANTS Werke, Akademie Textausgabe I, S 429–462, Berlin 1968.
- KANT, I.: Fortgesetzte Betrachtung der seit einiger Zeit wahrgenommenen Erderschütterungen. – In: KANTS Werke, Akademie Textausgabe I, S 463–472, Berlin 1968.

- KANT, I.: Über die Vulkane der Monde. – In: KANTS Werke, Akademie-Textausgabe VIII, Berlin 1968.
- KIRCHER, A.: Mundus subterraneus. – Amsterdam 1664.
- KIRCHER, A.: Mundus subterraneus. – 3. ed., 2 vol., Amsterdam 1678.
- KLENCKE, H.: Alexander von Humboldt's Leben und Wirken, Reisen und Wissen. – 6. Aufl., Leipzig 1870.
- KNOTT, C.G.: Earthquakes and Earthquakes Sounds as Illustrations of the General Theory of Elastic Vibrations. – Transact. of the Seismolog. Soc. of Japan., **XII**, 1888.
- KREIL, K.: Über einen neuen Erdbebenmesser. – Sitzungsberichte der Kais. Akademie der Wissenschaften, **XV**, 370–371, Wien 1855.
- KRÜGER, J.G.: Der Weltweisheit und Arzneygelahrtheit Doctors und Professors auf der Königl. Preußischen Friedrich Universität Geschichte der Erde in den allerältesten Zeiten. – Halle 1746.
- KRÜGER, J.G.: Gedanken von den Ursachen des Erdbebens, nebst einer moralischen Betrachtung. Helmstedt 1756. – In: BREIDERT, W. (Hrsg.). Die Erschütterung der vollkommenen Welt, Darmstadt 1994.
- LAGRANGE, J.L.: Recherches sur la nature et la Propagation du Son. – Miscelana Taurinensia, tom. 1, 1759.
- LAHERNER, A.: Zur Frage von der Natur der Erdbebenwellen. – Die Erdbebenwarte, **11/12**.
- LAPLACE, P.S.: Mécanique Céleste. – Paris 1825.
- LAPLACE, P.S.: Exposition du Système du Monde. – Paris 1824.
- LASAULX, A.v.: Das Erdbeben von Herzogenrath am 22. Oktober 1873. – Bonn 1874.
- LASAULX, A.v.: Die Erdbeben. – In: KENNGOTTS Handwörterbuch der Mineralogie, I. Bd.
- LEIBNITZ, G.G.: Opera Omnia ed L. DUTENS. – Tom.II. Genf 1768.
- LEMERY: Physische und chymische Erklärung der unterirdischen Feuer, der Erdbeben, Stürme, des Blitzes und Donners. – In: Physische Abhandlungen, erster Theil, Königl. Akademie der Wissenschaften in Paris, Breslau 1748.
- LEPSIUS: Über ein neues Quecksilber-Seismometer. – Zeitschr. d. D. Geol. Ges., **36**, 1884.
- LICHTENBERG-GAMAUF: Erinnerungen an Vorlesungen über physische Geographie. – Wien 1818.
- LOCHER: Disquisitiones mathematicae de controversiis et novitatibus astronomicis. – Ingolstadt 1614.
- LYELL, CH.: Principles of Geology. – The third Edition in four Volumes, London 1834.
- LYSTER, M.: Of the Nature of Earth-quakes. More particularly of the Origin of the matter of them, from the Pyrites alone. – In: Phil. Trans., **157**, March 20, 1683.
- MACGILLIVRAY, W.: Alexander von Humboldt's Reisen und Forschungen. – Leipzig 1822.
- MAFFEI, P.: Historiarum Indicarum Libri XVI. Selectorum, item, ex India Epistolarum, eodem interprete, Libri IV. – Coloniae Agrippinae 1593.
- MAILLET, B. DE: Telliamed ou entretiens d'un philosophe Indien avec un Missionnaire françois sur la diminuation de la mer. – Nouvel edit à la Haye 1755.
