



Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000294729



Nd 10

ERDBEBENKUNDE.

DIE ERSCHEINUNGEN UND URSACHEN
DER ERDBEBEN, DIE METHODEN IHRER BEOBACHTUNG.

VON

DR. RUDOLF HOERNES,

O. Ö. PROFESSOR DER GEOLOGIE UND PALAEOLOGIE AN DER UNIVERSITÄT GRAZ.

MIT ZAHLREICHEN ABBILDUNGEN UND KARTEN IM TEXT
NEBST ZWEI TAFELN.



L. L. 2174.

*L. Bibl.
Ek. 93.*



LEIPZIG,

VERLAG VON VEIT & COMP.

1893.

Das Recht der Herausgabe von Uebersetzungen vorbehalten.

II 5252



Druck von Metzger & Wittig in Leipzig.

Akt. Nr.

4696/50

Vorwort.

Als ich es unternahm, eine „Erdbebenkunde“ zu schreiben, hatte ich wohl einige Vorstellung von der Schwierigkeit meines Beginnens. Hatte ich doch durch meine frühere Beschäftigung mit dem Gegenstand vielfach Gelegenheit, mich davon zu überzeugen, dass zwar schon sehr viel über Erdbeben geschrieben worden ist, ohne dass doch die bisherigen Ergebnisse der Erdbebenforschung allseitig befriedigen konnten. Immerhin muss ich gestehen, dass ich die Schwierigkeiten meines Unternehmens eher zu gering als zu hoch anschlug.

Ein grosser Theil der bisherigen Erdbeben-Litteratur bildet lediglich eine Sammlung unbewiesener und theilweise auch höchst unwahrscheinlicher Hypothesen, zu deren Stütze die betreffenden Autoren Beobachtungen nur in ungenügender oder nicht entsprechender Weise herangezogen haben. Es konnte nicht meine Aufgabe sein, alle diese Hypothesen eingehend zu würdigen oder gar zu widerlegen. Ich musste mich darauf beschränken, Erdbeben-theorien wie jene MARENZI's und FALB's in der Einleitung, welche einen historischen Ueberblick der Entwicklung der Erdbebenkunde geben soll, flüchtig zu erwähnen. Hingegen glaubte ich mich verpflichtet, der VOLGER'schen Einsturztheorie, welche nur durch die allzuweite Ausdehnung discretirt wurde, in der sie zur Erklärung von durch andere Ursachen hervorgerufenen Erdbeben herangezogen wurde, insoweit gerecht zu werden, als ihre beschränkte Geltung anerkannt und ausführlich die Gründe erörtert wurden, aus welchen jene allzuweite Ausdehnung der Einsturztheorie nicht gebilligt werden kann.

Das Hauptgewicht meiner Ausführungen habe ich auf die Beobachtung der Erdbeben gelegt. Es ist in dieser Hinsicht in den letzten Decennien bereits viel geschehen, doch lässt sich nicht leugnen, dass hier noch sehr viel zu thun übrig bleibt. Eine Fülle von Erscheinungen ist bei verschiedenen Beben in genauerer oder ungenauerer Weise wahrgenommen und dementsprechend auch auf verschiedene Art erklärt worden.

Es ist nothwendig, die Erdbebenerscheinungen selbst genauer kennen zu lernen, die Wege, die hiezu einzuschlagen sind, haben uns die Arbeiten der seismologischen Gesellschaft in Japan, der schweizerischen Erdbeben-Commission und einiger ähnlichen Institutionen gezeigt. Auf der anderen Seite können die Erdbeben nur dann ihre Erklärung finden, wenn die durch möglichst genaue Beobachtungen gewonnenen Ergebnisse mit den geologischen Verhältnissen der betreffenden Gegenden zusammengehalten werden. Wir vermögen dann den Zusammenhang des geologischen Baues einer als „habituelles Stossgebiet“ sich auszeichnenden Gegend und der Erderschütterungen zu erkennen. Die Arbeiten von SUESS über die Beben Unteritaliens und Niederösterreichs, von H. CREDNER über jene des Erzgebirges und des Vogtlandes, von BITTNER über das Beben von Belluno 1873, von WÄHNER über jenes von Agram 1880, die Abhandlung der Mission d'Andalousie über die Erschütterung vom 25. December 1884 und andere ähnliche Untersuchungen lassen klar den inneren Zusammenhang zwischen den Vorgängen der Gebirgsbildung und jenen Erdbeben erkennen, welche ich in einer früheren Studie als „tektonische Erdbeben“ bezeichnete, und für welche TOULA den Namen „Dislocationsbeben“ vorschlug.

So erkennen wir heute mit Sicherheit die Erderschütterungen als Phänomene, welche durch verschiedene Ursachen herbeigeführt werden und unterscheiden neben den selteneren Einsturz-Erdbeben und den überaus häufigen tektonischen Erschütterungen die vulkanischen Beben, welche auf die unmittelbare Umgebung thätiger oder anscheinend erloschener Krater beschränkt zu sein pflegen.

Aber der Erdbebenforschung öffnet sich noch ein weites Feld der Thätigkeit. Die erwähnten verschiedenartigen Ursachen der einzelnen Beben müssen durch sorgfältige Untersuchungen sichergestellt werden. So viel auch auf diesem Gebiete schon geleistet sein mag, es ist doch erst der Anfang zielbewusster, planmässiger Forschung gemacht worden. Manche Zweige der Erdbebenkunde befinden sich noch in sehr wenig entwickeltem Zustand. Die Lücken des vorliegenden Buches mögen dies deutlich erkennen lassen.

Es war ursprünglich geplant, in weiteren selbstständigen Abschnitten einige besondere Erdbebenerscheinungen sowie die Beziehungen der Erderschütterungen zu kosmischen Ursachen eingehend zu behandeln. Den Seebeben hätte ebenso ein besonderer Abschnitt gewidmet werden sollen, wie den mikroseismischen Bewegungen. Es wurde davon bezüglich der

Seebeben Abstand genommen, weil die hierher gehörigen Phänomene abgesehen von den, an verschiedenen Stellen des vorliegenden Buches erörterten seismischen Ursachen auch durch vulkanische Explosionen oder Bewegungen der Atmosphäre in so ähnlicher Weise herbeigeführt werden, dass die ausführliche Erörterung der Seebeben weit über den Rahmen einer Erdbebenkunde hätte hinausgreifen müssen. Ebenso habe ich auf die eingehende Besprechung der mikroseismischen Bewegungen verzichtet, weil dieselben grossentheils nicht in die Kategorie der eigentlichen, endogenen Erschütterungen der Erde gehören, sondern ihre Erklärung in Bewegungen der Atmosphäre finden, ihre Discussion sonach eher als Aufgabe der Meteorologie zu bezeichnen ist. Die Beziehungen der seismischen Erscheinungen zu kosmischen Vorgängen habe ich aus doppelter Ursache nur flüchtig besprochen, ohne sie eingehend zu erörtern. Was bisher über diese Beziehungen vorgebracht worden ist, besteht hauptsächlich aus haltlosen Hypothesen, mit deren Erörterung ich das vorliegende Buch um so weniger belasten wollte, als ich ohnedies in einer früheren Veröffentlichung jene Hypothese, welche am meisten Aufsehen erregt hat, nämlich die PERREY-FALB'sche von der Veranlassung der Erdbeben durch Fluthconstellationen, eingehend zu widerlegen versuchte. Ein weiterer Grund, weshalb ich davon absehen musste, die Beziehungen der Erdbeben zu kosmischen Verhältnissen in einem eigenen Abschnitte ausführlicher zu besprechen, ist in dem Umstande zu suchen, dass diese Erörterung nur an der Hand eines ziemlich umfangreichen statistischen Materials hätte erfolgen können und auch dann nur sehr bescheidene Resultate zu Tage gefördert hätte. Alles, was sich derzeit in dieser Richtung sagen lässt, ist die Constatirung der über jeden Zweifel erhabenen Thatsache, dass zur Zeit der Sonnennähe eine merklich grössere Anzahl von Erderschütterungen stattfindet als zur Zeit der Sonnenferne. Der Einfluss des Mondes aber ist viel zu gering, um sich in einer wesentlichen Verschiebung der Häufigkeitsverhältnisse oder der Intensitätsgrade der seismischen Erscheinungen zu äussern. Dies geht aber schon aus den Erdbebencatalogen PERREY's hervor, deren Ergebnisse kaum eine andere Deutung zulassen. Es mag übrigens das Beobachtungsmaterial derzeit noch unzulänglich sein, um den Werth dieser oder anderer Beziehungen klar erkennen zu lassen. Es ist aber aller Grund zu der Annahme vorhanden, dass binnen wenigen Decennien wenigstens für eine Anzahl von Ländern ein so umfassendes Material an Erdbebenbeobachtungen vorliegen wird, dass man mit ganz anderen Aussichten an die Aufgabe wird herantreten können, die Ergeb-

nisse sorgfältiger statistischer Zusammenstellungen zur Basis weiterer mittelst der Wahrscheinlichkeitsrechnung anzustellender Untersuchungen zu machen. Es ist aber zu vermuthen, dass diese Untersuchungen ähnliche Resultate ergeben werden, wie die Anwendung der Wahrscheinlichkeitsrechnung auf die so oft behauptete Beeinflussung meteorologischer Vorgänge durch die Phasen des Mondes.

Indem ich auf diese Lücken der Darstellung als auf Mängel hinweise, welche eben in dem gegenwärtigen Entwicklungszustand der als Wissenschaft noch sehr jugendlichen Erdbebenkunde begründet sind, gebe ich der Hoffnung Ausdruck, dass das vorliegende Buch sonst in der Wiedergabe der derzeitigen Kenntniss von den Erdbeben nicht allzu mangelhaft befunden werden möge. In diesem Sinne empfehle ich meine Arbeit dem wohlwollenden und nachsichtigen Urtheil des Lesers.

Es erübrigt mir noch, meinen Herren Verlegern den verbindlichsten Dank für die Ausstattung auszusprechen, welche sie der „Erdbebenkunde“ zu Theil werden liessen. Ohne die Opferwilligkeit, mit welcher zahlreiche Ansichten von beschädigten Gebäuden, viele Details von Seismometern und endlich kartographische Darstellungen habitueller Stossgebiete wiedergegeben wurden, hätten manche Ausführungen des vorliegenden Buches an Verständlichkeit leiden, oder auch bei dem Mangel bildlicher Darstellungen ganz vermieden werden müssen.

Graz, im Februar 1893.

Dr. R. Hoernes.

Inhalt.

	Seite
Einleitung	1
Erster Abschnitt.	
Erdbebenerscheinungen	31
Zweiter Abschnitt.	
Erdbebenbeobachtung	140
Dritter Abschnitt.	
Aufgaben der Erdbebenforschung	186
Vierter Abschnitt.	
Vulkanische Beben	226
Fünfter Abschnitt.	
Einsturzbeben	280
Sechster Abschnitt.	
Dislocationsbeben	327
Siebenter Abschnitt.	
Relaisbeben	415
Achter Abschnitt.	
Die Sintfluth	428
Register.	
I. Verzeichniss der Erdbeben	447
II. „ der Autoren	450

Tafeln.

- Tafel I. Darstellung des ungefähren Gebietes der grossen Orientalischen Erdbeben von 1846, 1856, 1867, 1870 nach J. Schmidt.
- „ II. Seismographische Aufzeichnung der horizontalen und verticalen Bewegung der Erderschütterung vom 15. Januar 1887 zu Tokio.
-

Einleitung.

Historischer Ueberblick der Ansichten über Erdbeben und ihre Ursachen. — Religiöse Anschauungen. — Meinungen der griechischen und römischen Autoren. — Mittelalterliche und neuere Ansichten. — SCHEUCHZER, BOUSSINGAULT, NECKER und VOLGER als Anhänger der Einsturztheorie. — v. BUCH und v. HUMBOLDT als Begründer der Lehre von der vulkanischen Entstehung der Erdbeben, NAUMANN als ihr hervorragendster Anhänger. — Versuche die Erdbeben mit kosmischen Verhältnissen in Zusammenhang zu bringen: E. KLUGE, R. WOLF, A. PERREY, R. FALB. — Neuere Ansichten über Gebirgsbildung: DANA, HEIM, SUESS. — Erdbeben durch Verschiebung einzelner Theile der Erdrinde bedingt: A. BITTNER, H. CREDNER, A. HEIM, R. HOERNES, E. SUESS, F. TOULA, F. WÄHNER u. A. — Organisation der Erdbebenbeobachtung in einzelnen Ländern. — Seismologische Gesellschaft in Japan. — Ausbildung der Erdbebenstatistik: K. E. A. v. HOFF, J. W. und R. MALLEY, A. PERREY, J. SCHMIDT, C. W. C. FUCHS.

„Von Kindheit prägen sich unseren Vorstellungen 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 Sinneseindrücken 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 Augenblicke 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 erstenmale einem Boden, auf den man so lange zuversichtlich den Fuss gesetzt.“

Hatten diese Worte HUMBOLDT's schon früher nur beschränkte Geltung, insofern Erdbeben nur den Bewohnern jener Länder eine ungewöhnliche Erscheinung sind, welche erfahrungsmässig selten von einer Landplage aufgesucht werden, die in anderen Gegenden zu den fast alltäglichen Vorkommnissen gehört, so ist heute auch für uns, die wir in seltener von Erdbeben heimgesuchten Gegenden wohnen, die Vorstellung von der Festigkeit der Erdrinde und der Seltenheit ihrer Bewegung allmählich veraltet, da wir ja Dank dem ausgedehnten Nachrichtendienst der Telegramme und Zeitungen fortwährend davon Kunde erhalten, dass

bald hier bald dort seismische Bewegungen von grösserer oder geringerer Ausdehnung mit mehr oder minder furchtbaren Folgen stattfinden.

Seit Jahren beschäftigen sich emsige Forscher damit, Erdbebenkataloge zusammenzustellen und wenn man die Resultate ihrer Mühen betrachtet, wird man zu der Ansicht gezwungen, dass die Erdrinde weit von jener einst vermutheten Festigkeit entfernt ist. Untersucht man dann die Ergebnisse jener geologischen Forschungen, welche die Erklärung der Erderschütterungen zum Gegenstande haben, so gelangt man zu ganz anderen Vorstellungen von der Beschaffenheit und Veränderlichkeit der Erdrinde: man erkennt, dass sie weit davon entfernt ist, eine unerschütterliche Grundfeste darzustellen, dass vielmehr jene Kräfte, welche in der Vorzeit verändernd und bewegend auf sie einwirkten, und deren Wirksamkeit der Bau der Erdrinde zeigt, auch heute noch thätig sind. Wir erkennen heute in den Erdbeben keine ungewöhnliche, sondern eine mit den andauernden Veränderungen in der Erdrinde nothwendig zusammenhängende, keineswegs seltene aber in gewissen Gegenden, welche eben vorwaltend Schauplatz solcher Vorgänge sind, ungleich häufigere Erscheinung. Es ist jedoch klar, dass bis in die neueste Zeit die Erdbeben durch das Geheimnissvolle ihrer Ursache wie durch die Furchtbarkeit ihrer Wirkungen die Phantasie des Menschen auf das lebhafteste beschäftigten und zahlreiche Erklärungsversuche veranlassten; — ja, dass wir auch heute noch, so sehr wir bestrebt sind, die Erdbebenforschung dem gegenwärtigen Stande der Naturwissenschaften entsprechend auszugestalten, noch nicht in allen Punkten klar zu sehen und uns ganz frei von Hypothesen zu halten vermögen, welche man vielleicht in kurzer Zeit ebenso geringschätzig bei Seite werfen wird, wie wir es heute mit den Erdbeben-theorien der classischen Autoren thun, in welchen indess so manche Ansicht enthalten ist, die auch heute noch, wenschon in anderer Form, zur Erklärung der Erdbebenerscheinungen herangezogen wird.

Die einfachste Erklärung der Erdbeben war jedenfalls die in der religiösen Vorstellung vieler Völker enthaltene: man habe es mit einer unmittelbaren göttlichen Einwirkung zu thun. Viele Stellen der Bibel sprechen in diesem Sinne und lassen Erdbeben, deren Wirkungsweise recht anschaulich geschildert wird, als göttliche Strafgerichte erscheinen.

So heisst es im 60. Psalm:

„Gott der du uns verstossen und zerstreuet hast, und zornig warest, tröste uns wieder.

Der du die Erde beweget und zerrissen hast, heile ihre Brüche, die so zerschellet ist.“

Deutlich erkennen wir die Wirksamkeit eines Erdbebens in den Worten des 114. Psalmes:

„Das Meer sahe und flohe; der Jordan wandte sich zurück;
Die Berge hüpfen wie die Lämmer, die Hügel wie die jungen Schafe.
Vor dem Antlitz des Herrn erbebte die Erde —“

Als Strafgericht Gottes erscheint ein gewaltiges Erdbeben zur Zeit

des Propheten Amos, dessen Unglücksweissagungen mit den Worten beginnen:

„Dies ist es, das Amos, der unter den Hirten zu Thekoa war, gesehen hat über Israel, zu der Zeit Usias, des Königs Juda's und Jerobeams, des Sohnes Joas, des Königs Israels, zwei Jahre vor dem Erdbeben. —“

(Amos 1, 1. vergl. auch Sacharja 14, 5.)

In der griechischen Mythologie ist es merkwürdiger Weise der Meeresherr Poseidon, welcher als Erderschütterer (Enosichthon, Enosigäos) gilt, — freilich führt er auch den Beinamen Erdhalter (Gäeochos), vielleicht deshalb, weil man sich die Erde als eine auf dem Wasser schwimmende oder doch vom Meere rings umflossene Scheibe dachte. Die Lakedämonier stimmten bei einem Erdbeben einen Lobgesang auf Poseidon an. (Xenophon IV. 7.) So spricht auch bei Aristophanes ein Feind der Lakedämonier die Verwünschung aus, Poseidon, welcher die Erde erschüttert, möge ihnen alle ihre Wohnungen umwerfen.¹

Ein eigenthümlicher Brauch herrschte bei den Römern. Ihre Priester hüteten sich, wenn Erdbeben eintraten und Feierlichkeiten die erzürnte Gottheit versöhnen sollte, den Namen eines bestimmten Gottes zu nennen, aus Furcht, einen unrichtigen anzurufen. Doch wurde von dieser Regel eine Ausnahme gemacht, als im J. 269 v. Chr. ein heftiges Erdbeben die zur Schlacht bereitstehenden Heere mit grossem Schrecken erfüllte und die Erde, nach dem Ausdrucke des Geschichtsschreibers, entsetzt über die Ströme von Blut, die sie trinken sollte, erzitterte und schreckliches Geheul ausstieß. Damals gelobte der römische Feldherr der Göttin Tellus einen Tempel für den Fall, dass sein Heer siegen werde.

Die Chinesen schreiben nach ihrer Gewohnheit alle Drangsale, demnach auch die Erdbeben, bösen Geistern zu; daher brachten sie beim Erdbeben von 1649 den Dämonen grosse Opfer im Glauben, sie zürnten dem Lande.

Unklare Vorstellungen von übernatürlichen Ursachen der Erdbeben veranlassen im dunklen Welttheile noch in unseren Tagen Menschenopfer. Am 10. Juli 1862 wurde Acera an der Küste von Guinea und ein beträchtlicher Theil der benachbarten Gebiete erschüttert. Der holländische Kaufmann Euschart befand sich an jenem Tage zu Abomey, der Hauptstadt des Königreiches Dahomey. Er wurde auf den Marktplatz beschieden. Dort sass auf einem Throne der König, umgeben von seinen bewaffneten Amazonen und erklärte, es sei der Geist seines Vaters, welcher die Erde erschüttert, weil die alten Gebräuche nicht mehr befolgt werden. Drei kriegsgefangene Häuptlinge wurden hingerichtet, um dem Geiste des

¹ B. M. LERSCH: Ueber die Ursachen der Erdbeben, ein historischer Rückblick (S.-A. a. d. „Gaea“) Köln u. Leipzig 1879 — eine vortreffliche auch in der folgenden Darstellung älterer Ansichten über die Natur der Erdbeben vielfach benutzte Arbeit.

Verstorbenen zu melden, dass man fortan genauer die Gebräuche befolgen werde.¹

Selbst auf einer ausserordentlich tiefen Stufe stehende Menschen, wie die Bewohner der oft von Erdbeben und Wirbelstürmen heimgesuchten Andamanen Inseln, halten die furchtbaren Naturereignisse für Werke böser Geister, obwohl ihre religiösen Vorstellungen überaus armselige sind und sie sich noch nicht einmal bis zum Cultus der Sonne erhoben haben. Doch kennen sie einen Dämon der Wälder, Eremchangala, der die Erdbeben verursacht und einen Dämon der See, Juruwinda. Die äusserste Furcht vor diesen ist das einzige Gefühl, das sie bei solchen Katastrophen erfüllt. „Das ist die zitternde, schreckerfüllte nackte Kreatur im Anblicke der grossen Gewalten“.²

Eine ganz andere religiöse Vorstellung liegt dem Benehmen der Indianer Peru's beim Eintritte der dort ebenfalls häufigen Erdbeben zu Grunde: sie meinen, dass Gott sich zuweilen von seinem Sitze erhebe, und dass dann bei jedem seiner Tritte die Erde erzittere; er thue dies aber nur, um die Menschen Revue passiren zu lassen und sie bequem zählen zu können; schon aus der Grösse des Geräusches, welches dann von der Erde aufsteige, wisse er die Zahl der Menschen zu schätzen. Sobald daher die Indianer auch nur das leiseste Erdbeben fühlen, kommen sie aus ihren Hütten hervor, laufen, springen und die Erde stampfend schreien sie: Hier sind wir! hier! Nur bei solcher Veranlassung stellen sie sich ihrem himmlischen Vater vor.³

Dass indess auch irreligiöse Vorstellungen durch Erdbeben hervorgerufen werden können, mag wenigstens an einem Beispiele gezeigt werden. Am 4. September 1596 war grosses Erdbeben zu Kiyoto und Osaka in Japan. Die Burg von Fushimi, viele Häuser von Kiyoto, auch das Gebäude, in welchem die Statue des Gottes Daibuzu aufgestellt war, stürzten ein. Da, so berichtet EDM. NAUMANN, begab sich Taiko Toyotomi Hideoyoshi nach dem Gebäude des Daibuzu, stellte sich vor dem gefallenem Götzenbilde auf, beschuldigte mit zorniger Stimme den schwachen Gott, dass er, statt das Land zu schützen, sich selbst nicht zu erhalten die Macht habe, nahm Bogen und Pfeil und schoss nach der Statue.⁴

Bei den Griechen und Römern begegnen wir auch der Vorstellung, dass unter der Erde eingekerkerte Riesen oder Dämonen Ursache der Erdbeben und vulkanischen Ausbrüche wären. Viele Stellen der griechischen und römischen Dichter beziehen sich darauf, dass Giganten unter vul-

¹ AL. PERREY: Note sur les tremblem. de terre en 1862. S. 156.

² M. V. PORTMAN: On the Andaman Islands and the Andamese; Journ. Roy. Asiat. Soc., new ser. XIII., 1881, S. 475, 476; — citirt in E. SUSS: Antlitz der Erde, I. S. 78, 97.

³ B. M. LERSCH: Ueber die Ursachen der Erdbeben, S. 2.

⁴ EDM. NAUMANN: Ueber Erdbeben und Vulkanausbrüche in Japan; Mitth. der deutsch. Gesellsch. f. Natur- und Völkerkunde Ost-Asiens, 15. Heft. Yokohama, 1878. S. 17.

kanischen Inseln begraben liegen. Unter Ischia liegt bei Homer (Ilias II. 781) der Gigant Typhoeus und so wie Virgil lässt auch Lucan denselben unter Ischia begraben sein („*Campana fremens seu saxa vaporat conditus Inarimes aeterna mole Typhoeus*“ Luc. V. 100). Bei Ovid (Metamorphosen V. 347) speit hingegen Typhoeus aus dem Aetna Flammen und Asche, während Quintus Smyrnäus unter diesem Feuerberge den Giganten Enkelados begraben sein lässt. Die interessanteste Stelle unter diesen dichterischen Umschreibungen vulkanischer Erscheinungen ist jedenfalls jene bei Hesiod, welcher ein aus mehreren Schlünden erfolgter vulkanischer Ausbruch auf Ischia zu Grunde liegen dürfte:

„Jedes Titanenhaupt sprühte Feuer und Flamme; jedes einen anderen Laut ausstossend, erschreckliches Geräusch, bald wie Stöhnen eines Riesenochsens oder wie das Gebrüll des gereizten Löwen, bald dem Gebell einer Koppel Hunde gleich. Solche Schreckenstöne stiegen aus dem Innern des Gebirges auf.“

Aber auch bei anderen Völkern begegnen wir verwandten Vorstellungen: „Der Zohak der Parsensage, aus dessen Schultern Schlangen wuchsen, soll der Dehaka (d. h. Schlange) der Meder sein, dessen Gefangennahme am Demavend jährlich am 31. August gefeiert wird; wenn er, der Götterfeind, sich drunten regt, zittert die Erde. Der Feuergott der nordischen Sage, Loki, ist in einer Höhle festgelegt, über ihm liegt ein Giftwurm, der ihm ins Angesicht träufelt, was Loki's Weib durch eine untergehaltene Schale abhält; aber wenn diese geleert werden muss, fällt das Gift auf Loki und sträubt dieser sich vor Schmerz, dass die Erde bebt.“¹

Naiver Glauben verschiedener Völker schreibt die Verursachung von Erdbeben ungeheuren Thieren zu. So schilderten die Einwohner Südamerika's manche Erdbeben so, als ob sie glaubten, es sei im Innern der Erde ein Walfisch durchgeschwommen. Aehnliche Ansichten finden sich bei den Japanesen. Wie A. v. LASAULX meint, mag das wellenförmige Fortschreiten der Erdbeben an thierische Bewegungen erinnern, so dass manche Völker zu der Annahme gelangten, dass eine Schlange, eine Schildkröte, ein Walfisch unter dem Boden durchgekrochen sei.²

Wenn Beda der Ehrwürdige (geb. 672, gest. 735) unter anderen Meinungen auch die anführt, dass der Leviathan, welcher die Erde umfasse, zuweilen, wenn ihm die Sonne auf den Schwanz brenne, im Unwillen nach diesem schnappe und damit die Erde erschüttere, oder dass ein anderes Seeungethüm, wenn es eine grosse Menge Wasser geschlürft, es wieder von sich gebe, wodurch es zugleich Ueberschwemmung und Erdbeben erzeuge, so erinnert uns das an die Rolle, welche die Midgardschlange Jormungandr in der nordischen Mythologie spielt.

¹ JUL. BRAUN angeführt in B. M. LERSCH: Ursachen der Erdbeben, S. 3.

² A. v. LASAULX: Die Erdbeben in Kenngott's Handwörterbuch der Mineralogie, Geologie und Palaeontologie, I. S. 295.

Denn diese Tochter Loki's wuchs, von den Asen ins Weltmeer geschleudert, darin zu so ungeheurer Grösse, dass sie, sich selbst in den Schwanz beissend, mit ihrem Leibe die ganze Erde umschlingt. Sie erzeugt Ebbe und Flut, je nachdem sie trinkt oder das Wasser wieder von sich speit.

Der treffliche Erdbebenchronist Rasch nennt an einer Stelle, auf welche wir noch zurückkommen, neben vielen anderen möglichen Ursachen von Erdbeben, auch den Meerfisch Celebrant, der sich recke und strecke und die Erde, die auf ihm ruhe, also unmässig rühre und bewege.

Doch gehen wir von diesen Phantastereien zu den genaueren Erörterung würdigeren Ansichten der hellenischen Philosophen über. Wir finden hier sehr verschiedene Meinungen, von welchen manche auch in den modernen Erdbeben-theorien wieder auftauchen, ja in geänderter Form und in entsprechender Beschränkung auch heute zur Erklärung der Erdbebenerscheinungen herangezogen werden können. Geht man die Ansichten der Alten über die Ursachen der Erdbeben durch, so muss man im Hinblick auf die modernen Erdbeben-theorien mit Rabbi Ben Akiba ausrufen „Schon alles dagewesen“. Ja wir sehen sogar, dass das graue Alterthum schon Erdbebenpropheten gehabt hat. Pherekydes, der Lehrer des Pythagoras soll ein Erdbeben auf einer Insel des ägäischen Meeres (Skyros) vorausgesagt haben, und ähnliches wird von Anaximander oder Anaxagoras berichtet. (Plinius, Hist. nat. XI. 79, Ammianus Marc. XXII. 6.)

Leider besitzen wir von den Werken der meisten Philosophen, welche sich eingehender mit den Erderschütterungen befassten, nur ganz kümmerliche Reste und sind auf die mehr oder minder zufälligen und unvollkommenen Citate und Excerpte anderer Schriftsteller angewiesen, welche uns wenigstens mit einigen Bruchstücken ihrer Lehren bekannt machen. Es unterliegt aber keinem Zweifel, dass die Schriften von Anaximander, Anaximenes, Anaxagoras u. A., wenn sie uns vollständig erhalten wären in Bezug auf die Ansichten der Alten über die Natur der Erdbeben viel belehrender für uns sein würden, als das, was wir etwa in Aristoteles Seneca und Plinius darüber nachlesen können. Ganz unbekannt sind wir mit den Ansichten jener Philosophen, welche wie Heraklit, Pythagoras, Aristarch und Empedokles, nach allem, was wir sonst von ihnen wissen, viel mehr wirkliche geophysikalische Kenntnisse besaßen, als ihre Zeitgenossen. Wir müssen also, indem wir uns mit den Ansichten der Alten über die Natur der Erdbeben beschäftigen, von vornherein eingedenk sein des Umstandes, dass sie uns nur sehr unzulänglich bekannt sind. Dennoch kann man in ihren Ansichten mit einigem Rechte schon neptunische und vulkanische Theorien und Verquickungen beider unterscheiden.

Als Neptunist tritt uns vor allem Thales (620—543 v. Chr.) entgegen, der das ganze Weltall aus einer wasserähnlichen Urmaterie entstehen lässt, von der Erde annimmt, dass sie auf einer Wassermasse schwimmt, welche den unteren Theil der Himmelskugel ausfüllt, und

deshalb leicht zu der Vorstellung kam, dass die Erde zuweilen vom Wasser bewegt oder erschüttert werde; er erklärte daraus auch den Umstand, dass bei Erdbeben zuweilen neue Quellen zum Vorschein kommen.

Anaximander, Anaximenes und Anaxagoras können als Vertreter der Einsturztheorie gelten. Anaximander, angeblich der nächste Schüler des Thales lebte 611 bis 547 v. Chr. Nach ihm entstehen bei grosser Dürre oder nach längerem Regen grössere Erdrisse, in welche die Luft gewaltsam und massenhaft eintritt, weshalb zur warmen Jahreszeit und bei übermässigem Regen Erdbeben sich ereignen (Ammian. Marc. XVII. 7). Aehnliche Ansichten hatte Anaximanders Schüler Anaximenes (568 bis 499 v. Chr.). Er glaubte, dass die Erde, sowohl wenn sie durch Nässe weich, als wenn sie durch Trockenheit bröcklig werde, reisse, und dass bei solchem Reissen ungeheure Stücke abfielen, durch deren Fall die Erde erschüttert werde.

Anaxagoras (geb. 500 — nach Anderen schon 534 —, gest. 428 v. Chr.), der geistvolle Freund des Perikles, lässt verschiedene Ursachen des Erdbeben bedingenden Einstürzens gelten. Zunächst kann es vom Wasser bewirkt werden; wie auch Andere schon hervorgehoben hatten, dass durch das Ueberströmen unterirdischer Flüsse und das Fluthen des unterirdischen Meeres Erdmassen abgerissen werden könnten; das Zusammenstürzen, meinte er, wäre aber öfters eine Wirkung des Feuers, indem davon das Gebirge so weit ausgehöhlt würde, dass es anfangs zu schwanken, einzubiegen, zu reissen, dann endlich wie das morsche Dachwerk eines Hauses zusammenstürze. Auch ein Anprall der Luft könne das Einfallen des Gebirges veranlassen. Gleichviel, welche veranlassende Ursache stattfindet, schon im Momente des Losreisens der Masse sei eine Erschütterung nothwendige Folge, die aber ebenso beim Auffallen derselben auf den Boden der Höhlung erfolgen und selbst wiederholt bemerkt werden müsse, indem jene dort, wie eine zur Erde geworfene Kugel, mehrmals aufspringen und niederfallen könne. In dieser Weise oder durch den Anprall der Wellen, wenn das abgerissene Stück in ein Wasserbecken falle, erklärt er die successiv folgenden Stösse mancher Erdbeben. Jedenfalls übersah Anaxagoras bei seiner Erklärung nicht die Wirkung der unter Druck im Erdinnern befindlichen Luft, wie dies mehrere Schriftsteller (Origenes, Plutarch) anführen. Nach Origenes' Angabe soll Anaxagoras gelehrt haben, die Erdbeben kämen daher, dass die obere Luft in die Luft unter der Erde einströme, wodurch diese untere Luft und damit auch die Erde, welche darauf schwimme, bewegt würden. Hat wirklich Anaxagoras die Ansicht ausgesprochen, Erdbeben entstünden, wenn dicke (comprimirte) Luft, die aufsteigen wolle, keinen Ausgang finde (Plutarch de plac. phil. III. 15) dann dachte er dabei jedenfalls an die ausdehnende Kraft, welche die Wärme den Dämpfen und der Luft verleiht¹.

Ist aber diese Spannkraft der unterirdischen Dämpfe für Anaxagoras

¹ LERSCH: Ursachen der Erdbeben, S. 7.

nur ein Agens, welches Einstürze und hierdurch mittelbar Erdbeben veranlasst, so werden bei Aristoteles (384—322 v. Chr.) alle Erdbeben durch in unterirdischen Hohlräumen eingeschlossene Luft oder Dämpfe verursacht. Man kann nicht sagen, dass der Beweis dieser Theorie, welche allen späteren vulkanischen Erdbebenlehren zu Grunde liegt, durch Aristoteles besonders glücklich geführt wurde. Aristoteles meint zunächst, dass höhlenreiche Länder, wie der Hellespont, Achaja, Euböa, Sicilien den Erdbeben am meisten ausgesetzt seien und die heftigsten Erschütterungen erlitten. Nach anderer Meinung sind aber die Höhlen eher als ein Schutzmittel gegen Erdbeben zu betrachten. Der vielgereiste Pausanias, auf dessen Unterscheidung der Wirkungsart der Erdbeben wir noch zurückkommen, meint, dass das höhlenreiche Bötien eben dieser Eigenschaft wegen ungewöhnlich selten Erschütterungen erleidet. Nach Aristoteles wäre es windstill wenn Erdbeben stattfänden, eben weil der Wind in die Erdhöhlen eingedrungen sei. Die Luft setze bei Erdbeben das Wasser in Aufruhr. Luft, durch den Erddruck eingepresst, oder aber in Bewegung gebracht, habe eine grosse Kraft, im Kampfe überwinde sie grosse Lasten und sei wohl im Stande, wenn sie einen Ausgang aus den Höhlen suche, die Erde zu erschüttern oder, wie ein Keil, die Erddecke auseinander zu treiben. In derartigen Fällen hören die Erdbeben nicht eher auf, bis die eingeschlossenen Winde ausbrechen und einen Sturm erzeugen, wie dies bei einem Erdbeben zu Heraklea im Pontus zu seiner Zeit der Fall war. Aehnlich geschah es bei einem früheren Ausbruche im ägäischen Meere, als die Insel Hierä entstand. Man sah damals, wie sich die Erde hügelartig unter Geräusch erhob, dann riss und viel Luft mit Feuer und Asche auswarf, wodurch das nahe gelegene Liparä in Brand gesetzt wurde. Die Asche flog bis zu einigen Städten Italiens. Auch die Erdgeräusche, welche die Erdbeben begleiten, ebenso wie jene, die ohne Erzittern des Bodens kommen, sind Lufterschütterungen; der dabei erzeugte Ton ist verschieden, je nach der Gestalt der Höhlen, nach der Beschaffenheit und Form der Höhlenwände. Der Ton geht dem Beben gewöhnlich voraus, weil Töne feiner sind und schneller fortbewegt werden als Luft. Sehen wir in diesen Ausführungen einzelne richtige Beobachtungen und Ansichten mit ganz irrig aufgefassten Wahrnehmungen und darauf gegründeten haltlosen Vermuthungen verquickt, so sind jene Beweismittel, welche Aristoteles aus den Gebieten der Physiologie und Pathologie herbeiholt, um seine Hypothese zu stützen, vollends haltlos. Denn wenn er meint, dass auch in unserem Körper zitternde oder gar konvulsivische Bewegungen entstehen, wenn Luft in eine Leibeshöhle eindringt, dass auch die Adern des Fiebernden nur wegen einer übermässigen Ansammlung der Geister pulsiren, dass wir am ganzen Körper zittern, wenn Kälte, Furcht oder Alter die Lebensgeister zurückdrängen, so ist doch klar, dass die gesuchte Analogie zwischen den angeführten Vorgängen im menschlichen Körper und den Erderschütterungen in keiner Weise zur Erklärung der letzteren herangezogen werden kann. Demungeachtet

ist, trotz der Schwäche dieser Beweisführung die aristotelische Theorie der Erdbeben der Ausgangspunkt für alle späteren vulkanischen Erdbebenlehren geworden; — wie denn überhaupt die aristotelischen Lehrmeinungen vielfach, auch dort wo sie es gar nicht verdienten, eben als Aeusserungen des grössten Philosophen des Alterthums, des Lehrers Alexanders des Grossen blindlings angenommen und getreulich nachgebetet wurden.

So steht der grosse Geograph Strabo (geb. 66 v. Chr.) ganz auf dem Boden der aristotelischen Lehre, wie zahlreiche Stellen seines grossen Werkes *Geographica* beweisen. Nach Strabo sind höhlenreiche Gegenden, wie die von den Attischen und Megarischen Bergen an bis nach Theben hin, oft heftigen Bewegungen ausgesetzt (Geogr. IX). Ganz Euböa leidet viel an Erdbeben, besonders die Gegend am Meerbusen und nimmt, wie Böotien und andere Orte, leicht die unterirdischen Winde auf (Geogr. X). Bei einem Erdbeben am Pheneus stürzten die Höhlen ein (Geogr. VIII). Ehe in Süditalien die Feuerschlünde offen waren, gab es dort mehr Erdbeben, als zu seiner Zeit, wo der Aetna thätig war und Vulcano aus drei Schlünden spie, aber die Erdbeben seltener vorkamen (Geogr. VI). — Letztere Meinung interessirt uns deshalb besonders, weil auch die Vulkanisten der Neuzeit, welche Erdbeben und Vulkanausbrüche in gleicher Weise als Reactionen des Erdinnern auf die Erdoberfläche deuten wollten, die Vulkane geradezu als Sicherheitsventile der Erde bezeichneten. Es ist bemerkenswerth, dass ein so warmer Anhänger der aristotelischen Erdbebenlehre wie Strabo doch auch ein Erdbeben anführt, welches durch die Einwirkung des Wassers zu Stande gekommen sei. Aus den Mittheilungen Aristobul's welcher in Indien wohl tausend Orte wegen veränderten Laufes der Flüsse von ihren Einwohnern verlassen fand, folgert Strabo, dass auch die von grosser Nässe erweichte Erde leicht erzittere und reisse und dass sogar durch solche Risse die Flussbette vielfach verändert würden. Wir haben sonst keine Nachricht von jenem indischen Erdbeben, das jedenfalls eines der grossartigsten von jenen gewesen ist, von welchen wir aus dem Alterthume Kunde haben. Seine Wirksamkeit war jedenfalls eine ganz ähnliche, wie die neuerer Erdbeben in grossen Stromländern und Niederungen, bei welchen sehr bedeutende Bewegungen in den wassererfüllten Alluvionen stattfanden, die jedoch als Folgewirkung, nicht als Ursache zu betrachten sind.

Plinius der Aeltere, welcher 23 n. Chr. geboren, bei dem grossen Vesuv-Ausbruch des Jahres 79 das Leben verlor, folgt in seiner Naturgeschichte treulich den Ansichten des Aristoteles. Die Ursache der Erdbeben ist auch bei Plinius in die Erde eingedrungener Wind. Das Land bebt nie, als wenn das Meer stille und die Luft ruhig ist. Entsteht Wind, dann hört im Allgemeinen das Beben auf. Dass diese Ansicht mit den in der Natur zu beobachtenden Thatsachen nicht übereinstimmt, braucht wohl kaum weiter erörtert zu werden. Von Interesse ist nur eine Stelle, in welcher Plinius von dem Erdbeben wie von einem unterirdischen Gewitter spricht: Wie sich in den Wolken Donner und Blitz

erzeugt, so entsteht auch in der Erde ein Blitz, der sich unter Erschütterungen der Erdrinde und indem er sie zerreisst, einen Ausweg sucht. Es ist klar, dass wir dieses Vergleiches wegen Plinius nicht die Meinung zuschreiben dürfen, dass Erdbeben durch elektrische Vorgänge verursacht werden.

In bemerkenswerthem Gegensatz zu Strabo und Plinius steht Titus Lucretius Carus (95—55 v. Chr.), welcher zu Athen die Epikureische Philosophie unter der Leitung des Zeno und Phädrus studirte und in seinem, sechs Bücher umfassenden Lehrgedichte „über die Natur der Dinge“ (*de rerum natura*) uns mit der eigentlichen physikalischen Weltanschauung der Alten (im Gegensatz zu der philosophischen des Plato, Aristoteles u. s. w.) bekannt macht. Wir ersehen daraus, dass diese Anschauung sich von den heute geltenden nur wenig unterscheidet.¹ Sehr bemerkenswerth sind die von Lucrez dargelegten Ansichten über die Natur der Erdbeben deshalb, weil sie eine grössere Zahl ganz verschiedener Ursachen anerkennen, nach welchen die Erdbeben in verschiedene Gruppen: Einsturzerdbeben, Fluctuationsbeben, Undulationsbeben und Expansionsbeben gebracht werden, und weil wir diese Meinung von den verschiedenen Ursachen der Erderschütterungen auf die Lehren von Empedokles, Demokrit und Epikur zurückführen dürfen. Die Erdbebetypen des Lucrez — ich gebrauche bei ihrer Erörterung absichtlich die modernisirende Darstellung von K. FUCHS² — sind folgende:

Die Einsturzerdbeben (*de rerum natura* VI, 540—551) sind durch scharfe Rucke charakterisirt, die alles wanken machen, wie das Dach eines Wagens wankt, wenn er über einen Stein fährt. Sie entstehen, indem grosse, unterirdische Höhlen, die durch die Erosionsthätigkeit der unterirdischen Gewässer entstanden sind und immer vergrössert werden, endlich einstürzen.

Die Fluctuationserdbeben (552—556) sind durch unstätes horizontales Hinundherschwanken der Erde charakterisirt. Sie entstehen durch Erd-rutschungen. Dadurch wird die unter der festen Erdrinde befindliche Flüssigkeitsmasse in heftiges Wogen gebracht, wodurch auch die Wände und Pfeiler der Höhlen ins Wanken kommen, gleichwie ein Wasserkessel ins Schwanken geräth, wenn das Wasser in ihm heftig bewegt wird.

Die Undulationserdbeben (557—577) sind durch rhythmisches Heben und Senken der Erde charakterisirt, wodurch die Häuser, Bäume etc. sich einem Centrum bald zu-, bald abneigen. Ihre Ursache ist der „Sturmzustand“, d. h. derjenige (wie die Mathematik heute lehrt, praktisch nicht existirende) Molekularbewegungszustand der unterirdischen Gase, indem die Moleküle nicht diffus nach allen möglichen Richtungen, sondern

¹ Vergleiche hierüber die höchst interessante Abhandlung von KARL FUCHS „Titus Lucretius Carus“ in den Mittheilungen des naturwissensch. Vereines f. Steiermark, Jahrg. 1884, S. 126. (Graz 1885.)

² a. a. O. S. 137.

gruppenweise in parallelen Richtungen sich bewegen, und somit sturm- oder pulsartig die Wände treffen.

Die Expansionserdbeben (577—607) sind die furchtbarsten; sie rufen das höchste Entsetzen hervor, so dass man den Weltuntergang befürchten zu müssen glaubt. Diese sind durch ein Zittern und Beben der Erde, durch Stösse nach allen Seiten und durch die Bildung gewaltiger Erdrisse charakterisirt. Die Ursache liegt darin, dass im Innern der Erde durch chemische Prozesse sich Gase entwickeln, die endlich eine ungeheure Spannkraft erreichen. Diese drängen sich explosionsartig von Spalte zu Spalte bis an die Oberfläche und verursachen dadurch die Erschütterungen, bis sie durch einen grossen oder viele kleine Schlünde, die sie in die Erdoberfläche reissen, einen Ausweg finden.“

Dass die letztere Gattung der Erdbeben den Vulkanausbrüchen nahe verwandt ist, bleibt Lucrez nicht zweifelhaft, denn er fasst die vulkanischen Ausbrüche nur als gesteigerte Form der Expansionsbeben auf; auch bei ihnen sind Dämpfe, welche das geschmolzene Gestein auswerfen, das treibende Agens. Als Beweis dafür, dass Gasbildung in der Erde eine ganz normale Erscheinung ist, führt Lucrez eine ganze Reihe von Orten an, wo Gase (Schwefeldämpfe oder Kohlensäure) dem Boden entströmen und die Thiere in der Nähe tödten.

Man kann füglich behaupten, dass Lucrez die Einsturzerdbeben und die vulkanischen (Expansions- oder Explosionsbeben) richtig aufgefasst hat, die beiden weiteren, von ihm unterschiedenen Erdbebetypen sind aber nicht so sehr durch ihre angeblichen Ursachen, als vielmehr durch ihre Erscheinungsart (wellenförmige Bewegung des Bodens) gekennzeichnet.

Dass man schon im Alterthume die Erderschütterungen nach ihrer Wirkungsweise in ähnlicher Weise zu unterscheiden wusste, wie dies heute beispielsweise von den Bewohnern Süditaliens geschieht, ersehen wir insbesondere aus den Schriften des Pausanias. Dieser, im Jahre 120 n. Chr. geboren, giebt in seinem insbesondere für die Kunstgeschichte und Alterthumsforschung unschätzbaren Reisewerke *Periegesis* auch so manche interessante naturwissenschaftliche Notizen. Die Erdbeben theilt er in drei Kategorien, nach der Wirkungsweise der Erschütterungen. Erstens: Hin- und Herwiegen, wobei die zweite Bewegung die Lageveränderungen, welche die erste Bewegung herbeigeführt hat, wieder ausgleichen kann, ehe der Sturz des erschütterten Gegenstandes erfolgt. Zweitens: Stoss, wodurch Dächer und Mauern einfallen, als ob sie durch Kriegsmaschinen zerstört worden wären. Drittens: Eine Bewegung, welche mit Vorgängen des Lebens, zumal mit dem Pulsiren der Adern verglichen wird, wobei eingeschlossener Dampf zum Ausbruch kommt und Maulwurfsarbeit verrichtet; durch solche Ausbrüche werden Mauern und Häuser so gründlich zerstört, dass man kaum eine Spur mehr davon erkennt. Diese drei Bewegungsarten: die wellenförmige oder undulatorische, die aufstossende oder successorische und endlich die drehende (wirbelnde) oder rotatorische (vorticose) können jedoch wie wir später sehen werden, bei

einem und demselben Erdbeben auftreten, sie werden keineswegs durch verschiedene Ursachen der Erschütterung veranlasst, sind vielmehr nur untergeordnete Erscheinungen der Wirksamkeit an der Erdoberfläche, wie an anderer Stelle ausführlich dargelegt werden soll.

Durch das ganze Mittelalter hat die Lehre des Aristoteles von der Entstehung der Erdbeben durch unterirdisch gespannte Dämpfe die meisten Anhänger gehabt, bis sie endlich in unseren Tagen in der vulkanistischen Theorie aufging. Mit einem gewissen Recht kann man jene, welche alle Erdbeben auf vulkanische Ursachen zurückführen wollen, als Nachfolger von Aristoteles und Plinius betrachten.

Es hat indessen auch früher schon an scharfen Angriffen auf die Theorie des Aristoteles nicht gefehlt. Ein solcher wurde beispielsweise 1682 durch van Helmont anlässlich eines sehr heftigen über Belgien, Westphalen, Rheinland, Lothringen und angrenzende Gebiete sich erstreckenden Erdbebens vom 4. April 1680 veröffentlicht. Unter manchen Ungereimtheiten finden sich in den Ausführungen van Helmont's (*Opera omnia*, S. 89—100) manche gute Bemerkung. Der Schluss, zu welchem jedoch Helmont kommt ist überaus sonderbar: er meint, das Beben gehe gar nicht ursprünglich von der Erde aus sondern von der Luft. Ein Strafengel schlage die Luft und erzeuge so einen Ton, wovon die Erde erzittere. Damit wären wir wieder glücklich bei der Annahme einer wunderbaren, übernatürlichen Ursache der Erdbeben angelangt.

Angesichts dessen, was an widersprechenden und ungereimten Erdbebenerklärungen vorhanden war, scheinen uns die nachstehenden Worte des wackeren Erdbebenchronisten Rasch recht begrifflich:

„Ob aber in dem erdreich darinnen, und in (Microcosmo) menschlichen Leib, als am himel oder in lüfften, die hitz oder kelt miteinander streiten, dadurch ein solch greulich erschrecklich stossen, schupffen, hupffen, zittern, werffen, fellen, saussen und pfnausen anrichten wie der donner und plitz, so kommt von kelt und hitz. Oder, ob der Wind wider daz wasser oder das Wasser wider den wind, oder ein wind wider den andern, oder ein Wasser wider das andere, unter und gegen einander sich setzen, anstossen und jrren. Oder, ob vielleicht ein Wassergang verfallen, verschoppet oder ob etwa in der erd ein gewölb eingangen sey, oder dass die Erdgeister und Bergmännlein streiten oder dass der meerrfiseh Celebrant — sich recke und strecke, die erd also unmässig rüre und bewege, die auf jhm liege und ruhe, oder was doch ursacher sonst sey, dadurch und wess wegen der Erdboden also geblöet, getruckt, getrennt und gehebt wird — — das ist bei allen gelehrtesten, berümbtesten Naturforschern noch unerörtert.“¹

Aber Rasch hätte auch, wenn er im achtzehnten oder neunzehnten Jahrhundert gelebt hätte, reichlich Gelegenheit gehabt, unsinnige, phan-

¹ J. RASCH (Rassius): Von Erdbiden, etliche Tractät, alte vnd neue hocheleuchteter vnd bewärter Scribenten, München 1582.

tastische und einseitige Erdbeben-theorien kennen zu lernen und zu glosiren. Da sind vor allem jene, welche die Erdbeben elektrischen oder galvanischen Ursachen zuschreiben. So hielt Stuckeley das Erdbeben für die Folge einer Ausgleichung der Erdelektricität gegen eine unelektrische Wolke. Da diese Wolke aber häufig fehlte, blieb nichts anderes übrig, als im Allgemeinen den elektrischen Schlag als Ursache der Erdbeben anzugeben, wobei man aber auf genaue Vorstellungen über die Entstehung und Ausgleichung dieser seismischen Elektricität verzichten musste. Der Galvanismus bot Anlass zu einer ähnlichen Hypothese, wobei die verschiedenen Schichten der Erdrinde die galvanischen Elemente bilden sollten. Ja analog den Blitzableitern wurden sogar (*sit venia verbo*) Erdbebenableiter geplant.

In der Voraussetzung der Anhäufung einer bestimmten, Erdbeben verursachenden Elektricität im Boden schlug Windeburg 1783 vor, pyramidale Gebäude als Ableiter derselben zu errichten. Noch 1855 behauptete Hofer, die Erdbeben seien nur Gewitter, entweder im festen Medium der Erde oder gemischte Gewitter, das heisst gleichzeitig in der Atmosphäre und in der Erde und es seien solchen Entladungen von der Luft zur Erde oder umgekehrt, die furchtbarsten Katastrophen zuzuschreiben.¹

Es kann nicht unsere Aufgabe sein, derartige Hypothesen ausführlich zu besprechen, wir haben zunächst die Aufgabe zu zeigen, wie sich die schon im Alterthume zum klaren Ausdruck gekommenen Einsturz- und Expansionstheorien in neuerer Zeit entwickelt haben, bis sie Dank der sich stets erweiternden Kenntniss des Aufbaues der Erdrinde und jener Kräfte, welche Bewegungen derselben im grössten Maassstabe herbeizuführen vermögen, auf das ihnen zukommende Maass eingeschränkt wurden.

Als namhafter Anhänger der Einsturztheorie verdient vor allem der schweizerische Naturforscher JOH. JAK. SCHEUCHZER hervorgehoben zu werden, bekannt durch jenen Irrthum, welcher ihn das Skelet eines dem heutigen japanesischen Riesensalamander nahe verwandten Molches aus den Schiefern von Oeningen als Beingerüst eines bei der Sündfluth zu Grunde gegangenen Menschen, als „*homa diluvii testis*“ beschreiben liess. SCHEUCHZER war sonst ein recht guter Beobachter, und wenn er meinte, dass durch den Zusammensturz unterirdischer Höhlungen oder auch durch den oberflächlichen Einsturz von Bergwänden Erdbeben entstehen können, so hatte er in der Schweiz viele Gelegenheit, Erscheinungen zu beobachten, welche für die Richtigkeit seiner Annahme sprachen, wie ungeheure Bergstürze, welche ganze Ortschaften begruben und weithin ein Erzittern des Bodens verursachten. Ueberall fand er Höhlungen in dem Gebirge und so erschien der Schluss auf die durch den Zusammenbruch derselben bewirkten Erschütterungen naheliegend.

¹ Vergleiche über diese und manche andere abenteuerliche Erdbebenhypothesen: LERSCH: Ursachen der Erdbeben, S. 14 u. f.

Wie SCHEUCHZER Anfangs des vorigen, so gelangte BOUSSINGAULT Anfangs unseres Jahrhunderts durch Naturbeobachtung dazu, mit der vulkanischen Erdbeben-theorie zu brechen. Die Erfahrungen, welche er auf seinen ausgedehnten Reisen in Südamerika zu machen Gelegenheit hatte, veranlassten ihn, die Ansicht von dem Zusammenhang der Erdbeben mit den Vulkanen im Allgemeinen für unzulässig zu erklären. Allerdings würden bei Vulkanausbrüchen in den Anden Bodenerschütterungen wahrgenommen, aber nur geringe und sehr beschränkte, dagegen hätten die bedeutendsten Erdbeben in der neuen Welt, wie diejenigen, welche die Städte Lactacugua, Rio-Bamba, Honda, Carracas, Laguayra, Merida, Barquisemeto zerstörten, überhaupt alle, welche eine ungeheure Ausdehnung hatten, keinen irgend nachweisbaren Zusammenhang gehabt mit vulkanischen Erscheinungen, insbesondere hätten sie in keiner Beziehung zu irgend welchem Vulkanausbruche gestanden. Sie folgten in ihrer Verbreitung meistens den Gebirgsketten, überhaupt fänden in Südamerika die meisten Erdbeben in gebirgigen Gegenden statt. BOUSSINGAULT führt die Erdbeben auf den Einsturz oder auf das Sinken ganzer Gebirgstheile zurück.¹

Den Anhängern der Einsturztheorie ist ferner A. NECKER beizuzählen, welcher als durch den Einbruch unterirdischer Höhlungen veranlasst das Erdbeben von Jamaika 1692, das grosse Erdbeben von Kalabriën 1783, jenes im Mississippithal 1812, das von Catch 1819 und jenes von Murcia 1829 bezeichnete.²

Als der hervorragendste Apostel der Einsturztheorie muss G. H. OTTO VOLGER hervorgehoben werden. Sein für die Entwicklung der Erdbebenkunde überaus wichtiges Werk „Untersuchungen über das Phänomen der Erdbeben in der Schweiz“³ zerfällt in drei vollkommen selbständige Theile. Der erste derselben enthält eine sehr sorgfältig gearbeitete Chronik der Erdbeben in der Schweiz und bringt in der Einleitung auch interessante Betrachtungen über Periodicität, Localität und Ausdehnung der Erschütterungen. Der zweite Theil behandelt die Geologie von Wallis. Der dritte ist den Erdbeben in Wallis gewidmet. Hier finden wir zuerst Mittheilungen über die Häufigkeit der Erdbeben in Wallis mit Nachträgen zur Chronik, dann eine Geschichte der Erdbeben des meteorologischen Jahres 1855 mit Rücksicht auf verwandte Erscheinungen in Wallis und in benachbarten Gegenden, endlich (a. a. O. III. S. 363—521) unter dem Titel Erörterungen, kritische Besprechungen in Bezug auf die in neuerer Zeit mit Vorliebe aufgestellte vulkanische und plutonische Theorie, sowie Darlegung der eigenen Ansichten. VOLGER's Beleuchtung des Plutonismus ist vielfach von grosser Schärfe, so sagt er (III. S. 379): „Kometen

¹ BOUSSINGAULT: Sur les tremblements de terre des Andes, Annales de chimie et de physique, T. 58, 1835, S. 81.

² ALBERT NECKER: On a probable cause of certain earthquakes. Philosophical magazine, Vol. IV. 1839. S. 370.

³ Gotha 1857—58, drei Bände.

deuten auf Krieg wie Erdbeben auf Vulkane. Denn die zuweilen beobachtete Gleichzeitigkeit mancher sehr heftiger Kriege mit gewissen Kometen liefert einen directen Beweis für den Causalzusammenhang, welcher die beiderlei Erscheinungen verknüpft.“ Es muss übrigens hervorgehoben werden, dass VOLGER die echt vulkanischen Beben keineswegs leugnet — er giebt ihre Existenz (nur vielleicht in allzubeschränktem Umfange) selbst zu (III. 388), und führt dann die anderen Ursachen der Erderschütterungen vor, wobei viele Beispiele für solche als Folgewirkung von Höhleneinstürzen ganz richtig angeführt werden. Der Fehler VOLGER's liegt nur darin, dass er eine, auf eine sehr beschränkte Gruppe von Erdbeben passende und für diese ganz richtige Erklärung allzusehr verallgemeinerte und ihr eine viel zu weit gehende Ausdehnung gab. Dies gab dann Veranlassung dazu, dass die Ansichten VOLGER's überhaupt von den Geologen über Gebühr vernachlässigt, und selbst in jenen Fällen nicht berücksichtigt wurden, in welchen die viel verlästerte Einsturztheorie allein eine befriedigende Erklärung eines Erdbebens zu geben im Stande war.

Wenden wir uns nun zu den hervorragendsten Vertretern der vulkanischen und plutonischen Erdbebenlehre. Es ist bekannt, dass die beiden grossen Schüler des Neptunisten WERNER: LEOPOLD VON BUCH und ALEXANDER V. HUMBOLDT, den Vulkanismus als geologische Kraft in das beste Licht setzten. Beide haben hiebei vielleicht etwas zu viel des Guten gethan. LEOP. V. BUCH schrieb unbedenklich die Aufrichtung aller Gebirge vulkanischen Eruptionen zu, alle Gebirge seien durch Porphyrgehoben worden, meinte er,¹ und A. V. HUMBOLDT, der Erdbeben und Vulkanausbrüche in gleicher Weise als Reactionen des Erdinnern auf die Erdoberfläche auffasste, überschätzte in gleicher Weise die plutonische Kraft. HUMBOLDT hatte vielfach Gelegenheit, Erdbeben und Vulkanausbrüche kennen zu lernen, theilweise in denselben Gebieten, in welchen sich BOUSSINGAULT wie wir oben sahen, ebenfalls durch Naturbeobachtung ganz abweichende Ansichten holte. Für HUMBOLDT waren, wie es scheint die kleinen Erschütterungen massgebend, welche man so oft in der Nähe thätiger Krater fühlt. Er schreibt darüber: „Wenn man im Innern eines entzündeten Kraters in der Nähe der kleinen Hügel sitzt, welche durch die Auswürfe von Schlacken und Asche gebildet werden, so empfindet man die Bewegung des Bodens mehrere Sekunden vor jeder Eruption. Wir beobachteten dieses Phänomen auf dem Vesuv im Jahre 1805, während der Berg glühende Asche auswarf; wir waren im Jahre 1802 Zeuge davon, am grossen Krater des Pichincha, von welchem indessen damals nur Dunstwolken von schwefliger Säure emporstiegen.“ Für die Ansicht v. HUMBOLDT's sprechen auch jene Erderschütterungen, welche ganz allgemein bei grösseren vulkanischen Ausbrüchen in jener Phase stattfinden, welche Scrope die vorbereitende nennt. Jedem grösseren

¹ POGGENDORF's Annalen IX. 1827.

Ausbrüche pflegen schwächere oder heftigere Erdbeben von kürzerer oder längerer Dauer vorauszugehen, welche ersichtlich ihren Herd in dem vulkanischen Schlotte besitzen und von demselben in radialer Richtung sich weiter verbreiten. Solche Erschütterungen fehlen überaus selten, und die paar gelegentlich stattfindenden Ausnahmen¹ bedeuten wenig gegenüber der sonst allgemein giltigen Regel. HUMBOLDT hatte aber Gelegenheit, noch andere Beziehungen zwischen Erdbeben und Vulkanen kennen zu lernen, welche ihn zur Ansicht von der Function der Vulkane als Sicherheitsventile führten (ähnliche Meinungen äusserte, wie wir oben sahen, schon Strabo). Zunächst war es HUMBOLDT merkwürdig erschienen, dass die Erdstösse um so heftiger waren, je entfernter sie von thätigen Vulkanen vorkamen. „Die Granitberge von Calabrien, die Kalkkette der Apenninen, die Grafschaft Pignerol, die Küsten Portugals und Griechenlands, die von Peru und dem festen Lande Amerikas geben auffallende Beispiele dieser Behauptung. Man möchte sagen, die Erde werde um so heftiger erschüttert, je weniger Luftlöcher die Oberfläche des Bodens hat.“² An einer anderen Stelle desselben Werkes sagt er „zu Teneriffa waren die Erdstösse bis jetzt nur wenig bedeutend und überdies auf eine kleine Strecke Landes beschränkt. Man beobachtet das Nämliche auf der Insel Bourbon und fast überall am Fusse der brennenden Vulkane.“³ Im Gegensatze hiezu ereignen sich die verheerenden Erdbeben fern von Vulkanen: „Zu Cumana wie zu Lima und in mehreren Städten, die fern von der Mündung der brennenden Vulkane sind, wird die Reihe schwacher Erschütterungen nach einer langen Folge von Jahren durch grosse Katastrophen unterbrochen, die den Wirkungen der Explosion einer Mine ähnlich sind.“⁴ Solche Verhältnisse mussten in HUMBOLDT ähnliche Ansichten hervorrufen wie sie schon Strabo in Beziehung auf Erdbeben und Vulkanausbrüche ausgesprochen hatte.

„Die thätigen Vulkane,“ sagt A. v. HUMBOLDT, „sind als Schutz- und Sicherheitsventile für die nächste Umgegend zu betrachten. Die Gefahr des Erdbebens wächst, wenn die Oeffnungen der Vulkane verstopft, ohne freien Verkehr mit der Atmosphäre sind; doch lehrt der Umsturz von Lissabon, Caracas, Lima und so vieler Städte von Calabrien, Syrien und Kleinasien, dass im Ganzen doch nicht in der Nähe noch brennender Vulkane die Gefahr der Erdstösse am grössten ist.“ v. HUMBOLDT betrachtet sonach die thätigen Vulkane nur als Schutzmittel für ihre nächste Umgebung. In diesem Sinne sagt er von den Vulkanen Südamerika's: „Niemand fürchtet man sich am Fusse des Tunguragua und des Cotopaxi mehr vor den Erdbeben, als wenn lange keine Dampfentwickelungen auf ihren Gipfeln stattgefunden haben, und die Reihenfolge von Unglücks-

¹ LERSCH nennt als solche den Ausbruch des Vesuv im Mai 1855, sowie den Ausbruch des Cotopaxi vom 25. Juni 1877.

² A. v. HUMBOLDT: Reise in die Aequinoctial-Gegenden des neuen Continents. I. S. 499.

³ Ebenda, I. S. 260.

⁴ Ebenda S. 466.

fällen, welche das Hochthal von Quito durch furchtbare Erdbeben mehrfach erlitten hat, wird nach der allgemeinen Meinung der dortigen Bewohner aufhören, wenn einst die Kuppel des Chimborasso sich wieder öffnen und auswerfen sollte, wie es vor Zeiten der Fall war.“ In diesem beschränkten Sinne mag die Betrachtung der Vulkane als Sicherheitsventile einige Berechtigung haben, wie die Ausführungen aller Vulkanforscher bezüglich der vorbereitenden Phase grosser Eruptionen darthun.

Es ist aber diese Rolle der Vulkane als Sicherheitsventile vielfach überschätzt worden. So sagt NAUMANN: „Sie sind es aber nicht nur für die nächste Umgebung, sondern für die Erdoberfläche überhaupt, deren Stabilität ganz vorzüglich durch das Dasein der Vulkane gesichert sein dürfte. Denn gleichwie die Umgegend eines thätigen Vulkans um so mehr von Erdbeben bedroht ist, je länger der Vulkan im Zustand der Ruhe verharrte, und je tiefer sich sein Eruptionskanal verstopft hat, so würde auch gewiss die Erdoberfläche überhaupt durch die heftigsten und ausgedehntesten Erdbeben gefährdet sein, wenn auf einmal alle Vulkane in völlige Unthätigkeit verfallen: wenn sich alle Eruptionskanäle gänzlich verschliessen sollten.“ Diese Ansicht gründet sich eben auf die Ueberzeugung, dass die Grundursache der Erdbeben und der vulkanischen Eruptionen durchaus identisch sei. Als Erscheinungen, welche dies erweisen, werden von NAUMANN angeführt: 1) Die beständige Begleitung der vulkanischen Eruptionen von Erdbeben, 2) der Antagonismus oder die Wechselwirkung, welche so häufig zwischen Erdbeben und vulkanischen Ausbrüchen beobachtet werden, 3) die Einwirkung mancher Erdbeben auf die Dampfaushauchungen fern liegender Vulkane, 4) das nicht seltene Vorkommen der ausgedehntesten und stärksten Erdbeben in solchen Gegenden, wo es gar keine Vulkane giebt.¹

Es ist klar, dass das wissenschaftliche Ansehen L. v. BUCH's, A. v. HUMBOLDT's, C. F. NAUMANN's die vulkanisch-plutonische Erdbebenlehre zur fast allein herrschenden erhob, und dass fast alle Autoren, welche in der nächsten Zeit den Gegenstand weiter verfolgten oder zusammenfassend darstellten, dabei vom plutonischen Standpunkte ausgingen. So betrachtet J. BOEGNER die überwiegende Mehrzahl der Erdbeben als vulkanisch, wenn er auch einzelne Beispiele der Einsturzbeben gelten lässt: „Während dem Einsinken der bekannten Erdfälle erbebt die Gegend rund umher, wie solches von den Erdfällen bei Herzberg am Harz, Pyrmont, Wimpfen am Neckar u. s. w. bekannt ist, ebenso bei dem Bergsturz von Goldau in der Schweiz am 10. August 1806; dem Bergsturz von Gragnano im Februar 1841 bei Neapel. Solche Erdfälle, Bergstürze u. s. w. kommen besonders nach lang anhaltendem Regen vor. Die durch vulkanische Thätigkeit im Innern der Erde erzeugten Erdbeben dagegen

¹ C. F. NAUMANN: Lehrbuch der Geognosie, I. Bd. Leipzig 1850. S. 281 und 282.

haben eine grössere Ausbreitung und je grösser diese ist, desto heftiger erscheinen einige Zeit darauf vulkanische Ausbrüche.“¹

Ebenso steht E. NETOLICZKA² vollständig auf dem Boden der Humboldt-Naumann'schen Ansichten, welche auch den Untersuchungen Dr. E. KLUGE's über den Synchronismus und Antagonismus von Erdbeben und Vulkanausbrüchen sowie die Beziehungen derselben zu meteorologischen Erscheinungen, zu den Sonnenflecken und erdmagnetischen Variationen zu Grunde liegen. Die nahen Beziehungen zwischen Erdbeben und Vulkanausbrüchen betrachtet KLUGE als sicher erwiesen und in der Thätigkeit des feurig-flüssigen Erdkernes (Pyriphlegeton, wie ihn NAUMANN nennt) begründet. Am Schlusse seiner 1861 veröffentlichten Abhandlung über den Gegenstand meint KLUGE: „Künftige Forschungen auf dem Gebiete der Physik werden uns erst darüber aufklären, ob die Fluctuationen des feurig-flüssigen Kernes der Erde ihren Ursprung einem Impulse von Aussen verdanken, oder ob der Pyriphlegeton den Keim zu jenen in sich trägt.“³ In einer weiteren Abhandlung⁴ aber gelangt KLUGE zu weiteren Ergebnissen. Er zählt in derselben beispielsweise zahlreiche Vulkanausbrüche und Erdbeben auf, welche um den 13. August stattfanden und behauptet, dass diese Häufung von Eruptionen mit dem Laurentiusstrom der Sternschnuppen zusammenfalle.⁵ Besonders interessant aber sind für uns KLUGE's Schlussresultate⁶: „— Gewisse Jahre zeichnen sich durch eine sehr bedeutende Häufung von allgemeinen Erdbeben und Vulkanausbrüchen aus, während andere ziemlich arm daran sind. — Diese eruptionsreichen Jahre kehren in ziemlich regelmässigen Zeiträumen wieder, so dass sie sich auf eine Periode von durchschnittlich $11\frac{1}{9}$ jähriger Dauer zurückführen lassen. — Diese Periode der unterirdischen Störungen steht in umgekehrtem Verhältniss zu einer gleich langen Periode der Sonnenflecken und erdmagnetischen Variationen, in der Weise, dass solche Jahre, welche reich an Sonnenflecken sind und in welchen die Grösse der erdmagnetischen Variationen ihr Maximum erreicht, arm an Vulkanausbrüchen und allgemeinen Erdbeben sind und umgekehrt.“

Wir wollen uns darauf beschränken, den Werth solcher Folgerungen dadurch zu illustriren, dass wir ihnen die Resultate gegenüberstellen, zu welchen ein anderer Autor bei dem Versuche gelangte, die Periodicität

¹ J. BOEGNER: Das Erdbeben und seine Erscheinungen. Nebst einer chronologischen Uebersicht der Erderschütterungen im mittleren Deutschland vom 8. Jahrhundert bis auf die neueste Zeit und ihres Zusammenhanges mit vulkanischen Erscheinungen in entfernten Ländern. Frankfurt a. M. 1847. S. 71.

² EUGEN NETOLICZKA: Ueber Erdbeben und Vulkane. Wien 1858.

³ EMIL KLUGE: Ueber die Ursachen der in den Jahren 1850—57 stattgefundenen Erderschütterungen und die Beziehungen derselben zu den Vulkanen und zur Atmosphäre. Stuttgart 1861.

⁴ E. KLUGE: Ueber Synchronismus und Antagonismus von vulkanischen Eruptionen und die Beziehungen derselben zu den Sonnenflecken und erdmagnetischen Variationen. Leipzig 1863.

⁵ a. a. O. S. 73 u. 74.

⁶ a. a. O. S. 84.

der Sonnenflecken mit der Häufigkeit der Erdbeben zu vergleichen. R. WOLF hat in den Mittheilungen der naturforschenden Gesellschaft zu Bern¹ aus einer Chronik von Zürich die einschlägigen Angaben über Naturereignisse, Nordlichter, Erdbeben etc. von 1000 bis 1800 gesammelt, und findet unter Zugrundelegung einer zehnjährigen Sonnenfleckenperiode, dass Nordlichter und Erdbeben in ähnlicher Weise, besonders aber die letzteren auffallend gehäuft sind in den fleckenreichen Jahren, d. h. er kommt gerade zu dem umgekehrten Resultat wie KLUGE.

Die Annahme eines feurig-flüssigen Erdkernes liegt auch den Erdbeben-theorien PERREY's und FALB's zu Grunde, welche den Pyriphlegeton durch die jeweilige Stellung der Erde zu anderen Himmelskörpern beeinflussen lassen. Es wäre falsch, ALEXIS PERREY's ausserordentliche Verdienste um die Erdbebenkunde nur nach seiner Theorie zu beurtheilen, welcher allerdings jene Grundlage mangelt, ohne welche sie ihre Berechtigung vollkommen verliert: der feurig-flüssige Erdkern. Denn dieser existirt den astrophysischen Erfahrungen zu Folge nicht in jener Weise, welche es ihm möglich machen würde, der PERREY'schen Theorie entsprechend, jene regelmässigen Gezeiten aufzuweisen, wie sie die flüssige Hülle der Planeten zeigt. PERREY's grosses und unbestreitbares Verdienst ist vielmehr in seinen unermüdlichen statistischen Arbeiten, in seinen Erdbeben-catalogen und seiner sorgfältigen Zusammenstellung der Erdbeben-literatur zu suchen. Wir werden an anderer Stelle sehen, wie der geringfügige Ueberschuss der Erdbeben zur Zeit der Syzygien gegenüber den Quadraturen und der etwas merkbarere zur Zeit der Sonnennähe der Erde während des Winters der Nordhemisphäre sich ohne die unwahrscheinliche Annahme eines feurig-flüssigen, fluthenden Erdkernes dadurch erklären lässt, dass die erwähnten Factoren erleichternd auf die Auslösung in der Erdrinde vorhandener Spannungen hinwirken, ebenso wie etwa grössere Druckerleichterungen innerhalb der Atmosphäre, wie sie bei Wirbelstürmen eintreten, Erderschütterungen hervorrufen können. Es handelt sich also hier um nebensächliche Umstände, welche weit entfernt sind, selbstthätig Erdbeben zu erzeugen, aber doch im Stande sind, das Auftreten solcher zu begünstigen oder zu beschleunigen.

Erwähnung verdient auch, dass schon im vorigen Jahrhundert, wie ZANTEDESCHI gezeigt hat,² den PERREY'schen verwandte Ansichten von mehreren Autoren geäussert wurden. So hat G. BAGLIVI hervorgehoben,³ dass Erderschütterungen meist kurz vor dem Eintritt der Phasen, zumal des Vollmondes sich ereigneten, und auch G. TOALDO machte in Bezug

¹ Citirt in G. H. O. VOLGER: Unters. üb. d. Phänomen der Erdbeben, 3. Bd. S. 520.

² Comtes rendus, Vol. 39. 1854. S. 375. — Vergl. hierüber auch NAUMANN: Geognosie I. S. 202 und VOLGER: Unters. über d. Phän. der Erdbeben, 3. Bd. S. 512.

³ G. BAGLIVI: Historia romani terrae motus anni 1703 in dessen Opera omnia. Bassani 1737, S. 415.

auf die Erdbeben in Peru eine Beziehung zu den Gezeiten wahrscheinlich.¹

Auf die durch R. FALB erweiterte, aber keineswegs verbesserte Fluththeorie, welche nach ihm die Erdbeben ebenso wie die Vulkanausbrüche beherrscht, ja sogar Erdbebenprophезiehungen gestattet,² soll hier nicht weiter eingegangen werden, zumal wir den Leser, welcher sich etwa für FALB's Lehre interessiren sollte, auf eine 1881 veröffentlichte, kritische Beleuchtung derselben zu verweisen im Stande sind.³ Ebenso scheint es uns überflüssig, an dieser Stelle ähnlicher haltloser Hypothesen zu gedenken, wie sie FR. GRAF MARENZI mit Vernachlässigung aller geologischer Erfahrungen über die Entstehung der Erdbeben und Vulkanausbrüche aufgestellt hat.⁴

Wir wenden uns vielmehr zur Besprechung jener Arbeiten, welche einerseits durch sorgsame Zusammentragung seismologischer Beobachtungen sowie durch das Detailstudium einzelner Erdbeben, andererseits durch Verwerthung jener Ergebnisse geologischer Forschung, welche die Tektonik der Erdrinde klarstellten, erst eine Erdbebenkunde im modernen Sinne entstehen liessen. Eine solche konnte sich nicht entwickeln, ehe nicht richtige Ansichten über die Vorgänge der Gebirgsbildung ausgereift waren.⁵ Angebahnt wurden dieselben zunächst durch die von C. PREVOST geäußerte Meinung, dass die Gebirge nicht durch eine hebende Kraft von unten gebildet worden seien, sondern dass die Erhebungen nur Folge benachbarter Senkungen wären. Verwandte Ansichten sind später durch LORX, MAGNAN und EBRAY in Frankreich ausgesprochen worden, während in Amerika zumal LECONTE und DANA⁶ darlegten, dass die Gebirge nur dadurch entstünden, dass die Erdrinde in Folge der Contraction des Planeten horizontalen (oder richtiger tangentialen) Verschiebungen unterliege. A. HEIM hat diesen Gedanken ausführlich erörtert und durch Hinweis auf tektonische Verhältnisse in den schweizer Alpen gestützt.⁷ E. SUSS hat ihn zunächst in einem kleineren Buche, welches hauptsächlich der Erörterung der Alpen gewidmet war,⁸ dargelegt, dann aber in einem

¹ G. TOALDO: Della vera influenza degli astri etc. — Saggio meteorologico. Padova 1770. S. 190.

² R. FALB: Grundzüge zu einer Theorie der Erdbeben und Vulkanausbrüche 1869; — Gedanken und Studien über den Vulkanismus. Graz 1875; — Von den Umwälzungen im Weltall. Wien 1881.

³ R. HOERNES: Die Erdbeben-theorie Rudolf Falb's und ihre wissenschaftliche Grundlage. Wien 1881.

⁴ FR. GRAF MARENZI: Vulkane und Erdbeben im Geiste neuester Forschung. (S.-A. aus dessen Geolog. Fragm.) 1872.

⁵ Vergleiche über die allmähliche Entwicklung derselben: E. SUSS: Entstehung der Alpen, S. 2—7.

⁶ J. D. DANA: On some results of the earth's contraction from cooling. Americ. Journ. of sc. a. arts. 1873.

⁷ A. HEIM: Untersuchungen über den Mechanismus der Gebirgsbildung im Anschluss an die geologische Monographie der Tödi Windgällen Gruppe. Basel 1878.

⁸ E. SUSS: Die Entstehung der Alpen. Wien 1875.

grösseren die ganze Erdoberfläche zum Gegenstande nehmenden Werke¹ auf die gesammten Gebirge der Erde angewendet.

Die Lehre von der Gebirgsbildung durch Contraction in Folge der Abkühlung, durch welche Zusammenziehung Spannungen in der Erdrinde hervorgerufen werden, welche sich in tangentialer Faltung und verticale Senkung zerlegen, ist heute fast allgemein angenommen. Der Grundgedanke dieser modernen Ansichten über die Oberflächenbildung der Erde ist schon durch A. v. HUMBOLDT ausgesprochen worden mit den Worten: „Ungleicher secularer Wärmeverlust der Erdrinde und des Erdkernes bewirkt eine Faltung (Runzelung) der starren Oberfläche.“² An Stelle der älteren Hebungstheorien, wie z. B. der HOPKINS'schen, nach welcher die Gebirge durch elastische Dämpfe gehoben worden seien, — wie der zumal von deutschen Gelehrten (v. BUCH, STUDER u. A.) gehegten, dass das Emporpressen einer Masse von krystallinischen Gesteinen längs einer Linie, der Gebirgsaxe, die sedimentären Schichten auseinander geschoben und gefaltet habe,³ — wie der, eine Art Krystallisationskraft des Planeten voraussetzenden, sich hauptsächlich mit dem relativen Alter und der Richtung der Gebirgszüge beschäftigenden Meinungen ELIE DE BEAUMONT's, ist gegenwärtig die herrschende Ansicht getreten, dass es „Hebungen“ im Sinne jener älteren Lehren gar nicht gäbe, weil hierfür (abgesehen von der Unmöglichkeit directen Beweises solcher Hebungen), gar keine Kraft als erklärende Ursache herangezogen werden könne. Es gäbe sonach nur Senkungen und tangentialer Verschiebungen in Folge der Contraction des sich allmählich kühlenden Erdinnern.

Allein es scheint diese unbedingte Negation der Hebungen doch etwas zu weit zu gehen. Wir wollen zugeben, dass die meisten anscheinend gehobenen Theile der Erdrinde, welche uns ältere oder jüngere Sedimentärgebilde in grösserer Meereshöhe zeigen, dieses Verhältniss nicht eigener Erhebung, sondern vielmehr ausgedehnten Senkungen benachbarter Theile der Erdoberfläche danken. Die „Horste“ wurden allerdings nicht gehoben, für ihre Lage zur Umgebung war jedoch die Senkung der umliegenden Theile gleichbedeutend mit einer Hebung des stehengebliebenen oder auch bloß etwas langsamer gesunkenen Fragmentes der Erdrinde. Davon abgesehen dürfte es, wie an anderer Stelle zu erörtern sein wird, wirkliche Hebungen geben und zwar sowohl solche, welche durch Intrusion mächtiger Gesteinsmassen, sei es in Form eines Ganges oder eines Laccolithen, hervorgerufen werden, als auch solche, bei welchen eine, durch entsprechende Brüche abgegrenzte Scholle der Erdrinde bei der gegenseitigen Bewegung der benachbarten Schollen nicht bloß relativ sondern auch absolut gehoben

¹ E. SUSS: Das Antlitz der Erde, I. Bd. Prag u. Leipzig 1883—85.

² A. v. HUMBOLDT: Kosmos. 1845. I. S. 312.

³ Dieser Theorie huldigt heute noch E. REYER in Bezug auf die krystallinischen Centralmassen der Schweiz, von welchen er annimmt, dass sie durch lange Zeit während eruptiver Nachschübe genährte Massenergüsse wären. Vergl. E. REYER: Theoretische Geologie. Stuttgart 1888. S. 495—524.

werden mag. Die Intrusion eines Gesteinsanges wird allerdings nicht, wie seinerzeit STUDER annahm und E. REYER in geänderter Form noch heute annimmt, geradezu gebirgsbildend wirken können, immerhin mag sie, wie einzelne sicher beobachtete Beispiele beweisen, recht grosse Dimensionen annehmen und dann in der That lageverändernd auf die benachbarten Sedimentgesteine einwirken. Als ein Beispiel hiefür können die Verhältnisse von Fontana fredda in den Euganäen angeführt werden, wo eine grössere Menge von Oligoklastrachyt seitlich zwischen die geschichteten jurassischen Kalksteine eindringend, eine bedeutende Masse derselben abgerissen, gleichsam schwimmend vorwärts bewegt und an ihrer unteren Seite verändert, marmorisirt hat.¹ Als Beispiel einer Intrusivmasse von ungewöhnlicher Ausdehnung mag hier auch der als Whin-Sill bekannte, auf eine Strecke von 120 bis 130 Kilometer nachgewiesene und 23 Meter und darüber Mächtigkeit erreichende Basaltlagergang in dem unteren Theile der Kohlenformation von Northumberland hier erwähnt sein.² In Fällen von solchen Dimensionen mag die Intrusion wohl von einer mehr oder minder gewaltigen Erdererschütterung begleitet gewesen sein, und sonach jene Erdbebenhypothese CH. DARWIN's zur Geltung kommen, die derselbe für die südamerikanischen Beben aussprach, auf welche sie indess kaum Anwendung finden dürfte, wie denn überhaupt die ganze Abhandlung DARWIN's: „Ueber den Zusammenhang gewisser vulkanischer Erscheinungen in Südamerika und über die Bildung von Bergketten und Vulkanen als Wirkung derselben Kraft, durch welche Continente erhoben werden,“³ heute hauptsächlich historisches Interesse besitzt, da sie ganz auf dem alten plutonistischen Standpunkte steht, und die von DARWIN vorgebrachten Meinungen sich von den gewaltsameren Ansichten anderer Plutonisten nur insofern unterscheiden, als DARWIN den Lehren LYELLS entsprechend die Bildung einer Bergkette nicht einem einzigen Paroxysmus, sondern unzähligen einzelnen Impulsen zuschreibt. Das Erdbeben von Concepcion vom 20. Februar 1835 bezeichnet DARWIN als „einen Schritt in der Erhebung einer Gebirgskette“ und meint, dass dieses Beben und die damit zusammenhängende Hebung der Küste durch das Spalten grosser Schichtmassen und die Erfüllung solcher Spalten mit flüssigem Gestein verursacht worden sei. SUSS hat indessen nachgewiesen, dass bei diesem Beben (und ebenso bei dem südamerikanischen Beben vom 19. Nov. 1822) gar keine Hebung der Küste stattgefunden hat.⁴

Die Hebung einer Scholle der Erdrinde könnte, so selten sie sich wirklich ereignen mag, doch zuweilen in Folge ähnlicher Vorgänge eintreten, wie sie G. PILAR in seiner eigenartigen Rhyakohypsen-Theorie an-

¹ E. SUSS: Antlitz der Erde. S. 193—195.

² Antlitz der Erde. S. 203.

³ CH. DARWIN: On the Connexion of certain Volcanic Phenomena in South America and the formation of Mountain Chains and Volcanos, as the Effect of the same Power by which Continents are elevated; Transact. Geol. Soc. V. 1838. S. 601—631.

⁴ E. SUSS: Antlitz der Erde, I. S. 124 u. f.

nimmt, nach welcher die Schollen der Erdrinde auf dem flüssigen Erdkerne schwimmen.¹ Gewiss würde die PILAR'sche Theorie, nach welcher die von nach unten convergirenden Brüchen umgebenen Schollen die Tendenz hätten, tiefer in den flüssigen See des Erdinnern einzutauchen, während die von nach oben convergirenden Brüchen begrenzten Schollen ihrer grösseren Leichtigkeit wegen nach aufwärts gedrängt würden, so manche abyssodynamische Vorgänge ungezwungen zu erklären vermögen, wenn eben das glühend-flüssige Erdinnere, welches die Theorie voraussetzt, wirklich vorhanden wäre. Aber wir brauchen diesen Zustand des Erdinnern gar nicht vorzusetzen, sondern nur, wie dies ja auch die Anhänger der Theorie der Gebirgsbildung durch seitlichen Druck, z. B. HELM, thun, einen höheren Grad von Plasticität in den tieferen Theilen der Erdrinde anzunehmen, um die Möglichkeit einzusehen, dass die verschiedene Abgrenzung der Schollen durch gegen das Erdinnere convergirende oder divergirende Brüche, Ursache einer jeweiligen Tendenz zu sinken oder zu steigen werden kann. Solche Vorgänge mögen sich auch thatsächlich in Tafelländern vielfach abgespielt haben. Immerhin mögen wir zugeben, dass die wirklich stattfindenden Hebungen weitaus zurücktreten gegenüber den ausgedehnten Senkungen und horizontalen Verschiebungen. Alle diese Lageveränderungen der einzelnen Theile der Erdrinde aber erfolgen, wenn auch im Ganzen allmählich, so doch im Einzelnen ruckweise, und wenn E. SUSS sagt „der Zusammenbruch des Erdballes ist es, dem wir beiwohnen. Er hat freilich schon vor sehr langer Zeit begonnen und die Kurzlebigkeit des menschlichen Geschlechtes 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 —“² dann haben wir hinzuzufügen, dass die Erdbeben uns die geringe Festigkeit des äusseren Gerüstes der Erde fortwährend in Erinnerung bringen, indem sie uns zeigen, dass jene Kräfte, welche die Erdrinde brechen und falten, auch heute noch fortwirken. Wir erkennen in der weitaus grössten Zahl der Erdbeben nur die Auslösung der Spannungen, welche aus der Contraction des Erdkörpers hervorgingen. Mögen diese Spannungen sich in tangentialer Faltung oder in verticaler Senkung umsetzen, immer wird mit ihrer ruckweisen Auslösung eine seismische Bewegung von grösserer oder geringerer Bedeutung Hand in Hand gehen.

In manchen Fällen wird es gelingen, den unmittelbaren Zusammenhang seismischer Erscheinungen mit Bewegungen der Erdrinde unzweifel-

¹ G. PILAR: Grundzüge der Abyssodynamik, zugleich ein Beitrag zu der durch das Agramer Erdbeben vom 9. November 1880 neu angeregten Erdbebenfrage. Agram 1881.

² Antlitz der Erde, I. S. 778.

haft klar zu stellen, weil das Gebiet der stärksten Erdbebenwirkung sowie die räumliche Ausdehnung der Erderschütterung überhaupt augenscheinlich mit Verhältnissen im Aufbau der Erdrinde, mit Bruchlinien oder Verschiebungslinien zusammenfallen. In anderen Fällen werden diese Beziehungen weniger deutlich oder sogar ganz unklar sein, so dass es schwierig, wenn nicht geradezu unmöglich werden dürfte, in solchen Fällen tektonische Verhältnisse zur Erklärung der seismischen Erscheinungen heranzuziehen.

Von den durch E. SUSS nachgewiesenen, niederösterreichischen Stosslinien fallen die Mürzlinie ebenso wie die Thermallinie von Wien mit leicht erkennbaren tektonischen Störungen zusammen, während die Kamplinie nur durch die wiederholt auf ihr zur Aeusserung gelangten seismischen Erscheinungen, aber nicht durch irgend eine, in den oberflächlich zu beobachtenden geologischen Verhältnissen erkennbare Störungslinie bezeichnet ist.

Da wir in den späteren Abschnitten vielfach Gelegenheit haben werden, uns mit den Resultaten jener Arbeiten zu beschäftigen, welche zur modernen Erdbebenlehre durch Detailuntersuchung einzelner Beben oder grösserer und kleinerer Schüttergebiete beigetragen haben, mag es gestattet sein, hier kurz auf eine Anzahl von Autoren hinzuweisen, welche sich in dieser Richtung besonders verdient gemacht haben. Als solche können genannt werden (das folgende Verzeichniss macht selbstverständlich keinen Anspruch auf Vollständigkeit): A. BITTNER,¹ R. CANAVAL,² H. CREDNER,³ E. GEINITZ,⁴ A. HEIM,⁵ F. v. HOCHSTETTER,⁶ A. HOEFER,⁷ A. v. LA-

¹ A. BITTNER: Beitr. zur Kenntniss d. Erdbeb. von Belluno 1873, Sitzber. d. k. Akad. d. Wiss. Wien 1874.

² R. CANAVAL: Das Erdbeben von Gmünd (Kärnthen) am 5. Nov. 1881, Sitzber. d. k. Akad. d. Wiss. Wien 1882. — Beiträge zur Kennt. der ostalpinen Erdbeben des Jahres 1882, Jahrb. d. naturhist. Landesmuseums von Kärnthen, 17. Bd. 1885.