- MALLET, R.: On the Dynamics of Earthquakes; being an Attempt to reduce their observed Phenomena to the known Laws of Wave Motion in Solids and Fluids. – In: Transactions of the Royal Irish Academy, **XXI**, 1848, 53–57.
- MALLET, R.: On Earthquake Phaenomena. – In: Admiralty Manual of Scientific Enquiry for the use of the British Navy 1849, 129–223.
- MALLET, R.: First Report on the Facts of Earthquake Phaenomena. – In: Report of the meeting of the British Association for the advancement of Science, held at Edinburgh in 1850, 1–89, London 1851.
- MALLET, R.: Second Report on the Facts of Earthquake Phaenomena. – In: Report of the meeting of the British Association for the advancement of Science, held at Ipswich in 1851, 272–320, London 1852.
- MALLET, R.: Third Report on the Facts of Earthquake Phaenomena. Catalogue of recorded Earthquakes from 1606. B.V. to A.D. 1850. – In: Report of the Twenty-Second Meeting of the British Association for the Advancement of Science. Held at Belfast in Sept. 1852, 1–326, London 1853.
- MALLET, R.: Fourth Report upon the Facts and Theories of Earthquake Phaenomena. – In: Report of the meeting of the British Association for the advancement of Science, held at Leeds in 1858, London 1859.
- MALLET, R.: Great Neapolitan Earthquake of 1857. The First Principles of Observational Seismology. – 2 vols. London 1862.
- MALLET, R.: Volcanic Energy. – Philos. Transact., **163**, Part I, 147–227, 1874.
- MALLET, R.: Ueber Erdbeben und die Beobachtung der dabei vorkommenden Erscheinungen. Mit Erlaubnis des Verfassers deutsch bearbeitet von Ludwig Heinrich JEITTELES. – In: Programm des K.K. Kathol. Staatsgymnasiums in Kaschau für das Schuljahr 1860.
- MARENZI, F.: Fragmente über die Geologie oder die Einsturzhypothese. – 5. Aufl., Triest 1875.
- MASON, S.F.: A History of the Sciences. – London 1953.
- MATHER, K.F. & MASON, S.F.: A Source Book in Geology 1400–1900. – Cambridge, Mass., 1939.
- MAYER, T.: Versuch einer Erklärung des Erdbebens. – In: Nützliche Sammlungen [= Hannoverische gelehrte Anzeigen], 19. Stück, 5. Martius 1756, Sp. 289–296. – Neudruck in: BREIDERT, W. (Hrsg.): Die Erschütterung der vollkommenen Welt, Darmstadt 1994.
- MEGENBURG, K. von: Das Buch der Natur 1349. – Hrsg. von F. PFEIFFER, Stuttgart 1861.
- MICHELL, J.: The Nature and Origin of Earthquakes. – Phil. Transactions, **LI**, London 1760.
- MILNE, J.: Clinometric Experiments. – Experiments with a Vertical Spring Seismograph. – On the Nature of Earthquake Movement as recorded at a great Distance from its Origin, VII. Rep.
- MILNE, J.: Investigation of the Earthquake and Volcanic Phenomena of Japan. – Report etc. British Assoc. for the Adv. of Science., 1895.
- MILNE, J.: On a Seismic Survey made in Tokyo in 1884 a. 1885. – Trans. Seism. Soc., **X**, 1887.
- MILNE, J.: Report of the Committee appointed etc. – Rep. Brit. Assoc. 1881.
- MILNE, J.: Earthquakes and other Earth Movements. – London 1886.
- MIRABELLUS, D.N.: Florilegium magni seu Polyanthaeae floribus novissimus sparsae, libri XX. Jam olim a Domenico Nano Mirabellio, Bartholomaeo Amantio, Francisco Tortio, ex Auctoribus cum sacris, tum profanis vetustioribus et recentioribus, collectum. Studio dehinc et opera Jephi Langii Argentorati 1645.
- MIRANDOLA, G.F.: Pico della: Examen vanitatis doctrinae gentium et veritatis christianae disciplinae. – In: Opera, Basel 1573.
- MOHR, B.: Geschichte der Erde. – Bonn 1875.