³ H. CREDNER: Das vogtländisch-erzgebirgische Erdbeben vom 23. November 1875, Zeitschr. f. d. gesamt. Naturwissensch., 48. Bd. 1876, S. 246; — Das Dipoldiswalder Erdbeben vom 5. October 1877, ebenda, 50. Bd., 1877, S. 275; — Die erzgebirgisch-vogtländischen Erdbeben während der Jahre 1878 bis Anfang 1884, ebenda, 57. Bd. 1884; — Das vogtländische Erdbeben vom 26. December 1888, Berichte der k. sächs. Gesellsch. d. Wissensch. Math. Phys. Cl., Sitzung am 11. Febr. 1889.

⁴ E. GEINITZ: Das Erdbeben von Iquique am 9. Mai 1877 und die dadurch erzeugte Fluth im Grossen Ocean. Petermann's geogr. Mittheil. 1877, Heft 12, S. 454 — und Nova acta der k. Leop. Carol. Akad. d. Naturforscher, Bd. XL. N. 9. 1878.

⁵ A. HEIM: Die schweizerischen Erdbeben 1879—80. Bern 1881; — Die schweizerischen Erdbeben 1881. Bern 1882.

⁶ F. v. HOCHSTETTER: Die Erdbebenfluth im pacifischen Ocean, August 1868, Sitzungsber. d. k. Akad. d. Wiss. Wien 1868.

⁷ H. HOEFER: Das Erdbeben von Belluno am 29. Juni 1873, Sitzber. d. k. Akad. d. Wiss. 1876; — Die Erdbeben von Herzogenrath 1873 und 1877, Jahrb. d. k. k. geolog. R. A. Wien 1878; — Die Erdbeben Kärnthens und deren Stosslinien. Denkschr. d. k. Akad. d. Wiss. Wien 1880.

SAULX,¹ G. LAUBE,² R. MALLET,³ G. MERCALLI,⁴ K. v. SEEBACH,⁵
E. SUESS,⁶ FR. WÄHNER.⁷

Es muss aber hier bemerkt werden, dass in einzelnen Ländern sehr wichtige Resultate dadurch gewonnen wurden, dass zum Zwecke der Untersuchung der seismischen Erscheinungen besondere „Erdbebencommissionen“ gebildet wurden. Unter diesen verdient an erster Stelle die von A. HEIM ins Leben gerufene Erdbebencommission der Schweizerischen naturforschenden Gesellschaft genannt zu werden. In einem Aufruf, welcher zur zweckentsprechenden Beobachtung der Erdbeben auffordert, sagt HEIM: „Zur Untersuchung jedes Erdbebens bedarf es zahlreicher Einzelbeobachtungen von möglichst vielen verschiedenen Orten. Der Naturforscher ist hier auf die Hülfe der zahlreichen Freunde der Wissenschaft angewiesen. Er wendet sich nicht nur an seine Fachgenossen, sondern an Jedermann, der Interesse an der Naturbeobachtung nimmt. Der Zweck dieser Schrift besteht darin, diesem weiten Kreise von Freunden der Naturbeobachtung das Wesentlichste bisher über die Erdbeben Bekannte in kurzen Umrissen mitzutheilen, neue solche Freunde zu gewinnen, und die Anleitung zu geben, in welcher Weise zur weiteren Förderung unserer Erkenntniss beobachtet werden soll.“⁸ Die Erhebungen selbst wurden durch zweckmässig eingerichtete Fragebogen eingeleitet, deren Wortlaut hier folgen mag, um zu zeigen, auf welche Angaben eine planmässige Erdbebenforschung Gewicht legen muss, um durch möglichst zahlreiche Einzelberichte Klarheit über das Wesen einer seismischen Bewegung zu gewinnen. Die Fragen lauten:

- 1) An welchem Tage wurde das Erdbeben verspürt?
- 2) Um wie viel Uhr? (wenn möglich mit Angabe der Minuten und Sekunden.)
- 3) Wie geht die Uhr am Tage oder besser zur Stunde des Erdbebens im Vergleich mit der nächsten Telegraphenuhr?
- 4) Bitte um genaue Ortsangabe der Beobachtung. (Kanton, Ort, Lage, im Freien oder in Gebäuden, in welchem Stockwerk, in welcher Lage und bei welcher Beschäftigung wurde das Erdbeben verspürt?)
- 5) Auf welcher Bodenart steht der Beobachtungsort? (Fels, Schuttboden oder Torfboden; wie dick ist der Schutt bis hinab zur Felsunterlage etc.?)
- 6) Wie viele Stösse wurden verspürt und in welchen Zwischenräumen?

¹ A. v. LASAULX: Das Erdbeben von Herzogenrath am 22. October 1873. Bonn 1874; — Das Erdb. von Herzogenrath 24. Juni 1877. Bonn 1878.

² G. C. LAUBE: Das Erdbeben von Trautenau vom 31. Januar 1883, Jahrb. d. k. k. geolog. R. Anst. Wien 1883.

³ R. MALLET: The great Neapolitan Earthquake of 1857. London 1862.

⁴ G. MERCALLI: L'isola d'Ischia ed il terre moto del 28 Luglio 1883, Atti del Istituto Lombardo, Milano 1884.

⁵ K. v. SEEBACH: Das mitteldeutsche Erdbeben v. 6. März 1872. Leipzig 1873.

⁶ E. SUESS: Die Erdbeben Niederösterreichs. Denkschr. der k. Akad. der Wissensch. Wien 1873; — Die Erdbeben des südlichen Italien, ebenda 1874; — Die Sintfluth; Antlitz der Erde, I. S. 25—98.

⁷ F. WÄHNER: Das Erdbeben von Agram am 9. November 1880. Sitzungsber. d. k. Akad. d. Wissensch. Wien 1883.

⁸ A. HEIM: Die Erdbeben und deren Beobachtung. Basel 1880.

7) Welcher Art war die Bewegung? (Schlag von unten, kurzer Seitenruck oder langsames Schaukeln, wellenförmig, blosses Zittern etc. etc.? War sie im Falle mehr als eines Stosses verschieden bei den verschiedenen Stößen etc., womit war die Bewegung zu vergleichen, wie wirkte sie auf den Beobachter?)

8) In welcher Richtung wurde die Erschütterung verspürt?

9) Wie lange schienen Stösse und wie lange etwa nachfolgendes Erzittern zu dauern?

10) Welche Wirkungen übten die Erschütterungen aus?

11) Wie unterschied sich dieses Erdbeben von anderen vom gleichen Beobachter schon wahrgenommenen?

12) Wurde ein Geräusch vernommen, und welcher Art war dasselbe? (Donnern, Klirren, Rasseln, Knall oder anhaltend etc.?)

13) Ging das Geräusch der Erschütterung voran, oder folgte es ihr nach, und wie lange dauerte dasselbe im Vergleich zu der Dauer und den Zwischenzeiten der Stösse?

14) Welche sonstigen Nebenerscheinungen wurden beobachtet? (Benehmen von Thieren, Versiegen oder Trüben oder Neuhervorbrechen von Quellen, Waldrauschen, gleichzeitige heftige Windstösse, abnorme, besonders auffallende Witterungserscheinungen und dergleichen mehr.)

15) Welche Beobachtungen wurden an Seen gemacht?

16) Sind noch schwächere Erschütterungen vor oder nachher beobachtet worden, und zu welcher Zeit?

17) Können Sie noch weitere Beobachtungen Ihrer Bekannten oder aus Ihren Umgebungen anführen, oder uns Adressen von Personen notiren, welche im Falle wären, einen Fragebogen ganz oder theilweise auszufüllen?

Die vortrefflichen Resultate, welche die Arbeiten der schweizerischen Erdbebencommission erzielten (die ersten Berichte wurden von A. HEIM selbst, die folgenden von anderen Autoren verfasst) liessen das Beispiel auch anderwärts befolgen. Auf ganz ähnliche Weise wurden in den österreichischen Alpen Erhebungen über stattgehabte Erdbeben durch Versendung von Fragebogen von Seite des naturwissenschaftlichen Vereines für Steiermark eingeleitet. Auch in Belgien und in Baden kam es zu ähnlichen Organisationen der Erdbebenbeobachtung wie in der Schweiz. So rief der naturwissenschaftliche Verein zu Karlsruhe eine Erdbebencommission ins Leben, welche bereits das rheinisch-schwäbische Beben vom 24. Januar 1880 auf Grund von an 231 Orten gesammelten Nachrichten zum Gegenstand einer eingehenden, durch eine schöne Karte erläuterten Darstellung gemacht hat.¹

In entsprechender Würdigung der Bedeutung der Erdbebenforschung haben die gelehrten Akademien wiederholt einzelne Männer oder ganze Commissionen an den Schauplatz solcher Ereignisse gesandt. Die oben angeführten Arbeiten von A. BITTNER, F. TELLER, F. WÄHNER sind der mathematisch-naturwissenschaftlichen Classe der Wiener Akademie der Wissenschaften zu danken, welche den Genannten Gelegenheit gab, an Ort und Stelle die Wirksamkeit der Beben von Belluno, Chios und Agram

¹ Das rheinisch-schwäbische Erdbeben vom 24. Januar 1880, dargestellt von der Erdbebencommission des naturwissenschaftlichen Vereines zu Karlsruhe, Verhandlungen dieses Vereines für das Jahr 1880.

zu studiren. In weitaus grösserem Maassstabe wurde eine solche Untersuchung bei dem grossen Erdbeben in Andalusien vom 25. December 1884 durch eine französische Expedition eingeleitet, welche denn auch eine entsprechende Leistung in einem grossen Werke darbieten konnte, in welchem nicht bloss die Erscheinungen des Bebens selbst auf das Genaueste dargelegt, sondern auch die geologischen Verhältnisse des ganzen Küstenstriches eingehend erläutert wurden, so dass die geotektonischen Verhältnisse mit grosser Klarheit zur Erklärung der seismischen Erscheinungen herangezogen werden konnten.¹ Dieses Werk enthält aber auch allgemeinere Studien über die Natur der Erderschütterungen sowie interessante Daten zur Palaeontologie und Petrographie des untersuchten Landstriches, dessen naturwissenschaftliche Erforschung jedenfalls anlässlich dieses Erdbebens einen grossen Schritt nach vorwärts machte.

Weitaus die umfassendsten und wichtigsten Arbeiten auf dem Gebiete der Erdbebenkunde aber danken wir der seismologischen Gesellschaft in Japan, einer Vereinigung von Männern der Wissenschaft, welche sich bemüht, in einem von Erdbeben oft und hart heimgesuchten Lande die genaueste Beobachtung der seismischen Erscheinungen durchzuführen. Dieser Beobachtung dienen insbesondere zahlreiche, sinnreich construirte und zweckmässig ausgestattete Instrumente (Seismometer), welche den Eintritt und die Dauer der Erschütterung genau feststellen, die Erschütterung selbst in ihre Componenten zerlegen und durch graphische Selbstregistrirung uns die complicirten Bewegungen eines seismisch erschütterten Punktes bis auf die kleinsten Einzelheiten vorführen. In keinem anderen Lande ist die Erdbebenbeobachtung durch Seismometer so weit vorgeschritten wie in Japan, selbst nicht in Italien, wo man die ältesten Instrumente dieser Gattung kannte und die ersten empfindlichen Mikroseismometer ersann, welche auch die schwächsten Erschütterungen anzeigen. Die Veröffentlichungen der seismologischen Gesellschaft von Japan enthalten aber, abgesehen von einer grossen Zahl direkter Beobachtungen, wie sie in ähnlicher Weise noch in keinem Lande der Erde gesammelt wurden, überaus wichtige theoretische Erörterungen, welche sich auf einzelne Schüttergebiete oder auf allgemeine Fragen der Erdbebenkunde beziehen, so dass wir diese Veröffentlichungen als eine der wichtigsten Quellen für das Studium der seismischen Erscheinungen bezeichnen müssen.²

Wir haben sodann auf jene Autoren zu verweisen, welche die Erdbebenforschung durch Anlage von Erdbebenverzeichnissen theils umfassenderer, theils speciellerer Natur (z. B. für einzelne Jahre oder für beschränkte Gebiete) förderten. Einige dieser Autoren fanden bereits Erwähnung, so E. KLUGE, A. PERREY, O. VOLGER, neben welchen noch

¹ Mission d'Andalousie: Études relatives au tremblement du terre du 25. Décembre 1885, Mém. Acad. des Sciences, T. XXX, No. 2. 1889.

² Seismological Society of Japan: Transactions (erschieden seit 1880).

angeführt sein mögen: C. W. C. FUCHS, C. L. GRIESBACH, K. v. HOFF, J. W. und R. MALLETT und J. SCHMIDT. C. W. C. FUCHS hat vom Jahre 1865 an jährliche Berichte¹ über die vulkanischen Erscheinungen der Erde veröffentlicht und dann eine grössere zusammenfassende Darstellung dieser Erscheinungen in dem Zeitraume von 1865 bis 1885² gegeben. Diese überaus sorgfältig gearbeiteten Repertorien unterstützten durch ihre Genauigkeit und Uebersichtlichkeit das Studium der vulkanischen und seismischen Erscheinungen ungemein.

C. L. GRIESBACH hat die Erdbeben der Jahre 1867 und 1868 aufgezählt, die wichtigeren Daten über dieselben mitgetheilt, und im Anhange an die Chronik der Erdbeben dieser beiden Jahre sehr interessante vollkommen auf dem Boden der modernen Erdbebenforschung stehende Bemerkungen veröffentlicht, in welchen er sich zunächst dahin äussert, dass nicht alle Erdbeben auf eine und dieselbe Ursache zurückgeführt werden dürfen: „Es ist eine alte Wahrnehmung, dass gleiche Ursachen dieselben Folgen haben müssen; aber ebenso wohlbekannt ist, dass auch in der Natur sehr verschiedene Ursachen dieselbe Wirkung haben können. Zu diesen letzteren gehören unstreitig alle die Erscheinungen in der Natur, die wir gewohnt sind, mit dem Collectivnamen „Erdbeben“ zusammenzufassen.“ Mit grosser Entschiedenheit tritt GRIESBACH den Ueberschwänglichkeiten des Plutonismus entgegen: „Auch die Neuzeit hat ihre Mythen; musste vor 3000 Jahren ein wüthender Wassergott Felsen in Bewegung setzen, Häuser zum Einstürzen bringen und die armen schwachen Menschenkinder in Furcht und Schrecken setzen, so thut dies im 19. Jahrhundert ein problematisches Etwas, welches wir nach NAUMANN das „Pyriphlegeton“ oder „Feurigflüssige des Erdinnern“ zu nennen belieben.“ — Die „succussorische“, „undulatorische“ und „rotatorische“ Bewegung leitet GRIESBACH auf Erscheinungen zurück, die bei jeder Wellenbewegung auftreten. Er meint, dass der Gebirgsbau für die Fortpflanzung der Beben entscheidend wäre, — ebenso sind seine Bemerkungen über Schall- und Lichterscheinungen, Quellveränderungen, Spaltenbildung und über den Zusammenhang der Erdbeben mit den Mondesphasen von grossem Interesse. Den Einfluss der Mondesphasen auf die Erdbeben giebt GRIESBACH zwar zu, leugnet aber, dass ein glühend-flüssiges Erdinnere vorhanden sei, welches einer stetigen Ebbe und Fluth, wie das Meer unterliege: „denn dann müssten die fürchterlichsten Erdbeben fortwährend die Erdoberfläche durchzittern, müssten sowie die Ebbe und Fluth die Hebungen und Senkungen der Erdkruste in regelmässiger Folge wechseln.“³

¹ C. W. C. FUCHS: Berichte über die vulkanischen Erscheinungen der Erde (für die Jahre 1865—1871 im Neuen Jahrbuch f. Mineralogie, Jahrg. 1866—1872); für die späteren Jahre in Tschermak's mineralogischen Mittheilungen.

² C. W. C. FUCHS: Statistik der Erdbeben von 1865—1885, Sitzungsberichte d. k. Akad. d. Wissensch. Wien. 92. Bd. I. Abth. Octoberheft. 1885.

³ C. L. GRIESBACH: Die Erdbeben in den Jahren 1867 und 1868, Mittheilungen der k. k. geographischen Gesellschaft in Wien 1869.

K. E. A. VON HOFF hat ein sehr verdienstliches, nach Art einer Chronik angeordnetes Werk über die natürlichen Veränderungen der Erdoberfläche geschrieben, an welche sich eine Chronik der Erdbeben und Vulkanausbrüche schliesst, welche BERGHAUS nach HOFF's Tod herausgab.¹ Ein sehr werthvolles und fast unschätzbares Repertorium, welches zumal bei Vergleichung mit den nicht so sorgfältig gearbeiteten PERREY'schen Verzeichnissen von Vortheil ist.

J. W. und R. MALLET haben sich durch Anlage eines grossen Erdbebenverzeichnisses verdient gemacht.²

J. SCHMIDT hat zwar in seinen Studien über Erdbeben auch viele weitergehende theoretische Erörterungen und sehr werthvolle Beobachtungen über griechische Erdbeben veröffentlicht, sein Hauptverdienst besteht indessen doch in der sorgfältigen Verzeichnung zahlreicher Erschütterungen und vor allem in der Anwendung der statistischen Methode auf die Lösung gewisser Fragen. So fand SCHMIDT, dass die Stellung des Mondes und der Sonne, sowie die jeweilige Entfernung beider Himmelskörper von der Erde einigen Einfluss auf die Häufigkeit der Erdbeben ausüben (die bezügliche Beweisführung ist viel genauer, als jene PERREY's). Ferner leitete SCHMIDT aus fünfzehnjährigen Beobachtungen über 676 griechische Erdbeben mit Bezug auf den Luftdruck ab, dass die Erdbeben bei einem Luftdruck unter 335^{mm} häufiger sind als bei höherem Barometerstande, und dass ihre Häufigkeit bei geringerem Luftdruck sich rascher steigert, als ihre Abnahme bei stärkerem Luftdruck.³

Schliesslich hätten wir noch jener zusammenfassenden Darstellungen der bisherigen Erfahrungen über die Erdbeben zu gedenken, welche geeignet sind, den Leser in entsprechender Weise mit den Aufgaben, Methoden und Resultaten der modernen Erdbebenforschung bekannt zu machen. Als solche verdient vor allem die bereits in ihrem hohen Werthe gewürdigte Darstellung hervorgehoben zu werden, welche A. v. LASAULX in der Encyclopaedie der Naturwissenschaften, beziehungsweise in dem von KENNGOTT herausgegebenen Handwörterbuch der Mineralogie, Geologie und Palaeontologie⁴ gegeben hat. Ist diese Darstellung mehr für die Bedürfnisse der Fachkreise bestimmt, so wenden sich die Schilderungen durch J. ROTH⁵ und FR. TOULA,⁶ welchen noch die bereits erwähnte Schrift von A. HEIM: „Die Erdbeben und deren Beobachtung“ anzureihen

¹ K. E. A. v. HOFF: Geschichte der natürl. Veränderungen der Erdoberfläche, Gotha 1822—34, 3 Bde.; — Chronik der Erdbeben und Vulkanausbrüche, Gotha 1840, 2 Bde.

² J. W. und R. MALLET: Earthquake Catalogue. London 1858.

³ J. SCHMIDT: Studien über Erdbeben. Leipzig 1875 und (2. Aufl.) Leipzig 1879.

⁴ Erster Band, S. 295.

⁵ J. ROTH: Ueber die Erdbeben. Samml. gemeinverst. wissensch. Vorträge. XVII. Serie, Heft 390. Berlin 1882.

⁶ F. TOULA: Ueber den gegenwärtigen Stand der Erdbebenfrage. Schriften d. Vereines z. Verbreit. naturwiss. Kenntnisse. Wien 1881.

wäre, an weitere Kreise. Die TOULA'sche Veröffentlichung besitzt auch aus dem Grunde weiteres Interesse, weil in derselben die vortreffliche Bezeichnung „Dislocationsbeben“ für jene Erschütterungen vorgeschlagen wird, welche mit Verschiebungen einzelner Theile der Erdrinde zusammenhängen, und für welche ich früher den vielleicht weniger bezeichnenden Ausdruck „Tektonische Beben“ in Vorschlag gebracht hatte.¹

¹ R. HOERNES: Erdbebenstudien. Jahrbuch der k. k. geologischen Reichsanstalt, 28. Bd. Wien 1878, S. 387.

Erster Abschnitt.

Erdbebenerscheinungen.

Beispiele der Erdbebenphänomene und theoretische Erörterung derselben. — Art der Bewegung, succussorische und undulatorische Stösse, Erregungsart, Oberflächenmittelpunkt, Emergenzwinkel der Stösse. — Erklärung der sogen. rotatorischen oder vorticosen Erschütterungen. — Fortpflanzung der Erdbeben, centrale, lineare, laterale Beben. — MALET's Methode der Herdbestimmung durch die Emergenzwinkel und Unzulässigkeit derselben. — Gleichzeitige Erschütterung grösserer Theile der Erdoberfläche durch stehende Schwingungen, Einwirkung derselben auf Gebäude. — SEEBACH's Methode der Herdbestimmung durch die Stosszeiten. — Verhältniss zwischen der Grösse des Verbreitungsgebietes und der Intensität der Erschütterung. — Fortpflanzungsgeschwindigkeit, experimentelle Bestimmung derselben in verschiedenen Medien. — Abhängigkeit der Propagation von der Structur der Erdrinde. — Longitudinale und transversale Beben in Kettengebirgen. — Einfluss der localen Bodenbeschaffenheit auf die Erdbebenwirkungen. — Erdbebeninseln und Erdbebenbrücken. — Schallererscheinungen. — Wirkungen der Erschütterungen auf den Boden, angebliche ausgedehnte Niveauveränderungen bei manchen Erdbeben, Bergstürze, Rutschungen, Spaltenbildung, Bewegungen in den Alluvionen der Flüsse und Tiefländer, Senkungen des angeschwemmten Bodens an Meeresküsten. — Beziehungen der Erdbeben zu Erscheinungen in der Atmosphäre, Einfluss des Luftdruckes, Lichterscheinungen bei Erdbeben. — Einwirkungen der Erdbeben auf das Meer, auf Seen, Quellen und Flüsse. — Beziehungen zwischen Erdbeben, elektrischen und magnetischen Erscheinungen. — Einwirkungen der Erdbeben auf Mensch und Thier.

Um später an die Erklärung der Erdbeben schreiten zu können, müssen wir uns zunächst mit ihren Erscheinungen näher befreunden. Dies soll zunächst in mehr theoretischer Form geschehen, indem wir erst dann, wenn wir uns mit der Theorie der bei Erdbeben eintretenden Bewegungen und Begleiterscheinungen vertraut gemacht haben, was selbstverständlich nur durch Erörterung möglichst zahlreicher Beispiele geschehen kann, im nächsten Abschnitt auf die Beobachtung der seismischen Phänomene selbst eingehen wollen.

Wir bezeichnen gewöhnlich als Erdbeben eine Bodenerschütterung, deren Ursache, weil in der Erde selbst liegend, der directen Wahrnehmung durch unsere Sinne entzogen ist. Wir wissen allerdings, dass ganz ähnliche Erschütterungen aus uns wohlbekannten Gründen, welche die menschliche Hand selbst herbeiführte, eintreten. In geringem Maasse fühlen wir ein Erbeben der Erde bei dem Vorüberfahren eines Eisenbahnzuges,¹ bei der Arbeit eines Dampfhammers; — in etwas grösserem bei Minenexplosionen, bei Einstürzen in Steinbrüchen und Bergwerken. Zumal die letzteren Vorgänge führen Erscheinungen herbei, welche vollständig mit jenen der natürlichen Beben übereinstimmen, so zwar, dass wir sie geradezu mit solchen verwechseln würden, wenn uns nicht die von Menschenhand herbeigeführten Ursachen bekannt wären. Es sind aber in beiden Fällen die Art der Bewegung und ihre Fortpflanzung vollkommen gleichartig und wir sind deshalb im Stande, aus solchen, gewissermassen als künstliche Erdbeben zu bezeichnenden Vorgängen wie Minenexplosionen und Grubeneinstürzen, bei welchen wir den Ausgangspunkt der Erschütterung und die erregende Ursache genau kennen, Rückschlüsse abzuleiten auf die natürlichen Vorgänge, deren Herd und deren Ursachen uns unbekannt sind. Wir werden später sehen, wie man sowohl die Schläge von Dampfhammern als die Explosionen verschiedenartiger Minen mit bestem Erfolg benützt hat, um die Fortpflanzungsgeschwindigkeit in verschiedenen Bodenarten genau kennen zu lernen; jetzt wollen wir an einem von A. v. LASAULX angeführten Beispiele die Wirkungen eines Grubeneinsturzes in einem Steinkohlenbergbau betrachten, um erstlich zu sehen, dass die eingetretenen Wirkungen vollkommen jenen eines Erdbebens entsprachen und dann, um gleich aus diesem Falle eine Anzahl von Schlüssen abzuleiten, welche für die Erklärung der Erdbebenerscheinungen von Belang sind.

Um uns die Wirkung des Zusammenbrechens grösserer Gesteinsmassen in einem abgebauten Grubenfelde versinnlichen zu können, müssen wir uns die Art des Bergbaues, wie er z. B. bei mächtigen Steinkohlenflötzen stattfindet, vergegenwärtigen. Während des Abbaues der Kohle müssen selbstverständlich Wände und Decke gesichert werden, was bei fortschreitender Herausnahme der Kohle schliesslich dazu führt, dass das Hangende nur durch die vom Bergmanne zu seiner eigenen Sicherheit stehengelassenen Pfeiler und eingebauten Hölzer getragen wird. Ist man aber an einer Stelle mit dem Abbau zu Ende, so sucht man auch die früher stehengelassenen Pfeiler und das eingebaute Grubenholz nach Thunlichkeit herauszunehmen (zu „rauben“) ehe man den abgebauten

¹ Dass diese Erschütterung nur sehr oberflächlicher Natur ist, ersehen wir aus einer interessanten Mittheilung von H. S. PALMER: A note on Earth Vibrations, Transactions of the seismological society of Japan, Vol. III. 1881, S. 148, wonach die Erschütterungen, welche ein von zwei Locomotiven gezogener Güterzug hervorbrachte, schon in einer Tiefe von drei Fuss nicht mehr fühlbar waren, und selbst durch einen recht empfindlichen Apparat (einen Quecksilberspiegel, der mittelst eines Fernrohres beobachtet wurde) nicht mehr wahrgenommen werden konnten.

Raum dem Einsturz überlässt. Dieser erfolgt wegen der Festigkeit des Hangenden in der Regel allmählich, das Zusammenbrechen geschieht in einzelnen kleineren Theilen und macht sich dann nicht in gewaltsamer Weise fühlbar. Zuweilen aber stürzt die Decke eines grösseren Hohlraumes (einer „Glocke“) auf einmal zusammen und dann tritt eine heftige Erschütterung ein, die sich nicht bloß in der Grube, sondern auch ausserhalb derselben in ganz ähnlicher Weise fühlbar machen kann, wie ein Erdbeben.

„Im Sommer des Jahres 1875 erfolgte ein solcher plötzlicher Einsturz der abgebauten Glocke des zur Königsgrube gehörigen Krugschachtes zu Königshütte in Oberschlesien. Die fast horizontal liegenden abgebauten Flötze besaßen hier eine Gesammtmächtigkeit von über vier Lachter (über acht Meter). Ihr plötzlicher Einsturz verursachte eine mit heftiger Detonation verbundene Erschütterung, die in einem Umkreise von fast einer Stunde deutlich als Erdbeben des Bodens und dumpfer Donner wahrgenommen wurde. Die Bewegung in der unmittelbaren Nähe des Schachtes war eine solche, dass einzelne Gegenstände vollkommen in die Höhe sprangen, wie ein Ball; in weiterer Entfernung in der Stadt schwankte der Boden, wie ein Kahn auf dem Wasser. Ein Maschinenkessel wurde aus seinen Mauerlagen emporgehoben und um sich selbst drehend verschoben. Ueberall war der Eindruck der Erscheinung ein solcher, dass man an ein heftiges Erdbeben glaubte.“¹ Wie v. LASAULX hervorhebt, treten uns hier von derselben Ursache ausgehend drei Arten der Bewegung entgegen: die aufstossende, succussorische, die wellenförmige oder undulatorische, und die drehende oder rotatorische, wie sie übereinstimmend auch bei Erdbeben sich geltend machen. Bei den natürlichen Erdbeben hat man diese verschiedenen Arten der Bewegung auch als Anzeichen verschiedener Ursachen der Erschütterungen bezeichnen wollen, wir können aus unserem Beispiel, bei welchem ein und dieselbe Ursache diese verschiedenartigen Bewegungen herbeiführte, den Schluss ableiten, dass dieselben keine genetischen Verschiedenheiten der Erdbeben andeuten, vielmehr bei einem und demselben Erdbeben in gleicher Weise auftreten können.

Suchen wir nach der Erklärung dieser Bewegungsarten, so müssen wir für den gegebenen Fall wohl den Ausführungen LASAULX' beipflichten, nach welchen die succussorischen Bewegungen in der Nähe des Erregungsortes, die undulatorischen aber in etwas grösserer Entfernung eintraten. Diese Erklärung darf aber, wie wir gleich hier betonen wollen, nicht auf alle Erdbeben angewendet werden, wie später noch ausführlicher zu zeigen sein wird. LASAULX sagt: „Die succussorische Bewegung tritt vornehmlich in den Theilen des erschütterten Bodens ein, die unmittelbar über der erregenden Ursache gelegen sind: ihre Richtung fällt

¹ A. v. LASAULX: Die Erdbeben; Handwörterb. d. Mineralog., Geolog. und Palaeontol. I. S. 301.

mit der des Stosses zusammen, den der Niedergang der Glocke bewirkte. Wir können sie gewissermaassen als directe Stossäusserung bezeichnen. Nur soweit die eingestürzte Glocke im Untergrunde selbst sich erstreckt, soweit also in diesem Falle Einsturzgebiet vorliegt, vermögen solche Stossäusserungen an die Oberfläche zu treten und werden als verticale Bewegung dort fühlbar sein. Denken wir uns alle diese verticalen Stosslinien auf die Oberfläche der Erde gezogen, so geben sie in ihren Fusspunkten eine vollständige Projection der Fläche der eingestürzten Glocke. Das Bild des in dieser Weise umschriebenen succussorisch erschütterten Gebietes spiegelt die Gestalt des Erregungsortes wieder. Es wird aber die Erschütterung an der Erdoberfläche über die Grenzen dieses Gebietes um ein Bedeutendes hinaus gefühlt. Aber es können natürlich die Stösse nicht mehr als verticale an die Oberfläche treten, sondern nur als schiefe, umsomehr von der senkrechten Stellung abweichend, je weiter der Oberflächenpunkt ausserhalb der Zone des Einsturzgebietes liegt. In Königshütte wurde darum die Erschütterung als eine wellenförmige, wie die Schwankungen eines Kahnes empfunden. Aber immerhin sind die schräg austretenden Stösse als direkte Fortpflanzung vom Erregungsorte an die Oberfläche gekommen. In unserem Beispiele lag die erregende Stelle nicht tiefer als 200 Meter, daher der Austritt der Bewegung an die Oberfläche schon in ein Kilometer Entfernung ein recht flacher sein musste. Dort, wo die Bewegung steil, also z. B. unter einer Neigung von $60\text{--}80^\circ$ an die Oberfläche gelangt, wird sie noch succussorisch erscheinen, weiterhin allmählich mehr den Charakter einer nur undulatorischen Bewegung annehmen. Nun ist aber jeder an die Oberfläche gelangende Stoss auch der Ausgang zu einer von diesem seitlich, d. i. horizontal auslaufenden Bewegung, die also auch in dem Theile undulatorisch verläuft, in welchem die directen Stösse rein succussorisch wirken. Und so setzt sich demnach die ganze Bewegung aus directer, succussorischer und indirecter, undulatorischer zusammen. In der mittleren Zone werden beide Arten der Bewegung recht wohl zu unterscheiden sein, je weiter wir von dieser uns entfernen, umsomehr werden die flach austretenden directen und die horizontal verlaufenden indirecten Bewegungen sich zu einer einzigen vereinigen.“

Wie wir jedoch später sehen werden, ist die anscheinende Mischung succussorischer und undulatorischer Bewegung, welche bei so vielen Erdbeben gefühlt wird (für das Erdbeben von Südcalabrien 1783 führt DOLMIEU an, die Bewegung desselben könne man sich nicht besser gegenwärtigen, als indem man kleine Würfel von zusammengeknetetem Sande nebeneinander auf eine Tischplatte lege und diese dann von unten vertical in die Höhe stosse und sie zugleich horizontal hin- und herbe-¹⁾wege), dadurch bedingt, dass die anscheinend nach Art der Wasserwellen fortschreitende seismische Wellenbewegung vielmehr der Gattung der

¹ FR. HOFFMANN: Nachgelassene Werke. Berlin 1838, Bd. II. S. 311.

stehenden Schwingungen angehört, wobei unter Umständen die Auf- und Abbewegung solche Dimensionen erreichen kann, dass die Erschütterung als succussorischer Stoss gefühlt wird, während in anderen Fällen die der Lageveränderung der Gebäude und anderer Gegenstände entsprechende Wahrnehmung sie als ein blosses Hin- und Herwiegen erscheinen lässt, in den meisten aber verticale und horizontale Bewegungen neben einander stattzufinden scheinen.

Wir wollen jedoch die durch LASAULX gegebene theoretische Darstellung eines, von einem Punkte ausgehenden Erdbebens weiter verfolgen, weil die auf diese Weise abgeleiteten Sätze, welche sich auf den Emergenzwinkel der Stösse und dessen Verhältniss zur Lage des Erregungsortes und des vertical über diesem befindlichen Oberflächenmittelpunktes oder Epicentrums beziehen, für alle Versuche aus verschiedenartigen Beobachtungen die Tiefe des Erregungsortes zu bestimmen, von grosser Bedeutung sind. Obwohl die oben angenommene Voraussetzung, dass der Erregungsort ein Punkt sei, wohl nur bei der geringsten Zahl der Erderschütterungen wirklich zutrifft und wir vielmehr gerade bei den grössten und verbreitetsten seismischen Erscheinungen durch unwiderlegliche Beobachtungen zu dem Schlusse gezwungen werden, dass bei ihnen ein grösserer Theil der Erdrinde gleichzeitig oder doch nahezu gleichzeitig erschüttert wird, müssen wir doch von jener Voraussetzung ausgehen, um die Versuche MALLET's, LASAULX' und SEEBACH's die Herdtiefe einzelner Erdbeben zu bestimmen, besprechen und würdigen zu können.

„Gehen wir,“ sagt v. LASAULX, „von der einfachen Annahme aus, dass der Erregungsort ein Punkt sei, der in der Figur 1 bei C liege. Von diesem aus verläuft die Bewegung in der Verticalen CM an die als Ebene $M M_1 M_2 M_3$ gedachte Erdoberfläche. CM ist dann die einzige wirklich vertical d. i. succussorisch auftretende Bewegung. In dem Punkte M_1 in einer gewissen Entfernung von M bildet die Stossrichtung mit der Erdoberfläche einen Winkel, der kleiner ist als 90° , noch mehr weicht er in $M_2 M_3$ u. s. f. davon ab. Für einen in der Unendlichkeit M_∞ gelegenen Ort würde der Stoss gar nicht mehr an die Oberfläche gelangen, d. i. ihr parallel verlaufen. Wenn wir den Winkel, den die Stossrichtung mit der Erdoberfläche bildet, als Emergenzwinkel bezeichnen, so können wir also sagen, der Emergenzwinkel wird um so kleiner, je weiter ein Punkt vom Erregungspunkte entfernt liegt, oder auch von M , dem Fuss-

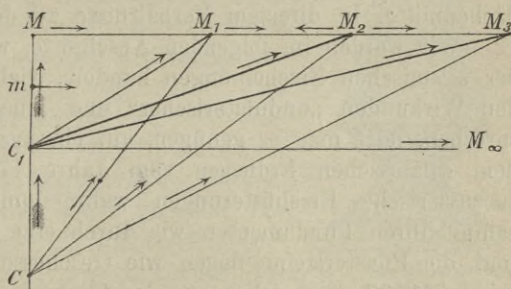


Fig. 1.

punkte des aus dem Erregungspunkte errichteten Lothes, den wir auch als den Oberflächenmittelpunkt bezeichnen können. Eine rein undulatorische, d. i. horizontale Bewegung, kann also an keinem Punkte M_1 , M_2 u. s. w. erfolgen. Dieselbe wirkt succussorisch bei grossem Emergenzwinkel, undulatorisch, wenn dieser Winkel klein ist. Aber überall setzt sich die Bewegung aus Componenten succussorischer und undulatorischer Wirkung zusammen. Andererseits wird aber auch der Emergenzwinkel kleiner, wenn der Erregungspunkt weniger tief liegt, z. B. bei C_1 , wie das aus der Figur ohne weiteres hervorgeht. Jeder Punkt M , M_1 , M_2 an der Oberfläche ist auch der Ausgang einer wirklich horizontal verlaufenden Bewegung; und in der gleichen Weise jeder Punkt zwischen C und M z. B. m . Aber diese letztere Bewegung kommt für uns nicht in Betracht, da gewöhnlich nur die Bewegung an der Erdoberfläche wahrnehmbar wird. So lassen sich denn für die Art der Bewegung einer Erderschütterung folgende Sätze aussprechen:

1. „Die Bewegung eines Erdbebens besteht aus directen Stosswirkungen und aus indirecten. Die directen sind je nach der Lage des Beobachtungsortes zur Erregungsstelle mehr succussorisch oder mehr undulatorisch; die indirecten, oberflächlichen Bewegungen rein undulatorisch.“

2. „Die überwiegend succussorische Bewegung an einem Orte kennzeichnet dessen Lage als über der Erregungsstelle befindlich; das succussorisch erschütterte Gebiet ist das Abbild der Gestalt des Erregungsortes.“

3. „Die überwiegend undulatorische Bewegung an einem Orte lässt auf dessen grössere Entfernung von der Oberflächenmitte schliessen.“

4. „Die Grösse des Emergenzwinkels der Bewegung an einem Orte steht in umgekehrtem Verhältnisse zu der Entfernung von der Oberflächenmitte, in directem Verhältnisse zu der Tiefe des Erregungsortes.“

Wir werden im folgenden Abschnitte, welcher von der Beobachtung der seismischen Erscheinungen handelt, vielfach Gelegenheit haben, von den Wirkungen „undulatorischer“ und „succussorischer“ Bewegungen zu sprechen, jetzt mag es genügen, auf ein paar Beispiele hinzuweisen. Bei dem calabrischen Erdbeben vom Jahre 1783 wurden überaus heftige succussorische Erschütterungen wahrgenommen: viele Häuser wurden sammt ihren Fundamenten wie durch eine Mine in die Höhe geschnellert und die Pflastersteine flogen wie Geschosse in die Luft. In Riobamba wurden 1797 die Leichen aus den Gräbern geworfen. Bei dem Erdbeben von Jamaica, 7. Juni 1692 wurden Menschen vollkommen vertical hoch emporgeschleudert. — Ebenso heftig zeigten sich häufig die undulatorischen Bewegungen: In Calabrien neigten sich 1783 die Bäume so stark, dass die Aeste am Boden anschlagend, abbrachen. An langen Baumreihen konnte man das Fortschreiten der Welle von weitem sehen. 1811 schwankten in Missouri die Wälder wie Kornfelder im Sturmwind. 1870 schwankte der Boden bei Battang in China erst wie ein ruhiges, dann wie ein vom Sturm gepeitschtes Meer. Am 26. März 1812 glich der

Boden von Caracas einer heftig siedenden Flüssigkeit. Selbst bei schwächeren Erdstößen ist die undulatorische Bewegung schon recht stark. So sah ein Beobachter bei dem Erdbeben von Herzogenrath vom 24. Juni 1877 durch ein schmales Fenster hindurch einen entfernt davor liegenden Fabrikshornstein rechts und links aus dem Gesichtsfelde herausschwanken.¹ Vielfach wurden von zuverlässigen Beobachtern succussorische und undulatorische Bewegungen zusammen wahrgenommen, was, wie oben bereits erwähnt seine Erklärung in der transversalen Wellenbewegung des Bodens findet, deren einzelne Phasen bald den Eindruck einer succussorischen, bald jenen einer undulatorischen Bewegung hervorrufen können.

An dieser Stelle mag auch der rotatorischen oder vorticosen, der drehenden oder wirbelnden Bewegungen gedacht werden, von denen man früher meinte, dass ihnen eine besondere Art der Erdbeben zu Grunde liege. Schon F. HOFFMANN hatte die sogenannte rotatorische Bewegung als eine combinirte Wirkung sich kreuzender undulatorischer Bewegungen von verschiedener Richtung gedeutet² — es ist aber gar nicht nothwendig, zweierlei Stöße zur Erklärung der Drehbewegungen anzunehmen, die vielmehr ganz einfach dadurch zu erklären sind, dass nicht in ihrer Schwerlinie fixirte Körper bei einem Stoss eine Drehung um ihren Fixirungspunkt, oder auch um die Stelle der grössten Reibung, die in gleichem Sinne wirkt, erleiden werden. Ueber diese rotatorische Bewegung sagt v. LASAULX: „Die einfache Art wie sie entsteht, können wir leicht aus einem Versuche erkennen. Man lege ein cubisches Holzklötzchen, das an einer Stelle ausserhalb des Mittelpunktes seiner Grundfläche eine kleine kurze Nadelspitze trägt, auf einen festen Tisch und drücke die Spitze in das Holz desselben ein. Ein gegen die Tischplatte ganz geradlinig gerichteter Stoss wird die kleine Holzquader um den Fixirungspunkt drehend bewegen. Die Ursache liegt darin, dass dieser Fixirungspunkt nicht in der Schwerpunktsachse des Körpers liegt. Wenn wir die Nadelspitze genau im Durchschnittspunkte der Diagonalen der Grundfläche anbringen, würde unter sonst gleichen Bedingungen eine rotirende Bewegung nicht erfolgen.“³ Dies ist die einfache Erklärung des so vielfach bewunderten und so oft angeführten Beispieles der vor dem Kloster des heiligen Bruno in der Stadt Stefano del Bosco stehenden vierseitigen Obelisk, deren pyramidenförmige Quader bei dem Erdbeben von 1783 gegen einander und gegen die feststehende Basis gedreht wurden.

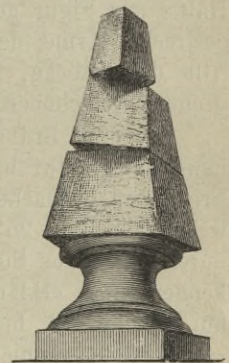


Fig. 2. Ein durch das Erdbeben vom Jahre 1783 gedrehter Obelisk vom Kloster San Bruno zu San Stefano in Calabrien.

¹ A. v. LASAULX: Das Erdbeben von Herzogenrath vom 24. Juni 1877. Bonn 1878, S. 26.

² FR. HOFFMANN: Nachgelassene Werke, Bd. II. S. 310.

³ A. v. LASAULX: Die Erdbeben, Handwörterb. I. S. 304.

Beiden meisten grösseren Erdbeben wurden ähnliche Drehbewegungen beobachtet, so zumal bei dem Beben von Belluno am 29. Juni 1873. Ein besonders schönes Beispiel einer damals stattgefundenen rotatorischen Bewegung schildert GERHARD VOM RATH: Auf dem 70 Meter hohen Thurme des Domes von Belluno stand ein fünf Meter hoher geflügelter Engel aus Bronze. Der Engel hatte Stand gehalten, denn ein mächtiger verticaler Eisenstab verbindet die Bildsäule mit dem Thurmdache. Aber die Flügel waren herabgeworfen worden, statt ihrer zeigte der Engel nur die beiden seinen Schultern angehefteten drei Meter langen Eisenstäbe, über welche mittelst langer Scheiden die Flügel geschoben waren. Der Engel war durch die von NO kommende Erschütterung so gewaltig, um ca. 20° , um seine verticale Achse gedreht worden, dass die schweren Flügel von den etwas aufwärts gerichteten Stäben abgeschoben und hinuntergeschleudert wurden.¹

A. v. LASAULX theilt einen Fall mit, welcher zeigt, dass diese drehenden Bewegungen keineswegs nur bei Erdbeben von grosser Intensität, sondern auch bei schwächeren Beben möglich sind. Bei dem Erdbeben, das am 26. August 1878 die Rheinprovinz und eine weite Zone der umliegenden Länder erschütterte, sind die Wirkungen nirgendwo über den Einsturz von Schornsteinen hinausgegangen. Die Façade des königl. Polytechnikums in Aachen war mit einer drei Meter hohen Statue der Minerva, aus drei Steinen gemeisselt, geschmückt, die in einer ausgestreckten Hand eine Lanze hielt. Durch das Erdbeben wurde die obere Hälfte der Figur gegen die untere so stark gedreht, dass ihr beide ausgestreckte Arme, der eine mit der Lanze, abbrachen und herunterfielen. Alle drei Stücke, aus denen die Figur bestand, waren gegeneinander drehend verschoben.²

Bei dem Erdbeben von Agram am 9. November 1880 waren Drehbewegungen sehr häufig; die auffallendsten waren hier wohl die auf den Friedhöfen beobachteten zahlreichen Verschiebungen von Grabsteinplatten, welche um $10-25^{\circ}$ von N. nach W. gedreht erschienen, was F. TOULA durch einen aus Südwest kommenden, schräg von unten nach oben wirkenden Stoss erklärte.³ Sehr zahlreiche Beispiele drehender Bewegung, auf welche wir hier nicht weiter eingehen wollen, hat F. WÄHNER in seiner Monographie des Agramer Bebens geschildert, und in ähnlicher Weise erklärt. Wohl das auffallendste derselben betrifft die Erscheinungen, welche die Erschütterung an dem an der Südseite des Domes stehenden, damals im Bau begriffenen Stiegenthurnes hervorgebracht hat, und welche

¹ G. VOM RATH: Das Erdbeben von Belluno am 29. Juni 1873. Neues Jahrbuch für Mineralogie etc., 1873, S. 70.

² A. v. LASAULX: Die Erdbeben. Handwörterbuch der Mineralogie. I. S. 305.

³ FR. TOULA: Ueber den gegenwärtigen Stand der Erdbebenfrage, Separat-Ausgabe a. d. Schriften des Vereins zur Verbreitung naturwissensch. Kenntnisse. Wien 1881. S. 9.

WÄHNER durch Schwanken des Thurmes nach verschiedenen Richtungen (nach Ost und nach Südwest) erklären will.¹

Die angeführten Beispiele und ihre Erklärung genügen wohl, um zu zeigen, dass es eine besondere Art von rotatorischen oder vorticosen Erdbebenbewegungen nicht giebt, sondern dass das, was gemeinhin als solche bezeichnet worden ist, nichts ist als Folgewirkung gewöhnlicher Stösse auf ungleichmässig unterstützte Körper, oder schräg von unten kommender Stösse, oder endlich undulatorischer Bewegung. LASAULX meint deshalb, dass wir alle Bewegung, wie sie bei einem Erdbeben erscheint, nur als von einer Art ansehen können, dass lediglich die Richtung, mit der sie in unsere Wahrnehmung trete, eine Verschiedenartigkeit bedinge: „Wir können sie als eine Schwingungs-, eine Wellenbewegung auffassen; bei den successorischen Stössen ist die Stellung des Beobachters zu den Wellenbergen eine andere, wie bei der undulatorischen Bewegung und darin liegt der einzige Unterschied. Aber von dem Erregungsorte geht alle Bewegung in gleicher Weise in das umgebende Medium hinaus.“ Deshalb könne man, um weitere theoretische Grundlagen zur Erkenntniss der Verhältnisse bei Erdbeben zu gewinnen, auch die Erscheinungen einer anderen Wellenbewegung als Ausgang nehmen. Wenn auch die bei Erdererschütterungen stattfindende Wellenbewegung eine ganz andere ist, als jene, welche ein Wasserspiegel zeigt, der an irgend einer Stelle erregt wird, so giebt uns doch die Erscheinung eines in Wellenkreisen bewegten Wasserspiegels das beste Bild von der fortschreitenden Bewegung einer Erdbebenwelle. A. v. LASAULX hat diesen Vergleich mit grossem Vortheil für die Versinnlichung der Fortpflanzung der Erdbeben verwendet²: Denken wir uns auf einem anfangs ruhigen Wasserspiegel eine Anzahl von Merkzeichen, z. B. kleine Hollundermarkkugeln schwimmend. Setzen wir dann den Wasserspiegel an irgend einem Punkte durch Hineinwerfen eines Steines in Bewegung. Wir sehen, wenn die erregte Welle unter einer der Marken durchgeht, diese auf und ab tanzen, in vielfach sich folgenden, abnehmenden Schwingungen. Die von der Erregungsstelle weiter entfernt liegenden Marken werden zuletzt bewegt. Wenn wir mit dem Momente, wo wir durch den Stein die Wellen erregten, zu zählen beginnen, so können wir die Zeit in Zahlen ausdrücken, nach welcher die Bewegung die äussersten Marken erfasst; wir erkennen daraus die Geschwindigkeit, mit der die Wellenbewegung fortschreitet, die Fortpflanzungsgeschwindigkeit. Aber ein Weiteres, das für die Entwicklung der Erdbebenverhältnisse noch wichtiger ist, ergibt sich aus demselben Bilde. Denken wir uns den Punkt, in welchem die Wellenerregung stattfindet, für uns unsichtbar, etwa mit einer Brücke überbaut, so würde uns doch die ganze Erscheinungsweise der Wellen und der durch sie bewegten

¹ F. WÄHNER: Das Erdbeben von Agram am 9. Nov. 1880, 88. Bd. d. Sitzber. d. k. Akad. d. Wiss. Wien 1883; S. 22 d. S.-A.

² A. v. LASAULX: Die Erdbeben. Handwörterbuch der Mineralogie, Geologie und Palaeontologie I. S. 306.

Marken unmittelbar diesen unsichtbaren Ausgangspunkt finden lassen. Selbst wenn wir die Wellen nicht wahrnehmen, sondern nur die Bewegung der Hollunderkügelchen, würden die gleichzeitig bewegten uns gestatten, die Kreise zu construiren, deren Mittelpunkt die Stelle der Erregung gewesen. Wir werden aus der Schnelligkeit und Grösse der Bewegung sogar einen Schluss ziehen auf die Intensität der erregenden Kraft. Das alles wiederholt sich in ganz analoger Weise bei einem Erdbeben, wenn wir dabei zunächst nur die Oberflächenerscheinungen im Auge haben.

Bei einem Erdbeben, dessen Verhältnisse so einfache sind, wie bei dem Eingangs dieser Betrachtungen angeführten Beispiele des Einsturzes einer abgebauten Glocke in einem Bergwerke, wird die Erscheinung mit der Wellenbewegung in einem durch Hineinwerfen eines Steines beunruhigten Wasserspiegel viel analoges haben. Vor allem ist ein bestimmter Oberflächenmittelpunkt, ein Epicentrum vorhanden. Wir sehen dann, dass der Eintritt der Erschütterung in verschiedenen, von diesem Oberflächenmittelpunkt ungleich entfernten Orten auch zu verschiedenen Zeitpunkten erfolgt und sind im Stande hieraus die Geschwindigkeit, mit der die Bewegung an der Oberfläche fortschreitet: die Oberflächengeschwindigkeit der Erdbebenwelle zu bestimmen. Liegen von mehreren oder vielen Orten Beobachtungen vor, welche gestatten, die jeweilige Richtung der Erschütterung zu bestimmen, so wird der Durchschnittspunkt der Richtungslinien dem Oberflächenmittelpunkt entsprechen. Ebenso können wir ihn aus den gleichzeitig erschütterten Punkten finden, denn ähnlich wie bei dem in kreisförmigen Wellen bewegten Wasserspiegel wir aus der Gestalt dieser Wellen auf den Erregungspunkt rückschliessen können, vermögen wir es hier, da die gleichzeitig erschütterten Punkte auf Kreislinien liegen werden, welche den Oberflächenmittelpunkt concentrisch umgeben. Die Form dieser Linien kann aber selbstverständlich nur dann eine kreisähnliche sein, wenn die Stelle der Erregung selbst mehr oder weniger eine punkt- oder kreisförmige gewesen ist. Dann können wir die Bewegung als eine centrale bezeichnen, und nur unter dieser Voraussetzung werden die Linien gleichzeitiger Erschütterung, die Homoseisten Kreise sein können, deren Mittelpunkt dem Oberflächenmittelpunkt oder Epicentrum entspricht.

Wir können uns aber als Erregungsort auch eine Linie vorstellen. Bleiben wir bei dem von LASAULX gewählten Beispiel eines durch einen hineingefallenen Gegenstand erregten Wasserspiegels, so können wir uns dies durch einen Stock versinnlichen, der, hineinfallend, mit seiner ganzen Länge gleichzeitig die Wasserfläche trifft. Die erregten Wellen können in diesem Falle keine Kreisform besitzen, sondern ihre Gestalt wird der Länge des Stockes entsprechend eine langgezogene, elliptische werden: „Wir können dann nicht mehr von einem Mittelpunkte reden, sondern haben eine Mittellinie, eine Achse der Wellenbewegung vor uns. Wir können diese Form der Wellenbewegung daher auch als eine axiale be-

zeichnen. Ist die elliptische Gestalt eine sehr gestreckte, die eine Achse demnach eine sehr lange der zweiten Achse gegenüber, so hat ein solches Wellengebiet einen linearen Charakter.“

Bei einem „axialen“ Erdbeben werden demnach die Richtungsstrahlen nicht mehr auf einen Oberflächenmittelpunkt hinweisen und die Homoseisten werden auch nicht annähernd Kreise, sondern langgestreckte elliptische Formen ergeben. Man wird hieraus schliessen können, dass der Erregungsherd einer solchen Erschütterung ein langgestreckter sein müsse. Dies wird auch in vielen Fällen bei Erdbeben in der Natur zu beobachten sein. Bei jenen Erschütterungen, für welche SUËSS den Namen Blattbeben und Wechselbeben gebraucht¹ und auf deren Bedeutung wir später ausführlich zu sprechen kommen werden, ist der Erregungsort eine Dislocationsspalte des gefalteten Gebirges, welche im ersteren Falle quer auf das Streichen des Gebirges, im letzteren parallel zu diesem verläuft. SUËSS führt zahlreiche Beispiele von Blattbeben an: „Alle jene Erdbeben, welche aus dem nördlichen Theile der Ostalpen angeführt worden sind, sowie das Erdbeben von Sillein am 15. Januar 1858 in dem benachbarten Theile der Karpathen zeigen in übereinstimmender Weise eine quer auf das Streichen des Gebirges gerichtete Achse. Die erregte Bewegung, welche in vielen Fällen ihr Maximum knapp an dem Aussenrande des Gebirges hat, pflanzt sich stets geradlinig weit in die gegenüberliegende böhmische Masse, und zwar nicht selten bis Prag oder Leitmeritz fort; sie kann sogar Meissen in Sachsen erreichen. Dies gilt von allen seit dem Jahre 1590 eingetretenen Stössen auf der Kamplinie und ebenso von dem Erdbeben von Scheibbs vom 11. Juli 1876.“ — Auch das Erdbeben von Belluno vom 29. Juni 1873 sowie das grosse andalusische Beben vom 25. December 1885 können als Blattbeben bezeichnet werden. — „Wenn das belgische Erdbeben vom 23. Februar 1828, welches durch grosse Ausdehnung bei mässiger Intensität und durch genaues Verfolgen des Streichens des Kohlengebirges ausgezeichnet war, in der That, wie LASAULX vermuthet, von der Faille du midi ausging, so dürfte es als ein Beispiel eines Wechsel- oder Vorschubbebens angesehen werden.“

In den früher nach LASAULX angeführten Vergleichen zwischen Wellenbewegungen des Wassers und Erdbebenwellen wurde bis nun angenommen, dass die Bewegung von dem Erregungsorte nach allen Seiten mit gleicher Kraft ausstrahle. Dies ist nun nicht nothwendig der Fall. „Denken wir uns“ — sagt LASAULX — „den Stein oder Stock nicht frei ins Wasser fallend, so dass er vertical sich bewegt, sondern von der Seite gegen die Wasseroberfläche gestossen, so dass er dieselbe mit schiefer Incidenz trifft. Die stärkste Wellenbewegung wird dann in der Richtung des Stosses, d. h. vor dem erregenden Gegenstande stattfinden; hinter demselben nur eine schwache, in gewissem Sinne als reflectorisch zu bezeichnende

¹ E. SUËSS: Antlitz der Erde, Bd. I. S. 228, 229.

Wellenbildung. Es ist dann der erregende Ort nicht mehr Mittelpunkt oder Mittellinie des ganzen bewegten Gebietes, sondern die Ausdehnung und die Gestalt der erregten Wellen ist eine durchaus einseitige oder laterale. Wir können eine Stossseite und eine Schattenseite unterscheiden.“ Analog hiermit haben wir auch laterale Erdbeben zu unterscheiden, bei welchen die Richtungslinien der Bewegung nicht nach einem bestimmten Punkt oder nach einer Linie hin convergiren, sondern fast parallel über das ganze erschütterte Gebiet verlaufen. Es ist leicht einzusehen, dass, wenn der Erregungsort eines Bebens eine Spalte ist, die Bewegung sich ganz oder doch grösstentheils auf einer Seite derselben geltend machen kann. Dies wird insbesondere bei den Senkungsbeben der Fall sein. Bei dem grossen calabrischen Erdbeben vom Jahre 1783, welches dieser Kategorie von Erderschütterungen zuzuzählen ist, wanderten in seinem mehrmonatlichen Verlauf die Hauptstosspunkte auf einer Linie, welche dem Bruchrande des Aspromonte entspricht, und die Erschütterungen machten sich vorzüglich auf jenem Landstrich geltend, der von diesem Bruchrand gegen die Senkung des Tyrrhener Meeres abfällt, während die Stösse sich nur schwach, theilweise auch gar nicht in das ältere Gebirge des Aspromonte fortsetzten.

Wir haben gesehen, dass die Oberflächenerscheinungen oder mit anderem Worte, die Propagationsform der Erdbeben sich recht gut mit den Wellen eines Wasserspiegels vergleichen lässt, es besteht jedoch ein wesentlicher Unterschied. Bei dem Wasser lag unserer Annahme nach die erregende Ursache im Oberflächenmittelpunkte selbst, dort wo der fallende Körper das Wasser trifft. Bei den Erdbeben ist dies keineswegs der Fall. Hier liegt der Erregungsort in der Tiefe, im Innern der Erdrinde und wir kennen weder diese Tiefe noch Gestalt und Ausdehnung des Erregungsortes. Es läuft deshalb die Erdbebenbewegung nicht horizontal über die Erdoberfläche hin, sondern tritt mehr oder weniger schief an die Oberfläche und trifft diese unter dem sogenannten Emergenzwinkel. Ist es möglich, an mehreren oder an vielen Orten die Grösse des jeweiligen Emergenzwinkels zu bestimmen, so erhalten wir damit ein Mittel, die Tiefe des Erdbebenherdes festzustellen.

Diese Methode ist zuerst von R. MALLET angewendet worden, um die Tiefe des erregenden Ortes festzustellen. Wenn wir auch, wie eingehend zu erörtern sein wird, die MALLET'sche Methode der Herdbestimmung durch die Emergenzwinkel deshalb als nicht stichhaltig betrachten, weil die Praemissen derselben irrig sind, so müssen wir doch anerkennen, dass diese Methode die ersten genaueren Untersuchungen der Erdbebenwirkungen veranlasste — ja überhaupt erst eine wissenschaftliche Behandlung derselben herbeiführte. MALLET benutzte die Wirkungen des neapolitanischen Erdbebens vom 16. December 1857 zur Herdbestimmung unter der Voraussetzung, dass das Erdbeben ein centrales gewesen sei. Er ging von den Beschädigungen aus, welche die Gebäude durch das Beben erlitten hatten, da er annahm, dass die Risse in dem Mauerwerk

unter der Einwirkung der directen Stösse senkrecht auf die Richtung derselben entstanden seien. Ebenso hat er aus dem Fall umgestürzter Gegenstände sowie aus der Entfernung, in der sie von ihrem Standorte niederfielen, Richtung und Emergenzwinkel des Stosses zu bestimmen gesucht. Es muss hier bemerkt werden, dass schon die Feststellung der Fallrichtung



Fig. 3. Die Kathedrale von Paterno in Calabrien nach dem grossen Erdbeben von 1857 (nach MALLET). Die Ecke ist durch einen die Richtung der Wände schief treffenden Stoss herausgeworfen.

eines freistehenden Gegenstandes deshalb einige Schwierigkeit hat, weil es nicht immer leicht ist zu beurtheilen, ob der Körper nach dem Falle ruhig liegen geblieben oder fortgerollt und fortgerutscht sei. Der Fall eines solchen Gegenstandes ergiebt auch eigentlich nie mit Sicherheit die Stossrichtung selbst, da der Fall ebenso gut in dieser, wie in entgegengesetzter standfinden kann. Man ist also z. B. nicht im Stande einen

Nordstoss von einem Südstoss zu unterscheiden; man erhält die Ebene, welche senkrecht zur Erdoberfläche durch die Stossrichtung gelegt werden kann, nicht diese letztere selbst. MALLET hat jedoch weitere Schlüsse in Bezug auf die Richtung und auf den Emergenzwinkel des Stosses an jene Vorkommnisse zu knüpfen gesucht, bei welchen ein Körper nicht nur umgeworfen, sondern von seiner Stelle geschleudert wurde.

Sehr complicirter Natur sind die Erscheinungen, welche bei Be-



Fig. 4. Die Reste des Thurmes von Santa Dominica zu Montemurro in Calabrien nach dem Erdbeben von 1857 (nach MALLET).

schädigungen von Gebäuden auftreten, und welche wir eingehender betrachten wollen, da MALLET hauptsächlich aus ihnen seine Emergenzwinkelbestimmungen ableitet. Wir gehen dabei von der Annahme aus, dass diese Beschädigungen durch einen Stoss verursacht worden wären, was, wie später gezeigt werden soll, den thatsächlichen Verhältnissen zumeist nicht entspricht. Ein senkrecht von unten nach oben wirkender Stoss wird bei nicht allzu grosser Stärke in erster Linie das Dach in die Höhe werfen, das sich dann wieder an die alte Stelle setzt, ein Fall der nicht

eben selten beobachtet wird und nachträglich an den dicht unter dem Dache rings um das Gebäude verlaufenden Sprüngen zu erkennen ist. Trifft ein schräg von unten kommender Stoss ein Haus in der Weise, dass die Stossrichtung seiner Langseite parallel geht, so werden in den der Stossrichtung parallelen Mauern sich Sprünge bilden, welche annähernd senkrecht auf die Richtung der Erschütterung stehen, die auf die Stossrichtung quer gestellten Mauern aber werden von senkrechten Spalten zertheilt, oder auch ganz nach aussen gestossen und umgeworfen werden. Trifft ein solcher schräg von unten kommender Stoss die Wände schief, wird z. B. ein Haus, dessen vier Wände nach den vier Haupthimmelsrichtungen orientirt sind, von einem Nordweststosse heimgesucht, so wird die entgegengesetzte, südöstliche Ecke des Hauses abgeworfen [siehe Fig. 3]. Kirchthürme fallen in der Regel als eine Masse um, indem sie an irgend einer Stelle quer durch brechen; nur bei sehr steilen Stössen kommt es vor, dass die eine Ecke als ein spitzer Pfeiler stehen bleibt [siehe Fig. 4]. Dies sind einige der allgemeinsten Regeln. Indem man die Sprünge und ihre Richtung genau verfolgt, kann man die Emergenzwinkel der Stösse bestimmen. Allein nur in den einfachsten Fällen werden die Sprünge dazu benutzt werden können; denn alle Unregelmässigkeiten des Hauses verursachen unregelmässige Sprung- und Einsturzrichtungen. Die Lage von Fenstern und Thüren, von Böden und Querwänden, die Vertheilung und Anordnung des Baumaterials bedingen zahlreiche Abweichungen, welche die richtige Beurtheilung im höchsten Grade erschweren. Es wird deshalb nur ein kleiner Bruchtheil der Zerstörungen und der entstandenen Risse im Sinne der MALLET'schen Methode zur Bestimmung des Emergenzwinkels der Stösse benützt werden können. Werden aber die aus solchen Beobachtungen abgeleiteten Azimuthe von zwei oder mehreren Orten bis zu ihrem Schnittpunkt verlängert, so ist dieser Punkt der gesuchte Erregungspunkt des Erdbebens. Ein von diesem Punkte auf die Erdoberfläche gefälltes Loth ergiebt den Oberflächenmittelpunkt oder das Epicentrum des Bebens. Der Abstand jedes Ortes an der Erdoberfläche von diesem ist der Axialabstand oder die Centrodistanz. Sind nun für einen oder mehrere Orte der Axialabstand und der Emergenzwinkel bekannt, so ist, die Erdoberfläche als Ebene gedacht,

$$h = D. \text{tang } e$$

wobei D die Centrodistanz, e der Emergenzwinkel und h die gesuchte Tiefe des Erregungspunktes oder wahren Erdbebencentrums ist. MALLET hat auf diese Weise das Centrum des calabrischen Erdbebens von 1857 zu bestimmen gesucht. Auf langer, mühevoller Reise durch die erschütterten Gegenden sammelte er die nöthigen Daten unter Verhältnissen, die einen grossen Aufwand von Energie, Umsicht und Ausdauer erforderten. Die Resultate, welche MALLET erhielt, waren anscheinend sehr befriedigend, denn von den 78 Orten, an welchen er im Ganzen 177 Azimuthbestimmungen vornahm, schneiden sich die Stossrichtungen von 16 Orten nahezu in einem Punkte, d. h. innerhalb eines Kreises von nur 500 Yards

(= 456 Meter) Radius und 32 weitere noch innerhalb eines Kreises von $2\frac{1}{2}$ Seemeilen (= 1851 Meter) Radius. Von den übrigen Bestimmungen lassen sich noch zwölf damit in Uebereinstimmung bringen, während für einen Theil der anderen specielle Gründe angegeben werden. Als Resultat seiner Rechnungen fand MALLET eine mittlere Tiefe des Erdbebencentrums von 10649 Meter (während sich aus den Beobachtungen ein Maximum derselben von 15000, ein Minimum von 5100 Meter ergab).¹

Es sei gestattet, hier die kritischen Bemerkungen anzuführen, mit welchen M. NEUMAYR die MALLET'sche Methode der Herdbestimmung ganz richtig gewürdigt hat. Er sagt²: „Diese Methode ist allerdings sehr bestechend aber trotzdem müssen gegen dieselbe und gegen die Ueberschätzung ihrer Bedeutung einige schwerwiegende Bedenken angeführt werden. Abgesehen von dem praktischen Uebelstande, dass sie nur bei sehr starken Erdbeben angewendet werden kann, stützt sie sich auf eine Reihe von Voraussetzungen, welche nur in den seltensten Fällen eintreffen werden. In erster Linie ist die Art und Weise des Verfahrens darauf gegründet, dass die ganze Zerstörung der Gebäude durch successorische Stösse stattgefunden habe; da aber Beschädigungen durch einfache Wellenbewegung geschehen können und diese hier nach den Gesetzen eines geradlinigen Stosses (im mathematischen Sinne) behandelt werden, so liegt darin eine entschiedene Fehlerquelle. Ebenso kommt es vor, dass in einer Erdbebenperiode das Epicentrum wechselt, es werden also auch verschiedene Stossrichtungen an den einzelnen Punkten vorkommen können, die man zu verwechseln Gefahr läuft. Vor allem aber dürfte ein Bedenken schwer in die Wagschale fallen: Wenn ein Geolog eine von Erdbeben stark zerüttete Stadt betritt, so umgeben ihn hunderte von beschädigten Gebäuden, und da er sie nicht alle untersuchen kann, so hat er nun die geeignetsten zu wählen, welche er speciell studiren und auf die er seine Folgerungen gründen will. Er muss als solche diejenigen Häuser aufsuchen, welche die Wirkung des Erdbebens am reinsten darstellen, und als solche wird er ganz unwillkürlich unter sonst gleichen Umständen diejenigen betrachten, welche mit einer vorläufig gefassten Ansicht über die Lage des Mittelpunktes am besten harmoniren. In der Nothwendigkeit also, eine Auswahl weniger Fälle aus der grossen Menge zu treffen, und in der Schwierigkeit, um nicht zu sagen Unmöglichkeit, hierbei ganz unbefangenen vorzugehen, liegt wohl die grösste Schwäche der MALLET'schen Methode, und sie tritt vielleicht am auffallendsten hervor in der unnatürlich grossen Genauigkeit der Bestimmung des Mittelpunktes bei MALLET, welche mehr leistet, als mit unseren rohen Hilfsmitteln überhaupt geleistet werden kann. Endlich muss noch hervorgehoben werden, dass in der ganzen Auffassung schon darin ein Irrthum zu liegen scheint, dass nur ein räumlich sehr begrenztes Gebiet als Ausgangspunkt betrachtet wurde und die

¹ R. MALLET: The great Neapolitan earthquake. London 1862.

² M. NEUMAYR: Erdgeschichte, I. Bd. Leipzig 1886, S. 303.

sehr nahe liegende Möglichkeit, dass eine grosse Scholle Landes sich in Bewegung befunden habe, nicht berücksichtigt ist. Alle diese Erwägungen führen zu der Ansicht, dass das Werk von MALLETT einen sehr werthvollen Versuch darstellt, dass es ein bahnbrechendes genannt werden darf, dass aber der im einzelnen eingeschlagene Weg ein unrichtiger, das Resultat ein unbefriedigendes ist.“ Diesen Ausführungen NEUMAYR's müssen wir vollinhaltlich beipflichten, zumal wir gleich sehen werden, dass die von NEUMAYR angedeuteten zwei Möglichkeiten, dass die Beschädigungen nicht durch einfachen Stoss sondern durch Schwingungen erfolgt sein können, und dass die Erschütterung nicht von einem beschränkten Gebiet ausgegangen sei, sondern dass sich eine grössere Scholle Landes in Bewegung befunden habe, wohl bei der überwiegenden Mehrzahl der Erdbeben eintreten. Zu dieser Annahme aber werden wir gezwungen durch die Thatsache, dass sich Erschütterungen über sehr grosse Gebiete hin fast gleichzeitig eingestellt haben.

Wir werden im nächsten Abschnitte ausführlich die Zeitbestimmungen bei einzelnen Beben und insbesondere bei jenem von Agram vom Morgen des 9. November 1880 zu erörtern haben. Es sei aber schon jetzt darauf verwiesen, dass gerade die zuverlässigsten Zeitangaben, welche FR. WÄHNER über den Eintritt dieses Bebens gesammelt hat, erweisen, dass dasselbe über den ganzen Raum seiner Verbreitung nahezu gleichzeitig aufgetreten ist. Die zuverlässigsten Aufzeichnungen ergeben für den Eintritt des Agramer Bebens an den nachstehenden Orten folgende Zeiten (sämmtlich auf Prager Zeit umgerechnet):

Agram:	7	Uhr	27	Minuten	38	Secunden
Fiume:	7	„	27	„	27	„
Fünfkirchen:	7	„	27	„	44	„
Klagenfurt:	7	„	28	„	26	„
Komorn:	7	„	26	„	12	„
Pola:	7	„	28	„	0	„
Wien:	7	„	28	„	27	„

Die Differenz des Eintrittes der Erschütterung gegenüber Agram betrug sonach in Fiume — 11, in Fünfkirchen + 6, in Klagenfurt + 48, in Komorn — 86, in Pola 22, in Wien 49 Secunden.¹

Zu demselben Resultate aber ist man auch bei der Untersuchung anderer Erdbeben gekommen, welche sich über grössere Gebiete erstreckt haben. So fand HEIM für das Schweizer Erdbeben vom 4. Juli 1880, WHITNEY für dasjenige von Owens Valley in Californien vom 26. März 1872 und WYNNE für die Erschütterung im oberen Pendschab vom 2. März 1878 das nämliche Ergebniss, dass die Erschütterung sich in dem jeweilig von ihr betroffenen Gebiete gleichzeitig oder doch nahezu gleichzeitig fühlbar gemacht habe. Wir wollen diese drei Beben hinsichtlich des gleichzeitigen Eintrittes der Erschütterung aus dem Grunde

¹ FR. WÄHNER: Das Erdbeben von Agram, S.-A. a. d. 88. Bd. d. Sitzungsber. d. k. Akad. d. Wiss. Wien 1883, S. 316.

etwas näher ins Auge fassen, weil die Ausdehnung der gleichzeitig bewegten Gebiete eine sehr beträchtliche war.

Bei dem grossen und höchst lehrreichen Erdbeben von Owens Valley an der Ostseite der californischen Sierra Nevada vom 26. März 1872 hält es WHITNEY für erwiesen, dass der Hauptschlag in der Richtung des Streichens der Sierra gleichzeitig auf der ganzen Strecke vom 34. bis zum 38. Breitegrade eingetreten ist, während die seitlich abgehende Undulation die Mitte des San Joaquinthales in 2—3 Minuten, jene des Sacramentothales in 3—4 Minuten und die Küste zwischen San Francisco und Los Angeles in 4—5 Minuten erreichte.¹

Als am 2. März 1878 das ganze obere Pendschab sammt den angrenzenden Gebieten von Banun, Kohat, Peschawar und Rawalpindi bis Lahore und Ferozpur, und bis über Simla hinaus erschüttert wurde, vermochte WYNNE wesentliche Verschiedenheiten der Zeit des Stosses nicht aufzufinden, obwohl die äussersten Beobachtungspunkte in der Luftlinie 732 Kilometer von einander entfernt sind und der Bau des Untergrundes auf diesem weiten Gebiet ein sehr verschiedenartig ist.²

Das Erdbeben vom 4. Juli 1880 erstreckte sich von der Poebene quer durch die Alpen bis in den Schwarzwald. Die grösste Erstreckung war beiläufig 305 Kilometer von Süd gegen Nord, nämlich von Vercelli bis Lenzkirch; quer darauf, von Genf-Annecey bis Poschiavo-Chur, betrug die Ausbreitung etwa 280 Kilometer. Hierbei werden folgende Zeiten angeführt:

Zürich	9	Uhr	20	Minuten	—	Secunden
Wattwyl (Toggenburg)	9	„	19	„	40	„
Einsiedeln	9	„	20	„	30	„
Andermatt	9	„	20	„	47	„
Airolo	9	„	21	„	3	„
Faido (Tessin)	9	„	20	„	3	„
St. Bernhardin	9	„	19	„	30	„
Brieg (Wallis)	9	„	19	„	40	„
St. Leonhard bei Sitten (Wallis)	9	„	20	„	35	„
Genf	9	„	20	„	4	„
Lugano	9	„	19	„	—	„

HEIM schliesst hieraus, dass die Ursache des Erdbebens vom 4. Juli 1880 nur in der gleichzeitigen und gleichartigen ruckweisen Bewegung eines sehr ausgedehnten Stückes der Erdrinde, nicht aber in einem localen, heftigen Anstosse liegen könne.³

E. SUSS bemerkt deshalb mit Recht: „Es sind also drei Beobachter in verschiedenen Welttheilen selbständig von einander zu demselben Resultate gelangt.“⁴

¹ J. D. WHITNEY: The Owen's Valley Earthquake of March 26, 1872; Overland Monthly for Aug. and Sept. 1872. S. 273.

² A. B. WYNNE: Notes on the Earthquake in the Punjab of March 2^d, 1878; Journ. Asiat. Soc. Bengal, 1878, XLVII b, S. 131—140.

³ A. HEIM: Die schweizerischen Erdbeben vom November 1879 bis Ende 1880 nach den von der Erdbebencommission gesammelten Berichten. Bern 1881.

⁴ E. SUSS: Antlitz der Erde, I. Bd. S. 102.

Ueber das von ihm in seinen Erscheinungen genau studirte Agramer Beben äussert sich WÄHNER indem er das Hauptergebniss seiner Arbeit zusammenfasst mit folgenden Worten: „Es lässt sich mit Bestimmtheit aussprechen, dass die Bewegung in dem ganzen von ihr betroffenen Gebiete, von dem pleistoseisten Bezirke mit den gewaltigen Gebäudezerstörungen bis zu den äussersten Grenzen, an welchen die Erscheinung nur sporadisch zur Beobachtung gelangte, wenn auch quantitativ verschieden, doch qualitativ die gleiche war. Sie lässt sich charakterisiren als eine in verticaler oder doch nahezu verticaler Richtung erfolgte schwingende Bewegung der einzelnen Bodentheilchen, durch welche der Boden seine Gestalt veränderte, als eine länger dauernde fortschreitende, transversale Wellenbewegung eines Theiles der Erdoberfläche, welche Bewegung an einer grossen Zahl von Localitäten nachweisbar mehrmals die Richtung ihres Fortschreitens geändert hat. Die Bewegung bestand also nicht in einer oder mehreren longitudinalen Wellen, welche, von einem bestimmten Punkte oder engbeschränkten Gebiete unter der Oberfläche ausgehend, sich gleichmässig nach allen Richtungen verbreiten, die geschilderte transversale Wellenbewegung konnte vielmehr nur in einer ausgedehnteren Region der Erdrinde, welche gleichzeitig oder nahezu gleichzeitig von der Bewegung ergriffen wurde, ihren Ursprung haben.“¹

Bei dem Umstande, als wohl in den meisten Fällen die Bewegungen, welche in einem grösseren Areal nahezu gleichzeitig eintreten, denselben Regeln folgen werden, welche WÄHNER für die transversalen Schwingungen des Agramer Bebens eingehend entwickelte, wollen wir, seinen Ausführungen folgend, diese Bewegung etwas genauer betrachten, zumal wir hierbei uns auch davon überzeugen werden, dass sich aus den Sprüngen und sonstigen Beschädigungen der Gebäude jene Schlüsse nicht ableiten lassen, welche MALLETT's oben erörterte Theorie der Herdermittlung durch Bestimmung der Emergenzwinkel ziehen will, da sich diese Beschädigungen eben durch die transversale Wellenbewegung des Erdbodens anders und besser erklären lassen.

Figur 5 stellt einen verticalen Schnitt eines Theiles der erschütterten Erdoberfläche dar, d. i. eine Gerade, deren einzelne Punkte in einer senkrecht auf- und abwärts schwingenden Bewegung begriffen sind. Wir nehmen an, dass diese Bewegung gleichmässig von links nach rechts fortschreite, so zwar, dass in dem Momente, da der Punkt x eine volle Schwingung (nach abwärts und aufwärts) vollendet hat, eben der Punkt y von der Bewegung ergriffen wird. Die Gerade $x x_6$ stellt uns dann die Amplitude (Höhe), die Gerade $x_3 y_3$ die Länge der Welle dar. In diesem Augenblicke hat der Boden die Gestalt der Curve $x p a_6 q y$. Die Gerade $x_3 y_3$ stellt zugleich die Ruhelage dar, welche die Oberfläche des Bodens nach der Bewegung annehmen wird.

¹ F. WÄHNER: Das Erdbeben von Agram, S. 317 u. 318 des Sonderabdruckes.

Jeder einzelne Punkt bewegt sich mit beschleunigter Geschwindigkeit gegen diese Ruhelage und entfernt sich von derselben mit verzögerter Geschwindigkeit. Nachdem die Welle um das erste, zweite, dritte

zwölfte Zwölftel ihrer Länge vorgeschritten ist, wird der Punkt x nach einander die Stellungen $x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_5, x_4, x_3, x_2, x_1$ inne haben.

Stellen wir uns eine schwerlose, starre Gerade vor, welche auf dem als horizontale Ebene gedachten Erdboden senkrecht steht und mit demselben fest verbunden ist, so dass sie ihre Stellung mit Bezug auf den Boden nicht verändern kann. Die Achse eines senkrecht gewachsenen Baumes, einer gut fundirten Telegraphenstange, Steinsäule etc. stellt eine solche Gerade dar, wenn wir uns für die erste theoretische Untersuchung die Eigenschaften der Trägheit, Schwere etc. ausser Wirksamkeit denken. Eine solche Gerade wird auch während der Bewegung des Bodens auf demselben senkrecht stehen, beziehungsweise auf der Tangente, die man sich im Fusspunkte der Geraden zu jener Curve gezogen denkt, in welcher die in der Richtung des Fortschreitens der Bewegung gelegene Verticalebene die jeweilige Gestalt der Oberfläche schneidet. Sind diese Wellencurven Kreisbögen, so haben die Geraden die Richtung des durch den betreffenden Punkt gehenden Radius des entsprechenden Kreisbogens.

In Fig. 5 sei ab eine Gerade, welche den angegebenen Bedingungen entspricht. Die-

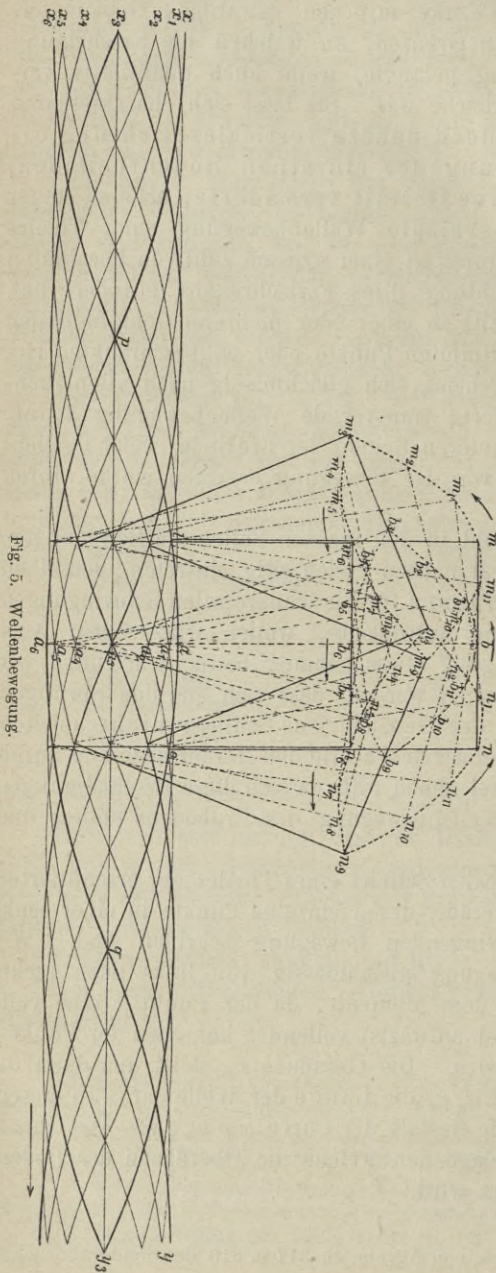


Fig. 5. Wellenbewegung.

selbe wird, wenn die schwingende Bewegung der einzelnen Bodentheilchen mit einer Bewegung nach abwärts beginnt und die Welle von links nach rechts fortschreitet, nach und nach die Stellungen $a_1 b_1, a_2 b_2, a_3 b_3, a_4 b_4, a_5 b_5, a_6 b_6, a_7 b_7, a_8 b_8, a_9 b_9, a_{10} b_{10}, a_{11} b_{11}, a b$ einnehmen, nachdem die Welle ein, zwei, drei . . . zwölf Zwölftel ihrer Länge zurückgelegt hat. Während also der Fusspunkt a der Geraden $a b$ sich in der Verticalen $a a_6$ auf und ab bewegt, bewegt sich der obere Endpunkt b in der Bahn $b b_3 b_6 b_9 b$ hin und her. Es lässt sich nachweisen, dass $b_3 b b_9$ und $b_3 b_6 b_9$ Ellipsen sind, wenn die Wellencurven Kreisbögen darstellen.

Der Punkt b vollführt während des ersten Viertels der Wellendauer eine beschleunigte Bewegung nach links und abwärts und erlangt am Ende derselben in b_3 seine grösste Geschwindigkeit. In diesem Momente wird die seitliche Bewegung plötzlich abgebrochen, um zu Beginn des nächsten Viertels mit geringerer Geschwindigkeit in die entgegengesetzte Bewegung nach rechts überzugehen, während die Bewegung nach abwärts fortgesetzt wird. Während des zweiten Viertels verzögert sich die Bewegung bis zum Ende desselben, wobei sie allmählich in eine nahezu horizontal gerichtete und zu Beginn des dritten Viertels ebenso allmählich in eine Bewegung nach aufwärts übergeht, während die seitliche Bewegung nach rechts fortgesetzt wird. Im dritten Viertel wird die Bewegung wieder beschleunigt und erreicht nach dem Ende desselben in b_9 dieselbe Geschwindigkeit, mit welcher die Bewegung des zweiten Viertels begonnen hat. In diesem Momente wird die seitliche Bewegung abgebrochen, um zu Beginn des nächsten Viertels mit der Maximalgeschwindigkeit, welche die Bewegung zu Ende des ersten Viertels erlangt hatte, in die entgegengesetzte Bewegung nach links überzugehen, während die Bewegung nach aufwärts fortgesetzt wird. Während des vierten Viertels verzögert sich die Bewegung bis zum Ende desselben, wobei die Richtung derselben zugleich allmählich einer Horizontalen sich nähert.

Um die Bewegungsformen des Punktes b zu charakterisiren, wollen wir der Kürze wegen einige Ausdrücke einführen:

1. Die Bewegung ist entweder abwärts oder aufwärts gerichtet.
2. Die Bewegung ist zugleich seitlich, indem sich der Punkt b von seiner, der verticalen Stellung der Geraden entsprechenden Ruhelage entweder entfernt oder dahin zurückkehrt; wir sagen, die Bewegung ist entweder mediofugal oder mediopetal.
3. Die seitliche Bewegung findet entweder im Sinne des Fortschreitens der Welle oder im entgegengesetzten Sinne statt, wofür wir die den Begriff nicht vollkommen bezeichnenden Ausdrücke progressiv und regressiv verwenden wollen.

Die Bewegung des Punktes b lässt sich daher der Richtung nach in den vier Vierteln einer Schwingungsdauer folgendermaassen charakterisiren.

- I. abwärts, mediofugal, regressiv;
- II. abwärts, mediopetal, progressiv;

III. aufwärts, mediofugal, progressiv;

IV. aufwärts, mediopetal, regressiv.

Was die Geschwindigkeit der Bewegung anlangt, so ist dieselbe in I und IV grösser als in II und III; ferner ist die Bewegung in I und III beschleunigt, in II und IV verzögert. Die Uebergänge von II nach III und von IV nach I sind allmählich, sie werden deshalb keine besondere Bedeutung bezüglich der Wirkung auf aufrecht stehende Gegenstände haben. Von sehr grosser Bedeutung sind hingegen die beiden Momente, in welchen die seitliche Bewegung der einen Richtung plötzlich in die der anderen Richtung übergeht, das sind die Momente zwischen I und II und zwischen III und IV. So vereinigen sich IV und I einerseits, II und III andererseits zu zwei scharf von einander abgegrenzten Hälften der ganzen Schwingungsphase, in deren jeder die Bewegung einen ziemlich einheitlichen Charakter besitzt. In der Hälfte IV—I, welche dem Wellenberge entspricht, ist die Bewegung regressiv, in der anderen Hälfte II—III, welche dem Wellenthale entspricht, progressiv.

Wenn die Länge von a b gegenüber der Höhe der Welle eine sehr bedeutende ist, so wird die seitliche Bewegung des Punktes b gegenüber seiner Bewegung im verticalen Sinne ungleich bedeutender sein, und wir werden es der Hauptsache nach mit einer hin- und herschwingenden Bewegung zu thun haben, welche sich aber wesentlich von einer pendelförmigen Bewegung unterscheidet. Während nämlich bei dieser die Geschwindigkeit mit der Entfernung des schwingenden Punktes von der Ruhelage abnimmt, bis sie gleich Null ist, worauf der Punkt sich gegen seine Ruhelage zurückbewegt, um in dieser seine grösste Geschwindigkeit zu erlangen, verhält es sich in unserem Falle gerade umgekehrt. Die Geschwindigkeit des Punktes b wächst und vermindert sich mit der Entfernung von seiner Ruhelage.

Betrachten wir nun die Wirkungen dieser schwingenden Bewegung auf über die Erdoberfläche emporragende Körper. Denken wir uns zuerst statt der mathematischen Geraden einen hauptsächlich nach einer Dimension ausgedehnten, aufrecht stehenden Körper, z. B. einen hohen Baum, eine Telegraphenstange, Steinsäule etc. von der Bewegung ergriffen. Während der Phase I neigt sich der Körper seitwärts und abwärts und erreicht am Ende derselben seine grösste Geschwindigkeit. Die seitliche Bewegung soll nun plötzlich unterbrochen und in die entgegengesetzte verwandelt werden. In Folge der Trägheit wird jedoch der Körper die frühere seitliche Bewegung fortzusetzen suchen. Haftet derselbe nur vermöge seiner Schwere ohne feste Verbindung am Boden, so wird er, wenn die Bewegung bedeutend genug war, diese fortsetzen und umfallen, oder wenn der Betrag der Bewegung so gering war, dass die Stabilitätsgrenze noch nicht überschritten wurde, in Folge der Schwere diese Bewegung allmählich verzögern, einstellen und sich in entgegengesetzter Richtung zurückbewegen. Ist die Verbindung des Körpers mit dem Boden eine fixe, so wird die Trägheit, vermöge welcher er die Bewegung fortzusetzen

sucht, einen Druck, Zug oder Stoss in der Richtung dieser Bewegung auf den Körper ausüben, welcher in den höchsten Theilen desselben am stärksten ist und gegen unten abnimmt. Diese Kraft kann unter Umständen hinreichen, den Körper zu biegen, abzubrechen etc. In jedem Falle wirkt sie jener Kraft entgegen, welche den Körper vermöge seiner fixen Verbindung mit dem Boden zu Beginn der Phase II nach der entgegengesetzten Richtung zu bewegen sucht. Besitzt der Körper so viel Biogsamkeit, dass er wenigstens in seinen oberen Theilen noch eine gewisse Strecke in derselben Richtung sich fortbewegen kann, so wirkt jene zweite Kraft verzögernd auf diese Bewegung, bis die Geschwindigkeit derselben gleich Null wird, worauf die Bewegung in entgegengesetzter Richtung beginnt, zunächst mit geringer, sich aber rasch steigender Geschwindigkeit. Wir sehen also in dem Momente des Uebergangs aus der Phase I in die Phase II in Folge des Widerstreites der Kräfte, welche den Körper in zwei einander gerade entgegengesetzten Richtungen zu bewegen suchen, gewisse Modificationen jener Bewegungsformen eintreten, welche wir an der mathematischen Gerade betrachtet haben; wir müssen diese Bewegungsformen daher als den Ausdruck des Bestrebens des Körpers betrachten, welchem das Beharrungsvermögen entgegenwirkt.

Dieselben Erscheinungen werden eintreten an der Grenze zwischen den Phasen III und IV. Wenn die Geschwindigkeit, welche ein bestimmter Punkt (z. B. das obere Ende des Körpers) zu Ende der Phase III erlangt, geringer ist, als die Geschwindigkeit, mit welcher sich derselbe am Ende der Phase I bewegte, so ist dafür die Geschwindigkeit, mit welcher er sich zu Beginn der Phase IV in entgegengesetzter Richtung zu bewegen sucht, in demselben Verhältnisse grösser als die entsprechende Geschwindigkeit zu Beginn der Phase II; die Reaction in Folge des Beharrungsvermögens ist daher in beiden Fällen die gleiche.

In den meisten Fällen, welche zur Beobachtung gelangen, werden wir das verticale Moment der Bewegung unberücksichtigt lassen können, und wir können dann die Bewegung einfach als ein Hin- und Herschwanken betrachten, wobei in den beiden Momenten, in welchen der Körper seine grösste Neigung erlangt hat, ähnliche heftige Wirkungen eintreten, wie sie von horizontalen oder nahezu horizontalen Stössen hervorgebracht werden.

Wenn wir uns statt eines Baumes etc. eine einzeln stehende Mauer von der Bewegung ergriffen denken, so zwar, dass das Fortschreiten der Wellen senkrecht auf die Längenausdehnung der Mauer stattfindet, so wird die Mauer, wenn der Betrag und die Schnelligkeit der Bewegung bedeutend genug ist, in den Zeitpunkten I/II und III/IV in der Richtung der früheren Bewegung zu brechen suchen. Es wird ein horizontaler Riss nahe dem Boden (bei hohen Mauern auch an höheren Stellen, oder dort, wo sie durch angebrachte Oeffnungen geschwächt sind etc.) entstehen. Wenn durch diese Krafterleistung noch nicht die ganze Geschwindigkeit aufgebraucht ist, so kann sich nun die Mauer ungehindert von

der Bewegung des Bodens in der alten Richtung fortbewegen, und es hängt dann ausser von der Geschwindigkeit dieser Bewegung nur von der Wirkung der Schwere ab, ob die Mauer fällt oder sich wieder zurückbewegt.

Betrachten wir nun die Bewegung eines Körpers, welcher auch in der Richtung des Fortschreitens der Bewegung eine grössere Ausdehnung besitzt, z. B. einer Mauer, deren Längenausdehnung in dieser Richtung liegt. Wir können uns dieselbe in dem Rechtecke $l m n o$ (Fig. 5 S. 50) projectirt denken. Wir nehmen an, die Länge der Welle sei eine so grosse, dass wir den Theil des Bodens, welcher der Länge der Mauer entspricht, als eine Ebene betrachten können. Wir nehmen also auf die Verhältnisse, welche die Krümmung des Bodens hervorbringt, keine Rücksicht und betrachten nur die Wirkung der Neigung derselben, wie früher bei der einzelnen Geraden.

Denken wir uns sämtliche Punkte der Mauer in einzelnen, senkrecht stehenden, starren geraden Linien angeordnet, so wissen wir, dass jeder Punkt das Bestreben hat, eine Bahn, ähnlich der Bahn $b b_3 b_6 b_9$ zu beschreiben. Dieselbe Schwingungsphase langt aber bei jeder Geraden zu verschiedener Zeit an, und in dem gleichen Augenblicke befindet sich jede Gerade in einer anderen Phase. Nur die mittlere Gerade wird die Bewegung wirklich ausführen, welche sie vermöge ihrer Schwingungsphase auszuführen strebt. Alle übrigen Geraden hingegen werden gezwungen sein, jene Bewegung auszuführen, welche ihnen vermöge der starren Verbindung sämtlicher Mauertheilchen zukommt. Daraus ergibt sich die Construction in Figur 5, bei welcher der Einfachheit wegen die Länge der Mauer $m n$ dem sechsten Theile der Wellenlänge gleichgemacht wurde. Während der Punkt b nach und nach die Stellungen $b_1, b_2, \dots b_{11}, b$ einnimmt, wird der Punkt m gleichzeitig die Stellungen $m_1, m_2 \dots m_{11}, m$ und der Punkt n zur selben Zeit die Stellungen $n_1, n_2 \dots n_{11}, n$ einnehmen. Wenn der Punkt b zwei Ellipsen beschreibt, so beschreiben die Punkte m und n entsprechend verzerrte Ellipsen.

Was der Zeitmoment I/II für die seitliche Bewegung des Punktes m , das ist der Moment III/IV für die seitliche Bewegung des Punktes n . Wenn auch die Geschwindigkeiten vor und nach diesen Momenten in umgekehrter Reihenfolge verschieden sind, so bleibt sich dies mit Bezug auf die Wirkung der Trägheit vollkommen gleich. Der Unterschied besteht nur in der Richtung der Bewegung, da die Trägheit im ersten Falle (m) das Zurückbleiben dieser Seite der Mauer in regressiver, im zweiten Falle (n) das Zurückbleiben der anderen Seite in progressiver Richtung veranlasst. In den meisten Fällen werden verticale Risse, welche oben weit sind und sich nach unten verengern, nahe dem betreffenden Ende der Mauer entstehen, und es wird ausser von der Geschwindigkeit der fortgesetzten seitlichen Bewegung des abgetrennten Mauerstückes, hauptsächlich von der Wirkung der Schwere abhängen, ob jenes zum Falle gelangt, oder sich wieder gegen die Mauer zurückbewegt.

Bei sehr heftigen Bewegungen, bei denen auch das verticale Kraftmoment eine grosse Rolle spielt, wie dies z. B. bei der in Figur 5 dargestellten Bewegung der Fall ist, werden schiefe Risse in der Mauer entstehen. In dem Zeitpunkte I/II wird das nach der regressiven Seite zu gelegene Mauerende die heftige Bewegung fortzusetzen suchen und daher von der übrigen sich bereits in entgegengesetzter Richtung bewegendem Mauer abbrechen. Die tieferen Theile der Mauer werden schneller in die Bewegung der Phase II übergehen als die höheren, und es wird daher oben eine grössere Partie der Mauer die Bewegung im alten Sinne fortzusetzen und abzureissen suchen. Die Folge davon wird die Entstehung eines schiefen Sprunges sein, der gegen die Mitte der Mauer ansteigt und gegen das regressive Ende derselben fällt. Auf analoge Weise lässt sich die Entstehung eines schiefen Sprunges am progressiven Ende der Mauer in dem Zeitpunkte III/IV erklären, eines Sprunges, der gegen die Mitte der Mauer ansteigt, gegen das progressive Ende zu fällt. Die Richtungen der beiden in verschiedenen Zeitmomenten entstandenen Sprünge kreuzen sich also, und es ist deshalb nicht möglich aus der Richtung derartiger Sprünge auf die Richtung des Fortschreitens der Wellenbewegung zu schliessen.

Ebenso wenig kann es gestattet sein, aus der Grösse des Winkels, welchen ein schiefer Sprung mit dem Horizonte bildet, irgend welche Schlüsse auf den Betrag oder die Richtung der veranlassenden Bewegung zu ziehen; denn die Grösse dieses Winkels hängt nicht bloss von der Neigung des Bodens und demgemäss von dem Verhältniss der Höhe zur Länge der Welle, sondern auch von der Höhe und anderen zufälligen Eigenschaften des Mauerwerks (Oeffnungen etc.) selbst, kurz von zu vielen Umständen ab, als dass man den Antheil, welcher dem einzelnen Umstände zuzuschreiben ist, bestimmen könnte. Die verticalen und schiefen Sprünge, welche auf die besprochene Weise entstehen, sind nicht nothwendig an das eine oder andere Ende der Mauer gebunden. Die Mauer wird vor Allem am leichtesten dort brechen, wo sie am schwächsten ist. Wenn die Mauer durch Thür- und Fensteröffnungen unterbrochen ist, so werden die entstehenden Sprünge mit Vorliebe sich an diese Oeffnungen anschliessen.

Wenngleich diese Ausführungen zur Genüge den grundsätzlichen Unterschied in den Anschauungen WÄHNER's und MALLET's über die Entstehung der Risse und anderweitigen Beschädigungen an Gebäuden zeigen und darthun, dass die MALLET'sche Bestimmungsmethode der Emergenzwinkel und der Herdtiefe unbedingt zu verwerfen ist, weil eben die Beschädigung der Gebäude auf die durch WÄHNER klargelegten transversalen Schwingungen zurückzuführen ist, so mag es doch gestattet sein, beispielsweise auf eines der von WÄHNER in Agram beobachteten beschädigten Gebäude hinzuweisen, um die Anwendung seiner Erklärungsmethode auf einen bestimmten Fall zu zeigen. Es betrifft derselbe die Kirche der barmherzigen Schwestern in der Frankopanska-Ulica: „Die

Strasse hat ungefähr die Richtung N-S (genauer N 10° O — S 10° W). Das Hauptportal und die Façade der Kirche liegen gegen W (W 10° N), der Hochaltar gegen O. An der W-Seite ist ein kleiner Thurm aufgesetzt. Derselbe ist viereckig, auf jeder Seite mit einem hohen und breiten Fenster versehen, so dass die vier gemauerten Eckpfeiler den oberen Theil des Thurmes, in welchem sich die Uhr befindet, und die Dachpyramide tragen. Der obere Theil erschien nun in Folge des Erdbebens vollständig von dem unteren abgebrochen, wenn er auch noch ruhig darauf stand;

man hätte den ersteren mittelst einer geeigneten Vorrichtung einfach von dem unteren abheben können, ohne eine weitere Trennung in den Mauern vornehmen zu müssen. Jeder der genannten Pfeiler hatte nämlich nahe seinem oberen Ende einen ungefähr horizontalen Sprung, oder mit anderen Worten: Der Thurm erschien etwas unterhalb der Wölbungen der Fenster horizontal durchschnitten. Am auffallendsten erscheint die Sache, wenn man den Thurm von der Nordseite betrachtet (Fig. 6). Sowohl der nordöstliche als der nordwestliche Pfeiler erscheinen längs jenes Sprunges nach aussen verschoben, und zwar der letztere bedeutender als der erstere. An der Abweichung der Mauern von der (beiderseits verticalen) hölzernen Fensterverkleidung lässt sich sehr deutlich erkennen, dass die Pfeiler nach aussen geneigt sind. Von den unteren Ecken des Fensters gehen hier schief nach abwärts Sprünge nach aussen, während an den anderen Seiten des Thurmes die entsprechenden Sprünge ebenfalls mehr horizontal erscheinen. Auch von den für die Zifferblätter der Uhr angebrachten Oeffnungen gehen horizontale oder nahe horizontale Sprünge nach aussen. Man wäre versucht, die vielen horizontalen Sprünge auf einen verticalen Stoss zurückzuführen, wenn dieselben nicht durch die so vielfach beobachteten horizontalen Schwingungen weit besser erklärbar wären. Wie bedeutend die Schwankungen des Thurmes gewesen sein mögen, zeigen nicht blos

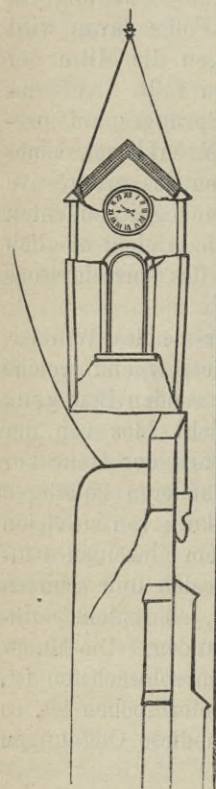


Fig. 6. Thurm der Kirche der barmherzigen Schwestern in Agram.

die Sprünge, sondern insbesondere die Verschiebung und Neigung der beiden Pfeiler. Die horizontale Verschiebung an dem nordwestlichen Pfeiler beträgt $2\frac{1}{2}$ Zoll (6—7 Centimeter). Um diese Verschiebung zu erklären, nehme ich vorläufig an, dass der Thurm ungefähr in der Richtung NW-SO geschwungen hat. Während einer Schwingung nach SO musste die Bewegung so heftig oder der Betrag der Bewegung so bedeutend gewesen sein, dass der nordwestliche Pfeiler abbrach und zurückblieb, während der obere Theil des Thurmes sich noch weiter bewegte, aber doch nicht so weit, dass er hätte umstürzen müssen; er bewegte sich

vielmehr wieder zurück, aber die Kanten klappten nun bei dem westlichen Pfeiler, wo eine vollständige Trennung eingetreten war, nicht mehr aufeinander. Dieselbe Veränderung, aber in nicht so bedeutendem Maasse, zeigt sich auch an dem nordöstlichen Pfeiler, während die beiden anderen zwar ebenfalls zersprungen sind, ohne jedoch eine Verschiebung erkennen zu lassen. Man kann nun annehmen, dass Schwingungen anderer Richtung (ungefähr NO-SW) nachfolgten oder vorhergingen, welche die Wirkung an dem nordöstlichen Pfeiler hervorbrachten.“¹

Die MALLET'sche Methode zur Ermittlung des Erdbebenherdes ist nach den vorstehenden Ausführungen nicht geeignet, zum Ziele zu führen, weil die Prämissen, von welchen sie ausgeht, wohl nur in den seltensten Fällen zutreffen. Gleiches muss von der durch K. v. SEEBACH vorgeschlagenen Methode zur Ermittlung der Tiefe des Erregungsortes gesagt werden. Da jedoch die SEEBACH'sche Methode vielfach angewendet wurde, um Herdtiefen bei Erderschütterungen zu bestimmen, und diese Methode jedenfalls vor der MALLET'schen den grossen Vorzug hat, dass die Beobachtungselemente, auf welche sie sich stützt (Zeitpunkt des Eintrittes der Erschütterung an verschiedenen Orten) nicht so sehr dem persönlichen Meinen und Irren des Beobachters unterliegen wie die Bestimmungen der Emergenzwinkel aus den Beschädigungen der Gebäude (vergleiche oben die NEUMAYR'sche Kritik der MALLET'schen Methode auf Seite 46), wollen wir auch die SEEBACH'sche Methode der Herdbestimmung einer eingehenden Besprechung unterziehen. Auch K. VON SEEBACH geht von der Grundbedingung aus, dass das zu untersuchende Erdbeben ein centrales sei. — Die zweite Annahme, welche er macht, ist, dass die Fortpflanzungsgeschwindigkeit für alle Theile des erschütterten Gebietes die gleiche bleibt.² Die erstere Annahme trifft bei den, mit der Gebirgsbildung zusammenhängenden Erdbeben wohl in den seltensten Fällen zu, häufiger mag sie bei vulkanischen und Einsturzbeben Geltung haben, insofern bei diesen der Erregungsort eher ein ganz beschränkter sein wird. Die zweite Bedingung, dass die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Bebens im ganzen erschütterten Gebiete die gleiche bleibt, dürfte wohl nie zutreffen. Die Theorie der SEEBACH'schen Methode der Herdbestimmung ist folgende: Wäre der Mittelpunkt eines Erdbebens zugleich der Mittelpunkt der Erde und diese eine Kugel, so würde dann die Erschütterung gleichzeitig an allen Punkten der Erdoberfläche empfunden werden müssen. Ist aber der Erdbebenmittelpunkt an irgend einer der Erdoberfläche näheren Stelle gelegen, so treten die Verhältnisse ein, welche die Figur 7 versinnlichen soll. Hierbei ist die Erdoberfläche als eine Ebene, ihre Projection als eine gerade Linie gedacht, was ja bei Erdbeben von kleinerem Verbreitungsgebiete keinesfalls nennenswerthe Unrichtigkeiten zur Folge hat. Dann

¹ F. WÄHNER: Das Erdbeben von Agram am 9. November 1880. S. 26 u. 27 des Sonderabdruckes.

² K. v. SEEBACH: Das mitteldeutsche Erdbeben vom 6. März 1872. Leipzig 1873.

ist es klar, dass die Stosswelle, um von dem in Figur 7 mit C bezeichneten Centrum der Bewegung aus an den mit M bezeichneten Oberflächenmittelpunkt zu gelangen, also um die mit h bezeichnete Entfernung zu durchlaufen, eine gewisse Zeit braucht, die mit t bezeichnet werden mag und die gleich ist der Entfernung h , dividirt durch die Geschwindigkeit c . Für einen anderen Oberflächenpunkt M_1 , der sich in einer bestimmten Centrodistanz d_1 von M befindet, ist der zu durchlaufende Weg um eine Strecke x länger, für M_2 mit der Centrodistanz $d_1 + d_2$ um x_2 , für M_3 mit der Centrodistanz $d_1 + d_2 + d_3$ um x_3 u. s. f. Es werden also auch die Zeiten, nach welchen die Bewegung an die Oberfläche gelangt, grösser; wenn für M die Zeit: $t = \frac{h}{c}$ gewesen, so ist für M_1 : $t_1 = \frac{h+x}{c}$, für M_2 : $t_2 = \frac{h+x_2}{c}$ u. s. f. Wenn man nun bei gegebenem Oberflächenmittel-

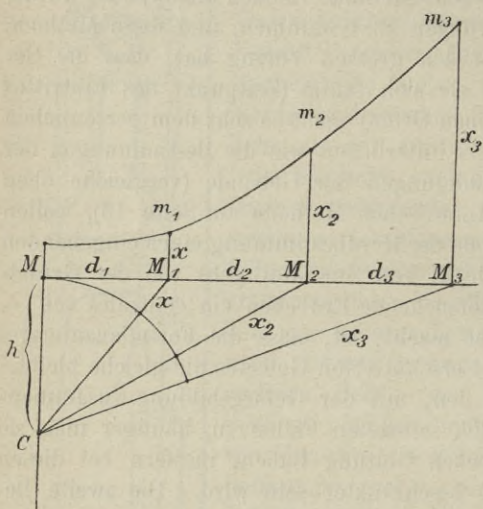


Fig. 7.

punkt auf die Abscissenachse eines Coordinatensystems, dessen Nullpunkt im Oberflächenmittelpunkt gedacht wird, die Centrodistanzen der Orte von diesem: $d_1, d_1 + d_2, d_1 + d_2 + d_3$ u. s. f. in Meilen aufrägt, dagegen auf der Ordinatenachse mit dem gleichen Maassstabe die Zeitmomente t_1, t_2, t_3 in Minuten einschreibt, dann liegen die so gefundenen Punkte m_1, m_2, m_3 u. s. f. auf einer Hyperbel. Wenn man demnach in ein Netz von Quadraten, von irgend einem Punkte anfangend, in die horizontalen Linien die Meilen, in die verticalen Linien die Minuten der Zeitangaben über den Eintritt des Erdbebens an jedem Orte einträgt und diese Punkte miteinander verbindet, so muss man bei absoluter Genauigkeit der in Betracht kommenden Werthe die Hyperbel erhalten. Aus ihr lassen sich die gesuchten Grössen einfach ableiten. Der Scheitelpunkt der Hyperbel ist der Oberflächenmittelpunkt, der Durchschnittspunkt der Asymptote mit der Ordinatenachse ist der Zeitpunkt der ersten Erregung des Erdbebens. Da sich nun ferner direct ablesen lässt, wie viele Meilen die Bewegung in einer Minute durchlaufen hat, so ergibt sich dadurch die wahre Fortpflanzungsgeschwindigkeit. Die Zeit zwischen dem Zeitpunkte der ersten Erregung und dem Eintritte der Erschütterung im Oberflächenmittelpunkte durch den Werth der Fortpflanzungsgeschwindigkeit dividirt, ergibt die gesuchte Tiefe des Erdbebenherdes.

punkt auf die Abscissenachse eines Coordinatensystems, dessen Nullpunkt im Oberflächenmittelpunkt gedacht wird, die Centrodistanzen der Orte von diesem: $d_1, d_1 + d_2, d_1 + d_2 + d_3$ u. s. f. in Meilen aufrägt, dagegen auf der Ordinatenachse mit dem gleichen Maassstabe die Zeitmomente t_1, t_2, t_3 in Minuten einschreibt, dann liegen die so gefundenen Punkte m_1, m_2, m_3 u. s. f. auf einer Hyperbel. Wenn man demnach in ein Netz von Quadraten, von irgend einem Punkte anfangend, in die horizontalen Linien die Meilen, in die verticalen Linien die Minuten der Zeitangaben über den Eintritt des Erdbebens an jedem Orte einträgt und diese Punkte miteinander verbindet, so muss man bei absoluter Genauigkeit der in Betracht kommenden Werthe die Hyperbel erhalten. Aus ihr lassen sich die gesuchten Grössen einfach ableiten. Der Scheitelpunkt der Hyperbel ist der Oberflächenmittelpunkt, der Durchschnittspunkt der Asymptote mit der Ordinatenachse ist der Zeitpunkt der ersten Erregung des Erdbebens. Da sich nun ferner direct ablesen lässt, wie viele Meilen die Bewegung in einer Minute durchlaufen hat, so ergibt sich dadurch die wahre Fortpflanzungsgeschwindigkeit. Die Zeit zwischen dem Zeitpunkte der ersten Erregung und dem Eintritte der Erschütterung im Oberflächenmittelpunkte durch den Werth der Fortpflanzungsgeschwindigkeit dividirt, ergibt die gesuchte Tiefe des Erdbebenherdes.

Selbst ein warmer Anhänger dieser Methode, wie A. v. LASAULX, der sie selbst bei den von ihm untersuchten Erdbeben zur Anwendung brachte,¹ kann nicht umhin zuzugeben, dass sich bei ihrer praktischen Verwerthung mancherlei Schwierigkeiten ergeben: „Vor allem ist die Genauigkeit des Zeiteintrittes der Erschütterung, die zu der Bestimmung nöthig ist, nur in ganz einzelnen, fast zufälligen Fällen zu erzielen. Gerade die angestellten Untersuchungen haben die Unzuverlässigkeit der Zeitbestimmungen in hohem Maasse ergeben. Damit wird aber die Methode selbst sehr unzuverlässig. Andererseits wird die Brauchbarkeit derselben auch durch das nicht Zutreffen der anderen Prämissen sehr bedeutend beeinträchtigt: das Medium des Erdbodens ist ein zu ungleiches, um die genaue Constanz der Fortpflanzungsgeschwindigkeit zu gewährleisten und endlich ist die Form des Erdbebenherdes stets mehr oder weniger von einem Punkte oder Kreise abweichend. Allerdings würde sich dieses, wenn nur den Zeitangaben Zuverlässigkeit zuerkannt werden könnte, aus der Construction und Betrachtung von selbst ergeben. Es würden dann die Homoseisten nicht als angenäherte Kreise sich herausstellen, sondern eine unregelmässige, mehr oder weniger elliptische Gestalt annehmen. Immerhin bleibt die Methode ein sehr werthvolles Mittel für das Erdbebenstudium.“

Nach SEEBACH, der seine Methode auf das mitteldeutsche Erdbeben vom 6. März 1872 anwandte, wurde dieselbe noch von vielen Autoren bei Erdbebenuntersuchungen benutzt, und von LASAULX auf die beiden Erdbeben von Herzogenrath vom 22. October 1873 und vom 24. Juni 1877, dann von LASAULX und SCHUHMACHER auf das westdeutsche Erdbeben vom 26. August 1878, von JULIUS SCHMIDT auf das rheinische Erdbeben von 1846 und das Erdbeben von Sillein im Waagthale vom 15. Juni 1858 angewendet. Es mag von Interesse sein, die bei diesen Untersuchungen ermittelten Herdtiefen und Fortpflanzungsgeschwindigkeiten mit jenen zu vergleichen, welche MALLET nach seiner Methode für das Calabrische Erdbeben von 1857 bestimmte; wir stellen sie daher in nachfolgender Tabelle zusammen.

Erdbeben	Mittlere Tiefe in Metern	Fortpflanzungsgeschwindigkeit	
		in der Minute Geogr. Meilen	in der Secunde Meter
1. Rheinisches Erdbeben 1846 . .	38806	4.6	568
2. Calabrisches Erdbeben 1857 . .	9275	2.1	260
3. Erdbeben von Sillein 1858 . . .	26266	1.7	206
4. Mitteldeutsches Erdbeben 1872 .	17956	6.0	742
5. Erdbeben von Herzogenrath 1873	11130	2.7	360
6. Erdbeben von Herzogenrath 1877	27113	3.8	475
7. Westdeutsches Erdbeben 1878 .	8880	2.4	302

¹ A. v. LASAULX: Das Erdbeben von Herzogenrath am 22. October 1873, Bonn 1874.

Da nun der Ausgangspunkt aller dieser Untersuchungen die Voraussetzung ist, dass die Erschütterung von einem Punkt oder doch von einem enger begrenzten Gebiete ausgegangen ist, während gewiss in sehr vielen, ja in den meisten Fällen ein grösseres Stück der Erdrinde gleichzeitig in Bewegung gerieth, dürfen die erhaltenen Resultate keineswegs als feststehend betrachtet werden; sowohl was die Ermittlung der Herdtiefen als diejenige der Fortpflanzungsgeschwindigkeit anlangt. Immerhin scheint bemerkenswerth, dass alle diese Bestimmungen der Herdtiefe relativ geringe Distanzen der jeweiligen Centren von der Erdoberfläche ergaben; gering sowohl im Hinblick auf die horizontale Ausbreitung der Erschütterung, wie in Bezug auf die Dicke der Erdrinde.

Wenden wir uns der Betrachtung eines anderen Umstandes zu, welcher für die allgemeine Theorie der Erdbeben von Wichtigkeit scheint: dem Verhältniss zwischen der Grösse ihres oberflächlichen Verbreitungsgebietes zu der Intensität ihrer Wirkungen und folgen wir in der Erörterung dieses Verhältnisses der Darstellung LASAULX'.¹ In dem im Eingange der Betrachtungen dieses Abschnittes mehrfach gebrauchten Bilde des bewegten Wasserspiegels ist die Kraft, mit der der Stein ins Wasser fällt, direct die Ursache einer kleineren oder grösseren Verbreitung der Wellenkreise. Bei einem kleinen Steinchen werden dieselben nur auf eine Entfernung von wenig Fuss sichtbar bleiben, bei einem grossen Steinblock auf hunderte von Fussen hin verlaufen. Das Verbreitungsgebiet ist also hier der directe Maassstab für die Intensität der erregenden Ursache. Das würde wiederum bei Erdbeben dann ganz übereinstimmend sich verhalten, wenn der Erregungspunkt in der Erdoberfläche gelegen wäre. Wir dürften dann die Intensität geradezu durch den Werth des erschütterten Gebietes ausdrücken, sei es durch den Radius bei einem Kreise, die beiden Achsen bei einer Ellipse, in complicirter Weise bei unregelmässiger oberflächlicher Gestaltung des erschütterten Gebietes. Da aber bei den Erdbeben der Erregungspunkt in unbekannter Tiefe gelegen ist, so ist dieser Ausdruck der Intensität nicht ohne Weiteres statthaft.

Denken wir uns, dass an zwei Punkten im Innern der Erde mit gleicher Kraft eine Erregung stattfindet, aber der eine Punkt liege in zwei, der andere in vier Kilometer Tiefe. Der erstere ist in der Figur 8 mit C_1 der andere mit C_2 bezeichnet. Sind dann an der wiederum als Ebene gedachten Erdoberfläche G_1 und G_2 die äussersten Grenzen der wahrgenommenen Erschütterung, so ist der Radius $C_1 G_1$ die wirkliche Ausdehnung der Wellenbewegung, die wir Elongation nennen wollen. An der Oberfläche ist M der Mittelpunkt, $M G_1$ und $M G_2$ die Elongationsradien; diese sind kürzer als $C_1 G_1$; geben uns also nur ein scheinbares Bild der wirklichen Elongation. Ist nun in C_2 die Erregung mit derselben Kraft erfolgt, so können wir für dieses Centrum die Elon-

¹ LASAULX: Die Erdbeben. Handwörterbuch der Mineralogie, Bd. I. S. 310 u. f.

gation durch den gleichen Radius ausdrücken $C_2 G_2 = C_1 G_1$. Die Durchschnittspunkte des mit diesem Radius um C_2 beschriebenen Kreises auf der die Oberfläche darstellenden Linie bezeichnen die scheinbare Elongation auf der Oberfläche, die sonach kleiner ist, als die für das andere, weniger tiefe Centrum.

Dabei ist aber, bei der gleichen Wirkung des Anstosses, im Oberflächenmittelpunkt M für C_2 ebenfalls die Wirkung eine sehr viel geringere wie für C_1 . Andererseits aber ist natürlich die Emergenz der austretenden Bewegung für das tiefere Centrum C_2 überall eine grössere. Wenn die steil austretenden, succussorisch wirkenden Wellen, wie dieses von vielen Erdbeben thatsächlich behauptet wird, die verheerendsten sind, so könnte also möglicherweise ein tiefer gelegenes Centrum trotz der nicht grösseren Intensität des ersten Anstosses, doch unter gewissen Bedingungen zerstörendere Wirkungen an der Oberfläche ausüben.¹ Aus der vorhergehenden Betrachtung geht nun

aber unmittelbar hervor, dass eine Vergleichung der Intensitäten von Erdbeben aus ihren oberflächlichen Verbreitungsgebieten nur dann statthaft ist, wenn die Erregungsorte in der gleichen Tiefe gelegen sind. An sich ist also auch das Verbreitungsgebiet eines Erdbebens oder seine oberflächliche Elongation nur dann ein Ausdruck für die Intensität, wenn die Tiefe des Herdes bekannt ist. Diese ist allerdings in der Regel die gesuchte Unbekannte.

Denken wir uns in einem weiteren Beispiele zwei Erschütterungen von gleicher Tiefe, aber mit verschiedener

Intensität des ersten Anstosses ausgehend, die eine anderthalbmal so gross als die andere. Wir werden dann die Verbreitungsgebiete an der Oberfläche wie in Figur 9 darstellen können. $C g_1$ ist die wirkliche Elongation

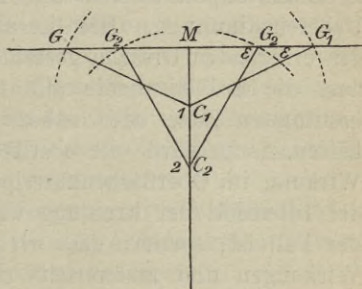


Fig. 8.

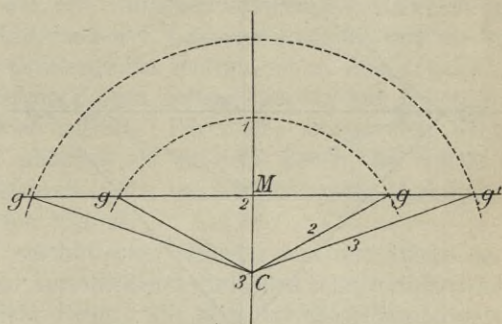


Fig. 9.

¹ Es sei hier darauf aufmerksam gemacht, dass diese Ausführung in geradem Widerspruche zu dem Schlussresultate steht, zu welchem v. LASAULX bei der Erörterung der Grösse der Oberflächenverbreitung zur Intensität der Wirkung der Erdbeben kommt; denn dieses lautet, wie wir sehen werden dahin, dass Erdbeben von heftigerer Wirkung, an der Oberfläche aber nur kleinem Verbreitungsbezirke nur eine geringe Tiefe des erregenden Herdes haben können. Es ist aber die zerstörendere Wirkung der succussorischen Stösse eine sehr problematische, zumal wenn die Stösse wie im obigen Falle zwar steil aber sehr schwach sind.

der Intensität von $\frac{2}{5}$ der ursprünglichen. In gleicher Weise erhält man für das Centrum C in M einen Rest von $\frac{1}{6}$. Da nun die Intensitäten sich wie 5:8 verhielten, so ergibt sich das Verhältniss der Oberflächenwirkung in M für $C_1:c$ wie $\frac{2}{5}:\frac{7}{2}$ oder 42:35, d. h. die schwächere Intensität erzielt an der Oberfläche doch noch die stärkere Wirkung. Das Verbreitungsgebiet $C_1 g_1$ ist aber ein kleineres, als für das Beben von der wirklich grösseren Intensität des ersten Anstosses aber auch der grösseren Tiefe desselben. In diesem Falle steht also die Grösse der scheinbaren Elongation für die beiden Erdbeben nicht in dem gleichen Verhältnisse wie die Oberflächenwirkung.

Aus der Gesamtheit der Beispiele aber leitet v. LASAULX¹ den Schluss ab, dass aus dem Verhältniss der an der Oberfläche erkennbaren Factoren, der scheinbaren Elongation und der oberflächlichen Stosswirkung gewisse Folgerungen auf die Tiefe des Erregungsortes statthaft erscheinen und fasst diese Beziehungen in zwei Sätze zusammen:

1. „Erdbeben von sehr heftiger Wirkung an der Oberfläche, aber von nur sehr kleinem Verbreitungsgebiete können nur eine geringe Tiefe des erregenden Herdes besitzen.“
2. „Erdbeben von schwacher Wirkung an der Oberfläche, aber von grossem Verbreitungsgebiete sind in bedeutenderer Tiefe erregt.“

Wenn man auch diesen Folgerungen eine gewisse Wahrscheinlichkeit nicht absprechen kann, so muss man sich doch hüten, sie als erwiesene Sätze zu betrachten, welche auf alle Erdbeben sinngemässe Anwendung finden können. Die ganzen Folgerungen v. LASAULX' gründen sich wieder auf die Annahme, dass die Erschütterungen centrale seien, eine Annahme, von welcher wir wiederholt hervorgehoben haben, dass sie nur bei einem geringen Bruchtheil der Erdbeben zutrifft. Für solche mögen denn auch die angeführten Sätze gelten, während sie auf jene Beben, bei welchen grössere Theile der Erdrinde gleichzeitig oder nahezu gleichzeitig erschüttert werden, nicht Anwendung finden können.

Zwischen der Grösse des erschütterten Gebietes und der Stärke der Erschütterungen lassen sich bei verschiedenen Erdbeben sehr verschiedene Verhältnisse feststellen. Es giebt Beben, wie jenes, welches Casamicciola auf Ischia am 28. Juli 1883 vollkommen zerstörte, welche grosse Heftigkeit der Wirkung mit ausserordentlich geringer Verbreitung verbinden. Bei dem angeführten (vulkanischen) Beben von Ischia wurde nur die Insel selbst erschüttert. Vom Festlande liegt keine sichere Meldung über eine deutlich wahrgenommene Erschütterung vor, ja selbst die überaus feinen Instrumente des Vesuv-Observatoriums zeigten keine Bewegung an, während allerdings in weiter Entfernung die Seismographen von Rom, Velletri, Florenz und Fermio leise Zuckungen notirten. — Ein Beben, welches am 21. Mai 1882 seinen Ausgang vom Kaiserstuhl genommen

¹ A. v. LASAULX: Die Erdbeben, Handwörterb. f. Mineralogie etc. Bd. I. S. 313.

hat, jener schönen Gruppe tertiärer Vulkanruinen, welche sich bei Freiburg im Breisgau aus der Rheinebene erhebt, hat gleichfalls nur sehr geringe Verbreitung (in einem Umkreis von etwa 9 Kilometer) zugleich aber auch sehr geringe Oberflächenwirkung gehabt. Es wäre aber kaum möglich zu sagen, ob der Ausgangspunkt des Bebens in dem einen oder in dem anderen Falle tiefer gelegen hat. Wahrscheinlich ist, dass er bei beiden genetisch verwandten Erschütterungen in geringer Tiefe zu suchen ist.

Wir kennen andererseits Beben, welche mit sehr geringer Oberflächenwirkung sich auf recht bedeutende Flächenräume erstreckt haben und andere, bei welchen das Gebiet stärkerer Zerstörung (das „pleistoseiste“ Gebiet) im Verhältniss zu dem überhaupt erschütterten Flächenraum sehr gross war. Bei jenen Beben, von welchen angenommen werden muss, dass sie in einer gleichzeitigen oder nahezu gleichzeitigen Bewegung einer grösseren Scholle der Erdrinde begründet sind, ergeben sich in dieser Richtung die mannigfachsten Beziehungen. Das mitteldeutsche Erdbeben von 1872, das kaum ein paar Mörtelstückchen abwarf, erstreckte sich über 3100 Quadratmeilen. Das grosse calabrische Erdbeben von 1783, bei welchem 20000 Menschen zu Grunde gingen, warf auf einem Flächenraum von $5\frac{1}{2}$ Quadratmeilen Alles nieder, das Schüttergebiet aber war ein ganz beschränktes. Bei dem Erdbeben von Belluno 1873, bei welchem sich die Beschädigungen auf den Raum einer Quadratmeile beschränkten, wurde die Erschütterung auf einem Flächenraume von nicht weniger als 45 000 Quadratmeilen bemerkt. Aus diesen Verhältnissen lassen sich gewiss keine Anhaltspunkte für die Tiefe der jeweiligen Erregungsorte ableiten.

Wir gelangen nun zur Erörterung der Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Erdbeben und stehen dabei vor einem der schwierigsten Probleme der Erdbebenforschung. Es ist klar, dass die Zeitbestimmungen, wenn sie auch noch so genau sein würden (was sie leider nur in den allerwenigsten Fällen sind, wie im nächsten Abschnitt eingehend dargelegt werden soll) nur dann zur Bestimmung der wahren Fortpflanzungsgeschwindigkeit eines Erdbebens herangezogen werden können, wenn dieses Erdbeben von einem räumlich beschränkten Punkte ausging, was ja bei Einsturzbeben und vulkanischen Erschütterungen der Fall sein mag. Dort, wo ein grösseres Gebiet nahezu gleichzeitig erschüttert wurde (vergleiche die oben, Seite 48 angeführten Beispiele) kann man von einer Fortpflanzungsgeschwindigkeit streng genommen gar nicht reden. Bei dem a. a. O. besprochenen Erdbeben von Owen's Valley vom 26. März 1872 war die Erschütterung längs einer dem Streichen der californischen Sierra Nevada entsprechenden Stosslinie auf einer Erstreckung vom 34. bis zum 38. Breitengrade gleichzeitig fühlbar, hier kann also von einer Fortpflanzungsgeschwindigkeit gar nicht die Rede sein. Von dieser Linie verbreitete sich aber die Erschütterung seitlich, so dass wir hier ein ausgezeichnetes Beispiel einer lateralen Propagation sehen, für welche allerdings die

Fortpflanzungsgeschwindigkeit bestimmt werden kann, da die Erschütterung die Mitte des San Joaquinthales in 2—3 Minuten, jene des Sacramentothales in 3—4 Minuten und die Küste zwischen San Francisco und Los Angeles in 4—5 Minuten erreichte. Dies zeigt, wie complicirt die Verhältnisse der Fortpflanzung eines Erdbebens sein können und wie nothwendig es ist, die Gestalt des Erregungsortes und die Art der Erschütterung genau zu kennen, ehe man daran gehen kann, die Fortpflanzungsgeschwindigkeit zu ermitteln.

Wir werden übrigens gleich sehen, dass experimentelle Versuche, bei welchen die Erschütterung von einer ganz beschränkten Stelle ausging, sehr verschiedene Resultate ergaben, da nicht blos die Medien, durch welche die Erschütterung fortgepflanzt wurde, sondern insbesondere die Stärke des Stosses grossen Einfluss auf die Fortpflanzungsgeschwindigkeit ausübte. Es zeigte sich ferner, dass häufig eine einfache Erschütterung in verschiedene Bewegungen zerlegt wurde, welchen verschiedene Fortpflanzungsgeschwindigkeit zukam. Ueber die Fortpflanzung von Erschütterungen in verschiedenen Medien haben R. MALLET, E. MILNE, F. PFAFF sowie F. FOUQUÉ und M. LÉVY Versuche angestellt, auf deren Resultate wir sogleich zurückkommen werden, aber schon die Versuche, welche MALLET 1856 zu Holyhead anstellte, ergaben, dass die Fortpflanzungsgeschwindigkeit mit der angewandten Menge des Sprengmaterials wechselt, und somit von der Intensität des ersten Anstosses abhängig ist.¹ Dies wurde bestätigt durch die Beobachtungen, welche General H. L. ABBOT anlässlich der mit grossen Mengen von Dynamit vorgenommenen Felsensprengungen bei Hallet's Point in der Nähe von New York zu machen Gelegenheit hatte,² und deren Ergebnisse er in folgende Sätze zusammenfasst:

1. Je heftiger der erste Stoss ist, um so grösser ist die Fortpflanzungsgeschwindigkeit.
2. Die Geschwindigkeit nimmt ab, je weiter die Welle vorrückt.
3. Die Bewegungen der Oberfläche der Erde sind complicirt und bestehen aus vielen kurzen Wellen, die an Schwingungsweite erst zu- und dann abnehmen.

Wir müssen die Thatsache der Abhängigkeit der Geschwindigkeit von der Stärke des Stosses in Betracht ziehen, wenn wir die Resultate der Beobachtungen verschiedener Forscher über die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Erschütterung in verschiedenen Medien vergleichen. Nachstehend sind die Ergebnisse der Untersuchungen von PFAFF, MALLET, MILNE sowie von FOUQUÉ und LÉVY ziffernmässig angeführt:

PFAFF fand die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Erschütterung (pro Secunde):

¹ Report on the 21. meeting of British association. London 1852, S. 272.

² Americ. Journ. of Sciences, Ser. 3. Vol. XV, N. 87. S. 178.

im Granit	539 m
im Kalk	547 m
im Schiefer	737 m

MALLET bestimmte diese Fortpflanzung:

im Sand zu	250 m
im compacten Granit	507 m
im lockeren Granit	398 m
im gefalteten Schiefer	331 m

MILNE beobachtete in Japan, dass die verschiedenen Componenten einer Erschütterung sich mit verschiedener Schnelligkeit fortpflanzen; er fand dementsprechend, dass die Fortpflanzungsgeschwindigkeit variirt:

im Tuff von	800 bis 1100 m
im compacten Kalk	900 - 1260 m
im Schiefer	1000 - 1600 m
im Marmor	800 - 1300 m
im Granit	800 - 1400 m

FOUQUÉ und MICHEL LEVY fanden bei ihren Experimenten folgende Geschwindigkeiten:

im Granit von	2450 bis 3141 m
im compacten Kohlensandstein	2000 - 2526 m
im weniger festen Perm-Sandstein . .	1190 m
im cambrischen Marmor	632 m
in den Sanden von Fontainebleau ungefähr	300 m

Die sehr eingehenden Versuche von FOUQUÉ und MICHEL LEVY bestätigten aber auch einerseits die Erfahrungen von MILNE über die Zerlegung eines einzigen Stosses in verschiedene Bewegungen, andererseits lieferten sie weitere Belege für die schon von ABBOT gefundene Abhängigkeit der Fortpflanzungsgeschwindigkeit von der Stärke der Erschütterung, endlich zeigten sie, dass die Fortpflanzung in grösserer Tiefe in ganz anderer Weise vor sich geht als nahe der Oberfläche. Wir werden daher auf diese höchst interessanten Versuche unten ausführlicher zurückkommen, wollen aber zunächst die Ergebnisse der ABBOT'schen betrachten.

ABBOT fand bei einer Explosion von 35 000 Kilogramm Dynamit, welche in einer Entfernung von 13·5 Meilen vom Explosionsorte beobachtet wurde, eine mittlere Fortpflanzungsgeschwindigkeit im Granit von 2400 Meter. Als er 100 Kilogramm Dynamit explodiren liess, und die Fortpflanzungsgeschwindigkeit in verschiedenen Distanzen bestimmte, fand er in derselben Felsart die Geschwindigkeit in

einer Meile Entfernung =	2910 m
fünf Meilen „ =	2750 m

Er leitet daraus ab, dass die Fortpflanzungsgeschwindigkeit mit der Entfernung vom Centrum der Erschütterung abnimmt.

Endlich veränderte er die Stärke der Explosion, deren Fortpflanzungsgeschwindigkeit er in derselben Felsart (Granit) und in derselben Distanz von einer Meile in folgender Weise feststellte. Es ergab eine Explosion von

200 Kilogramm	eine	Geschwindigkeit	von	2940 ^m
100	„	„	„	2910 ^m
35	„	„	„	2800 ^m

Es nimmt sonach die Geschwindigkeit mit der Stärke der Erschütterung zu.

FOUQUÉ und MICHEL LÉVY machten ihre Beobachtungen zu Creusot, wo sie die von dem hundert Tonnen Hammer hervorgerufenen Erschütterungen benutzten, welche sich in den permischen Sandsteinen bis auf 1050 Meter Entfernung bemerkbar machten; sie stellten ähnliche Beobachtungen auch auf der Terrasse von Meudon an, wo die von einem viel kleineren Hammer (marteau-mouton de 6 Kilogrammes tombant de 8 mètres) hervorgerufenen Vibrationen bis auf eine Entfernung von 500 Meter beobachtet werden konnten. Bei weiteren Beobachtungen zu Montvicq bei Commentry, in den Bergwerken von Commentry und in jenen von Gouttes-Paulmier (Allier) wurden Explosionen von Dynamit und Sprengpulver angewendet. Es konnten jedoch nur sehr geringe Quantitäten (bis zu 15 Kilogramm Dynamit) zur Anwendung kommen, dafür war der Beobachtungsapparat sehr gut eingerichtet. Die Erschütterungen, welche durch eine Quecksilberoberfläche sichtbar gemacht werden sollten, wurden photographisch auf einer rotirenden Platte aufgenommen. Der letzteren konnte durch das betreffende Uhrwerk eine Umdrehungsgeschwindigkeit von fünf oder zehn Secunden gegeben werden und die Genauigkeit der Beobachtung ist eine so grosse, dass der Beobachtungsfehler bei der Rotation von fünf Secunden nur 83 hunderttausendstel, bei jener von zehn Secunden nur 13 hunderttausendstel einer Secunde betragen kann.

Die von FOUQUÉ und MICHEL LÉVY ermittelten Resultate sind deshalb sehr glaubwürdig und von grossem Interesse. Besonders wichtig ist die Verschiedenheit der Erschütterungen an der Oberfläche und in der Tiefe der Bergwerke. Ein einziger Stoss verursacht in ersterem Falle eine ganze Reihe aufeinanderfolgender Maxima der Bewegung, während im zweiten Falle ein einziges Maximum derselben zu beobachten ist. Es mag von den zahlreichen Versuchen nur ein einziger jeder Kategorie angeführt sein.

Bei Anbringung des Beobachtungsapparates im Keller eines Hauses in Montvicq im Granit wurden 10 Kilogramm Dynamit in 350 Meter Entfernung an der Erdoberfläche zur Explosion gebracht. Es wurden beobachtet:

	Secunden	Geschwindigkeiten
Anfang der Vibrationen	0.111	3141 ^m
Erstes Maximum	0.311	1125 ^m
Anfang des zweiten Maximum	0.641	543 ^m
Mitte des zweiten Maximum	0.761	459 ^m
Anfang des dritten Maximum	1.201	291 ^m
Ende des Phänomens	1.601	219 ^m

Ein einziger Stoss hatte sonach die Fortpflanzung mehrerer oberflächlicher Wellen verursacht.

Bei Anbringung des Beobachtungsapparates an einer Schachtmündung zu Commentry und Veranstaltung einer Explosion von 8 Kilogramm Dynamit in der Tiefe des Bergwerkes, so dass die directe Distanz vom Beobachtungsorte 383 Meter betrug, wurde wahrgenommen:

	Secunden	Geschwindigkeiten
Beginn der Erschütterungen	0.15	2526 ^m
Erstes Maximum	0.21	1805 ^m
Ende des Phänomens	0.31	1222 ^m

In diesem Falle war also keine so grosse Verlängerung der Vibrationen wahrzunehmen und es fand ein einziges Maximum der Bewegung statt, obwohl die Entfernung des Explosions- und des Beobachtungsortes in beiden Fällen ungefähr dieselbe war.

Die Zerlegung eines einzigen oberflächlich sich verbreitenden Stosses in Erschütterungen von verschiedener Fortpflanzungsgeschwindigkeit erklärt wohl hinreichend die grosse Verschiedenheit der Resultate, zu welchen die oben erwähnten Versuche von PEAFF, MALLEY, MILNE und ABBOT geführt haben. Deutlich erkennen wir in den sorgfältigen Versuchen von FOUQUÉ und M. LÉVY die grossen Schwierigkeiten, mit welchen die genaue Ermittlung der Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Erderschütterungen eben wegen der Complicirtheit des Phänomens verbunden ist.¹

Alle diese Versuche, bei welchen die künstliche Erschütterung von einem ganz beschränkten Erregungsorte ausging, entsprechen in ausgezeichneter Weise dem, was man unter einem „centralen Beben“ versteht. Die Ergebnisse zeigen deshalb um so deutlicher, dass die von so verschiedenen Umständen abhängige und insbesondere mit der Entfernung vom Ursprungsorte abnehmende Fortpflanzungsgeschwindigkeit die Ermittlung der Herdtiefe nach der SEEBACH'schen Methode auch bei einem wirklich centralen Beben als unzulässig erscheinen lässt.

Wir haben gesehen, dass die Fortpflanzung einer Erschütterung in verschiedenen Medien sehr verschieden ist. Da nun die Erdrinde gerade an jenen Stellen, an welchen sich Erschütterungen häufiger fühlbar machen, aus sehr verschiedenartigen Gesteinen aufgebaut ist, wird die Fortpflanzungsgeschwindigkeit eines Bebens schon aus diesem Grunde in verschiedenen Richtungen eine sehr verschiedene sein. Es steigert sich aber dieser Einfluss noch wesentlich durch die Structur der Erdrinde. Es ist von vornherein klar, dass eine Erschütterung sich leichter im Streichen der Schichten fortpflanzen wird, als senkrecht zu diesem. Denn bei der Propagation im Streichen bleibt die Bewegung immer in demselben Medium, während sie bei der Fortpflanzung senkrecht darauf stets aus einer Schicht in die andere übertreten und deshalb nothwendigerweise geschwächt und verzögert werden muss.

¹ F. FOUQUÉ et MICHEL LÉVY: Expériences sur la vitesse de propagation des secousses dans des sols divers in den Études relatives au tremblement de terre du 25 déc. 1884. Mem. Acad. des Sciences, T. XXX, No. 2, 1889, S. 57.

A. v. LASAULX versinnlicht dies durch ein paar treffende experimentelle Beispiele:

Denken wir uns einen Satz von Glasplatten so aufeinander gelegt und beiderseits mit Lagen von dickem Pappendeckel eingefasst und durch zwischengelegte Papierlagen von einander getrennt, dass die ganze Reihe der schmalen aber glattgeschliffenen Ränder der übereinander gelegten Scheiben in eine Fläche zusammenfallen, so haben wir damit die Zusammensetzung eines Schichtensystemes nachgeahmt; die schmalen Ränder der Glasscheiben stellen die Schichtenköpfe dar. Klemmen wir nun das Ganze zwischen zwei Brettern in einen Schraubstock und bestreuen die Oberfläche dieses Glasschichtensystemes mit feinstem gesiebttem Quarzpulver und erregen mit einer grossen Stimmgabel von irgend einer Stelle der Glasplatten aus Schwingungen in denselben, so giebt uns die Bewegung des Quarzpulvers eine Andeutung über die Fortpflanzungsverhältnisse an der Oberfläche. Die Schwingungen bleiben in der einen Richtung immer in demselben Medium, in derselben Glasplatte, in der dazu senkrechten aber durchlaufen sie den ganzen Wechsel der verschiedenen Glasplatten. Der bewegte Quarzsand bildet unregelmässige und oft unterbrochene Figuren, die aber im Allgemeinen über die ganze Fläche der Schichtenköpfe hin zu einer Ellipse sich zusammenfügen lassen, deren eine lange Achse parallel gerichtet ist zu den Trennungsfugen der Glasplatten, deren sehr kurze zweite Achse senkrecht hierzu liegt. Die Bewegung der Schwingungen hat sich quer zu den Glasplatten nur auf eine kurze Entfernung fortgepflanzt, ist hier schnell durch den Wechsel und die Unterbrechung im Medium vernichtet worden.¹

In einem anderen Experimente hat v. LASAULX die Methode der Darstellung von Wärmecurven verwendet, mit welcher SÉNARMONT die Wärmeleitung der Krystalle bestimmte: Ueberzieht man die Fläche der Ränder der Glasplatten mit einer dünnen Wachs- oder Stearinhaut (am besten in der Weise, dass man Wachs oder Stearin in Aether löst und die Fläche mit der Lösung überstreicht; durch Verdunsten des Aethers bildet sich dann ein dünner gleichmässiger Ueberzug von Wachs oder Stearin) und bringt durch Wärmeleitung mittelst eines Stiftes von irgend einem Punkte aus das Wachs zum Schmelzen, so bildet sich durch die von diesem Punkte aus sich fortplanzende Wärme eine Schmelzfigur, die beim Erkalten zurückbleibt. Diese zeigt eine langelliptische Gestalt, die längere Achse liegt wiederum in der Richtung der Glasplatten, die kürzere quer dazu. Die Fortpflanzung der Wärmebewegung ist demnach in der Streichrichtung weiter erfolgt als quer zu den Schichten.² Ganz ähnliche Resultate erhielt auch JANNETAZ³ bei seinen Untersuchungen

¹ A. v. LASAULX: Erdbeben von Herzogenrath vom 24. Juni 1877. Bonn 1878, S. 45.

² A. v. LASAULX: Die Erdbeben. Handwörterbuch der Mineralogie etc. I. Bd. S. 316.

³ Bull. soc. géol. de France, 3. Sér. Bd. II. S. 264.

über die Wärmeleitung in Gesteinen und über den Einfluss der Gesteins-structur auf dieselbe. Schiefrige Gesteine, senkrecht zur Schieferung geschnitten und auf der Schnittfläche mit Wachs überzogen, das mittelst erhitzten Platindrahtes zum Schmelzen gebracht wird, ergeben ausnahmslos elliptische Schmelzfiguren, deren lange Achse parallel der Schieferung geht, deren kurze Achse zur Ebene der Schieferung normal steht. Der Unterschied in der Leitung parallel zur Schieferung gegenüber derjenigen normal zu derselben kann ein sehr bedeutender sein, im Maximum 3:1.

Alle diese Versuche ergeben, dass der Einfluss der Structur eines bewegten Mediums auf die Fortpflanzungsgeschwindigkeit und die Elongation ein ganz bedeutender ist.

Die Erklärung dieser Erscheinung liegt darin, dass jede Wellenbewegung beim Uebergang aus einem Medium in ein anderes, oder beim Ueberschreiten trennender Intervalle in einem Medium, die eine andere Dichtigkeit besitzen als jenes, Ablenkungen und Reflexionen erleidet. Jede noch so kleine Unterbrechung, wie sie die feinen Zwischenräume zwischen den Glasplatten oder die Absonderungsfugen der Schiefer darstellen, wirken demnach wie ein Widerstand gegen die Bewegung; diese erleidet eine Verzögerung und theilweise Vernichtung.

Verhältnisse, wie sie die in den oben angeführten Beispielen gewählten Medien zeigen, begegnen wir in der Natur vielfach in den Kettengebirgen. Aus verschiedenartigen Gesteinen zusammengesetzte Schichtsysteme streichen hier oft steil aufgerichtet und zusammengefaltet auf grosse Erstreckungen in einer Richtung fort. Eine Erschütterung, die hier dem Streichen folgt, kann auf lange Strecken hin im selben Gestein bleiben, so dass die Fortpflanzung der Bewegung in diesem Sinne viel leichter erfolgen wird, als quer zum Streichen, wo der fortwährende Wechsel der Gesteinsart und die trennenden Schichtfugen verzögernd und abschwächend einwirken. Einige Verschiedenheiten werden sich auch hier geltend machen, je nachdem das Beben einen mehr centralen oder einen ausgesprochen axialen Charakter hat. Ist ersteres der Fall, so wird einfach nach dem Streichen des Schichtsystemes eine etwas grössere Elongation eintreten und statt der annähernden Kreisform des erschütterten Gebietes und der Homoseisten werden wir Ellipsen zu beobachten haben. Dies war nach LASAULX bei dem Erdbeben von Herzogenrath vom 24. Juni 1873 der Fall, welches im Allgemeinen zwar ein centrales Verhalten zeigte, jedoch eine unverkennbare elliptische Dehnung der pleistoseisten Zone wie des Oberflächengebietes überhaupt von SW nach NO wahrnehmen liess. Diese liegt im Streichen der Schichten der Kohlenformation, in welcher das Erdbeben grösstentheils sich fortpflanzte. Es wäre daher wie v. LASAULX meint, immerhin möglich, dass die elliptische Gestalt seiner Propagation lediglich in den Fortpflanzungsverhältnissen und nicht in der Gestalt des erregenden Ortes ihren Grund habe.

Bei axialen Beben handelt es sich darum, ob ihre Achse im Sinne des Streichens oder quer dazu gelegen ist. Im ersteren Falle kann man

von einem longitudinalen, im letzteren von einem transversalen Beben sprechen. Unter der Annahme eines homogenen Mediums würde ein axiales Erdbeben immer ein elliptisches Verbreitungsgebiet haben, diese Ellipse würde nun bei einem longitudinalen Beben mit ihrer längeren, bei einem transversalen Beben mit ihrer kürzeren Achse im Streichen der Schichten liegen. Im ersteren Falle wird die in der Streichrichtung erfolgende leichtere Fortpflanzung und grössere Elongation der Bewegung die elliptische Propagationsform im Sinne der längeren Achse noch mehr strecken und so dieser eine fast lineare Gestalt geben, in welcher die Richtung der Bewegung grösstentheils senkrecht steht auf der grössten Längenerstreckung. Im zweiten Falle aber wird die kurze Achse verlängert und dadurch die elliptische Gestalt des erschütterten Gebietes mehr der Kreisform genähert.

Der Einfluss der Gesteinsart auf die Erderschütterungen äussert sich aber nicht blos in Bezug auf die Fortpflanzung derselben, sondern insbesondere auch betreffs ihrer Wirkungsweise an der Oberfläche. Es ist bekannt, dass Erschütterungen in unmittelbar benachbarten Orten je nach der Beschaffenheit des Untergrundes ganz anders wahrgenommen wurden und auch auf Gebäude und andere Gegenstände ganz anders einwirkten. Auf festem Felsboden ist in der Regel die Wirkung der Erderschütterungen minder intensiv und verheerend als auf lockerem, nicht fest verbundenem Boden, gerade so, wie wir kleine auf einem ausgespannten Trommelfell stehende Figuren mit einem kleinen niederfallenden Hämmerchen nicht zu Fall bringen können, wenn das Fell ganz straff angezogen ist, während dasselbe Hämmerchen alle Figuren umzustürzen vermag, wenn wir das Fell nur schlaff anspannen. Andererseits wird aber eine Erschütterung in mächtigen Ablagerungen losen Sandes der geringen Fortpflanzungsgeschwindigkeit wegen schneller erlöschen und nicht zu einer so ausgedehnten Verbreitung kommen können oder nur mit sehr abgeschwächten Wirkungen an die Oberfläche treten. Das erklärt die Seltenheit und Schwäche der Erdbeben der nordeuropäischen Flachlande. Wo aber der lockere Boden nur eine dünne Decke bildet über unterliegenden festen Gesteinen, da tritt die in diesen mit grosser Geschwindigkeit fortgepflanzte Erdbebenwelle nun ganz besonders wirksam in die lockeren Massen ein, so dass sie auf der festen Unterlage emporgeworfen und zusammengeschüttelt werden wie loser Sand auf dem Resonanzboden eines Clavieres. Während in der festen Unterlage die Erschütterung nur sehr wenig verspürt wird, steigert sie sich in der lockeren Oberfläche zu den heftigsten Bewegungen. Dies war in ausgezeichneter Weise bei dem grossen Erdbeben in Calabrien vom Jahre 1783 der Fall, von welchem DOLOMIEU sagt, dass man sich die Bewegung desselben nicht besser gegenwärtigen könne, als indem man kleine Würfel von zusammengesetztem Sand nebeneinander auf eine Tischplatte lege und diese dann von unten vertical in die Höhe stosse und sie gleichzeitig horizontal hin- und herbewege. Diese heftige Bewegung beschränkte sich aber lediglich

auf die jüngeren, tertiären und alluvialen Auflagerungen, während das ältere Grundgebirge auffallend wenig von den Erschütterungen zu leiden hatte.

Dort, wo feste Felsmassen als Inseln in rings umgebenden lockeren Schichten aufragen, da bilden dieselben auch Erdbebeninseln inmitten der ringsumher heftiger bewegten Oberfläche (des „Wellenmeeres,“ wie LASAULX sich ausdrückt). Eine solche Insel wurde in ausgezeichneter Weise bei dem Erdbeben von Belluno vom 29. Juni 1873 nach den übereinstimmenden Berichten aller Beobachter, A. BITTNER, H. HOEFER und G. VOM RATH wahrgenommen. Der flache Höhenrücken des Col di Pera, welcher, aus Schichten der oberen Kreide und des älteren Tertiär (Nummulitenkalk) bestehend, die von jüngeren Tertiärablagerungen ausgefüllten Becken von Belluno und Alpaggo trennt, wurde fast gar nicht erschüttert, während Belluno selbst und die Ortschaften des Alpaggo-Beckens von dem Beben sehr hart gelitten haben. In Belluno selbst sowie in den Ortschaften seiner Umgebung (namentlich in Visome) waren die angerichteten Zerstörungen recht bedeutend und derart, dass BITTNER und G. VOM RATH annehmen, dass Belluno dem Erdbebencentrum sehr nahe gelegen sei und das letztere in sehr geringer Tiefe zu suchen wäre. Aber auch im Alpaggo-Becken waren die Zerstörungen sehr arg. BITTNER sagt darüber: „Soccher bildet das Anfangsglied einer Reihe aufs schrecklichste verwüsteter Ortschaften, die in dem Alpagothale grösstentheils an den Abhängen der hohen Randgebirge, zum geringeren Theile am flachen Seeufer liegen. Dies gilt besonders für Arsiè mit Raveane, Pieve d'Alpaggo mit Torres, Plois und Curago, Puos, Condanzan, Borsoi mit Lavina und Fara. Unter diesen sind wieder Arsiè, Torres, Plois und Curago, ferner Puos und Condanzan wirklich nur noch Trümmerhaufen.“ Bei so argen Verwüstungen rechts und links ist die geringe Wirkung des Bebens auf dem Col di Pera doppelt auffallend. BITTNER sagt hierüber: „Eine Viertelstunde von Capo di Ponte entfernt, da wo der Fluss Rai in den Piave mündet, liegt Cadola, eine ganz unbedeutende Häusergruppe, die aber eine schöne neugebaute Kirche, die Hauptpfarrkirche der zur Gemeinde Capo di Ponte zuständigen Ortschaften und einen imposanten Campanile besitzt. Der Untergrund ist hier festes Gestein, wohl der eocänen Thalausfüllung angehörend, der letzte Ausläufer des Nummulitenkalkrückens, der von den hohen Kreidebergen des Monte Faverghera und Monte Pascolet im Westen des Sees von Santa Croce gegen Norden ziehend, sich als trennender Wall zwischen das Gebiet von Belluno und das Thal von Alpaggo legt. Es ist, wenn auch nicht unerklärlich, so doch gewiss höchst überraschend, dass die sämtlichen, auf diesem flachen, Col di Pera genannten Rücken liegenden Ortschaften, man kann sagen, gar nichts gelitten haben. Das gilt für Quantin, Sossai, Roncan, Lastreghe, Cugnan, Vich und auch noch für das auf der äussersten Spitze dieses Rückens gelegene Cadola. Die Bewohner sind auch hier ziemlich sorglos im Gefühle ihrer Sicherheit, wie ich mich bei Gelegenheit des sehr starken Stosses vom 8. August

selbst zu überzeugen Gelegenheit hatte, da ich mich damals gerade in Cadola befand. Die Bewohner stürzten zwar, sobald die Bewegung erfolgte, in grösster Eile, aber mit lachenden Gesichtern ins Freie, während im schärfsten Gegensatze hierzu in dem höchstens eine Viertelstunde entfernten Soccher von neuem eine so furchtbare Bestürzung platzgegriffen hatte, dass man sich eines höchst unheimlichen Gefühles nicht erwehren konnte.“¹ Wir werden später auf das Beben von Belluno vom Jahre 1873 als auf ein ausgezeichnetes Beispiel eines alpinen Blattbebens ausführlich zurückzukommen haben, jetzt sei als auf ein Curiosum nur auf die Ansicht H. HOEFER's hingewiesen, welche gerade in der Erdbebeninsel des Col di Pera das „Epicentrum“ der Erschütterung vom 29. Juni 1873 sucht² — eine Ansicht, die an anderer Stelle³ ihre Widerlegung fand und uns daher hier nicht weiter zu beschäftigen braucht.

Während der Ausdruck „Erdbebeninsel“ auf jene Fälle zu beschränken ist, in welchen die Gesteinsbeschaffenheit eine grössere oder kleinere Oberflächenpartie vor der Erschütterung schützt, soll die Bezeichnung „Erdbebenbrücke“ auf jene, allerdings noch nicht mit wünschenswerther Sicherheit festgestellten Vorkommnisse der Verschonung gewisser Stellen in Folge der Interferenz der Erdbebenwellen angewendet werden. LASAULX sagt hierüber: „Findet bei dem Uebergange einer Wellenbewegung an der Grenze zweier Medien eine Reflexion statt, so erregt diese eine rücklaufende Bewegung. Dann vermögen Wellen von entgegengesetzter Fortpflanzungsrichtung zur Interferenz zu kommen und natürlich auch bei entsprechender Phasendifferenz sich zu vernichten. So können inmitten bewegter Gebiete, durch locale Vernichtung oder totale Reflexion an gewissen Stellen, unbewegte Zonen liegen, die man mit der alten sinnreichen Bezeichnung der Eingebornen Mexiko's als Erdbebenbrücken bezeichnen mag. Der oberflächlichen Erscheinung, d. h. der Ruhe nach, die bei einer Bewegung an diesen Stellen herrscht, sind sie nicht von den als Erdbebeninseln bezeichneten zu trennen. Ist aber in gegebenen Fällen die Ursache der Ruhe zu erkennen, so mögen wir für die inselförmig durch die Beschaffenheit der Gesteine geschützten Theile den Ausdruck Erdbebeninseln, für die durch Absorption und Reflexion der Bewegung in Ruhe verbliebenen, mehr in gestreckten Zonen ausgebildeten Stellen, den Namen Erdbebenbrücken vorziehen.“⁴ Die Möglichkeit der Bildung solcher Erdbebenbrücken mag nicht ausgeschlossen sein, doch dürfte es schwer fallen, für ihre wirkliche Existenz

¹ A. BITTNER: Beiträge zur Kenntniss der Erdbeben von Belluno vom 29. Juni 1873, Sitzungsber. d. k. Akad. d. Wissensch. 69. Bd. 1874.

² H. HOEFER: Das Erdbeben von Belluno am 29. Juni 1873. Sitzungsber. d. k. Akademie d. Wissensch. Wien, 74. Bd. 1876.

³ R. HOERNES: Erdbebenstudien, Jahrbuch der k. k. geologischen Reichsanst. Wien, 28. Bd. 1878. S. 409—412.

⁴ A. v. LASAULX: Die Erdbeben. KENNGOTT's Handwörterbuch d. Mineralogie etc. I. Bd. S. 317—918.

Beispiele anzuführen, welche mit solcher Genauigkeit beobachtet wurden, dass jede andere Erklärung, insbesondere die durch die Beschaffenheit des Untergrundes, ausgeschlossen erscheint.

Fast jedes Erdbeben wird von Schallerscheinungen begleitet, welche sehr verschiedener Natur sind, bald dem Beben unmittelbar vorhergehen, bald gleichzeitig mit demselben eintreten, bald auch noch etwas länger andauern, nachdem die Erschütterung selbst bereits vorüber ist. Diese Schallerscheinungen sind von sehr verschiedener Art, bald kurz, detonationsartig, einem Knall vergleichbar, bald länger gedehnt, dem Rollen eines schwerbeladenen Wagens oder des Donners ähnlich. Die Stärke des Schalles steht keineswegs in Beziehung zur Stärke der Erschütterung. Schwache Erdstöße können mit sehr heftigem Getöse verknüpft sein und umgekehrt. Dies zeigen insbesondere jene Erscheinungen, welche man, da die Erschütterungen dabei sehr schwach, ja oft gar nicht zu spüren waren, geradezu als Schallphänomene bezeichnet hat. Hierher gehören beispielsweise die mit ganz unbedeutenden Erschütterungen verbundenen heftigen und andauernden Detonationsphänomene auf der Insel Meleda, über welche P. PARTSCH einen ausführlichen Bericht erstattete, in welchem die geognostischen Verhältnisse dieser dalmatinischen Insel eingehend erörtert und die Detonationen mit Erdbeben in Verbindung gebracht werden.¹ In diesem Bericht giebt PARTSCH auch² eine recht ausführliche Zusammenstellung über Nachrichten von Schallphänomenen von Aristoteles und Plinius bis auf die Gegenwart und über ihren Zusammenhang mit Erdbeben. Abgesehen von zahlreichen anderen Erklärungsversuchen, welche sich in dem Bericht PARTSCH'S aufgezählt und erörtert finden,³ verdient insbesondere jener, welchen BREISLAK in einem am 15. August 1823 an das k. k. Institut der Wissenschaften in Mailand erstatteten Bericht gab, Erwähnung. BREISLAK führte in demselben das Detonationsphänomen von Meleda auf Einsturzerscheinungen zurück. Die Gegengründe, mit welchen PARTSCH diese Ansicht zu entkräften sucht,⁴ sind kaum stichhaltig.

Ein ganz ähnliches, wenn auch viel unbedeutenderes Schallphänomen war jenes, dessen Schauplatz der Monte Tomatico bei Feltre im November und December 1851 war. Auch hier waren die begleitenden Erschütterungen ganz unbedeutend und wurden nur auf einem sehr beschränkten Raume verspürt. Das merkwürdigste Beispiel aber bilden die durch HUMBOLDT'S Schilderung berühmt gewordenen Bramidos von Guanaxuato in Mexiko, weil dieses „Gedrüll“ ganz und gar nicht von Erderschütterungen begleitet war. HUMBOLDT berichtet darüber folgendermassen: „Diese berühmte und reiche Bergstadt liegt weit von allen Vulkanen. Das Getöse dauerte seit Mitternacht des 9. Januars 1784

¹ P. PARTSCH: Bericht über das Detonations-Phänomen auf der Insel Meleda bei Ragusa. Wien 1826.

² a. a. O. S. 159.

³ a. a. O. S. 101—152.

⁴ a. a. O. S. 141.

über einen Monat. Es war, als lägen unter den Füßen der Einwohner schwere Gewitterwolken, in denen langsam rollender Donner mit kurzen Donnerschlägen abwechselte. Das Getöse verzog sich, wie es gekommen war, mit abnehmender Stärke. Fast alle Einwohner verliessen vor Schrecken die Stadt, in der grosse Massen Silberbarren angehäuft waren; die Muthigeren kehrten, an den unterirdischen Donner gewöhnt, zurück und kämpften mit der Räuberbande, welche sich der Schätze bemächtigt hatte. Weder an der Oberfläche der Erde noch in den 1500 Fuss tiefen Gruben war irgend ein leises Erdbeben bemerkbar. In dem ganzen mexikanischen Hochlande ist nie vorher ein ähnliches Geräusch vernommen worden, auch hat in der folgenden Zeit die furchtbare Erscheinung sich nicht wiederholt.“ Selbstverständlich ist in einem solchen Falle die Ursache des Geräusches ganz unbekannt, aber auch dann, wenn Schallerscheinungen wie es bei fast allen Erdbeben der Fall ist, im Gefolge eines Erdstosses auftreten, ist es nicht so leicht, den Ursprungsort und die Entstehung des Geräusches zu ermitteln.

Bei wirklich centralen Beben, wie sie durch die vulkanischen Dampfscüsse oder räumlich eng begrenzte Einstürze verursacht werden, ist es zulässig, den Entstehungsort des Geräusches ohne weiteres auch in dem Erregungsort der Erschütterung zu suchen, denn es ist klar, dass in solchen Fällen die vulkanische Explosion oder der Einsturz eines Hohlraumes beide Erscheinungen veranlasste. Bei jenen Beben aber, welche ein grösseres Stück der Erdrinde zugleich oder nahezu gleichzeitig erschüttern, kann ebensowenig von einem bestimmten Ausgangspunkt des Schalles wie von einem solchen der Bewegung gesprochen werden. Wenn beispielsweise bei dem Beben von Agram ein grösserer Theil der Erdoberfläche nahezu gleichzeitig von transversalen Schwingungen ergriffen wurde, wie WÄHNER'S Untersuchungen mit Sicherheit ergeben, so konnten die in den verschiedensten Theilen des Gebietes gleichzeitig oder fast gleichzeitig mit der Erschütterung eingetretenen Schallerscheinungen eben nur in der localen Bewegung ihren Grund haben und wäre es gewiss falsch, für sie eine eigene Propagation und eine Herkunft von einem (imaginären) Herde abzuleiten.

Wenn daher v. LASAULX sagt, „auch bei dem Einsturz der Glocke der Königsgrube, den wir vorher als Beispiel wählten, wurde der dumpfe Donner vernommen, der mit der Erregung der Erschütterung durch diesen Einsturz verbunden war. Wir können daher wohl als ziemlich sicher annehmen, dass in allen ähnlichen Fällen der Schall an derselben Stelle erregt wird, wie die Bewegung, dass der Ausgangspunkt für beide demnach derselbe ist,“¹ so können wir dem nur bedingungsweise zustimmen, da eben nur in den oben angeführten Fällen der Schall ebenso wie die Bewegung von einem bestimmten Punkte oder von einer räumlich enger

¹ LASAULX: Die Erdbeben. KENNGOTT'S Handwörterbuch der Mineralogie etc. I. S. 318.

begrenzten Stelle seinen Ursprung genommen haben kann und nur dann die nachfolgenden Vergleichen über die Fortpflanzung des Schalles und der Erschütterung, welche LASAULX sogar zu einer besonderen Methode der Herdbestimmung benützt, statthaben können.

Der Schall, welcher in der Luft 340 Meter in der Secunde zurücklegt, pflanzt sich in festen Körpern viel schneller fort — so ist z. B. die Geschwindigkeit in Hölzern 11—17, in gebranntem Thon 10—12 mal grösser als in der Luft, und nach WERTHEIM'S Untersuchungen dürften sich diese Verhältnisse noch steigern, wenn es sich nicht blos um Stäbe dieser Medien handelt. Es erscheint daher die Annahme gerechtfertigt, dass auch im Erdboden der Schall sich schneller fortpflanze als in der Luft, zumal er schon im Wasser eine Geschwindigkeit von 1435 Meter erreicht (nach COLLADON und STURM). Es wird daher der an irgend einer Stelle der Erdoberfläche mehr oder weniger gleichzeitig mit der Erschütterung vernommene Schall als lediglich durch die Erde selbst fortpflanzt gelten müssen. Denn durch die Luft könnte eben an irgend einem Orte nur der Schall vernommen werden, der von einer anderen Stelle der erschütterten Oberfläche ausging, von wo er den Weg in der Luft zurücklegte. Er hätte dann den weiteren Weg und zum Theil mit einer viel geringeren Geschwindigkeit zurücklegen müssen. Nun ist es aber eine bekannte Thatsache, dass der Schall, wenn er aus einem dichteren in ein dünneres Medium übergeht, bedeutend verzögert wird. Es müsste daher der Schall, wenn wir annehmen wollten, dass er an irgend einer Stelle des erschütterten Gebietes durch Fortpflanzung durch die Luft wahrnehmbar geworden sei, sehr bedeutend verspätet nach der Erschütterung selbst eintreten. Es ist demnach ganz unwahrscheinlich, dass der gleichzeitig oder kurz nach der Erschütterung eintreffende Schall anderweitig als direct durch den Erdboden fortpflanzt worden sei. Er wird daher bei den Erdbeben auch vorzüglich aus dem Boden, aus der Tiefe heraus vernommen. In Südamerika ist es nach HUMBOLDT eine allgemeine Erfahrung, dass man das Erdbebengeräusch ganz besonders stark aus den Oeffnungen der Brunnen hervortönen hört. Auch dass das Geräusch sowohl im centralen Theil eines erschütterten Gebietes, als auch in den äussersten Grenzzonen desselben nahezu in derselben Gleichzeitigkeit mit der Erschütterung erscheint, ist ein Beweis gegen seine Fortpflanzung durch die Luft.¹ Diesen Ausführungen LASAULX' können wir wohl beipflichten, der gewöhnliche, Erdbeben begleitende Schall ist unterirdischer Herkunft; dies schliesst nicht aus, dass auch in der Luft Schallphänomene durch die Bewegung des Bodens hervorgerufen werden, die freilich, wie wir später sehen werden, ganz anderer Natur sind als jene. Wir kommen nun zur Erörterung jener Beziehungen zwischen den Verhältnissen der Schallbewegung und der Propagation der Erschütterung selbst, in Bezug auf welche wir schon oben bemerkten, den Ausführungen v. LASAULX' nicht vollkommen bei-

¹ LASAULX, a. a. O. S. 319.

pflichten zu können. Denn wenn auch von vornherein zugegeben werden mag, dass Schall und Erschütterung nicht dieselbe Fortpflanzungsgeschwindigkeit haben und in anderer Weise verzögert und vernichtet werden können, so sind doch die Zeitbestimmungen bei Erdbebenbeobachtungen viel zu ungenau, um hier vollkommen sichere Erklärungen ableiten zu können. Demungeachtet sollen hier die Untersuchungsergebnisse LASAULX', welche die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Erdbebengeräusches zum Gegenstande haben, wiedergegeben werden.

Für das Erdbeben von Herzogenrath vom 24. Juni 1877 bestimmte v. LASAULX die Unterschiede in der Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Erschütterung und des Schalles. Er fand für jene 374.83 Meter in der Secunde, für diese aber 485.96 Meter. Da aber der Schall in der Nähe des Oberflächenmittelpunktes der Erschütterung vorausging, in grösserer Entfernung davon aber nachfolgte, so ergibt sich hieraus nothwendig ein grösseres Maass der Dämpfung oder Verzögerung bei der Fortpflanzung durch den Erdboden für den Schall als für die Bewegung. Ganz dasselbe Resultat ergab auch eine ähnliche Berechnung für das Erdbeben vom 26. August 1878. Wenn sich auch nicht mit Sicherheit feststellen liess, dass der Schall im Centrum der Bewegung vorausging, in grösserer Entfernung von demselben aber nachfolgte, so zeigte sich doch die grössere Geschwindigkeit des Schalles im centralen Theile mit Sicherheit darin, dass er hier der Bewegung vorausging. Wenn diese grössere Geschwindigkeit sich bis zu Ende gleich geblieben wäre, so hätte mit der Entfernung vom Oberflächenzentrum das Intervall zwischen Geräusch und Bewegung immer grösser werden müssen. Da aber auch in den entferntesten Orten dasselbe durchaus als gleichzeitig mit der Erschütterung erscheint, so muss auch für dieses Erdbeben, wie für das vom Jahre 1877 der Schluss gezogen werden, dass der Schall auf seiner Bahn eine stärkere Verzögerung erlitten habe, als die Bewegung. Den Verzögerungscoefficienten bestimmte v. LASAULX für das Erdbeben von 1877 zu 0.94; für das Erdbeben vom 26. August 1878 ist derselbe nach SCHUHMACHER = 0.98. Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalles beträgt für dieses letztere Erdbeben 310.2 Meter, die der Bewegung 302.16 Meter in der Secunde. (Die für dieses Beben ermittelten Fortpflanzungsgeschwindigkeiten der Erschütterung sowohl wie des Schalles sind auffallend niedrig, denn der Schall erreicht ja in der Luft eine solche von 340 Meter.) Soviel aber kann aus dem ohne Zweifel nachgewiesenen verschiedenen Verhalten von Schall und Bewegung gefolgert werden, dass dasselbe das nicht immer gleiche Wechselverhältniss beider vollständig zu erklären vermag, dass in einzelnen Fällen die Elongation beider eine wesentlich verschiedene sein kann, so dass sowohl das Geräusch ohne die Bewegung, als auch die Bewegung ohne Geräusch in den äussersten Zonen des Erschütterungsgebietes wahrgenommen wird. Gleichwohl ist es der häufigere, nach dem Vorhergehenden auch natürlichere Fall, dass das Geräusch nicht bis zu den äussersten Grenzen des Erschütterungsgebietes vorzudringen vermag. —

R. FALB hat den Gedanken ausgesprochen, die ungleiche Fortpflanzung von Bewegung und Schall, wie sie in dem Intervall des Eintritts der betreffenden Phänomene an den Beobachtungsorten zum Ausdrucke kommt, zur Berechnung des Erregungsortes einer Erderschütterung zu benutzen¹ und A. v. LASAULX hat diesen Gedanken eingehend erörtert und zum ersten Male praktisch angewendet.² Die Bedenken, welche oben gegen die SEEBACH'sche Herdbestimmung aus Stosszeitangaben geltend gemacht wurden, gelten in noch höherem Grade gegenüber dieser Methode.

Haben wir uns bisher mit der theoretischen Erörterung der Erdbebenphänomene selbst beschäftigt, so wollen wir nunmehr auch die Wirkungen der Erschütterungen, die uns bisher nur nebensächlich beschäftigt haben, näher ins Auge fassen. Wir können sie in verschiedene Gruppen bringen, je nachdem sie den Erdboden, die Gewässer und die Luft betreffen.

Die Einwirkung der Beben auf den Boden kann eine sehr verschiedenartige sein und vor allem hätten wir hier solche Erscheinungen, welche als Ursache von Erderschütterungen auftreten, von jenen zu trennen, die bloss Folgewirkung derselben sind. Wir hätten sonach der ersten Gruppe jene Einstürze und Erdfälle zuzuweisen, welche Erdbeben erregten und ebenso jene tektonischen Veränderungen in grösseren Theilen der Erdrinde, durch welche, seien es nun Senkungen oder horizontale Verschiebungen, Dislocationsbeben verursacht werden. Während es aber leicht ist, bei den meisten Einsturzbeben die erregenden Vorgänge nachzuweisen oder doch mit einiger Sicherheit zu erkennen, ist dies bei den tektonischen oder Dislocationsbeben nicht in gleicher Weise der Fall. Es sind zwar wiederholt Behauptungen ausgesprochen worden, nach welchen bei verschiedenen Erdbeben grössere oder kleinere, meist verticale Bewegungen und zwar sowohl Hebungen als Senkungen stattgefunden hätten, aber kein einziges dieser Beispiele erwies sich bei näherer Betrachtung als stichhaltig — es sei denn, dass es sich um relativ unbedeutende Vorgänge gehandelt hätte, wie die Hebung eines Landstreifens bei den der Eruption des Monte Nuovo in den Phlegräischen Feldern vorangegangenen Beben, oder die ausgedehnte Senkung eines durch den Ullah-Bund abgegrenzten Areals im Ran of Kachh bei dem Erdbeben von 1819, welche, wie wir unten zu erörtern haben werden, als Folgewirkungen zu betrachten sind, nicht aber als Bodenbewegungen, welche mit den tektonischen, die Erdbeben selbst veranlassenden Veränderungen zusammenfallen, betrachtet werden dürfen.

Viele der Nachrichten von den Niveauveränderungen ganzer Landstriche oder Bergketten sind von Haus aus so unbestimmt und unzuverlässig, dass sie eine nähere Ueberprüfung kaum gestatten. So trat nach

¹ R. FALB: Gedanken und Studien über den Vulkanismus. Graz 1875. S. 212.

² A. v. LASAULX: Das Erdbeben von Herzogenrath vom 24. Juni 1877. Bonn 1878. S. 65.

BERTRAND's Bericht¹ nach dem gewaltigen Erdbeben in Wallis vom 9. December u. f. 1755 in der zunächst betroffenen Gegend allgemein die Behauptung auf, dass der Simplon bei diesen Ereignissen bedeutend niedriger geworden sei, jedoch ohne dass Jemand diese nur auf einem allgemeinen Gefühle beruhende Behauptung durch bestimmte Maassangaben zu stützen gewagt hätte. Aber auch anscheinend recht gut beglaubigte Berichte über grössere Bodenbewegungen bei Erdbeben erweisen sich bei genauerer Betrachtung als auf falschen oder missdeuteten Beobachtungen begründet.

Solche Berichte haben vor Allem die südamerikanische Westküste zum Gegenstande, von welcher behauptet wird, dass einzelne Theile derselben bei den grossen Erdbeben der Jahre 1822, 1835 und 1837 gehoben worden seien. E. SUESS hat alle Daten, welche sich auf diese Vorgänge beziehen, gesammelt und kritisch erörtert, das Resultat, zu welchem er bezüglich dieser angeblich als sicher nachgewiesen in allen Lehrbüchern angeführten wiederholten Erhebung der westlichen Küste Südamerikas bei grossen Erdbeben kam, war ein vollkommen negatives.² Bei der grossen Bedeutung, welche der Nachweis des Nichtvorhandenseins jener, auf Grund der Autorität CH. DARWIN's³ allgemein angenommener Hebungen für die Erdbebenkunde besitzt, müssen wir an der Hand der SUESS'schen Ausführungen näher auf den Gegenstand eingehen.

Das Erdbeben vom 19. November 1822 schien seinen Ausgangspunkt nordöstlich von Valparaiso zu haben. Der maassgebende Bericht über die gleichzeitige Erhebung des Landes ist ein Brief von Mrs. MARIA GRAHAM, welchen die geologische Gesellschaft in London veröffentlicht hat. Diesem Briefe zufolge schien es am nächstfolgenden Morgen, als sei die ganze Küste auf eine Erstreckung von mehr als 100 Miles über ihr früheres Niveau erhoben. In Valparaiso habe die Aenderung etwa 3 Fuss betragen, zu Quintero beiläufig 4 Fuss. Bei Hochwasser habe man das alte Bett des Meeres trocken gesehen, mit Austern und anderen Muscheln, haftend auf dem Felsen, auf welchem sie gewachsen waren, jedoch todt und sehr üble Gerüche verbreitend.⁴

Diesen bestimmten Angaben von Mrs. GRAHAM stehen aber ebenso bestimmte gegentheilige Angaben entgegen, deren wichtigste allerdings

¹ BERTRAND: Mém. phys. et historiques sur les tremblements de terre 1757. Ich konnte diese Quelle ebensowenig benutzen, wie VOLGER, der sich (Untersuchungen über d. Phänom. d. Erdbeben i. d. Schweiz, III, S. 395) auf ein Citat in NÖGGERATH: Die Erdbeben im Vispithale, S. 29, 30, beruft.

² E. SUESS: Das Antlitz der Erde, I. Bd. S. 127—137.

³ CH. DARWIN: On the Connexion of certain Volcanic Phenomena in South America and the Formation of Mountain Chains and Volcanos. Transact. geol. Soc. V. 1838. S. 601—631.

⁴ Mrs. M. GRAHAM: An Account of some Effects of the late Earthquakes in Chili, extr. from a letter to H. WARBURTON Esq.; Transact. geol. Soc. 1822, 2. Ser., I, S. 413—415; — GREENOUGH hatte als Präsident der geologischen Gesellschaft in seiner Jahresadresse vom 4. Juni 1834 grosse Zweifel über diese Angaben ausge-

erst im Jahre 1835 veröffentlicht wurden; es sind dies Briefe von Capitän BELCHER, Lieutenant BOWER und dem bekannten Malacologen CUMING an dieselbe geologische Gesellschaft.¹

Capitän BELCHER bezweifelt, dass irgend eine Veränderung des Niveaus eingetreten sei, welche die dortigen Sondirungen beeinflusst hätte, weil bei den an der chilenischen Küste stationirten königlichen Schiffen keine Anzeige dieser Art eingelaufen sei, was gewiss geschehen wäre, wenn die Sache den ansässigen Engländern von Bedeutung erschienen wäre. Lieutenant BOWER war im Februar 1823 in Valparaiso und hat dort Alles in demselben Zustande gefunden wie ein Jahr zuvor, doch ist seit dem Erdbeben das Wasser allmählich zurückgetreten zwischen der Landungsstelle und dem Marktplatze und es ist eine Reihe fester Gebäude errichtet, wo früher das Meer floss. Herr CUMING war in Valparaiso vom Januar 1822 bis 1827 und mit wenig Unterbrechungen bis 1831. Er war Zeuge des Erdbebens; sein Haus wurde zerstört. Er hörte, dass das Meer sich zurückgezogen habe und mit grosser Macht wiedergekehrt sei; als er am nächsten Morgen an den Strand kam, bemerkte er die Wirkungen, sah aber in Bezug auf das Meer nichts als hohe Fluth. Er hat nicht von einer Erhebung der Küste oder von einzelnen Felsen gehört; weder er, noch seine Freunde könnten den Angaben Mrs. GRAHAM's zustimmen. Er habe vor und nach dem Erdbeben und bis zum Schlusse seines Aufenthaltes an den Felsenriffen der Bucht Fuci, Patellae, Balanen u. s. w. gesammelt, ohne jemals eine Aenderung wahrzunehmen. Die Ansicht, dass das Land sich erhoben hat, möge daher rühren, dass seit dem Erdbeben eine Anhäufung von Detritus an einer Stelle stattgefunden habe, welche vor dem Erdbeben von der Fluth erreicht wurde, und auf welcher Häuser und sogar kleine Strassen errichtet wurden. Der grösste Theil dieser Anschwemmung sei jedoch erst im Juni 1827, also fünf Jahre nach dem Erdbeben, durch heftige Regen erzeugt worden, welche den losen granitischen Boden der nächsten Gehänge herabtrugen.

Wir müssen SUESS wohl Recht geben, wenn er nach Anführung dieser, die Angaben der Mrs. GRAHAM vollkommen widerlegenden zuverlässigen Daten meint, „hiernach halte ich die Discussion über den ersten Fall, das Erdbeben von 1822 für erledigt.“

Der nächste Fall betrifft das Erdbeben von Concepcion vom 20. Februar 1835.

SUESS bespricht zunächst den Schauplatz der wichtigsten Begebenheiten dieses Bebens auf Grund einer Schilderung des geologischen Baues,

sprochen, worauf die Verfasserin des Briefes, nunmehrige Mrs. CALCOTT, eine selbstständige Schrift unter dem Titel: Letter to the President and Members of the Geological Society etc., London 1834 veröffentlichte, die jedoch keine neuen That-sachen enthielt.

¹ *Proced. geolog. Soc.* 1838, II. S. 213. — Capitän BELCHER's und Mr. CUMING's Briefe wurden mitgetheilt in der Sitzung vom 2. December 1835.

welche E. CONCHA I TORO gegeben hat.¹ Die Küste besteht hier, zwischen $36^{\circ} 30'$ und $37^{\circ} 30'$ südl. Breite, aus den alten Felsarten der chilenischen Küstencordillere, auf welchen Schollen der Kreideformation, der Tertiärformation und von quaternären Ablagerungen liegen.