- MORO: De' crostacei e degli altri marini corpi, che si trovano su monti. – Libri due in Venez. 1740.
- MÜNSTER, S.: Cosmographia universa. – Basel 1550.
- NECKER, A.: On a probable Cause of certain Earthquakes. – The London and Edinburgh Philosophical Magazine and Journal of Science, **14**, 1839.
- NEUMANN, JACOBS, TITTEL: Erdbeben. – Leipzig 1986.
- NEWTON, I.: Principia Mathematica Philosophiae Naturalis. – Th. LESEUR & F. JAQUIER (ed.): Vol 3, Genf 1740.
- NÖGGERATH, Th.J.: Die Erdbeben im Visphtale. – Besonderer Abdruck für Freunde des Verfassers aus Nr. 282–286 der Köln. Ztg. von 1855.
- NÖGGERATH, Th.J.: Das Erdbeben vom 29. Juli 1846, im Rheingebiet und den benachbarten Ländern. – Bonn 1847.
- NÖGGERATH, Th.J.: Geognosie und Geologie. – In: Die gesammten Naturwissenschaften. 3. Aufl., Bd. III, Essen.
- OESER, E.: Kepler. Die Entstehung der neuzeitlichen Wissenschaft. – Göttingen, Zürich, Frankfurt 1971.
- OESER, E.: System, Klassifikation, Evolution. Historische Analyse und Rekonstruktion der wissenschaftstheoretischen Grundlagen der Biologie. – Wien – Stuttgart (Braumüller) 1974, 2. Aufl. 1995.
- OESER, E.: Wissenschaftstheorie als Rekonstruktion der Wissenschaftsgeschichte, Bd. 1: Metrisierung, Hypothesenbildung, Theoriendynamik; Bd. 2: Experiment, Erklärung, Prognose. – Oldenbourg – Wien – München 1979.
- OESER, E.: Historical Earthquake Theories from Aristotle to Kant – In: GUTDEUTSCH, R., GRÜNTAL, G. & MUSSON, R. (Eds.): Historical Earthquakes in Central Europe, Vol. I. – Abh. Geol. B.-A, **48**, Wien 1992.
- OESER, E.: The paradigm shift in the theory of earthquakes: From Humboldt to Mallet. – In: CASTELLI, V. (ed.): Papers and Memoranda from the first workshop of the ESC working group „Historical seismology“, Macerata, Italy, 2000.
- OMORI, F.: On the Nature of the long-period Undulations of Earthquakes. – Publications of the Earthquake Investigation Committee in Foreign Languages, Nr. 5, Tokyo 1901.

- PALLAS, P.S.: Betrachtungen über die Beschaffenheit der Gebürge und Veränderungen der Erdkugel, besonders in Beziehung auf das Rußische Reich. – Frankfurt und Leipzig 1778.
- PERREY, A.: Catalogue of 1,837 works devoted to Seismology. – In: Mémoires de l'Académie Imp. de Dijon, vols. **XIV** and **XV**, 2<sup>nd</sup> Series, 1855–56.
- PERREY, A.: Propositions sur les tremblements de terre et les volcans. – Paris 1863.
- PILAR, G.: Grundzüge der Abyssodynamik. Zugleich ein Beitrag zu der durch das Agramer Erdbeben vom 9. November 1880 neu angeregten Erdbebenfrage. – Agram 1881.
- PLAYFAIR: Illustrations of the Huttonian theory of the Earth. – Edinburgh 1802.
- PLINIUS: *Historiae naturalis Libri XXXVII quos interpretatione et notis illustravit Joannes Harduinus.* – Tom. I/II, Paris 1741.
- PLUCHE, ABBÉ: *Spectacle de la nature à la Haye* 1738.
- POISSON, S.D.: Sur l'équilibre et le mouvement des corps solides élastiques. – Mem. in Acad. de Paris, **VIII**, 1829.
- POPPER, K.R.: Objektive Erkenntnis. – Hamburg 1973.
- POULETT-SCROPE, G.: *On Volcanoes.* – London 1825.