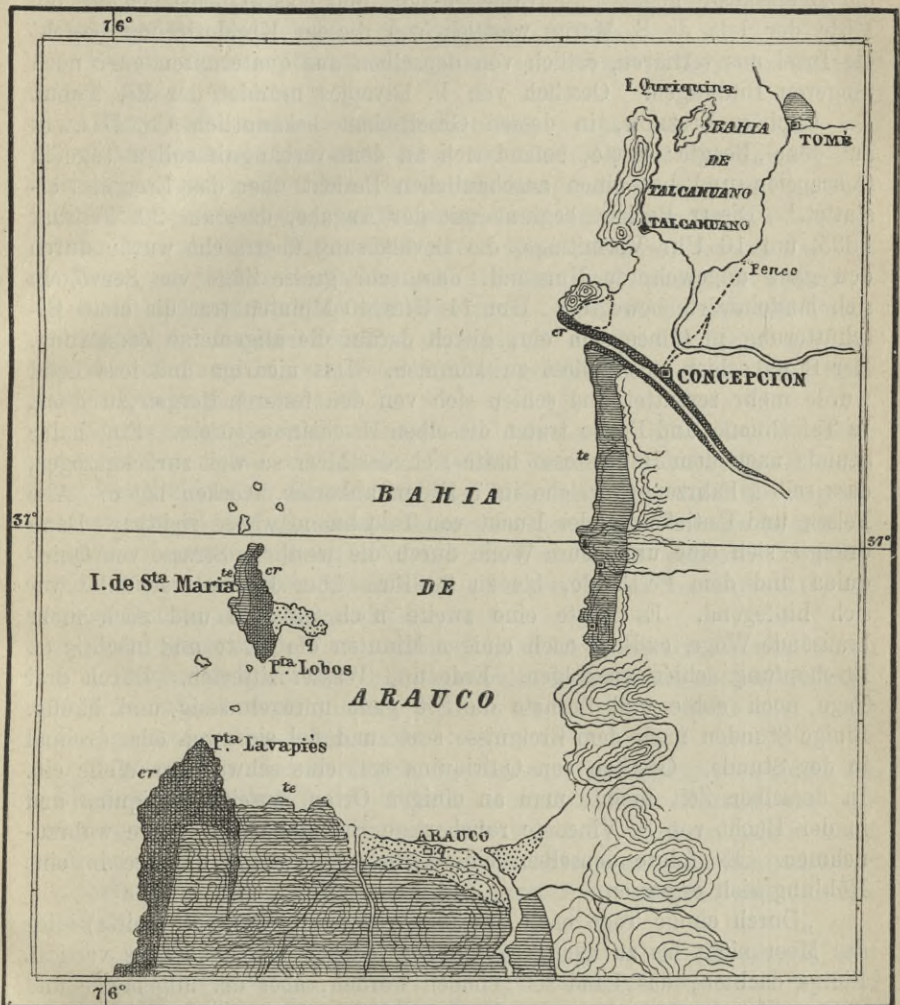


Fig. 11. Schauplatz des Erdbebens vom 20. Februar 1835 (nach CONCHA I TORO). *cr* = Kreideformation; *te* = Tertiär; *q* = jüngere Bildungen. Die nicht schraffirten Berge bestehen aus den älteren Felsarten der Küstencordillere.

Nördlich von der Stadt Concepción liegt die Bahía de Talcahuano, auch Bucht von Concepción genannt, an dem südöstlichen Ufer derselben die alte Hauptstadt Penco, gegen Nordost der baculitenreiche Grünsandstein

¹ ENRIQUE CONCHA I TORO: Estudio sobre el carbon fósil que se explota en Chile; Anal. Univ. Chile, 1876. S. 337–432.

von Tomè. Die Insel Quiriquina legt sich quer über einen grossen Theil der Bucht. Gegen Südwest von Concepcion befindet sich die viel ausgedehntere Bahia de Arauco, westwärts begrenzt durch Punta Lavapiès, deren Fortsetzung die Isla de S. Maria bildet. Kreideschichten bilden die Meeresküste gegen P. Lavapiès hinaus und ebenso fortstreichend die Mitte der Isla de S. Maria; westlich von diesem Kreidestreifen besteht die Insel aus tertiären, östlich von denselben aus quaternären oder noch jüngeren Bildungen. Oestlich von P. Lavapiès mündet der Rio Tubul.

Capitän FITZROY, in dessen Gesellschaft bekanntlich CH. DARWIN auf dem „Beagle“ reiste, befand sich an dem verhängnissvollen Tage in Concepcion und hat einen anschaulichen Bericht über das Ereigniss erstattet.¹ Dieser Bericht beginnt mit der Angabe, dass am 20. Februar 1835, um 10 Uhr Vormittags, die Bevölkerung überrascht wurde durch den ganz ungewohnten Umstand, dass sehr grosse Züge von Seevögeln sich landeinwärts bewegten. Um 11 Uhr 40 Minuten trat die erste Erschütterung in Concepcion ein, gleich darauf die allgemeine Zerstörung. Der Stoss schien aus Südost zu kommen. Das niedrige und lose Land wurde mehr zerrüttet und schien sich von den festeren Bergen zu lösen. In Talcahuano und Penco traten dieselben Erscheinungen ein. Eine halbe Stunde nach dem Hauptstosse hatte sich das Meer so weit zurückgezogen, dass selbst Fahrzeuge, welche in 7 Faden ankerten, trocken lagen. Alle Felsen und Untiefen in der Bucht von Talcahuano waren sichtbar. Dann drängte sich eine ungeheure Welle durch die westliche Strasse von Quiriquina und dem Festlande, bis zu 30 Fuss über Hochwasser Alles vor sich hinfegend. Es folgte eine zweite noch grössere und noch mehr brausende Woge, endlich nach einigen Minuten die dritte und mächtigste. Erschöpfung schien zu folgen. Erde und Wasser zitterten. Durch drei Tage noch ebhte und fluthete die See ganz unregelmässig und häufig. Einige Stunden nach dem Ereignisse stieg und fiel sie zwei- oder dreimal in der Stunde. Oestlich von Quiriquina trat eine schwächere Welle ein. In derselben Zeit meinte man an einigen Orten jenseits Quiriquina und in der Bucht von S. Vincente rauchartige Eruptionen im Meere wahrzunehmen. Es folgte denselben ein Wirbel, als würde die See in eine Höhlung sich ergiessen.

„Durch einige Tage nach der Zerstörung (sagt FITZROY weiter) stieg das Meer nicht bis zu den gewöhnlichen Marken um 4—5 Fuss vertical. Einige dachten, das Land sei gehoben worden, aber der allgemeine und vorherrschende Gedanke war, dass das Meer sich zurückgezogen habe. Diese Differenz verminderte sich allmählich, bis Mitte April nur eine Differenz von 2 Fuss zwischen den thatsächlichen und den früheren Hochwassermarken bestand. Der Beweis, dass das Land sich erhoben habe, liegt in der Thatsache, dass die Insel S. Maria um 9 Fuss gehoben wurde.“

¹ R. FITZROY: Sketch of the Surveying Voyages of H. M. Ships Adventure and Beagle; Journ. Roy. Geogr. Soc. 1836. VI. S. 319—331.

Die Erhebung des südlichen Endes dieser Insel betrug 8 Fuss, der Mitte 9 Fuss, des Nordendes 10 Fuss. Die Insel wurde zweimal besucht. Ende März und Anfangs April. Das erste Mal wurde die Erhebung von 8 Fuss ermittelt; später tauchten Zweifel auf und man kehrte nochmals zurück und bestätigte auf verschiedene Art die erste Beobachtung. Bei Tubul, am Festlande, betrug die Erhebung 6 Fuss.

Soweit die wesentlichsten Angaben von FITZROY; DARWIN war zur selben Zeit in Valdivia.

Man ersieht hieraus, — sagt E. SUESS — dass auf einer Linie von Tubul am Festlande nordwärts längs der Insel S. Maria sich Verschiedenheit zeigte, und zwar 6 Fuss in Tubul, dann steigend 8, 9 und 10 Fuss auf S. Maria; ferner, dass bei Talcahuano die Differenz anfangs 4—5 Fuss betrug und sich bis Mitte April auf 2 Fuss minderte; ferner, dass auf S. Maria die letzten Beobachtungen Anfangs April gemacht wurden. — In einem späteren Berichte sagt DARWIN: „Es erscheint aus den Untersuchungen des Capitän FITZROY, dass sowohl die Insel S. Maria als Concepcion im Laufe einiger Wochen sich senkten und einen Theil ihrer ersten Erhebung verloren.“¹

CALDCLEUGH, welcher ebenfalls als Augenzeuge über diese Vorgänge berichtet hat, schreibt: „Beide, Capitän FITZROY und Capitän SIMPSON von der chilenischen Flotte, sind der Meinung, dass die Erhebung des Bodens sowohl auf der Insel als in Concepcion zur Zeit des Erdbebens bedeutend grösser gewesen sei, und dass die vielen folgenden kleineren Oscillationen eine Senkung bis zu dem oben genannten Niveau (8—10 Fuss) herbeigeführt haben mögen.“²

Nicht lange nach FITZROY, am 3. Mai 1835, ankerte Capitän COSTE bei S. Maria; auch er fand 9 Fuss weniger Ankergrund als im Vorjahre. Am Ufer sah er auch ähnliche Spuren wie FITZROY, stellte aber leider keine genaueren Messungen an.³

Zugleich mit den Berichten der Forscher des „Beagle“ wurden der geologischen Gesellschaft ein Bericht von DON MAR. RIVERO und ein Brief von COL. WALPOLE vorgelegt, welche sich Beide gegen jede in Chile während dieses Erdbebens vorgekommene Niveauänderung aussprachen.⁴

Selbst CH. LYELL, der eifrigste Vertreter der Ansicht von der Er-

¹ CH. DARWIN: Geol. Observ. on the volc. Islands etc. 2d. Ed. 1876. S. 237.

² AL. CALDCLEUGH: An Account of the great Earthquake experienced in Chile 20. Febr. 1835; Philos. Transact. 1836. S. 24.

³ Capit. COSTE: Comptes rend. 1838, VII. S. 107.

⁴ In der Sitzung vom 4. Januar 1837. Man findet in den Proc. Geol. Soc., II, S. 179 eine Note von Lieut. FREYER über scheinbare Erhebung des Landes mit Bezug auf die Muschelbänke von Arica und die Insel S. Lorenzo bei Callao; S. 209 den ersten Bericht FITZROY's über S. Maria und eine Mittheilung von R. E. ALISON über diesen Gegenstand; S. 444 eine Abhandlung von CALDCLEUGH und S. 446 eine andere von DARWIN; dann ist der in der Zeitschrift „El Araucano“ enthaltene Aufsatz von RIVERO, endlich der Brief COL. WALPOLE's an Palmerston angeführt, welche beide Letzteren jede Erhebung oder Senkung des Bodens in Abrede stellen.

hebung des Festlandes, hat sich später zu der Bemerkung veranlasst gesehen, dass die geringe Höhe der alten Bauten von Penco über dem Meere geeignet sei, die Meinung über eine dauernde Erhebung dieser Küste zu beirren und einiges Licht auf die in den letzten Jahren geäußerte Meinung zu werfen, dass an der chilenischen Küste die Neigung vorhanden sei, nach jeder Erhebung allmählich wieder zurückzusinken und in die frühere Lage zurückzukehren.¹

„Unter diesen Umständen (sagt E. SUESS mit Recht) sind aber alle Schlussfolgerungen, welche die Vertheidiger der Elevationstheorie gerade an diesen Fall geknüpft haben, hinfällig und drängt sich die Frage auf, ob diese vorübergehende und nicht beträchtliche Differenz nicht doch weit einfacher durch die überaus heftige Erschütterung des Meeres zu erklären sei. Zwischen P. Lavapiès und S. Maria tritt heute eine ansehnliche Strömung in den Golf von Arauco ein, um denselben nordwärts wieder zu verlassen; es bleibt die Frage, ob dieselbe für einige Zeit abgelenkt sein mochte, und ob etwa auch hierdurch eine vorübergehende Niveau-differenz herbeigeführt werden konnte.“²

Die Angaben über eine weitere Erhebung des Landes während des Erdbebens von Valdivia am 7. November 1837 beschränken sich auf eine Mittheilung des Capitäns COSTE über die Insel Lemus im Chonos-Archipel. Als dieser am 11. December desselben Jahres die Insel besuchte, traf er den Meeresgrund um mehr als 8 Fuss erhoben; Felsen, welche sonst stets das Meer bedeckte, waren entblösst, eine grosse Menge von in Zersetzung begriffenen Conchylien und Fischen bedeckte den Strand, welchen entwurzelte und vom Meere herbeigetragene Bäume in grosser Zahl umgaben. Capitän COSTE sah darin Spuren entweder einer raschen Erhebung des Landes oder von Oscillationen des Meeres.³

„Diese letztere Frage aber — bemerkt E. SUESS — scheint mir die entscheidende; es müsste vor Allem bekannt sein, ob wirklich Felsen oder ob Sandbänke trocken gelegt wurden, und bis zu welchem Grade das Meer, welches die Bäume herbeitrug, auch durch herbeigeschlepptes Sediment etwa die Tiefe verringert habe.“ Auch bei diesem Erdbeben war die Bewegung des Oceans so bedeutend, dass auf den Gambier-Inseln, auf einzelnen der Tonga- und auf den Samoa-Inseln Hochfluthen eintraten. Auf Wawau in der Tonga-Gruppe wurde die ausserordentliche Erregung des Meeres durch 36 Stunden bemerkt.⁴

E. SUESS verweist sodann auf die älteren Bauwerke, die an mehreren Punkten der westlichen Küste Südamerikas in geringer Höhe über dem

¹ LYELL: Princ. Geol. XI. ed. 1872, II, S. 156.

² E. SUESS: Antlitz der Erde, I. S. 132.

³ Comptes rend. 1838, VII. S. 707.

⁴ DUMOULIN: Lettre à M. ARAGO; Coïncidence de date de quelques mouvements extraordinaires de la mer observés dans l'Océanie, avec le tremblement de terre, qui en 1837 renversa la ville de Valdivia au Chili; Comptes rend. 1840, X. S. 835—837.

Meere liegen und folglich jeder beträchtlicheren Erhebung des Bodens widersprechen, ferner auf die Ausführungen R. PHILIPPI's in seiner Beschreibung der sogenannten Wüste Atakama, wonach er keine Thatsache gefunden habe, welche auf eine neue, in historischer Zeit eingetretene Hebung dieser Gegend hinweisen würde, und auf dessen ausdrückliche Bemerkung, dass nach der gewaltigen Erschütterung von Arica am 13. August 1868 weder von der peruanischen noch von der chilenischen Küste Berichte über Hebungen oder Senkungen des Bodens eingelangt seien.¹ SUESS stellt der Ansicht DARWIN's über die südamerikanischen Erdbeben, wonach dieselben mit rhapsodischen Erhebungen verbunden seien, die ältere von BOUSSINGAULT gegenüber, welche diese Beben durch das wahre Nachsinken („un véritable tassement“) im Inneren der Cordilleren erklärt, und erinnert an einen Ausspruch von K. FUCHS, welcher sagt, dass, seitdem Erdbeben wirklich wissenschaftlich beobachtet und deren Erscheinungen und Folgen untersucht werden, sich unter vielen Tausenden von Erdbeben auch nicht ein Fall von Hebung zuge tragen hat.² SUESS gelangt schliesslich zu folgendem Urtheil über die so oft behaupteten rhapsodischen Erhebungen des westlichen Südamerika:

1. „In Callao wurden irrthümliche Meinungen durch Küchenreste veranlasst; hier handelt es sich um wiederholte Anschwemmung und Abschwemmung einer Bank an der Landseite der Insel S. Lorenzo.

2. „In dem Falle von Valparaiso 1822 wird von den berufensten Augenzeugen, wie CUMING, jede Veränderung der Strandlinie entschieden geleugnet.“

3. „Bei dem Erdbeben von Concepcion 1835 war die Bewegung der Wassermasse des Pacifischen Oceans so heftig, dass bald nach dem Stosse einige Fuss Landes am Strande trocken blieben; dies hielt nicht an; mehrere Wochen vergingen jedoch, bis das Gleichgewicht des Meeres wieder hergestellt war.“

4. „Ueber Valdivia 1837 liegen überhaupt keine genaueren Angaben vor.“

5. „Bei keiner der zahlreichen seitherigen Erschütterungen des westlichen Südamerika ist eine Erhebung des Landes bemerkt worden.“³

Nachdem nun auch andere Veränderungen, welche man früher oft als von Erdbeben begleitete Hebungsvorgänge bezeichnete, wie die Bildung des Ullah-Bund im Ran of Kachh, nichts sind als secundäre Folgewirkungen von Erschütterungen, und zudem, wie wir sehen werden, ihre Erklärung in einer ausgedehnten Terrain-Senkung finden; — nachdem

¹ R. PHILIPPI: Die sogenannte Wüste Atacama; in PETERMANN's geogr. Mittheilungen 1856, S. 56 — und brieflich in HOCHSTETER: Ueb. d. Erdbeben in Peru am 13. August 1869 und die dadurch veranlassten Fluthwellen; Sitzungsber. d. k. Akad. d. Wiss. Wien, 58. Bd. 1868.

² K. FUCHS: Vulkane und Erdbeben, 1875. S. 178.

³ E. SUESS: Das Antlitz der Erde, I. S. 137.

andere thatsächliche Niveauveränderungen, wie jene durch die von Bohrmuscheln angenagten Säulen des Serapistempels nachgewiesenen, in verschiedenem Sinne erfolgten bei Pozzuoli dadurch ihre Erklärung finden, dass die betreffende Stelle in einem rein vulkanischen Gebiete in unmittelbarer Nachbarschaft jener Punkte liegt, welche noch in historischer Zeit durch Ausbrüche und andere Phänomene zeigten, dass die vulkanische Kraft dort noch nicht erloschen sei; — und nachdem die unten zu erörternden Bodenbewegungen als Folgewirkung der Erdbeben mit diesen in denselben Beziehungen stehen, wie die an der Erdoberfläche zerstörten menschlichen Wohnsitze, müssen wir SUESS zustimmen, wenn er sagt: „Eine strengere Prüfung lehrt, dass bis zu dem heutigen Tage eine messbare Ortsveränderung irgend eines Stückes des Felsgerüsts der Erde gegen ein anderes, sei es in Form einer Erhebung oder Senkung oder Verschiebung fester Gebirgsthelle, nicht mit voller Beweiskraft festgestellt ist.“ — „Aber (bemerkt SUESS des Weiteren) wenn auch thatsächliche Bewegung vor unseren Augen nicht erwiesen worden ist, lehren doch die zahlreichen Dislocationen, dass solche Bewegung oft und in grösstem Maassstabe sich ereignet hat, und zeigen die häufigen Erderschütterungen, dass diese Vorgänge nicht beendet sind.“¹

Dass solche Bewegungen in der That stattfinden, wird von allen Autoren behauptet, welche sich in den letzten Decennien mit der Untersuchung tektonischer Erdbeben beschäftigt haben, und von mehr als einer Seite wurde darauf hingewiesen, dass es möglich sein müsse, solche Bewegungen, so gering ihr absolutes Maass auch sein möge, geodätisch nachzuweisen. So sagt HEIM bei Besprechung der Aufgaben der modernen Erdbebenforschung: „Die Theorie, zu der wir gelangt sind, lässt für jedes Dislocationsbeben in einem engeren Gebiete eine dauernde Formveränderung erwarten. — Kann dieselbe nachgewiesen und gemessen werden?“² Eine sehr sanguinische Antwort auf diese Frage giebt die Erdbebencommission des naturwissenschaftlichen Vereines zu Karlsruhe in ihrer Darstellung des rheinisch-schwäbischen Erdbebens vom 24. Januar 1880 in jenem Capitel, welches betitelt ist „Bemerkungen über die geodätische Untersuchung der durch Erdbeben bewirkten Dislocationen an der Erdoberfläche.“³ Die Commission meint, dass es als constatirt betrachtet werden könne, dass durch manche Erdbeben dauernde Ortsveränderungen, insbesondere Hebungen und Senkungen erzeugt worden seien; leider wären jedoch bis jetzt noch wenige zuverlässige Messungen hierfür vorhanden, obgleich gerade solche Hebungen und Senkungen, im Gegensatz zu den übrigen Wirkungen der Erdbeben, der directen Wahrnehmung mit einer nichts zu wünschen übrig lassenden Genauigkeit leicht zugänglich seien: „Es ist nämlich die geodätische Untersuchung geologischer Dislocationen

¹ E. SUESS: Antlitz der Erde, I. Bd. S. 227.

² A. HEIM: Die Erdbeben und ihre Beobachtung. Basel 1880. S. 21.

³ Separatabdruck aus den Verhandlungen des naturwissenschaftlichen Vereines zu Karlsruhe 1880. S. 63.

in horizontalem und verticalem Sinne eine viel einfachere Aufgabe als gewöhnlich angenommen wird, zumal in einem Lande, welches systematische Vermessungen für zahlreiche andere Zwecke ohnehin vorzunehmen in der Lage ist. Betrachten wir z. B. die Catastervermessung von Baden (welche bekanntlich eine der besten von ganz Deutschland ist), so finden wir, dass durch dieselbe jeder einzelne Markstein relativ gegen seine Nachbarsteine auf wenige Centimeter genau bestimmt wird, so dass seine Lage, wenn der Stein verloren ist, mit solcher Genauigkeit wieder festgestellt werden kann, allerdings zunächst durch Einmessen gegen Nachbarpunkte von 100—200 Meter Entfernung, allein das systematische polygonometrische und trigonometrische Netz, welches über unser Land gelegt ist und immer noch umfassender gelegt wird, ermöglicht eine horizontale Genauigkeit von 10—20 Centimeter auch auf weitere Entfernungen von 5—10 Kilometer, ja es ist möglich auf 50—100 Kilometer noch eine Genauigkeit von $\frac{1}{4}$ — $\frac{1}{2}$ Meter zu verbürgen. Wenn nun solche Genauigkeit bereits für die bürgerlichen Zwecke der Grundstücksaufnahmen und Grenzversicherungen geliefert wird, so kann es keinem Zweifel unterliegen, dass geologische Dislocationen mit den „gleichen Mitteln“ genügend genau erforscht werden können.“ — Die Commission verweist dann auf die Genauigkeit des Zusammentreffens der beiden Stollen bei der Gottharddurchbohrung, — auf die in Elsass-Lothringen und Preussen im Zuge befindlichen Präcisions-Nivellements, — auf die genauen Höhenmessungen, mit welchen sich die europäische Gradmessung beschäftigt, die laut ihres Generalberichtes für 1879, Seite 62 bereits die Untersuchung der Dislocationen durch periodisch wiederkehrende Nivellements in ihr Programm aufgenommen habe; — und kommt zu dem Schlusse: „Aus all diesem folgt, dass für die Untersuchung geologischer Dislocationen in einem Culturstaate, dessen Vermessungsverhältnisse dem heutigen Stande der Wissenschaft entsprechen, nichts weiter nothwendig ist, als Nutzbarmachung der für zahlreiche andere Zwecke ohnehin erforderlichen Vermessungen in einer bestimmten Hinsicht.“

Diesem Gedanken hat A. HEIM in einem Vortrage über die Untersuchung der Erdbeben mit folgenden Worten Ausdruck gegeben: „Die dauernden Bodenverschiebungen, welche bald in horizontaler, bald in verticaler Richtung stattfinden und wahrscheinlich bei fast allen Erdbeben eintreten, sind durch topographische Messungen direct nachzuweisen. In der Schweiz haben sich schon einige Male zwischen topographischen sehr sorgfältig ausgeführten Vermessungen, welche zwei bis drei Jahrzehnte auseinanderlagen, in den Resultaten Differenzen ergeben, welche sich nicht durch Messungs- oder Rechnungsfehler haben erklären lassen. Wenn erst die Nivellements und topographischen Vermessungen mit ihrer heutzutage erlangten Genauigkeit nach einer längeren Reihe von Jahrzehnten revivirt werden, ist mehr Aussicht vorhanden, dadurch dauernde Bodenverschiebungen zu constatiren. Dass deren Kenntniss von grosser technischer Bedeutung ist, leuchtet sofort ein.“

Der Verfasser hat es 1881 versucht, einige Gebiete namhaft zu machen, in welchen solche Untersuchungen mit Vortheil angestellt werden könnten. Es mag gestattet sein, hier die damaligen Ausführungen zu wiederholen, da sie auch heute noch Interesse besitzen dürften: „Es würde zur Vornahme derartiger mit grossem Zeit- und Kostenaufwand verbundener Untersuchungen eine Gegend zu wählen sein, in welcher Erdbeben häufiger sich zu ereignen pflegen, so das; man mit einiger Wahrscheinlichkeit erwarten dürfte, schon vor Ablauf eines Menschenalters durch Wiederholung der genauen Vermessung eine merkbare Verschiebung zu constatiren. In Niederösterreich wäre eine derartige, von öfteren, wenn auch zumeist nur unbedeutenden Erderschütterungen heimgesuchte Gegend in dem plötzlichen Abfall des Wienerwaldes gegen Osten zu suchen. E. SUSS hat die Bedeutung jener Bruchlinie, welche sich vom Steinfeld bei Wiener Neustadt bis an das Weichbild der Stadt Wien verfolgen lässt, und durch das Zutagetreten zahlreicher Thermen und Schwefelquellen (Winzendorf, Seilerbrunn, Fischau, Brunn, Vöslau, Baden, Theresienbad bei Mödling) bezeichnet ist, wiederholt erörtert, und in seiner Schrift über die Erdbeben Niederösterreichs gezeigt, dass diese Thermenlinie von Wien ebenso wie jene Linien, welche von ihm als Kamp- und als Mürzlinie bezeichnet wurden, wiederholt Schauplatz stärkerer und schwächerer Erderschütterungen war. Dort, wo die Linien zusammentreffen, in der Gegend von Neustadt, befindet sich die Stelle, welche am häufigsten in Niederösterreich Ausgangspunkt von Erderschütterungen war. „Neustadt wird als Centrum genannt in den Erdstössen von 1281, 18. Mai 1282, 20. September 1587, 27. August 1668, 10. April 1712, 15. und 16. Juni 1718, 8. Juni 1749, Februar 1768, 5. Februar 1769, 3. December 1778, 13. Februar 1783, 18. November 1776, 29. und 30. October 1802, 13. Juli 1841, 28. November 1858, 19. December 1868, — also seit sechs Jahrhunderten, und wenn die Aufzeichnungen so ausführlich wären als für Wien, so wäre die Zahl der bekannten Fälle gewiss eine noch weit grössere.“ Wenn nun in dieser Gegend Erderschütterungen häufig eintreten, so bedeutet dies wohl, dass noch heute an der Bruchlinie von Wien Bewegungen der angrenzenden Schollen der Erdrinde stattfinden. Dass diese Linie einmal der Ort einer der grossartigsten Dislocationen war, welche in den Alpen eintraten, wissen wir aus der geologischen Geschichte der Tertiärablagerungen des Wiener Beckens. Denn während die Ablagerungen der ersten miocänen Mediterran-Stufe auf die ausseralpine Niederung beschränkt blieben, drang mit dem Beginne der Zeit der zweiten Mediterran-Stufe das miocäne Meer in das neu entstandene inneralpine Wiener Becken ein, welches durch eine grosse Dislocation gebildet wurde, vermöge welcher wir heute die Ostalpen von Wiener Neustadt bis Wien in einer höchst eigenthümlichen Linie — eben der oben erwähnten Bruch-Thermal- und Erdbeben-Linie von Wien — abgeschnitten finden. Wenn aber heute noch auf dieser Linie Verschiebungen der angrenzenden Theile stattfinden, so ist ein Umstand

geeignet, ihre Beobachtung wesentlich zu erleichtern. Die Basis der niederösterreichischen Landesvermessung liegt bekanntlich auf dem Neustädter Steinfeld an der Strasse von Neustadt nach Gloggnitz. Es unterliegt keinem Zweifel, dass diese Basis und die umliegenden trigonometrischen Punkte in ihrer Lage so genau festgestellt worden sind, dass eine merkliche Veränderung derselben durch eine Wiederholung der Vermessung leicht constatirt werden könnte. Selbstverständlich würde es sich dabei nicht um eine abermalige Messung der Basis, welche sich kaum verändert haben dürfte, handeln, sondern nur darum, ob in der Lage der nächsten trigonometrischen Punkte eine Veränderung zu dieser Basis zu bemerken wäre, was mit Hinsicht auf die Natur der Dislocationslinie und auf die häufig an ihr auftretenden Erdbeben nicht unwahrscheinlich ist.

Erdbeben und die damit aller Wahrscheinlichkeit nach verbundenen Dislocationen gehören ferner in jenen ersten Faltenzügen, die an der concaven Seite des Alpengebirges an die venetianische Ebene stossen, zu den häufigeren Erscheinungen. Auch durch Istrien und durch die langgestreckten Faltenzüge Dalmatiens lässt sich eine Zone der häufigeren Erschütterungen verfolgen. Manche Stellen in diesen südalpinen Schüttergebieten wären zur Vornahme des Versuches, die stattgefundenen Verschiebungen direct nachzuweisen, zu empfehlen, doch will ich auf den Gegenstand nicht näher eingehen, zumal, wie schon Eingangs angedeutet, derartige Untersuchungen mit zu grossen Kosten und Schwierigkeiten verbunden sind, der Erfolg sich aber möglicherweise erst nach Jahrzehnten ja nach Jahrhunderten einstellen kann; so dass gewiss von Seite einzelner Personen oder selbst alpiner Vereine derartige Unternehmungen kaum in Angriff genommen werden könnten. Dasselbe gilt selbstverständlich von der Ausführung sehr genauer Nivellements quer durch die Alpen. Es ist klar, dass, wenn überhaupt in den Alpen heute noch gebirgsbildende Kräfte walten, sie ihre Einwirkung am leichtesten zu erkennen geben werden in verticalen Verschiebungen, welche durch sehr genaue Nivellements, die von Zeit zu Zeit revidirt werden, controllirt werden können. In diesem Sinne erwarten wir wichtige Beiträge zur Lösung der Frage durch die Alpenbahnen der Neuzeit. Die ungeheuren Durchschläge, mit welchen man gegenwärtig die riesigsten Bergketten durchfährt, machen ausserordentlich genaue Vermessungen und Nivellements nöthig, welche für uns um so wichtiger sind, als die betreffenden Bahnlinien zumeist die Alpen geradezu verqueren. Da es auch technisch von der grössten Bedeutung sein muss, das Vorhandensein späterer Störungen zu controlliren, darf man wohl erwarten, dass die betreffenden Nivellements in einiger Zeit revidirt werden.“¹

Wenden wir uns nun zu jenen, bleibende Veränderungen erzeugenden Bodenbewegungen, welche als Folgewirkungen der Erdbeben zu be-

¹ R. HOERNES: Die Veränderungen der Gebirge und ihre Beobachtung, Jahrbuch des österreichischen Touristen-Club, XII. Clubjahr. 1881, S. 145 u. 146.

zeichnen sind. Hierher gehören zuerst Bergstürze, welche durch die Erdbeben losgelöst werden. Zumeist mögen dieselben sich schon lange vorbereitet haben und aller Wahrscheinlichkeit nach in Bälde früher oder später eingetreten sein, auch wenn kein Erdbeben stattgefunden hätte, welches hier nur die Rolle eines beschleunigenden Factors spielt.

Einer der gewaltigsten dieser, durch Erdbeben veranlassten Bergstürze war jener des Dobratsch bei Villach in Kärnthen bei dem Erdbeben vom 25. Januar 1348. In der Chronik **GIORGIO PILONI's** heisst es von diesem Beben: „Am 25. Januar, 5 Uhr, des Jahres 1348 war ein fürchterliches Erdbeben, wie ein solches seit Menschengedenken nicht vorgekommen. Kirchen, Thürme, Häuser stürzten ein, viele Personen wurden getödtet. Besonders schrecklich waren die Verwüstungen in Friaul; es stürzte unter andern ein der Palast des Patriarchen zu Udine. Es wurden die Castelle S. Daniele, Tolmezzo, Vensone und andere zerstört. In Venedig wurde der Canal grande trocken gelegt und viele Paläste umgestürzt. In Kärnthen fanden mehr als tausend Personen ihren Tod.“¹ In einer anderen Chronik heisst es: „In conversione S. Pauli factus est terrae motus ita magnus quem quis hominum meminerit. Nam in Karinthia, Stiria, Carnioliä usque ad mare plusquam XL firmissima castra et civitates subvertit, et mirum in modum mons magnus super montem cecidit et aquam quamdam fluentem obstruxit, quae etiam post se villas plures subvertit et subversit.“²

Ueber den durch das Erdbeben verursachten Bergsturz am Dobratsch sagt **SCHAUBACH**: „Dieser Bergsturz gehört, so unbekannt er ist, zu den fürchterlichsten Erscheinungen dieser Art, und der grosse Bergsturz am Rossberge erscheint unbedeutend gegen diesen. Zwei Märkte und siebzehn Dörfer wurden begraben, das Gailthal zu einem See gedämmt und nur mit Mühe konnte sich der Fluss eine Bahn durch die Trümmer brechen, noch jetzt sumpft das Thal aus dieser Ursache. Noch oft stösst man auf Häuser und in ihnen auf Gerippe.“³

Ueber die Wirkung heftiger Erderschütterungen auf zerklüftetes steilwandiges Kalkgebirge giebt **JULIUS SCHMIDT** in seinem Bericht über das grosse phokische Erdbeben, welches Ende Juli 1870 begann und in fast beispielloser Intensität durch drei Jahre anhielt, anschauliche Nachricht. Der erste Hauptstoss erfolgte am Morgen des ersten August 1870; am 4. August Abends langte **SCHMIDT** bei dem ganz zerstörten Itea an, er brachte die Nacht im Freien zu und zählte zahlreiche Erdstösse und noch zahlreichere Detonationen (in einer Stunde 71 Detonationen, von welchen mindestens 16 mit deutlichen Erdbeben verbunden waren). **SCHMIDT** berichtet: „Nach ein Uhr gedachte ich kurze Zeit zu ruhen, um später die

¹ Chronik **GIORGIO PILONI's** (Venezia 1607) citirt in **G. v. RATH**: Das Erdbeben von Belluno, Neues Jahrbuch für Mineralogie etc. 1873.

² Chron. Zvetl. ap. **RAUCH**, Script. II., S. 324, citirt in **E. SUSS**: Erdbeben Niederösterreichs, Denkschriften d. k. Akad. d. Wiss. Wien, 33. Bd. 1873.

³ **E. SCHAUBACH**: Die deutschen Alpen, V. S. 70.

Zählungen fortzusetzen; aber kaum hatte ich mich niedergelegt, als um 1 Uhr 27 Minuten 36 Secunden ein Erdbeben von furchtbarer Gewalt alles ringsum in Schrecken und Bewegung versetzte. Die Luft war ganz still, ein grosser, doch weicher, tiefer Donner, ähnlich dem des Marinegeschützes, wenn es aus der Entfernung von $1\frac{1}{2}$ Stunde Weges gehört wird, ging wenige Zehnthelle einer Secunde dem mächtigen Verticalstosse voraus. Wie ein vom Sturme aufgeblähter Teppich schwoh der Boden empor, nicht nach Art einer Sprengung, sondern viel langsamer und trotz der erstaunlichen Wucht gewissermassen sanft, mehr andrängend als stossend. Ich fühlte mich in die Höhe geworfen, ohne doch das Gefühl ähnlich raschen Herabsinkens zu haben, da die Geschwindigkeit für diese Art von Bewegung doch nicht gross genug war und es vielleicht 2 bis 3 Secunden dauerte. Ein Nachhall mit schwachen Vibrationen erfüllte die nächsten 8—10 Secunden. Indem ich mich rasch fasste und aufstand, Blick und Gedanken besorgt auf die nahe See gerichtet, erhielt ich jetzt den vollen Eindruck von den viel umfassenden Wirkungen des Erdbebens. In dem Augenblicke des anstürmenden Donners und des Stosses erscholl aus Westen das Poltern und Rasseln der Trümmer, die vielfach in dem nahen Itea durcheinander stürzten, vereint mit dem Aufschreien der Bevölkerung am Strande, das Gebell der Hunde, das kurze, scharfe Aufrauschen der See am nahen Ufer, wo sie kaum 2 Meter weit die normale Linie überschritt. Dann einige Secunden Stille, und es kam von Osten der Schall vom Sturze gewaltiger Felsmassen, die sich allseitig von den Höhen des Kirphis loslösten, in Strömen und Schutthalden sich donnernd durch die Thalschluchten oder auf schroffen Wänden fortwälzten und mit ungleichem Tone auf die Ebene oder auf die Fläche der See herabfuhrten. Als nach Maassgabe der Entfernungen das sehr mannigfaltige Getöse zu Ende ging, hörte ich den fernen schwächeren und tiefen Donner jener Felsmassen, die vom Parnass herabkamen, und zuletzt vernahm ich von Westen und Nordwesten aus, vom Korax und von den Höhen von Amphissa, das Getöse der Felsblöcke sehr verschieden von dem inzwischen erneuten Donner der nachfolgenden Erdbeben.“ — „Am 6. August ritten wir früh bei völlig klarer, ruhiger Luft nach Delphi; als es auf beschwerlichem Wege stark bergauf ging, stieg ich ab, um im Falle von Felsstürzen mich freier bewegen zu können. Nach 7 Uhr hielten wir im südlichen Theile des Ortes, der in gänzlicher Vernichtung am Boden lag; nur einzelne Mauerreste standen noch, und es hatte sich selbst der kleine Thurm einer Kirche aufrecht erhalten. Gegen Osten lagen Kloster und Kirche der Panagia in Trümmern unter den Oelbäumen, dazwischen sehr grosse Felsblöcke, die aus der Nähe herabgerollt waren und uralte Bäume zerschmettert und entwurzelt hatten. Schutt, Felsstücke, Oelbäume und Pappeln lagen durcheinander in der steilen Schlucht, die neben dem Kloster im Thale des Pleistos mündet. Der kastalischen Quelle nahe, westlich, waren aus der glatten Wand der seit Alters berühmten Phädraden riesige Felsprismen von 300—400 Fuss Höhe und 60—80 Fuss

Dicke, herausgebrochen und gegen Süden auf das freie Feld niedergeschlagen, welches Delphi von der kastalischen Quelle trennt. Diese selbst war nun von Blockwällen umgeben, deren Gestein von der östlichen Höhe herabkam; theilweise verschüttet, war sie von Süden her erst sichtbar, wenn man den Trümmerwall überstiegen hatte. In der Meinung, dass diese ehrwürdige Stätte bald den Blicken entzogen werde, wagten wir es ungeachtet der Donner und Erdbeben, sie nochmals in der Nähe zu betrachten. Nach Ablesung des Thermometers und der Wassertemperatur ward schleunigst der Rückweg angetreten. Die grösste Furcht hatten wir an den steilen colossalen Felswänden vor dem fallenden Gesteine aus der Höhe.“ — —

M. NEUMAYR, der das verwüstete Gebiet in dem Jahre 1876 nach verschiedenen Richtungen durchzog, berichtet, dass man sich im Gebirge davon überzeugen konnte, dass in früher Vorzeit hier noch heftigere Erdbeben gehaust haben müssen, denn trotz ihrer colossalen Entwicklung bleiben doch die von SCHMIDT geschilderten Felsstürze sehr bescheiden gegen jene zurück, deren Spuren aus alter Zeit der Geolog staunend verfolgt: „In der Nähe des Bergdorfes Sigditzta nördlich von Amphissa, traf ich einen ansehnlichen, schroffen, mehrere hundert Fuss hohen Kalkberg, der nach der Lagerung seiner Schichten zu dem sonstigen Baue der Gegend nicht zu passen schien und mich im Zweifel über seine Bedeutung liess, bis ich mich überzeugte, dass ich nur eine riesige Scholle vor mir habe, die sich dereinst von dem nahen Korax (Giona) losgelöst hatte. Wird doch auch überliefert, dass gallische Kriegerschwärme, die im Jahre 279 v. Chr. das delphische Heiligthum plündern wollten, durch den Herabsturz gewaltiger Felsmassen von den Höhen des Parnasses geschreckt worden seien.“¹

Sehr mannigfach sind die bleibenden Veränderungen, welche Erdbeben in den mehr lockeren, einer Verschiebung oder Senkung leichter zugänglichen Ablagerungen der Tertiärformation oder noch jüngeren Alluvionen hervorbringen. Hier entstehen häufig grössere und kleinere Spalten im Boden, mit welchen oft eine Verschiebung der Ränder zusammenhängt, es bilden sich grössere und kleinere Senkungen, welche zuweilen mit Wasser erfüllt sind, es werden grössere oder kleinere Theile der Erdoberfläche gegeneinander verschoben, so dass Störungen der Flussläufe entstehen können u. s. w.

Eines der ausgezeichnetsten Beispiele in Bezug auf die mannigfachen Bodenbewegungen, welche es hervorbrachte, ist das grosse Erdbeben von Calabrien vom Jahre 1783. Ueberaus zahlreich sind die Spalten, welche bei diesem Erdbeben entstanden, von welchen manche sich allerdings sofort wieder schlossen, während andere durch längere Zeit offen blieben. In Oppido, wo das Beben seine heftigsten Wirkungen äusserte, wurden manche Häuser von Spalten verschlungen, welche sich über ihnen wieder

¹ M. NEUMAYR: Erdgeschichte. I. S. 270.

schlossen. In dem benachbarten Bezirke von Cannamaria wurden vier Pachthöfe, einige Oelmagazine und mehrere grosse Wohnhäuser von einem Schlunde ganz und gar verschlungen, so dass auch keine Spur von ihnen übrig blieb. Dieselbe Erscheinung zeigte sich zu Terranuova, Sta Christina und Sinopoli. Der officielle, von mehreren Mitgliedern der Akademie in Neapel an diese erstattete Bericht¹ enthält die Nachricht, dass die in den thonigen Schichten zu Terranuova entstandenen Spalten sich nach dem Versinken der Häuser über denselben mit solcher Heftigkeit schlossen, dass nach der Katastrophe zur Aufsuchung werthvoller Gegenstände eingeleitete Nachgrabungen ergaben, dass die einzelnen Theile der Häuser sammt ihrem Inhalt vollkommen zusammengequetscht und gleichsam in eine einzige feste Masse verwandelt wurden. Zu Terranuova wurde ein grosser, aus festem Mauerwerk bestehender Thurm, welcher der allgemeinen Zerstörung Widerstand leistete, von einer senkrechten Spalte getheilt und auf der einen Seite so emporgehoben, dass die Fundamente zu Tage kamen. Die Dimensionen der bei dem Erdbeben von Calabrien entstandenen offenen Spalten und Schlünde waren theilweise sehr bedeutende. Bei Oppido öffnete sich ein grosser Abgrund, und obwohl eine grosse Masse Erde nebst vielen Bäumen und einem Theile eines Weingartens in denselben stürzten, blieb nach dem Beben doch noch ein Schlund in Gestalt eines Amphitheaters von 500 Fuss Länge und 200 Fuss Tiefe zurück. Nach GRIMALDI wurden



Fig. 12. Eine beim Erdbeben vom Jahre 1783 entstandene Spalte bei Polistena in Calabrien.

manche bei dem ersten Stosse am 5. Februar gebildete Spalten und Schlünde durch die heftigen Erschütterungen am 28. März sehr erweitert, verlängert und vertieft. In der Gegend von San Fili fand er eine neue Spalte eine halbe englische Meile lang, $2\frac{1}{2}$ Fuss breit und 25 Fuss tief; eine andere von ähnlichen Dimensionen in dem Gebiet von Rosarno. Eine Spalte, fast eine Meile lang, 105 Fuss breit und 30 Fuss tief, öffnete sich in dem Bezirk von Plaisano, wo auch zwei Schlünde ent-

¹ Istoria de' Fenomeni del Tremoto avvenuto nelle Calabrie e nel Valdemone nell' anno 1783, posta in luce dalla reale accademia delle scienze etc. di Napoli. 1784.

standen, einer an einem Platze, der den Namen Cerzulle führt, $\frac{3}{4}$ Meilen lang, 150 Fuss breit und ungefähr 100 Fuss tief und ein anderer bei La Fortuna, etwa eine Viertelmeile lang, 30 Fuss breit und nicht weniger als 225 Fuss tief. Der Kalksteinberg Zefirio an der Südspitze Calabriens wurde durch eine Spalte von $\frac{1}{2}$ Meile Länge und ungleicher Breite in zwei Theile zerrissen. Manche von den Schlünden hatten die Gestalt eines Halbmondes. Ein solcher, offen gebliebener Schlund entstand an der einen Seite des Weges über den Hügel von St. Angelo in der Nähe von Soriano.

Sehr merkwürdig war die Zerreißung des Bodens an einer Stelle in der Gegend von Jerocarne, wo die Spalten nach allen Richtungen ausstrahlten, wie die Sprünge auf einer zerbrochenen Glastafel, wie Fig. 13 zeigt.

Der lockere und von Regengüssen erweichte Grund ermöglichte das Entstehen sehr bedeutender Rutschungen bei dem Beben des Jahres 1783.



Fig. 13. Radialspalten, entstanden bei dem calabrischen Erdbeben 1783 zu Jerocarne.

So wurden von jeder Seite des tiefen Thales bei Terranuova beträchtliche Massen abgelöst und bewegten sich gegeneinander, den Abfluss des Wassers hemmend und grosse Wasseransammlungen hervorrufend. Dabei konnte man auf den abgerutschten Massen Eichen, Olivenbäume, Weinstöcke und Getreide ebenso wenig beschädigt wahrnehmen, wie auf der Ebene, von welcher sich die abgerutschten Massen getrennt hatten, obwohl dieses Abrissgebiet 500 Fuss höher und $\frac{3}{4}$ englische Meilen davon entfernt lag. — In der Nähe von Seminara wurde ein grosser Oliven- und Obstgarten 200 Fuss weit weg in ein 60 Fuss tiefes Thal geführt. Zu gleicher Zeit entstand an einem anderen Theile der Hochebene, von welcher der Garten losgetrennt war, ein tiefer Schlund, der den Fluss aufnahm, so dass sein früheres Bett ganz trocken lag. Ein kleines bewohntes Haus, welches auf der ins Thal gerutschten Masse stand, blieb auf derselben ohne beschädigt zu werden und ohne Nachtheil für die Bewohner stehen. Die Olivenbäume fuhren fort zu wachsen, obgleich sie nun in einem Thale standen und gaben dasselbe Jahr reiche Ernte. — Eine grössere Terrainmasse, auf welcher Theile der aus mehreren hundert Häusern bestehenden Stadt Polistena standen, bewegte sich fast eine halbe Meile weit und

ebenfalls von jeder Seite des tiefen Thales bei Terranuova beträchtliche Massen abgelöst und bewegten sich gegeneinander, den Abfluss des Wassers hemmend und grosse Wasseransammlungen hervorrufend. Dabei konnte man auf den abgerutschten Massen Eichen, Olivenbäume, Weinstöcke und Getreide

mehrere von den Bewohnern kamen trotzdem wohl und unbeschädigt aus den Ruinen hervor.

Durch die von den Thalgehängen abgerutschten Massen wurden, wie wir es oben bei dem Beispiele von Terranuova sahen, Stauungen des abfließenden Wassers herbeigeführt. VIVENZIO bemerkt, dass während der Erdbeben fünfzig Seen auf diese Weise entstanden, deren Localitäten er sämtlich namhaft macht. Die von der Regierung abgesandten Commissarien zählten sogar 215 Seen, unter welchen jedoch viele unbedeutende Sümpfe waren. — In den Alluvialebenen wurde eine ungeheure Anzahl von Sandkegeln aufgeschüttet, was HAMILTON dadurch erklärte, dass der zuerst gehobene Boden bei seinem Zurücksinken das Wasser stossweise aus Spalten in die Höhe geworfen hätte. — In der Pianura di Rosarno



Fig. 14. Kreisrunde Oeffnungen bei Rosarno in Calabrien entstanden beim Erdbeben vom Jahre 1783.

entstanden gegen fünfzig kreisförmige Vertiefungen, meist von der Grösse der Wagenräder, aber oft etwas kleiner oder grösser (Fig. 14). Wenn sie bis auf 1—2 Fuss unter der Terrainoberfläche von Wasser erfüllt waren, so hatten sie das Ansehen von Quellen, gewöhnlich aber waren sie nur mit Sand erfüllt, der oft eine concave, zuweilen auch eine convexe Oberfläche zeigte. Wenn man in letzterem Falle niedergrub, fand man die Vertiefung trichterförmig und der feuchte lose Sand in ihrer Mitte bezeichnete die Röhre, aus welcher das Wasser gekommen war. Der Rand dieser kleinen, einem umgekehrten Kegel gleichenden Vertiefungen war von vielen, sternförmig ausstrahlenden Spalten zerrissen. Aehnliche Bildungen ereignen sich sehr häufig, wenn wassererfüllte Alluvionen von heftigen Erdbeben betroffen werden.

Das Spaltenwerfen des Bodens, welches bei dem Erdbeben von

Calabrien in so grossem Maasstabe eintrat, ist ebenfalls eine ganz allgemeine und häufige Erscheinung bei heftigen Erdbeben. Von den zahlreichen Beispielen, welche u. A. NAUMANN hierfür angiebt,¹ seien nur folgende angeführt: „Als am 16. November 1827 die Gegend von Bogota in Neu-Granada von einem heftigen Erdbeben erschüttert wurde, entstanden am Wege nach Guancas weitklaffende Spalten; andere öffneten sich bei Costa, und der Fluss Tunza stürzte sich sofort in die geöffneten Schlünde. — Während des fürchterlichen Erdbebens, welches im Jahre 1770 die Insel St. Domingo verheerte, wurde das Land von zahllosen Spalten durchsetzt; und als Jamaica im Jahre 1692 so schreckliche Convulsionen erlitt, dass der Erdboden wie die Oberfläche eines sturmbewegten Meeres auf- und niederwogte, da bildeten sich oft mehrere hundert Spalten auf einmal, die sich zum Theil rasch wieder verschlossen und dann von Neuem öffneten; viele Menschen stürzten in sie hinein, manche gänzlich, andere bis zur Hälfte, noch andere ragten nur mit dem Kopfe heraus; bei dem Schliessen der Spalten wurden sie jämmerlich zerdrückt, bei der Wiederöffnung derselben aber zugleich mit grossen Wassermassen herausgeschleudert. — Ueber die Erdsplattungen, welche sich in der Walachei während des Erdbebens im Januar 1838 ereigneten, hat GUSTAV SCHUELER Bericht erstattet.² Er sah dort Spalten, welche bei einer Länge von mehreren tausend Fuss doch nur 8—10 Zoll breit waren; einige derselben hatten sich sogleich wieder geschlossen, während dies bei anderen nur allmählich eintrat. Bei dem Dorfe Babeni unweit Slam-Rinnik waren die Spalten anfangs kaum fingerbreit, erweiterten sich aber von Tag zu Tag bis zu mehreren Klaffern; dabei fanden einseitige Senkungen und Hebungen des Bodens statt, so dass manche Häuser verschoben, auseinandergerissen oder ganz umgestürzt wurden.“

Aehnliche Bewegungen spielten bei den Zerstörungen, welche das californische Erdbeben vom 21. October 1868 in San Francisco anrichtete, eine grosse Rolle: „An beinahe allen Orten, von denen wir Berichte besitzen, wiederholen sich dieselben Erscheinungen, von denen besonders eine Interesse verdient, nämlich die Senkung der Erdoberfläche, die an vielen Orten und überall in beinahe derselben Ausdehnung stattfand. Sehr auffällig war sie in der Stadt San Francisco selbst, wo Strecken von der Länge einer Strasse gleichmässig sanken und dadurch Risse von bedeutender Ausdehnung im Boden hervorbrachten. So sank in San Francisco ein Gebäude (Ecke von Folsom und vierzehnter Strasse) vier Fuss tief in den Grund, während die Frontmauer des Gebäudes Sacramento Strasse Nr. 510 und 512 um ungefähr sechs Zoll sank. Dabei musste sich der Boden des Kellers heben und zwar um 2 Fuss. Es entstand dadurch in der Strasse ein etwa 100 Fuss langer Riss. Das Railroad

¹ C. F. NAUMANN: Lehrbuch der Geognosie, I. S. 236—238.

² G. SCHUELER: Bericht an das Fürstl. Wallachische hohe Ministerium des Innern über die Erdsplattungen und sonstigen Wirkungen des Erdbebens vom 11./23. Januar 1838. Bukarest 1838.

Haus sank auf der nördlichen Seite um 2 Fuss, wodurch das Gebäude gewissermaassen in zwei Theile zerbrochen wurde und die oberen Mauern über ein Fuss auseinanderstehen. In der Gegend von Commercial- und Battery-Street senkte sich der Grund 3 Fuss und hob sich dagegen an anderen Stellen; mehrere der Strasseneisenbahnen mussten ihre Fahrten einstellen, da das Schienengeleise an mehreren Orten theils gehoben, theils gesunken war. — In Hagward, nahe bei Hagward-Hotel, bekam die Erde einen mehrere hundert Fuss langen Riss. Auf den Hügeln, wo früher kein Wasser zu finden war, sind mehrere Quellen entstanden. — In Contreville sank das Hotel um 2 Fuss in den Boden. — Ein allgemeines Sinken



Fig. 15. Spalten und trichterförmige Oeffnungen nach dem Erdbeben von Kachar am 10. Januar 1869 (nach OLDHAM).

des Bodens konnte in San Francisco besonders in denjenigen Theilen der Stadt beobachtet werden, welche auf sogenanntem „gemachten Grund“ (made ground) erbaut waren. Wie überhaupt dies Werk der Zerstörung dort am grossartigsten war, wo die Häuser auf künstlichem Boden, d. i. auf aufgetrocknetem und dann ausgefülltem Sumpflande erbaut waren. Diese Stadttheile lagen nach dem Erdbeben beinahe ganz in Trümmern.“¹

„Am 10. Januar 1869 trat ein heftiger Erdstoss in der Provinz Kachar, östlich vom Brahmaputra ein und veranlasste grosse Veränderungen in den

¹ C. L. GRIESBACH: Die Erdbeben in den Jahren 1867 und 1868. Mittheilungen der k. k. geographischen Gesellschaft in Wien, 1869.

Alluvien. Auf viele Quadratmeilen hin liegen hier 30—40 Fuss von härterem Thon nach OLDHAM'S Bericht auf einer mit Wasser gesättigten Lage von bläulichem Silt. Nun sah man meilenweit die obere Lage des Schwemmlandes auf der wasserreichen Unterlage gegen die Flüsse abgleiten. Der Silt drang durch die klaffenden Sprünge herauf; zuerst kam mit der Heftigkeit eines Kanonenschusses trockener Staub, so dass man wohl meinen konnte, es schiesse Rauch empor, aber sofort folgte der zähe Schlamm, welcher eine Lippe um die Oeffnung bildete und wohl auch abfloss. Als die Erschütterung vorübergegangen war, sah man den Alluvialboden von den grossen Sprüngen durchzogen, welche an vielen Orten durch Senkung einer Seite des durchschnittenen Landes zu wahren Verwerfungsklüften wurden und dann an der Oberfläche nur als niedrige Abstürze erschienen, und zwischen oder auf diesen Sprüngen standen runde oder elliptische kraterähnliche Oeffnungen, oft umgeben von einem Walle von Schlamm oder Sand. Bei vielen der grösseren Oeffnungen war jedoch nach dem Hervorbrechen Sand und Schlamm wieder in die Oeffnung zurückgeströmt und hatte dabei die Kante der Oeffnung mit hinabgerissen, so dass nur eine unregelmässige, trichterförmige Tiefe zurückblieb.“¹

Bei dem Erdbeben von Belluno am 29. Juni 1873 hatte sich bei Puos ein etwa ein Meter breiter, mehrere hundert Meter langer Erdsplatt gebildet, der sich aber bald wieder schloss. Bei la Secca zerriss der etwas sumpfige Boden und aus den Rissen drang schlammiges, schwefelwasserstoffhaltiges Wasser hervor.²

Das Erdbeben von Agram vom 9. November 1880 war in der Saveniederung von dem Entstehen zahlreicher Spalten und kleiner Auswürfe von Sand und Schlamm begleitet. Diese Erscheinungen, welche in den Savealluvionen bei Reznik, etwa eine Meile südöstlich von Agram sich zeigten, sind auf der einen Seite von Zeitungscorrespondenten, welche von einer grossen Spalte schrieben, die sich eine halbe Meile lang im Halbkreis hinziehe, sowie von „Schlammvulkanen,“ die bei Reznik entstanden seien, stark übertrieben worden. WÄHNER berichtet darüber folgendermaassen: „Das Save-Alluvium ist in der Nähe von Reznik an sehr vielen Stellen von Sprüngen durchsetzt, längs welchen feiner Sand, stellenweise auch feiner Schotter (Geschiebe bis zu 6 Centimeter Durchmesser) emporgedrungen sind. Dadurch wird man auf die Sprünge erst aufmerksam, welche schon einige Tage nach dem grossen Erdbeben meist sehr schmal, und, wo kein Sand emporgedrungen war, häufig durch die Vegetation verdeckt waren. In dem feinen Sand, welcher in Streifen von einigen Centimetern bis zu zwei Fuss die Sprünge bezeichnet und sie begleitet, finden sich nun die sogenannten Krater. Was man sieht, sind trichter-

¹ OLDHAM: The Cachar Earthquake etc. Mem. geol. Surv. India 1812 — citirt in SUSS: Antlitz der Erde I. S. 67, 68.

² G. v. RATH: Das Erdbeben von Belluno. N. Jahrb. f. Mineralogie 1873. S. 716.

förmige Vertiefungen, nicht aber Erhöhungen, Hügel, welche durch die Aufschüttung emporgedrungener Massen entstanden wären. Es sind wohl viele Anzeichen vorhanden, dass in diesen Trichtern Sand hinabgerieselte ist, aber keines, dass durch dieselben Sand oder Schlamm emporgedrungen wäre.“ — „Die Art der Entstehung dieser Vorkommnisse ist nach meiner Ueberzeugung folgende: Durch die Erschütterung des Alluviums (welches hier an der Oberfläche durchwegs aus einem äusserst feinkörnigen, etwas lehmigen, ziemlich dunkelbraunen Silt besteht, der von derselben Consistenz, wie unser Löss, am Ufer senkrecht abbricht) entstanden die Sprünge. Gleichzeitig wurde der Spiegel des weit ausgedehnten Grundwassers in gewaltige Schwankungen versetzt. Wenn auch der Anprall durch die Vertheilung der Wassermassen in eine Unzahl feiner Canäle (zwischen den einzelnen Körnern der Sandlagen und den Geschieben der Schotterbänke) bedeutend gedämpft wurde, so steht doch ausser Zweifel, dass dort, wo die klaffenden Sprünge in der darüber lagernden Siltdecke den Weg freiliessen, das Wasser hoch emporsteigen, ja emporspringen musste und dabei auch eine Partie Sand oder ein wenig Schotter mit emporreissen konnte. Der Sand fiel nun auf und längs der Spalte zu Boden, oder er drang nur bis über die Spalte und breitete sich zu beiden Seiten derselben aus. Nachdem die Schwankungen vorüber waren und in dem unterirdischen Wasserbehälter wieder Ruhe eingetreten war, suchte der ausgetretene Sandbrei einen Abzug. An den Punkten, an welchen die Spalte etwas weiter war, begann er unten hinabzusinken. In Folge davon mussten sich an der Oberfläche an denselben Stellen Einsenkungen bilden, welche immer tiefer wurden, die Form von Trichtern annahmen, durch deren Oeffnungen die Masse solange hinabrann, bis der zurückgebliebene Rest so viel Wasser verloren hatte und dadurch so weit trocken geworden war, dass er auf der verhältnissmässig engen Spalte sitzen bleiben konnte. War die Spalte weiter, so dauerte das Hinabrieseln fort, es vereinigten sich zwei benachbarte Trichter zu einem elliptischen, oder eine grössere Zahl zu einer längeren Furche; war sie noch weiter, dann sank die ganze emporgestiegene Masse wieder hinab und es blieb nichts zurück, als je eine Schutthalde (wenn man so sagen darf) zu beiden Seiten der Spalte, und an deren Fuss ein engerer Spalt, durch welchen die letzten Sandkörner hinabgestürzt waren. Andererseits bildeten sich gar keine Trichter, wenn die Spalte zu eng war. Dann blieb die ganze Masse oben. Oft sind ganz kleine Einsenkungen von 6—10 Centimeter Durchmesser und etwa 2 Centimeter Tiefe vorhanden. Dies sind die Anfänge der Trichterbildung.“¹

Wenn wir auch dieser lichtvollen Erklärung der Haupterscheinungen in den erschütterten Savealluvionen bei Reznik vollkommen zustimmen dürfen, so mag doch bemerkt sein, dass (allerdings nur im kleinsten

¹ F. WÄHNER: Das Erdbeben von Agram am 9. Nov. 1880, 88. Bd. d. Sitzber. d. k. Akad. d. Wiss. Wien 1883, S. 119—122 des Separatabdruckes.

Maassstabe) auch wirkliche Aufschüttungskegel von dem emporgedrückten Materiale gebildet wurden, wie die Schilderung derselben von GUSTAV PEXIDR¹ lehrt, welche Kegel freilich bald in der von WÄHNER angegebenen Weise ihren Untergang gefunden haben mögen.

Aehnliche Erscheinungen zeigten sich auch an der achaischen Küste bei dem grossen Erdbeben, welches am 26. December 1861 die Ufer des korinthischen Meerbusens erschütterte. JULIUS SCHMIDT berichtet darüber folgendermaassen:

„Die merkwürdigste aller Erscheinungen fand ich diesmal in der grossartigen Entwicklung der Spalten in Achaja und besonders in der Menge von sandigen, kraterartigen Kegeln, die nur im Gebiete der Spalten auftreten. Diese Bildungen sind wohl seit Alters bekannt, aber selten richtig gedeutet worden. Man findet solche beschrieben in dem Hauptwerke über das calabrische Erdbeben von 1783, und sie werden häufig noch später erwähnt bis auf unsere Zeit. Eine genauere Erörterung dieser Vorgänge scheint mir wünschenswerth, um das Thatsächliche festzustellen und das Gebiet der Hypothese zu beschränken. Ich war vom Glücke begünstigt, dass ich, wenn auch nicht auf dem Hauptschauplatze, sondern zu Kalamaki am Saronischen Meerbusen, wenige Minuten nach dem Erdbeben und auf dem noch sinkenden Meeresstrande die Entstehung und Ausbildung der Spalten und Sandkrater in vielen zwar kleinen, aber höchst deutlichen Beispielen beobachten konnte. Es mochten 10—15 Minuten vergangen sein, als ich den südlichen Theil von Kalamaki erreichte; der genannte Kai zieht von Südwest nach Nordost und endet gegen Norden an dem Molo. Zwischen dem Kai und der östlichen Häuserreihe zieht die breite Strasse, die südlich im Sande der Küste endet. In dieser Strasse, namentlich in ihrem südlichen Theile, wo schon am 21. Februar 1858 ähnliche Erscheinungen vorgekommen waren, bildeten sich Spalten, und hier war es, wo auch die stärkste Senkung des Hafendamms stattfand, dessen südliches Ende schon untergetaucht war, als ich hinkam. Mein Dragoman befand sich an jener Stelle mit vielen Leuten gerade im Beginne des Erdbebens, und alle sahen und fühlten die langsame und sanfte Senkung des Bodens. Später, als ich dieses Gebiet zeichnete, ehe es vom Verkehr undeutlich gemacht wurde, liess sich das fernere Sinken nur noch durch Messung nachweisen, und gegen 10 Uhr Morgens hörte die Bewegung auf. Die Spalten waren zahlreich, 30—40 Schritte lang, aber nur selten ein Spanne breit; sie waren nicht tief, sondern ausgefüllt mit flüssigem, blaugrauem Schlamme und Sande, so dass nach theilweisem Austritte dieser Materien sich kleine Pfützen gebildet hatten. Die mittlere Richtung der Spalten war Südost-Nordwest, ungefähr der dortigen Küste parallel; doch fehlte es nicht an stärkeren Krümmungen, und wo diese

¹ G. PEXIDR: Beitrag zur Kenntniss der durch das Erdbeben vom 9. Nov. 1880 hervorger. Ersch. d. Sandschlamm-Auswürfe auf den Erdspalten bei Reznik und Drenje. Agram 1880.

vorkamen, war die hohle Seite der Curven gegen Westen gerichtet. In den feineren Spalten nun war es, wo sehr zarter weisser Sand bald in einzelnen Flecken, bald in grösserer Erstreckung hervortrat. In vielen Fällen hatte es bei diesem Vorgange sein Bewenden; aber überall, wo Luftblasen aufstiegen, dem Geruche nach Schwefelwasserstoff enthaltend, war die Kraft der Blasen und des nachdringenden Seewassers und Schlammes gross genug, um kleine Sandkegel zu bilden, 1—5 Zoll breit, sehr flach geformt, mit kaum 20° geneigten Seitenflächen. An ihrem Gipfel platzten die Luftblasen, und so entstanden zierliche, kleine Krater, deren mitunter 2—4 oder auch noch mehr durch einen Canal verbunden waren. Oft



Fig. 16. Sandkrater und Spalten, entstanden nach dem achäischen Erdbeben vom 26. December 1861. Im Hintergrunde ragen die Gipfel versunkener Bäume aus dem Wasser hervor (nach J. SCHMIDT).

floss Wasser heraus, oft auch weisser, salziger Schlamm. Das Thermometer, in die kleinen Krater gestellt oder in den Grund der Spalten sowie in das Meer, gab überall nur die Temperatur des Meeres. Bis gegen 11 Uhr, als ich abreiste, hörte die Bildung der Sandkegel bereits auf. Nach meiner Rückkehr im Januar sah man nur noch die Spuren der grösseren Spalten.“

„Unvergleichlich viel bedeutender waren die ähnlichen Erscheinungen in Achaja, zwischen der Mündung des Meganitas, westlich von Aegion, und der Mündung des Erasinos, östlich von Aegion, in einer Erstreckung von nicht ganz 3 geogr. Meilen; mehr als jede Beschreibung wird die Abbildung (Figur 16) das Verständniss dieser merkwürdigen Bodenveränderung fördern. Die ganze Ebene von Achaja ist flaches, angeschwemmtes Land, eine Deltabildung mehrerer Flüsse. Ausgenommen sind nur der

felsige Vorsprung von Diakoptas und das Hugelgebirge, auf welchem Aegion liegt. Der Boden besteht aus Humus, Lehm, Sand und Gerölle, die von den Bergstromen herabgeführt werden. Der Sand ist weisser Sand und nur in der Näher der Flussmündungen mit groben Geröllen gemischt. Das Ansteigen der Ebene gegen die Berge südwärts ist unbedeutend und mag 60—90 Fuss betragen. Indem jene Ebene sich im Laufe der Jahrtausende bildete, ein Produkt der aus dem Peloponnes herabkommenden Flüsse, hatte sie von Anfang an keine feste Verbindung mit den steil geneigten Abhängen der hohen Berge, welche die südliche Grenze der Ebene bilden. Sie war die Oberfläche einer mächtigen Schutthalde, deren Fuss im Grunde des Meeres stand, und die sich an die Flanken der Berge anlehnte. Die grosse Erschütterung des nahen Erdbebenherdes, die sehr ungleichförmige Fortpflanzung der Stosswellen in heterogenen Ablagerungen bewirkten mit Leichtigkeit die Lostrennung der Alluvionenmasse von den geneigten Abhängen des Grundgebirges, so dass jene in eine abwärts gleitende Bewegung gegen Norden gerieth. So entstand zunächst eine 13 000 Meter lange bis 2 Meter und mehr breite Spalte, welche sich von Punta bis Gardena hart am Fusse der Berge hinzog. In dieser Bewegung der ganzen Ebene, indem sie sich bei der erwähnten Stelle 2 Meter und mehr senkte, neigte sie sich schwach gegen Norden und es musste nothwendig ihr Küstensaum bleibend unter dem Meeresniveau verschwinden. Die Länge des untergetauchten Saumes wird auch annähernd 13 000 Meter betragen, die Breite desselben wechselt von 100 bis 200 Meter und ist namentlich gross bei Diakoptitika und Taratza, dort, wo ehemals etwas nördlich Helike lag, welche Stadt im Erdbeben 373 v. Chr. vom Meere verschlungen wurde. Gegen Westen nimmt die Breite des versunkenen Saumes ab, und ich schätze sie bei Temenion nur auf 10—20 Meter. Ich schliesse, dass ungefähr 1 300 000 Quadratmeter von dem Küstenstriche der Ebene verloren gingen. Der Raum der vorwiegend von zahllosen Spalten zerrissen ward, umfasst etwa 6 $\frac{1}{2}$ Quadratkilometer, die Fläche der ganzen gesunkenen Ebene etwa 13 Quadratkilometer. Von 13 Dörfern, die auf diesem Gebiete lagen, wurden zwei vollständig zerstört, die meisten anderen schwer beschädigt, nur eins blieb fast unberührt. So ging einst Helike durch ein völlig ähnliches nur viel gewaltigeres Ereigniss zu Grunde, als durch ein Erdbeben die ganze Ebene in abwärts gleitende Bewegung gerieth und die alte, schon von Homer erwähnte Seestadt mit allen ihren Bewohnern plötzlich ins Meer versenkte.“

„Eine so grosse Masse, die sich auf stark geneigter, unregelmässiger Fläche senkte, musste vielfach zerreißen. Durch die ungleiche Bewegung der Theile mussten zahllose Spalten entstehen; diese waren im Ganzen der Küste parallel, sehr verzweigt und durch Querrisse mit benachbarten Spalten verbunden, dabei theilweise so breit, dass ich sie weder zu Fusse noch zu Pferde überschreiten konnte. Nie waren sie mehr als 4 oder 5 Fuss tief und stets mit Erde, Sand und Schlamm ausgefüllt. Es zeigte sich aber auch die vom calabrischen Erdbeben her bekannte sternförmige

Zerklüftung des Bodens in grossen und ausgezeichneten Beispielen. Von einem 2—3 Meter breiten Loche erstreckten sich strahlenförmig gerade oder gewundene Spalten, die unter sich wieder durch feine Querrisse verbunden waren. Solche Stellen waren oft die Centren der Sandkegel und Sandkrater.“

„Verbunden mit dem eben beschriebenen Hergange des ungleichförmigen Sinkens war ferner nothwendig ein ungleicher, vielfach und rasch wechselnder Druck, so dass also leichter bewegliche Massen, wie Wasser, Schlamm und Sand, stark gequetscht genöthigt waren, den Weg des geringsten Widerstandes zu suchen, und so durch schon vorhandene oder momentan sich bildende Spalten allein durch Druck oder Pressung an die Oberfläche gelangten. War dieser Druck stark und schnell, so konnten sich Sand und Schlamm zu Kegeln aufthürmen, und traten noch mächtige Wasserstrahlen und gewaltsam getriebene Gasmassen dazu, so kam es zur Bildung von Kratern auf diesen Kegeln, an deren Gipfel die flüssige Masse ausgeworfen wurde. Dass dieser Hergang so und nicht anders erfolgte, sah ich, wie schon erwähnt, an kleinen Spalten und Sandkegeln zu Kalamaki; was sich in Achaja im Grossen ereignete, war genau dasselbe. Der Umstand, dass ich bei keinem Kegel Neigungswinkel der Aussenflächen von 30° fand, beweist, dass nicht nur sehr feuchte Massen ausgetrieben wurden, sondern dass die Krater auch Wasser in Menge ergossen, wodurch die Steilheit der Kegel vermindert ward. In der östlichen Ebene zählte man die Kegel nach Hunderten; den Durchmesser des Fusses bei dem grössten unter ihnen fand ich zu 20 Meter, dessen schön erhaltener Krater aber war kaum 1 Meter breit; er war wenig tief, sanft ausgehöhlt mit abgerundeten Rändern. Auf seinem Grunde zeigten sich zwei Löcher von etlichen Zoll Durchmesser, und aus diesen waren Rollsteine, schwarze Holzstücke, Theile von Baumzweigen mit dem Wasser aus dem Sande ausgeworfen worden. Weiter gegen Westen nahm die Grösse der Sandkegel ab, und die Krater wurden seltener, wobei jedoch zu beachten, dass diese Bemerkungen fast einen Monat nach dem Erdbeben datiren. Bei Valomytika sah ich am Orte des versunkenen Strandes noch Schilfhalme, Gartengesträuch, Mandel- und Oelbäume aus dem Meere aufragen.“¹

Derartige Senkungen von aus lockerem Materiale bestehenden Uferstreifen sind bei heftigen Erdbeben eine ziemlich häufige Erscheinung. Manche Stadt, wie die von J. SCHMIDT erwähnte alte Seestadt Helike, ging auf solche Art zu Grunde oder wurde doch arg mitgenommen. So geschah es auch bei dem Erdbeben von Lissabon vom 1. November 1755, dass ein an der Küste neuerbauter Marmorkai bei den Stössen mit einer grossen Menge Menschen, die auf demselben Rettung gesucht hatten, in die Tiefe sank. Auch alle an dem Kai vor Anker liegenden Fahr-

¹ J. SCHMIDT: Studien über Vulkane und Erdbeben, Leipzig 1881, II. (Studien über Erdbeben, Zweite Ausgabe). S. 76—80.

zeuge wurden mitgerissen und nie mehr kam etwas von denselben zum Vorschein. Die Tiefe des Meeres an der Stelle, wo der Kai eingesunken war, fand sich nach der Katastrophe zu 100 Faden (600 Fuss).

Eine Bodensenkung in grossem Maassstabe war es auch, welche bei dem Erdbeben von 1819 im Ran of Kachh den Ullah-Bund oder Gottes-Damm entstehen liess. Bei der Bedeutung, welche dieses Ereigniss, das seinerzeit von LYELL als ausgezeichnetes Beispiel einer Erhebung hervorgehoben,¹ später von SUESS auf eine Faltung in den oberflächlichen Schichten zurückgeführt wurde,² in theoretischer Hinsicht hat, sei es gestattet, die neuerliche eingehende Darstellung, welche SUESS auf Grund der von ALEX. BURNES herrührenden Schilderung der thatsächlichen Vorgänge³ gegeben hat,⁴ zu wiederholen.

„Vor der Schlacht von Jarra, im Jahre 1762,“ sagt BURNES, „in welcher die Einwohner von Kachh sich muthig gegen eine Armee aus Sind unter Ghulam Schah Kulora vertheidigten, mündete der östliche Arm des Indus, gewöhnlich der Phurraun genannt, in das Meer, indem er an den westlichen Küsten von Kachh vorbeifloss, und das Land an seinen Ufern genoss die Vortheile, welche dieser Fluss durch seinen ganzen Lauf spendet. Seine jährlichen Ueberfluthungen bewässerten den Boden und lieferten reiche Ernten von Reis; diese Uferlandschaften waren damals unter dem Namen „Sayra“ bekannt.

Diese Segnungen, welche die Natur der sonst unfruchtbaren Gegend verliehen hatte, erreichten ihr Ende mit der Schlacht von Jarra, denn der Häuptling aus Sind, erzürnt über den Misserfolg seines Feldzuges, kehrte voll Rachegefühl in sein Land zurück und versetzte den tiefsten Nachtheil dem Lande, welches zu unterjochen ihm nicht gelungen war. Bei dem Dorfe Mora warf er einen Damm von Erde, oder, wie es genannt wird, einen „Bund“ auf, quer über jenen Arm des Indus, welcher Kachh befruchtete; indem er so den Strom ablenkte, welcher den Einwohnern so sehr zu statten gekommen war, und indem er ihn in andere Gerinne führte, in öde Theile der eigenen Besitzungen, zerstörte er zugleich eine weite und reiche Strecke bewässerten Landes und verwandelte eine productive Reisegend, welche zu Kachh gehört hatte, in eine sandige Wüste.

Der aufgeworfene Damm schloss nicht gänzlich das Wasser des Indus von Kachh ab, hinderte jedoch so sehr die Bewegung des Hauptstromes, dass aller Ackerbau, welcher von der Bewässerung abhing, ein Ende fand. Im Laufe der Zeit verschwand auch dieser geringe Rest von Wohlstand;

¹ CHARLES LYELL: Principles of Geology, 11. Ausgabe. S. 98—104.

² E. SUESS: Die Entstehung der Alpen S. 152.

³ AL. BURNES: A memoir on the eastern Branch of the Indus, and the Run of Cutch, containing an Account of the Alterations produced on them by an Earthquake in 1819, also a Descript. of the Run; in: Travels into Bokhara, 1834, III. S. 310.

⁴ E. SUESS: Das Antlitz der Erde, I. S. 58—62.

die Talpur's, welche den Kulora's in der Herrschaft über Sind folgten, warfen neue Dämme auf, und um das Jahr 1802 wurden durch die Errichtung eines solchen zu Ali Bunder alle Wässer des Indus, selbst zur Zeit der Hochwässer, von dem Canale abgeschlossen, welcher sie einst an Kachh vorüber zum Meere geführt hatte. Nun hörte jener Streifen Landes, welcher vormals den fruchtbaren District von Sayra gebildet hatte, auf, auch nur einen Halm von Pflanzenwuchs zu liefern, und wurde ein Theil des Ran, an den er früher gegrenzt hatte. Der Canal des Flusses bei der Stadt Lukput wurde seichter, und oberhalb Sindree füllte er sich mit Schlamm und vertrocknete. Tiefer unten verwandelte er sich in einen Arm des Meeres.

Unter diesen Verhältnissen, erzählt BURNES weiter, erfolgte im Juni 1819 ein heftiger Erdstoss, durch welchen Hunderte von Einwohnern getödtet wurden und jeder befestigte Punkt im Lande in seinen Grundfesten erschüttert wurde. Es bildeten sich im Ran zahlreiche Spalten, aus welchen durch drei Tage ungeheuerere Massen von schwarzem, schlammigem Wasser hervortraten, und aus den Brunnen des an den Ran grenzenden Landstriches Bunni sprudelte das Wasser hervor, bis ringsum das Land bis zu 6, ja selbst 10 Fuss hoch überfluthet war.

Gegen Sonnenuntergang wurde der Stoss zu Sindree, der Zollstation von Kachh, gefühlt, welche an der Hauptstrasse nach Sind und an den Ufern dessen lag, was vor Zeiten der östliche Arm des Indus gewesen war. Dieses kleine, aus Ziegeln erbaute Fort von 150 Fuss im Gevierte wurde durch einen vom Ocean herfluthenden Wasserstrom überwältigt, welcher sich nach allen Richtungen ausbreitete und dieselbe Strecke, welche bisher hart und trocken gewesen war, im Laufe weniger Stunden in einen Binnensee verwandelte, der sich von Sindree nach jeder Richtung 17 Miles weit ausdehnte. — Bald entdeckte man jedoch, dass dies nicht die einzige Aenderung in dieser denkwürdigen Convulsion der Natur sei, da die Einwohner von Sindree in einer Entfernung von beiläufig 5 Miles gegen Nord einen Damm (a mound) von Erde und Sand bemerkten, an einer Stelle, wo zuvor der Boden eben und niedrig gewesen war. Er erstreckte sich auf eine beträchtliche Strecke gegen Ost und gegen West und durchquerte unmittelbar den Canal des Indus, gleichsam für immer den Phurraunfluss abtrennend vom Meere. Die Eingebornen nannten diesen Damm „Ullah-bund“ oder den Damm Gottes, mit Bezug darauf, dass er nicht wie die anderen Dämme des Indus von Menschenhand sondern von der Natur aufgeworfen war. —

Diese wunderbaren Ereignisse gingen vorläufig wenig beachtet vorüber, denn der tiefe Nachtheil, welcher Kachh im Jahre 1762 zugefügt worden war, hatte diesen Theil des Landes schon so gänzlich zu Grunde gerichtet, dass es gleichgiltig war, ob derselbe eine Wüste bleibe oder sich in einen See verwandle. Ein schwacher und erfolgloser Versuch wurde von Kachh aus gemacht, ein Zollamt auf dem neu gebildeten „Ullah-bund“ zu errichten, aber die Emire von Sind erhoben Einsprache und da

Sindree nicht länger haltbar war, wurden die Beamten auf das Festland von Kachh zurückgezogen.

So verblieben die Dinge bis zum Monat November 1826, als Nachricht einlangte, dass der Indus seine Ufer im oberen Sind durchbrochen habe, und dass eine ausserordentlich grosse Wassermenge sich über die Wüste, welche dieses Land ostwärts begrenzt, ausgebreitet, alle Dämme gesprengt und sich den Weg bis zum Ran of Kachh erzwungen habe. Im März 1827, also acht Jahre nach dem Erdbeben, reiste nun BURNES von Bhooj, der Hauptstadt von Kachh, über Lukput, zu Wasser aufwärts zu jener weiten Wasserfläche, welche die Ruinen von Sindree umgab.

Der wichtigste Theil des weiteren Berichtes von BURNES ist die Beschreibung des Ullah-bund. Dem Auge erschien derselbe an einer Stelle nicht höher als an einer anderen und er liess sich nach Ost und nach West so weit verfolgen, als das Auge reichte; die Eingebornen gaben an, dass seine Länge 50 Miles betrage. „Man darf sich denselben jedoch,“ so sagt ausdrücklich BURNES, „nicht als einen schmalen Streifen, wie einen künstlichen Damm vorstellen, da er sich landeinwärts bis Raomakabazar ausdehnt, wohl in einer Breite von 16 Miles, und er schien eine grosse Erhebung der Natur zu sein. Die Oberfläche war mit salzreichem Boden bedeckt, und er besteht aus Thon, Muscheln und Sand.“ —

So weit BURNES. Der Ullah-bund ist seither öfters besucht worden; seine Höhe wurde auf 10, 15, 18 und sogar auf $20\frac{1}{2}$ Fuss bemessen, aber WYNNE bemerkt, dass sich diese Angaben auf die Höhe über dem wechselnden Wasserstande an seinem Fusse beziehen. Die Beobachter stimmen in dem entscheidenden Punkte überein, dass der Ullah-bund überhaupt nur von Süden her den Anblick eines Dammes biete, gegen Nord aber gar kein, oder so gut wie kein Gefälle habe, und dass sich eine Nordseite desselben überhaupt in keiner Weise kenntlich mache.

Der Ullah-bund ist demnach gar kein Damm, sondern nur eine plötzliche Abstufung des Bodens.

Das oberhalb dieser Abstufung gelegene, angeblich gehobene Land hat eben keine Veränderung erfahren. Mit vollem Rechte hebt WYNNE hervor, dass es bei einer irgend bemerkenswerthen Erhebung dieses Landstriches den Hochfluthen des Indus im Jahre 1826 unmöglich gewesen wäre, das seit dem Jahre 1762 abgedämmte Bett des Phurraunarmes wieder zu verfolgen und quer durch den Ullah-bund die Senkung von Sindree und die Mündung unterhalb Lukput zu erreichen.¹

Das Land südlich vom Ullah-bund mit dem Fort von Sindree ist demnach zugleich mit einem grossen Austritt von Grundwasser während des Erdbebens von 1819 eingesunken; der Ullah-bund ist eine scharfe

¹ A. B. WYNNE: Memoir on the Geolog. of Kutch; Mem. geol. Survey of India 1872, IX. S. 43 — citirt in E. SUSS: Anflitz der Erde, I. S. 61 und 96.

Abstufung des Schwemmlandes, welche die Grenze der Einsenkung bezeichnet; oberhalb des Ullah-bund ist keine wesentliche Veränderung eingetreten, wie aus dem ungeänderten Gefälle der Flüsse erhellt.

Diese einfache Auffassung der Sachlage stimmt mit der schmucklosen Darstellung überein, welche CARLESS im Jahre 1837 in einer die Vermessungsarbeiten im Indus-Delta begleitenden Denkschrift gegeben hat. Diese spricht nur davon, dass das niedere Alluvialland „während des Erdbebens von 1819 an mehreren Stellen einige Fuss tief gesunken sein soll,“ wobei ein kleines Fort in dem oberen Theile, nahe dem Flusse, niedergeworfen wurde. Jetzt sei die Gegend mit Wasser bedeckt.¹ —

„Es handelt sich“ (schliesst E. SUESS) „hier weder um Erhebung von Land, noch, wie ich selbst einmal, irreführt durch andere Darstellungen, vermuthet habe, um Faltenbildung an der Oberfläche, sondern nur um das Hervordringen von Grundwasser und das Nachsinken eines scharf abgegrenzten Theiles des schlammigen Bodens.“

Wenden wir uns nun zu den Wirkungen, welche Erdbeben in der Atmosphäre hervorrufen können.

Es ist klar, dass eine heftige Bewegung eines grösseren Stückes der Erdrinde sich auch der Atmosphäre mittheilen muss. Diese, der Luft mitgetheilte Bewegung wird sich als ein plötzlicher Windstoss, als ein Rauschen oder Sausen u. dergl. bemerkbar machen, und solche Erscheinungen sind thatsächlich bei vielen Erdbeben wahrgenommen worden. Andererseits dürften wohl die localen meteorologischen Verhältnisse, welche man so oft in Beziehung zu den Erdbeben bringen will, mit diesen nicht im Zusammenhang stehen. Es verhält sich diesbezüglich anders mit den ausgedehnten Erniedrigungen des Luftdruckes, welche, wie wir an anderer Stelle sehen werden, allerdings befördernd auf Erderschütterungen einwirken, ja an sich Ursache feinerer, nur durch empfindliche Instrumente nachweisbarer Erzitterungen des Bodens sein können; aber jene meteorologischen Phänomene, welche man früher mit den Erdbeben in Beziehung brachte, wie auffallende Nebel, plötzliche heftige Winde, Gewitter u. s. w. haben wohl mit den seismischen Erscheinungen gar nichts zu thun, wie insbesondere der Umstand erweist, dass diese angeblichen Begleiterscheinungen bald vorkommen bald fehlen. Wir müssen C. F. NAUMANN im Allgemeinen zustimmen, wenn er sagt: „Dass öfters heftige Windstöße und starke Gewitter kurz vor, unmittelbar während, oder bald nach einem Erdbeben eingetreten sind, dürfte wohl nur als ein zufälliges Zusammentreffen dieser localen meteorologischen Erscheinungen mit dem allgemeineren abyssodynamischen Ereignisse zu betrachten sein. Denn während bei manchen Erdbeben, wie z. B. bei jenem in England von 1795, bei dem in Neapel von 1805, und bei dem auf der Insel Zante am 29. December

¹ CARLESS: Memoir to accompany the Survey of the Delta of the Indus in 1837; Journ. Geogr. Soc. 1838, VIII. S. 328—366, insbes. S. 364; — citirt in E. SUESS: Antlitz der Erde, I. S. 62 und 96.

1820 dergleichen Erscheinungen wahrgenommen worden sind, so haben sich viele andere Erdbeben bei völlig stillem Wetter und heiterem Himmel ereignet. Während des Erdbebens von Calabrien im Jahre 1783 war das Wetter daselbst ganz ruhig und heiter, wogegen sich, als zu derselben Zeit Messina zerstört wurde, in der dortigen Meerenge ein starkes Gewitter entlud.¹ Indessen wird auch von der Stadt Oppido, dem Mittelpunkte der Zerstörung bei dem Erdbeben in Calabrien berichtet, dass die Sonne am 5. Februar 1783 mit trübem Lichte aufging, der Himmel sich nach und nach bewölkte, sich aber wieder aufheiterte. Um Mittag zog sich ein trüber Nebelschleier allmählich durch die Atmosphäre, Windstille, wie sie oft Gewittern voranzugehen pflegt, machte die Wolken in ihrem Zuge stillestehen, und kein Luftzug war zu spüren; das Geflügel und die vierfüßigen Thiere hatten keine Ruhe, sie irrten unsicher hin und her und schienen innerlich bewegt und bestürzt. Nun folgte ein dumpfes, undeutliches Murmeln in der Luft und plötzlich erhob sich ein Wind mit Pfeifen und sonderbarem dumpfem Geräusche; die Erde fing an, mit leichten, wellenförmigen Bewegungen zu beben. Hierauf folgte sogleich kurz nach Mittag der erste heftige Stoss, der augenblicklich die fürchterlichste Zerstörung anrichtete. — — Im Gegensatze zu dem Auftreten eines eigenthümlich nebeligen Himmels, überhaupt unheilverkündender Witterungsverhältnisse, die hier bei dem calabrischen Erdbeben angegeben sind und die man vielfach als Vorboten von Katastrophen betrachtet hat, brach die Vernichtung über die Insel Chios an der Küste Kleinasiens am 3. April 1880 um 1 Uhr 42 Minuten Mittags bei herrlichstem, klarem Wetter herein.²

Es wäre leicht, zahlreiche Beispiele dafür anzuführen, dass Erdbebenkatastrophen bei heiterem oder bewölktem Himmel, bei bewegter oder ruhiger Luft eintraten. Es ist deshalb auch vergeblich, in meteorologischen Verhältnissen Anzeichen einer Erdbebenkatastrophe erkennen zu wollen, wie denn schon KRIES mit Recht betont hat, dass es überhaupt kein Merkmal giebt, welches als ein sicheres Vorzeichen eines heranahenden Erdbebens gelten könnte.³ HUMBOLDT bemerkt darüber: „In Ländern, wo die Erdstöße vergleichungsweise seltener sind, hat sich nach einer unvollständigen Induction der sehr allgemeine Glaube gebildet, dass Windstille, drückende Hitze, ein dunstiger Horizont, immer Vorboten der Erdbeben seien. Das Irrthümliche dieses Volksglaubens ist aber nicht bloß durch meine eigene Erfahrung widerlegt, es ist es auch durch das Resultat der Beobachtungen aller derer, welche viele Jahre in Gegenden gelebt haben, wo, wie in Cumana, Quito, Peru und Chile, der Boden häufig und gewaltsam erbebt.“⁴

Anders, als mit diesen meteorologischen Erscheinungen verhält es

¹ C. F. NAUMANN: Lehrbuch der Geognosie I. S. 207.

² M. NEUMAYR: Erdgeschichte, I. S. 284.

³ KRIES: Von den Ursachen der Erdbeben, S. 24 u. 25.

⁴ A. V. HUMBOLDT: Kosmos, I. S. 213.

sich mit den Veränderungen des Luftdruckes, welche allerdings, zwar nicht wie früher wohl angenommen wurde, als Folgewirkung sondern als befördernder Umstand mit Erdbeben zuweilen in Zusammenhang stehen. Ein Zusammenhang zwischen Erdbeben und Luftdruck wurde früher oft behauptet und ebenso oft bezweifelt, weil man zumeist nur die locale Veränderung des Luftdruckes in Betracht zog. Auch waren die älteren Beobachtungsreihen zu kurz, um zu sicheren Beweisen zu führen. So hat EGEN die vor und während des von Soest bis Dünkirchen reichenden Erdbebens in den Niederlanden vom 23. Februar 1828 in Paris und Soest beobachteten Barometerstände genau verglichen und gefunden, dass das Barometer an beiden Orten schon 6 Tage vor dem Erdbeben zu sinken begann, auch noch vorher seinen tiefsten Stand erreichte, aber während des Erdbebens schon wieder im Steigen begriffen war.¹ Vom 21. auf den 22. März desselben Jahres wiederholte sich das Erdbeben in den Niederlanden, und merkwürdiger Weise erreichte kurz vorher das Barometer in Soest abermals seinen tiefsten Stand.

MERIAN stellte einen Vergleich der Barometerstände an, welche bei 22, seit dem Jahre 1755 in Basel verspürten Erdbeben stattgefunden haben, und er fand, dass bei neun von diesen Erdbeben, welche sich über grössere Landstriche verbreiteten, kein besonders merkwürdiger Barometerstand nachzuweisen ist, während von den 13 übrigen, mehr localen Erdbeben 8 mit einem auffallend niedrigen Barometerstande zusammenfielen. Eine ähnliche Vergleichung führte er für die seit 1826 bis 1838 in der ganzen Schweiz beobachteten 36 Erdbeben durch, und gelangte zu dem Ergebniss, dass 6 allgemeinere Erdbeben von keinem ungewöhnlichen Barometerstande begleitet waren, wogegen von den 30 mehr localen Erdbeben 10 durch niedrigen Barometerstand ausgezeichnet waren. MERIAN findet es hiernach wahrscheinlich, dass wenigstens für die localen Erdbeben ein Zusammenhang mit einem auffallend geringen Luftdrucke anzunehmen sein dürfte.²

Im Gegensatze hierzu stehen die Beobachtungen von VASALLI-EANDI, welcher während der Erdbeben in der Grafschaft Pinerolo in Piemont vom 2. April bis 17. Mai 1808 zahlreiche Beobachtungen angestellt, und niemals irgend eine Abhängigkeit des Barometerstandes von dem unterirdischen Ereignisse bemerkte. HUMBOLDT zeigte, dass der in den Tropenländern so regelmässige Gang der täglichen Barometerschwankungen jedenfalls ganz unabhängig erscheint von dem Eintritte der Erdbeben, und seine diesbezüglichen Beobachtungen wurden von BOUSSINGAULT vollkommen bestätigt.

FR. HOFFMANN hat in Palermo, unter Zugrundelegung der dortigen genauen meteorologischen Journale eine Vergleichung der Barometer-

¹ POGGENDORFF'S Annalen, Bd. 13. S. 153.

² MERIAN: Ueber den Zusammenhang der Erdbeben mit den atmosphärischen Erscheinungen, im Auszuge im Neuen Jahrb. f. Mineralogie, 1839. S. 581.

stände während der 57 Erdbeben durchgeführt, die in einem Zeitraume von 40 Jahren vorgekommen waren, dabei ergab sich der Barometerstand

auf einem Minimum	in 7 Fällen
auf einem Maximum	„ 3 „
im Sinken begriffen	„ 20 „
im Steigen begriffen	„ 16 „
unbestimmt schwankend	„ 11 „

HOFFMANN folgert aus seiner Arbeit das Resultat, dass, abgesehen von der sehr unbedeutend vorwaltenden Neigung des Barometers, zu sinken, bei den Erdbeben weder in dem relativen Stande noch in der Grösse der Schwankungen des Barometers etwas Eigenthümliches oder Ausserordentliches stattfände.¹

Seither haben vollständigere, auf längere Zeiträume ausgedehnte und genauere Beobachtungen den Zusammenhang zwischen Luftdruck und Erdbeben mit grösserer Sicherheit nachgewiesen. Vor Allem sind hier die fünfzehnjährigen Beobachtungen J. SCHMIDT's über 676 griechische Erdbeben mit Bezug auf den Luftdruck von grosser Bedeutung. SCHMIDT's Untersuchungen ergaben, dass Erdbeben bei einem Luftdruck unter 335^{mm} häufiger sind als bei höherem Barometerstand und dass ihre Häufigkeit bei geringerem Luftdruck rascher zunimmt, als ihre Abnahme bei stärkerem Luftdruck.²

Die in den letzten Jahrzehnten in Italien und Japan mittelst empfindlicher Instrumente durchgeführten Beobachtungen der sehr häufigen schwachen Erzitterungen des Bodens (Earth-Tremors im Gegensatz zu Earthquakes) haben dazu geführt, die grösste Anzahl derselben durch Bewegungen in der Atmosphäre zu erklären. Noch klarer als die italienischen, durch DE ROSSI durchgeführten Untersuchungen, haben dies die japanischen erwiesen, über deren Resultate JOHN MILNE berichtet.³ Es zeigt sich, dass, abgesehen von einer geringen Zahl solcher feiner Erzitterungen, welche wahrscheinlich auf subterrane Ursachen zurückzuführen, und nur als schwache Erdbeben zu betrachten sind, diese Erschütterungen durch die Bewegung der Luft hervorgerufen werden, dass also für sie nicht der tiefe Barometerstand an sich, sondern der Gradient entscheidend sein muss. Dort, wo die Luftdruckdifferenz zwischen benachbarten Orten am bedeutendsten, wo demzufolge die Isobaren, die Linien gleichen Luftdruckes sich am dichtesten aneinander drängen, dort ist die Windstärke am grössten. Die Luftdruckdifferenz, gemessen in der Richtung senkrecht zu den Isobaren und bezogen auf eine Einheit der Entfernung nennt man den barometrischen Gradienten. Dieser Gradient ist das Maass für die Störung des atmosphärischen Gleichgewichtes, er bedingt die Stärke der Luftbewegung, wie das Gefälle die Stromgeschwindigkeit. JOHN MILNE

¹ FR. HOFFMANN: Hinterlassene Werke, II. S. 372 u. f.

² J. SCHMIDT: Studien über Vulkane und Erdbeben, II. S. 23—28.

³ J. MILNE: Earth Tremors in Central Japan, Transactions of the Seismological Society of Japan, Vol. XI. 1887. S. 1—78.

hat gezeigt, dass im Gegensatz zu anderweitigen Ansichten DE ROSS's auch die italienischen Beobachtungen die Abhängigkeit der feinen Er-zitterungen von dem barometrischen Gradienten, nicht aber vom höheren oder tieferen Stande des Barometers ergaben. Er stellte folgende Daten aus den Tabellen des *Bulletino del Vulcanismo Italiano* zusammen, welche dies klar ersehen lassen:

Datum 1885	Mikroseismische Inten- sität in Italien	Barometrische Differenz für 300geog.Meilen	Barometerstände in 300 Meilen Entfernung (+ 700)
Januar 1.	1.48	7	63—70
„ 2.	2.24	6	63—69
„ 3.	2.47	6	64—70
„ 5.	1.84	4	64—68
„ 6.	2.29	4	64—68
„ 7.	1.89	4	63—67
„ 10.	0.53	1	64—65
„ 12.	3.59	7	48—55
„ 13.	3.03	6	44—50
„ 19.	3.75	9	61—70
„ 20.	2.79	10	54—64
„ 30.	0.75	3	63—66
Februar 3.	2.80	9	54—63
„ 7.	1.13	4	60—64
„ 15.	0.43	0 od. 1	67—68
„ 16.	0.57	2	67—69
„ 23.	0.98	3	65—68
„ 24.	0.82	3	69—72
„ 27.	0.73	3	65—68
März 2.	0.88	1	59—60
„ 3.	0.71	1	62—63
„ 6.	4.37	8	53—61
„ 7.	4.04	8	54—62
„ 14.	3.14	8	58—66
„ 16.	0.57	1	72—73
„ 17.	0.49	0	72—72
„ 20.	1.14	4	51—55
„ 22.	1.09	4	54—58
„ 29.	0.82	0	59—59
„ 30.	0.81	3.5	56—58.5
„ 31.	0.96	2	61—63
April 2.	0.54	1	58—59

Die aufgezählten Tage wurden gewählt als solche, welche viele oder wenige Er-zitterungen aufwiesen. Ein Blick auf die Zusammenstellung lehrt, dass tiefer Barometerstand, wie z. B. am 29. März, noch nicht mit ungewöhnlichen Bewegungen verknüpft sein muss, dass dieselben vielmehr mit der Grösse des Gradienten zusammenhängen. Das *Bulletino del Vulcanismo Italiano* enthält zwar nicht die Mittel, die mikroseismischen Bewegungen unmittelbar mit den Windverhältnissen zu vergleichen, da aber

die Grösse des Gradienten die Stärke des Windes bedingt, kann man wohl schliessen, dass der letztere ebenso wie in Japan die Ursache der mikro-seismischen Bewegungen sein wird. Die Beobachtung derselben erfolgte in Japan mit sehr genauen, selbstregistrirenden Instrumenten („Automatic Tromometer) und die erhaltenen Resultate wurden aufs sorgfältigste, wie im nächsten Abschnitte zu erörtern sein wird, mit den Barometerständen und mit der Geschwindigkeit des Windes verglichen. Die Ergebnisse dieser Vergleichung, auf welche wir noch ausführlich zurückzukommen haben, lassen den Schluss zu, dass die meisten mikro-seismischen Erschütterungen durch den Wind verursachte Bewegungen sind, welche sich oft in entfernte Gegenden fortpflanzen, die selbst nicht vom Winde betroffen werden.

Diese mikro-seismischen durch Wind verursachten Bewegungen sind jedoch keine Erdbeben im gewöhnlichen Sinne des Wortes, da ihre Ursache eben keine subterrane ist. Ihre Existenz beweist aber, dass der Einfluss des Windes auf die Erdoberfläche nicht unterschätzt werden darf. Auch grosse, zu Katastrophen führende Erdbeben mögen zwar nicht durch Stürme verursacht, wohl aber in ihrem früheren Eintritt durch solche befördert werden. Bei den Wirbelstürmen der Tropen bildet sich ein barometrisches Depressionscentrum, dessen Luftdruckerniedrigung meist viel grösser ist, als in gemässigten Breiten, und von welchem aus der Druck nach allen Richtungen viel schneller zunimmt. Während der Gradient bei den heftigsten Stürmen der gemässigten Zone etwa 0.2 bis 0.3 Millimeter pro geographische Meile beträgt, steigt er bei den tropischen Wirbelstürmen auf 0.8 bis 1 Millimeter. Das Zusammenfallen von Cyklonen und Erdbeben ist schon vielfach erörtert worden, so beispielsweise von KLUGE,¹ welcher u. A. darauf hinweist, dass, wie MOREAU DE JONNES berichtet, von 64 Orkanen auf den Antillen sieben mit Erdbeben zusammenfallen. Ein ähnliches Zusammenfallen einer grossen Cyklone und eines Erdbebens hat E. SUSS, wie noch zu erörtern sein wird, zur Erklärung jenes am unteren Euphrat eingetretenen Ereignisses angenommen, welches den Namen der Sintfluth trägt. „Im Jahre 1737,“ sagt SUSS, „zu Calcutta und im Jahre 1800 an den Mündungen des Kistna sind Cyklone und Erdbeben vereint aufgetreten. Obwohl beide Erscheinungen ihren Ursachen nach einander fremd sind, und obwohl die übergrosse Anzahl von Cyklonen ohne bemerkbare Erderschütterung und ebenso die übergrosse Anzahl von Erdbeben ohne Wirbelsturm eintritt, wiederholt sich doch das zeitliche Zusammentreffen von Erderschütterungen und niedrigem Barometer so oft, dass die Aufmerksamkeit der Forscher auf diesen Umstand gelenkt werden musste.“ SUSS verweist dann auf die oben angeführte von JUL. SCHMIDT angestellte Vergleichung griechischer Erdbeben mit den gleichzeitigen Barometerständen, auf ähnliche Studien Rossi's über italienische Erdbeben und endlich auf den Versuch G. DARWIN's,

¹ E. KLUGE: Ueber die Ursachen der in den Jahren 1850—1857 stattgefundenen Erderschütterungen. Stuttgart 1861, S. 102 u. 104.

den mechanischen Effect der barometrischen Entlastung der Erdoberfläche der Rechnung zu unterziehen,¹ schliesst aber seine Betrachtung über den Gegenstand mit den Worten: „Man kann nicht behaupten, dass die directen Beobachtungen auf diesem Gebiete bereits zu irgend einem festen Ergebnisse geführt hätten, aber die z. B. in Griechenland und Italien in Vergleich gezogenen Verminderungen des Luftdruckes sind weit geringer als jene, welche bei Wirbelstürmen vorkommen. So dürfte bei dem heutigen Stande der Erfahrungen angenommen werden, dass, wenn in einer Gegend, welche sich in einer Phase seismischer Beunruhigung befindet, oder in welcher sonst die Vorbedingungen für eine Erderschütterung gegeben sind, jene wesentliche Entlastung von dem Luftdrucke eintritt, welche die Grundbedingung des Wirbelsturmes ist, diese selbe Entlastung zwar die Erderschütterung nicht erzeugt, wohl aber ihr Auftreten beschleunigt oder den Grad der Heftigkeit erhöht.“²

Wir gelangen nunmehr zur Erörterung einer Gruppe von Erscheinungen, welche häufig in Verbindung mit Erdbeben genannt werden, ohne dass indess bis jetzt genauere Beobachtungen über sie vorliegen, welche uns gestatten würden, diese Phänomene sicher zu deuten, es sind dies die Licht- und Feuererscheinungen. Von vielen Erdbeben wird gemeldet, dass Flammen aus dem Erdboden hervorgebrochen seien, von anderen ein blitzartiges Aufleuchten im Moment der Erschütterung oder kurz vor oder nach derselben berichtet. Diese Erscheinungen sind aber auch oft bezweifelt und als blosser Ausgebirten der durch die furchtbaren Wirkungen der Erdstösse erhitzten Phantasie bezeichnet worden. Es sind indess die Berichte zu zahlreich, als dass wir uns mit dieser Erklärung zufrieden geben könnten. Was das Auftreten wirklicher Flammen anlangt, so könnte dasselbe bei vulkanischen Erdbeben leicht in thatsächlichen Vorgängen seinen Grund haben, sei es, dass bei dem Aufreissen einer Spalte glühendes Gestein ausgeschleudert wird, sei es, dass Gase austreten, welche an der Erdoberfläche verbrennen. Wissen wir doch, dass bei vulkanischen Ausbrüchen, abgesehen von den scheinbaren Flammen, welche durch die Strahlen ausgeschleuderter glühender Steine und Schlacken und den Widerschein der Lava in der Dampfsäule gebildet werden, wirkliche aber schwach leuchtende Flammen durch das Verbrennen des Wasserstoffes erzeugt werden. Solche Flammen mögen bei grossen Erdbeben wirklich auftreten, und zwar nicht bloss bei den im eigentlichen Sinne vulkanischen, d. h. jenen Erdbeben, bei welchen die Erschütterungen durch die Spannkraft der im Magma gebundenen und sich zu befreien strebenden Liquida verursacht werden, sondern auch bei den Dislocationsbeben, bei welchen oft die Spalten zwischen den sich bewegenden Schollen weit und tief genug aufgerissen werden mögen, um derartige Emanationen zu ge-

¹ G. H. DARWIN: On the Mechanic. Effects of Barometr. Pressure on the Earths' Surface; Philos. Magaz. 1882, 5^e Ser. XIV. S. 409—416.

² E. SUSS: Das Antlitz der Erde, I. S. 73.

statten. Die meisten Berichte, welche sich auf das Ausschleudern von Wasser, Sand und Schlamm, von Dämpfen und Gasen bei Erdbeben beziehen, dürften allerdings auf die schon oben erörterten oberflächlichen Bewegungen in den mit Grundwasser erfüllten Alluvionen der Stromländer und Niederungen zurückzuführen sein, in welchen jene pseudovulkanischen Erscheinungen auftreten, die so häufig Gegenstand genauer Untersuchung wurden. Es fehlt aber nicht an Berichten, welche nur dadurch erklärt werden können, dass durch die Bewegungen und Spaltungen der Erdrinde Communicationen mit tieferen Partien eröffnet wurden: „Während der Erdbeben, welche in den Jahren 1702 und 1703 in den Abruzzen wütheten und die Stadt Aquila fast gänzlich zerstörten, öffneten sich bei dieser Stadt mehrere Schlünde, durch welche Wasser und Steine in solcher Menge ausgeworfen wurden, dass die umliegenden Felder nicht mehr bestellt werden konnten. Das Wasser spritzte über die Gipfel der höchsten Bäume hinaus, und gleichzeitig stiegen aus den benachbarten Bergen Flammen und dicke Dämpfe auf. — Während des Erdbebens von Cumana, am 14. November 1797 sah man an den Ufern des Manzanares und im Meerbusen von Cariaco Flammen hervorbrechen, wie denn diese Erscheinung in Venezuela überhaupt öfters vorgekommen sein soll. Während des grossen Erdbebens von Lissabon stiegen gleichfalls aus einer neugebildeten Spalte des Felsen von Alvidras Feuerflammen und Rauchsäulen auf, welche letztere um so dicker waren, je mehr sich das unterirdische Getöse verstärkte. Und bei dem Erdbeben im Thale des Magdalenenflusses in Neu-Granada am 16. November 1827 strömte Kohlensäure aus vielen Spalten aus.“¹

Dass manche angebliche Flammenerscheinungen bei Erdbeben auf Täuschung beruhen, mag zugestanden werden, es sei gestattet, diesbezüglich auf ein von J. SCHMIDT angeführtes Beispiel hinzuweisen, welches recht gut zeigt, wie leicht solche Täuschungen zu Stande kommen können. Am 18. Januar 1862, 3¹/₄ Uhr Nachmittags erfolgte ein gewaltiger Felssturz bei Delphi. „Dadurch,“ sagt J. SCHMIDT, „dass sehr dunkle verwitterte Platten und Blöcke sich von den oberen Wänden ablösten, kam das frische, rothgelbe Colorit des bis dahin verborgenen Kerngesteines plötzlich zu Tage, ward überdies oberhalb der Wolken von der Sonne momentan beleuchtet, so hatte ich den schreckhaften Eindruck, als zeige sich dort eine von Dampf umgebene Flamme. Diese war aber ganz bestimmt nicht vorhanden und der scheinbare Dampf konnte sehr wohl herrühren von dem Regendunste oder von dem Staube der im Sturze an den Wänden sich zermalmenden Blöcke. Ich war indess nicht der Einzige, der jenen beunruhigenden Eindruck hatte.“²

Noch unbefriedigender als von den, aus dem Erdboden hervorbrechenden Flammen ist unsere Kenntniss von Lichterscheinungen, welche

¹ C. F. NAUMANN: Lehrbuch der Geognosie, I. S. 239, 240.

² J. SCHMIDT: Studien über Vulkane und Erdbeben, II. S. 83.

bei vielen Erdbeben als eine Art „blitzartiges Aufleuchten“ angegeben werden. Ueber die bei dem wallachischen Erdbeben vom 11. Januar 1838 wahrgenommenen Licht- und Feuererscheinungen sagt G. SCHUELER in seinem Bericht an das fürstl. Wallachische hohe Ministerium des Innern: „Diese sind an vielen Orten bemerkt worden, ausser Buseo auch zu Ardschisch und ebenso zu Bukarest. Es sind diese Lichterscheinungen, welche theils als feurige Strahlen sich zeigen, theils Feuerkugeln bilden, häufig die Begleiter von Erdbeben und sind meist den Wirkungen der Elektricität zuzuschreiben.“

Nachrichten über solche auffallende, blitzartige Lichterscheinungen als Begleiter der Erdbeben finden sich zusammengestellt in der mehrfach herangezogenen Arbeit E. KLUGE'S,¹ ein weiterer Fall wird von GRIESBACH mitgetheilt, dessen Bemerkungen über den Gegenstand hier mitgetheilt werden mögen, da wir seither in dieser Frage keine Erfahrungen gemacht haben, die uns gestatten würden, eine sichere Erklärung der Erscheinung zu geben. GRIESBACH sagt²: „Es wird bei vielen Erdbeben hervorgehoben, dass „Flammen“ aus dem Boden schlugen oder Felsstürze von Flammen begleitet waren. Unter allen Berichten, die ich in der Chronik gesammelt habe, erwähnt solches bloß einer über das Erdbeben vom 13. August. Die Bewohner von Taena und Arica sahen am Abend des 13. August den Himmel einen Moment lang von einem Lichte übergossen. Es wurde dabei auf den Ausbruch eines der Vulkane der Andes geschlossen und die amerikanischen Zeitungen stritten darüber, welcher es gewesen sei. Doch thatsächlich hatte keiner der Vulkane einen Ausbruch. Die Lichterscheinung muss also in einem anderen Grunde gesucht werden. Bekanntlich werden Lichterscheinungen und zwar bedeutende, beim Zerreißen, Zerstoßen, überhaupt beim Trennen fester Körper, sowie beim gewaltsamen Vereinigen derselben, das ist bei grossem Drucke sichtbar. Ich erinnere nur an das Zusammenschlagen von harten Steinen oder Zerbrechen derselben, an das lebhaftes Leuchten von Zucker etc. Wenn nun ganze Felsschichten brechen und zu Thale stürzen, mögen wohl auch und zwar bedeutende Lichterscheinungen stattfinden. Dass dem wirklich so sei, beweisen zahlreiche Bergschlipfe und Felsstürze, wie z. B. der Bergsturz in Goldau 1806; durch die bedeutende Reibung erzeugte sich eine so bedeutende Hitze, dass die Feuchtigkeit der Massen in Dampf verwandelt wurde, welcher vermöge seiner bedeutenden Spannkraft das ganze Nagelfluhlager in die Höhe schleuderte, als wenn es von einer Mine gesprengt worden wäre. Man konnte dabei ein lebhaftes Aufleuchten wahrnehmen. Sogar bei Gletscherstürzen wurden Lichterscheinungen wahrgenommen. So beim Absturz des Bies-Gletschers im Gorner Vispthale

¹ E. KLUGE: Ueber die Ursachen der in den Jahren 1850—1857 stattgefundenen Erderschütterungen. Stuttgart 1861. S. 112 u. 113.

² GRIESBACH: Die Erdbeben in den Jahren 1867 u. 1868, Mittheilungen d. k. geograph. Gesellsch. in Wien 1869.

im Jahre 1819. Leicht kann die Lichterscheinung bei Tacna am 13. August 1868 auf etwas ähnliches zurückgeführt werden. Bei demselben Erdbeben soll auch eine grosse Menge von Electricität in der Luft wahrgenommen worden sein, so dass im Moment der Katastrophe Funken von den Haaren und Kleidern strömten. Wenn dies überhaupt auf einer Thatsache beruht, so dürfen wir auch die Meinung eines unserer Landsleute, Herrn PRETZNER's in Lima, nicht unberücksichtigt lassen, der diese Electricität mit der grossen Lichterscheinung am Abend des 13. August in Verbindung setzt. Uebrigens wäre es immerhin auch nicht unmöglich, dass dieses Licht einem Meteore seinen Ursprung verdankt.“

Es mag wohl am besten von einer Kritik dieser Erklärungsversuche abgesehen werden, die nur zu dem Zwecke hier angeführt wurden, um zu zeigen, wie verschiedene Hypothesen zur Erklärung einer Erscheinung aufgestellt wurden, über welche uns viel zu unvollkommene Beobachtungen vorliegen, als dass wir eine befriedigende Erklärung zu geben im Stande wären.

Wenden wir uns nun zur Betrachtung der Einwirkungen der Erdbeben auf das Meer. Es ist bekannt, dass bei Erschütterungen, welche Küstenstriche treffen, sehr häufig das Meer in Mitleidenschaft gezogen wird, geradeso wie der Wasserspiegel in einem Gefäss in Bewegung geräth, wenn dessen Rand von einem Stoss getroffen wird. Im Meere pflanzt sich diese, durch Erdbeben erzeugte Fluthwelle viel weiter fort als die Erschütterung in der Erdrinde selbst. Seismische Fluthen, welche auf der einen Seite des Stillen Oceans erzeugt werden, branden an den jenseitigen Gestaden. Wohl die meisten dieser „Seebeben“ danken ihre Entstehung nachweislich Erschütterungen verhältnissmässig kleiner Küstenstriche, die sich in der leicht beweglichen Wassermasse leicht und weit verbreiten, seltener dürften sie mit seismischen Erscheinungen auf dem Meeresgrund selbst zusammenhängen.

Einige Beispiele mögen zunächst die weite Verbreitung zeigen, welche solche seismisch erregte Fluthen erreichen.

Das Erdbeben welches am 23. December 1854 Simoda in Japan zerstörte, erzeugte eine Welle, welche am gegenüberliegenden Ufer des pacifischen Oceans von den selbstregistrirenden Fluthmessern zu San Francisco und San Diego in Californien verzeichnet wurde. Die Zeit, welche die Welle brauchte, um den 4527 Seemeilen langen Weg von Simoda nach San Francisco zurückzulegen, betrug 12 Stunden 38 Minuten, die mittlere Geschwindigkeit des Fortschreitens der Welle war also 358 Seemeilen in der Stunde. Die Wellenberge folgten sich in Intervallen von 35 Minuten, dies entspricht einer Wellenlänge von 210 Seemeilen. Die Höhe dieser Welle war zu San Francisco nur mehr 4-6 Centimeter. Für San Diego beträgt die Distanz von Simoda 4917 Seemeilen, die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Welle war hier 355 nautische Meilen in der Stunde, die Dauer der Oscillation 31 Minuten, die Wellenlänge 190 Meilen.

Die Figur 17 giebt ein Bild dieser Welle, wie sie von den registrirenden Fluthmessern zu San Francisco und San Diego aufgezeichnet wurde. Die kleinen Zacken auf dem Rücken der Fluthwelle sind die Hebungen und Senkungen des Wasserspiegels in Folge der Erdbebenwellen. Auf dem linken Rande der Zeichnung ist eine Fussscala angebracht, welche die Höhen der Wellenberge beurtheilen lässt, am oberen Rande eine Zeit- (Stunden-) Scala.

Ebenso haben die Erdbeben von Arica in Peru am 13. August 1868 und von Iquique (gleichfalls in Peru) vom 9. Mai 1877 grosse Wellen veranlasst, welche auf den Inseln der Südsee und an den Küsten von

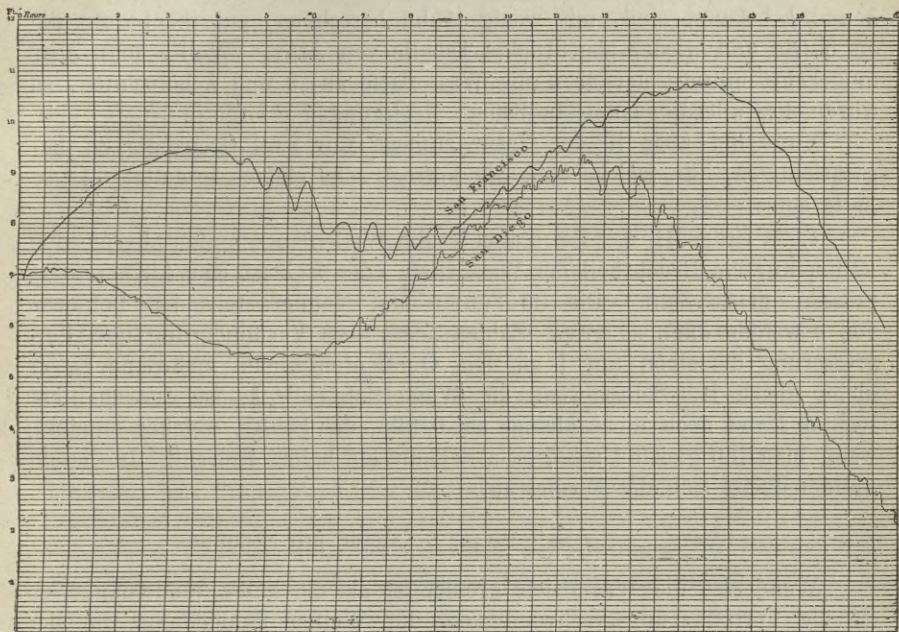


Fig. 17. Wellenbewegung des Erdbebens von Simoda.

Neuseeland und Australien, und ebenso auf den Sandwich-Inseln und auf Japan beobachtet werden konnten. F. v. HOCHSTETTER hat die Erdbebenfluth von Arica,¹ E. GEINITZ² jene von Iquique zum Gegenstand eingehender Erörterung gemacht. Aus der Fortpflanzungsgeschwindigkeit dieser Wellen lassen sich sehr interessante Daten über die mittlere Tiefe der Oceane ableiten, da Wassertiefe, Wellenlänge und Fortpflanzungsgeschwindigkeit in bestimmten Beziehungen stehen, wie AIRY's Formel lehrt.³

¹ F. v. HOCHSTETTER: Die Erdbebenfluth im Pacificischen Ocean, August 1868, Sitzungsber. d. k. Akad. d. Wissensch. Wien 1868.

² E. GEINITZ: Das Erdbeben von Iquique am 9. Mai 1877 und die dadurch erzeugte Fluth im Grossen Ocean, PETERMANN's geogr. Mitth. 1877, Heft 12. S. 454 — und Nova acta der Kais. Leop. Carol. Akad. d. Naturforscher, Bd. XL. N. 9, 1878.

³ Die erste Berechnung der Tiefe des Oceans aus der Fortpflanzungsgeschwindig-

Bezeichnet v die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Welle, λ die Wellenlänge, e die Basis der natürlichen Logarithmen (d. i. die Zahl 2.7183), g die Beschleunigung der Schwere (in Meter 9.806 unter 45°), h die Wassertiefe, $\pi = 3.14159$ etc., so gilt die Gleichung:

$$v^2 = \frac{g \lambda}{2 \pi} \frac{e^{\frac{2 \pi h}{\lambda}} - e^{-\frac{2 \pi h}{\lambda}}}{e^{\frac{2 \pi h}{\lambda}} + e^{-\frac{2 \pi h}{\lambda}}} \quad \text{oder} \quad = \frac{g \lambda}{2 \pi} \cdot \frac{e^{\frac{4 \pi h}{\lambda}} - 1}{e^{\frac{4 \pi h}{\lambda}} + 1}$$

Aus dieser Formel lässt sich die Geschwindigkeit der Wellen, wenn λ und h bekannt sind, mit wenig Mühe berechnen, auf ihr beruht die oft citirte und wieder abgedruckte Tabelle von AIRY. Wollte man aber umgekehrt mittelst derselben die Wassertiefe aus v und λ berechnen, so würde dies allerdings umständlichere Rechnungen erfordern.

Nun sind aber in der Natur zumeist nur zwei Grenzfälle zu berücksichtigen, für welche sich die Formel sehr einfach gestaltet. Diese Fälle sind:

1. Windwellen. Bei diesen ist die Wellenlänge in den allermeisten Fällen nur ein Bruchtheil der Wassertiefe oder $h:\lambda$ ist eine kleinere oder grössere ganze Zahl. Die im Zähler und Nenner stehenden Potenzen von e werden dann so grosse Zahlen, dass eine Verminderung und Vergrösserung derselben um 1 an dem Quotienten nichts mehr ändert, er bleibt gleich 1. Selbst wenn die Wassertiefe = $\frac{1}{2}\lambda$, ist der Quotient rechter Hand noch nicht kleiner als 0.996, der Fehler, welcher entsteht, wenn man ihn gleich 1 setzt, ist also kaum ein halbes Procent. In diesem Falle reducirt sich die Formel auf:

$$v^2 = \frac{g \lambda}{2 \pi} \quad v = 1.25 \sqrt{\lambda} \quad (\text{Meter pro Secunde}).$$

Wenn also die Wassertiefe grösser ist als die halbe Wellenlänge, so ist die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Wellen unabhängig von der Tiefe und nimmt nur mit der Wellenlänge zu oder ab.

2. Erdbebenwellen und secundäre (progressive) Fluthwellen. Bei diesen ist die Wellenlänge sehr gross, selbst gegenüber den grössten oceanischen Tiefen. Die Erdbebenwellen von Simoda (Dec. 1854) hatten ungefähr 210 Seemeilen Länge (Abstand von einem Wellenkamm zum anderen), jene von Arica (August 1868) hatten eine Wellenlänge von 100 und 140 Seemeilen, endlich von Iquique (Mai 1877) von 130 Seemeilen. Da 1000 Faden = 0.986, 2000 = 1.97, 3000 Faden = 2.96 Seemeilen, so sieht man, dass in diesem Falle und in noch höherem Maasse bei den Fluthwellen die grössten oceanischen Tiefen nur kleine Bruch-

keit der Erdbebenwellen wurde von BACHE mit Bezug auf das Beben von Simoda am 24. December 1854 angestellt. Americ. Journ. of Sciences and Arts, 1856, 2^d Ser., XXI, S. 37—43.

theile der Wellenlänge, die Oceane also seichtes Wasser für diese Wellen sind. In der oben aufgestellten Formel wird dann der Quotient im Exponenten von e , d. i. $2\pi h:\lambda$, ein echter Bruch, und man kann die Exponentialgrössen im Zähler und Nenner durch die bekannten convergirenden Reihen ersetzen, deren Division, wie eine elementare Rechnung lehrt, in erster genügender Annäherung zum Quotienten die Grösse $\frac{2\pi h}{\lambda}$, d. i. den Exponenten selbst, liefert. Man hat dann:

$$v^2 = \frac{g\lambda}{2\pi} \cdot \frac{2\pi h}{\lambda} = gh \quad v = \sqrt{gh}, \quad h = \frac{v^2}{g}$$

Wenn die Wellenlänge einmal relativ sehr gross ist, dann ist die Geschwindigkeit nicht mehr abhängig von derselben, sondern bloss von der Wassertiefe. Sie wird dann gleich der Geschwindigkeit, die ein fallender Körper erreichen würde, wenn man ihn (im leeren Raum) von der Oberfläche aus auf den Grund des Wasserbeckens fallen liesse. SCOTT RUSSEL hatte diese einfache Relation schon früher auf empirischem Wege gefunden, sie gilt aber nur für den bezeichneten Grenzfall. Nehmen wir aber den ungünstigsten Fall, der in Wirklichkeit vorkommen kann, dass eine Erdbebenwelle von 100 Seemeilen Breite durch einen 3000 Faden = 2.96 Seemeilen tiefen Ocean fortschreitet, so giebt AIRY's vollständige Formel die Geschwindigkeit derselben gleich 230.6 Meter pro Secunde, RUSSEL's empirische Formel hingegen 231.6, d. i. nur ein halbes Procent mehr.¹

Aus der Geschwindigkeit der oben erwähnten Erdbebenwelle von Simoda hat man die mittlere Tiefe des pacifischen Oceans zwischen Japan und Californien zu circa 2200 Faden berechnet. Fig. 18 giebt eine Darstellung der Propagation der Erdbebenwelle von Arica 1868 über den pacifischen Ocean.

Diese Erdbebenwelle pflanzte sich in 9 Stunden 23 Minuten nach Honolulu und in nahezu 23 Stunden nach Newcastle an der Ostküste von Australien fort, daraus ergibt sich die mittlere Tiefe des Oceans längs der ersteren Linie zu 2300 Faden, längs der zweiten nur zu 1300 Faden. Desgleichen hat man aus der Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Erdbebenwelle von Iquique die mittlere Tiefe des Oceans in der Richtung nach den Samoa- und Sandwich-Inseln und auch nach Japan zu rund 2200 Faden gefunden, in der Richtung nach Neuseeland aber nur zu 1400 Faden. Im allgemeinen stimmen sonach die bei der Untersuchung verschiedener Erdbebenwellen ermittelten Daten recht gut untereinander, sie stimmen aber auch mit den Ergebnissen der Tiefenmessungen im Oceane so weit überein, als man es bei der Art der Untersuchung erwarten darf.

Es ist selbstverständlich, dass solche Erdbebenwellen an den von ihnen betroffenen Küsten ausserordentliche Verheerungen anrichten können,

¹ F. HANN, F. v. HOCHSTETTER und A. POKORNY: Allgemeine Erdkunde. Prag u. Leipzig 1886, S. 228, 229.

zumal in der Nähe des Erregungsortes die Bewegung der Wassermassen ganz ungeheurere Dimensionen annimmt.

Bekanntlich wurde bei dem grossen Erdbeben von Lissabon am 1. November 1755 der meiste Schaden und die grösste Vernichtung von Menschenleben durch die seismischen Fluthen hervorgebracht. Gleich nach dem ersten Stosse, der kurz nach der höchsten Fluthzeit eintrat, erhob sich die Erdbebenwoge und stieg um 16, nach anderen um 40 Fuss höher als die höchste Mondfluth. Die Mehrzahl der zu Grunde gegangenen Menschen (die Zahl der Todten wird auf 60 000 angegeben) fand durch die seismische Woge den Untergang.

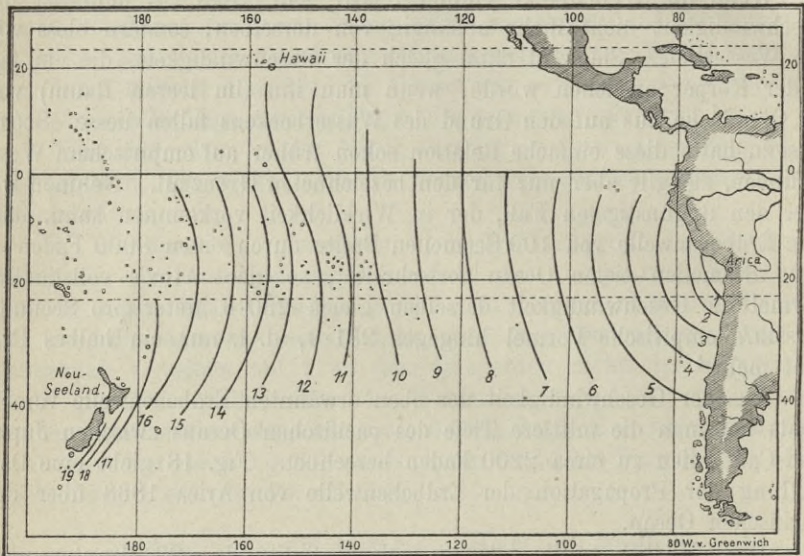


Fig. 18. Kärtchen, die Verbreitung der Erdbebenfluth vom 13. Aug. 1868 im pacifischen Ocean darstellend — nach HOCHSTETTER. Die mit 1, 2 . . . 19 bezeichneten Curven geben den Ort der Erdbebenwelle nach der ersten, zweiten . . . neunzehnten Stunde an.

Bei dem heftigen Erdbeben, welches am 28. October 1724 die Stadt Lima in Peru zerstörte, wurde gleichzeitig die Hafenstadt Callao von einer 80 Fuss hohen Woge überfluthet, welche alle Gebäude niederriss und fast die ganze Einwohnerschaft vernichtete. Von 23 im Hafen liegenden Schiffen wurden 19 unmittelbar versenkt, während die vier übrigen eine Stunde weit landeinwärts getragen wurden und dort auf dem Trockenen zurückblieben.

Aehnliches ereignete sich bei dem Erdbeben auf Jamaica im Jahre 1692; das Meer wälzte sich mit fürchterlicher Gewalt in die Strassen der Stadt Port-Royal, und eine Fregatte wurde über die Häuser weggeschwemmt und mitten in der Stadt auf dem Dache eines Hauses niedergesetzt.

Die in Chile, nordöstlich von Concepcion liegende alte Stadt Penco (siehe das Kärtchen auf S. 81) ist zu wiederholten Malen solchen ver-

hererenden Einbrüchen des Meeres ausgesetzt gewesen und im Jahre 1751 durch ein solches Ereigniss gänzlich zerstört worden.

Bei dem Erdbeben, welches am 20. Februar 1835 Concepcion und dessen Hafentort Talcahuano zerstörte, richtete die Wellenbewegung des Meeres die grössten Verheerungen an dem letztgenannten Orte an. DARWIN sah, als er am 4. März auf der Insel Quiriquina landete, die ganze Küste mit Bauholz und Hausgeräth überstreut, als ob tausend Schiffe gestrandet wären. „Am nächsten Tage,“ berichtet er, „landete ich in Talcahuano und ritt dann später nach Concepcion. Beide Städte boten das schauervollste, aber doch interessanteste Schauspiel dar, welches ich je gesehen habe. Für Jemand, welcher sie früher gekannt hat, dürfte möglicherweise der Eindruck noch mächtiger gewesen sein: denn die Ruinen waren so durcheinander gemengt und die ganze Scene besass so wenig das Ansehen eines bewohnten Ortes, dass es kaum möglich war, sich den früheren Zustand vorzustellen. — In Concepcion stand jedes Haus oder jede Reihe Häuser für sich, ein Haufen oder eine Reihe von Ruinen; in Talcahuano aber konnte in Folge der grossen Welle wenig mehr als eine einzige grosse Schicht Ziegelsteine, Dachsteine und Bauholz, hie und da mit einem Stück einer stehengelassenen Wand unterschieden werden. In Folge dieses Umstandes bot Concepcion, obgleich es nicht so vollständig verwüstet war, doch einen fürchterlicheren und, wenn ich so sagen darf, malerischen Anblick dar.“¹

Eine sehr interessante, in ihrer Ursache aber noch nicht mit vollkommener Sicherheit erklärte Erscheinung ist das bei fast allen Seebeben beobachtete weitgehende Zurückweichen des Meeres von der Küste. Von dem letzterwähnten Erdbeben bemerkt Capitän FITZROY, dass sich die See nach dem Erdbebenstosse zuerst zurückzog, so dass die Schiffe, selbst bei 7 Faden Wasser, auf den Grund geriethen und alle Untiefen sichtbar wurden; dass aber bald nachher das Meer mit einer 20 Fuss hohen Woge in die Bay zurückstürzte. Bei den häufigen Beben an der Westküste Südamerika's soll in der Regel die Schwankung des Meeres mit einem Rückzuge des Wassers beginnen, bei einigen Erschütterungen (zu Arica und Iquique) ist es jedoch constatirt, dass das Meer zuerst anstieg und dann erst zurückebte.

Die Ursache der Erscheinung, dass Seebeben mit einem Rückzuge des Meeres beginnen, wurde zunächst darin gesucht, dass bei einem Erdbeben eine plötzliche Erhebung des Landes und angrenzenden Meeresgrundes stattfindet, wodurch das Meer zum Zurückweichen veranlasst werden müsste um dann, bei dem Herabsinken des Landes in sein voriges Niveau, wieder mit grosser Gewalt landeinwärts zu dringen.

JAMES HALL erklärt die Erscheinung aus einer plötzlichen Erhebung eines Theiles des Meeresgrundes, durch welche die ganze, unmittelbar

¹ CH. DARWIN'S gesammelte Werke, übers. v. J. V. CARUS, 2. Ausgabe 1. Bd. (Reise eines Naturforschers um die Welt). S. 348.

aufliegende Wassermasse rasch aufwärts gedrängt werde, was anfangs einen Nachzug des Wassers von den benachbarten Küsten her zur Folge habe, welchem dann eine starke Rückfluth folgen müsse.¹

CH. DARWIN sagt von den Seebeben: „Die Störung scheint meistens, wie in dem Falle von Concepcion, zweierlei Art gewesen zu sein: erstens schwillt im Augenblick des Stosses das Wasser mit einer ruhigen Bewegung den Strand hinauf an und zieht sich dann ebenso ruhig wieder zurück; zweitens zieht sich einige Zeit später die ganze Masse des Meerwassers von der Küste zurück und kehrt dann in Wellen von überwältigender Gewalt wieder. Die erste Bewegung scheint eine unmittelbare Folge des Erdbebens zu sein, welches eine flüssige und eine solide Masse verschieden afficirt, so dass ihre gegenseitigen Niveaus unbedeutend gestört werden; die zweite Form ist aber eine bei weitem wichtigere Erscheinung. Während der meisten Erdbeben, und besonders während der an der Westküste von Amerika, ist die erste grosse Bewegung des Wassers ein Zurückweichen gewesen. — Ich vermuthe (der Gegenstand ist aber sehr dunkel), dass eine auf irgend welche Weise erzeugte Welle zuerst das Wasser vom Ufer abzieht, auf welchem sie sich dann im Vorschreiten bricht: ich habe bemerkt, dass dies mit den kleinen, von den Rädern der Dampfschiffe hervorgebrachten Wellen der Fall ist. Merkwürdig ist es, dass, während Talcahuano und Callao (bei Lima), beide am oberen Ende grosser seichter Meerbusen gelegen, bei jedem stärkeren Erdbeben von grossen Wellen bedeutend gelitten haben, das dicht am Rande eines ausserordentlich tiefen Wassers gelegene Valparaiso niemals überfluthet worden ist, trotzdem es die heftigsten Stösse so oft erschüttert haben. Da die grosse Welle dem Erdbeben nicht unmittelbar folgt, sondern zuweilen nach einem Zwischenraum selbst bis zu einer halben Stunde, und da entfernt liegende Inseln in ähnlicher Weise wie die dem Erschütterungscentrum näher liegende Küste afficirt wurden, so scheint die Welle zuerst auf hoher See zu entstehen; und da dies allgemein so vorkommt, so muss auch die Ursache allgemein sein: wie ich vermuthe, müssen wir die Linie, wo das weniger gestörte Wasser des tiefen Oceans das Wasser in der Nähe der Küste, welches an der Bewegung des Landes theilgenommen hat, trifft, als den Ort ansehen, wo die grosse Welle erzeugt wird; es scheint auch die Welle grösser oder kleiner zu sein, je nach der Ausdehnung des seichten Wassers, welches zusammen mit dem Grunde, auf dem es lag, erschüttert worden ist.“²

Diese Ansicht erscheint insbesondere deshalb bemerkenswerth, weil sie Gewicht auf die verschiedene Gestaltung der Küste legt, die gewiss für die Art der Bildung der seismischen Woge von grossem Belang ist.

MALLET hat die Ansicht aufgestellt, dass sich, wenn die Erschütterungen von einem Theile des Meeresgrundes ausgehen, allemal zwei

¹ Vergl. C. F. NAUMANN, Lehrbuch der Geognosie I. S. 246.

² CH. DARWIN's ges. Werke, übers. von CARUS, 2. Ausg. 1. Bd. S. 364—356.

Wellensysteme bilden, von welchen das eine in der festen Erdkruste dem anderen in der Wassermasse voraneilt, so dass die Meereswoge das Land erreicht, nachdem die eigentliche Erdbebenwelle schon durchgegangen ist. Wenn nun auch diese Erklärung mit der vielbeobachteten Thatsache in Einklang steht, dass die Meereswoge erst dann hereinbrach, nachdem die Erschütterung des Meeres schon vorüber war, so reicht sie doch nicht hin, das in manchen Fällen sehr weit gehende und längere Zeit andauernde Zurückweichen des Meeres von den erschütterten Gestaden zu erklären.

Es sind aber viele Berichte vorhanden, welche lehren, dass bei solchen Vorgängen grosse Strecken vom Wasser entblösst und erst nach geraumer Zeit von der mit grosser Gewalt wiederkehrenden Erdbebenwoge überschüttet wurden.

Bei dem Erdbeben von 1699 lag bei Catania der Strand auf eine Strecke von 2000 Klafter trocken.

Auf eine solche Erscheinung ist wohl jene Schwankung des Meeres zurückzuführen, welche sich im Jahre 479 v. Chr. bei der von den Persern belagerten Stadt Potidäa ereignete. Herodot (VIII. 22) berichtet: „Artabazos belagerte Potidäa bereits drei Monate an der Nordseite, als im Meere eine starke Ebbe eintrat und lange anhielt. Als die Barbaren die Seichte sahen, gingen sie nach Pallene hinüber. Kaum jedoch waren $\frac{2}{5}$ des Weges zurückgelegt, da kam eine gewaltige Meeresschwelung, wie sie nach Sage der Umwohner sich noch nie ereignet hatte. Diejenigen nun, welche nicht schwimmen konnten, ertranken, die Uebrigen brachten die Potidäaten um. Die Ursache aber soll nach dem Urtheile der Potidäaten die gewesen sein, dass dieselben Perser, die hier umkamen, gegen Tempel und Bild des Poseidon gefrevelt hatten.“¹

E. SUESS gedenkt dieses Beispielen seismischer Bewegung des Meeres, „welches nicht wenig an den Untergang des Pharao Menephta erinnert,“ macht darauf aufmerksam, dass noch viele andere und weiter ins Land reichende Fluthen derselben Art aus Hellas bekannt sind, und spricht die Ansicht aus, dass solche Erscheinungen Veranlassung zu den Traditionen wiederholter Fluthen, wie jener des Ogyges, des Deukalion, des Dardanos geworden sind.²

F. STANDFEST hat in einer interessanten Abhandlung zu zeigen versucht, dass die Aegypter bei der Verfolgung der auswandernden Israeliten nicht, wie BRUGSCH meint, in den Sümpfen des Sirbonisees zu Grunde gegangen seien, sondern dass sich die Katastrophe an der Nordspitze des rothen Meeres zugetragen hätte. Es sei in Folge einer seismischen Bewegung ähnlich wie bei Potidäa ein ungewöhnliches Zurückziehen des Meeres erfolgt, die Israeliten hätten die Gelegenheit wahrgenommen, und die vom Meere verlassene nördlichste Spitze des Golfes von Suez über-

¹ J. SCHMIDT: Studien über Vulkane und Erdbeben, II. S. 138.

² E. SUESS: Antlitz der Erde, I. S. 85 u. 86.

schritten, während die Aegypter von der rückkehrenden seismischen Woge überrascht wurden.¹

Diese Erklärung scheint im Hinblick auf das historisch beglaubigte Ereigniss von Potidäa, sowie auf den Umstand, dass das seismisch erregte Meer oft erst nach Stunden zu dem früher verlassenen Strande zurückfluthete, nicht unwahrscheinlich.

Bei dem Erdbeben von Pisko in Peru (1690) umgab ein trockenes Band von zwei Meilen Breite die Küste und das Meer überschwemmte dasselbe erst wieder nach drei Stunden — wir sehen sonach, dass dieses Zurückweichen des Meeres sehr grosse Dimensionen annehmen und durch längere Zeit andauern kann. Während diese Thatsache einerseits der oben mitgetheilten Hypothese STANDFEST's, andererseits der an früherer Stelle erörterten Meinung SUSS' über die Nichtexistenz der von DARWIN behaupteten Hebung der Küste bei dem Erdbeben von Concepcion 1835, welche beide ein länger dauerndes Zurückweichen des Meeres voraussetzen, bestätigt, ist sie selbst wieder ein schwer zu lösendes Problem, zu dessen Erklärung wir heute eben nur auf den Umstand hinweisen können, dass ein auf den Rand eines Gefässes ausgeführter Stoss die enthaltene Flüssigkeit in heftige Bewegung versetzen muss.

A. v. LASAULX erwähnt ein, bei dem Erdbeben vom 26. August 1878 eingetretenes Ereigniss, welches ein gutes Beispiel für die Steigerung der Erdbebenwirkung in Flüssigkeiten giebt: „Auf dem Gerüste am Dombau zu Köln befand sich in einer Höhe von ca. 120 Meter über dem Boden ein mit Wasser gefülltes Fass, dessen obere Oeffnung ca. 1 Meter weit war. Aus demselben wurde das Wasser bis zu einer Entfernung von 2 Meter ausgeschleudert, und zwar in einer so mächtigen Welle, dass die dadurch veranlasste Entleerung 8 Centimeter Höhe vom Rande aus betrug. Am Domgerüste erfolgte keinerlei Beschädigung. Wir erkennen hieraus, wie sich die Bewegung in der Wassermasse ungeheuer steigert und mit der Grösse des Wasserbeckens wird dieses Verhältniss wachsen. Schon ein Becken von 300 Meter Durchmesser von der gleichen Intensität des Stosses getroffen, wie jenes, würde eine Welle über seinen Rand hinausgeworfen haben, die, zurückfliessend, die heftigsten Bewegungen des Wassers zur Folge gehabt hätte.“²

Erdbeben werden daher auch auf Süsswasserseen grosse Einwirkung ausüben. Von dem Lissaboner Erdbeben werden sehr ausgedehnte Wirkungen auf Seen, Teiche und Quellen berichtet. Von den Seen der schottischen Hochlande, aus England, der Mark Brandenburg, dem südlichen Schweden, aus Oberbayern, der Schweiz, aus Italien wird von einer Menge von Punkten übereinstimmend gemeldet, dass ohne die mindeste

¹ F. STANDFEST: Wie sind die Israeliten durch's Rothe Meer gekommen und die Aegypter darin verunglückt. Mittheilungen des naturwissensch. Vereins für Steiermark, Jahrg. 1890 (Graz 1891) S. 267.

² A. v. LASAULX: Die Erdbeben in KENNGOTT's Handwörterbuch der Mineralogie, Geologie u. Palaeontologie, I. S. 320.

sichtbare oder fühlbare Veranlassung die Wasserflächen der Seen in wogende Bewegung gerathen seien. Zahllose Quellen trübten sich, blieben aus, flossen stärker oder schwächer oder änderten ihre Temperatur. Von der Therme zu Teplitz wird berichtet, dass am 1. November 1755, dem Tage des Erdbebens von Lissabon, „zwischen 11 und 12 Uhr die Hauptquelle plötzlich eine so grosse Menge Wasser auswarf, dass in einer halben Stunde alle Bäder überflossen, schon eine halbe Stunde vor diesem Aufquellen war das Wasser schlammig geworden. Nachdem es hierauf beinahe eine Minute lang ganz ausgeblieben war, brach es mit grosser Gewalt hervor und warf eine grosse Menge röthlichen Ockers aus; hierauf wurde die Quelle wieder ruhig und rein wie zuvor.“¹ Bemerkenswerth ist, dass bei dem Erdbeben von Lissabon die Einwirkung auf die Seen und Quellen anscheinend weiter reichte und auf einem sehr viel grösseren Raum bemerkt wurde als die Erschütterung der Erde selbst. Es muss jedoch hervorgehoben werden, dass viel von den Berichten irrig sein mag. Manche von den gemeldeten Ereignissen mögen wirklich eingetreten sein, es ist aber fraglich, ob genau zu der Zeit, von welcher sie gemeldet werden, so dass der Zusammenhang mit der Lissaboner Erschütterung keineswegs bei allen Erscheinungen, die mit derselben in Beziehung gebracht wurden, sicher ist. Man muss bei Beurtheilung dieser Berichte in Betracht ziehen, dass die Katastrophe von Lissabon in ganz Europa die grösste Aufregung verursachte, welche durch unzählige Flugschriften, Abhandlungen, Predigten, Gedichte u. s. w. genährt wurde. Unter diesen Umständen muss man es begreiflich finden, dass erstlich die aufgeregte Phantasie der Menschen Manches zu sehen glaubte, was nicht vorhanden war, und dass zweitens jede, auch nur etwas ungewöhnliche Naturerscheinung, welche zufällig am 1. November 1755 oder an einem der unmittelbar vorhergehenden oder folgenden Tage eintrat, ohne Bedenken mit dem grossen Erdbeben in Beziehung gebracht wurde. Manche von den angeblich durch das Erdbeben verursachten Seebewegungen mögen durch ungleichen Winddruck verursachte „Seiches“ gewesen sein, nachträglich lässt sich dies natürlich nicht mehr feststellen.

Die Beeinflussung der Quellen durch Erdbeben ist eine überaus häufig zu beobachtende Erscheinung und leicht zu erklären, wenn wir berücksichtigen, dass die heftigen Bewegungen in den oberen Theilen der Erdrinde nicht leicht ohne Wirkung auf die in diesen Schichten sich bewegenden Quellläufe bleiben können. Die Störungen der Quellen durch seismische Einwirkung äussert sich bald in einer Verminderung oder vorübergehendem Versiegen, bald in einer Verstärkung, bald nur in einer Trübung oder Färbung oder auch in einer Temperaturänderung. NAUMANN führt hierfür folgende Beispiele an: „Während der Erdbeben in den Pyrenäen im Juni 1660 erkalteten die warmen Quellen von Bagnères

¹ HOFF: Geschichte der natürl. Veränder. d. Erdoberfl. (Chronik der Erdbeben und Vulkanausbrüche).

plötzlich dermassen, dass die gerade in den Bädern befindlichen Curgäste genöthigt waren, sie zu verlassen. Dagegen wurden nach GRIMALDI bei dem Erdbeben von Calabrien die Thermen von S. Eufemia, und nach COVELLI bei dem Erdbeben vom 2. Februar 1828 die heissen Quellen auf der Insel Ischia in ihrer Temperatur gesteigert. Zur Zeit des grossen Erdbebens von Lissabon wurden mehrere Quellen in der Provence getrübt und in ihrem Abflusse gestört, die heissen Quellen von Teplitz erlitten gleichfalls eine plötzliche Trübung, versiegten nachher auf kurze Zeit gänzlich, brachen aber dann, durch Eisenoxyd geröthet, mit so ungewöhnlicher Heftigkeit und Fülle hervor, dass alle Badebassins überliefen und selbst ein Theil der Vorstadt überschwemmt wurde; auch in Bristol färbten sich die warmen Quellen roth und blieben auf längere Zeit unbrauchbar. Durch das grosse Erdbeben Armeniens im Jahre 1840 wurde der Lauf der Quelle des heiligen Jacob auf dem Ararat verändert, so dass sie seit jener Katastrophe an einer anderen Stelle ausfliesst; die vorher klare Quelle bei Arguré trübte sich und erhielt einen Geschmack nach Schwefelwasserstoff, und gegen 30 Quellen im Bezirke von Nachitschewan versiegten auf einige Zeit gänzlich. Während der Erdbeben von Böhmen vom 7. bis 10. Januar 1824 verstärkten sich nach HALLASCHKA die Wasser vieler Quellen und Brunnen, wogegen sie in Algerien vor dem Erdbeben im März 1825 versiegten.“¹

Bei neueren Beben traten ähnliche Erscheinungen auf, auch bei dem Erdbeben von 1883, welches Casamicciola zerstörte, steigerte sich die Temperatur der dortigen Quellen. Hingegen verursachte das Beben von Agram vom 9. November 1880 eine Verringerung der Temperatur der Quellen des Bades Sutinsko. WÄHNER berichtet darüber: „Auch eine Wirkung des Erdbebens auf die Thermen ist hier zu verzeichnen. Die Hauptquelle hat gewöhnlich eine Temperatur von 29·9° R. Zwei Stunden nach der Erschütterung vom 9. November wurde das Bad benutzt, und es fiel sogleich ein Mangel an Dämpfen auf; die Temperatur aber war auf 27° gesunken. Diese kühlere Temperatur hielt durch fünf Tage an; am sechsten war dieselbe schon etwas höher. Aber die Dampfentwicklung soll an dem Tage meines Besuches (24. November) noch nicht in der früheren Stärke wiederhergestellt gewesen sein. Die Temperatur der zweiten kühleren Quelle war von 24° auf 18° gesunken.“² In Krapina-Töpliz bewirkte das Beben vom 9. November nicht die geringste Veränderung in der Temperatur, weder sogleich noch später. Das Wasser wurde jedoch getrübt und die Ergiebigkeit der Quellen für kurze Zeit erhöht, zu Mittag waren jedoch beide Erscheinungen vorüber,³ und die Quellen flossen wieder vollkommen rein und in der früheren Menge.

¹ C. F. NAUMANN: Lehrbuch der Geognosie, I. S. 242.

² F. WÄHNER: Das Erdbeben von Agram am 9. November 1880, Sitzungsber. d. k. Akad. d. Wiss. Wien, 88. Bd., 1883. S. 112 des S.-A.

³ Ebenda, S. 117.

Die sehr auffallende Erscheinung des Herausschleuderns grosser Wassermassen, welche häufig an Quellen und Brunnen bei Erdbeben beobachtet wird, hat ihre Ursache in den bereits oben (S. 99) erörterten heftigen Bewegungen in den von Grundwasser erfüllten Alluvionen.

Am 12. Januar 1862 wurde die ganze südliche Umgebung des Baikal-Sees von einem heftigen Schläge getroffen, und zwar insbesondere das Delta des in denselben mündenden Flusses Selenga. Die Steppe östlich vom Selenga, auf welcher sich eine Burjäten-Niederlassung befand, senkte sich auf eine Länge von etwa 21 Kilometer und eine Breite von 9.5—15 Kilometer zur Tiefe, Wässer brachen allenthalben hervor, wurden auch aus den Brunnen hervorgestossen, endlich trat das Wasser des Baikal in die grosse Senkung und füllte sie ganz mit Wasser an. Springquellen entstanden an vielen Orten, so zwischen dem Dorfe Dubinin und der Steppe Sagansk. In der Ortschaft Kudara wurden die Holzdeckel der Brunnen wie Stöpsel aus Flaschen in die Höhe geschleudert, und es erhoben sich Quellen von lauem Wasser stellenweise bis zur Höhe von drei Sagenen (6.4 Meter).¹

Aehnliches Austreten des Grundwassers erfolgte in den Alluvionen des Mississippi bei dem Beben vom 6. Januar 1812 in der Nähe der Stadt New-Madrid. Damals wurde indess auch ein kleiner See, Lake Eulalie bei New-Madrid, plötzlich durch Spalten entwässert, die sein gedichtetes Bett zerrissen und das Wasser in das tiefer liegende Grundwasser entleerten.²

Dass Bach- und Flussläufe durch Erdbeben, insbesondere durch die von den Erschütterungen veranlassten Rutschungen und Bergstürze in hohem Grade beeinflusst werden können, dafür wurden bereits zahlreiche Beispiele (siehe S. 95) angeführt.

Nachdem wir die wesentlichen bei Erdbeben eintretenden Erscheinungen, insbesondere ihre Einwirkung auf Boden, Luft und Wasser kennen gelernt haben, wollen wir auch den oft behaupteten Einfluss, welchen Erdbeben auf Magnetismus und Elektrizität ausüben sollen, einer kurzen Erörterung unterziehen. Es mag aber gleich am Eingange dieser Betrachtungen betont werden, dass sie lediglich der Vollständigkeit halber angestellt werden, weil eben so oft behauptet wurde, dass elektrische und magnetische Erscheinungen in Begleitung der Erdbeben wahrgenommen worden sind.

NAUMANN sagt über das Auftreten auffälliger elektrischer Erscheinungen: „So beobachtete z. B. HUMBOLDT während des Erdbebens in Cumana eine merkwürdige Erregung der atmosphärischen Elektrizität, indem das Elektroskop in raschem Wechsel bald positive, bald negative Elektrizität anzeigte. Desgleichen fand VASALLI-EANDI während der Erd-

¹ PERREY: Note sur les tremblements de terre en 1862, S. 111 u. folg., — 1863, S. 67—92, citirt in SUESS: Antlitz der Erde, I. S. 44.

² LYELL: Principles of Geology, 11. Ed., II. S. 109.

beben in Piemont im Frühjahr 1808 die Atmosphäre in hohem Grade elektrisch. Auch ist es eine in Südamerika allgemein verbreitete Meinung, dass die Erdbeben mit der Häufigkeit der Gewitter im umgekehrten Verhältnisse stehen; eine Meinung, welche sich auch für den Staat Louisiana in Nordamerika vor den Erdbeben von 1812 und 1813, und für die neapolitanische Provinz Molise im Jahre 1805 bestätigt zu haben scheint.“¹

Hierzu wäre zu bemerken, dass manche von den angeführten Erscheinungen (Gewitter) wahrscheinlich mit den Erderschütterungen in gar keinem Zusammenhang stehen (wie schon oben, S. 107 erwähnt wurde), dass andere elektrische Erscheinungen, wie die von HUMBOLDT und VASALLI-EANDI beobachteten möglicherweise mit den Erdbeben zusammenhängen, aber lediglich als von besonderen Umständen abhängige, seltene Nebenerscheinungen, welche weder mit der Ursache der Erschütterungen zusammenhängen, noch unter den Folgewirkungen eine besondere Rolle spielen. Die mannigfachen Bewegungsvorgänge bei Erdbeben mögen leicht Veranlassung zu elektrischen Erscheinungen geben, ohne dass es freilich in den seltenen Fällen, in welchen solche überhaupt zuverlässig beobachtet wurden, möglich wurde, den Zusammenhang sicher nachzuweisen. Es bleibt immer noch die Vermuthung offen, dass es sich da um Erscheinungen handle, die bloß zufällig zur selben Zeit eingetreten seien.

Noch schlimmer steht die Sache in Bezug der magnetischen Wirkung der Erdbeben. Auch hier mögen NAUMANN's Angaben, welche die Wahrnehmungen mehrerer Beobachter in Kürze gegenüberstellen, wiedergegeben sein: „Endlich will man auch eine Einwirkung der Erdbeben auf die Magnetnadel und den Erdmagnetismus beobachtet haben. KANT hat mehrere ältere Beobachtungen der Art zusammengestellt, welche jedoch nur auf mechanische Störungen zurückzuführen sein dürften. Dagegen fand HUMBOLDT in Cumana und Lima, nach den dortigen Erdbeben von 1799 und 1802, eine auffallende Verminderung der magnetischen Inclination. Unregelmässige Oscillationen der Magnetnadel beobachtete ARAGO während der Erderschütterung in Paris am 19. Februar 1822, wie sie denn auch bei anderen Erdbeben vorgekommen sind, ohne deshalb gerade auf eine wirkliche Störung der magnetischen Richtkraft zu verweisen. Auch sind genug Fälle bekannt, da die Erdbeben gar keine Wirkung auf die Magnetnadel gezeigt haben. So konnte ERMAN bei dem Erdbeben von Irkutsk am 8. März 1828 in der Lage der Nadel eines Gambey'schen Declinatoriums durchaus keine Störung entdecken und HUMBOLDT führt an, dass er in Quito während heftiger Erderschütterungen niemals eine Einwirkung auf die Magnetnadel beobachtet habe, was auch VASALLI-EANDI von den Erdbeben in Piemont bestätigt.“²

Eine bei vielen Erdbeben constatirte, aber keineswegs einfach zu erklärende Thatsache ist die Beeinflussung der magnetischen Apparate in

¹ C. F. NAUMANN: Lehrbuch der Geognosie, I. S. 207.

² C. F. NAUMANN: a. a. O. S. 208.

Observatorien, welche oft recht weit von dem Ausgangspunkt der Erschütterung liegen.

Das Erdbeben, welches am 23. Februar 1887 so grosse Zerstörungen im südlichen Frankreich und den anstossenden Theilen Italiens anrichtete, hat die selbstregistrirenden magnetischen Instrumente der Observatorien von Perpignan, Lyon, Paris, Greenwich, Wilhelmshafen, Wien, Pola, Brüssel, Nantes und Lissabon in ähnlicher Weise gestört, wie das andalusische Erdbeben vom 25. December 1884 die Instrumente von Lissabon, Greenwich und Wilhelmshafen. In dem grossen Bericht der Mission d'Andalousie über das letztere Erdbeben finden wir eine sehr interessante Erörterung dieser Erscheinungen.¹

Bei dem Erdbeben vom 25. December 1884 wurden die Störungen von den magnetischen Instrumenten in Lissabon sehr genau verzeichnet. Die drei Curven der horizontalen und der verticalen Componente sowie der Declination zeigen sämmtlich um 9 Uhr 19 Minuten eine plötzliche Unterbrechung. Die stärkste Störung weist die Declinationscurve, die schwächste hingegen die Curve der verticalen Componente auf. Die Störungen dauerten etwa 12 Minuten, sie sind durchaus verschieden von jenen, welche durch den Einfluss der Erdströme zu Stande kommen und ähneln jenen, welche ein schwacher Strom in geringer Entfernung von den magnetischen Apparaten hervorruft. Am 22. December 1884, drei Tage vor dem grossen andalusischen Erdbeben hat ein starker zu Lissabon und Funchal verspürter Erdstoss die drei magnetischen Apparate zu Lissabon in ähnlicher Weise beeinflusst, wie das Beben vom 24. Die Störungen der Curven begannen am 22. um 4 Uhr 15 Minuten Morgens, die grösste Perturbation zeigte diesmal die Curve der verticalen Componente, es dauerte diese Störung ungefähr eine halbe Stunde und zeigte sehr deutlich eine Reihe von vier allmählich schwächer werdenden Anschwellungen. —

Aehnliche Wahrnehmungen wurden auch bei den früher angeführten Fällen gemacht. Es zeigte sich aber, dass die bei einem Erdbeben wahrgenommenen Störungen der magnetischen Apparate an den einzelnen Orten nicht im selben Momente eintraten. Bei dem Erdbeben vom 25. December 1884 traten die Störungen der Instrumente an dem Observatorium zu Lissabon um 9 Uhr 19 Minuten, in jenem von Paris um 9 Uhr 24 Minuten, in jenem von Greenwich um 9 Uhr 24 Minuten 21 Secunden, in jenem von Wilhelmshafen um 9 Uhr 28 Minuten 47 Secunden ein. Der Unterschied zwischen der Einzeichnung von Lissabon und Wilhelmshafen beträgt über 9 Minuten, so dass er über die Grenze des möglichen Fehlers hinausgeht. Bei den durch die gebräuchlichen selbstregistrirenden magnetischen Instrumente verzeichneten Curven entspricht die Länge von 10—15 mm dem Zeitraum einer Stunde, ein Millimeter Länge also 4—6 Minuten, und da man mit Leichtigkeit den dritten

¹ Études relatives au tremblement de terre du 25. Décembre 1884. Mém. Acad. des Sciences, XXX. No. 2. Paris 1889. S. 11—16.

Theil eines Millimeters abschätzen kann, ist der mögliche Fehler höchstens 2—3 Minuten. Es geht daraus mit Bestimmtheit hervor, dass die Störungen in Wilhelmshafen und Lissabon nicht gleichzeitig eintraten, sondern sich an ersterem Orte mehrere Minuten später zeigten als an letzterem.

Die Erfahrungen bei dem Erdbeben vom 23. Februar 1887 bestätigten diese Wahrnehmungen der Ungleichzeitigkeit des Eintrittes solcher Störungen, denn in Frankreich wurde bei diesem Erdbeben der Eintritt der Störungen um 5 Uhr 45 Minuten Morgens registriert, in Lissabon und Wilhelmshafen aber um 5 Uhr 50 Minuten.

Man kann demnach nicht annehmen, dass diese Störungen einfach durch einen Erdstrom entstehen, der sich weithin mit der gewöhnlichen Geschwindigkeit der Elektrizität fortpflanzt, wohl aber ist es fraglich, ob sie durch eine unmittelbare Bewegung des Bodens hervorgerufen werden, oder aber durch locale elektrische Ströme, welche durch die Verbreitung der Erschütterung in grösserer Ferne verursacht werden. Die erstere Ansicht ist die nächstliegende. Nichts spricht dagegen, dass ein Erdstoss sich weithin fortpflanzt und in der Ferne eine Metallstange in Bewegung setzt, welche so aufgehängt ist, wie dies bei den magnetischen Instrumenten der Fall ist. Eine einfache Wellenbewegung, welche nur solche Instrumente in Bewegung setzen sollte, die vertical beweglich sind, verändert sich rasch bei ihrer Fortpflanzung, sie zerlegt sich nach verschiedenen Richtungen und kann daher die verschiedenen Instrumente zur Beobachtung des Erdmagnetismus beeinflussen. In der That sehen wir, dass ähnlich aufgehängte Massen eines Metalles wie Kupfer, mit grosser Empfindlichkeit die geringsten Erderschütterungen anzeigen. Solche Instrumente sind in den meisten italienischen Observatorien als Mikroseismographen in Gebrauch, und da sie gegen die schwächsten Bewegungen des Bodens empfindlich sind, muss dies auch wohl bei den magnetischen Apparaten der Fall sein. Die Untersuchung der Function der magnetischen Apparate der beiden Observatorien zu Paris veranlasst jedoch gewichtige Einwände.

Man muss sich zunächst fragen, weshalb diese beiden Observatorien, die Andalusien näher liegen als jene von Greenwich und Wilhelmshafen, durch das Erdbeben vom 25. December 1884 weniger beeinflusst wurden, als diese. Nun ist das Unterbleiben der Störungen im Observatorium von Montsouris und ihre Schwäche in jenem von Saint-Maur der Construction der Apparate zuzuschreiben, welche an zu kurzen Fäden aufgehängt und mit einem zu langsam gehenden Registrirwerk versehen sind. Es ist das ein allen französischen selbstregistrirenden magnetischen Apparaten eigener Fehler, und es scheint, dass man denselben (für Paris wenigstens) absichtlich diese Trägheit gegeben hat, um den Einfluss der Bodenbewegung auf die magnetische Einzeichnung zu vernichten. Zu Saint-Maur fährt die Eisenbahn 200 Meter von dem Observatorium ohne merkbare Störungen in der Einzeichnung der Linien zu verursachen, zu Montsouris geht die Bahn nach Sceaux 150 Meter vom Observatorium

vorbei und die Gürtelbahn unter demselben selbst durch, so dass bei jeder Passage eines Zuges der Boden erschüttert wird und man fühlt, dass Alles im Gebäude zittert, und doch zeigen die magnetischen Curven keine Spur dieser wiederholten Bewegungen, welche jedesmal mehrere Minuten dauern. Man muss also annehmen, dass diese registrirenden magnetischen Apparate schlechte Mikroseismographen sind, aber weshalb haben sie dann in gewissen Fällen so deutliche Aufzeichnungen gegeben wie z. B. am 23. Februar 1887? Wie gross auch die Heftigkeit des damaligen Erdbebens gewesen sein mag, so ist es doch schwer verständlich, dass es die magnetischen Apparate der Observatorien von Paris mit grösserer Energie bewegen konnte, als die in unmittelbarer Nähe verkehrenden Eisenbahnzüge. Und wenn man die Idee der unmittelbaren Fortpflanzung der Bodenerschütterung verwirft, bleibt nur die ziemlich zweifelhafte Hypothese localer elektrischer Ströme, welche durch das entfernte Erdbeben verursacht werden.

Die Beobachtung der registrirenden magnetischen Apparate auf der einen, der Mikroseismographen auf der anderen Seite muss diese Frage lösen, da ja die letzteren dem Einfluss der Ströme nicht ausgesetzt sind. Nun sind aber diese beiden Arten von Apparaten bisher in verschiedenen Observatorien aufgestellt und es ist fast unmöglich, sie zu controliren und ihre Zeitangaben zu vergleichen. Man hat auch in den mit Mikroseismographen ausgestatteten Anstalten bisher sich nicht damit beschäftigt, Daten in dieser Richtung zu sammeln. Der Schluss, welchen die „Mission d'Andalousie“ aus dieser Discussion zieht, geht dahin, dass die magnetischen Apparate und die Mikroseismographen unmittelbar nebeneinander aufgestellt und in gleicher Weise selbstregistrirend eingerichtet werden müssen. Es wäre dabei Sorge zu tragen, dass die Einzeichnungen bis auf eine halbe Minute genau wären.

Es bedarf aber wohl kaum weiterer Erhebungen, um die von der „Mission d'Andalousie“ als noch offen behandelte Frage mit Sicherheit dahin zu beantworten, dass die Beeinflussung der magnetischen Apparate in diesen Fällen als eine rein mechanische, durch die weite Verbreitung der Bodenbewegung selbst hervorgerufene bezeichnet werden muss. Nach mündlichen Mittheilungen des Directors der k. k. Centralanstalt für Meteorologie und Erdmagnetismus auf der hohen Warte bei Wien, des Hofrathes F. HANN, waren die daselbst durch Erdbeben veranlassten Störungen der Magnete leicht als rein mechanische zu erkennen, — sie glichen vollkommen denjenigen, welche ein anderes Mal durch das Einschlagen von Pflöcken im Garten der Anstalt verursacht wurden.

Es fungiren eben die selbstregistrirenden, leicht beweglich aufgehängten Magnete wie Seismometer, und da wir wissen, wie weit bei Erdbeben die Fernwirkung geht und geeignete Instrumente (Mikroseismographen) zu beeinflussen im Stande ist, darf uns dies nicht wundern. Viel merkwürdiger sind jedoch, wenn anders der angenommene Zusammenhang wirklich besteht, die Wahrnehmungen der Astronomen auf der Stern-

warte von Pulkowa bei Petersburg. Ungeachtet der sorgfältigsten Einrichtung und tiefen Fundirung der Instrumente, welche jede Erschütterung ausschliessen soll, bemerkt man zuweilen leise Zuckungen der Fadenkreuze in den Teleskopen. Man glaubt nun in Pulkowa gefunden zu haben, dass diese Vibrationen der Zeit nach mit den grossen Erdbeben Südamerika's zusammenfallen und nichts anderes sind als die Wirkungen jener Stösse, welche sich mitten durch die ganze Masse der Erde fortpflanzen und sich an den Instrumenten noch fühlbar machen. Wahrscheinlicher ist es, dass die beobachteten Erzitterungen von mikro-seismischen Bewegungen herrühren, die eine andere Ursache (heftigen Wind, vergl. oben S. 110) haben mögen. Dies wird wahrscheinlich, wenn wir erwägen, dass DE ROSSI mikro-seismische Erzitterungen in der Grotte von Roca die Papa 18 Meter unter der Erdoberfläche beobachtete und JOHN MILNE nachwies, dass durch Wind hervorgerufene mikro-seismische Bewegungen sich in grösseren Distanzen vom Erregungsorte fühlbar machen können.

Es erübrigt uns noch, der Einwirkung zu gedenken, welche heftige Erdbeben auf Mensch und Thier ausüben. Wie schon im Eingange der historischen Einleitung mit den Worten A. v. HUMBOLDT's hervorgehoben, ist der Eindruck, welchen die erste wahrgenommene Erderschütterung auf den Menschen ausübt, ein ausserordentlich grosser; ebenso wie HUMBOLDT äussert sich hierüber CH. DARWIN: „Ein schlimmes Erdbeben zerstört auf einmal unsere ältesten Associationen; die Erde, das wahre Sinnbild der Festigkeit, hat sich unter unseren Füssen, wie eine dünne Kruste auf einer Flüssigkeit bewegt; — eine einzige Secunde Zeit hat im Geiste ein fremdartiges Gefühl der Unsicherheit hervorgerufen, welches Stunden von Nachdenken nicht erzeugt haben würden.“¹

Aehnliche Betrachtungen finden wir in den Schriften Seneca's: „Quid enim cuiquam satis tutum videri potest si mundus ipse concutitur etc.“ („Was kann man noch für sicher genug halten, wenn die Erde selbst erschüttert wird“ u. s. w.) — Natural. Quaest. VI. 1.

Wie heftig aber wiederholte, verderbenbringende Erdstösse auf das Gemüth des Menschen einwirken können, mag folgendes lehren. Die Insel Chios an der kleinasiatischen Küste wurde am 3. April 1880 um 1 Uhr 42 Minuten Nachmittags von einem furchtbaren Erdbeben heimgesucht. Die Erschütterungen wiederholten sich durch längere Zeit, am 11. April 7 Uhr Abends verwandelte ein heftiger Stoss die Ruinen der Stadt Chios in Trümmer, die noch stehenden Häuser in Ruinen. Professor CHRISTOMANOS aus Athen zählte von 7 Uhr 14 Minuten Nachmittags des 11. bis 7 Uhr 14 Minuten Vormittags des 12. April 68 Stösse. Von 17 000 Häusern wurden 14 000 zerstört, es wurden 3541 Menschen getödtet, 1160 verwundet. Das Elend und der Jammer der Einwohner

¹ CH. DARWIN: Reise eines Naturforschers um die Welt, übers. von J. W. CARUS; zweite Gesamtausgabe, 1. Bd. S. 346.

waren furchtbar. Sehr merkwürdig und bezeichnend für die moralische Wirkung der Erdbeben ist der Bericht, den ein Arzt auf Chios, Dr. SCHWARZ, an G. VOM RATH sandte: „Die heftigen, oft wiederholten Gemüthsbewegungen haben viele nervöse Erkrankungen hervorgerufen. Mit Bedauern muss ich mittheilen, dass der grösste Theil des jungen weiblichen Geschlechtes nach dem Beginne der Erdbeben erkrankte und zwar theils an Epilepsie, theils an spasmodischen Anfällen. Nach der ersten schrecklichen Katastrophe verliess die Mehrzahl der Bewohner die Stadt Chios, es blieb aber immer noch eine ziemliche Anzahl zurück. Wenn ein Menschenkenner jetzt diese elenden, mehr bläulich als röthlich gefärbten Antlitze erblickt, so muss ihn wundernehmen, dass Furcht und Schrecken eine solche Verwandlung bewirken können.“

Zahlreiche Schilderungen der Lissaboner Katastrophe vom 1. November 1755 schildern mit den lebhaftesten Farben die eingetretene Zerstörung der Stadt, den Untergang zahlreicher Bewohner und den Schrecken und das Elend der Ueberlebenden. Ein beredtes Zeugniß davon giebt ein in M. NEUMAYR's Erdgeschichte vollständig wiedergegebener Brief eines Ungenannten an „Tit. Herrn Rathsherrn Ruffier, vornehmen Handelsmann zu Strassburg,“¹ von welchem, unter dem frischen Eindrucke der Geschehnisse verfassten Schreiben hier jener Theil mitgetheilt sein mag, welcher die Wirkung des Erdbebens auf den Briefsteller schildert: — „Es war den ersten dieses, da ich des Morgens einige Verkaufrechnungen auszog auf unserem Contor, und nichts als Hosen, Strümpfe und Pantoffeln anhatte und einen alten Schlafrock; damit aber keinen Heller noch Pfennig: da hörte ich auf einmal ein entsetzliches Prasseln; ich loff hinaus zu sehen, was das wäre, und kam glücklich mit den übrigen in unsern Hof, allwo wir fast die ganze Stadt übersehen können. O ewiger Gott! wie betrübt war das anzusehen! Die Erde ging Ellen hoch auf und nieder. Die Häuser aller Orten fielen mit einem entsetzlichen Prasseln alle übereinander. Die Carmeliter, so auf dem Berg über uns wohnten, Kirch und Kloster, so sehr gross, ging hin und her, so dass wir besorgten, alle Augenblick davon bedeckt oder von der Erde lebendig verschlungen zu werden. Es war die Sonne so verfinstert, dass wir einander nicht sahen. Wir glaubten und waren gänzlich beredt, dass das letzte Gericht herbei kommen. Diese entsetzliche Bewegung dauerte was über eine achtel Stunde; alsdann war es wieder ein wenig stille; da wir unsere Flucht nahmen, ein jeder in seinen Nachtkleidern, wie oben beschrieben, nicht weit von uns auf den grossen Platz, allwo wir über die zerfallene Häuser und Menschen mit grösster Lebensgefahr angelangt. Wir blieben allda etwan 3 Stunden und waren über 4000 Menschen schon versammelt, einige in blossen Hembdern, andere ganz nackend; der Tod auf allen Gesichtern gemalt; mit unzählig vielen Blessirten, welche alle um Gottes Barmherzigkeit anrufen, und ware das Geschrey erbärmlich. Einige

¹ M. NEUMAYR: Erdgeschichte, I. S. 271—273.

Geistliche kamen herbey, sprachen zu und gaben die Generalabsolution, welches einigen Trost gabe; und empfing jeder männiglich solche Absolution mit Eifer und gläubigem Herzen. Hier kam wieder die Erdbebung, so ungefähr noch eine achtel Stunde dauerte; darauf war etwan eine Stunde Ruh, bis das Gerücht von der See kam, dass das Wasser über alle Maassen gestiegen und wenn wir nicht flüchteten, wir untergehen würden. Gedenken Euer Excellenz, wie es uns hier zu Muthe war. Alle Gassen waren verstopft durch den Umfall der Häuser; jedennoch wagte ich alles mit etlichen Freunden; wir klammerten über die Steine und todten Menschen; und solches über eine Viertelstunde lang, allwo wir endlich, dem Höchsten zu Dank! unter vieler Todesgefahr auf das freie Feld gerathen. Ich habe viel Todesangst ausgestanden. Gott sei gelobt! dass er mir bis anhero geholfen. Es wird mir diese Strafe des Allmächtigen, die wir mit unseren Sünden verdient, nimmer aus dem Gedächtniss kommen, auch werde ich meine Seligkeit mit mehrerm Ernst zu suchen wissen.“ — —

Die Mohamedaner pflegen beim Eintritt eines Erdbebens ein Gebet zu murmeln:

„Wenn die Erde bebt ihr Beben,
 „Wenn sie will ihre Lasten von sich geben,
 „Wenn die Menschen: Was ist ihr? fragen,
 „Nur die Erdstöße die Antwort sagen — u. s. w.

Es ist dies die 99. Sure des Koran, welche auch ihres Inhaltes wegen den Namen „das Erdbeben“ führt; sie handelt aber vom Untergang der Welt und der gläubige Moslim wird sonach bei jedem Erdbeben an das Weltende erinnert.

Ausführlich behandelt JOHN MILNE in einer sehr interessanten Abhandlung über die Wirkungen der Erdbeben auf den Menschen die mannigfachen Auswüchse des religiösen Aberglaubens, welche durch Erdbeben verursacht wurden, die man als göttliche Mahnungen oder Strafgerichte betrachtete wie jenes vom 8. November 1608 in Schottland, jenes vom 6. April 1580, vom 8. September 1691, vom 8. Februar und 8. März 1750 in England, die daselbst in ähnlicher Weise die Gemüther beeinflussten und zu religiösen Uebungen u. s. w. veranlassten, wie dies im Süden Italiens und auf Sicilien, z. B. bei der Zerstörung von Palermo am 2. September 1726, nach dem zerstörenden Erdbeben vom 5. Juni 1688, und anlässlich der schweren Erschütterungen, welche 1692 Sicilien bestrafen, der Fall war.¹

Andererseits bildet sich dort, wo Erdbeben eine häufige, fast alltägliche Erscheinung sind, wie in manchen Gegenden Südamerika's, grössere Gleichgültigkeit gegen eine so furchtbare und gefahrdrohende Naturgewalt aus, man sucht nur bei den ersten Erzitterungen des Bodens, welche so

¹ JOHN MILNE: Earthquake Effects, Emotional and Moral, Transactions of the Seismological Society of Japan, Vol. XI. 1887. S. 91.

oft den gewaltigeren Bewegungen desselben vorhergehen, so rasch als möglich die Häuser zu verlassen und Gassen und Plätze zu gewinnen. So berichtet DARWIN von der fast gänzlichen Zerstörung der Stadt Concepcion bei dem Erdbeben vom 20. Februar 1835: „Das Erdbeben begann Vormittags halb zwölf Uhr. Wäre es mitten in der Nacht gewesen, so hätte die grössere Zahl der Einwohner (die sich in dieser einen Provinz auf viele Tausende beläuft) umkommen müssen, während so nur weniger als hundert umgekommen sind: wie es nun war, so hat die ausnahmslos befolgte Gewohnheit, beim ersten Erzittern des Bodens aus dem Hause ins Freie zu laufen, sie ganz allein gerettet.“¹ Er berichtet weiter auch recht unangenehme Beweise für die Vertrautheit der Bewohner mit den Schrecken der seismischen Vorgänge: „Die, welche irgend welche Besitzthümer gerettet hatten, waren genöthigt, beständig Wache zu halten; denn überall schlichen Diebe herum, bei jedem kleinen Erzittern des Bodens schlugen sie mit der einen Hand an ihre Brust und schrien „Misericordia“ und stahlen mit der anderen von den Ruinen weg, was sie nur bekommen konnten.“

Man muss zugeben, dass heftige und wiederholte Erdbeben die von ihnen betroffenen Länder in jeder Weise zu Grunde richten, sie verwandeln früher hochcultivirte Gegenden in Wüsten oder hemmen die Entwicklung anderer; — ersteres ist in manchen Gebieten des Orientes der Fall gewesen, letzteres gilt zumal für die Westküste Südamerika's. „Erdbeben allein,“ sagt DARWIN mit Recht, „sind im Stande, die Wohlhabenheit jedes Landes zu zerstören. Wenn unter England die jetzt unthätigen unterirdischen Kräfte ihre Macht ausüben würden, wie sie dieselbe ganz zuverlässig in früheren geologischen Perioden ausgeübt haben, wie vollständig würde der ganze Zustand des Landes geändert werden! Was würde aus den hohen Häusern, aus den dicht zusammengepackten Städten, den grossen Fabriken, den schönen öffentlichen und privaten Gebäuden werden? Wenn die neu eintretende Periode der Störung zuerst mit einem grossen Erdbeben in der tiefsten Stille der Nacht einträte, wie fürchterlich würde das Gemetzel sein! England würde sofort bankerott sein; alle Papiere, Berichte und Urkunden würden in dem Augenblicke verloren gehen. Die Regierung würde nicht im Stande sein, Steuern einzucassiren und ihre Autorität aufrecht zu erhalten; die Handlungen des Raubes und der Gewalt würden ohne Controle bleiben. In jeder grossen Stadt würde Hungersnoth ausbrechen und Seuchen und Tod dieser folgen.“ — —

JOHN MILNE erörtert in seiner oben bereits erwähnten Abhandlung auch den Einfluss, welchen häufige Erdbeben auf die Entwicklung des National-Charakters ausüben müssen, er verweist auf gemeinschaftliche Eigenthümlichkeiten der Griechen, Italiener und Spanier, die möglicher-

¹ CH. DARWIN: Reise eines Naturforschers um die Erde, gesammelte Werke, übers. von CARUS, 2. Ausgabe, 1. Band. S. 349.

weise daher rühren, dass diese Völker Gegenden bewohnen, die oft durch Erdbeben betroffen werden. Im Anschlusse an die oben mitgetheilte Ansicht DARWIN'S meint MILNE, dass die seismischen Kräfte Südamerika's, nach Deutschland oder England versetzt, nicht nur den Wohlstand dieser Länder von Grund aus vernichten, sondern auch die Völker selbst in ihrem Charakter, in ihren Sitten erniedrigen müssten.¹

Werfen wir nun noch einen Blick auf den Einfluss der Erdbeben auf die Thierwelt. Er gilt vor allem der seit dem grauen Alterthume oft angeführten und zuweilen bezweifelte Thatsache, dass viele Thiere die Erdbeben früher wahrnehmen als der Mensch, dass sie durch gewisse Vorzeichen beunruhigt, selbst als warnende Propheten zu dienen vermögen. Es wird erzählt, dass Vögel vor dem Eintritte der Erdbeben scheu umherflattern, verschiedene Hausthiere unverkennbare Zeichen der Angst und Unruhe erkennen lassen und dass insbesondere unterirdisch lebende Thiere ihre Schlupfwinkel verlassen und an die Erdoberfläche flüchten. Manche dieser Erzählungen mögen gewiss auf ungenauen Beobachtungen beruhen oder selbst als blosse Phantasiegebilde zu betrachten sein, es liegen jedoch so viele Berichte darüber vor, dass Thiere früher als der Mensch das Herannahen einer Erderschütterung wahrgenommen hätten, dass wir hierfür eine Erklärung suchen müssen. Man darf dieselbe aber nicht in einer „instinctiven Prophetengabe der unvernünftigen Creatur“ suchen, sondern darin, dass die leisen Erzitterungen, welche zumeist der Hauptbewegung um mehrere Minuten — selbst Stunden oder Tage vorangehen, von den Thieren theils ihres Aufenthaltsortes, theils ihrer feineren Sinne wegen leichter bemerkt wurden und die Thiere dadurch in Unruhe und Angst versetzt werden mussten. Etwa zwei Stunden vor dem grossen Erdbeben, welches Concepcion am 20. Februar 1835 zerstörte, wurde die Bevölkerung durch den ganz ungewöhnlichen Umstand überrascht, dass sehr grosse Züge von Seevögeln sich landeinwärts bewegten. Dies kann nur dadurch erklärt werden, dass schon früher eine schwächere Erschütterung stattfand, welche sich der leicht beweglichen Masse des Seewassers mittheilte und die Seevögel durch ein Seebeben beunruhigte, während diese Erschütterung auf dem Festland gar nicht wahrgenommen wurde.