- PRATT, J.H.: On the attraction of the Himalaya Mountains, and of the elevated regions beyond them, upon the Plumb-line in India. – Phil. Trans. Roy. Soc. London, **145**, 53–100, London 1855.
- PRATT, J.H.: On the constitution of the solid crust of earth. – Phil. Trans. Roy. Soc. London, **161**, 335–357, London 1872.
- PRATT, J.H.: On the deflection of the Plumb-line in India, caused by the attraction of the Himalaya Mountains and of the elevated regions beyond, and its modification by the compensating effect of a deficiency of matter below the mountain mass. – Phil. Trans. Roy. Soc. London, **149**, 745–778, London 1860.
- RAY, J.: Physico-theological discourses concerning the primitive chaos, the general deluge and the dissolution of the world. – London 1692.
- REBEUR-PASCHWITZ, E.v.: Europäische Beobachtungen des großen japanischen Erdbebens. – In: Petermanns Mitteilungen 1895.
- REBEUR-PASCHWITZ, E.v.: Horizontalpendelbeobachtungen etc. zu Straßburg 1892–1894. – Beiträge zur Geophysik II, 1995.
- REYER, E.: Beitrag zur Physik der Eruptionen und Eruptivgesteine. – 1877.
- RUDZKI, M.P.: Über die scheinbare Geschwindigkeit der Erdbeben. I. Studie aus der Theorie der Erdbeben. – In: Gerlands Beiträge zur Geophysik, **III**, 495–518, Leipzig 1898.
- SAPPER, K.: Die Erforschung der Erdrinde. – In: KRAEMER, H. (Hrsg.): *Weltall und Menschheit*, Vol. 1, Berlin, Leipzig 1902.
- SCHEUCHZER, J.: *Histoire de l'Académie Royale des Sciences.* Année 1708. – Amsterdam 1709.
- SCHIFFMANN, K. (Hrsg.): Die Annalen (1590–1622) des Wolfgang Lindner. – In: Archiv für die Geschichte der Diözese Linz, Beilage zum Linzer Diözesenblatt, hrsg. vom bischöflichen Ordinariat, Jg. VI/VII (Linz 1908) 9/10.
- SCHLÜTER, W.: Schwingungsart und Weg der Erdbebenwellen. – In: Gerlands Beiträge zur Geophysik, **V**, 314–359, 401–466.
- SCHMIDT, A.: Wellenbewegung und Erdbeben. Ein Beitrag zur Dynamik der Erdbeben. – Jahreshft 1888 des Vereins für vaterländische Naturkunde in Württemberg, 249–270.
- SCHMIDT, J.: Studien über Erdbeben. – Leipzig 1879.
- SCHULTE, K.: Über eine Erdbeben-theorie Martin Listers aus dem Jahre 1684. – 18<sup>th</sup> International Congress of the History of Science, Hamburg – Munich 1988.
- SEEBACH, K. v.: Vorläufige Mitteilung über die typischen Verschiedenheiten im Bau der Vulkane und deren Ursachen. – Z. deutsch. Geol. Ges., **XVIII**.
- SEEBACH, K.v.: Das mitteldeutsche Erdbeben vom 6. März 1872. – Leipzig 1873.
- SEKIYA, S. & OMORI, F.: Comparison of Earthquake Measurement in a Pit and on the Surface Ground. – Trans. Seism. Soc., **XIV**, 1892.
- SENECA: *Quaestiones naturalium Liber VI.* – In: Opera omnia ab ANDREA SCHOTTO (Genevae 1665), Tom. I, 752–776.
- SIEBERG, A.: Handbuch der Erdbebenkunde. – Braunschweig 1904.
- SILBERSCHLAG, J.E.: Geogenie oder Erklärung der mosaïschen Erdbeschaffung nach physikalischen und mathematischen Grundsätzen. – 3 Teile, Berlin 1780–1783.
- SPENCER, H.: The form of the Earth no Proof of original Fluidity, P.M. (3) XXX.
- STENO, N.: De solido inter solidum naturaliter contento. – Florenz 1669.