Von dem calabrischen Erdbeben von 1783 wird berichtet, dass Hausthiere, Geflügel sowohl als vierfüssige Thiere vor dem Eintritte der Erschütterung hochgradig beunruhigt waren, sie irrten unsicher hin und her und schienen innerlich bestürzt und bewegt.

Es ist leicht begreiflich, dass höhere Thiere, wie Pferde, Hunde u. s. w., die mit so scharfen Sinnen begabt sind, durch die feinen Bewegungen des Bodens, welche der Mensch noch nicht fühlt, hochgradig bewegt und beunruhigt werden. Vor der Zerstörung von Talcahuano bei dem chile-

¹ JOHN MILNE: Earthquake Effects, Emotional and Moral, Transactions of the Seismological Society of Japan, Vol. XI, Yokohama 1887. — Vergleiche insbesondere S. 109—111.

nischen Erdbeben vom 20. Februar 1835 entflohen alle Hunde aus der Stadt. Andererseits gewöhnen sich solche höher stehende Thiere bis zu einem gewissen Grade an andauernde Erschütterungen. So berichtet J. SCHMIDT, dass bei dem grossen phokischen Erdbeben (August 1870) die Pferde sich allmählich an die Erscheinung gewöhnten: „Das Pferd, welches ich ritt, und in Itea sorgsam in der Mitte der Strasse hielt, nahm von dem grossen Stoss und dem Lärm des Gesteines keine Notiz, so sehr hatten sich die Thiere seit sieben Tagen an das Erdbeben gewöhnt.“¹

Es liegen aber auch zahlreiche Berichte über Einwirkungen der Erdbeben auf niedriger stehende Thiere vor. Aelian 11. 19 erzählt: „Fünf Tage vor dem Untergange von Helike zogen alle Mäuse, die Wiesel, Schlangen, Skolopender und Sphondylen und die anderen Thiere dieser Art in Masse auf dem nach Korja (Kerynia?) führenden Wege aus. Auch zehn von dem Spartaner Pellis befehligte Schiffe gingen zu Grunde.“ J. SCHMIDT, welcher zeigte, dass das Erdbeben von Aigion 1861 in ganz ähnlicher Weise einen Ufersaum in jener Gegend Achaja's versinken liess, wie das Beben von 373 v. Chr., bei welchem Helike zu Grunde ging, bemerkt hierzu: „Durch einen Theil der Nachrichten wird es wahrscheinlich, dass das Erdbeben im Sommer stattfand, denn im Winter konnten sich Schiffe an jener Küste nur schwer halten wegen der Gewalt der Nordstürme, und Schlangen und Skolopender sind im Winter zu Wanderungen unfähig, so wahr es übrigens sein mag, dass solche Thiere ein Vorgefühl des Erdbebens haben.“² Ein solches „Vorgefühl“ kann freilich nur in der Beunruhigung der Thiere durch die dem Katastrophenstoss vorangehenden, feineren Erzitterungen des Bodens gesucht werden, während die Grösse der herannahenden Gefahr den Thieren vollkommen unbekannt sein wird, geradeso wie die Gänse, die durch ihr Schnattern den beabsichtigten Ueberfall des Capitols verriethen, keine Vorstellung von der Art der eintretenden Gefahr hatten.

Allerdings werden zuweilen Einwirkungen der Erderschütterungen auf Thiere behauptet, welche unmöglich in der vermutheten Weise stattgefunden haben können. Dies ist beispielsweise der Fall bei dem Erscheinen des asiatischen Steppenhuhnes in Europa 1888, welches angeblich durch Erdbeben verursacht sein soll. RUDOLF RÖTTGER sagt darüber: „Aber noch eine Wirkung des Erbebens der Erde ist hier zu verzeichnen. Bekanntlich kam im Frühjahr 1888 das asiatische Steppenhuhn in Schaaren nach Centraleuropa um dann trotz aller Hegung und Schonung plötzlich wieder zu verschwinden. Wäre es nun ein blosser Zufall, dass diese Thiere die Heimath, an der sie, wie ihre rasche Rückkehr dahin beweist, so sehr hängen, gerade um die Zeit verlassen, wo das Erzittern der Erde so stark ist, dass es nach seinem Charakter bis ins Innere von Europa

¹ J. SCHMIDT: Studien über Vulkane und Erdbeben, II. Leipzig 1881. S. 129.

² J. SCHMIDT: Studien über Vulkane und Erdbeben, II. Leipzig 1881. S. 140.

erkannt und verfolgt werden kann?¹ Diese Annahme ist schon deshalb irrig, weil das Steppenhuhn auch in seiner Heimath ein Nomadenleben führt und gegen den Winter zu wandert. Im Jahre 1888 (und ebenso 1863) gelangten grössere Züge von *Syrrhaptus paradoxus* Pall. nach Mitteleuropa, aber auch in anderen Jahren kam das Steppenhuhn in kleineren Zügen vereinzelt vor, es ist also jedenfalls die grosse Wanderung 1888 nicht den Erdbeben zuzuschreiben, ebenso wie das rasche, nahezu gänzliche Verschwinden nach der massenhaften Invasion nicht der Liebe zur Heimath zuzuschreiben ist, sondern vielmehr dem raschen Zugrundegehen der Einwanderer, die als Fremdlinge durch Gestalt, Farbe, Zeichnung, Benehmen, Stimme in die Augen fallend, allzu vielen Gefahren auch dann ausgesetzt sind, wenn der Mensch noch so sehr bestrebt ist, sie zu schonen und zu acclimatisiren. Nur sehr spärliche Reste konnten in einigen wenigen Fällen auf dem Rückzuge beobachtet werden.²

Welcher Art die thatsächlichen Einwirkungen von Erderschütterungen auf Thiere sind, mag an ein paar Beispielen gezeigt werden. Bei dem grossen calabrischen Erdbeben von 1783 nahm man während der Stösse häufig eine starke Bewegung des Meeres wahr, und dort, wo die Küste stark erschüttert wurde, fing man viel leichter und viel mehr Fische. Seltene Gattungen, wie die Cirricelli, welche gewöhnlich im Sande begraben liegen, wurden in Menge an der Oberfläche des Wassers gefangen. Hier ist es offenbar die Folge der Bewegung, welche die Thiere veranlasst, ihre gewohnten Schlupfwinkel zu fliehen. Dasselbe, was hier nach der Haupterschütterung eintrat, vermag sich aber in anderen Fällen auch bei schwächeren Vorläufern der starken Stösse geltend zu machen.

JOHN MILNE theilt mit, einer seiner Freunde, JAMES BISETT zu Yokohama, habe ihm geschrieben, dass 30 Secunden vor dem ersten Stoss des Bebens vom 15. Januar 1887 eines seiner Ponys entschiedene Zeichen der Beunruhigung durch die nahende Erschütterung gab. Aehnliche Wahrnehmungen wurden an einem Pony in Tokyo gemacht. Mit Recht meint MILNE, dass die einzige Erklärung für diese Erscheinung darin zu suchen sei, dass diese Thiere für das schwache Erzittern, das in der Regel den starken Erschütterungen vorhergeht, empfindlich wären, während der Mensch dieses feine Erzittern nur unter besonders günstigen Umständen wahrnimmt und sonst nur durch die Aufzeichnungen der Seismographen Kenntniss davon erhält.³

¹ R. RÖTTGER: Erdbeben, Sammlung gemeinverst. wissensch. Vorträge. Neue Folge. Vierte Serie, Heft 74. Hamburg 1889.

² Vergl. V. v. TSCHUDI zu SCHMIDHOFFEN: Das Steppenhuhn (*Syrrhaptus paradoxus* Pall.) in Oesterreich-Ungarn, Mittheil. d. naturw. Vereins f. Steiermark, Jahrgang 1889, S. 29. Graz 1890.

³ JOHN MILNE: Note on the Effects produced by Earthquakes upon the lower Animals Transactions of the Seismological Society of Japan. Vol. XII. 1888. S. 1—4.

Wir können sonach in der thatsächlich oft wahrgenommenen Beunruhigung der Thiere durch ein herannahendes Erdbeben durchaus nichts Wunderbares erblicken, und es mag gerechtfertigt erscheinen, dass die Einwohner der Stadt Caracas, welche so oft von Erdbeben betroffen wird, sich Hunde und Katzen als Erdbebenwarner halten, wie H. D. WARNER berichtet.¹

¹ H. D. WARNER: The city of Earthquakes, Atlantic Monthly, March 1883.

Zweiter Abschnitt.

Erdbebenbeobachtung.

Stosszeit und Dauer der Erschütterung. Unzulänglichkeit der meisten Zeitbestimmungen wegen ungenauen Ganges der Uhren selbst auf Eisenbahn- und Telegraphenstationen. Apparate, welche den Zeitpunkt des Eintretens einer Erschütterung durch Inangsetzung oder Hemmung einer Uhr registriren, Seismometer von SEEBACH und LASAULX. Dauer der Bewegung und complicirte Beschaffenheit derselben. Autograph des Bebens vom 25. Juli 1880 durch WAGENER'S Seismographen. J. MILNE'S Automatic Tremor Measurer zur Verzeichnung mikroseismischer Erschütterungen. — Richtung der Bewegung. Schwanken einer Flüssigkeit in einem Becken. CACCIATORE'S Seismometer, Einfache Pendelseismometer, MALLET'S Säulenseismometer, LASAULX' Kugelseismometer, verbesserte Pendelseismometer, J. MILNE'S Duplex Pendulum Seismograph, GRAY-MILNE'S Seismograph, EWING'S Seismograph, SEKIYA'S Modell zur Veranschaulichung der Bewegung eines Erdtheilchens während eines Erdbebens, Bestimmung der Art und Richtung einer Bewegung durch subjective Wahrnehmungen, durch Lageveränderung von Gegenständen, Beschädigungen von Gebäuden und andere mechanische Wirkungen. — Intensität der Erschütterungen. FOREL'S Intensitätsscala. Beobachtung mikroseismischer Bewegungen. — Begleitende Erscheinungen: Erdbebengeräusch, Luftbewegung, Schwankungen der Wassermassen, meteorologische Phänomene. — Beziehungen zu kosmischen Verhältnissen. — Erdbebenstatistik.

Wir haben im vorigen Abschnitte die bei Erdbeben wahrzunehmenden Erscheinungen kennen gelernt und haben nunmehr die möglichst genaue Beobachtung dieser Phänomene einer eingehenden Erörterung zu unterziehen, da nur sorgfältige Beobachtungen von möglichst vielen einzelnen Orten uns über das Wesen eines Erdbebens zu belehren vermögen. Wie aus der bereits in der Einleitung, S. 25 erwähnten Organisation der Erdbebenbeobachtung in der Schweiz und anderen Ländern hervorgeht, handelt es sich bei jedem einzelnen Beben und jedem Beobachtungsorte hauptsächlich um Feststellung des Eintrittes und der Dauer der Erschütterung, ihrer Intensität, Richtung und Wirkung. Wir können die genaueren Angaben über diese Verhältnisse als Erdbebenelemente bezeichnen, deren Kenntniss uns einen Schluss auf den Charakter der

Erschütterung abzuleiten gestattet. Selbstverständlich hat sich aber die Beobachtung auch auf die Wirkungen des Erdbebens im weitesten Sinne sowie auf alle nebensächlichen Umstände zu erstrecken.

Die Fragebogen der schweizerischen Erdbebencommission (s. S. 25, 26) geben uns einen Ueberblick über die Daten, welche bei dem Eintreten eines Erdbebens ohne Zuhülfenahme von Instrumenten gesammelt werden sollen. Wir werden in den nachstehenden Ausführungen die Beobachtungen, welche sich auf: 1) Stosszeit, 2) Dauer der Erschütterung, 3) Richtung, 4) Intensität derselben beziehen, der Reihe nach besprechen, wobei jedesmal auch die betreffenden Instrumente einer kurzen Erörterung unterzogen werden sollen.

Was zunächst den Zeitpunkt des Eintretens einer Erschütterung anlangt, so scheint derselbe allerdings sehr leicht festzustellen, es ergeben sich aber gerade hier sehr bedeutende Schwierigkeiten, über welche allgemein geklagt wird, seitdem Erdbeben den Gegenstand wissenschaftlicher Untersuchung bilden.

E. KLUGE sagt mit Recht: „Eine jede Untersuchung überhaupt über Gleichzeitigkeit von Erdstößen, Schnelligkeit der Erdbebenwellen und theilweise auch über die Propagationsform der Erschütterungen wird so lange zu keinem sicheren Resultate führen, als nicht von Seiten der meteorologischen Stationen, der Telegraphenstationen, der Sternwarten etc., den seismischen Erscheinungen mehr Aufmerksamkeit geschenkt wird, und so lange nicht an sämtlichen Beobachtungspunkten Seismometer aufgestellt sind, aus welchen genau auf die Richtung der Wellen geschlossen werden kann.“¹

Wir haben im vorhergehenden Abschnitte die Bedeutung genauer Zeitbestimmungen für die Erklärung der Erdbebenerscheinungen kennen gelernt; wir haben gesehen, dass eine Methode der Herdbestimmung von möglichst genauen Zeitangaben ausgeht. LASAULX betont, dass die praktische Verwerthung dieser SEEBACH'schen Methode deshalb mit grossen Schwierigkeiten zu kämpfen hat, weil die Genauigkeit des Zeiteintrittes der Erschütterung, die zu der Bestimmung nöthig ist, nur in einzelnen, fast zufälligen Fällen zu erzielen ist. Gerade die angestellten Untersuchungen hätten die Unzuverlässigkeit der Zeitbestimmungen in hohem Maasse ergeben.

Der von Prof. A. HEIM redigirte Fragebogen der schweizerischen Erdbebencommission legt dem Beobachter einer seismischen Erscheinung in Bezug auf die möglichst genaue Feststellung des Zeitpunktes, in welchem die Erschütterung eintrat, folgende Fragen vor:

- 1) An welchem Tage wurde das Erdbeben verspürt?
- 2) Um wie viel Uhr? (wenn möglich mit Angabe der Minuten und Secunden).

¹ E. KLUGE: Ueber die Ursachen der i. d. Jahren 1850—57 stattgefundenen Erderschütterungen S. 62.

3) Wie geht die Uhr am Tage oder besser zur Stunde des Erdbebens im Vergleich mit der nächsten Telegraphenuhr?

Von diesen Fragen bedarf wohl nur die dritte der näheren Erläuterung, sie bezieht sich auf die Nothwendigkeit, an der unmittelbar beobachteten Zeit eine Correction anzubringen, da ja die wenigsten Beobachter über so genau und richtig gehende Uhren verfügen dürften, dass dies nicht nothwendig wäre. Und doch sind die Wenigsten darüber klar, dass eine solche Richtigstellung der durch ihre Taschen- oder Pendeluhr angegebenen Zeit unbedingt nothwendig ist, und dass es für diese Richtigstellung nicht ausreicht, den Gang ihrer Uhr mit jenem eines anderen, ebenso unzuverlässigen Zeitmessers wie ihn beispielsweise alle Thurmuhren darstellen, zu vergleichen. Nachdrücklich macht J. SCHMIDT auf die Unsicherheit solcher Zeitangaben aufmerksam: „Wenn ein wissenschaftlicher Reisender, Dr. v. NEIMANNS in Kairo sagt, dass er vom Erdbeben erwacht, auf seine Uhr gesehen habe, und nicht das Geringste darüber beifügt, ob er eine Correction anbrachte, ob es sich überhaupt um mittlere Ortszeit handle, so schliesse ich, dass er keinen Begriff von dem Werthe einer wohlbegründeten Zeitangabe hatte. Was man nach solchem Beispiele von den meisten anderen Uhrzeiten zu halten habe, braucht nicht weiter berührt zu werden.“¹

Es ist also nothwendig, die unmittelbar beobachtete Stosszeit zu corrigiren, d. h. den Gang der Uhr, welche zur Zeitbestimmung diene, mit einer vollkommen richtig gehenden zu vergleichen. HEIM'S Fragebogen will zu diesem Zwecke die Telegraphenuhren heranziehen. Es muss indess darauf verwiesen werden, dass die Genauigkeit derselben, wie sich gerade bei Untersuchung der Erdbeben ergeben hat, viel zu wünschen übrig lässt.

M. G. DEWALQUE erörterte die Unzulänglichkeit der Zeitbestimmung von Erdbeben durch die Telegraphenämter wegen der allzugrossen Ungenauigkeit der Zeitcontrole derselben. Die belgische geologische Gesellschaft sah sich dadurch veranlasst, den Minister der öffentlichen Arbeiten um genauere Zeitcontrole der Telegraphenuhren zu ersuchen, da die Ungenauigkeit derselben circa zwei Minuten beträgt — ein Spielraum, welcher die Beobachtungen fast werthlos erscheinen lässt, da für die neueren Untersuchungen der Erdbeben bloss näherungsweise Zeitbestimmungen vollkommen unbrauchbar sind.

Es mag genügen, an einem Beispiele durch eingehende Erörterung der sehr zahlreich vorliegenden, zum grössten Theil aber unsicheren Zeitbestimmungen zu zeigen, wie misslich es in Wahrheit um die genaue Angabe des Zeiteintrittes einer Erschütterung an den einzelnen Beobachtungspunkten bestellt ist, und wie insbesondere die angeblich genau gehenden Uhren der Eisenbahn- und Telegraphenämter keineswegs jenen

¹ J. Schmidt: Studien über Vulkane und Erdbeben, zweite Auflage. Leipzig 1881. II. S. 49.

Anforderungen entsprechen, welche bei der Untersuchung eines Erdbebens an zuverlässige Zeitmesser gestellt werden müssen.

F. WÄHNER behandelt in seiner Monographie des Erdbebens von Agram vom 9. November 1880 in sehr ausführlicher Weise die zahlreichen Zeitangaben, welche ihm über die Beobachtung dieses Bebens an verschiedenen Orten zu Gebote standen. Wir wollen auf seine Ausführungen näher eingehen, da sie mit grösster Bestimmtheit die Unzulässigkeit der SEEBACH'schen Methode auf Grund der Zeitangaben das Epicentrum, die wahre Fortpflanzungsgeschwindigkeit und die Tiefe des Centrums zu ermitteln erkennen lassen. WÄHNER hat den Versuch gemacht, die zahlreichen ihm zu Gebote gestandenen Zeitangaben im Sinne der SEEBACH'schen Methode zu verwenden: „Aber weder graphisches Verfahren, noch Rechnung führten zu einem entsprechenden Ziele. Diese Arbeiten ergaben nur den einen sicheren Schluss, dass entweder der grösste Theil gerade der zuverlässigsten Zeitangaben (nahezu alle) falsch ist, oder dass die Voraussetzung von der centralen Natur und gleichmässigen Verbreitung des Bebens der Wirklichkeit nicht entspricht. Ich konnte nicht im Zweifel sein, dass ich mich für das zweite Urtheil zu entscheiden hatte.“ Wir müssen dieser Ansicht beipflichten, wenn sich freilich auch aus den Angaben WÄHNER's auf der anderen Seite ergibt, dass weitaus der grösste Theil der Zeitangaben in Bezug auf Genauigkeit sehr viel zu wünschen übrig lässt. Dies geht insbesondere aus dem Verzeichniss der Südbahnstationen hervor, welches WÄHNER auf Grund einer von der Direction der Südbahn zusammengestellten Tabelle veröffentlicht hat. Dasselbe enthält die Stationen, welche Zeitangaben geliefert haben, in der Reihenfolge der einzelnen Linien, die Zeitangaben in Wiener Zeit:

Hetzendorf	7 ^h 36 ^m	Pöltschach	7 ^h 37 ^m	St. Peter	7 ^h 36 ^m
Gumpoldskirchen	7 33	Ponigl	7 35	Küllenberg	7 35
Baden	7 32	St. Georgen	7 35	Dornegg-Feistritz	7 30
Neustadt	7 38	Storé	7 35	Divacca	7 35
Mitterdorf	7 38	Cilli	7 36	Herpelje Kozina	7 38
Bruck	7 42	Römerbad	7 35	Podgorje	7 40
Leoben	7 35	Steinbrück	7 35	Pinguente	7 40
Pernegg	7 38	Reichenburg	7 34	Mitterburg-Pisino	7 36
Graz	7 38	Videm Gurkfeld	7 34	Rovigno	7 25
Ehrenhausen	7 38	Rann	7 35	Prosecco	7 38
Spielfeld	7 37	Hrastnigg	7 36	Monfalcone	7 38
Pössnitz	7 31	Trifail	7 34	Ronchi	7 38
Marburg	7 35	Sagor	7 34	Triest	7 36
Kranichfeld	7 37	Littai	7 35	Feistritz	7 34
Pragerhof	7 37	Kressnitz	7 40	Maria Rast	7 34
Sternthal	7 34	Laase	7 35	St. Lorenzen	7 34
Pettau	7 35	Salloch	7 38	Saldenhofen	7 36
Moschganzen	7 35	Laibach	7 36	Unter-Drauburg	7 34
Gross-Sonntag	7 35	Franzdorf	7 37	Lavamünd	7 38
Fridau	7 36	Rakek	7 36	Ettendorf	7 40
Polstrau	7 30	Adelsberg	7 36	St. Andrä	7 30
Windisch-Feistritz	7 37	Prestranek	7 40	Wolfsberg	7 30

Prevali	7 ^h 36 ^m	Gelse	7 ^h 30 ^m	Kesthely	7 ^h 36 ^m
Bleiburg	7 33	Csakathurn	7 33	Fonyód	7 35
Künsdorf	7 34	Kottori	7 35	Boglár	7 34
Klagenfurt	7 33	Mura Keresztur	7 37	Szántód	7 30
Maria-Wörth	7 38	Kanizsa	7 36	Moha	7 30
Föderlach	7 36	Légrád	7 36	Budapest (Stadt- bureau)	7 30
Villach	7 38	Zákány	7 37	Zaprešić	7 30
Schadendorf	7 38	Vizvár	7 30	Agram	7 30
Oedenburg	7 30	Babocsa	7 35	Gross-Gorica	7 30
Steinamanger	7 30	Barcs	7 36	Lekenik	7 35
Molnári	7 35	Récese	7 36	Sissek	7 35
St. Iván	7 30	Komárváros	7 35		

Man muss WÄHNER wohl beipflichten, wenn er sagt: „Die grossen Differenzen zwischen den Angaben benachbarter Stationen beweisen, dass ein grosser Theil der Angaben unrichtig ist, sei es, dass die Uhren trotz der täglichen Abgabe des Mittagszeichens nicht genau gerichtet werden, sei es, dass die Zeit unrichtig abgelesen oder wiedergegeben wurde.“ Ich habe derselben Ansicht bei der Zusammenstellung der Nachrichten über die Wahrnehmung des Agramer Erdbebens im Gebiete der Steiermark Ausdruck gegeben auf Grund der mir von Herrn Dr. WÄHNER freundlichst mitgetheilten Daten, welche die Direction der Südbahn von ihren Stationsbeamten gesammelt hatte: „Ein unerwartetes Resultat, welches sich schon bei flüchtiger Betrachtung der insgesamt auf Wiener Zeit reducirten Stosszeiten ergibt, ist jenes, dass eine viel grössere Ungenauigkeit der Stationsuhren angenommen werden muss, als sie nach der täglichen Abgabe des Mittagszeichens vorhanden sein sollte. Zwischen unmittelbar benachbarten Stationen beträgt die Differenz der gemeldeten Stosszeit mehrere Minuten, und einzelne Stationen geben unverhältnissmässig späte oder frühe Zeiten an, so dass ein Irrthum in der Zeitreduction oder ein ziemlich bedeutendes Unrichtiggehen der Uhr angenommen werden muss.“ Als die schlechtesten Zeitangaben müssen jene von Bruck (7 Uhr 42 Minuten Wiener Zeit, wahrscheinlicher Fehler + 7 Minuten) und Rovigno (7 Uhr 25 Minuten, wahrscheinlicher Fehler – 10 Minuten) angesehen werden. WÄHNER bemerkt ferner über die oben angeführten Stosszeitangaben:

„Die topographische Gruppierung der Stationen, die grössere oder geringere Entfernung derselben von dem pleistoseisten Gebiete lässt im Vergleiche mit den Zeitangaben kein Gesetz in den letzteren erkennen, wenn man sich nicht auf Grund irgend einer vorgefassten Meinung der grössten Willkür schuldig machen will. Auf einem anderen Wege jedoch, auf dem der statistischen Betrachtung, gelangen wir zu einem bestimmten Resultate. Wenn wir die Stationen nach den Zeitangaben gruppieren, so finden wir die Angabe 7^h 25^m an einer Station vertreten, 7^h 30^m an 15 Stationen u. s. w. Zur Uebersicht diene nachstehendes Verzeichniss:

Wiener Zeit	Anz. d. Stat.	Wiener Zeit	Anz. d. Stat.	Wiener Zeit	Anz. d. Stat.
7 ^h 25 ^m	1	7 ^h 27 ^m	—	7 ^h 29 ^m	—
7 26	—	7 28	—	7 30	15

Wiener Zeit	Anz. d. Stat.	[7 ^h 35 ^m 28 ^s W. Z.: Agram]	Wiener Zeit	Anz. d. Stat.
7 ^h 31 ^m	1	Wiener Zeit	7 ^h 39 ^m	—
7 32	2	7 ^h 36 ^m	7 40	5
7 33	4	7 37	7 41	—
7 34	11	7 38	7 42	1
7 35	22			

Es ergibt sich von beiden Seiten her im Allgemeinen ein Steigen der Zahl der Stationen gegen die Angabe 7^h 35^m, welche am häufigsten vertreten ist. Wenn wir nun finden, dass dieser Zeit die sehr genaue und verlässliche Bestimmung für die Stadt Agram [7^h 35^m 53^s Agramer Zeit (Prof. STOŽIR) = 7^h 35^m 28^s Wiener Zeit] entspricht, so veranlasst uns diese auffallende Thatsache, die beiden grösseren Unregelmässigkeiten in unserer gegen die Mitte ansteigenden Reihe näher zu untersuchen. Dass die Angabe 7^h 30^m an einer grösseren Anzahl von Stationen vorkommt, ist leicht erklärlich; dieselbe war offenbar schon ursprünglich ungenau, lautete nicht in Minuten und bedeutet „ungefähr 1/2 Uhr.“ Die andere Unregelmässigkeit (7^h 38^m) erklärt sich, wenn wir die von der Direction der Südbahn in Wiener Zeit übermittelten Angaben auf die ursprüngliche Zeit reduciren. Die Stationen der österreichischen Linien rechnen nach Prager, die der ungarischen Linien nach Budapester Zeit. Im Bahnverkehre ist Wiener Zeit gegen Prager Zeit um 8 Minuten und Budapester Zeit gegen Prager Zeit um 18 Minuten voraus.“

Die Unregelmässigkeit der 14 Stationsmeldungen von 7^h 38^m Wiener Zeit erklärt sich sonach dahin, dass die Angabe ursprünglich auf 7^h 30^m Prager Zeit gelautet hat, denn es ist, wie WÄHNER meint, „leicht erklärlich, wie selbst bei Angaben, welche auf Minuten genau sein sollen, die runde Zahl vorgezogen wird, wenn eben die Genauigkeit keine besonders grosse ist.“

So ungenau die von den einzelnen Stationen gemeldeten Zeitangaben sind, gestatten sie doch mit ziemlicher Sicherheit allgemeine Schlüsse abzuleiten. „Der Umstand,“ sagt WÄHNER, „dass die Zeitangaben, unbeschadet der geographischen Lage der Stationen, um so häufiger werden, je mehr sie sich der Agramer Bestimmung nähern, lässt mit grosser Wahrscheinlichkeit erkennen: 1) dass der grössere Theil der Stationsangaben der Wahrheit ziemlich nahe kommt, 2) dass grosse Zeitunterschiede (von einigen Minuten) in dem Auftreten der Bewegung an den einzelnen Orten nicht vorhanden waren.“ Zu dem letzteren Resultate gelangt man auch, wenn man die zuverlässigsten und genauesten sonstigen Angaben zusammenstellt, wie es WÄHNER auf Seite 316 seiner Monographie gethan hat. „Wir sehen, dass die Differenzen gegen die Bestimmung für Agram nur nach Secunden sich beziffern. Eine wirklich werthvolle Untersuchung wird nur dann durchführbar sein, wenn eine grössere Anzahl von auf Secunden genauen und vollkommen verlässlichen Angaben vorhanden ist.“

Solche genauere und zuverlässigere Zeitangaben sind aber um so nothwendiger, als, wie wir wissen, bei manchen Erdbeben (vergl. den vor-

hergehenden Abschnitt S. 47 u. 48) die Erschütterung auf sehr bedeutenden Distanzen gleichzeitig oder nahezu gleichzeitig eingetreten ist. Wir können dies nur durch die Annahme erklären, dass bei solchen Erdbeben grössere Schollen der Erdrinde bewegt werden und in Folge dessen die Erschütterung auf dem ganzen Areale zugleich beginnt. So wahrscheinlich diese Annahme ist, so ist doch ihre sichere Bestätigung, eben der allgemeinen Ungenauigkeit der Zeitangaben wegen, noch ausständig. Auch bei dem grossen andalusischen Erdbeben vom 25. December 1884 variiren die Zeitangaben ausserordentlich. Nach dem Bericht der „Mission d'Andalousie“ ist die einzige exacte Zeitangabe des Hauptstosses, welcher die grossen Zerstörungen anrichtete diejenige des Observatoriums von San Fernando bei Cadix (9^h 18^m Abends Pariser Zeit, die Uhr des Observatoriums selbst gab 8^h 43^m 55^s an). Alle übrigen Zeitangaben besitzen wenig Gewicht, ob sie nun von Privatuhren, oder von den Uhren öffentlicher Anstalten und von jenen der Eisenbahnstationen entnommen sind. Die Angaben schwanken von 9^h 9^m bis 9^h 34^m und im pleistoseisten Gebiet geben sie als Mittel 9^h 23^m, eine der genauen Angabe des Observatoriums von San Fernando gegenüber bestimmt zu hohe Zahl. An einem und demselben Orte blieben die Uhren zu verschiedener Zeit stehen und von competenten Beobachtern gelieferte Angaben der Stosszeit lauten verschieden. In allen diesen Fällen ist der unrichtige Gang der Uhren die erste Fehlerquelle, zu welcher jedoch noch mehrere hinzutreten. Bei der directen Beobachtung muss man die Ungleichheit des Eindruckes, sowie die durch Ueberraschung und Schrecken verursachte Verwirrung in Betracht ziehen. Bei dem Stehenbleiben der Uhren ist zu berücksichtigen, dass dasselbe nicht augenblicklich erfolgte, sondern erst eine gewisse Zeit nach dem Stosse. Dieses Stehenbleiben hängt von der Richtung des Stosses ab und es kann daher auch durch einen späteren, weniger heftigen Stoss vernrsacht werden, wenn es nicht durch die erste heftigere, aber in anderer Richtung erfolgte Erschütterung geschah. Die folgenden Daten, welche der französische Bericht der Arbeit der spanischen Commission entnimmt, zeigen eine bemerkenswerthe Nichtübereinstimmung der gemeldeten Stosszeiten.

In Granada blieb die Uhr des Hospitals St. Jean de Dieu um 9^h 23^m, jene des Hospitals der Lazaristen um 9^h 27^m stehen. Zu Almedral, Cacin, Colmenar, La Vinuela, Melegis, Murchas, Periana, Rio Gordo, Santa Cruz, Ventas de Zafarraya giebt man als Zeit des ersten Stosses ungefähr 9^h 25^m an. Zu Loja und Malaga variirt die Zeitangabe von 9^h 20^m bis 9^h 22^m. Ungefähr dieselbe Zeit wird für Jatar und Zafarraya angegeben. Für Fornes, Arenas del Rey, Santa Fé, Padul und Granada lauten eine Anzahl Beobachtungen auf 9^h 33^m. Zu Albuñuelas wurde der erste Stoss von einem Beobachter um 9^h 8^m, von einem anderen um 9^h 23^m notirt. Zu Alhama finden sich Zeitangaben

¹ Études relatives au tremblement de terre du 25. Déc. 1884. Mém. Acad. des Sciences, T. XXX. No. 2. Paris 1889. S. 16.

von 9^h 23^m bis 9^h 26^m; zu Granada von 9^h 23^m bis 9^h 33^m. Die Verschiedenheit dieser Zeitangaben kann nicht durch die verschiedene Länge der einzelnen Orte erklärt werden, sie rührt sicher von der Unvollkommenheit der Beobachtungen her, so zwar, dass es nicht allein unmöglich wird, sie zur Bestimmung der Fortpflanzungsgeschwindigkeit zu verwenden, sondern dass man nicht einmal in der Lage wäre, aus den Zeitbestimmungen allein Lage und Form des Epicentrums zu finden. In letzterer Hinsicht genügt es, die Unzulänglichkeit der oben angeführten Daten durch die Bemerkung zu zeigen, dass, wenn diese wirklich richtig wären, die Erschütterung früher zu Malaga und Loja begonnen hätte, als zu Jatar und Zafarraya, was mit dem Grade ihrer Stärke in Widerspruch steht, da die beiden ersteren Orte ausser- die beiden letzteren aber innerhalb des pleistoseisten Gebietes liegen.

In Beziehung auf das Stehenbleiben der Uhren, welches nach dem Berichte der Mission d'Andalousie bei dem Erdbeben vom 25. December 1884 nur sehr unbefriedigende Resultate über die Stosszeit ergeben hat, sei noch daran erinnert, dass, abgesehen von dem möglicherweise sehr ungenauen Gang der betreffenden Uhr, auch selbst bei günstiger Richtung welche die Schwingungsebene des Pendels so trifft, dass dieser sofort zum Anzulegen an den Uhrkasten kommt, das Stehenbleiben der Uhr zuweilen erst nach mehreren Minuten erfolgt.

Von dem Erdbeben vom 24. Juni 1870, welches nahezu gleichzeitig in Athen und Neapel gefühlt wurde, berichtet J. SCHMIDT: „Ich habe es genau beobachtet, und zwar im Meridiansaale der Sternwarte zu Athen. Das Pendel der Berthoud'schen Uhr, in deren Nähe ich mich befand und dessen Schwingungen die Richtung Süd-Nord haben, ward augenblicklich durch Anschlag gegen die Wand des Uhrkastens gestört; aber erst 4.9 Minuten nach dem Stosse kam der Secundenzeiger, der sich mit mattem zögernden Schläge noch so lange fortbewegt hatte, ganz zur Ruhe.“¹

Um zuverlässige und genaue Zeitangaben über den Eintritt eines Erdbebens zu erhalten, hat man seit längerer Zeit die Ausrüstung zahlreicher Stationen mit Apparaten vorgeschlagen, welche an genau gehenden Uhren angebracht, den Eintritt der Erschütterung feststellen sollten. v. SEEBACH, welchem möglichst sichere Zeitangaben zur Berechnung der Herdtiefe nach seiner Methode wünschenswerth waren, brachte hierzu eine einfache Vorrichtung in Vorschlag. Eine gut gehende, Secunden zeigende Pendeluhr wird auf 0 Zeit gestellt, das Pendel aus seiner Gleichgewichtslage gebracht und in dieser Stellung dadurch festgehalten, dass der um ein Geringeres schwerere eine Arm eines Hebels hemmend in das Steigrad eingreift. An dem anderen leichteren Hebelarm hängt an einem schlaffen Faden ein Gewicht, welches auf einer kleinen Säule von geringer

¹ J. SCHMIDT: Studien über Vulkane und Erdbeben. Leipzig 1881, II. Theil. S. 110.

Stabilität aufliegt. Bei einem Erdbeben wird diese Säule umgestürzt, das Gewicht fällt und löst den schwereren Hebelarm aus dem Steigrad aus, wodurch dann das Pendel schwingen und die Uhr in Gang setzen kann. Man kann nachher die Zeit des Eintrittes der Erschütterung auf astronomische oder gut controlirte Zeit reduciren.

Einen anderen Apparat gab VON LASAULX an. Er ging wesentlich von der gleichen Absicht aus, eine grössere Zahl guter Fundamentalzeiten zur Bestimmung der Herdtiefe zu liefern, glaubte aber, es sei besser, eine stets gut gehende und gut controlirte Uhr, wie sie auf Sternwarten und Telegraphenstationen vorhanden ist, zum Stillstand zu bringen. Es werde dadurch die Gefahr vermieden, dass die Vorrichtung bei Eintritt einer Erschütterung nicht in gutem Stande sei. VON LASAULX schildert seinen Apparat folgendermaassen:

„Das Instrument, von einfacher und compendiöser Form ist dazu bestimmt, an jeder im Gebrauche befindlichen Pendeluhr, am besten den sogen. Regulatoren neben dem Pendel aufgehängt zu werden. Eine kleine Büchse *A* (siehe Fig. 19) umschliesst eine Feder, welche in Verbindung mit einem dünnen Messingstabe einen Hebelarm *C*, der am unteren Ende auf der Rückwand des kleinen Apparates an drehbarer, horizontal liegender Achse befestigt ist, dadurch in horizontale Stellung quer neben das Pendel der Uhr hinaufzieht,

dadurch in horizontale Stellung quer neben das Pendel der Uhr hinaufzieht, dass sie den Messingstab aufwärts durch die Büchse emporhebt, so dass der bewegliche Theil der Messingführung bei *e*, dann bei *e*₁ zu liegen kommt. Der Messingstab trägt oben ein kleines flaches Tellerchen zur Aufnahme eines Gewichtes in Kugel- oder Eiform. Wird das letztere auf das Tellerchen *B* gelegt, so drückt es die Feder zusammen und der Hebelarm *C* legt sich in verticale Stellung abwärts an die Rückwand und das Pendel kann nun vor demselben vorbei (d. h. also senkrecht zur Ebene der Zeichnung) seine Schwingung ausführen. Das ist die gewöhnliche Stellung des Apparates, wie die Figur sie darstellt. Wird nun die Kugel durch ein Erdbeben abgeworfen, so schnellt die Feder den Messingstab in die Höhe und der Hebelarm *C* legt sich quer vor das Pendel, dieses augen-

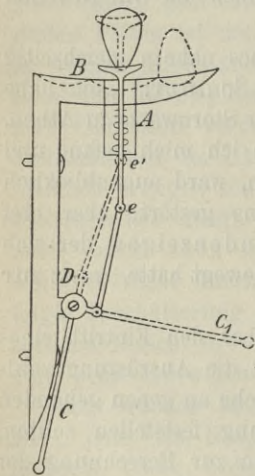


Fig. 19. V. LASAULX'scher Apparat zur Zeitbestimmung.

blicklich arretirend. Diese Stellung ist in den punktirten Theilen der Figur angedeutet. Zur Aufnahme der abgeworfenen Kugel dient ein runder, um die Büchse *A* herumgreifender Teller mit acht Fächern, so dass die Kugel, in eines derselben hineinfallend, auch die Richtung des Stosses markirt. Da nach der Erfahrung bei schwächeren Erdbeben die Schwerpunktslage einer kleinen Messingkugel dieser noch zu viel Stabilität gewährt, so eignet sich als Gewicht besser ein kleines Ei aus Messing, das mit seiner Spitze nach unten auf das kleine Tellerchen bei *B* gestellt, nun hinlänglich labil ist, um auch

bei ganz schwachen Bewegungen zu Falle zu kommen. Es wird dadurch allerdings die Sensibilität des Apparates eine so grosse, dass sie auch äusseren Erschütterungen der Gebäude, z. B. durch Thürzuschlagen, Vorbeirollen eines Wagens leicht nachgiebt. Das setzt wieder voraus, dass dadurch keine Störungen verursacht werden, oder dass die Uhr eigens zu diesem Zwecke allein dient, und ihr Gang fortdauernd gut controlirt wird.

Solche Apparate sind ca. 150 an der Zahl auf verschiedenen Kaiserl. deutschen Telegraphenstationen aufgestellt. Da dieselben jedoch, um allzu häufige Störungen im Betriebe zu vermeiden, nur mit Kugelbelastung versehen sind, so hat sich ihre Empfindlichkeit bei einigen Erdbeben als zu gering ergeben und sie haben nicht markirt. Bei dem Erdbeben vom 26. August 1878 trat aber eine Reihe von Apparaten in Wirksamkeit und lieferte brauchbare Zeit- und Richtungsangaben.

Dort, wo die grosse Empfindlichkeit des Apparates mit eiförmiger Belastung keine Bedenken wegen allzuhäufiger Arretirung der Uhr erregt,¹ wird ohne Zweifel dieselbe sowohl für die Gewinnung von Zeit, als auch Richtungsangaben gute Dienste thun. Ohne Zweifel sind auf diesem Gebiete noch brauchbare und werthvolle Apparate auch auf andere Weise herzustellen. Sollen aber dieselben wirklich in grösserer Zahl zu Beobachtungen Verwendung finden, so ist ein erstes Erforderniss möglichste Einfachheit des ganzen Mechanismus.²

Dieses Erforderniss der möglichsten Einfachheit des ganzen Mechanismus ist in der That das erste, wenn sehr zahlreiche Stationen mit solchen Apparaten zur Zeitangabe eines Erdbebens versehen werden sollen. Würden nur die betreffenden Uhren genau gehen und fortwährend gut controlirt werden, so würde die Ausstattung der Eisenbahn- und Telegraphenstationen mit den LASAULX'schen Apparaten recht gute Zeitangaben liefern. Aus den oben ausführlich wiedergegebenen, bei dem Agramer Erdbeben vom 9. November 1880 gesammelten Daten ist aber leider zu erkennen, dass die meisten Stationsuhren den erforderlichen Grad der Genauigkeit nicht besitzen.

Sobald es sich aber um Sternwarten oder meteorologische Anstalten handelt, an welchen die Zeit mit viel grösserer Genauigkeit gemessen wird, erscheint es als wünschenswerth, auch jene Apparate, welche das Eintreten und den Verlauf einer Erderschütterung anzeigen sollen, entsprechend einzurichten. Wir werden in den nachfolgenden Ausführungen viele derartige Instrumente zu besprechen haben, welche jetzt einen hohen Grad von Vollkommenheit erreicht haben. Die „Seismographen“ sind selbstregistrirend eingerichtet, sie verzeichnen das Eintreten der ersten leisen Erzitterungen des Bodens, welche den eigentlichen Stössen 10—30

¹ Solche Apparate mit eiförmiger Belastung liefert F. W. ESCHBAUM, Mechaniker in Bonn am Rhein.

² A. v. LASAULX: Die Erdbeben, in KENNGOTT's Handwörterbuch der Mineralogie etc. I. Bd. S. 357.

Secunden vorherzugehen pflegen, sie verzeichnen auf das Genaueste die Art der Bodenbewegungen in ihren horizontalen und verticalen Componenten, und sie geben Aufschluss über die Dauer der Erschütterung bis zu den letzten, ohne Zuhülfenahme des Apparates gar nicht mehr wahrzunehmenden Erzitterungen.

Wir werden auf die mannigfachen und theilweise recht complicirt gebauten Instrumente, welche die moderne Erdbebenbeobachtung anwendet, noch ausführlicher zurückzukommen haben, wenn wir die Beobachtung der Richtung der Erdbewegung erörtern werden, für jetzt sei nur bemerkt, dass diese Bewegung eine keineswegs einfache ist. Das nachstehende Autograph eines Erdbebens zeigt, dass dieselbe (gleiches gilt fast von allen Erderschütterungen) aus zahlreichen Zuckungen besteht, von welchen einzelne durch ihre Stärke mehr hervortreten als die übrigen.

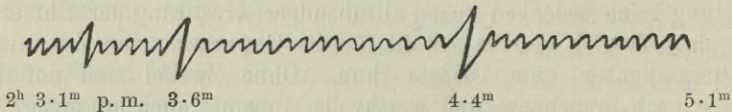


Fig. 20. Autograph des Erdbebens in Tokio vom 25. Juli 1880 durch den WAGENER'schen Seismographen aufgezeichnet.

Dieses mässige Beben, welches in Tokio am 25. Juli 1880 beobachtet wurde, begann um 2 Uhr 31 Minuten Nachmittags mit einigen leisen Zuckungen, von welchen eine einer Horizontalbewegung von 0,5 Min. entsprach, um 3,6 Min. erfolgte ein etwas stärkerer Stoss, bei welchem die horizontale Bewegung des Erdbodens, welche der Seismometer in vergrössertem Maasstabe aufzeichnete, etwa 1 Millimeter betrug, dann folgte abermals schwächere Zuckungen und um 4,4 m nach 2 Uhr abermals ein stärkerer Stoss, der nach den Aufzeichnungen des Seismometers einer Bodenbewegung von 1,67 mm entsprach, und schwächere Zuckungen dauerten noch bis 5,1 Min. an, so dass die ganze Erschütterung eine Dauer von zwei Minuten hatte. Das oben in Fig. 20 wiedergegebene Autograph eines Erdbebens hat deshalb grosses Interesse, weil es die erste derartige Aufzeichnung war, welche absolute Maasse für die stattgehabte Bewegung angab. Es muss ferner hierzu bemerkt werden, dass das Balkenwerk, an welchem der Apparat angebracht ist, eine solide, vierseitige, hölzerne Pyramide bildet, welche durch eiserne Bänder gut verbunden ist, mit der unteren Hälfte der Basis im Erdboden ruht, und nur durch Erschütterung der Erde in Bewegung gesetzt werden kann. Ein solches Balkenwerk schliesst die Möglichkeit unabhängiger Schwingungen aus. Bringt man das Zeiger-Pendel in jene drei Lagen, welche den oben erwähnten Stössen (horizontale Bewegung von 0,5, 10 und 1,67 mm) entsprechen, so kommt es nach 1, bezüglich 1,2 und 2,2 Secunden zur Ruhe. Bei einem Erdbeben muss es noch viel schneller zur Ruhe kommen, da hier die Bedingungen hierfür viel günstiger sind, denn bei dem Experiment musste die 25 Kilo schwere, träge Kugel aus der verticalen Richtung be-

wegt werden, während bei einem Erdbeben diese Kugel nahezu vollkommen am selben Platze bleibt. Es lässt sich daraus der Schluss ableiten, dass bei dem Beben vom 25. Juli 1880 die Erdbewegung ohne Unterbrechung volle zwei Minuten dauerte, weil wenn eine Unterbrechung von nur zwei Secunden stattgefunden hätte, der Apparat dies zweifellos angezeigt hätte.¹

Es mag hier bemerkt sein, dass weitaus die grösste Zahl der Erdbeben eine solche längere Dauer der Bewegung aufweist, während welcher einzelne intensivere Schwingungen als Stösse hervortreten — sehr selten mag ein Erdbeben einem einzigen momentanen Stoss entsprechen. Wie complicirt die Bewegungen bei einem Erdbeben sind, erhellt aus den Aufzeichnungen der modernen Seismographen (Vergl. Tafel II), wir kommen hierauf noch zurück, haben uns aber vorläufig noch mit der möglichst genauen Zeitangabe der Erschütterungen zu beschäftigen.

Einen Apparat, welcher das Eintreten sehr schwacher Erdbeben, sowie jener Erzitterungen des Bodens, von welchen im vorhergehenden Abschnitte (vergl. S. 110) gesprochen wurde, selbstthätig verzeichnet, beschreibt JOHN MILNE. Wenn dieser Apparat auch mehr meteorologisches, als seismologisches Interesse besitzt, da jene feinen, durch Wind hervorgebrachten Erzitterungen („Tremors“) uns weniger zu beschäftigen haben, der Apparat aber gerade für die Beobachtung dieser die erspriesslichsten Dienste leistet, so mag er doch hier ausführlicher erörtert sein, als ein Beispiel jener selbstregistrirenden Apparate auf deren Thätigkeit die moderne Erdbebenforschung ein so hohes Gewicht legt.

Die Figuren 21, 22 und 23 bringen die Einrichtung dieses Apparates zur Anschauung.

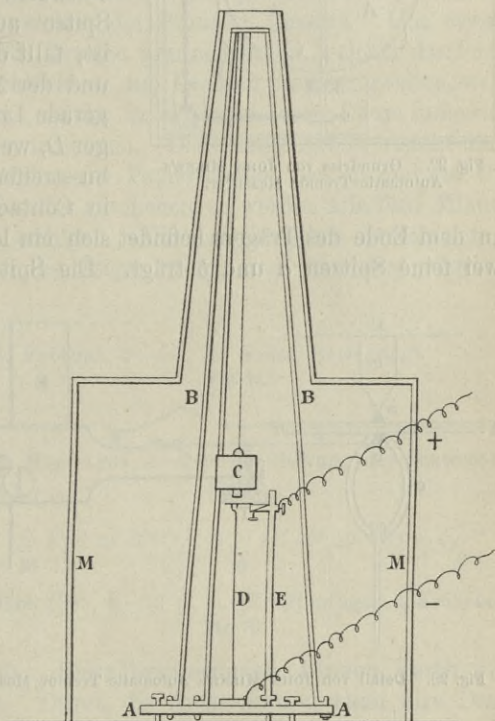


Fig. 21. JOHN MILNE'S Automatic Tremor Measurer.

¹ E. KNIPPING: Observation of the nature (Modalität) of the Earthquake of July 25th 1880 by means of Dr. WAGENER'S Seismometer. (Uebersetzt aus den Mittheilungen der Deutschen Gesellschaft für Natur- und Völkercunde Ostasiens.) — Transactions of the Seismological Society of Japan, Vol. III. 1881. S. 107.

AA ist eine kreisförmige, ungefähr $\frac{3}{4}$ Zoll dicke Scheibe von Guss-eisen, welche auf Schrauben ruht, die ihre genaue horizontale Einstellung ermöglichen. Mit dieser Scheibe fest verbunden erhebt sich ein aus Winkeleisen gebildeter, 5 Fuss hoher Dreifuss *BB*, welcher den Träger des Pendels *C* bildet. Am Ende dieses Pendels befindet sich eine Kupfer-röhre (3 Zoll im Durchmesser und $2\frac{1}{2}$ Zoll lang), welche mit Blei gefüllt und ungefähr 7 Pfund schwer ist. Sie wird von einem feinen Eisendraht ge-tragen, der 3 Fuss $3\frac{1}{4}$ Zoll lang, und in ein kleines Loch einer Platte auf der Spitze des Dreifusses festgelöthet ist. An der Basis des Pendels ragt eine kleine Spitze *c* vor. (Siehe Fig. 23). Nachdem die Kupferröhre mit dieser Spitze auf der Drehbank hergestellt ist, fällt der Aufhängepunkt, die Spitze und der Mittelpunkt der Röhre in eine gerade Linie. Ein langer leichter Träger *D*, welcher aus einem lackirten Bam-busstreifen besteht, ist, wie Fig. 3 zeigt, in Contact mit der Basis des Pendels.

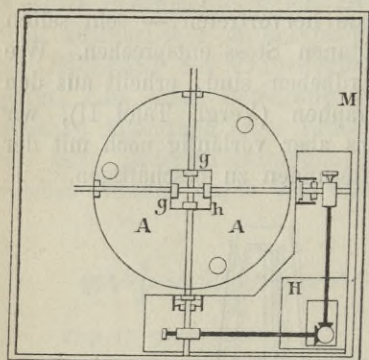


Fig. 22. Grundriss von JOHN MILNE'S Automatic Tremor Measurer.

Am dem Ende des Trägers befindet sich ein leichter Kupferring *e*, der oben zwei feine Spitzen *a* und *b* trägt. Die Spitze *a* wird in Contact mit der Basis des Pendels ge-bracht durch Drehung der Schraube *T*, welche die Feder hebt, auf welcher *b* ruht. *T* wird von einem festen Ständer *E* ge-tragen, welcher an drei Punkten auf *A* ruht; *ff* ist eine Blei-scheibe, welche unge-fähr ebensoviel wiegt, als der Träger unter dem Punkte *b*. Bei

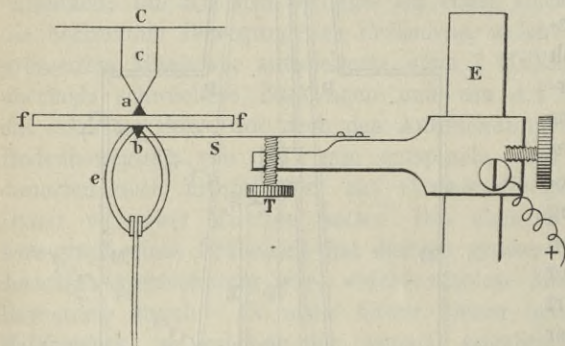
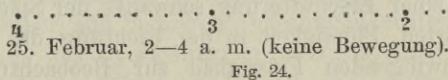


Fig. 23. Detail von JOHN MILNE'S Automatic Tremor Measurer.

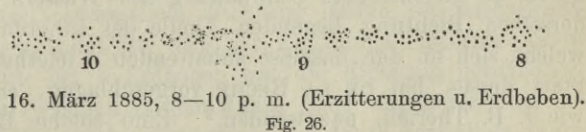
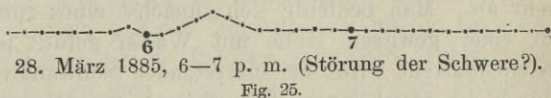
einem Apparat ist $ab = 6$ mm, während die ganze Länge von *D* 415 mm beträgt. In Folge dieser Dimensionen muss sich, wenn die Basis des Pendels um 1 mm bewegt wird, das untere Ende des Zeigers um ungefähr 70 mm bewegen. Die Werthe, welche die beobachteten Abweichungen des Zeigers angeben, können geschätzt werden, indem man einer der Schrauben, welche die Basis-Platte horizontal stellet, eine leichte Drehung giebt, und wenn man diese Platte unter einem bekannten Winkel stösst. Die Selbstregistrierung erfolgt durch das Durchschlagen electricischer

Funken von der Spitze des Zeigers durch einen Papierstreifen, welcher unter dieser Spitze in ungefähr 1 mm Distanz vorbeigeführt wird (eine ähnliche Einrichtung zeigt ein von BOUQUET DE LA GRYE angewendeter Apparat). Um den Verlust einer Aufzeichnung zu vermeiden, wenn der Zeiger sich parallel der Länge des Papiers bewegt, werden zwei Papierstreifen *g g* verwendet, welche sich in Folge der Thätigkeit des Uhrwerkes *H* in rechten Winkeln bewegen. Ein Streifen läuft unter dem anderen über die Oberfläche einer Kupferplatte *h*. (Siehe Fig. 22.) Das angewendete Papier ist das gewöhnliche bei dem MORSE'schen Telegraphenapparat verwendete. Der Zeiger einer Uhr sendet alle fünf Minuten den Strom zweier THOMSON'schen Zellen durch eine Inductions-Rolle, welche den Funken liefert, um das Papier zu durchlöchern. Jede Stunde macht der Zeiger der Uhr längeren Contact, indem er einen schmalen Platinstreif passirt, und in Folge dessen entsteht ein grösseres Loch in den sich bewegenden Papierstreifen, welches die Stunden anzeigt. Um etwaige Irrthümer zu vermeiden, wird derselbe Secundärstrom, welcher das Papier auf der einen Maschine durchlöchert, mit Drähten zu einer zweiten, wenig verschieden gebauten, geleitet, welche in einem anderen Raum aufgestellt ist, um hier dieselben Dienste zu leisten. Die einzige Arbeit besteht darin, das Uhrwerk aufzuziehen, welches die Papierstreifen bewegt und die Uhr, welche den Contact giebt. Ist dies geschehen, so werden alle fünf Minuten selbstthätige Aufzeichnungen erfolgen. Die Art derselben ist folgende:

1) Manche Tage bleiben die Zeiger ruhig, und dies wird angezeigt durch die gleichmässigen und in einer geraden Linie liegenden Löcher (Fig. 24).



2) Oft befinden sich die Zeiger im Zustand der Unruhe, und die Funken durchlöchern das Papier an manchen Punkten, und geben so einen Streifen, der mehrere



Millimeter breit ist (Fig. 26). Diese Erzitterungen können durch zehn oder zwölf Stunden anhalten. Durch die Aufzeichnung kann ihre Dauer und die Grösse der Bewegung genau gemessen werden. Die Apparate in beiden Räumen stimmten in der Aufzeichnung des Vorkommens der Erzitterungen mit den Ruheperioden überein.

3) Zuweilen weicht der Zeiger langsam 31 von der geraden Linie ab und kehrt langsam wieder dahin zurück. Dies findet gewöhnlich zwei- oder dreimal nacheinander statt, und jede einzelne Abweichung dauert fünfzehn bis sechzig Minuten (Fig. 25). Die beiden Instrumente zeigen diese Erscheinung aber meist nicht übereinstimmend, und MILNE sagt

deshalb, dass er die Frage, ob sie durch wirkliche Störungen des Niveaus (Abweichungen der Schwere) oder einfach durch locale Bewegungen verursacht wurden, erst nach eingehenderer Beobachtung erörtern wolle.

4) Manchmal wird das Papier über die ganze Breite in allen Richtungen durchlöchert. Dies zeigt an, dass ein Erdbeben stattfand und der Zeiger Schwingungen machte (Vergl. Fig. 26 ungefähr 9,15 p. m.).

Die vorstehenden Figuren hat MILNE in seiner Abhandlung¹ als genau nach den Original-Diagrammen copirt veröffentlicht.

Wenn in diesem Apparate der elektrische Funke zur selbstthätigen Aufzeichnung verwendet wurde, so geschieht bei anderen Instrumenten dieselbe in mannigfacher anderer Weise. Sie kann geschehen durch das Ausfliessen von Tinte aus engen Glasröhrchen, durch das Laufen des Zeigers über berusste Glasplatten, endlich durch Photographie, die wohl die besten Resultate liefert. Wir werden Gelegenheit haben, bei Besprechung der modernen Seismographen auf diese verschiedenen Methoden der automatischen Aufzeichnung zurückzukommen.

Der oben erörterte Apparat verzeichnet nur den Eintritt einer Erdbewegung, und lässt die Natur derselben erkennen — er giebt aber für die eigentlichen Erdbeben nicht die genaueren Daten über Richtung und Stärke der Bewegung.

Die Ermittlung derselben ist seit langer Zeit durch primitive Vorrichtungen angestrebt worden, die wir vorerst betrachten wollen, ehe wir auf die Instrumente der modernen Erdbebenbeobachtung eingehen.

Bei einer Erschütterung schwankt der Spiegel einer in einem Gefässe aufbewahrten Flüssigkeit in der Richtung des Stosses. Die Anwendung einer schwingenden Flüssigkeit zur Beobachtung der Stossrichtung ist sehr alt. Man bediente sich zunächst eines runden Gefässes, welches bis zu einer gewissen Höhe mit Wasser gefüllt ist, dessen Oberfläche mit Kleie bestreut wird; bei eintretenden Schwankungen des Erdbodens wird durch die gleichsinnige Schwankung des Wassers eine Benetzung der in derselben Richtung liegenden Theile des inneren Gefässrandes bewirkt, welche sich an den daselbst anhaftenden Kleitheilen zu erkennen giebt. Statt dessen hat DE LA BECHE vorgeschlagen, eine klebrige Flüssigkeit, wie z. B. Theriak, anzuwenden.² Eine solche Beobachtung der Stossrichtung wurde unbeabsichtigt bei dem Bündner Beben von 1804 gemacht; hier „bemerkte man allen Milchgebsen (Schüsseln), dass der Rahm auf der Morgen- und Abendseite gestiegen war“,³ was einer ost-westlichen Bewegung entsprechen würde.

¹ JOHN MILNE: Earth Tremors in Central-Japan, Transactions of the Seismological Society of Japan, Vol. XI., 1887. S. 13—17.

² Anleitung zum wissenschaftlichen Beobachten, übers. von REHBOCK S. 112 — citirt in NAUMANN: Lehrbuch der Geognosie S. 203.

³ RÖDER und TSCHARNER: Gemälde der Schweiz — Graubünden — citirt in E. REYER: Theoretische Geologie S. 644.

Sehr bekannt ist der auf demselben Principe beruhende, von CACCIATORE angegebene Seismometer,¹ welcher in allen Lehrbüchern beschrieben und abgebildet ist, aber auch bei Erdbebenbeobachtungen ganz gute Dienste geleistet hat. Er besteht, wie Fig. 27 zeigt, aus einem flachen kreisrunden Gefässe, dessen Seitenwand von acht in einer Ebene liegenden und den Punkten eines regulären Achteckes entsprechenden Löchern durchbohrt ist, welche nach aussen mit Rinnen oder Röhren in Verbindung stehen, unter deren jeder sich ein kleiner, fest stehender Becher befindet. Dieses Instrument wird an einem, vor zufälligen Erschütterungen gesicherten Orte dergestalt aufgestellt und befestigt, dass die acht Ausgussöffnungen den Weltgegenden Nord, Nordost, Ost u. s. w. entsprechen, während deren untere Ränder in einer Horizontalebene liegen; endlich

füllt man das Gefäss so weit mit Quecksilber, dass der Spiegel desselben bis an diese unteren Ränder reicht. Sobald nun eine Schwankung der Erdoberfläche eintritt, wird im einfachsten Falle ein Theil des Quecksilbers durch diejenigen beiden sich gegenüber liegenden Oeffnungen ausfliessen, deren Verbindungslinie der Richtung der Bewegung am nächsten liegt; auch wird die Menge des ausgeflossenen Quecksilbers um so grösser sein, je stärker die Schwankung war.

Selbstverständlich wird aber in den meisten Fällen Quecksilber aus mehreren Oeffnungen austreten, aber auch dann wird die Menge des Quecksilbers in den einzelnen Bechern gestatten, die Stossrichtung ungefähr zu bestimmen. Mittelst dieses Seismometers wurden zu Anfang unseres Jahrhunderts häufig Beobachtungen angestellt, von welchen die zu Palermo seit 1818 eingeleiteten nach HOFFMANN das Resultat ergaben, dass von 27 stärkeren Erdbeben 19 sehr constant eine fast ost-westliche Richtung hatten, was nach HOFFMANN'S Ansicht darin begründet ist, dass der 21 Meilen entfernte Aetna östlich von Palermo liegt; bei 4 Erdbeben war die Richtung nordsüdlich und bei 4 anderen, von welchen 3 dem Jahre 1831 angehören, fiel sie in die Richtung NO—SW, welche fast genau auf die in demselben Jahre entstandene vulkanische Insel Iulia verweist.

Ein ähnliches Seismometer ist später von COULIER angegeben worden. Dasselbe besteht aus einem Kugelsegment, dessen Basis horizontal eingestellt werden kann, während auf dem Scheitel eine Vertiefung angebracht ist, aus welcher Rinnen nach den verschiedenen Weltgegenden führen. Die centrale Vertiefung wird auch hier bis an den Rand mit Quecksilber gefüllt.² Mit Recht machte schon AIMÉ darauf aufmerksam,

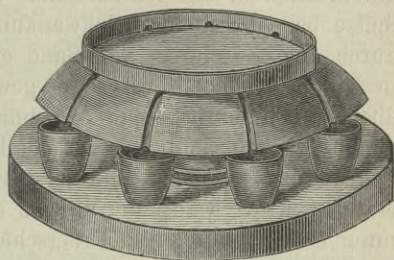


Fig. 27. CACCIATORE'S Seismometer.

¹ POGGENDORF: Annalen, Band 24, S. 62; NAUMANN'S Lehrbuch der Geognosie S. 203 etc.

² Bulletin de la soc. géolog. de France, t. IV. 1834. S. 393.

dass mit derartigen Instrumenten verticale Bewegungen gar nicht, horizontale aber insofern nur ungenügend beobachtet werden können, als der Apparat nur den ersten Stoss anzeigen kann, die späteren Bewegungen aber gar nicht anzugeben vermöge, oder doch nicht erkennen und unterscheiden lasse.¹

Jedenfalls sind die auf die Bewegung von Flüssigkeiten gegründeten Seismometer wenigstens in dieser rohen Form kaum zu geeigneten Beobachtungen über Richtung und Stärke der Erdbewegung tauglich.

Ein ebenso altes, wie häufig als Erdbebenmesser angewendetes Instrument ist das Pendel. Das einfachste aller Seismometer besteht in einem 1—1,5 m langen, an seinem oberen Ende befestigten Faden, an welchem unten ein Bleiloth angebracht ist, dessen Spitze die Oberfläche eines untergestellten, mit feinem Sande erfüllten Gefässes berührt, so dass diese Spitze bei eintretenden Schwankungen des Lothes die Richtung derselben durch eine Furche in den Sand einschreibt. Dieses Instrument ist früher in Italien allgemein verbreitet gewesen — es ist sehr empfindlich, liefert aber sehr unbefriedigende Ergebnisse schon wegen der Beweglichkeit des Sandes, hauptsächlich aber deshalb, weil das Pendel selbstständige Schwingungen macht (und in denselben wieder durch spätere Stösse beeinflusst wird), während zugleich die Unterlage, auf welcher die Einzeichnung erfolgt, durch die Erderschütterung bewegt wird. Jedes einfache Pendel liefert aus diesem Grunde eine ungemein verzerrte Aufzeichnung der Erdbewegung. Dieser Mangel lässt sich auch durch eine Verbesserung der Aufzeichnung, indem man den Sand, in welchem die Spitze des Bleilothes Furchen zieht, durch ein geeigneteres Medium ersetzt, nicht ausreichend bekämpfen.

Ein vom Mechaniker SALSANO in Neapel in Vorschlag gebrachter Apparat bestand nach NETOLICZKA² aus einem langen Pendel mit einem 36 Pfund schweren Gewicht und einem Pinsel am unteren Ende, welcher mit einer färbenden Substanz die Grösse der erregten Schwingungen und die Richtung derselben auf einer untergelegten papiernen Windrose verzeichnen sollte. Auch sollte am Gewichte des Pendels eine Querstange mit Klöppeln angebracht werden, um bei der Bewegung an Glocken zu schlagen und den Beobachter aufmerksam zu machen.

Ein selbstregistrirendes Pendelseismometer hatte KREIL schon 1855 angegeben. Es besteht im Wesentlichen aus einem Pendel, welches nach allen Richtungen schwingen, sich aber nicht um seine Achse drehen kann. Eine unten angebrachte Spitze drückt gegen die innere Wand eines Cylinders, der sich durch ein Uhrwerk in 24 Stunden einmal um seine Achse dreht.³ Hängt das Pendel ruhig, so beschreibt der Stift eine Kreislinie, wird es bewegt, Linien von unregelmässiger Gestalt. Dieser

¹ Ebenda, t. VI. S. 133.

² EUGEN NETOLICZKA: Ueber Erdbeben und Vulkane. Wien 1858. S. 14.

³ Sitzungsberichte der k. Akad. d. Wissenschaften, math. nat. Cl. Wien 1855. XV. Bd. S. 370.

Apparat vermag jedoch keine näheren Angaben über die Richtung und Stärke der Bewegung zu liefern.

Ein sehr einfaches Seismometer, welches trotz seiner primitiven Einrichtung geeignet ist, unter Umständen recht brauchbare Daten über die Richtung und die Stärke einer Erschütterung zu geben, hat MALLET 1858 vorgeschlagen.¹ Dasselbe besteht aus zwei auf einander senkrecht angeordneten Reihen von kleinen Säulen, welche bei je einem Instrument aus demselben Materiale (Marmor, Holz oder Gusseisen u. dgl.) bestehen sollen, und bei gleicher Höhe im Durchmesser regelmässig ab- oder zunehmen sollen. Das Verhältniss der Höhe zum Durchmesser soll etwa von 3:1 bis 9:1 sinken, und demgemäss auch die Stabilität der Säulen abnehmen. Die Säulen stehen auf einer festen und ebenen Basis, sind aber von lockerem Sand umgeben, in welchem sie beim Umfallen liegen bleiben, oder doch durch eine unverkennbare Spur anzeigen, nach welcher Seite sie gefallen seien. Dieser einfache Apparat giebt Fingerzeige, aus welchen sich die Richtung und Stärke einer Bewegung um so besser ermitteln lässt, je einfacher dieselbe war. Da aber Erdbeben, wie wir bereits gesehen haben, zumeist nicht einfache Stösse sind, sondern länger andauernde und während dem in Intensität und Richtung sich ändernde Bewegungen, vermag das MALLET'sche Instrument in den meisten Fällen nicht, befriedigende Resultate zu liefern.

MALLET hat übrigens auch ein complicirteres, selbstregistrirendes Instrument beschrieben, welches ausser der Richtung auch die Höhe und Länge einer Erdbebenwelle, sowie die Dauer derselben bestimmen soll. Es besteht dasselbe im Wesentlichen in einer schwebenden und um eine Achse beweglichen Trommel, auf welche mit Stiften, die mit einer Batterie in Verbindung gesetzt sind, Zeichen aufgeschrieben werden, aus denen die gesuchten Elemente der Bewegung sich erkennen lassen sollen.²

Ausgehend von der Erwägung, dass solche Instrumente von der allergrössten Bedeutung sein würden, welche direct die Emergenz des Stosses zu registriren vermöchten, da nach seiner Ansicht sich hieraus am unmittelbarsten und ganz abgesehen von theoretischen Voraussetzungen, die Tiefe der erregenden Stelle sich ergeben würde, hat A. v. LASAULX einen Seismometer in der Weise construirt, dass er eine Kugel von dem specifischen Gewichte des Wassers bei 15° in einem in den Erdboden eingelassenen, gemauerten Gefässe frei schwebend, ringsum mit beweglichen, radial ausstrahlender Stäbchen umgab, deren Ortsveränderung durch eine Bewegung der Kugel in jedem Azimuthe markirt werden sollte, so dass sich hieraus erkennen liesse, in welcher Richtung, nicht nur horizontal, sondern auch von unten nach oben die durchgehende Erschütterung die Kugel erfasste und bewegte.³

¹ Rep. Brit. Assoc. 1858. S. 98.

² Proc. of royal Irish Akad. XXI. S. 50 — citirt in A. v. LASAULX: Die Erdbeben, KENNIGOT's Handwörterbuch der Mineralogie etc. I. S. 356.

³ A. v. LASAULX: Die Erdbeben, a. a. O. S. 358.

Mit Recht aber sagt v. LASAULX von dieser Vorrichtung: „Solche Apparate, wie überhaupt Seismometer, können aber freilich den Beweis ihrer praktischen Brauchbarkeit erst dadurch liefern, dass ein Erdbeben über sie hingehet.“

Wir haben deshalb die Seismometer, welche die Erdbebenforscher Japans in Vorschlag brachten, deshalb vor anderen, gleichfalls sinnreich ausgedachten und möglicherweise gute Resultate in Aussicht stellenden Instrumenten vorzugsweise zu berücksichtigen, weil sie ohne Ausnahme in jenem erdbebenreichen Lande auf das Eingehendste erprobt und eben in Folge ihres fortwährenden Gebrauches einer stetigen Verbesserung und Vervollkommnung unterzogen wurden.

Dies zeigt sich zunächst bei den Pendelseismometern, welche in ihrer primitiven Form zwar empfindliche, aber, wie wir oben gesehen haben, für Selbstaufzeichnung der Bewegung nicht sehr geeignete Apparate darstellen. Durch die Bemühungen aber, welche sich EWING, GRAY, MILNE und WAGENER um die Vervollkommnung der Pendelseismometer gaben, wurden dieselben zu sehr schätzenswerthen Instrumenten, welche bei der Beobachtung der japanesischen Erdbeben sehr brauchbare Resultate lieferten.

JOHN MILNE hat eine sehr interessante und lehrreiche Zusammenstellung über die moderne Entwicklung der Pendelseismometer gegeben.¹ Pendel-Seismometer waren die ältesten Instrumente, um Aufzeichnungen auf einer festen Platte zu erhalten. Der Haupteinwand gegen solche primitive Instrumente, wie sie 1841 in Schottland angewendet wurden, um Aufzeichnungen zu erhalten, ist, dass sie eine Einrichtung entbehren, welche die Erdbewegung vergrößert darstellt, sowie, dass bei dem Eintritt stärkerer Erschütterungen die Aufzeichnungen dadurch ihren Werth verlieren, weil die Pendel unveränderlich in Schwingungen gerathen.

Das erste Pendel-Seismometer mit einem vervielfältigenden Zeiger war jenes, welches Dr. G. WAGENER construirte und beschrieb.² Aus seiner Beschreibung geht hervor, dass es sein Bestreben war, jede Neigung des Pendels zu Schwingungen durch die Trägheit des vervielfältigenden Zeigers zu bekämpfen, und in der That kam das Pendel, wenn es in Bewegung gesetzt wurde, bald zur Ruhe. Es war dieses Seismometer danach das erste bei welchem eine vervielfältigende Aufzeichnung stattfand, und zugleich das erste bei welchem der Versuch einer Compensation gemacht wurde.

Die Nothwendigkeit einer solchen, um für schwache Bewegungen ein Pendel vollkommen astatisch zu machen und mehrere Mittel, welche dies gestatten, hat bald darauf THOMAS GRAY in einer Abhandlung erörtert,³

¹ J. MILNE: Modern Forms of Pendulum Seismometers (Their Development and Tests), Transactions of the Seismological Society of Japan, Vol. XII. 1888. S. 21.

² Transactions of the Seismological Society of Japan, Vol. I. S. 54.

³ TH. GRAY: On a method of compensating a Pendulum so as to make it astatic. Transactions of the Seismological Society of Japan, Vol. III, 1881. S. 145.

und wir finden dann fast in jedem Bande der Transactions der Seismological Society neue Vorschläge und Verbesserungen älterer Pendelapparate.

In Band V, S. 89 beschrieb Professor EWING ein Doppelpendel, von welchem er eine etwas veränderte Form in Band VI, S. 19 vorführte. Eine Verbesserung dieses Doppelpendelseismometers hat sodann Professor SEKIYA in Band VIII, S. 83 beschrieben. Wir können an dieser Stelle auf die allmähliche Umgestaltung dieser Instrumente nicht näher eingehen, sondern müssen uns beschränken, zwei weitere nach den von MILNE gegebenen Schilderungen als Beispiele der vervollkommenen Einrichtung der Pendelseismometer vorzuführen.

Figur 28 stellt uns eine Modification eines Doppelpendelseismometers vor. W ist das ringförmig gestaltete Hauptpendel, welches in S seinen Schwerpunkt hat.

w ist das Gewicht des umgekehrten Pendels, welches seinen Stützpunkt in v hat und in S durch ein Kugelgelenk mit dem Hauptpendel verbunden ist. Der Stiel dieses umgekehrten Pendels aber ist über den Punkt v , um welchen er sich nach allen Richtungen zu drehen vermag, nach abwärts in einen Zeiger p verlängert, welcher die Aufzeichnung auf der angerauchten Glastafel t besorgt. Um die Reibung zu verringern, trägt der Zeiger p an seinem unteren Ende, welches die Glastafel nicht berührt, ein Glasröhrchen g , durch welches eine feine Nadel gleitet, die auf der Glastafel t ruht. Diese liegt ihrerseits auf der Platte m , welche herabfällt, wenn der Keil n entfernt wird, so dass die Glastafel t ohne Schwierigkeit ausgewechselt werden kann.

Es sei bemerkt, dass, wenn L die Länge des Hauptpendels W , und l die Länge des umgekehrten Pendels w ist, zum Zwecke des gewünschten Astaticismus $Wl = wL$ sein muss.

Ein anderer Apparat, welchen JOHN MILNE beschreibt, unterscheidet sich von dem eben vorgeführten dadurch, dass das umgekehrte Pendel, welches bei O auf dem Träger B ruht, sein Gewicht w über dem Haupt-

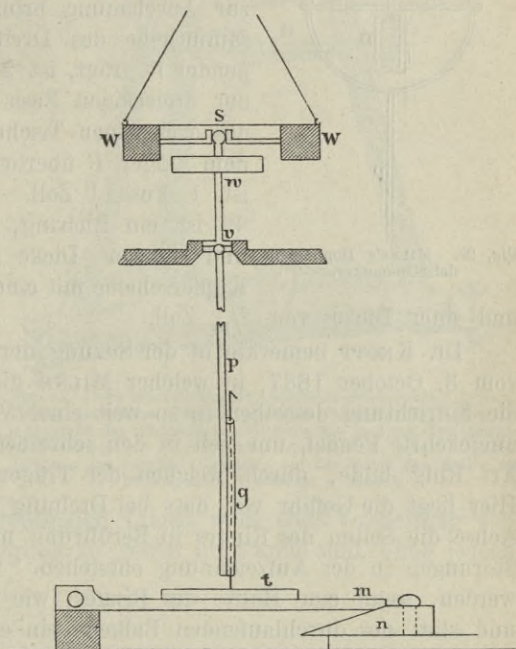


Fig. 28. Duplex Pendulum Seismometer.

pendel W hat, mit dem das umgekehrte Pendel in ähnlicher Weise wie bei dem früheren Apparat bei S verbunden ist. Das umgekehrte Pendel $W S O$ findet dann eine Verlängerung nach abwärts in dem schreibenden Zeiger p , dessen unteres Ende in der bereits oben erörterten Weise eingerichtet ist. Bei diesem Doppelpendelseismometer, dessen wesentliche Bestandtheile die Figur 29 zeigt, ist Astaticismus für schwache Bewegungen erreicht, wenn $\frac{w}{W} = \frac{p^2}{Ll}$, wobei $p = S O$, L die Länge des Hauptpendels und l diejenige des umgekehrten Pendels ist.

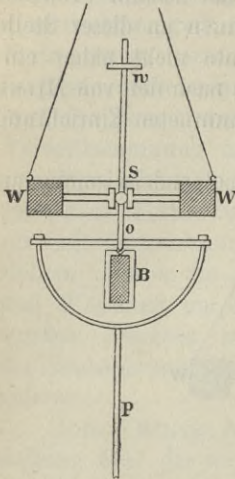


Fig. 29. MILNE's Doppelpendelseismometer.

Die Ausmaasse des vollständigen Apparates, dessen sich J. MILNE bediente und welchen Fig. 30 zur Anschauung bringt, sind folgende: Die Gesamthöhe des Dreifusses, welcher das Hauptpendel W trägt, ist 2 Fuss 9 Zoll, die Seitenlänge der dreieckigen Basis beträgt 2 Fuss. Die Höhe des dreieckigen Tisches, in dessen Mitte eine von dem Träger B überbrückte Oeffnung sich befindet, ist 1 Fuss 1 Zoll. $S—O$ ist gleich $1\frac{1}{2}$ Zoll. W ist ein Bleiring, dessen Durchmesser 7 Zoll und dessen Dicke $\frac{3}{4}$ Zoll beträgt, w eine Kupferscheibe mit einem Durchmesser von $1\frac{3}{4}$ Zoll und einer Dicke von $\frac{3}{16}$ Zoll.

Dr. KNOTT bemerkte in der Sitzung der Seismologischen Gesellschaft vom 3. October 1887, in welcher MILNE diesen Apparat vorführte, dass die Einrichtung desselben in so weit einer Verbesserung bedürfe, als das umgekehrte Pendel, um sich in den schreibenden Zeiger fortzusetzen, eine Art Ring bilde, durch welchen der Träger des Pendels hindurchgeht. Hier liegt die Gefahr vor, dass bei Drehung des Stabes um seine centrale Achse die Seiten des Ringes in Berührung mit dem Träger kommen und Störungen in der Aufzeichnung entstehen. Diese Gefahr kann verringert werden, wenn eine Hälfte des Ringes, wie Fig. 31 zeigt, abgeschnitten und statt des durchlaufenden Balkens ein einseitiger Träger angewendet wird. Wird anfänglich der Halbbogen des Stabes dem Träger gegenübergestellt, so ist die Gefahr der Berührung beider sehr gering, immerhin aber könnte auch hier bei länger dauernder Bewegung eine Drehung um zwei rechte Winkel eintreten. Hingegen giebt KNOTT eine Einrichtung an, welche vollkommen freie Beweglichkeit gestattet. An dem verticalen Stab ist ein Kreuzstück ab befestigt, welches mit schneidenden Kanten auf einem Ringe ruht, der seinerseits wieder, wie Figur 32 zeigt, mit den Schneiden c und d auf festen Trägern liegt. cd bildet einen rechten Winkel mit ab . Der Durchschnitt beider Linien giebt den Punkt, um welchen sich der Stab nach jeder Richtung drehen kann; denn eine leichte Biegung des Ringes, wie sie Fig. 33 zur Anschauung bringt,

bewirkt, dass die Schneiden *ab* und *cd* sämmtlich in einer Ebene liegen. —

MILNE veranstaltete eine sehr interessante Probe solcher Pendelseismometer, indem er sie auf einen kleinen, leicht zu erschütternden Tisch stellte, der mit einem seismographischen Zeiger versehen war, welcher die dem Tisch ertheilte Bewegung 6·3 Mal vergrößert auf einer angerauchten Glasplatte verzeichnete. Die Instrumente gaben grösstentheils sehr zufriedenstellende Aufzeichnungen, welche mit den direct vom Tisch herrührenden Diagrammen bestens übereinstimmten.

Es muss aber hervorgehoben werden, dass die von den Pendelseismometern auf festliegenden Platten gemachten Aufzeichnungen (abgesehen von dem Umstand, dass sie eben nur die horizontale Wirkung der Erschütterung verzeichnen) deshalb an Unklarheit leiden, weil die einander vielfach kreuzenden Linien wohl eine Vorstellung von der Mannigfaltigkeit der Bewegung zu geben im Stande sind, ohne jedoch

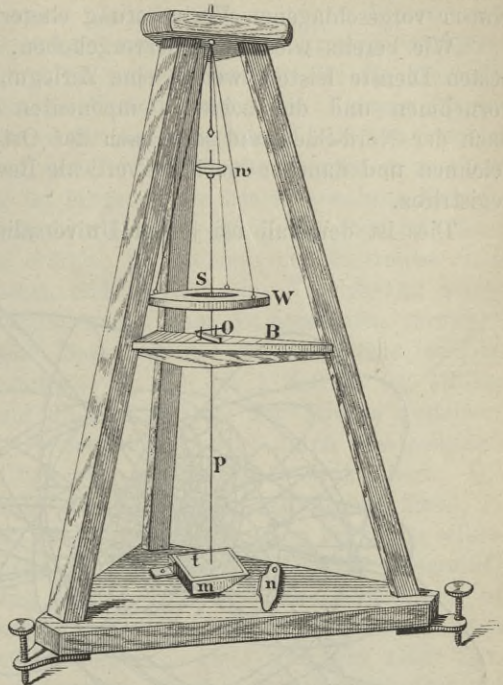


Fig. 30. JOHN MILNE'S Duplex Pendulum Seismometer, *W* ringförmig gestaltetes Gewicht des Hauptpendels; *O* Fusspunkt, *w* Gewicht des umgekehrten Pendels, das in *S* mit dem Hauptpendel durch ein Kugelgelenk verbunden ist; *p* schreibender Zeiger, *t* angerauchte Glasafel, auf der durch den Keil *n* zu befestigenden Unterlage *m* ruhend.

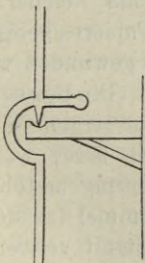


Fig. 31.

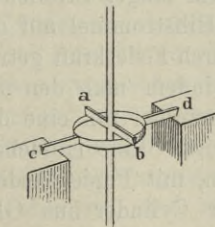


Fig. 32.

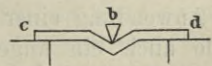


Fig. 33.

KNOTT'SCHE Verbesserungen des MILNE'SCHEN Seismometers.

näheren Aufschluss über die Aufeinanderfolge der einzelnen Phasen zu geben. Ein von einem Pendelseismometer der besten Construction aufgezeichnetes Diagramm ist, wie Figur 34 lehrt, eigentlich unlesbar.

Das Instrument, welches die nachstehende Aufzeichnung geliefert hat, ist jenes von JOHN MILNE construirte, welches in Fig. 30 (siehe S. 161) abgebildet erscheint, das umgekehrte Pendel desselben ist mit der von KNOTT vorgeschlagenen Verbesserung eingerichtet.

Wie bereits wiederholt hervorgehoben, werden jene Instrumente die besten Dienste leisten, welche eine Zerlegung der horizontalen Bewegung vornehmen und die beiden Componenten derselben, also die Bewegung nach der Nord-Süd- und jene nach der Ost-West-Richtung gesondert verzeichnen und daneben noch die verticale Bewegung nach auf- und abwärts registriren.

Dies ist der Fall bei jenem Universalinstrument, welches als „Gray-

Milne's Seismograph“ in Japan Anwendung fand, und welches zuerst durch GRAY,¹ dann, mit einigen leichten Abänderungen, durch J. MILNE² beschrieben wurde. Eine Haupteigenschaft dieses vollkommen selbstthätig arbeitenden Apparates ist zunächst die Aufzeichnung der Bewegungselemente auf einem beweglichen Empfänger.

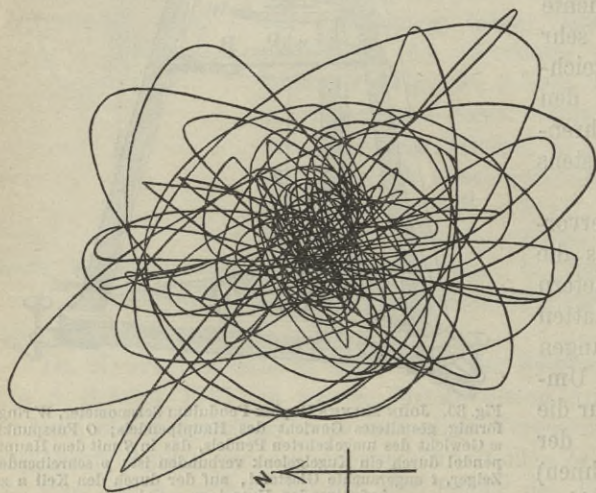


Fig. 34. Aufzeichnung des Erdbebens vom 3. September 1877 durch MILNE's „Pendulum Seismograph.“ (Vergrößerung 6 fach.)

Bei der vollständigsten Einrichtung des Apparates wird die Oberfläche, auf welcher die Aufzeichnung erfolgt, von einem langen Streifen dünnen Papieres gebildet, welcher allmählich von einer Hilfstrommel auf die andere gewunden wird, die durch ein Gewicht, oder durch Federkraft getrieben wird. Die Bewegung wird gleichförmig gemacht, indem man den Streifen auf seinem Wege von der einen zur anderen Trommel um eine dritte laufen lässt, welche durch ein Uhrwerk bewegt wird. Eine einfachere Einrichtung besteht in der Anwendung einer einzigen, mit Papier bedeckten Trommel (an deren Stelle auch ein angerauchter Cylinder aus Glas oder Metall verwendet werden kann), welcher man ausser der Rotation um ihre Achse noch

¹ Philosophical Magazine, April 1887.

² J. MILNE: The GRAY-MILNE Seismograph, Transactions of the Seismological Society of Japan, Vol. XII. 1888, S. 33.

eine langsame Bewegung in der Richtung derselben ertheilt, so dass die Aufzeichnung in Gestalt einer Spirallinie zu Stande kommt. Da aber bei Erdbeben die Genauigkeit der Zeitangabe bis auf die Secunde nöthig ist, wird es schwierig, mit einem Cylinder von mässigen Dimensionen Aufzeichnungen zu erhalten, die sich auf mehr als zwölf Stunden erstrecken. Die Spiral-Aufzeichnung hat hingegen grosse Vortheile für die Beobachtung der schwachen und langsamen Veränderungen des Niveaus (Pulsationen, Lothablenkungen), und es ist für die Beobachtung derselben geradezu sehr zweckmässig, die Bewegung der Trommel recht langsam zu machen. Für die Erdbeben-Beobachtung ist hingegen die zuerst erwähnte Einrichtung vortheilhafter, ja es muss hier die Bewegung des Papierstreifens, auf welchem die Einzeichnung erfolgt, im Moment des Eintretens eines Erdbebens automatisch vergrössert, und zugleich eine Vorrichtung ausgeschaltet werden, welche Zeitsecunden auf dem Papierstreifen vermerkt. Wenn die gewöhnliche langsame Bewegung des Papierstreifens bei dem von MILNE beschriebenen Instrumente $\frac{1}{4}$ Zoll bis 1 Zoll in der Minute beträgt, kann die raschere auf 25—50 Zoll in der Minute gesteigert werden. Der Wechsel in der Geschwindigkeit wird durch eine geeignete Vorrichtung des treibenden Uhrwerkes automatisch bewerkstelligt. Die Aufzeichnung erfolgt durch Tinte, die aus feinen Glasröhrchen fliesst, in ebenderselben Weise, in welcher dies durch W. THOMSON bei einem selbstregistrirenden Apparate eingeleitet wurde, der bei Legung submariner Telegraphenkabel in Verwendung stand. Diese Art der Aufzeichnung ist sehr zweckmässig für die Anwendung fortlaufender Papierstreifen und besitzt ausserdem noch andere Vortheile: sie giebt eine sehr klare Darstellung, welche keine weitere Präparation für ihre Benutzung bedarf und sie ist mit einer äusserst geringen Störung durch Reibung an jenem Punkt, an welchem die Aufzeichnung erfolgt, verbunden.

Die beiden Röhrchen, welche die horizontalen Componenten der Bewegung aufzeichnen, werden durch zwei Pendel bewegt, von welchen eines in Fig. 35 dargestellt ist. Diese Pendel weichen dadurch von der gewöhnlichen Einrichtung ab, dass die Drähte, an welchen das Gewicht hängt, durch horizontale Arme aus der verticalen Linie gehalten werden. Diese horizontalen Arme *S* enden in schneidende Kanten, welche in flachen *V*-förmigen Gruben an dem gusseisernen Pfeiler *u* ruhen, der fest mit der Basalplatte des Apparates verbunden ist. Diese Pendel beschreiben Kegel, wenn sie in Bewegung gesetzt werden, und führen daher den Namen „Kegel-Pendel“ (Conical-pendulums). Der Grad der Abweichung von der Verticallinie kann beliebig vergrössert werden, da das Gewicht *r* auf dem Arme *S* verschiebbar ist, und seine Entfernung vom Unterstützungspunkt des Armes kann von einem halben Zoll bis zu einem Fuss vergrössert werden. Der Arm *S* besteht aus zwei Stücken, so dass ein Theil desselben entfernt werden kann, wenn grosse Empfindlichkeit gewünscht wird, und deshalb das Gewicht nahe an die schneidende Kante gerückt werden muss. Das Gewicht *r* ist vermittelst der in einem halben

Bogen gekrümmten Klammer *W* an einem feinen Platin- oder Stahldraht *v* aufgehängt, und zwar in der Weise, dass eine oben auf dem Pfeiler *u* angebrachte Vorrichtung gestattet, den Draht zu verlängern oder zu ver-

kürzen. Die Rolle *o*, über welche der Draht läuft, kann überdies durch Schrauben so gestellt werden, dass der Aufhängepunkt des Drahtes genau vertical über dem Stützpunkt des Armes *S* liegt. Das zweite, ebenso eingerichtete Pendel ist so angebracht, dass sein horizontaler Arm genau rechtwinklig zu jenem des ersten steht.

Diese Pendel gestatten vermöge der geschilderten Einrichtungen, die Periode ihrer freien Bewegung beliebig zu verlängern. Es ist sehr wichtig, dass bei solchen Apparaten die Masse, welche durch ihre Trägheit die

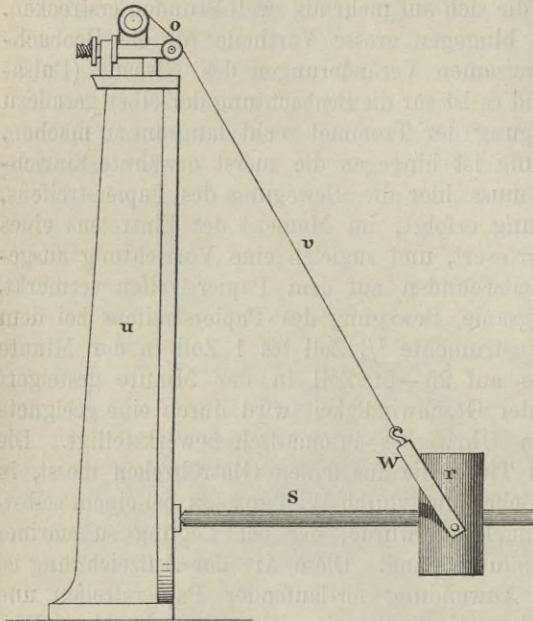


Fig. 35. GRAY-MILNE'S Seismograph.

Aufzeichnung der Erdbewegung liefert, so weit als möglich von der schneidenden Kante, oder dem fest mit der Erde verbundenen Punkte entfernt ist. Auf diese Weise kann eine lange Periode freier Schwingung zugleich mit einem grossen Beharrungsvermögen erhalten werden, da die grösste Bewegung, welcher die schneidende Kante unterliegt, den Arm nicht unter einem grossen Winkel zu bewegen im Stande ist. Wird aber diese Bedingung nicht eingehalten, so wird die Deutung der Aufzeichnungen wesentlich erschwert, zumal die träge Masse während ihrer eigenen freien Schwingung andere Bewegungen von solchem Winkelausschlage erhält, dass die Componente der Bewegung, welche sie aufzeichnen soll, nicht mehr in ihrer wahren Grösse erscheinen kann.

Das Röhrcchen, welches die verticale Componente der Erdbewegung registriren soll, wird von einem horizontalen Pendel geführt, welches in ähnlicher Weise eingerichtet ist, wie GRAY und EWING es schon früher angaben.¹ Bei dem Gray-Milne-Seismographen besteht dieses Pendel aus einem horizontalen Arm, der sich nur in einer verticalen Ebene drehen

¹ Transactions of the Seismological Society, Vol. I, S. 48, Vol. III, S. 140. — Philosophical Magazine, September 1881.

kann. Dieser Arm trägt an einem Ende die träge Masse, an dem anderen Ende ist er mit einer schneidenden Kante ausgestattet, die horizontal und rechtwinklig zu der Länge des Armes gestellt ist, und in eine umgekehrt *V*-förmige Grube in dem Gestell des Apparates eingreift. Der horizontale Arm wird durch zwei flache, kreisförmig gekrümmte Federn getragen, welche vermöge eines Ringes und einer schneidenden Kante ihn an einer Stelle zwischen dem Gewichte und dem Drehpunkte unterstützen. Der auf diese Weise getragene Arm besitzt bereits eine ziemlich lange Periode freier Bewegung und diese kann noch beliebig vergrößert werden durch ein zweites Paar von Federn, welche an einem leichten, über der Drehungsachse des Armes befestigten Balken nach abwärts ziehen. Dieses zweite Paar von Federn giebt, abgesehen davon, dass es die nöthige Compensation für das Beharrungsvermögen des Armes liefert, ein gutes Mittel, um den Arm genau horizontal zu stellen. Dies kann erreicht werden, wenn man entweder die Angriffspunkte dieser Compensations-Federn mit einer Schraubenvorrichtung versieht, um sie ein wenig nach vor- oder rückwärts zu verschieben, oder indem man eine Feder ein wenig vor, die zweite ein wenig hinter dem Drehungspunkte des Armes anbringt. Der Arm kann in letzterem Falle nach Belieben gesenkt oder gehoben werden, wenn man den Zug der einen Feder erhöht und jenen der anderen vermindert.

Vermöge der geschilderten Einrichtung ist der Gray-Milne-Seismograph im Stande, bei jedem Erdbeben die beiden Componenten der horizontalen Bewegung, sowie die verticale Bewegung selbstthätig auf einem Papierstreifen zu registriren.

Gleiches gilt von EWING's Seismographen, dessen Aufzeichnung jedoch nicht auf einem fortlaufenden Papierstreifen, sondern auf einer rotirenden Platte erfolgt. Unsere Tafel II giebt eine von diesem Seismographen gelieferte Aufzeichnung der horizontalen und verticalen Bewegung der Erderschütterung vom 15. Jänner 1887 zu Tokio in halber Grösse des Originalen, welches in einer Abhandlung des Professors S. SEKIYA¹ zur Veröffentlichung gelangte. Die Original-Abbildung stellt die horizontale Bewegung fünf Mal, die verticale acht Mal vergrößert dar, auf unserer Abbildung erscheint sonach erstere bloss 2.5 Mal, letztere vier Mal vergrößert. Die Platte, auf welcher die Aufzeichnung der Componenten der Bewegung erfolgte, führt in zwei Minuten und acht Secunden eine vollkommene Drehung aus, die radialen Linien bezeichnen die aufeinander folgenden Secunden. Aus der Aufzeichnung geht hervor, dass nach der 72sten Secunde die Bewegung im verticalen Sinne rasch abnahm, während sie in horizontaler Richtung noch längere Zeit andauerte.

Professor S. SEKIYA hat auf Grund dieser Aufzeichnungen ein aus Kupferdraht verfertigtes Modell hergestellt, welches in fünfzigfacher Ver-

¹ S. SEKIYA: A model showing the Motion of an Earth-Particle during an Earthquake. Transactions of the Seismological Society of Japan, Vol. XI. 1887.

grösserung die Bewegung eines Erdtheilchens während dieses Erdbebens zur Anschauung bringt. Die nachstehenden Figuren 36, 37 und 38 sind etwas verkleinerte Copien der Abbildungen aus der oben bereits erwähnten Abhandlung SEKIYA'S. Um Verwirrung zu vermeiden, musste das Modell getheilt werden, die beiden ersten Theile entsprechen je zwanzig Secunden der Bewegung, während der dritte Theil die Bewegung des Erdtheilchens in dem Zeitraum von 32 Secunden zur Ansicht bringen soll.

Fig. 36 stellt demgemäss die Bewegung vom Beginn der Erschütterung bis zum Ende der zwanzigsten Secunde, Fig. 37 jene von diesem Zeitpunkt bis zum Ende der vierzigsten Secunde und Fig. 38 endlich jene bis Ende der zweiundsiebzigsten Secunde dar.

Wie aus der auf Tafel II dargestellten Aufzeichnung des EWING'Schen Seismographen ersichtlich, hat jedoch die Bewegung noch viel länger ange dauert, sich aber hauptsächlich auf horizontale Oscillationen erstreckt.

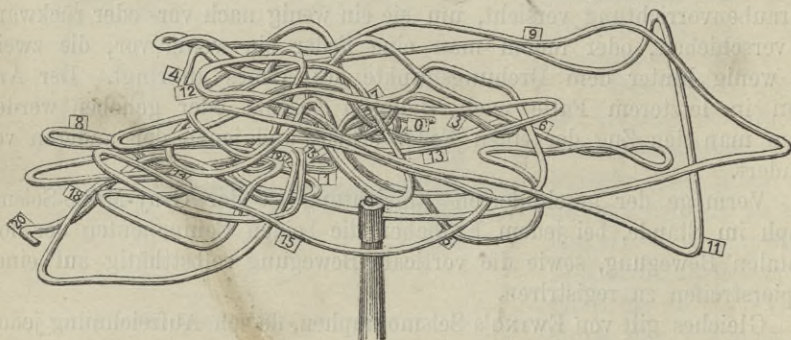


Fig. 36. SEKIYA'S Modell.

Die Figuren 36, 37 und 38 geben die nördliche Ansicht des Modells ein wenig von oben gesehen; sie zeigen deutlich die Mannigfaltigkeit und Unregelmässigkeit der Erdbewegung. In gewissen Augenblicken bewegte sich das Bodentheilchen, wie das Modell zeigt, nahezu in geraden Linien, während es in anderen Fällen Kreisbögen oder elliptische Curven beschrieb.

Der Heerd der Erschütterung vom 15. Jänner 1887 lag in einem schmalen Landstrich, siebzehn bis vierzig Meilen S.-W. von dem Punkt, an welchem das registrirende Instrument aufgestellt war. An letzterem Punkte begann die Erschütterung wie gewöhnlich mit schwachem Zittern, während der dritten Secunde erfolgte die erste kräftige horizontale Bewegung in der Richtung NW-SO, (also senkrecht zu der Linie, welche den Heerd des Bebens mit dem Beobachtungspunkte verbindet), begleitet von einer bemerkenswerthen verticalen Verschiebung. Horizontale und verticale Bewegung dauerten dann lebhaft fort, in der neunten Secunde (Fig. 36) wurde eine Verschiebung nach aufwärts von 1.3 mm oder $\frac{1}{20}$ Zoll aufgezeichnet, die grösste verticale Bewegung während der ganzen Erschütterung. Zugleich erfolgte auch eine horizontale Bewegung von

5 mm oder $\frac{1}{5}$ Zoll in der Richtung NW-SO, die Periode beider Oscillationen betrug 1.5 Secunden. Ebenso grosse Verticalbewegung erscheint in der zehnten Secunde. Ueberhaupt war die Verticalbewegung im Anfange der Erschütterung am grössten, und giebt deshalb der Fig. 36 auffallendere Züge als den beiden anderen. Die grösste horizontale Verschiebung von 7.3 mm oder nahezu $\frac{1}{4}$ Zoll ereignete sich später während der dreiunddreissigsten und vierunddreissigsten Secunde mit einer vollständigen Periode von zwei Secunden; ihre Richtung war ungefähr WSW-ONO, also nahezu dieselbe, aus welcher die Erschütterung kam; sie war jedoch nicht mit einer gleichzeitigen stärkeren verticalen Bewegung verbunden. Die Richtung der hauptsächlichsten Horizontalbewegungen, welche Fig. 38 zur Anschauung bringt, ist SO-NN, also senkrecht zur Verbreitungslinie der Erschütterung, wie jedoch Prof. SEKIYA mit Recht bemerkt, darf man hieraus keinen Schluss auf die Beziehungen der localen

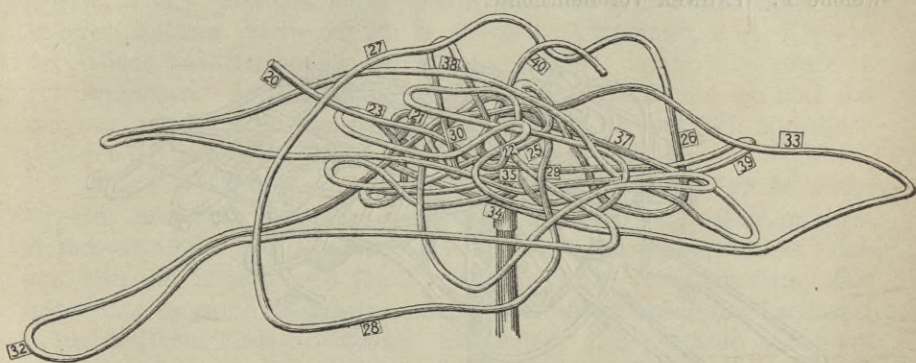


Fig. 37. SEKIYA's Modell.

Bodenbewegungen zu der Lage des Erdbebenherdes ziehen, weil eben die seismischen Wellen bei ihrer Fortpflanzung durch viele Umstände beeinflusst werden. Während des Theiles der Bewegung, welchen Fig. 37 zur Anschauung bringt, ereigneten sich nur wenige stärkere Oscillationen in verticaler Richtung, Fig. 38 hingegen zeigt mehrere derselben von grösserer Amplitude, welche durch ruhigere Zwischenseiten getrennt sind. Von der einundsiebzigsten Secunde an hörte die verticale Bewegung fast ganz auf und die horizontale dauerte noch durch mehr als eine Minute mit grosser Stärke fort. Das Zurücktretten der verticalen Bewegung lange vor jenem der horizontalen ist die gewöhnliche Erscheinung. Es ist daher heftige verticale Bewegung in der Regel mit gleichzeitiger starker horizontaler verbunden, aber die letztere wird oft ohne die erstere bemerkt. Die von Prof. SEKIYA hergestellten Modelle zeigen deutlich, wie complicirt in der Regel die durch ein Erdbeben hervorgerufene Bewegung des Bodens ist. Sie entspricht eben durchaus nicht der Wirkung eines einzigen Stosses, auch nicht einer gleichförmigen Wellenbewegung, weil eben aus Gründen, welche im vorhergehenden Abschnitt eingehend erörtert

wurden, die transversalen Wellen, welche der Bewegung zu Grunde liegen, in ihrer Ausbildung vielfach gehemmt, abgelenkt und in mannigfacher Weise beeinflusst worden.

Personen, welche beim Eintritt eines Erdbebens Kaltblütigkeit genug haben, brauchbare Beobachtungen über die Art der Bewegung anzustellen, werden diese Eigenthümlichkeit derselben ebenso festzustellen vermögen, wie die Seismographen, auch wenn sie nur auf die Wahrnehmungen ihrer Sinne angewiesen sind. Allerdings vermögen nur die Wenigsten beim Eintritt einer so ungewöhnlichen und erschreckenden Naturerscheinung ihre Aufmerksamkeit auf die Bewegungsvorgänge selbst zu richten.

Es mag gestattet sein, auf einige solche Beobachtungen hinzuweisen, welche mehr oder weniger deutlich das Wesen der Erdbewegung erkennen lassen. Die drei folgenden beziehen sich auf das Agramer Beben vom 9. November 1880 und sind der Monographie desselben entnommen, welche F. WÄHNER veröffentlichte.¹

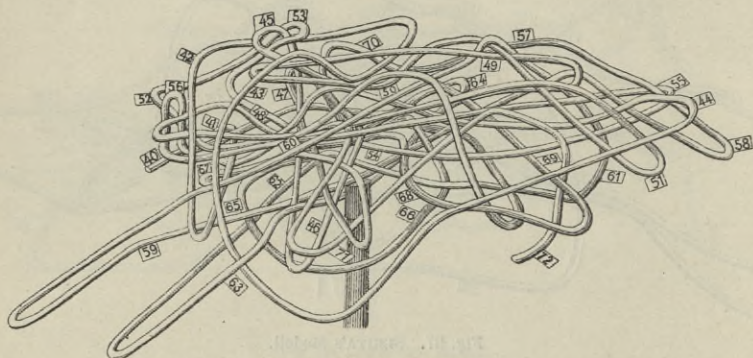


Fig. 38. SEKIYA's Modell.

„Die Art der Erschütterung im Zimmer, wo ich mich befand, war ein Schütteln; es begann zitternd, wurde vehementer und hörte auf. Wenn sich ein kräftiger Mann mir vis-à-vis stellen, mich bei den Schultern fassen und kurz schütteln würde, so war's. Dass gegen Ende einzelne von diesen „Schüttlern“ stärker waren, gebe ich zu. Hauptsächlich war es die lange Dauer, welche so verheerend wirkte. Ich habe in Wien in den siebziger Jahren zwei oder drei Erdbeben mitgemacht; hier auch schon zwei, das war das dritte, aber als ich glaubte, es müsse vorbei sein, da fing es erst recht an. Wie lange es dauerte, wer weiss es? 10 Secunden dauern lang, wenn es oben und unten in allen Fugen kracht.“ — (General von Waldstätten an Hofrath v. Hochstetter.)

„Am neunten November, ungefähr $\frac{1}{2}$ 8 Uhr früh stand ich im Garten auf der Südseite des Schulgebäudes, als ich auf einmal ein von West schnell herankommendes starkes Getöse hörte, als wenn ein starker Sturm

¹ Sitzungsberichte d. k. Akademie d. Wissensch. Wien, 88. Bd. 1883.

im Anzuge wäre, und zwar oberirdisch und unterirdisch, sich in grosser Breite gegen Süd und Nord ausdehnend und nach Ost verlaufend, d. i. gegen Agram. Hierauf hörte ich unter der Erde ein auch von West kommendes starkes Dröhnen, und die Erde fing an sich zu bewegen. Nach diesem Dröhnen vernahm ich ein schnelles Prasseln, ähnlich scharfem Donner, und mit diesem Prasseln entstand das erste furchtbare Erdbeben. Ich bemerkte, dass die Erde unter meinen Füssen mit mir sich in die Höhe hob und im nächsten Augenblick wieder senkte, dass sie sich dann einen Augenblick nach Süd und einen Augenblick nach Nord bewegte. Es kam mir vor, als wenn etwas unter der Erde wühlen und dadurch dieselbe sich heben würde, so heftig, als wenn sie zerspringen oder auseinanderfallen und ich in die Tiefe versinken müsste. Zugleich mit dieser Erschütterung begann das Schulgebäude so stark zu zittern und zu wackeln, dass die Dachziegel nach allen Seiten herabflogen, der Rauchfang herabstürzte, einige Fensterscheiben fielen, und aus dem Schulzimmer und anderen Räumen hörte ich ein so starkes „Gestrampfe“, d. h. Krachen der Wände und Herabfallen des Mörtels, dass ich dachte, alles stürze in sich zusammen. Sodann, als schon die Ruhe eintrat, hörte ich noch das von mir sich langsam gegen Agram zu entfernende und sich allmählich verlierende Getöse“. — (Lehrer M. Govetić zu Stenjevec.)

„Das erste Erdbeben war am 9. November um 7 U. 35 M. Früh. Es kam mir vor, dass der erste Stoss senkrecht war, später in einen Wirbel überging und mit einer wellenförmigen Bewegung schloss. Ich war eben im Zimmer und fühlte, dass das ganze Haus erzitterte, aber später fing es an zu schaukeln. Dasselbe erzählten auch die Landleute, welche auf dem Felde arbeiteten. Sie sagten, dass die Erde zuerst un- gemein stark erzitterte und dann mit den Häusern, Bäumen und anderen Gegenständen schaukelte. Einer, der auf der Strasse war, sagte, dass sich diese wie eine Schlange wand.“ — u. s. w. — (Lehrer S. Kirin in Maria Bistrica.)

Mit Recht legt WÄHNER in seiner Monographie hohen Werth auf diese und andere Beobachtungen, aus welchen er unmittelbar den Schluss ableitet, dass man es bei dem Agramer Beben mit transversalen Wellenbewegungen des Bodens zu thun hatte. Er sagt: „Aus den im Freien gemachten Beobachtungen ergiebt sich wohl für jeden, der nicht durch theoretische Vorurtheile befangen ist, sogleich, dass wir es mit einer Bewegung zu thun haben, bei welcher der Erdboden eine wellenförmige Gestalt annahm, wodurch die über dem Boden emporragenden Gegenstände sich schaukelförmig hin und her bewegten, während die einzelnen Theile der Oberfläche eine auf- und niedergehende Bewegung vollführten. Diese Beobachtungen weisen also mit aller Entschiedenheit darauf hin, dass wir es mit transversalen Wellenbewegungen zu thun haben, bei welchen der Boden seine Gestalt veränderte und sich wellenförmig krümmte.“

Die theoretische Erläuterung, welche WÄHNER über diese Wellenbewegung gab, wurde bereits im vorigen Abschnitte (siehe S. 49—55) mit-

getheilt, es erübrigt hier nur zu bemerken, dass, wie die Beobachtungen lehren, die Bewegung eine sehr unregelmässige sein muss, weil eben die Wellen bei ihrem Fortschreiten fortwährend beeinflusst, abgelenkt und modificirt werden. Dies erklärt dann die überaus complicirte Bewegung, welche die Erde in einer gewissen Entfernung vom Ausgangspunkt der Erschütterung erleidet, wie die genauen seismographischen Aufzeichnungen zeigen.

Vergegenwärtigen wir uns jedoch die Thatsache, welche übereinstimmend von den Beobachtern des Agramer Bebens (vergleiche den vorstehenden Bericht des Lehrers Govetić zu Stenjevec), sowie von dem EWING'schen Seismographen bei der Registrirung des Erdbebens vom 15. Jänner 1887 zu Tokio festgestellt wurde, dass horizontale Oscillationen des Bodens senkrecht auf die Verbreitungsrichtung des Erdbebens stattfinden können, so ersehen wir zur Genüge, dass wir nicht im Stande sind, aus der Ortsveränderung von Gegenständen oder den entstandenen Sprüngen und sonstigen Beschädigungen an Gebäuden die Verbreitungsrichtung eines Bebens festzustellen. Je genauer wir die Erscheinungen der Bodenbewegung, welche bei einem Erdbeben eintreten, zu beobachten suchen, desto mehr überzeugen wir uns von der Unmöglichkeit, jene Daten, auf welche frühere Forscher, wie MALLET, SEEBACH, LASAULX u. A. so hohes Gewicht legten, zur Feststellung der Propagations- oder Stossrichtung und zur Ermittlung des Erdbebenheerdes zu verwenden. WÄHNER hat in seiner Monographie des Erdbebens von Agram vom 9. Nov. 1880 mit Recht angenommen, dass manche der auffallenden Bewegungserscheinungen, welche durch verschobene Gegenstände oder entstandene Schäden an Gebäuden kenntlich wurden, nur durch Aenderung der Richtung, in welcher die Schwankungen erfolgten, zu erklären seien. (Vergl. die Discussion der Beschädigungen der Kirche der barmherzigen Schwestern in Agram, S. 56—57.)

Es darf uns deshalb nicht wundern, wenn gewissenhafte Forscher, welche die MALLET'sche Methode der Richtungsbestimmung einer Erdschütterung aus den Beschädigungen der Gebäude anzuwenden versuchten, so häufig in ein und derselben Ortschaft die widersprechendsten Daten über die Stossrichtung sammelten. Dies gilt beispielsweise von den Erhebungen, welche A. BITTNER nach dem Erdbeben vom 29. Juni 1873 zu Belluno vornahm. Ja man kann sogar behaupten, dass jede derartige Untersuchung in einem von einem Erdbeben betroffenen Orte um so widersprechendere Resultate ergeben wird, je mehr beschädigte Gebäude, umgestürzte Gegenstände u. s. w. aufgenommen, je mehr subjective Wahrnehmungen einzelner Personen berücksichtigt werden. Immerhin wird man häufig eine ziemliche Zahl übereinstimmender Erscheinungen beobachten können — es ist aber nach dem, was oben über die Bewegungsvorgänge gesagt worden ist, wohl hinreichend klar, dass dieser Theil der Beschädigungen der Gebäude sich auf die ausgiebigste Oscillation wird zurückführen lassen, deren Richtung aber durchaus nicht mit der Fort-

pflanzungsrichtung zusammenfallen muss, sondern mit derselben zumeist einen mehr oder weniger grossen Winkel bilden wird.

Wenn nun auch diese Erwägungen den Werth der Richtungsbestimmungen bei Erderschütterungen viel geringer erscheinen lassen, als er früher erachtet wurde, da man diese Beobachtungen im Sinne der älteren Methode der Heerdbestimmung verwenden zu können glaubte, so ist damit noch keineswegs gesagt, dass die Bestimmung der Bewegungsrichtung von keinem Werthe für die Erdbebenforschung sei. Auch dann, wenn wir, wie aus den vorhergehenden Darlegungen zur Genüge erhellt, in den Bewegungserscheinungen nicht mehr die Einwirkung einzelner directer Stösse von bestimmter Richtung sondern die mannigfachen und unregelmässigen Schwingungen einer Wellenbewegung erkennen, welche bei ihrem Fortschreiten durch verschiedene Einwirkungen beeinflusst wird, ist die Beobachtung dieser Schwingungsrichtungen von grossem Interesse. Gute Seismographen werden uns dabei selbstverständlich die grössten Dienste leisten, aber auch jene Hilfsmittel, welche sonst zur Bestimmung der „Stossrichtung“ angewendet werden, können uns wenigstens über die Richtung der Hauptoscillationen orientiren. Mit Recht sucht deshalb die Erdbebenforschung möglichst zahlreiche Beobachtungen über die localen Bewegungsrichtungen zu sammeln. Der HEIM'sche Erdbebenfragebogen, welcher beabsichtigt, ohne besondere Instrumente angestellte Beobachtungen in grösstmöglicher Zahl zu gewinnen (vergl. S. 25 u. 26), enthält auch die Frage: „in welcher Richtung wurde die Erschütterung verspürt?“ und in der erläuternden Schrift HEIM's über die Beobachtung der Erdbeben werden jene Anhaltspunkte angeführt, welche ausser dem Gefühl des Beobachters zur Bestimmung der Richtung der Bewegung dienen können. Sie mögen hier eine etwas eingehendere Besprechung finden.

HEIM sagt: „Zur Bestimmung der Intensität und der Richtung der Bewegung können ausser dem Gefühl des Beobachters noch eine Menge von Dingen vortreffliche Dienste leisten. Wenn die Erschütterung so stark ist, dass Gegenstände umfallen, von Tischen geworfen werden etc., oder die Möbel sich verschieben, so soll stets die Himmelsrichtung, in welcher dies geschehen ist, so genau als möglich notirt werden, bevor die Lage der Gegenstände wieder verändert wird.“ Hierzu ist zu bemerken, dass Gegenstände, welche umfallen, häufig nach dem eigentlichen Fall noch einer weiteren Bewegung unterliegen, in geänderter Richtung abprallen oder fortrollen. Von Bedeutung aber ist nur die erste Bewegung, welche der Gegenstand ausführt, man wird deshalb unter Umständen nach den Spuren des ersten Aufschlages auf dem Erdboden oder an anderen Gegenständen zu suchen haben. Aus diesem Grunde ist bei dem 1858 von MALLET vorgeschlagenen, oben (S. 157) besprochenen Erdbebenmesser, welcher im wesentlichen aus zwei Reihen kleiner Säulen von verschiedener Stabilität besteht, die Einrichtung getroffen, dass diese Säulen zwar auf einer festen und ebenen Basis stehen, aber von Sand umgeben sind, in welchem sie beim Umfallen liegen bleiben oder doch durch eine

unverkennbare Spur anzeigen, nach welcher Seite sie gefallen sind. Runde Gegenstände, Flaschen, Gläser und dergl., welche dann, wenn sie durch einen Stoss umgeworfen werden, zumeist in einer ganz verschiedenen, und in der Regel krummlinigen Bahn weiter rollen, können deshalb zur Bestimmung der Bewegungsrichtung nur dann verwendet werden, wenn die Fallrichtung selbst unmittelbar beobachtet wurde. Bei den Verschiebungen, welche Gegenstände, Tische, Möbel u. s. w. erlitten haben, wäre ein Augenmerk darauf zu richten, ob die Art und Richtung der Bewegung nicht etwa durch die ungleichmässige Unterstützung des Objectes veranlasst wurde. Zumal bei den so häufig beobachteten Drehungserscheinungen wäre es angezeigt, zu ermitteln, ob dieselben nicht durch die Art der Aufstellung oder theilweisen Befestigung der betreffenden Gegenstände verursacht wurden. (Vergl. S. 37, 38). HEIM führt ferner als besonders wichtig die an Gebäuden wahrzunehmenden Beschädigungen an. Er sagt: „Bei manchen Erdbeben fielen diejenigen Gebäudemauern um, oder dann blieben sie auch unversehrt, welche senkrecht zur Ausbreitungsrichtung der Erschütterung stehen, während die Mauern, welche in der Radialrichtung liegen, Risse erhalten, aber nicht stürzen. Aus der Lage der Risse kann sogar einigermaassen die Tiefe des Herdes erkannt werden. Notizen über die Lage der zerrissenen, oder gestürzten, oder dazwischen gebliebenen Mauern, sowie über die Lage der Risse in denselben, über die Richtung, in welcher Kamine gefallen sind etc. sind also stets von besonderem Werthe.“ Wie bereits im vorhergehenden Abschnitte erörtert, besitzen allerdings die Zerstörungen und Beschädigungen von Gebäuden nicht jenen Werth für die Untersuchung der Erdbeben, welcher ihnen von MALLET und Anderen zugeschrieben wurde, demungeachtet ist die Beobachtung der Risse, der herabgestürzten Theile, der umgeworfenen Mauern u. s. w. von grossem Interesse. Wir müssen lediglich die beobachteten Thatsachen im Sinne jener Erklärung deuten, welche WÄHNER auf Grund der transversalen Wellenbewegung des Bodens gegeben hat (vergl. S. 49—55). Wir werden also die verschiedenartigen Beschädigungen, die an Gebäuden wahrzunehmen sind, nicht verwenden, um im Sinne MALLET's den Emergenzwinkel der Stösse zu bestimmen und, so wie HEIM andeutet, aus der Lage der Risse die Tiefe des Erdbebenherdes zu ermitteln, da diese Deutung der Sprünge, die angeblich auf der Stossrichtung mehr oder minder senkrecht stehen sollen, eine unzulässige ist. Wir werden auch in Betracht ziehen, dass Sprünge stets an den schwächeren Stellen der Mauern auftreten werden und deshalb an die Durchbrechungen derselben, an die Thür- und Fensteröffnungen sich anschliessen müssen. Demungeachtet werden wir gewisse Beschädigungen, wie abgeschleuderte Mauerecken, nach bestimmten Richtungen umgeworfene Gebäudetheile etc. mit Vortheil benutzen können, um die Richtung der heftigsten Oscillationen des Bodens bestimmen zu können. Es wird dabei verhältnissmässig leicht sein, festzustellen, ob nahezu ausschliesslich horizontale Hin- und Herbewegung des Bodens stattgefunden hat oder ob auch die verticale Com-

ponente der Bewegung eine beträchtliche Grösse erlangte. Letzteres muss z. B. bei dem Erdbeben von Calabrien 1783 der Fall gewesen sein, wenn, wie berichtet wird, in manchen Ortschaften die Pflastersteine wie Geschosse in die Luft flogen und die Häuser sammt den Fundamenten wie durch eine Mine in die Höhe geschnellert wurden. Aber auch bei dem im Ganzen viel weniger heftigen und weniger zerstörendem Erdbeben von Agram 1880, bei welchem im Allgemeinen die horizontale Bewegung weit über jene im verticalen Sinne vorherrschte, liess manche Erscheinung recht deutlich erkennen, dass auch die verticale Bewegung nicht unbedeutend war. So berichtet WÄHNER: „Von den Dächern wurde eine Unmasse Ziegel herabgeschleudert. Das konnte nur durch eine im verticalen Sinne erfolgte Bewegung geschehen, da jeder einzelne Ziegel mit einer an ihm angebrachten vorspringenden Leiste auf dem Dachgerüste hängt; dabei musste auch der über ihm liegende Ziegel gehoben werden, damit er unter demselben emporspringen und hervorgleiten konnte. Ja die Ziegel scheinen sogar wirklich in die Höhe geschleudert worden zu sein. An einem kleinen ebenerdigen Häuschen (anscheinend einem Pulverthurme) seitwärts der Save-Strasse (im S. von Agram), das nicht grösser ist, als ein Eisenbahn-Wächterhaus, lagen eine grosse Anzahl von Ziegeln lose auf dem Dache. Hier konnten die Schwingungen nicht durch die Höhe des Objectes so bedeutend geworden sein (wie bei einem Thurme oder mehrstöckigen Hause), sondern es musste die unmittelbar vom Erdboden übertragene Bewegung heftig genug sein, um derartige Wirkungen hervorzurufen.“¹ WÄHNER führt weiter ein in dieser Hinsicht bemerkenswerthes Beispiel von der Weiber-Strafanstalt an der Save-Strasse, südöstlich von Agram an, welches deutlich die Grösse der verticalen Componente der Erschütterung illustriert: „Eine Mauer umfriedet das Gebäude sammt einem grossen freien Platz von rechteckiger Form. An der S 20° W-Seite wurde die Mauer gehoben, man erblickte durch dieselbe hindurch das jenseitige Kleefeld, und die Mauer schloss wieder zusammen.“²

Horizontal laufende Sprünge werden in der Regel als ein Anzeichen dafür zu betrachten sein, dass die verticale Componente der Bewegung nicht unbedeutend gewesen sei. Bei einigermaassen starker verticaler Wirkung wird man insbesondere unter den Decken der Wohnräume horizontal verlaufende Sprünge wahrnehmen, welche davon herrühren, dass die Balkenlagen sich ein wenig gehoben hatten.

Wir sehen so, dass die genaue Beobachtung der Beschädigungen an Gebäuden auch heute noch von Interesse bleibt, nachdem die MALLET'sche Methode der Herdtiefenbestimmung aufgegeben werden musste. Vorgreifend späteren Erörterungen, welche sich auf die Intensität der Erschütterung und die Beobachtung derselben beziehen, mag bereits hier bemerkt sein,

¹ F. WÄHNER: Das Erdbeben von Agram am 9. November 1880, 88. Bd. d. Sitzungsber. d. k. Akad. d. Wiss. Wien 1883, S. 39 des S.-A.

² Ebenda, S. 41.

dass die Grösse der Beschädigung, welche Bauwerke erleiden, ausser von der Stärke der Erschütterung auch noch von der Orientirung und von der Art der Gebäude abhängen. In Bezug auf die Orientirung wurde bereits erwähnt, dass Mauern, deren Längsrichtung senkrecht zur Richtung der Bewegung steht, unter Umständen ganz umgeworfen werden können, während selten Sprünge auftreten, welche solche Mauern quer durchsetzen. Eine Mauer, deren Längsrichtung mit der Bewegungsrichtung zusammenfällt, wird hingegen nie umgeworfen werden, wohl aber sehr zahlreiche verticale oder schiefe Sprünge erleiden und häufig ihre oberen



Fig. 39. Schloss St. Nikola. Einsturz gegen N 15° W. Nach der von Dr. F. WÄHNER mit Benutzung einer Photographie von Joh. Standl in Agram gegebenen Abbildung.

Ecken verlieren. Aehnlich, wie sich solche Mauern für sich allein verhalten, werden sich die Wirkungen auch bei den einzelnen Gebäudetheilen zeigen. Figur 39 zeigt uns beispielsweise den Einsturz der gegen Nord gerichteten Mauer des Schlosses St. Nikola, verursacht durch das Beben vom 9. November 1880. WÄHNER schildert die Beschädigung dieses Schlosses mit folgenden Worten: „Die gegen N 15° W gelegene schmälere Seite des einfachen vierseitigen Gebäudes stürzte vollständig ein, und zugleich damit stürzten bedeutende Theile der beiden anstossenden Mauern, wie dies aus der Ansicht besser ersichtlich ist, als Worte es darzustellen vermögen. Von der gegen O 15° N gelegenen Wand stürzte ein grösserer Theil mit, als von der gegen W 15° S gelegenen Seite. An der gegen S 15° O gelegenen Wand finden sich meist verticale Sprünge, welche an den Fensteröffnungen gebunden sind, und der obere Theil des abgestutzten

Giebels ist eingestürzt. An der W 15° S-Wand sind nur vereinzelte, schwache Sprünge an den Fenstern vorhanden und ausserdem ein langer, vollkommen verticaler starker Sprung in der Nähe des eingestürzten Endes. An der O 15° N-Wand sind nur zwei schwache Sprünge an den Fenstern, welche ich aber wegen ihres dunklen Aussehens (geschwärzte Ränder) für alte (schon vor dem Erdbeben vorhandene) Risse halte. Diese Wand ist im oberen Theile mit verticaler Begrenzung abgerissen; als unmittelbare Fortsetzung dieser Linie erscheint ein verticaler Sprung in dem tieferen Theile der Mauer. Es entspricht dies dem erwähnten starken verticalen Sprünge auf der entgegengesetzten Seite.“

So wie in einfacheren Fällen, gleich dem eben geschilderten, wird auch in complicirteren die Orientirung der einzelnen Gebäudetheile zur Schwingungsrichtung sich mehr oder minder deutlich in den Beschädigungen aussprechen. Das Maass derselben wird aber auch von der Bauart des Gebäudes, von dem verwendeten Materiale, der Höhe, dem Vorhandensein von Gewölben u. s. w. abhängen. Der Einsturz der ganzen nördlichen Mauer des Schlosses St. Nikola, die oben geschildert wurde, muss ausser der Intensität der Bodenbewegung und der Orientirung des Gebäudes vornehmlich der schlechten Bauart desselben zugeschrieben werden. WÄHNER sagt über diese: „Es ist zu beachten, dass der unterste Theil der Mauer aus grossen runden Steinen (grossen Geschieben) besteht; das Uebrige ist Ziegelmauerwerk, in welchem sich auch hie und da ein derartiger Stein findet.“ Auch die weitgehende Zerstörung, welche das Schloss St. Helena bei dem Erdbeben vom 9. November 1880 erlitt, muss theilweise der schlechten Bauart, insbesondere der Beschaffenheit des Mörtels zugeschrieben werden. „Untersucht man auf irgend einem Schutthaufen den Mörtel,“ — sagt WÄHNER — „so erkennt man, dass derselbe bei der Berührung mit der Hand zu feinem Sand zerfällt. Man ist darum geneigt, den hohen Grad der Zerstörung, welcher dem Auge bei dem ersten Anblick des Gebäudes entgegentritt, nicht einer besonders heftigen Erschütterung, sondern dieser schlechten Beschaffenheit des Mörtels zuzuschreiben. Es kann auch in keinem Falle der grosse Einfluss dieses Umstandes auf die Widerstandsfähigkeit der Mauern bestritten werden. Wenn man aber bei näherer Untersuchung sieht, wie sogar die aus Quadersteinen bestehenden Grundfesten des Schlosses an den Stellen, an welchen die einzelnen Werkstücke zusammengefügt sind, auseinanderwichen; wenn man sich in das Innere des Gebäudes begiebt, über Haufen von Mauerwerk in die Gemächer des ersten Stockwerkes eindringt und allenthalben die fürchterliche Zerstörung wahrnimmt; wenn man auf eine Thürschwelle tritt, um dort, wo Decke und Fussboden des ersten Stockwerkes hinabgestürzt sind, in die Tiefe zu blicken und in demselben Augenblicke merkt, wie der feine Schutt unter und neben den Füßen in rieselnde Bewegung geräth und in verborgene Klüfte hinabsinkt, weil die Schwere des eigenen Körpers hingereicht hat, die zerrüttete Mauer, auf welcher man steht, in gefahrdrohende Bewegung zu versetzen; wenn man die zahlreichen kleineren

und grösseren Einstürze sieht, welche im Innern stattgefunden haben, und ausserdem erkennt, dass keine Mauer vorhanden ist, die noch mit einer andern in fester Verbindung wäre, oder in sich selbst ein Ganzes bilden würde (weshalb das Gebäude vollständig abgetragen werden muss); so kann man sich der Ueberzeugung nicht verschliessen, dass nur eine gewaltige Bewegung diese Verwüstung hervorgerufen haben kann.“

Sehr lehrreich in Bezug auf die grosse Bedeutung, welche Materiale und Bauart für die Beschädigungen der Häuser bei Erdbeben haben, ist MALLET'S Beobachtung über die Wirkungen des calabrischen Erdbebens von 1856. Er giebt an, dass die meisten Häuser der vernichteten Ortschaften unregelmässig aus runden, ovalen und eckigen Blöcken zusammengefügt waren, deren weite Fugen höchst unvollkommen mit schlechtem, zu wenig Sand enthaltendem Mörtel ausgefüllt waren, und dass beim ersten Stosse diese Gebäude zu einem wüsten Trümmerhaufen zusammenfielen, während vollständig gut gebaute Häuser unbeschädigt inmitten der chaotischen Verwüstung standen.

Die Zerstörung oder weitgehende Beschädigung eines Gebäudes hängt aber ausser von der Stärke der Erschütterung von der Orientirung und dem Materiale des Gebäudes, insbesondere von der Höhe desselben ab. Bei jener, Seite 49—55 geschilderten Wellenbewegung des Bodens müssen Gebäude um so mehr leiden, je höher sie sind. Wir dürfen uns daher nicht wundern, wenn bei den meisten heftigen Erdbeben das Einstürzen der höheren Gebäude, insbesondere der Thürme gemeldet wird. So wurde bei dem niederösterreichischen Erdbeben vom 15. und 16. September 1590 der Stephansthurm zu Wien sehr schwer beschädigt, stürzte jedoch nicht ein, dagegen wurde der obere Theil des Michaelsthurmes bis zur Uhr herabgeworfen. Bei dem Erdbeben vom 27. Februar 1768 stürzte der südöstliche Thurm der alten Burg zu Wiener-Neustadt, in welcher sich schon damals die Militärakademie befand, sofort ein. Die Beschädigungen, welche der hohe Thurm zu St. Stephan in Wien durch wiederholte Erdbeben erlitten hatte, veranlassten zuerst eine (unzweckmässige) Restauration des Thurmes durch Einziehen einer eisernen Helmstange, dann eine weitgehende Abtragung des Thurmes und Wiederaufbau des oberen Theiles desselben. Die beiden Thürme der Domkirche zu Wiener-Neustadt hatten gleichfalls durch die wiederholten heftigen Erdbeben, welchen diese Stadt vielleicht am häufigsten unter allen niederösterreichischen Ortschaften ausgesetzt war, im Laufe der Zeit so sehr gelitten, dass sie schliesslich abgetragen werden mussten.

Die fürchterlichen Folgen, welche die Erdbeben-Katastrophe vom 28. Juli 1883 auf Ischia hatte, die ausserordentlich grosse Zahl der eingestürzten Häuser und der grosse Verlust an Menschenleben wurden hauptsächlich der Bauart der Häuser zugeschrieben, welche allzuhoch und vielfach auch in den Obergeschossen mit Gewölben angelegt waren. Am 28. Juli 1883 stürzten von 6626 Häusern, welche die Insel mit Ausschluss der vom Erdbeben wenig heimgesuchten Stadt Ischia zählte, nicht

weniger als 2278 ein, 3616 wurden beschädigt und nur 722 blieben unversehrt. Die Zahl der Todten wird von den officiellen Berichten auf 2313, die der Verwundeten auf 762 angegeben. Dieser grosse Verlust an Menschenleben ist sowohl dem Umstande zuzuschreiben, dass der Stoss bei Nacht eintrat, als die ganze Einwohnerschaft und die vielen anwesenden Badegäste fast alle unter Dach waren, als insbesondere der oben erwähnten Bauart zur Last zu legen. Mit Recht wird deshalb verlangt, dass in solchen, heftigen Erschütterungen ausgesetzten Gegenden die Häuser nicht zu hoch gebaut werden und nur wenige Geschosse enthalten sollen, sowie dass Gewölbe zu vermeiden und höchstens im Keller anzubringen sind.

Gewölbe stürzen bei nur einigermaßen heftigen Erdbeben in der Regel ein, und um so leichter, je grösser ihre Spannweite und je höher ihre Lage ist. Die hochgewölbten Kirchen haben daher bei vielen Erdbeben zahlreiche Verluste an Menschenleben verursacht. So geschah es bei dem furchtbaren Erdbeben vom 1. November 1755, welches Lissabon verheerte, bei welchem um so mehr Menschen zu Grunde gingen, als an dem Morgen des Festes Aller Heiligen die sämtlichen Kirchen der Stadt mit Besuchern gefüllt waren. Bei dem Erdbeben von Belluno vom 29. Juni 1873 gingen die zahlreichsten Menschenleben in dem unbedeutenden Orte San Pietro di Feletto, südwestlich von Ceneda zu Grunde, da man dort aus den Trümmern der zusammengestürzten Kirche 36 Todte hervorzog. An diesem Einsturz trug theilweise allerdings auch die Bauauffälligkeit der Kirche Schuld und eben dieser Umstand hat auch den theilweisen Einsturz der Kathedrale von Belluno veranlasst, die schon baufällig und zum Theile abgesperrt war. Auch ist der Einsturz der letzteren nicht am Tage des Erdbebens selbst, sondern genau eine Woche später, am 6. Juli um 5 Uhr Morgens erfolgt. Auch bei dem Agramer Beben vom 9. November 1880 ereigneten sich mehrfache Einstürze von Gewölben. So stürzte in der Domkirche das ganze Gewölbe über dem Sanctuarium ein, — im südlichen Nebenschiffe stürzte ein Strebebogen ein und schlug das Gewölbe einer Gruft durch.

Als ein Beispiel der leichten und vollständigen Zerstörung von Gewölben mag eine Kapelle in Kašina angeführt sein, deren Aeusseres, wie Figur 40 zeigt, zwar auch schwere Spuren der Verheerungen wahrnehmen liess, welche das Erdbeben vom 9. November 1880 verursachte, aber doch nicht die vollkommene Verwüstung andeutete, welche das Innere durch den Einsturz der gewölbten Decke erlitt. (Vergl. Fig. 41.)

WÄHNER berichtet von diesem Bauwerk: „Eine etwa 800 Schritte südöstlich von der Kirche (zu Kašina) liegende grössere Kapelle, deren Längsachse die Richtung $W\ 15^{\circ}\ S$ — $O\ 15^{\circ}\ N$ hat, ist furchtbar zerrüttet (vollkommen baufällig). Die gegen $N\ 15^{\circ}\ W$ gelegene Seite hat weniger gelitten, vielleicht deshalb, weil dieselbe gar keine Fensteröffnungen enthält. Die übrigen Seiten sind von klaffenden Sprüngen durchsetzt, welche der Hauptrichtung nach vertical sind. Die Abweichungen von der verticalen Richtung lassen ausser dem Einflusse der Fensteröffnungen keine

bestimmte Regel erkennen. Figur 40 und 41 geben ein anschauliches Bild der Zerstörung. Die Innenansicht zeigt, dass die S 15° O-Wand gegen aussen durch horizontale Sprünge abgebrochen und geneigt ist. Der (aufgesetzte) Thurm ist auffallend ungefähr gegen N-NO geneigt. Ein nahezu verticaler Sprung der S 15° O-Wand des Thurmes setzt sich



Fig. 40. Kapelle in Kasina. Nach der von Dr. F. WÄHNER mit Benutzung einer Photographie von Joh. Standl in Agram gegebenen Abbildung.

mittelst einer Beschädigung des Ziegeldaches in einen Sprung der entsprechenden Wand der Kirche fort.“ —

Die angeführten Beispiele mögen genügen, um die Schwierigkeit der Beurtheilung der von einem Erdbeben hervorgerufenen Gebäudebeschädigungen zum Behufe der Feststellung von Richtung und Intensität der Bewegung zu benutzen. Demungeachtet ist es selbstverständlich nothwendig, die stattgehabten Beschädigungen so genau als möglich zu erheben, dabei jedoch auch jene Nebenumstände (Bauart, Materiale, Bau-

zustand vor dem Erdbeben) thunlichst zu berücksichtigen, um nicht falsche Vorstellungen über die Intensität der Erschütterung, welche die Zerstörungen herbeiführte, zu gewinnen.

HEIM führt ferner in seiner oben genannten Instruction zur Erdbebenbeobachtung folgende weitere Anhaltspunkte an, die zur Ermittlung der Bewegungsrichtung dienen können.

„Zur Stossrichtungsbestimmung dienen ferner Pendeluhrn, welche



Fig. 41. Inneres der Kapelle in Kašina. Nach der von Dr. F. WÄHNER mit Benutzung einer Photographie von Joh. Standl in Agram gegebenen Abbildung.

durch die Erschütterung zum Stillestehen gebracht worden sind; es ist dann jeweilen die Richtung der Wand (oder der Schwingungsebene des Pendels) anzugeben, an welcher die Uhr hängt. Nur ein Stoss, welcher mehr oder weniger senkrecht zur Schwingungsebene steht, kann ein Pendel derart zum Anschlagen bringen, dass es stillesteht. Umgekehrt kommen die Bilder, Spiegel etc. an den Wänden, welche in der Fortpflanzungsrichtung der Erdwelle liegen, oft in Schwingungen. Es sollte dann niemals versäumt werden, die Himmelsrichtung derjenigen Wände genau anzugeben, wo die Gemälde ins Schwanken gerathen sind, und ebenso diejenige von Wänden in der gleichen Gegend, wo dies trotz vorhandener Gelegenheit unterblieben ist. Noch vortrefflichere Richtungsbestimmungen

ergeben sich durch freihängende Gegenstände, wie Lampen, Vogelkäfige etc. Wenn eine solche Erscheinung beachtet wird, sollte sofort die Schwingungsrichtung so genau wie möglich notirt oder etwa mit einem Stift am Boden, der Decke oder der Wand bezeichnet werden, damit später eine genauere Messung mit Compass und Gradbogen möglich wird. Ganz das Gleiche gilt von Flüssigkeiten in Gefässen von rundlichem Umfang, welche in schwankende Bewegung gerathen. Die Richtungen, zwischen denen die Flüssigkeit hin- und herschwankt, sollten genau notirt und bezeichnet werden.“

Diesen Ausführungen muss hinzugefügt werden, dass die namhaft gemachten Anhaltspunkte zur Beurtheilung der Richtung einer Bewegung um so deutlicher und sicherer sein werden, je kürzer und einfacher diese Bewegung selbst ist; dass sie aber um so undeutlicher und unsicherer werden müssen, je länger die Bewegung gedauert hat und je complicirter sie war. Eine kurze, stossähnliche Bewegung wird sich in den oben angeführten Erscheinungen leicht in ihrer Richtung erkennen lassen — eine länger dauernde und complicirte wird auch complicirte und unregelmässige Erscheinungen veranlassen; und dann, wenn, wie es so häufig geschieht, Bewegungen in verschiedenem Sinne erfolgen, werden auch controverse Wahrnehmungen über stehengebliebene Uhren und in Schwingung gerathene Bilder, Lampen u. dergl. die nothwendige Folge sein. Der Beobachtung aller Gegenstände, welche bei einer Erschütterung als in Bewegung gesetzte Pendel fungiren, lassen sich alle jene Einwendungen entgegenstellen, welche oben gegen die alten einfachen Pendelseismometer angeführt wurden. Wird ein Pendel durch eine länger dauernde Erschütterung beeinflusst, so folgt eben nach dem ersten Impuls, der einen bestimmten Ausschlag bedingt hat, ein weiterer, der in der Regel das Pendel in anderer Richtung zu bewegen sucht. Es wird nun davon abhängen, in welcher Phase der ersten Schwingung das Pendel von dem zweiten Impuls getroffen wird, dem ja unter Umständen noch ein dritter und mehrere andere folgen können, die alle verschiedene Intensität und Richtung haben. Ein vollkommen frei aufgehängtes Pendel wird dann keineswegs in einer Ebene schwingen, sondern sehr complicirte krummlinige Bahnen beschreiben. Hierzu kommt noch der Umstand, dass viele angeblich frei aufgehängte Gegenstände, wie Lampen, Ampeln, Vogelkäfige u. dergl. in der That in einer Weise befestigt sind, welche ihr Pendeln nach einer Ebene wesentlich erleichtert, nach allen anderen aber erschwert. Die meisten derartigen Gegenstände sind an Schnüren oder Ketten an einem Ring aufgehängt, der in einen in der Decke befestigten Haken eingreift. Die Orientirung dieses Hakens zum Ringe wird in vielen Fällen für die Richtung der Schwingung maassgebend sein. Aus den angeführten Gründen wird es daher nothwendig sein, die gemachten Beobachtungen durch Aufzeichnung aller jener Umstände zu ergänzen, welche von irgend einem Belang für die Beurtheilung des Werthes der Wahrnehmung sein können.

Wir müssen schliesslich HEIM beipflichten, wenn er in seiner der Beobachtung der Erdbeben gewidmeten Schrift sagt: „Es ist zu betonen, dass die Mittheilung der Stossrichtung, welche der Beobachter selbst fühlte und solche rein mechanisch sich äussernde Richtungen beide auch in denjenigen Fällen werthvoll bleiben, wo sie sich zu widersprechen scheinen. Alle Angaben über mechanische Wirkungen, welche für die Stärke oder Schwäche des Stosses bezeichnend sind, und solche, welche die Bewegungsart charakterisiren, sind willkommen.“ —

An mehreren Stellen wurde bereits der Beobachtung der Erschütterungs-Intensität gedacht, und erwähnt, dass geeignete Seismographen dieselbe genau verzeichnen. Instrumente, wie der GRAY-MILNE Seismograph stellen die Intensität jeder Bewegungscomponente in jeder Phase der Bewegung dar, und gleiches gilt mit verschiedenem Maass von Genauigkeit von vielen seismometrischen Apparaten. Es ist aber selbstverständlich, dass man, um die Intensität einer Erschütterung auch ohne derartige Apparate zu beurtheilen, sich eines willkürlich angenommenen Maassstabes bedienen muss. Einen solchen, welcher, wenn allgemein acceptirt, eben so gute Dienste leisten könnte, wie die gleichfalls willkürlich aufgestellte MOHS'sche Härtescala zur Beurtheilung der Härte der Mineralien hat F. A. FOREL vorgeschlagen.¹

FOREL stellt als Maassstab der Intensität eines Erdbebenstosses ohne besondere Instrumente folgende Scala auf:

Nr. I. Erschütterung von mikroseismischer Ordnung.

Nr. II. Ausserordentlich schwache Erschütterung, nur mit Hülfe seismometrischer Instrumente fühlbar.

Nr. III. Sehr schwache Erschütterung, von den wachenden Menschen unter für die Beobachtung besonders günstigen Verhältnissen (in Ruhe liegend etc.) bemerkbar.

Nr. IV. Schwache Erschütterung, bemerkbar durch den wachenden Menschen auch während der Thätigkeit; fähig, den schlafenden Menschen zu wecken, Schwanken von aufgehängten Gegenständen oder von Flüssigkeiten.

Nr. V. Mittelstarke Erschütterung, Verschieben von beweglichen Gegenständen (Möbeln).

Nr. VI. Starke Erschütterung, Umwerfen von beweglichen Gegenständen, Risse an den Wänden und Decken in den Häusern.

Nr. VII. Recht starke Erschütterung, Beschädigungen an den Häusern, Umstürzen von Kaminen.

Nr. VIII. Sehr starke Erschütterung, Umwerfen von Stadeln und Hütten.

Nr. IX. Ausserordentlich starke Erschütterung, Einstürzen von Häusern solider Construction.

¹ Comptes rendus des travaux présentés à la 63 session de la Soc. helv. des sc. nat. réunie à Brigue (Valais) 1880, Genève.

Nr. X. Erschütterung von ausserordentlicher Intensität, Störung der Erdschichten, Spalten in der Erdrinde, Bergstürze.¹

Wenn sich auch gegen diese Scala einige Einwendungen erheben lassen — so werden beispielsweise aus Holz gezimmerte Stadeln und Hütten der Zerstörung viel grösseren Widerstand leisten als gemauerte Häuser — so ist sie doch im übrigen recht zweckmässig für die Abschätzung und Vergleichung der Erschütterungsintensität und wir finden dementsprechend z. B. in den Berichten über die schweizerischen Erdbeben die FOREL'sche Scala mit Vortheil angewendet. Allerdings handelt es sich in denselben nicht um jene schwachen und mikroseismischen Bewegungen, welche den Gruppen I. und II. der FOREL'schen Scala entsprechen, da diese eben nur durch Seismometer festgestellt werden können. Es mag hier bemerkt sein, dass für diese schwächsten Erschütterungen nur ein Instrument, wie JOHN MILNE's „Automatic Tremor Measurer“ (vergl. dessen Schilderung S. 151) gute Dienste zu leisten vermag, da derselbe erstlich die mikroseismischen Bewegungen (Tremors) auf das Genaueste registriert, und zweitens auch die leisen Abweichungen der Schwere (Pulsationen) aufzeichnet und zwar in einer Weise, welche die beiden Störungen klar und deutlich sowohl von einander als auch von eintretenden Erdbeben unterscheiden lässt (vergl. Fig. 24, 25, 26 auf Seite 153).

Gewöhnliche Seismometer von grosser Empfindlichkeit werden zwar die Erschütterung anzeigen, aber nicht die Natur derselben feststellen. Solche Instrumente, welche, wie PALMIERI's Seismometer, eine sehr empfindliche Spiralfeder besitzen, die mit nach unten gewendeter Spitze einem Quecksilberspiegel möglichst genähert ist, werden allerdings bei der geringsten Erschütterung den Contact herstellen und der elektrische Strom kann dann nicht blos dazu verwendet werden, ein Signal zu geben, sondern auch um eine Uhr in Gang zu setzen und das Auftreten der Erschütterung selbstthätig zu registriren. Solche Apparate werden aber die Art der mikroseismischen Bewegung nicht festzustellen vermögen, abgesehen davon, dass sie die Pulsationen oder Schwereänderungen deshalb nicht anzeigen werden, weil diese zu langsam erfolgen, um die empfindliche Feder in Thätigkeit zu setzen.

Es sind noch andere Vorrichtungen vorgeschlagen worden, um mikroseismische Bewegungen zu beobachten, so lassen sich nach MILNE feine Erschütterungen wahrnehmen, indem man den Pol eines Compasses durch ein nahegerücktes Eisenstückchen in eine empfindliche, labile Stellung bringt, so dass die Nadel bei der geringsten Erschütterung gegen das Eisen hinzuckt. Es ist ferner das Mikrophon mit Vortheil angewendet worden, um sehr feine Erschütterungen akustisch wahrnehmbar zu machen.

¹ Die FOREL'sche Intensitätsscala der Erdbeben ist hier in jener Weise wiedergegeben, in welcher sie A. HEIM in seiner Abhandlung „Die schweizerischen Erdbeben vom November 1879 bis Ende 1880,“ Bern 1881, veröffentlichte.

Die Beobachtung eines Quecksilberspiegels mittelst der Loupe hat gleichfalls gute Dienste geleistet. Es wurde bereits hervorgehoben, dass bei Erdbeben ebenso wie bei Explosionen von Minen den fühlbaren Bewegungen sehr feine Erzitterungen vorangehen, die sich viel rascher verbreiten, als die stärkeren Erschütterungen. ABBOT hat sich mit Erfolg des letztgenannten Mittels bedient, um höchst interessante Beobachtungen über die Schnelligkeit zu machen, mit welcher die feinen Vibrationen den fühlbaren Beben voraneilen. Er beobachtete bei verschiedenen Explosionen (die Resultate der ABBOT'schen Versuche in Beziehung auf die Schnelligkeit der Fortpflanzung von Explosionserschütterungen wurden bereits im vorhergehenden Abschnitt angeführt, vergl. Seite 65 und 66) einen Quecksilberspiegel mittelst einer sechsfach und einer zwölffach vergrößernden Loupe und fand nicht bloss, dass die feinen Vibrationen dem fühlbaren Beben mit sehr bedeutender Schnelligkeit voraneilen; sondern auch, dass die kräftigere Loupe die ersten Vibrationen sehr bald nach erfolgter Explosion verrieth, während die schwächere Loupe erst später Bewegung anzeigte, wie die nachstehend angeführten Daten zeigen:

Explosion von Dynamit- Kilogrammen:	Kilometer-Schnelligkeit der Vibrationen bei der Beobachtung durch eine	
	6 fach-	12 fach vergrößernde Loupe
30	1·6	2·5
100	2·0	2·6
200	2·0	2·6

Wahrscheinlich würde die Geschwindigkeit der feinsten Erzitterungen sich bei Anwendung einer noch stärker vergrößernden Loupe noch etwas grösser ergeben haben.

Diese Art der Beobachtung lässt sich allerdings nur bei Einleitung künstlicher Erschütterungen durch Explosionen anwenden, es sei indessen bemerkt, dass mit Vortheil das Auge des Beobachters durch eine lichtempfindliche rotirende Platte ersetzt werden kann, wie dies die auf diesem Wege erzielten Resultate der experimentellen Versuche FOUQUE's und M. LÉVY's lehren (vergl. S. 67).

Die bisherigen Ausführungen dieses Abschnittes beziehen sich auf die Beobachtung der Erderschütterung selbst, es ist jedoch klar, dass sich die Beobachtung auf alle begleitenden Erscheinungen zu erstrecken hat, wenn auch den dahin gerichteten Wahrnehmungen und Untersuchungen nicht jene Bedeutung innewohnt, wie den ersteren.

Zunächst ist auf das mit Erdbeben zumeist verbundene Geräusch zu achten. Der Zeitpunkt des Eintretens desselben, ob vor oder nach dem Beginne der Erschütterung, sowie die Dauer des Geräusches sollen möglichst genau angegeben werden, ebenso die Art desselben durch Vergleichung mit anderen akustischen Erscheinungen wie Donner, Detonationen von grobem Geschütz, Gewehrsalven, Geräusch eines vorüberfahrenden Eisenbahnzuges oder Lastwagens, Klirren zerbrochener Glasgegenstände u. s. f.

Es ist ferner die etwaige Bewegung der Luft in Folge der Erschütterung des Bodens zu beachten. Die Beeinflussung der Atmosphäre durch ein Erdbeben kann sich ebenso durch plötzliche Windstöße bei vorangegangener ruhiger Luft äussern, wie durch kurze Unterbrechung einer Windströmung.

An Quellen ist das Versiegen oder Neuhervorbrechen, die plötzliche Steigerung oder Verminderung der Wasserlieferung, etwaige Trübung, Sinken oder Steigen der Temperatur möglichst genau festzustellen, wobei auf den Zeitpunkt des Eintrittes und die Dauer der Erscheinung zu achten sein wird.

An Seen sind eingetretene Schwankungen sowohl in ihren räumlichen wie in ihren zeitlichen Verhältnissen genau zu erheben, da es nur dann möglich sein wird, die von Erdbeben hervorgerufenen Oscillationen von solchen anderen Ursprunges zu unterscheiden. Gleiches gilt von den durch Erdbeben verursachten Wellenbewegungen des Meeres, für welche die in den grösseren Häfen aufgestellten, selbstregistrirenden Fluthmesser vortreffliche Beobachtungsapparate abgeben. Ein besonderes Gewicht wird bei der Untersuchung einer von einem heftigen Erdbeben betroffenen Küste auf alle jene Daten zu legen sein, welche eine etwaige vorübergehende oder bleibende Verschiebung der Strandlinie erkennen lassen.

In den jungen Anschwemmungen an der Meeresküste, ebenso wie in den Alluvionen der Flüsse werden sich bei heftigen Erdbeben oft Bewegungen der oberflächlichen Schichten einstellen, die mit auffallenden Erscheinungen verbunden sind, wie Absitzen der Ufer, Bildung von Spalten und Löchern, Auswerfen von Wasser, Schlamm und Sand u. s. w., Erscheinungen, deren Wesenheit schon im vorhergehenden Abschnitte (vergl. 97—107) eingehend erörtert wurde. Diese Phänomene sind ebenso zu beachten, wie alle anderen bleibenden Veränderungen des Bodens, welche bei Erdbeben so häufig als Folgewirkungen eintreten, wie neuentstandene Risse und Sprünge, an Thalgehängen eingetretene Rutschungen und Erdschlipfe, an steileren Wänden stattgehabte Bergstürze, sowie die etwa hierdurch hervorgerufenen Stauungen des fliessenden Wassers oder anderweitigen Veränderungen der Wasserläufe.

Handelt es sich bei allen diesen Erscheinungen um Folgewirkungen der Erdbeben, die, wie im vorhergehenden Abschnitte gezeigt wurde, in leicht erklärbarem Zusammenhang mit denselben stehen, so muss sich die Erdbebenbeobachtung auch auf Phänomene erstrecken, deren Zusammenhang mit den Erdbeben weniger deutlich ersichtlich ist. Hierher gehören vor allem die Beziehungen zu gewissen meteorologischen Vorgängen, die theils als Ursache, theils als Wirkung von Erderschütterungen angesehen worden sind und welchen diese Rolle unter Umständen auch wirklich zufallen kann. Im vorhergehenden Abschnitte wurde bereits (siehe Seite 109 u. ff.) auf die Einwirkung des Luftdruckes auf Erdbeben hingewiesen und gezeigt, dass ein solcher Einfluss in doppelter Hinsicht

stattfinden kann, indem durch weitgehende Erniedrigung des Luftdruckes einerseits starke Bewegungen der Atmosphäre hervorgerufen werden, die mikroseismische Bewegungen (Tremors) veranlassen, andererseits aber auch wirkliche Erdbeben, die sonst in späterer Zeit stattgefunden hätten, früher ausgelöst werden können.

Von problematischem Zusammenhange mit den Erdbeben sind ferner jene Lichtphänomene, die zuweilen als blitzartiges Aufleuchten bei Erdbeben wahrgenommen wurden und deren Deutung weiteren Beobachtungen und Untersuchungen anheimgestellt werden muss; — desgleichen die Störungen des Erdmagnetismus, die angeblich bei Erdbeben so häufig eintreten sollen. Nachweislich war die Beeinflussung magnetischer Apparate zahlreicher Observatorien durch entfernte Erdbeben nur eine rein mechanische Einwirkung, indem die Instrumente als mehr oder minder empfindliche Seismometer fungirten. Andererseits aber sind zahlreiche Angaben vorhanden, welche den Einfluss der Erdbeben auf den Erdmagnetismus darthun sollen, indess noch der genaueren Bestätigung bedürfen.

Endlich sei noch der Beziehungen der Erdbeben zu kosmischen Verhältnissen gedacht, mit welchen sich die Erdbebenforschung beschäftigen muss, auch wenn diesen Beziehungen, wie bereits im vorhergehenden Abschnitte erörtert wurde, jene Bedeutung nicht zukommt, die ihnen von PERREY und FALB zugeschrieben wird. Aufgabe der Erdbebenstatistik ist es insbesondere, diese Beziehungen festzustellen und zu zeigen, in wie weit die Häufigkeit der Erdbeben mit den Constellationen von Sonne und Mond und anderen kosmischen Verhältnissen zusammenhängt. —

Dritter Abschnitt.

Aufgaben der Erdbebenforschung.

Verbreitung der Erdbeben in Raum und Zeit. — Grenzen der Erschütterung. — Pleistoseisches Gebiet. — Räumliche Abgrenzung von Intensitätszonen bei dem Erdbeben von Agram vom 9. November 1880; Hauptschüttergebiet des niederösterreichischen Erdbebens vom 3. Januar 1873; Verbreitung des andalusischen Erdbebens vom 25. December 1884; Ausdehnung und Herd von sechs grossen orientalischen Beben nach J. SCHMIDT: Beben vom 28. März 1846 (Kreta), vom 12. October 1856 (östliches Mittelmeer), vom 4. Februar 1867 (Kephalaria), vom 7. März 1867 (Mytilene), vom 19. und 20. September 1867 (Griechenland), vom 24. Juni 1870 (östliches Mittelmeer); Verbreitung des Erdbebens von Lissabon vom 1. November 1755. Geringe Ausdehnung des Schüttergebietes bei den zerstörenden Erdbeben vom 4. März 1881 und vom 28. Juli 1883 auf Ischia. — Erdbebenschwärme und Erdbebenperioden. Das phokische Erdbeben von 1870 bis 1873; Erdbebenperioden des Bebens von Belluno 1873, des Bebens von Agram 1880, des Bebens von Klana 1870, des Bebens von Kephalaria 1867, von Brussa 1855, des phokischen Erdbebens von 1870—1873, von Herzogenrath 1873 und 1877, von Grossgerau 1869 und 1870. — Die nachfolgenden oder vorangehenden Erdbeben gehen oft von denselben Erregungsorten aus, z. B. bei dem Beben von Agram 1880, oder es findet ein Wandern der Stosspunkte statt, wie bei dem Erdbeben von Klana 1870, und bei dem calabrischen Erdbeben 1783. — Schütterzonen und Erdbebenlinien. Habituelle Stossgebiete. Zusammenhang derselben mit den geologischen Verhältnissen. — Verschiedene Ursachen der Erdbeben: Vulkanische Erdbeben, Einsturz-Beben, Tektonische Beben.

Im vorhergehenden Abschnitte haben wir die Beobachtung der Erdbeben kennen gelernt, nunmehr haben wir die Zusammenstellung der gewonnenen Daten, und die aus denselben abzuleitenden, für die Erklärung der Erdbeben und ihrer Erscheinungen sich ergebenden Schlüsse zu erörtern.

Es handelt sich hier zunächst um die Verbreitung der Erdbebenerscheinungen in Raum und Zeit. Wir erhalten aus der Sammlung möglichst zahlreicher einzelner Beobachtungen zunächst eine Vorstellung der räumlichen Verbreitung eines Erdbebens, wir erkennen den Umfang

des jeweilig erschütterten Gebietes und sind im Stande, mit grösserer oder geringerer Genauigkeit nicht bloss die Grenzen desselben festzustellen, sondern innerhalb derselben auch räumliche Unterabtheilungen zu unterscheiden, innerhalb welcher sich die Erschütterung stärker oder schwächer fühlbar machte. Die Aufgabe der Erdbebenforschung ist es also, vor Allem das Auftreten jedes einzelnen Bebens im Raume möglichst genau festzustellen; die Grenzen, bis zu welchen die Erschütterung ohne Zuhilfenahme mikroseismischer Apparate fühlbar war, zu finden; die einzelnen Orte, jenseits dieser Grenzen, in welchen Mikroseismographen die Erschütterung registrierten, zu verzeichnen und innerhalb des eigentlichen Schüttergebietes die Regionen der schwächeren und stärkeren Wirkungen zu unterscheiden und abzugrenzen. Wie schon aus dem vorhergehenden Abschnitte ersichtlich, reichen die feinen Erzitterungen, welche nur durch Mikroseismographen oder die wie solche fungirenden magnetischen Apparate der meteorologischen Observatorien (vgl. S. 129—131) registriert werden, weit über den Bereich des eigentlichen Schüttergebietes hinaus. Bei der Abgrenzung der weniger und stärker erschütterten Regionen innerhalb des gesammten Schüttergebietes können die Abstufungen der Erdbebenwirkungen nach der FOREL'schen Intensitätskala (siehe S. 181) unter Umständen gute Dienste leisten. Gewöhnlich beschränkt man sich jedoch darauf, innerhalb des gesammten Schüttergebietes eine pleistoseiste Region zu unterscheiden, in welcher das Erdbeben die grössten mechanischen Wirkungen verursachte. Die Abgrenzung dieser pleistoseisten Region wird von jenen Forschern, welche sich mit der Untersuchung einzelner Erdbeben beschäftigten, in sehr verschiedener Weise vorgenommen, und es liegt in der Natur der Sache, dass es nicht angeht, eine bestimmte Vorschrift zu geben, bis zu welchem Grade der FOREL'schen Intensitätskala etwa die Erschütterung sich an einem Punkte fühlbar gemacht haben müsste, damit derselbe noch in den Bereich des pleistoseisten Gebietes einzubeziehen wäre. Bei Erdbeben, welche überhaupt nur schwache Wirkungen erzielten, wird man als pleistoseistes Gebiet jenes bezeichnen, in welchem geringe Beschädigungen an Gebäuden oder noch unbedeutendere Erscheinungen stattfanden, bei sehr heftigen Beben hingegen wird es zweckmässig sein, als pleistoseistes Gebiet jenes zu betrachten, in welchem die Erschütterung eine geradezu zerstörende Wirkung entfaltete und Ortschaften in Ruinen gelegt hat. Es wird deshalb, wenn man das Verhältniss zwischen der Grösse der pleistoseisten Region und dem Umfange des gesammten Schüttergebietes bei verschiedenen Erdbeben in Betracht ziehen will, eine solche Vergleichung eigentlich nur dann zulässig sein, wenn es sich in den einzelnen Fällen um Erschütterungen von annähernd gleicher Intensität und im selben Sinne vorgenommene Abgrenzung der bezüglichen pleistoseisten Regionen handelt. Ist dies nicht der Fall, so wird die nach verschiedenen Gesichtspunkten vorgenommene Bestimmung der pleistoseisten Gebiete nur einen schiefen Vergleich gestatten.

Es muss nun der erheblichen Schwierigkeiten gedacht werden, die Grenzen der Erschütterung überhaupt, und sodann die Regionen verschiedener Intensität derselben festzustellen. Aus früheren Ausführungen (siehe S. 71—73) geht hervor, dass aus verschiedenen Gründen die Intensität der Erschütterung an nahe benachbarten Orten sehr verschieden sein kann. Im pleistoseisten Gebiete liegen deshalb zuweilen neben stark betroffenen Ortschaften, die ganz in Ruinen gelegt wurden, solche, welche in viel geringerem Grade beschädigt wurden. In einiger Entfernung vom pleistoseisten Gebiete macht sich diese Ungleichheit der Wirkung ebenfalls fühlbar und in den peripherischen Theilen des Schüttergebietes spricht sie sich darin aus, dass zwischen zahlreichen Orten, an welchen die Erschütterung gar nicht verspürt wurde, einzelne liegen, an denen sie mehr oder minder deutlich wahrgenommen werden konnte. Je umfassender nun die Beobachtungen sind, welche über ein einzelnes Beben vorliegen, desto deutlicher treten diese Schwierigkeiten zu Tage; während es bei weniger zahlreichen Nachrichten leicht scheint, die Grenzen eines Schüttergebietes zu bestimmen und in demselben die pleistoseiste Region zu verzeichnen, wird es bei dem Vorhandensein eines grösseren Beobachtungsmateriales schwieriger, scharfe Grenzen des gesammten Schüttergebietes zu ziehen, weil eben an der Peripherie desselben die Orte mit negativen Nachrichten sich mehren und zwischen ihnen nur einzelne mit positiven Daten liegen. Ebenso wird die Ausscheidung des pleistoseisten Gebietes aus dem oben angeführten Grunde des Nebeneinanderliegens stärker und schwächer betroffener Orte um so beträchtlichere Schwierigkeiten bereiten, je genauer und je umfassender die bezüglichen Beobachtungen sind. Die modernen Erdbebenmonographien zeigen dies um so deutlicher, auf je zahlreichere Einzelbeobachtungen sie sich bei Abgrenzung des Schüttergebietes und der pleistoseisten Region stützen. Dies wird ersichtlich, wenn man z. B. in den ausgezeichneten Abhandlungen A. BITTNER's über das Beben von Belluno vom 29. Juni 1873 und F. WÄHNER's über jenes von Agram vom 9. November 1880 die sehr ausführlichen Darlegungen über die räumliche Verbreitung der betreffenden seismischen Erscheinungen nachliest. Zumal die auf Grund eines sehr umfassenden Beobachtungsmateriales gegebenen Ausführungen WÄHNER's über die Verbreitung und Intensität des Agramer Bebens sind in dieser Hinsicht lehrreich und mögen deshalb hier wiedergegeben sein:

„Wenn man die Orte, an deren Gebäuden das Erdbeben die verheerendsten Wirkungen hinterlassen hat, auf der Karte zu umgrenzen sucht, so erhält man eine Curve, welche sehr nahe kommt einer Ellipse, deren grosse Achse ungefähr die Richtung SW-NO und eine Länge von sechs Meilen hat, und deren kleine Achse über drei Meilen lang ist. Von Orten, welche die bedeutendsten Zerstörungen erlitten haben, sind insbesondere Kerestinec, Agram, Remete, Granešina, Kašina, St. Nikola, St. Helena auf der einen, Kraljev-Vrh und Ober-Stubica auf der anderen Seite des Agramer Gebirges zu nennen. Dieselben sind ganz regellos

auf dem pleistoseisten Gebiet vertheilt und wechseln in ihrer Lage ab mit Ortschaften, welche geringere Zerstörungen aufweisen; Gesetz ist nur das Gebundensein der heftigsten Zerstörungen auf die Abhänge und den nächsten Umkreis des Agramer Gebirges und seiner nordöstlichen Fortsetzung, wobei das Streichen des Gebirges mit der Haupterstreckung der besprochenen Ellipse zusammenfällt. Auf der Höhe des Gebirges sind keine gemauerten Gebäude vorhanden, sodass hier die sichersten Kennzeichen für die Intensität der Erschütterung fehlen.

Die Beschädigungen an Gebäuden erstrecken sich indessen auf ein weitaus grösseres Gebiet, auf welchem sie sehr ungleichmässig verbreitet sind. Es zeigt sich aber, dass nach Norden und Osten der Grad der Beschädigungen langsam abnimmt, und dass noch in grosser Entfernung von dem pleistoseisten Gebiete Orte mit ganz bedeutenden Beschädigungen angetroffen werden, während gegen Süden und Westen die grossen Zerstörungen fast plötzlich aufhören und nur mehr Orte mit unbedeutenden Beschädigungen vorkommen; oder um mich anders auszudrücken, es zeigt sich, dass die Region der grössten Zerstörungen gegen Norden und Osten allmählich übergeht in die Regionen geringerer Intensität, während sie gegen Westen und Süden scharf begrenzt ist. Damit stimmt überein, dass das Vorkommen von Gebäudebeschädigungen überhaupt viel weiter gegen Norden und Osten reicht, als gegen Süden und Westen; denn die nördliche Grenze der zerstörenden Wirkung ist 16 Meilen, die östliche sogar 22 Meilen von dem geometrischen Mittelpunkte des pleistoseisten Gebietes entfernt, wogegen die Entfernung der südlichen Grenze von diesem Mittelpunkte nur 11 Meilen, die der westlichen 13 Meilen beträgt.

Bezüglich der weiteren Verbreitung des Erdbebens über die Grenzen der zerstörenden Wirkung hinaus ist zu bemerken, dass auf dieselbe die Erscheinungsformen der Oberfläche keinen Einfluss zu besitzen scheinen. Die Gebirgsketten der Ostalpen und das böhmische Massiv waren ebensowenig als die Tiefen der Adria ein Hinderniss für die Verbreitung der Erschütterung. Die Ungleichmässigkeit, welche wir in den inneren Zonen kennen gelernt haben, macht sich an den äussersten Grenzen in noch höherem Maasse geltend. Orte, von welchen positive und solche, von welchen negative Berichte vorliegen, durchkreuzen sich in der mannigfachsten Weise, und es lässt sich keine Linie angeben, welche das Gesamtverbreitungsgebiet nach innen und aussen scharf abgrenzen würde. Obwohl Obersteiermark und Niederösterreich sehr viele, Salzburg und Oberösterreich fast nur negative Berichte geliefert haben, reicht das Verbreitungsgebiet im Norden dennoch bis Budweis in Böhmen und Prossnitz in Mähren. Aehnlich verhält es sich in Ungarn, wo Szegedin den östlichsten Punkt bildet. Während das westliche Kärnten und Tirol nur negative Nachrichten bringen, wird die Erschütterung doch in Bozen bemerkt, und obwohl die österreichischen Küstenstationen und Leuchttürme des adriatischen Meeres in ihrer grossen Mehrzahl negativ berichten, wird das Erdbeben an mehreren Orten

Oberitaliens beobachtet und verbreitet sich bis nahe an die Südspitze Dalmatiens. Bemerkenswerth ist ferner, dass die Seismographen der Observatorien von fast ganz Italien das Erdbeben verzeichneten.“¹

In seiner sorgfältig gearbeiteten Karte des Agramer Bebens vom 9. November 1880 bringt WÄHNER das Beobachtungsmaterial, welches den oben angeführten Darlegungen zu Grunde liegt, in grosser Vollständigkeit zur Anschauung, er bezeichnet zunächst fünf Gruppen von Orten, aus welchen Berichte über das Beben vorlagen, durch besondere Zeichen nämlich:

1. Orte, an welchen die Erschütterung nicht beobachtet wurde.
2. Orte, von welchen negative und positive Berichte vorliegen, oder an welchen die Erschütterung nur von einem kleinen Theile der Bevölkerung bemerkt wurde.
3. Orte ohne zerstörende Wirkung an gemauerten Gebäuden.
4. Orte mit geringen Beschädigungen an gemauerten Gebäuden.
5. Orte mit stärkeren Beschädigungen, Einsturz von Rauchfängen etc.

Er unterscheidet ferner im Schüttergebiete vier Intensitäts-Regionen und bringt dieselben durch verschieden starke Schraffirung zur Ansicht, nämlich:

- | | | | | | | |
|-------------------|------------------------|--|---|---|---|---|
| a) Schüttergebiet | ohne | Beschädigungen an gemauerten Gebäuden, | | | | |
| b) „ | mit geringen | „ | „ | „ | „ | „ |
| c) „ | „ stärkeren | „ | „ | „ | „ | „ |
| d) Pleistoseistes | Gebiet mit bedeutenden | Zerstörungen gemauerter Gebäude. | | | | |

In ähnlicher Weise, wie dies WÄHNER bei dem Agramer Beben gethan hat, wurden in der Regel bei der genaueren Untersuchung einzelner Beben Regionen verschiedener Intensität unterschieden, nur dass dabei von Seite der betreffenden Forscher von verschiedenen Gesichtspunkten ausgegangen wurde, und wegen der Verschiedenheit der betreffenden Erscheinungen auch ausgegangen werden musste.

So hat E. SUSS in seiner Karte des (im Vergleiche zu dem Agramer Beben viel schwächeren) niederösterreichischen Erdbebens vom 3. Januar 1873 innerhalb jenes Gebietes, in welchem das Erdbeben überhaupt wahrgenommen wurde, eine Region der heftigeren Erschütterung und der verticalen Bewegungen unterschieden. Das am 3. Januar 1873 bewegte Gebiet reichte einerseits von Wiener Neustadt bis Meseritsch und Trebitsch, andererseits von Laxenburg bis Pechlarn und die Erschütterung wurde ausserdem weit im Westen zu Sipbachzell in Oberösterreich bemerkt. „Ein kleiner Theil der Kalkzone der Alpen, bis Guttenstein hinab, ein sehr schmaler Theil der östlich vorliegenden Ebene, die Sandsteinzone von der Donau bis über das Traisenthal hinaus, der westliche Theil der ausseralpinen Tertiärebene und ein Stück des böhmischen Massivs haben gezittert, und der Umriss des Schüttergebietes verräth auf den ersten Blick keinerlei Abhängigkeit von der Beschaffenheit

¹ F. WÄHNER: Das Erdbeben von Agram, 88. Bd. d. Sitzungsber. d. k. Akad. d. Wissensch. Wien 1883, S. 303—305 d. S. A.

der Felsarten der Oberfläche oder dem Verlaufe der Gebirge. Die Erscheinung trat am heftigsten im Eichgraben und am Hummelhofe, unweit von der grossen Curve der Westbahn zwischen Neulengbach und Rekawinkel auf. Nach der Art der Beschädigung der Häuser dürfte der Hauptstoss noch ein wenig westlicher oder südwestlicher im Gebirge erfolgt sein. Von dieser Stelle aus hat sich aber die Erschütterung keineswegs gleichförmig nach allen Richtungen fortgepflanzt, sondern es hat die seismische Thätigkeit nach einer langen geraden Linie gewirkt. Wenn man innerhalb der einzelnen Theile des erschütterten Gebietes jene Punkte aufsucht, welche die relativ stärksten Wirkungen erfahren haben, so findet man die Namen: Grillenberg, Berndorf, Neuhaus, Klausen-Leopoldsdorf, Hummelhof und Eichgraben, Presswitz a. d. Donau, Neustift im Kampthale, Gars, Neukirchen und Wildberg bei Messern. Diese Punkte bezeichnen eine $12\frac{1}{2}$ Meilen lange, von Südsüdost gegen Nordnordwest sich hinziehende gerade Linie, welche zahlreiche Thäler und Berge quer durchschneidet und ohne sichtbare Ablenkung durch die Kalkalpen, die Sandsteinzone, das Donauthal und das altkrystallinische Gebirge hinläuft. Wo diese Linie in der Nähe des Maximums in die Region der Hügel und der Ebene aus den Alpen heraustritt, scheint eine stellenweise Erweiterung einzutreten, wenigstens reichen sehr heftige Stösse mit steilen Emergenzen unter einem Theile des sogenannten Tullner Bodens ziemlich weit nach Ost über dieselbe hinaus (z. B. Buchberg, Tübing, Königstetten).¹ Wir werden auf die dem Erdbeben vom 3. Januar 1873 als einem ausgezeichneten Transversalbeben zu Grunde liegende „Kamplinie“ noch eingehend zurückzukommen haben.

Bei dem grossen andalusischen Erdbeben vom 25. December 1884, welches Gegenstand einer sehr sorgfältigen Untersuchung und ausführlichen monographischen Schilderung² wurde, konnte man in Bezug auf die Verbreitung mehrere Zonen unterscheiden. Eine centrale enthält jene Orte, welche Schauplatz der grössten Zerstörungen waren. Dieses Gebiet ist nicht allein durch den Einsturz der Gebäude und den dadurch verursachten Verlust an Menschenleben, sondern auch durch den Character der Erschütterung gekennzeichnet. Die Stösse waren hier hauptsächlich vertical, sie zerspalteten die Mauern durch symmetrische senkrechte Sprünge, zerbrachen die Dachziegel und hoben die Balkenlagen der Böden. Die durch diese Erscheinungen bezeichnete Oberfläche bildet eine von Ost nach West verlängerte Ellipse, welche die Orte Periana, Canillas de Acetuno, Zafarraya, Ventas de Zafarraya, Alhama, Santa Cruz, Arenas del Rey, Jatar, Jayena, Albunuelas und Murchas einschliesst. Der Flächeninhalt dieser Ellipse beträgt etwa 320 Quadratkilometer, sie ist etwa

¹ E. SUSS: Die Erdbeben Niederösterreichs, Denkschr. d. k. Akad. d. Wiss. Wien, 33. Bd. 1873, S. 75.

² Mission d'Andalousie: Études relatives au tremblement de terre du 25. Décembre 1884 et à la constitution géologique du sol ébranlé par les secousses. Mém. Acad. des Sciences Tome XXX. No. 2. Paris 1889.

40 Kilometer lang und 10 Kilometer breit, und von der Sierra Tejada, deren Kamm von West-Nord-West nach Ost-Süd-Ost läuft, schräg in der Weise geschnitten, dass die Mehrzahl der genannten Orte auf der Nordseite der Kette bleibt. Eine zweite Zone schliesst die Orte ein, welche die oscillatorischen Bewegungen fühlten, die von dem centralen Gebiet ausgingen, so dass die Stösse in Malaga von Nord-Ost, in Velez-Malaga, Sedella und Alcancin von Nord, in Frigilliana von Nord-Nord-West und in La Mala von Südwest kamen. Diese Zone, welche viel ausgehnter ist, als das centrale Gebiet, ist bemerkenswert durch ihre Ausdehnung nach Süd-West. Sie bildet eine nahezu regelmässige Ellipse, welche von der Meeresküste zwischen Malaga und Nerja abgeschnitten wird. Ihr grösster Durchmesser von Malaga bis La Mala beträgt etwa 80 Kilometer. Eine dritte Zone, in welcher die, wenn auch sehr heftigen Erschütterung nur unbedeutenden Schaden anrichteten, erstreckt sich auf eine viel beträchtlichere Fläche. Die Curve, welche sie begrenzt, wird vom Meere zwischen Estepona und La Habito abgeschnitten. Sehr regelmässig im Norden, biegt sie sich im Westen ein, indem sie die Serrania de Ronda umläuft und noch stärker im Osten, wo sie die Sierra Nevada umzieht. Die grösste Länge dieser Zone beträgt von Guadix bis Estepona etwa 200 Kilometer, ihre grösste Breite von Albunol bis Montefrio etwa 100 Kilometer, ihre Oberfläche ungefähr 15 000 bis 20 000 Quadratkilometer. Die Längenerstreckung dieser Zone ist wie jene der zweiten von Nord-Ost nach Süd-West gerichtet, verschieden von jener des centralen Gebietes, welche eine Ost-West-Richtung besitzt. Ausserhalb dieser Zonen wurde die Erschütterung an einzelnen Punkten wahrgenommen, während sie an zwischenliegenden nicht verspürt wurde. Das weite Gebiet dieser Wahrnehmungen reicht bis Madrid und Segovia im Norden, Caceres und Huelva im Westen, Valencia und Murcia im Osten, gegen Süden grenzt es an das Mittelmeer, so dass seine Erstreckung nach dieser Seite nicht angegeben werden kann; seine Gesammtoberfläche beträgt ungefähr 400 000 Quadratkilometer.

Mikroseismographen haben die Erschütterung auch in weit erheblicherer Ausdehnung constatirt, so zu Rom, Velletri und Moncalieri. Eine Störung in den astronomischen Beobachtungen der Sternwarte zu Brüssel in der Nacht vom 25. December wurde dem Einfluss des Erdbebens zugeschrieben, und auch die magnetischen Apparate der Observatorien zu Lissabon, Greenwich und Wilhelmshafen zeigten in dieser Nacht Störungen, welche von dem Erdbeben in rein mechanischer Weise veranlasst worden sein mögen. Nur undeutlich wurde eine solche in einem der beiden meteorologischen Observatorien zu Paris, jenem von Saint Maur wahrgenommen. Auch das Beben vom 25. December 1884 wird in einem der folgenden Abschnitte, in welchem Beispiele für tektonische oder Dislocations-Beben zur Erörterung kommen, Gegenstand der Besprechung in Bezug auf die Beziehung der seismischen Erscheinungen zum Gebirgsbau sein.