- STRASSER, G.: Hundert Jahre Prattsche Theorie? – Dtsch. Geod. Komm., Wissenschaftlicher Übersetzungsdienst, **11**, München 1956.
- STUKELEY, W.: On the causes of Earthquakes. – In: Phil. transact, **XLVI**, n. 491, 641–646.
- Suess, E.: Die Erdbeben des südlichen Italien. – Denkschrift d. K. Akademie der Wissenschaft zu Wien, math.-naturw. Kl., **XXXIV**, 1–32, Wien 1872.
- Suess, E.: Die Erdbeben Niederösterreichs. – Denkschrift d. K. Akademie der Wissenschaft zu Wien, math.-naturw. Kl., **XXXIII**, 1–38, Wien 1873.
- Suess, E.: Die Entstehung der Alpen. – Wien 1875.
- Suess, E.: Das Antlitz der Erde. – 3 Bde., Prag – Leipzig – Wien 1885–1901.
- Suess, E.: Das Erdbeben von Laibach am 14. April 1895. – Jb. k.k. Geol. R.-A., **46/3**, 586–599, Wien 1896.
- SUPPAN, A.: Grundzüge der physischen Erdkruste. – 6. Aufl. Berlin und Leipzig 1921.
- TRAVAGINI, F.: Super observationibus a se partis, tempore ultimorum terraemotuum, ac potissimum Ragusiani: Physica disquisitio, seu giri terrae diurni indicium. – Lug. Bat. 1679.
- URBANITZKY, A. Ritter v.: Die Elektrizität des Himmels und der Erde. – Wien – Pest – Leipzig 1888.
- VARRENIUS, B.: *Geographia generalis.* – Neapoli 1715.
- VERNE, J.: *Voyage au centre de la terre.* – Paris 1864.
- VICENTINI, G.: Intorno ad alcuni fatti risultanti da Osservazione microsimiche. – Atti e Memor. R. Acc. di sc. litt. e arti Padua, 12 gen., 1896, Vol XII.
- VOLGER, O.: Untersuchungen über das Phänomen der Erdbeben in der Schweiz, seine Geschichte, seine Äusserungsweise, seinen Zusammenhang mit anderen Phänomenen und mit den petrographischen und geotektonischen Verhältnissen des Boden und seine Bedeutung für die Physiologie des Erdorganismus. Dritter Teil: Die Erdbeben in Wallis. – Gotha 1858.
- WEBER, E.H. & WEBER, W.: Wellenlehre auf Experimente gegründet oder über die Wellen tropfbarer Flüssigkeiten mit Anwendung auf die Schall- und Lichtwellen. Leipzig 1825. – In: Wilhelm Weber's Werke, hrsg. von der Königl. Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen, 5. Bd., Berlin 1893.
- WERNER, A.G.: Kurze Klassifikation und Beschreibung der Gebirgsarten. – Dresden 1787.
- WERNER, A.G.: Versuch über die Entstehung der Vulkane durch die Entzündung mäßiger Steinkohlenflöze als Beitrag zur Geschichte des Basalts, H.M. IV.
- WERTHEIM, G.: Memoire sur la propagation du mouvement dans les corps solides et dans les liquides. – In: Annales de Chimie et Physique, série 3, **XXXI**.
- WHISTON, W.: *New Theory of the Earth.* – London 1696.
- WILSDORF, H.: Zu den wissenschaftstheoretischen Darlegungen über Metalle und Metallogenese bei Aristoteles. – In: IRMSCHER & MÜLLER, R. (Hrsg.): *Aristoteles als Wissenschaftstheoretiker*, Berlin (Akademie-Verlag) 1983.
- WOODWARD, J.: *Historia naturalis telluris.* – London 1695.
- WOODWARD, J.: *Essay towards a natural history of the earth and terrestrial bodies.* – London 1733.
- ZIMMERMANN, W.A.F.: Der Erdball und seine Naturwunder. – Populäres Handbuch der Physischen Geographie. 3. Bd., 1. Abt.: Die feste Erdrinde. – Berlin 1865.
- ZURCHER & MARGOLLE: *Volcans et tremblements de terre.* – Paris 1872.