Wir wenden uns der Betrachtung der räumlichen Verbreitung mehrerer grosser Orient-Beben zu. Unsere Tafel I. stellt nach J. SCHMIDT das ungefähre Gebiet der grossen Erdbeben von 1846, 1856, 1867 und 1870 dar, wobei das von J. SCHMIDT für fünf Fälle angenommene jeweilige Epicentrum durch einen schwarzen Punkt angegeben erscheint. Weshalb SCHMIDT gerade für das ausgedehnteste Beben, nämlich jenes vom 24. Juni 1870 von der Angabe eines Epicentrums absieht, wird aus den unten folgenden Darlegungen über die Natur dieses Erdbebens klar werden, es mag indessen schon hier bemerkt sein, dass die Angaben für den nahezu gleichzeitigen Eintritt dieser Erschütterung zu Athen und Neapel wohl nur den Schluss zulassen, dass auch in diesem Falle, wie so oft, (vergl. S. 47 und 48) ein grösseres Stück der Erdrinde gleichzeitig oder nahezu gleichzeitig bewegt worden sein mag. Nachstehend sollen der Zeitfolge entsprechend die sechs auf unserer Tafel I in ihrer Verbreitung dargestellten Erdbeben in ihren hauptsächlichsten Erscheinungen besprochen werden.

Erdbeben vom 28. März 1846 (Kreta).

J. SCHMIDT giebt über dieses Beben in seinen „Monographien von Orienterdbeben 1837—1873“ nur wenig an. Er versetzt den Herd desselben nach Kreta und sagt blos: „Das sehr grosse und gefährliche Erdbeben, welches gegen 5 Uhr Abends die Insel erschütterte, gehört zu jenen, deren Epicentrum vielleicht im südöstlichen Mittelmeere liegt. Es war von der Art, wie ähnliche in den Jahren 1856, 1867 und 1870. Genauere Nachrichten sind nicht vorhanden. Es ward gewaltsam erschüttert: ganz Kreta, schwächer die Gruppe der Kykladen, die türkischen Sporaden, Rhodos, viel von Syrien und Aegypten, Hellas, Zante, selbst Malta und Sicilien. In Kreta gab es viele Trümmer, doch verlautet nichts sicheres über Verluste von Menschenleben. Der Botaniker Herr Th. v. HELDREICH sah zu Kanea, wie der grosse Erdstoss ein Minaret in sehr bedenkliche Neigung brachte, wie aber ein folgender Stoss den Thurm wieder in die senkrechte Lage zurückführte, so dass er nicht umstürzte. Nach Aussage eines Lloydkapitäns war auch auf See das Erdbeben sehr fühlbar, doch scheint ein Anschwellen des Meeres nicht stattgefunden zu haben.“¹

Erdbeben vom 12. October 1856 (Mittelmeer).

Für dieses sehr bedeutende Beben hatte J. SCHMIDT früher (1857) versuchsweise Santorin als Centrum der Bewegung angenommen, später entschied er sich für einen mehr südlichen Punkt unter 34° nördl. Breite, da der Vulkan von Santorin seiner Ueberzeugung nach nicht für den Sitz grösser Erdbeben gehalten werden kann. Durch die Grösse des erschütterten Gebietes und die Ergebnisse des von ihm durchgeführten

¹ J. SCHMIDT: Studien über Vulkane und Erdbeben 2. Theil (Studien über Erdbeben 2. Ausgabe). Leipzig 1881, S. 38.

Vergleiches der Zeitangaben sah sich SCHMIDT veranlasst, eine sehr bedeutende Tiefe des Herdes und eine sehr grosse Fortpflanzungsgeschwindigkeit anzunehmen. Ueber die Grösse des am 12. October 1856 erschütterten Gebietes bemerkt er: „Da wir keine Nachrichten aus dem südlichen Aegypten, aus Arabien und aus den barbarischen Orten an der Nordküste Afrika's haben, so lässt sich die Grösse der erschütterten Fläche nur sehr unsicher berechnen. Ich finde, dass 62 000 Quadratmeilen als ungefähre Näherung gelten kann. Für die allgemein erschütterte Fläche setze ich die Halbmesser = 13.5^0 und 6.5^0 , für die Fläche mit Zerstörungen den Radius = 4.3^0 , die Area = 13070 Quadratmeilen, also $\frac{1}{4.7}$ der ganzen Fläche.“ SCHMIDT meint, dass ein solches Verhältniss nie bei Erdbeben stattfinden könne, deren Verbreitungsgeschwindigkeit klein sei, und deren wahrscheinliche Ursprungstiefe nur 2—3 Meilen betrage. Wenn aber wirklich, wie die von SCHMIDT durchgeführte Reduction der betreffenden Zeitangaben erweist, die Erschütterung nahezu gleichzeitig in Aegypten, Syrien, Rhodos, Kreta, Santorin, Zante, Korfu u. s. w. auftrat, so ist dies viel wahrscheinlicher dahin zu deuten, dass ein grösserer Theil der Erdrinde gleichzeitig von der Bewegung erfasst wurde. So wahrscheinlich es ist, dass die betreffenden Zeitangaben ebenso ungenau sind, wie die im vorigen Abschnitte erörterten Stosszeitangaben für das Agramer Beben vom 9. November 1880, so mögen nachstehend doch die von SCHMIDT angeführten und auf Athener Zeit reducirten Angaben des Eintrittes des Bebens vom Morgen des 12. October 1856 wiedergegeben sein.

	Reduction auf Athen:	Athener Zeit:
1. Kairo	$3^h 7^m$	$2^h 36.9^m$
2. Alexandrien	3 0	2 34.5
3. Jaffa	3 15	2 31.0
4. Beirut	3 15	2 28.0
5. Rhodos	2 49.5	2 31.1
6. Smyrna	2 45	2 31.4
7. Aidin	3 10	2 52.8
8. Syra	2 35	2 30.3
9. Zante	2 22	2 33.3
10. Korfu	2 15	2 30.2
11. Malta	2 11.5	2 48.4
12. Ancona	2 10	2 50.8
13. Chamberry	1 30	2 41.3
14. Zittau	1 51	2 25.6

Hierzu wäre zu bemerken, dass manche Zeitangaben, wie z. B. jene von Aidin und Malta, deren Genauigkeit SCHMIDT bezweifelt, als unzuverlässig zu bezeichnen sind, während jene von Zittau sich wohl auf ein selbständiges Beben beziehen dürfte. Ueber die Wirkungen des Erdbebens vom 12. October 1856 sagt J. SCHMIDT: „Der Schaden, den das Erdbeben verursachte, ist nicht zum kleinsten Theile speciell bekannt geworden; es war aber sehr gross und würde, wenn in Europa geschehen, als ein gewaltiges, für die ferne Zukunft denkwürdiges Ereigniss angesehen

worden sein. Aber in dem trümmervollen Oriente ist dergleichen Unheil rasch vergessen, und ehe die alten Trümmer beseitigt werden, sind die neuen schon wieder da. Viele Angaben aus der ersten Zeit sind offenbar übertrieben, wie es gewöhnlich zu geschehen pflegt. Doch ist es gewiss, dass in Rhodos sehr grosse Verwüstungen stattfanden, dass aber nicht 1000 Menschen, sondern nur 60 getödtet wurden. Auf Karpathos und Kasos gingen 8000 Häuser zu Grunde, wobei die geringe Zahl von nur 20 Erschlagenen auffallen muss. Aus Kreta, wo das Unheil grossen Umfang erreichte, fehlen die Nachrichten, ebenso aus Kypros und den syrischen Küstenstädten, wo überall sehr viele Gebäude ruinirt wurden. Für Santorin zählten die Zeitungen die Zahl der Erschlagenen nach Hunderten, aber 1866, als ich daselbst mit gebildeten Männern sprach, erfuhr ich, dass auf der ganzen Insel nur 6 oder 7 umkamen, dass aber der Schaden an Häusern und Kirchen sehr gross gewesen sei. Wie zu erwarten, war von einer Bestätigung der Fabel über das Versinken von Dörfern hier ebensowenig die Rede, wie auf Kreta, wo Kissamos verschwunden sein sollte. Dagegen war man in Santorin einstimmig darüber, dass die auf dem Tuff stehenden Häuser mehr litten, als Häuser, welche auf der Lava standen, diese wieder mehr als Häuser auf dem Kalkboden. Die Mönche im Kloster Hagios Elias, 1700 Fuss über See, sagten mir, dass ihr grosses Gebäude keinerlei Schaden erlitten habe, und dies liegt auf dem mächtigen Kalkstocke, dem noch sichtbaren Theile der alten Formation, die von den Producten kolossaler Eruptionen zum grössten Theile überdeckt wurde. — — „Nichts verlautet von ungewöhnlichen Bewegungen der See am 12. October, die vermuthlich der Nachtzeit wegen nicht wahrgenommen wurden.“¹

Erdbeben vom 4. Februar 1867 (Kephalaria).

Dieses Erdbeben, welches ein viel kleineres Gebiet erschütterte, als die oben besprochenen, richtete auf Kephalaria die grössten Verwüstungen an. „Am Montag den 4. Februar (nach altem Kalender 23. Januar) betraf die Insel einer der schwersten Unglücksfälle, wie solche sich im Laufe der Jahrhunderte nur selten ereignen. Alle griechischen Erdbeben seit 1817, die sich durch grosse Zerstörungen auszeichneten, kamen dem jetzigen nicht gleich, was die Menge der verwüsteten Ortschaften betrifft und die Verluste an Menschenleben. Wenn Erdbeben in solcher Kraft auftreten, lässt sich im Anblicke der vollendeten Verheerung kaum noch etwas übertreiben, es müsste denn sein, dass man die Zahl der Getödteten aus irgend einem Grunde vergrösserte. Nachdem ich die Trümmer von Korinth, Aigion, Trypia und Galaxeidion gesehen hatte, erlangte ich erst dann den genügenden Maassstab der Beurtheilung solcher Katastrophen, als ich zwei Monate nach dem Erdbeben, im April 1867, Kephalaria besuchte.“²

¹ J. SCHMIDT: a. a. O. S. 54.

² J. SCHMIDT: a. a. O. S. 84.

Die Zeitangaben, welche über den Eintritt des Bebens vom 4. Februar 1867 aus Kephalaria, Zante, Korfu, Kalamaki, Athen u. s. w. vorliegen, sind anscheinend sehr ungenau; doch glaubt J. SCHMIDT, sie am besten erklären zu können, wenn er die Tiefe des Erdbebenherdes, sowie die Fortpflanzungsgeschwindigkeit als sehr gering annimmt. Das Epicentrum verlegt er in die westliche Halbinsel von Kephalaria bei Hagia Thekla. Die Minimalgrenze der Erschütterung zeichnet er in Form einer Ellipse, deren grosse Achse die Richtung Südost-Nordwest hat. Diese Ellipse umfasst ganz Griechenland, etliche Kykladen, Theile der Türkei und Italiens. Der grösste Durchmesser derselben hat nahe $6 \cdot 6^{\circ}$ oder ungefähr 100 geographische Meilen, die kleine Achse $5 \cdot 1^{\circ}$ oder $76 \cdot 5$ Meilen und die Area ist 5950 Quadratmeilen. SCHMIDT zweifelt nicht daran, dass die erschütterte Fläche grösser war, aber die Armuth der Nachrichten zwang ihn, den angeführten Werth als der Wahrheit nahe kommend gelten zu lassen. Den schwer beschädigten Raum giebt er möglichst gross zu $5 \cdot 1$ Meilen Durchmesser, seine Area also zu 20 Quadratmeilen $= \frac{1}{297}$ der ganzen erschütterten Fläche an. Dem Raume aber, den die vollkommenste Verwüstung betraf, erkennt er nur $1 \cdot 4$ Meilen Durchmesser zu, die Area desselben betrug demnach nur $1 \cdot 58$ Quadratmeilen oder $\frac{1}{3760}$ des ganzen Schüttergebietes. Die Heftigkeit des Erdbebens auf Kephalaria mag daraus ersehen werden, dass der officielle Bericht 2946 beschädigte, 2642 gänzlich zerstörte Häuser und 224 Todesfälle angiebt. Die Zahl der Verwundeten war sehr gross, doch liess sich darüber nichts Näheres ermitteln. Den Gesamtverlust schätzte man auf 15 Millionen Drachmen. In Ithaka, S. Maura, Zante und in Elis trat das Erdbeben schon sehr gemässigt auf; in Zante fiel, dem Meere nahe, ein geringes baufälliges Haus.

Erdbeben vom 7. März 1867 (Mytilene).

Auch dieses Erdbeben, welches FOUQUÉ näher beschrieben hat,¹ hat auf einem kleinen Gebiet sehr beträchtliche, verwüstende Wirkungen ausgeübt, aber kein grosses Areal erschüttert. J. SCHMIDT sagt von diesem Erdbeben: „Um die wahre Grenzcurve des Erdbebens zeichnen zu können, müssten sehr vollständige Angaben, positive wie negative, aus der Türkei und Griechenland vorliegen. Aber solche fehlen, und ich habe nur 2 oder 3 nützliche Aussagen erlangen können. Dass Skyros noch erschüttert ward, ist sicher; ob Euböa, bleibt zweifelhaft. Am 7. März war Mittags Erdbeben in Kumi und Abends 5 Uhr in Achmet-Aga. Nach einem Schreiben FRANK CALVERTS aus der Dardanellenstadt war hier das Erdbeben gewaltig und die Vibrationen, die durch Zeichnung erläutert wurden, dauerten 22 Minuten, ehe der Boden zur Ruhe kam. In den Ortschaften der Ebene von Troja gab es mancherlei kleine Schäden und in

¹ FOUQUÉ: Rapport sur les tremblements de terre en Cephalonie et de Mételin en 1867; — sowie Compt. rend. 1868, No. 7 u. No. 15.

Jenischer (Sigeion) fielen zwei Häuser. In Gallipoli war die Bewegung mässig und ward in Konstantinopel angeblich nicht gefühlt. — Eine genaue Liste aller Verluste ist wohl nicht bekannt geworden. Getödtet vom Erdbeben wurden mehr als 500 Personen. Zwei Tage nach dem Unglücke gab die in Smyrna erscheinende Zeitung *Ἀναλ.θ.ε.ι.α* die Zahl der Todten über 5000 an; so sehr hatten die Gerüchte übertrieben.⁴¹

Erdbeben vom 19. und 20. September 1867 (Griechenland).

Die bedeutenden Erdbeben vom Abend des 19. und vom Morgen des 20. September 1867 waren von besonderer Eigenthümlichkeit wegen der Seefluth, die im Meere zwischen Kreta und dem Peloponnes erzeugt, sich über die Küsten der Kykladen, des Peloponnes, der Inseln Zante und Kephalaria ergoss. J. SCHMIDT sagt von diesen Erdbeben: „Am Abend des 19. September war es ein Erdstoss, aber am Morgen des 20. kamen im Verlaufe einiger Minuten 3 oder 4 Stösse. Mit dem ersten Erdbeben war entweder keine oder nur eine unbedeutende, nicht beachtete Seewoge verbunden. Das andere Erdbeben aber erregte die grosse bis Kreta, Kephalaria und Sicilien reichende Bewegung der See. — Ich nehme an, dass beide Erdbeben nahe von demselben Centrum ausgingen. In den 12 Stunden zwischen ihnen gab es manche schwache Erschütterungen und die Maxima der grossen Stösse betrafen ungefähr dieselben Orte. In der Bestimmung der Lage des Epicentrums liess ich mich durch die grössten Wirkungen leiten und durch das Auftreten der Seewoge. Erstere waren nur auf kleinem Raume, auf der mittleren der drei südlichen Halbinseln des Peloponnes, und hier gab es Zerstörungen, von denen nur sehr wenig bekannt wurde. Es ist nicht einmal zu entscheiden, welches der beiden Erdbeben in Mani, bei Paganea, Gytheion und Areopolis Schaden bewirkte; doch zweifle ich nicht, dass es am Morgen des 20. September geschah, als Häuser fielen und einige Menschen erschlagen wurden, als die See heftig die Ufer des Golfes von Gytheion überfluthete und viele Fische auf dem Trockenen zurückliess. Zu Kanea auf Kreta, bei Zante und Kephalaria ging die Bewegung der See langsam vor sich und brauchte lange Zeit, von 5 $\frac{1}{2}$ Uhr Morgens bis 10 Uhr, bevor sie sich nach mehrmaligem Anschwellen und Zurücktreten ganz beruhigte. So gross und merkwürdig diese Erscheinungen waren, blieben sie doch fast ganz unbeachtet, und nur mit Mühe habe ich einige Nachrichten darüber erlangen können. — Indem ich das Epicentrum in 20° Ost von Paris und 36° Breite annahm, westlich von Kreta im Meere, hatte ich es dem Orte der grössten Wirkungen genügend genähert. Die Seewoge, hier erregt, konnte ungehindert an die Nordwestküste Kreta's, ebenso nach Gytheion, Seriphos und Syra gelangen; nicht weniger leicht kam sie ungebrochen nach Zante und Argostoli. Ihre Wirkung zeigte sich am besten in den gegen Süden geöffneten Häfen Della Gracia auf Syra, Gytheion

² J. SCHMIDT: a. a. O. S. 101.

und Lixuri auf Kephalaria. — Ich schliesse, dass die Geschwindigkeiten an der Oberfläche gering waren, und dass der Herd des Erdbebens keine grosse Tiefe hatte. — Als Minimum setze ich für die von Südost-Nordwest gerichtete grosse Axe des erschütterten Raumes 11.6° , für die kleine Axe 7.5° , d. h. 174 und 112 geographische Meilen, die Area = 15 300 Quadratmeilen. Die sichern Orte, wo im Süden und Norden die Seewoge noch auftrat, waren Kanea und Korfu, und diese sind 78 Meilen von einander entfernt. Man darf aber annehmen, dass die See gestört wurde auf einer Fläche von 9200 Quadratmeilen, bei 108 Meilen Durchmesser.¹

Erdbeben vom 24. Juni 1870 (Mittelmeer).

Dieses Erdbeben war von ausserordentlicher Ausdehnung, es erschütterte die Küsten Arabiens, Aegyptens, Syriens, den Archipelagos nebst Kreta, Hellas Sicilien und das südliche Italien. J. SCHMIDT hat es zu Athen genau beobachtet, da er sich zur Zeit des Bebens im Meridiansaale der dortigen Sternwarte befand. Seine interessante Wahrnehmung über das verspätete Stehenbleiben einer Uhr wurde bereits erwähnt (siehe S. 147). Er bemerkt ferner: „Die bis auf 2 oder 3 Secunden genaue mittlere Zeit des Erdstosses war Abends 5 Uhr 53.6 Minuten. Die Richtung der Bewegung schien Ostnordost-Westswdwest zu sein, oder Südwest-Nordost. Ich halte für wahrscheinlich, dass Stoss und Donner vom Meere kamen, aus Süd oder Südwest. Zu Santorin, dessen neuer Vulkankegel sich damals noch in gewohnter grosser Thätigkeit befand, hatte nach Kapitän N. BORSIS Beobachtung das Erdbeben sehr bedeutende Heftigkeit, so dass zu Aspronisi und an anderen Punkten Felsstürze stattfanden. In Heraklion auf Kreta war das Erdbeben stark, doch ohne Unglück; mit dem Donner erfolgte der einmalige Stoss und nach ihm kamen mässige Wellenbewegungen des Bodens. In Syra und Chalkis fühlte man das Erdbeben schwach, ebenso zu Poros. Zu Kairo, Ismaïla, Alexandria, Naplus, Beirut, Smyrna war die Erschütterung heftig und verursachte in Kairo kleine Schäden. Messina und Neapel fühlten eine mässige Wellenbewegung. Die Zeitangaben, die allein in Betracht kommen können, sind die folgenden, wobei zu bemerken, dass die Athener Beobachtung, wie erwähnt, völlig genau, die von Neapel (Seismograph PALMIERI's in der Stadt) wohl sehr genähert ist. Ueber die anderen Daten ist nicht zu urtheilen, weil dazu jeder Anhalt fehlt.

	Ortszeit:	Athener Zeit:
Neapel	5 Uhr 16.4 Min.	= 5 Uhr 54.3 Min.
Locorotondo	5 „ 15 „	= 5 „ 41.3 „
Athen	5 „ 53.6 „	= 5 „ 53.6 „
Dardanellen	5 „ 53 „	= 5 „ 41 „
Kreta	6 „ 0 „	= 5 „ 56 „
Smyrna	6 „ 6 „	= 5 „ 52.4 „
Alexandria	6 „ 25 „	= 6 „ 0.4 „
Santorin	6 „ 10 „	= 6 „ 3.0 „

¹ J. SCHMIDT: a. a. O. S. 104, 105, 106.

Diese Daten werden nicht genügen, Befriedigendes für die Geschwindigkeit des Erdbebens zu ermitteln. Dass zu Neapel und Athen das Erdbeben nahe momentan auftrat, zeugt an sich nicht entscheidend für eine grosse Geschwindigkeit, weil sich die Lage vom Epicentrum nicht genau angeben lässt. Damit für gedachte Orte gleiche Radien resultiren, musste das Epicentrum südlich bei der Afrikanischen Syrte angenommen werden. Lag es aber in Aegypten oder Nord-Arabien, so musste Athen früher als Neapel erschüttert werden, und der Unterschied von 0·7 Minuten würde auf eine enorme Geschwindigkeit dann schliessen lassen, wenn die Zeit zu Neapel zweifellos wäre. Aus der Gesammtheit der Beobachtungen bin ich der Ansicht, dass wohl in diesem Erdbeben der Herd eine sehr grosse Tiefe hatte, dass demzufolge über grosse Räume hin die Erschütterung nahezu gleichzeitig auftreten musste. Der Raum, in welchem kleine Beschädigungen und wo Felsstürze vorkamen, umfasst Santorin, Smyrna, Kreta, Syrien und Aegypten, ähnlich wie 1856. Von beiden Küsten des rothen Meeres, bis Aden hin, wird das Erdbeben gemeldet, so dass ich das Epicentrum in Nord-Aegypten oder Nord-Arabien vermuthe, schon deshalb, weil diesmal nirgends von einer Seewoge die Rede ist. Als ungefähre Näherung für die Grenzcurve setze ich die Länge der von Südost-Nordwest gerichteten Hauptaxe gleich 26° oder oder 390 geographische Meilen, die kleine Axe = 18° oder 270 Meilen, die Area nahe = 83 000 Quadratmeilen, also mehr als bei dem viel stärkeren Erdbeben von 1856.“¹

Vergleicht man die auf unserer Tafel I verzeichneten Schüttergebiete mit den vorstehenden Schilderungen der betreffenden Erdbeben, so ersieht man recht deutlich, dass die Intensität der seismischen Erscheinungen in sehr verschiedenem Verhältnisse zu der Ausbreitung derselben stand, und hauptsächlich um dies recht deutlich ersichtlich zu machen, wurden die von J. SCHMIDT ermittelten Schüttergebiete dieser Orientbeben, wenn sie auch bei der Unvollständigkeit der Nachrichten nur mehr oder minder der Wahrheit nahe kommen, zum Gegenstand der Erörterung gemacht.

Bei älteren Erdbeben, von welchen oft eine erstaunlich grosse Verbreitung angegeben wird, ist es schwierig, ja oft geradezu unmöglich, sichere Anhaltspunkte für die Beurtheilung ihrer wahren Verbreitung zu gewinnen, da nur ein Theil der Berichte vollkommen wahrheitsgetreu ist, ein anderer aber unrichtige, missdeutete, oder gar auf andere Beben sich beziehende Beobachtungen darbietet. So wird insbesondere dem grossen Erdbeben von Lissabon vom 1. November 1755 eine ungeheure Verbreitung zugeschrieben, welche sich über nicht weniger als 700 000 geographische Quadratmeilen, also etwa den dreizehnten Theil der Erdoberfläche erstreckt haben soll. Hier sind aber auch jene Gebiete mitgerechnet worden, in welchen nur eine ungewöhnliche Bewegung des seismisch erregten Meeres an den Küsten wahrgenommen wurde. Die Fluthwellen,

¹ J. SCHMIDT: a. a. O. S. 110—112.

welche durch das Beben vom 1. November 1755 erzeugt wurden, pflanzten sich eben über den ganzen atlantischen Ocean fort. Wollte man solche indirect von der Bewegung beeinflusste Gebiete in das Schüttergebiet mit einrechnen, so würde gewiss dem japanischen Beben vom 23. December 1854 oder den peruanischen vom 13. August 1868 und vom 9. Mai 1877 ein noch weit grösseres zuzuschreiben sein, wie dem Erdbeben von Lissabon, da ja in den letzteren Fällen die seismischen Wellen den ganzen pacifischen Ocean durchmessen haben (vergl. S. 116, 117). Aber auch blos bei Berücksichtigung jener Punkte, an welchen wirkliche Erschütterungen beobachtet wurden, und unter Annahme einer nur wenig über den Grund des atlantischen Oceans sich erstreckenden Ausdehnung des wahren Schüttergebietes erhält man eine Ausdehnung desselben von weit über 100 000 Quadratmeilen; wahrscheinlich jedoch war dieselbe grösser, und bei gar nicht sehr sanguinischer Berechnung kommt man auf 300 000 Quadratmeilen. Das Areal starker Zerstörung erstreckte sich im Süden bis Mogador an der Küste Marokko und umfasste einen grossen Theil der Pyrenäenhalbinsel. Fast ganz Portugal wurde verwüstet, Sevilla, Cadix, Jeres, Madrid und andere Städte litten heftig; dagegen verdient eine vereinzelte Angabe über Zerstörungen in England wohl keine Berücksichtigung. Von entfernten Punkten, an denen die Erschütterung überhaupt empfunden wurde, ist die Insel Madeira zu nennen, von zahlreichen Punkten in Frankreich mag Caen als ganz im Norden gelegen erwähnt werden; auch scheint zu Cork in Irland eine wirkliche und nicht unbedeutende Erschütterung stattgefunden zu haben, was mit der Annahme der Hauptverbreitung längs einer Nordsüdlinie gut im Einklange stehen würde. Aus Holland wurden ebenfalls von mehreren Orten Bewegungen gemeldet, ebenso aus Hamburg, aus Holstein und Dänemark; doch wird man in diese Angaben einige Zweifel setzen dürfen, zumal sie aus einer Quelle stammen, von welcher der überaus gewissenhafte und vorsichtige Hoff wohl mit gutem Grunde sagt, dass sie gerne Wunderbares berichte. In Süddeutschland sollen Kannstatt, Augsburg und Donauwörth, in der Schweiz Basel und ganz besonders Brieg in Wallis Stösse empfunden haben; in Italien sind Turin und Mailand zu nennen, während aus dem Süden ausdrücklich Ruhe gemeldet wird. Die ausgedehnten Wirkungen auf Seen, Teiche und Quellen, welche das Lissaboner Erdbeben hervorgebracht haben soll, wurden bereits an früherer Stelle erwähnt (S. 124 und 125). Sie erscheinen um so merkwürdiger, als sie viel weiter reichten und angeblich auf einem sehr viel grösseren Raum bemerkt wurden, als die Erschütterung der Erde selbst. Es ist aber hierzu zu bemerken, dass manche der Berichte unzuverlässig sind, und manche Naturerscheinung, die zufällig am 1. November 1755 oder einem kurz vorhergehenden oder nachfolgenden Tag eintrat, mit dem Erdbeben in Verbindung gebracht wurde. Manche Schwankungen an Seen mögen durch Seiches, die zufällig zur Zeit des Erdbebens eintraten, verursacht worden sein. Andererseits muss auch die Möglichkeit zugegeben werden, dass bei dem Erdbeben

von Lissabon ähnlich wie bei manchen grösseren Beben selbständige Erschütterungen in entfernteren Gebieten, sogenannte Relaisbeben ausgelöst wurden, die wir freilich heute nicht mehr in ihrer Natur und in ihrer Beziehung zu dem grossen Erdbeben zu erkennen vermögen.

In scharfem Gegensatz zu den Erschütterungen vom 24. Juni 1870 oder vom 1. November 1755, welche so gewaltige Areale in Bewegung versetzten, stehen Erdbeben wie jene, welche am 4. März 1881 und am 28. Juli 1883 Ischia verheerten, und auf einem sehr beschränkten Raume eine sehr bedeutende Wirkung erzielten, aber über diesen hinaus sich nur wenig fühlbar machten. Ueber das erste dieser Erdbeben berichtet G. VOM RATH: „Das Erdbeben vom 4. März um 1 Uhr 5 Minuten Nachmittags wurde auf der ganzen Insel Ischia gefühlt, sowie auf Vivara und Ventotene. Vom nahen Festlande liegt indes nicht eine einzige Angabe vor. Das durch Beschädigung und Zertrümmerung der Gebäude heimgesuchte Gebiet nimmt eine ovale Fläche ein, in der man wieder eine innere Ellipse stärkster Verheerung unterscheiden kann. Diese centrale Ellipse misst von Osten nach Westen 1900 Meter bei einer Breite von 550 Meter. Das Dorf Casamicciola fällt fast seiner ganzen Ausdehnung nach in die östliche Hälfte dieses Ovals. In der äusseren Zone, welche bei einer Breite von $2\frac{1}{2}$ Kilometer einen Längendurchmesser von $3\frac{1}{2}$ Kilometer besitzt, sind noch Beschädigungen der Gebäude, wie Risse und Spalten vorgekommen, doch keine vollständigen Verwüstungen. In dem innern Bezirke muss das Erdbeben furchtbare Gewalt gehabt haben; die Verheerungen wurden durch einen Verticalstoss bewirkt, der ohne alle Vorbereitungen plötzlich eintrat. Die Gebäude, aus dem lockeren Tuffe des Monte Epomeo gebaut, besitzen flache Dächer, welche in einem Augenblicke zu Boden stürzten und alles Lebendige unter den Trümmern begruben; wäre die Katastrophe in der Nacht erfolgt, so wären fast alle Bewohner des Dorfes getödtet worden. Auch so war die Zahl der Opfer noch sehr gross: 118 Tödtete und 70 Schwerverwundete, von denen noch manche ihren Leiden erlagen. Bemerkenswerth ist das Erdbeben wegen seiner momentanen Wirkung; bei ähnlichen Ereignissen konnten bisweilen die Menschen eine schützende Thorwölbung oder auch das Freie gewinnen und sich retten. Nicht so bei dem Stosse von Casamicciola am 4. März; die Menschen wurden genau an der Stelle erschlagen, wo sie standen und sassen. Geführt von dem Kommandirenden der Genietruppen, welche zur Ausgrabung der Leichen, zur Wegräumung der Schuttmassen hergesandt waren, durchwanderte ich die Ruinenstätte. Eines der ersten Zeugnisse von der furchtbaren Gewalt des Stosses gaben zwei gemauerte vierseitige Thorpfeiler der Villa Barbaresi, welche anderthalb Meter über die Gartenmauer hervorragten. In der Höhe der Mauer waren die Pfeiler horizontal abgebrochen, die getrennte Masse des einen war unter gleichzeitiger Drehung etwas verschoben, das losgelöste Stück des anderen Pfeilers war nochmals zertrümmert und herabgestürzt. Ueberall fanden wir die furchtbarsten Verwüstungen; die Kirche Purgatorio war eingestürzt, die älteren

Häuser theils Trümmerhaufen, theils einsturzdrohende Ruinen; dass die sehr schlechte Bauart an dem vollständigen Zusammenbruche so vieler Gebäude mit schuldig war, das beweisen die besser gebauten neuen Häuser, so die beiden Sentinellen und das Hôtel Bellevue, welche zwar beschädigt, aber nicht eingestürzt sind.“ War schon dieses Erdbeben trotz seiner geringen Ausdehnung von ausserordentlicher Intensität und sehr zerstörender Wirkung, so wurde es hierin weit von jenem übertroffen, welches die Insel Ischia am 28. Juli 1883 verheerte, und ein nur um wenig grösseres Schüttergebiet aufzuweisen hatte. Während die Katastrophe von 1881 kaum ein Viertel der Häuser von Casamicciola vernichtete, blieb 1883 nur ein einziges unverletzt stehen, und auch eine Reihe anderer Ortschaften: Lacco, Forio, Panza, Fontana etc. erlitten ein ähnliches Schicksal; nur der Hauptort Ischia kam mit geringem Schaden davon. Von 6626 Häusern, welche die Insel mit Ausschluss der Stadt Ischia zählte, stürzten 2278 ein, 3616 wurden beschädigt, und nur 722 blieben unversehrt. Die Zahl der Todten wird von den officiellen Berichten auf 2313, die der Verwundeten auf 762 angegeben, während die ersten Nachrichten von 5000 Todten und 6—7000 Verwundeten wissen wollten. Der Verlust an Menschenleben war ein verhältnissmässig grosser, weil der Stoss bei Nacht eintrat, als die ganze Einwohnerschaft und die vielen anwesenden Badegäste fast alle unter Dach waren. Ein Unterschied gegen die Katastrophe von 1881 machte sich insofern geltend, als der Hauptstoss von 1883 nicht ganz unvorbereitet kam; etwa eine Woche vorher wurden leichte Bewegungen bemerkt und auf dem Monte Cito, ganz nahe bei Casamicciola, traten einige bis dahin sehr schwache Fumarolen in stärkere Thätigkeit. Auf die Angabe, dass die warmen Quellen von Casamicciola reichlicher und mit höherer Temperatur geflossen seien, dürfte dagegen kein Werth zu legen sein. Der Hauptstoss erfolgte um 9 Uhr 25 Minuten Abends, und wurde von einer leichten Erschütterung mit unterirdischem Geräusch angekündigt. Die Hapterschütterung am 28. Juli bestand aus einem äusserst heftigen, von unten nach oben gerichteten senkrechten Stosse, der verschiedene Gegenstände hoch in die Luft schnellte und von mächtigem unterirdischen Donner begleitet war. In einem Momente war das Werk der Vernichtung vollendet, es folgte noch eine 15—20 Secunden dauernde schwächere Wellenbewegung, dann war alles ruhig. Von 9 $\frac{1}{2}$ Uhr bis Mitternacht wurden noch 6 und von da an bis zum 28. Juli 15 weitere Bewegungen beobachtet. Am 29. Juli traten östlich von Casamicciola, gegen Castiglione zahlreiche Fumarolen und Dampfstrahlen auf, am 3. August war wieder ein stärkerer Stoss fühlbar und etwa 30 weitere Erschütterungen im Laufe des August und September. Die Verbreitung des Erdbebens war eine grössere als im Jahre 1881, die ganze Insel wurde betroffen; aber von ausserhalb, vom Festlande, liegen nur wenige sichere Meldungen über eine deutlich bemerkbare Erschütterung vor, ja selbst die überaus feinen Instrumente des Vesuv-observatoriums zeigten keine Bewegung an, während allerdings in weiter

Entfernung die Seismographen von Rom, Velletri, Florenz und Fermo leise Zuckungen notirten.

Aufgabe der Erdbebenforschung ist es nun, nicht blos so genau als möglich den Umfang des allgemeinen Erschütterungsgebietes festzustellen und innerhalb derselben Lage und Gestalt der pleistoseisten Region zu verzeichnen, sondern insbesondere die Beziehungen zwischen dem örtlichen Auftreten der seismischen Erscheinungen und dem geologischen Bau der von ihnen betroffenen Gegenden zu untersuchen. Hierbei ergeben sich, wie in den nächsten Abschnitten dargelegt werden wird, die verschiedenen Ursachen der Erdbeben, bei deren Erforschung selbstverständlich alle Anhaltspunkte, welche die Beobachtung der Art und Weise der Bewegung, ihrer Fortpflanzung und der begleitenden Erscheinungen von Vortheil sein werden. Ein hoher Werth ist dabei auch auf die genaue Untersuchung jener Erschütterungen zu legen, welche dem Hauptbeben entweder vorangingen oder nachfolgten.

Verhältnissmässig selten beschränkt sich ein Erdbeben, zumal ein grösseres, auf einen einzigen Stoss, in der Regel folgen mehrere oder auch viele aufeinander. Bei einem grösseren Erdbeben pflegen in der Regel der HAUPTerschütterung nur wenige schwächere Beben voranzugehen, die oft gar keine Beachtung finden, während die aus einem oder wenigen verheerenden Schlägen, die in wenigen Secunden oft die furchtbarsten Verwüstungen anrichten, bestehende HAUPTerschütterung zumeist von vielen schwächeren Bewegungen begleitet wird, die Wochen, Monate, ja Jahre andauern können. Die Regel, dass eine derartige Erdbebenperiode durch einen Anfangsparoxysmus eingeleitet wird, dem zahlreiche schwächere Erschütterungen folgen, von welchen keine die Stärke der HAUPTerschütterung erreicht, ist jedoch, wie wir später sehen werden, sehr vielen Ausnahmen unterworfen. Als Beispiele für die Regel mögen angeführt werden: das grosse Erdbeben, welches 1870 die Provinz Phokis in Griechenland erschütterte und mit beispielloser Intensität durch drei Jahre anhielt, das Erdbeben von Belluno 1873 und das Beben von Agram 1880.

Von dem grossen phokischen Erdbeben, über welches wir dem Astronomen J. SCHMIDT nähere Nachrichten verdanken, die bereits theilweise Gegenstand der Erörterung waren (vergl. S. 90 u. ff.), berichtet dieser: „Man zählte vom 1. August 1870 bis zum 1. August 1873 nur 35 sehr grosse Stösse, oder vielmehr nur diese wurden in der Zeitung erwähnt oder mir brieflich mitgetheilt. Ich bin aber darüber sicher, dass auf diese Weise kaum der zehnte Theil mir bekannt ward, und dass man für die drei Jahre 300—320 schwere Erdbeben ohne Uebertreibung annehmen darf.¹ — Hinsichtlich der Häufigkeit der Stösse zeigte sich im zweiten Jahre keine sonderliche Abnahme, doch wurden sie im ganzen schwächer, aber die Felsstürze und Donner gaben denen von 1870 wenig nach. Im

¹ J. SCHMIDT: Studien über Vulkane und Erdbeben, 2. Abtheilung (Studien über Erdbeben, 2. Ausgabe), Leipzig 1881, S. 118.

Jahre 1871 wagte man noch nicht, steinerne Häuser zu bewohnen.¹ — Bis zum Winter 1870 hörte die Unruhe der Erde niemals ganz auf, und im Orte Montlia, zwischen Parnass und Kirphis, fand man, dass drei Monate lang ein Ei, das man auf eine Metallplatte gelegt hatte, in steter zitternder Bewegung blieb. In den ersten drei Tagen gab es wenigstens in jeder dritten Secunde ein Erdbeben, so dass täglich gegen 29 000 zu rechnen waren.² — Nimmt man die Aussage wörtlich, dass in den drei ersten Tagen in jeder dritten Secunde ein Erdbeben erfolgte, so wären es deren über 86 000 gewesen. Da ich vier Tage später zu Itëa nach Zählungen fand, dass in 24 Stunden mindestens 1700 bis 2000 Detonationen und Stösse fühlbar waren, und da es bekannt ist, dass bis zum Winter die Erde nie ganz zur Ruhe kam, so würde man mit Berücksichtigung derjenigen feinsten Bewegungen und Schallwirkungen, die Nachts noch deutlich aufgefasst werden können, für die letzten Monate von 1870 gegen 500 000 Erschütterungen und Detonationen annehmen dürfen. Letztere stets drei- bis viermal häufiger als die ersteren. Da nun das Erdbeben $3\frac{1}{2}$ Jahre anhielt, so lässt sich ohne Uebertreibung sagen, dass am Epicentrum zum Mindesten $\frac{1}{2}$ bis $\frac{3}{4}$ Millionen Erdbebenphänomene auftraten, darunter gegen 300 grosse und gefährliche mit Zerstörungen, etwa 50 000 gewöhnliche Erdstösse, die man nicht beachtet, auf welche $\frac{1}{4}$ Million Detonationen zu rechnen sind. Das Uebrige bestand in den feinen Vibrationen und Tönen, die zumeist nur Nachts wahrgenommen werden.³) — Man kann vielleicht an den Zahlen, welche J. SCHMIDT mittheilte, zweifeln und glauben, dass sie erheblich über die Wirklichkeit hinausgehen (obwohl eher das Gegentheil zu vermuthen ist, und zum Mindesten die Prämissen, von welchen SCHMIDT ausging, auf sehr sorgfältigen und genauen Beobachtungen beruhen, d. i. auf seinen eigenen, über jeden Zweifel erhabenen Wahrnehmungen zu Itëa, vergl. S. 90), jedenfalls müssen wir der Ansicht NEUMAYR's beipflichten, welcher die phokische Erdbebenperiode von 1870—73 als einen der furchtbarsten Erdbebenschwärme bezeichnet, die je vorgekommen sind.

Auch das Erdbeben von Belluno 1873, dessen Hauptstoss am 29. Juni grosse Verheerungen anrichtete, und dessen Beziehungen zu dem geologischen Bau der von ihm betroffenen Gegenden noch Gegenstand eingehender Erörterung sein wird, wurde von zahlreichen schwächeren Erschütterungen begleitet, welche durch das zweite Halbjahr 1873 und noch durch mehrere Monate des Jahres 1874 andauerten, wie A. BITTNER in seiner Monographie dieses Bebens gezeigt hat.⁴ Von dieser Erdbebenperiode hat R. FALB behauptet, dass sie sich in ihrer Zu- und Abnahme genau an die Periodicität der Fluthwerthe anschmiege. Ich brauche mich an dieser Stelle nicht mit der Widerlegung dieser Ansicht aufzuhalten,

¹ Ebenda, S. 120,

² ebenda, S. 121,

³ ebenda, S. 133.

⁴ A. BITTNER: Beiträge zur Kenntniss des Erdbebens von Belluno vom 29. Juni 1873, Sitzungsber. d. k. Akad. d. Wiss. Wien, 69. Bd. 1874.

zumal ich an anderem Orte gezeigt habe, dass FALB's Behauptungen mit den Thatsachen nicht übereinstimmen, und insbesondere die von ihm mitgetheilte Tabelle, in welcher eine Vergleichung der Hochfluthtage und der stärkeren Stösse dieser Erdbebenperiode versucht wird,¹ mit den genaueren Angaben BITNER's im Widerspruche steht.²

Bei dem Erdbeben von Agram 1880 dauerten gleichfalls die Erschütterungen noch durch lange Zeit fort, ein von F. WÄHNER mitgetheiltes Verzeichniss der Beobachtungen am meteorologischen Observatorium in Agram durch Prof. STOŽIR zählt vom 9. November 1880 bis zum 21. Januar 1882 zweihundert Erschütterungen, doch erscheinen in derselben die feineren Erzitterungen sowie die blossen Detonationen, wie sie vielfach vorkamen, nicht aufgenommen,³ auch zeigen die übrigen durch WÄHNER gesammelten Berichte,⁴ dass diese dem Hauptstoss vom 9. November folgenden Erschütterungen überaus zahlreich gewesen sein müssen.

Selbstverständlich liessen sich noch sehr zahlreiche Erdbebenperioden als Beispiele für die Regel geltend machen, dass zumeist ein Paroxysmus eine lange Reihe schwächerer Erschütterungen einleitet, es ist aber aus dem Grunde nöthig, insbesondere die Ausnahmen von dieser Regel hervorzuheben, weil derselben von manchen Erdbebenforschern allzuviel Bedeutung beigemessen wird. So behauptet R. FALB, es sei ein sicheres Gesetz, dass der erste oder der in wenigen Minuten darauffolgende der Hauptstoss sei, und dass von den Hunderten von Erschütterungen, die auf den ersten Stoss folgen, keine einzige mehr die Gewalt und Stärke des ersten oder Hauptstosses erreiche. Es sei unerhört in der Erdbebenstatistik, dass ein Ort in der Mitte oder erst am Ende einer wochenlang andauernden Erschütterungsreihe durch einen allen vorausgehenden an Heftigkeit übertreffenden Stoss zerstört worden sei. Ich habe dieses von R. FALB in seinen „Gedanken und Studien über den Vulkanismus“ ausgesprochene „Gesetz“ schon an anderer Stelle nach Gebühr gewürdigt,⁵ ich muss jedoch auf den Gegenstand ausführlicher zurückkommen, weil auch andere Autoren der angeführten Regel eine viel allgemeinere Geltung zuschreiben, als ihr in der That zukommt. So M. NEUMAYR, welcher die Beben von Chios 1880, Agram 1880, Belluno 1873, Lissabon 1755 u. s. w. als Beispiele für die Regel anführt und dazu bemerkt: „Ausnahmen von der Regel, dass die ersten Stösse die heftigsten sind, sind nicht häufig, doch kommen sie vor; so war bei dem Erdbeben von 1590 in Niederösterreich ein heftiger Stoss am 29. Juni fühlbar, während der stärkste erst im September desselben Jahres folgte.“⁶ Wie jedoch die nach-

¹ R. FALB: Gedanken und Studien über den Vulkanismus, Graz 1875, S. 269.

² R. HOERNES: Die Erdbebenlehre Rudolf Falb's, Wien 1881, S. 71 u. ff.

³ F. WÄHNER: Das Erdbeben von Agram am 9. November 1880, Sitzungsber. d. k. Akademie d. Wiss. 88. Bd. 1883, S. 257 bis 264.

⁴ ebenda, S. 265—286.

⁵ Die Erdbebenlehre R. FALB's, S. 106 u. ff.

⁶ M. NEUMAYR: Erdgeschichte I, S. 267.

stehend angeführten Beispiele zeigen, sind solche Ausnahmen sehr häufig.

Das Erdbeben von Klana in Istrien vom Jahre 1870, oder vielmehr die Erdbebenperiode, welche nach der am härtesten von ihr heimgesuchten Ortschaft diesen Namen führt, und welche durch D. STUR eingehend geschildert wurde,¹ hatte zwei HAUPTerschütterungen, eine am 1. März 1870 und eine andere am 10. Mai, dem Stoss vom 1. März aber gingen bereits zahlreiche Erschütterungen voran, von welchen einzelne genau dasselbe Centrum hatten, wie die Hauptstösse vom 1. März und 10. Mai; während die übrigen auf einer Schütterzone in ähnlicher Weise wanderten, wie die jeweiligen Stosspunkte bei dem grossen calabrischen Erdbeben von 1783. Wie ich an der Hand von STUR's sorgfältiger Chronik der Erdbebenperiode von Klana zeigen konnte,² wanderte Ende 1869 und Anfang 1870 der jeweilige Stosspunkt auf einer Zone, welche die Halbinsel Istrien vom Hinterlande abtrennt und hier mit der Spalte von Buccari zusammenfällt, nördlich vom Golf von Triest einen Bogen nach Görz beschreibt und hier über Udine zu der schon von BERTI und BITTNER vorausgesetzten Schütterzone am Südrande der Alpen verläuft, während sie sich andererseits aus der Gegend von Fiume nach SO, entsprechend dem Streichen des dalmatinischen Karstes verfolgen lässt. Wir werden an anderer Stelle eingehend auf diese Zone sowie auf ihre tektonische und seismische Bedeutung zurückzukommen haben.

Wie oben (S. 195) erörtert, traf am 4. Februar 1867 ein verheerendes Erdbeben die Insel Kephalaria und richtete daselbst die furchtbarsten Verwüstungen an, so dass J. SCHMIDT sich zu dem Ausspruche veranlasst sieht, alle griechischen Erdbeben seit 1817, die sich durch grosse Zerstörungen auszeichneten, seien diesem nicht gleichgekommen, was die Menge der verwüsteten Ortschaften und die Verluste an Menschenleben anlangt. Aus SCHMIDT's genauem Katalog der Orient-Erdbeben von 1859 bis 1873 ersieht man aber, welche Reihe von Erschütterungen dem Erdbeben vom 4. Februar 1867 voranging und nachfolgte und muss dem Ausspruche SCHMIDT's beipflichten: „das letztere war nur ein starkes unter Hunderten von schwachen.“³

Brussa in Kleinasien wurde am 28. Februar und am 11. April 1855 durch Erdbeben furchtbar verwüstet. Am 28. Februar begann das Beben um 3 Uhr Nachmittags (9 Uhr 40 Minuten nach türkischer Uhr) mit einer Schwingung von West nach Ost, dann folgte der grosse senkrechte Stoss, der nach 50 bis 60 Secunden aufhörte. Es wurden 300 Menschen erschlagen und es ward in der Stadt und auf den Dörfern sehr grosse

¹ D. STUR: Das Erdbeben von Klana im Jahre 1870, Jahrbuch der k. k. geologischen Reichsanstalt 1871, 21. Bd., S. 231.

² R. HOERNES: Erdbeben-Studien, Jahrbuch d. k. k. geologischen Reichsanstalt 1878, 28. Bd. S. 421—429.

³ J. SCHMIDT: Studien über Erdbeben und Vulkane, Leipzig 1881, 2. Theil, Seite 87.

Zerstörung angerichtet. Bis Mitternacht zählte man wenigstens fünf grosse Stösse. Vom Anfange des März bis wenigstens zur Mitte des Juni waren Erdbeben überaus häufig, wobei anzunehmen ist, dass man nur die grösseren Erschütterungen beachtet habe. Am 11. April Abends nahe 8 Uhr erfolgte dann die grösste Katastrophe, die in Brussa angeblich 1300 Menschen tödtete und Alles zusammenwarf. Eine heftige Feuersbrunst kam noch dazu in den Trümmern zum Ausbruche. In 15 Stunden zählte man 150 Stösse.¹ — Nach E. KLUGE wären bei diesem Erdbeben an den Dörfern der Umgebung von Brussa Interferenzerscheinungen in auffallenden Beispielen zu beobachten gewesen.² Wahrscheinlicher ist es, dass die betreffenden auffallenden Ungleichheiten der Erdbebenwirkung durch die verschiedene Bodenbeschaffenheit der einzelnen Orte veranlasst wurden, wenn auch damit die Möglichkeit von Interferenzerscheinungen, welche die Bildung wahrer „Erdbebenbrücken“ veranlassen sollen (siehe S. 73), damit nicht gelegnet werden soll.

Das mehrerwähnte grosse phokische Erdbeben, dessen erster Hauptstoss am 1. August 1870 eintrat, hatte schon am 16. Juli desselben Jahres Vorläufer in schwachen Erschütterungen, die sich in den später zerstörten Orten Itea und Chryso fühlbar machten. Am 31. Juli Abends erfolgten in ganz Hellas Erschütterungen, die in Phokis ernsteren Character hatten. In der Frühe des 1. August gegen 2³/₄ Uhr erfolgte der erste Hauptstoss. In wenigen Secunden sanken Itea, Xiropigadi, Chryso, Delphi sowie Theile von Arachova und Amphissa in Trümmer. Neunzehn Minuten später erbehte die Erde abermals heftig und um 1¹/₂ Uhr Nachmittags warf ein ungeheurer Stoss den Rest der Ruinen zu Boden und verursachte am Parnassos, am Korax und an der Kirphis unerhörte Felsstürze. Ungezählte Bewegungen der Erde, Donnern und mancherlei Getöse, Tag und Nacht nicht aussetzend, dauerten den ganzen August, September und October. Am 25. October erfolgte ein Erdstoss von vernichtender Gewalt, so dass die Stadt Amphissa, die sich am 1. August noch ziemlich erhalten hatte, in einem Augenblicke zum grössten Theile zertrümmert ward, und dass zu Delphi, Chryso, Itea und Galaxeidion jeder die Bretterhütten verliess, von denen noch viele zerrissen wurden. Alles, was man im Laufe der letzten 10 bis 11 Wochen neu erbaut hatte, ward wieder zerstört oder in hohem Grade beschädigt. — Das Erdbeben dauerte drei Jahre. Hinsichtlich der Häufigkeit der Stösse zeigte sich im zweiten Jahre keine sonderliche Abnahme, doch wurden sie im Ganzen schwächer, aber die Felsstürze und Donner gaben denen von 1870 wenig nach. Im Jahre 1871 wagte man noch nicht, steinerne Häuser zu bewohnen.³

¹ Ebenda, S. 46.

² PETERMANN's geographische Mittheilungen, 1858, S. 236.

³ J. SCHMIDT: Studien über Vulkane und Erdbeben, II., Leipzig 1881, S. 114 und 120.

Aehnlich wie bei diesen Erdbeben, welche furchtbare Katastrophen im Gefolge hatten, verhielten sich aber auch Erdbebenperioden, deren einzelne Erschütterungen viel geringere Wirkungen erzielten, ja geradezu unbedeutende Intensität gegenüber den bis nun besprochenen Beben aufweisen.

Die Erdbeben von Herzogenrath von 1873 und 1877 bezeichnen nur die Hauptstösse von Erdbebenperioden. Im Jahre 1873 begann eine solche am 28. September, und dauerte bis in den Januar 1874 hinein. Sie erreichte ihre grösste Intensität in dem Erdbeben vom 22. October; diesem gingen fast eben so viele Erschütterungen voraus, als ihm nachfolgten.

Eine der an einzelnen Erdbeben ganz besonders reichen Perioden ist die von Gross-Gerau in Hessen, die in den Jahren 1869 und 1870 sich abspielte. Die früheste Erschütterung wurde am 12. Januar 1869 beobachtet, aber die eigentliche und heftigere Periode begann erst mit dem 30. October 1869 und dauerte bis in den Januar 1870, vereinzelte Nachwirkungen sogar bis 1873. In dieser Zeit folgten die Erdbeben in oft ganz kurzen Zwischenräumen so zahlreich hintereinander, dass z. B. allein am 31. October 1869 von einem zuverlässigen Beobachter 53 Stösse notirt wurden, von denen allerdings manche, nur durch minutenlange Intervalle getrennt, bezüglich ihrer Selbständigkeit zweifelhaft bleiben.¹ Es ist ganz unmöglich, alle Stösse im Einzelnen nach ihren Erschütterungsbezirken zu verfolgen. Aber soviel lässt sich doch aus den Beobachtungen erkennen, dass nicht alle genau dasselbe erregende Centrum besessen haben. War daher auch die eigentliche Ursache eine für die ganze Periode gemeinschaftliche, einmal wirkende, so wird doch für die einzelnen Erdstösse die Annahme einer getrennten, selbständigen und ihren Ort verändernden Erregung nothwendig. Uebrigens zählen die gesammten Erdbeben dieser Periode von ungefähr vier Monaten Dauer nach Hunderten.

Wie wir schon bei einzelnen Erdbebenperioden gesehen haben, stimmen die schwächeren, vorangegangenen oder nachfolgenden Beben entweder mit der Haupterschütterung in dem Orte der stärksten Wirkung und in der Art der Ausbreitung, wenn auch nicht in dem Grade der Intensität und in der Grösse des erschütterten Gebietes überein, oder sie unterscheiden sich sowohl in Bezug auf die abweichende Lage des Ortes, von welchem sie den Ausgang nehmen, sowie in Bezug auf die Art ihrer Verbreitung.

Von den sehr zahlreichen Erschütterungen, welche dem Hauptstosse des Agramer Erdbebens vom 9. November 1880 folgten, haben mehrere ein ziemlich grosses Gebiet erschüttert.² F. WÄHNER hat in seiner oft

¹ NÖGGERATH: Verh. d. naturhist. Ver. für Rheinl. u. Westph. XXVII., 1870, S. 50 u. f. — citirt in v. LASAULX: Die Erdbeben, Handwörterbuch der Mineralogie etc., I., S. 322.

² F. WÄHNER: Das Erdbeben von Agram, Sitzungsber. d. k. Akad. d. Wissensch., 88. Bd., Wien 1883, S. 318 d. S. A.

erwähnten Monographie dieses Bebens der Darstellung der Verbreitung einiger dieser, dem Hauptstosse folgenden Erschütterungen eine besondere Karte gewidmet, welche die Schüttergebiete der nachstehend aufgezählten fünf Beben zur Anschauung bringt:

1)	Beben vom	11. November	1880,	11 ^h	25 ^m	a. m.
2)	„	„	8. December	„	0 28	a. m.
3)	„	„	10.	„	3 24	a. m.
4)	„	„	11.	„	5 2	a. m.
5)	„	„	16.	„	11 10	a. m.

Es zeigen sich nun zwar manche Verschiedenheiten, doch bleiben die Grundzüge der Verbreitung aller dieser Beben, die gleich der Haupterschütterung ihren Ausgang vom Agramer Gebirge genommen haben, dieselben. WÄHNER ist daher wohl im Rechte, wenn er für die nachfolgenden schwächeren Erschütterungen dieselbe Ursache annimmt, wie für den Hauptstoss. Ueber die Ursache des Agramer Erdbebens aber äussert sich WÄHNER mit folgenden Worten: „Die einfache Annahme einer geringfügigen Senkung einer Scholle der Erdrinde würde nicht nur den physikalischen Charakter der Erderschütterung, sondern auch die eigenthümliche Art der Verbreitung erklären und die weitere Annahme einer Wiederholung derartiger Senkungen würde die vielfachen Analogien in ein helles Licht rücken, welche die späteren schwächeren Erschütterungen in ihren Verbreitungsgebieten untereinander und mit der ersten grossen Bewegung darbieten.

So wie bei dem Agramer Beben zeigten bei sehr vielen Erdbebenperioden die dem Hauptstosse vorangehenden oder nachfolgenden schwächeren Erschütterungen denselben Ausgangsort und ähnliche, wenn auch nicht so ausgedehnte Verbreitung. Ihre Untersuchung und die Vergleichung ihrer Wirkungen war daher in vielen Fällen von Werth für das Studium des Hauptbebens, dessen Erscheinungen sie in geringerem Grade abspiegelten.

In anderen Fällen zeigen die Nebenerschütterungen bemerkenswerthe Verschiedenheiten von dem Hauptbeben. Sie gehen zuweilen von benachbarten Ursprungsorten aus, so dass man von einer Verschiebung der Epicentra oder der Stosspunkte sprechen kann. In den vorstehenden Erörterungen ist bereits zweier Erdbebenperioden gedacht worden, welche sich durch Verschiebung der Stosspunkte auf einer Schütterzone auszeichneten. Sowohl das Erdbeben von Calabrien 1783, wie jenes von Klana 1870 wird in einem der folgenden Abschnitte in Bezug auf die durch diese wandernden Stosspunkte bezeichneten Schütterzonen und ihre tektonische Bedeutung Gegenstand eingehender Besprechung sein. Aber auch bei manchen anderen bereits erwähnten Erdbebenperioden waren Verschiebungen der Epicentra zu beobachten. So insbesondere bei den grossen phokischen Erdbeben 1870. Während der Hauptstoss vom 1. August nach J. SCHMIDT sein Epicentrum in der Ebene von Salona, nahe bei Chryso gehabt haben soll, wird für das Erdbeben vom 25. October

ein Epicentrum nahe bei Amphissa angenommen, weil Amphissa bei dem Beben vom 1. August weniger litt, bei dem Beben vom 25. October aber in Ruinen gelegt wurde.

Ebenso, wie bei einzelnen Bebenperioden die Erschütterungen bald von demselben Erregungsorte ausgehen, bald eine Verschiebung der jeweiligen Epicentra erkennen lassen, treten im Laufe der Jahrhunderte schwächere und heftigere Erschütterungen immer wieder an denselben Stellen oder an benachbarten Punkten auf, oder sie wandern auf Schütterzonen, deren Vorhandensein und deren räumliche Ausdehnung nachzuweisen eine der Hauptaufgaben der Erdbebenforschung darstellt, welche sie hauptsächlich durch Vergleichung der früheren Beben, ihrer Ausdehnung und Wirkung mit den in unseren Tagen vorkommenden Erschütterungen zu lösen hat.

Es wäre leicht, zahlreiche Beispiele dafür anzuführen, dass bei verschiedenen, durch kürzere oder längere Zeiträume, oft durch Jahrhunderte getrennten Erdbeben immer dieselben Stellen wieder erschüttert wurden; es mag aber genügen, auf wenige derartige Fälle hinzuweisen. Das Maximum des grossen niederösterreichischen Erdbebens vom 15. September 1590 fällt fast genau mit jenem des viel schwächeren Bebens vom 3. Januar 1873 zusammen. — Wiener Neustadt wird bei zahlreichen niederösterreichischen Erdbeben, die sich innerhalb eines Zeitraumes von sechs Jahrhunderten ereigneten, als Centrum genannt (vergl. S. 88). — Antiochia wurde wiederholt durch Erdbeben verheert, so im Jahre 115, 333, 387, 394 oder 395, am 20. Mai 525, 29. Mai 526, im März 527, 29. November 528, 31. October 589. Bei dem letztgenannten Erdbeben sollen 60,000 Menschen erschlagen worden sein. — Kephalaria hat vor der oben besprochenen Katastrophe von 1867 oft und viel von Erdbeben zu leiden gehabt und insbesondere wurde es von heftigen Erschütterungen heimgesucht am 30. September 1636, 11. Juli 1766, 11. Juli 1767; das letztere Erdbeben glich in seinen Wirkungen vollständig jenem vom 4. Februar 1867, denn auf der Halbinsel Paliki wurde alles ruinirt und Lixuri zerstört, während Argostoli und andere Ortschaften viel weniger litten.

Aber auch grössere und kleinere Wanderungen des jeweiligen Angriffspunktes auf den Stosslinien und Schütterzonen sind häufig. Die Kammlinie in Niederösterreich, sowie die Mürzlinie in Steiermark wurden im Laufe der Zeit bald an dieser, bald an jener Stelle von heftigen Erschütterungen betroffen, wie noch eingehend zu zeigen sein wird. Bei den Erdbeben in Achaja 1817 und 1861 fand eine bemerkenswerthe Verschiebung der Epicentra statt. Das Epicentrum des Bebens vom 26. December 1861, welches die in einem früheren Abschnitte besprochenen Senkungserscheinungen und Schlammkegelbildungen veranlasste (siehe S. 100—103) setzt J. SCHMIDT in den korinthischen Golf zwischen Aigion und Itea in $22^{\circ} 20'$ Ost von Greenwich und $38^{\circ} 13'$ nördl. Breite. Derselbe Erdbebenforscher nimmt an, dass bei dem Untergange von Helike

und Bura dieser Punkt wahrscheinlich etwas östlicher und etwas südlicher lag, während er für das Beben von 1817 etwas näher bei Aigion zu suchen ist.

Im Hinblick auf die oben erörterte Aufgabe der Erdbebenforschung müssen wir demnach der möglichst sorgfältigen Untersuchung der älteren Erdbeben grossen Werth beimessen. Wir finden deshalb in allen neueren Erdbeben-Monographien, welche die in einzelnen Ländern oder Gegenden in jüngster Zeit vorgekommenen Erderschütterungen besprechen, auch die in denselben Regionen in früherer Zeit aufgetretenen seismischen Erscheinungen aufgezählt und in ihren Erscheinungen mit den späteren verglichen, so in den wiederholt angeführten Abhandlungen von E. SUSS über die niederösterreichischen Beben, von H. HOEFER über die Erdbeben Kärntens, von A. BITTNER über das Erdbeben von Belluno 1873, von F. WÄHNER über das Beben von Agram 1880 u. s. f. Wir werden auf die Ergebnisse dieser Seite der Erdbebenforschung noch eingehend zurückzukommen haben, jetzt wollen wir uns darauf beschränken, auf sie hinzuweisen und zu zeigen, dass man seit O. VOLGER's Darlegungen über die „habituellen Stossgebiete“ man mit Recht bestrebt ist, den Zusammenhang derselben mit den geologischen Verhältnissen der betreffenden Gegenden nachzuweisen. Allerdings hat man schon viel früher erkannt, dass gewisse Gegenden häufiger von Erdbeben erschüttert werden als andere, und hat insbesondere die in Gebirgen so häufig auftretenden seismischen Erscheinungen mit den Lagerungsstörungen in Beziehung gebracht, welche der Gebirgsbau erkennen lässt. Der Zusammenhang zwischen den Erdbeben und den geognostischen Verhältnissen und insbesondere mit dem Bau der Kettengebirge ist schon früher Gegenstand der Erörterung gewesen.

Für die Erdbeben in den Pyrenäen hatte schon PALASSOU¹ ausdrücklich nachgewiesen, dass dieselben ganz gewöhnlich der deutlich ausgesprochenen Richtung der Gebirgskette von Westnordwest nach Ost-südost folgen, und zwar am häufigsten an der Südseite, seltener innerhalb der Kette und auf der Nordseite. GRAY² hatte den gleichen Nachweis für englische Erdbeben, insbesondere für das vom 18. November 1795 erbracht und gezeigt, dass diese der Hauptstreichungslinie der englischen Gebirge folgen. In gleicher Weise waren andererseits, wenn auch seltener, Erdbeben bekannt geworden, die quer über eine Gebirgskette sich fortgepflanzt hatten, wie z. B. das Erdbeben vom 8. October 1828, welches die Apenninenkette durchquerte und von Voghera über die Bochetta nach Genua die Richtung nahm. Der Begriff der longitudinalen und transversalen Erdbeben stand also — wie v. LASAULX mit Recht bemerkt — schon längst in gewissem Sinne fest; aber erst die neuere

¹ LEONHARD, Taschenbuch 1822, S. 90, — citirt in A. v. LASAULX: Die Erdbeben, Handwörterbuch der Mineralogie etc. I. S. 324.

² GILBERT's Annal. IV., S. 59, — citirt ebenda.

Erdbebenforschung hat diesen Bezeichnungen einen bestimmten Sinn gegeben. AMI BOUÉ hat jedenfalls einer schon früher allgemein verbreiteten Ansicht Ausdruck verliehen, wenn er bezüglich der Erdbeben Ende 1857 und Anfang 1858 die Meinung aussprach, dass sie neuerlich die Bestätigung dafür geben, „dass Erderschütterungen besonders an gewissen Punkten viel leichter und darum viel öfters als anderswo empfunden werden. Diese Gegenden sind vorzüglich die am meisten von früher her gespaltenen oder die in ihrer regelmässigen Schichtung am meisten gestörten Felsenparthien.“¹ Es muss jedoch hervorgehoben werden, dass die innigen Beziehungen zwischen den Erdbeben und den geologischen Verhältnissen zum erstenmale durch G. H. OTTO VOLGER zum Gegenstande der eingehenden Untersuchung gemacht worden sind. Dem Genannten gebührt in dieser Hinsicht ohne Zweifel die Priorität, da er in seinem Werke „Untersuchungen über das Phänomenen der Erdbeben in der Schweiz“ sich gerade die Aufgabe stellte, den Zusammenhang zwischen den Erdbeben und den petrographischen und geotektonischen Verhältnissen zu erweisen, und die Verwahrung, welche O. VOLGER 30 Jahre nach dem Erscheinen des genannten Werkes zur Vertheidigung seiner Priorität einlegte,² erscheint vollkommen gerechtfertigt. Dies geht schon aus dem vollständigen Titel des genannten, 1857—58 erschienenen Werkes hervor, welcher lautet: „Untersuchungen über das Phänomen der Erdbeben in der Schweiz, seine Geschichte, seine Aeusserungsweise, seinen Zusammenhang mit anderen Phänomenen und mit den petrographischen und den geotektonischen Verhältnissen des Bodens, und seine Bedeutung für die Physiologie des Erdorganismus.“ Das Werk aber gliedert sich in drei Theile, nämlich: „Erster Theil: Chronik des Erdbebens in der Schweiz; Zweiter Theil: Die Geologie von Wallis. Der Kanton Wallis in seinen petrographischen und geotektonischen Verhältnissen beschrieben und als habituelles seismisches Stossgebiet betrachtet; Dritter Theil: Die Erdbeben in Wallis. Geschichte der Erdbeben des meteorologischen Jahres 1855 in der Schweiz nebst Erörterung der verschiedenen Beziehungen dieser Ereignisse und des Erdbebenphänomens überhaupt.“ VOLGER darf mit Recht behaupten, dass er zuerst gezeigt habe, dass es Gegenden giebt, in deren Boden Erdbeben gleichsam gewohnheitsmässig auftreten, d. h. sich erzeugen. Er nannte solche Gegenden mit einer treffenden Bezeichnung „habituelle Stossgebiete“³ und unterschied von diesen Erregungsgegenden jene mehr oder minder ausgedehnten Regionen, über

¹ AMI BOUÉ: Ueber die Erdbeben im December 1857, dann im Januar und Februar 1858, 28. Bd. d. Sitzungsber. d. math. naturw. Cl. d. Akad. d. Wiss. Wien 1858, S. 321.

² O. VOLGER: Abermals unser Wissen von dem Erdbeben (Bemerkungen zu einem Vortrage des Oberrealschullehrers MÜLLER), Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure, 31. Bd. 1887, S. 684.

³ O. VOLGER: Untersuchungen über das Phänomen der Erdbeben etc., III., Seite 388.

welche sich die Erschütterungen je nach ihrer Stärke ausdehnten, als Erschütterungsgebiete. Die Erkenntniss, dass die Erdbeben in den geologischen Verhältnissen der Stossgebiete, in welchen sie ihren Ursprung nehmen, begründet sein müssen, veranlasste dann VOLGER, diesen Zusammenhang in einem speciellen Falle näher zu untersuchen, und die geologischen Verhältnisse des Kantons Wallis, von welchem das zu seiner Arbeit die unmittelbare Veranlassung gebende Visp-Erdbeben ausgegangen war, als eines ausgezeichneten habituellen Stossgebietes darzustellen.

Wir haben bereits in der Einleitung (siehe S. 14 u. 15) gesehen, dass VOLGER der damals allgemein verbreiteten plutonischen Erdbebenlehre v. HUMBOLDT's und v. BUCH's mit Recht entgegentrat und behauptete, dass den Erdbeben verschiedene Ursachen zu Grunde lägen. Er stellte die Existenz echt vulkanischer Beben keineswegs in Abrede, er betrachtete sie aber als geringfügig im Vergleich mit den aus anderen Ursachen hervorgehenden Erdbeben und schränkte ihre Bedeutung vielleicht allzusehr ein. Untergeordnete Erschütterungen gehen nach VOLGER ausserdem aus mannigfachen Veranlassungen hervor, wie z. B. aus Zerreibungen von Gletschern und Felsen und aus plötzlichen Ortsveränderungen lastender Massen.¹ Die wichtigeren Erschütterungen aber, welche nach VOLGER's Ansicht allein als eigentliche Erdbeben bezeichnet werden sollten, stehen seiner Ueberzeugung nach im Zusammenhang mit Vorgängen und Verhältnissen im Bau der Gebirge oder richtiger des Erdbodens überhaupt. Dies ist in der That die Grundlage der modernen Erdbebenforschung, welche die VOLGER'sche Richtung nur insofern verlassen hat, als sie den unterirdischen Auslaugungen und dem Nachbrechen der Decke über den so entstandenen Hohlräumen nicht jene allgemeine Bedeutung zuerkennen will, welche VOLGER ihnen zuschreibt. VOLGER erkennt allerdings auch den Faltungsvorgängen in den Kettengebirgen die unmittelbare Veranlassung von Erdbeben zu, er lässt die Gebirgserhebungen aus dem Zusammenschieben und Uebereinanderschieben von gefalteten Theilen der Erdrinde hervorgehen² und hebt hervor, dass bei diesen Schiebungen Spannungen entstehen müssen, deren schliessliche plötzliche Ueberwindung sich in Erderschütterungen äussert;³ er legt aber das Hauptgewicht auf die Auslaugung, welche die im Wasser mehr oder minder löslichen Gesteine erleiden, und welche an bestimmter Stelle wie insbesondere in den Mulden der Falten die Schichten in hohem Grade angreift und Hohlräume erzeugt. Diese wachsen allmählich und verursachen mit der Zeit Einstürze, die sich als Erdbeben fühlbar machen. VOLGER hat diese Einsturztheorie nur allzusehr

¹ Ebenda, S. 388—390.

² Untersuchungen über das Phänomen der Erdbeben etc., II., S. 32—34, 43 und 275.

³ Ebenda, II. S. 276, III., S. 395, 396, 428, 461.

verallgemeinert und sie auf Erdbeben ausgedehnt, welche schon wegen der Dimensionen des unmittelbar von den heftigsten Wirkungen betroffenen Gebietes, sowie wegen aller begleitenden Erscheinungen nicht auf solche Einstürze zurückgeführt werden können, wie z. B. das Erdbeben von Lissabon vom 1. November 1755. Diese allzugrosse Ausdehnung der Einsturztheorie wurde dann Veranlassung, dass die Ansichten VOLGER's überhaupt von den Geologen allzusehr vernachlässigt und selbst in jenen Fällen nicht berücksichtigt wurden, in welchen die Einsturztheorie allein eine befriedigende Erklärung der seismischen Erscheinungen geben konnte.

Dass die Erdbeben verschiedene Ursachen haben, ist in neuerer Zeit fast allgemein zugegeben worden und es scheint überflüssig, die Meinung jener zu bekämpfen, welche heute noch (wie z. B. R. FALB) alle Erdbeben auf plutonische Einflüsse zurückführen wollen. Die Verschiedenheit der Erdbebenursachen ergibt sich insbesondere durch die Ergebnisse des Vergleiches der Erdbebenerscheinungen mit den geologischen Verhältnissen der Gebiete, von welchen sie ihren Ausgang nehmen. Sehen wir ab von den durch äussere Verhältnisse (wie Bergstürze, Rutschungen u. dgl.) oder durch die Hand des Menschen (Grubeneinstürze, Felsensprengungen u. s. w.) hervorgerufenen Erschütterungen, sowie von jenen mikro-seismischen Bewegungen der Erdoberfläche, welche durch Vorgänge in der Atmosphäre hervorgerufen werden, und welche nicht eigentlich als Erdbeben bezeichnet werden können, so haben wir hinsichtlich der Entstehungsursache mehrere Erdbebenkategorien zu unterscheiden.

In meinen 1878 veröffentlichten „Erdbebenstudien“ habe ich drei Kategorien von Erdbeben, nämlich Einsturzbeben, vulkanische Erdbeben und tektonische Erdbeben in folgender Weise unterschieden und begründet:

„1. Einsturz-Erdbeben. Dass die Bildung grosser unterirdischer Höhlen und das Einstürzen ihrer Decke, wie wir beide in grossartigem Massstabe in den Höhlen des Karstes und seinen Dollinen wahrnehmen, zu local ziemlich bedeutenden Erderschütterungen Anlass geben kann, wird wohl von Niemandem geleugnet. Es ist aber keineswegs gerechtfertigt, die gewiss selten und local auftretende Thatsache zur Erklärung häufiger und weitverbreiteter Erscheinungen in Anspruch zu nehmen. Die beliebte „Einsturz-Hypothese“ entbehrt jedes Haltes, sobald man von einzelnen Detonations- und Erschütterungs-Phänomenen in Höhlendistricten absieht. Bemerkenswerth unter den wahrscheinlich durch unterirdische Erdfälle verursachten seismischen Erscheinungen sind jene Detonationen, die in der Regel mit geringen Erschütterungen verbunden, an ein und derselben Stelle durch verhältnissmässig lange Zeit wiederkehren. Es gehören hierher die bekannten Detonations-Erscheinungen auf der Insel Meleda 1822—24 und das Schall-Phänomen des Mte Tomatico bei Feltre im November und December 1851.“

„2. Vulkanische Erdbeben. Diejenigen seismischen Erscheinungen, die ich zu dieser Kategorie stellen möchte, werden lediglich durch die

Stöße erzeugt, welche durch die entweichenden Gase (vorwiegend überhitzter Wasserdampf) in der Nähe vulkanischer Essen entstehen. Es tragen dieselben in ausgezeichneter Weise den Explosionscharacter und sie sind trotz ihrer furchtbaren Grossartigkeit nur local. Man hat früher, als man noch sehr unklare Begriffe vom Vulkanismus besass, unter demselben häufig „die Reaction des Erdinneren gegen die Erdoberfläche“ sich vorgestellt, und als Aeusserungen derselben neben den Vulkanen mit ihren Eruptionen von feurig flüssigem Gestein und heissem Wasserdampf auch die Erdbeben betrachtet. Vielfach begegnen wir der Meinung, es seien sämtliche Erdbeben nichts als versuchte Eruptionen. Dass diese Ansicht nicht stichhaltig ist, zeigt schon die genaue Beachtung der vulkanischen Phänomene selbst. Die Erderschütterungen, welche in der Nähe eines Vulkans einem jener Ausbrüche voranzugehen pflegen, welche SCROPE als Paroxysmen zu bezeichnen pflegt, sind auf die Umgebung des Schlundes beschränkt, und müssen trotz ihrer Furchtbarkeit als local bezeichnet werden. Das Centrum ist hier immer der Krater, von welchem die Stöße in radialer Richtung erfolgen, und sobald die Obstruction des Kraters herausgeschleudert ist, der Paroxysmus seinen Höhepunkt erreicht hat und der Austritt der Lava beginnt, haben auch die Erschütterungen des Bodens ihr Ende erreicht. Diese Erdbeben aber sind viel geringer an Zahl und Bedeutung als jene, welche wir der letzten Kategorie zutheilen wollen und verhalten sich zu ihnen gerade so wie die localen, durch die vulkanische Kraft plötzlich entstandenen Niveauveränderungen zu jenen secularen, die ganze Continente umfassen.“

„3. Die letzte Kategorie umfasst 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. Ich möchte sie, da sie in unmittelbarem Zusammenhang mit der gebirgsbildenden Thätigkeit zu stehen scheinen (auch die vulkanischen Erdbeben sind, wie alle vulkanischen Erscheinungen, eine indirecte Folge derselben) unten dem Namen der „tektonischen Erdbeben“ zusammenfassen.“¹

Zur Stütze dieser Ansicht, nach welcher die grossen tektonischen Erdbeben als unmittelbare Folgewirkung der Faltenwerfens und der Verschiebung der Erdrinde zu betrachten wären, verwies ich auf die neueren Ansichten über die Gebirgsbildung, sowie auf die Ergebnisse der monographischen Darstellung einzelner Erdbeben oder habitueller Schüttergebiete. Insbesondere bezog ich mich auf die Resultate der Untersuchung der erzgebirgischen Beben durch HERMANN CREDNER, des Bebens von Belluno 1873 durch A. BITTNER, der niederösterreichischen und unteritalienischen Schüttergebiete durch E. SUSS.

H. CREDNER sagt in seiner Abhandlung über das vogtländisch-erz-

¹ R. HOERNES: Erdbebenstudien, Jahrbuch der k. k. geologischen Reichsanstalt, 28. Bd., Wien 1878, S. 388, 389.

gebirgische Erdbeben vom 23. November 1875:¹ „Das Erzgebirge ist nur ein Theil eines ausgedehnten Faltensystemes, welchem jede centrale, sogenannte Hebungsaxe 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 erzgebirgischvogtländischen 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.“

A. BITTNER spricht sich am Schlusse seiner Abhandlung über das Erdbeben von Belluno vom 29. Juni 1873² mit folgenden Worten aus: „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 zusammenwirkend die meisten unserer Erdbeben zu erzeugen im Stande sein mögen. — Wenn irgendwo die Verhältnisse, wie sie G. POULETT SCROPE in so überzeugender Weise, als die bedingenden Ursachen der Erdbeben und Vulkanausbrüche schildert, thatsächlich zusammengewirkt haben mögen, so ist dies an den concaven Seiten der grossen mitteleuropäischen Gebirge, der Alpen, der Karpathen und des Apennin der Fall gewesen. 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 secundäre Wirkung untergeordneter Art der gebirgsbildenden Kräfte selbst.“

E. SUESS sagt über die Ursachen der Erdbeben:³ „Schon vor vielen Jahren hat DARWIN die Gründe dargelegt, welche es wahrscheinlich machen, dass die grossen Erdbeben Südamerika's 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,

¹ Zeitschrift für die gesammten Naturwissenschaften, 48. Bd. 1876.

² Sitzungsberichte der mathem.-naturw. Cl. der k. Akademie der Wissenschaften, 69. Bd., Wien 1874.

³ E. SUESS: Entstehung der Alpen, Wien 1875, S. 57.

Erschütterungen hervorbringen mögen, welche ausser Verhältniss stehen zu der geringen Breite der neu entstandenen Kluft. Herr POSEPNY hat mich vor einiger Zeit darauf aufmerksam gemacht, dass einzelne der grossen Gangstücke, welche man von Przibram nach Wien gebracht hat, nach ihrer Ausfüllung mit symmetrisch gelagerten Mineralzonen noch einmal an irgend einer Stelle der Ausfüllung der Länge nach aufgerissen worden sein müssen, weil die normale symmetrische Ausfüllung unterbrochen ist und sich innerhalb der Zone der Untertrechung eine neue, denselben Gesetzen der Mineralbildung folgende, ebenfalls symmetrische Ausfüllung, also gleichsam ein zweiter Erzgang gebildet hat. RUSSEGGER hat gezeigt, dass drei ziemlich heftige Erdstösse mit steiler Emergenz, welche Schemnitz in den Jahren 1854 und 1855 betroffen haben, sämtlich von dem grossen Spitaler Hauptgange ausgingen, einem in einer Länge von einer Meile bekannten edlen Erzgange, welcher unter der Stadt Schemnitz mit nordöstlichem Streichen hinzieht. Die Heftigkeit der Erschütterung nahm mit der Tiefe zu, und verbreitete sich abnehmend gegen das Hangende und das Liegende des Ganges. Die Häufigkeit von Erdbeben in der Nähe der Innenseite, nicht nur des südlichen, sondern auch des nördlichen Apennin, z. B. bei Borgo S. Sepolero, 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.“

Noch schärfer hat SUESS seine auf eingehende Studien über die Erdbeben Oesterreichs und Italiens gegründeten Ansichten in einem Vortrage ausgesprochen, welchen er am 24. November 1880 im wissenschaftlichen Club zu Wien hielt:¹ 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. Diese Falten nennen wir Kettengebirge.“ Nachdem SUESS ausführlich die Beobachtung der Erderschütterungen erörtert und den Gegensatz zwischen Transversal- und Longitudinalbeben in Kettengebirgen erklärt hat, gelangt er zu dem Schlusse: „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

¹ E. SUESS: Ueber die Erdbeben in der österreichisch-ungarischen Monarchie, Beilage zu den Monatsblättern des wissenschaftlichen Clubs, Wien 1880.

der Gesteine an irgend bestimmten Stellen, welches sich eben verräth durch die Axe der Erschütterung und die Beständigkeit der Linie.“

In seinem grossen Werke über die Gebirgsbildung äusserst sich A. HEIM dahin, dass dieselbe ohne Erschütterungen, die als Erdbeben empfunden werden, nicht vor sich gehen könne:¹ „In einem Gebirge kann es gar keine in ihrer gegenseitigen Lage wirklich absolut starre fixe Punkte geben, ewige Beweglichkeit wirkt fortwährend bis einst Alles abgefacht sein wird. — Wenn auch der gebirgsbildende Horizontalschub nicht mehr fort dauert, so müssen doch in der Erdrinde wenigstens durch die Belastungsveränderungen, durch Verwitterung und Erosion neue Spannungen entstehen, und von Zeit zu Zeit in Bildung von Rissen, in Stellungsveränderung ganzer Schichtcomplexe ihre Auslösung verlangen. Hierin muss die Ursache zu manchen Bodenerschütterungen gegeben sein, die als Erdbeben empfunden werden. — Wenn wir die vorhandenen Aufzeichnungen durchgehen, erstaunen wir ob der enormen Zahl von localeren Erdbeben, welche aus den gebirgigen Gegenden berichtet werden. Aus der Schweiz werden vom Jahre 1700 bis 1854 im Ganzen 1019 Erdbeben erwähnt. Jedenfalls war die Zahl noch viel grösser. ESCHER, der alle Erdbebenberichte aus dem Kanton Glarus sammelte, führt aus dem 18. Jahrhundert allein 181 Erdbeben auf. Kaum $\frac{1}{20}$ davon wurden auch ausserhalb des Kantons verspürt. Die zahlreichen Erdbeben von 1701 und 1702 betrafen nur das obere Linththal mit dem Centrum etwa unter dem Dorfe Linththal selbst. Im Frühjahr 1764 zählte man in diesem Kanton in jedem Monate über 20 verschiedene Stösse, im 19. Jahrhundert ist bis jetzt die Zahl der Erdbeben viel geringer geblieben. Viele kleinere Erdbeben, über die genauere Berichte vorhanden sind, breiteten sich in Zonen oder Ellipsen aus, deren Längsaxe mit der Alpenrichtung zusammenfällt. Das Erdbeben vom Abend des 2. Mai 1877 fand seine südliche sehr plötzliche Begrenzung ebenfalls in einer Linie, welche von Ragatz parallel den Alpenketten zwischen Glarus und Linththal durchstreicht. — Auch im Wallis bemerkt man alljährlich eine ziemlich grosse Anzahl von localen Erdbeben. Ein solches häufiges Erzittern des Bodens — zahllose ganz schwache Stösse sind wohl kaum verspürt und nicht notirt worden — macht vollständig den Eindruck, als müsste die Faltung unter uns auch heute noch fort und fort gehen. Ohne eine zahllose Menge solcher Erschütterungen ist der langsamste Faltenvorgang nicht denkbar.“

In demselben Sinne sprach sich v. DÜCKER in der 51. Versammlung deutscher Naturforscher aus: „Schon seit vielen Jahren habe ich auf den deutschen Naturforscher-Versammlungen meine Ideen mitgetheilt über die Entstehung der Gebirge auf der Erde. Ich führte aus, dass die althergebrachten Auffassungen der Gebirgsbildungen durch Hebungen von unten

¹ A. HEIM: Untersuchungen über den Mechanismus der Gebirgsbildung, Basel 1878, Bd. II., S. 101 u. f.

bei genauerer Beobachtung der Gebirgsformen durchaus unhaltbar seien, und dass man vielmehr unabweislich auf die Erkenntniss ver falle, die Aufthürmung aller Schichtengebirge sei die Folge seitlicher Zusammenschiebung der Erdrinde beim Schrumpfen des inneren Erdkernes. — Wenn ich auf die Erklärung der Erdbeben übergehe, so weise ich zunächst auf die wohl unbestreitbare Thatsache hin, dass unsere Erdrinde überall, wo wir sie beobachten konnten, mehr oder weniger stark in Falten gelegt ist. — Wenn wir aus dieser Thatsache weiter unabweislich folgern, dass solche Erscheinungen nur durch die grossartigsten Seitenbewegungen unserer Erdrinde unter der ungeheuren Gewalt des Gewölbeschubes in dem Erdgewölbe von 1718 Meilen Durchmesser entstehen konnten, und wenn wir zugeben müssen, dass kein Grund vorliegt für die Annahme, diese Bewegungen hätten bereits ihr Ende gefunden, vielmehr die bekannten Hebungen und Senkungen der Küsten, Inseln und Ländergebiete die dauernde Fortsetzung solcher Bewegungen beweisen, so muss man zugeben, dass auch plötzliche Schiebungen in der Erdrinde entstehen können und müssen, die eben als Erdbeben fühlbar werden. Bestände unsere Erdrinde aus weicheren Massen, so würden die Schiebungen sich stets in sanfter, unfühlbarer Weise vollziehen, da sie aber zum guten Theil aus harten Felsarten besteht, so wird diese Schiebung nach Ueberschreitung der Elasticitätsgrenze eine plötzliche Bewegung, die eben unseren Erdbeben entspricht, hervorbringen.“¹

Dass diese von so vielen Autoren behauptete Verursachung der meisten, furchtbarsten und ausgedehntesten Erdbeben, durch die gebirgsbildenden Vorgänge keine blosser Hypothese sei, soll in jenem Abschnitte, welcher der Erörterung der „tektonischen Erdbeben“ gewidmet ist, durch Erläuterung der betreffenden habituellen Stossgebiete und eingehende Erörterung des geologischen Baues derselben gezeigt werden.

F. TOULA hat für die „tektonischen Beben“ die Bezeichnung „Dislocations-Beben“ in Vorschlag gebracht und in Uebereinstimmung mit der von mir in den „Erdbebenstudien“ gebrauchten Eintheilung: 1) Einsturzerdbeben, 2) Vulkanische Erdbeben, 3) Dislocations- oder tektonische Erdbeben unterschieden.² In etwas geändertter Weise hat A. v. LASAULX den Ausdruck Dislocations-Beben angewendet, indem er zunächst zwischen vulkanischen und nicht vulkanischen Erdbeben unterschied, und die letzteren als Dislocationsbeben bezeichnete, welche wieder in Einsturzerdbeben einerseits, in Spaltenbeben oder tektonische Beben andererseits zerfallen. A. v. LASAULX gebraucht sonach den Ausdruck Dislocations-Beben in einem wesentlich weiteren Sinne als TOULA, doch ist seine Eintheilung der Erdbeben nach ihren Ursachen, wie aus der nachfolgenden Darstellung

¹ Citirt in B. M. LERSCH: Ueber die Ursachen der Erdbeben, Separatabdruck aus der „Gaea“, Köln 1879, S. 25 u. 26.

² F. TOULA: Ueber den gegenwärtigen Stand der Erdbebenfrage, Vortrag gehalten im Vereine zur Verbreitung naturwissenschaftlicher Kenntnisse am 23. März 1881. S.-A. a. d. „Schriften“ dieses Vereins, Wien 1881.

erhell, in ihren Grundzügen dieselbe, wie jene, welche ich in den Erdbebenstudien und TOULA in seinem Vortrage über die Erdbebenfrage durchgeführt hatten.

LASAULX trennt, wie bereits bemerkt, zuerst die vulkanischen von den nicht vulkanischen Erdbeben. Er sagt: „Ein Blick auf eine Erdkarte, auf welcher wir alle Gebiete besonders verzeichnet haben, in denen vorzüglich Erderschütterungen einzutreten pflegen, zeigt uns, dass bezüglich ihrer Verbreitung sich die Erdbeben in zwei Gruppen theilen, solche, die in vulkanischen Gegenden der Erde vorkommen und solche, die vorzüglich die gebirgigen Theile der Erdoberfläche heimsuchen, auch wenn dieselben frei sind von Vulkanen. Nur ausnahmsweise und meist nur in localer Ausdehnung werden auch die eigentlichen Tief- und Flachländer von Erdbeben betroffen. Wir müssen sonach vor Allem die vulkanischen Erdbeben von den nichtvulkanischen unterscheiden.“

Es ist aber diese Unterscheidung nicht etwa eine blos geographische, denn v. LASAULX hebt bei Discussion der vulkanischen Beben sofort hervor, dass das blosse Vorkommen in einem vulkanischen Gebiete nicht genüge, um ein Erdbeben als ein vulkanisches zu charakterisieren, es sei vielmehr nothwendig, die vulkanische Ursache desselben mit aller Sicherheit nachzuweisen. „Vulkanische Erdbeben — sagt v. LASAULX — sind in allen Gegenden, in denen vulkanische Aeusserungen überhaupt stattfinden, in denen vor Allem also thätige Vulkane gelegen sind, überaus häufig. Der unmittelbare zeitliche Zusammenhang mit Eruptionen und ganz besonders der bestimmte Nachweis, dass das Centrum der Erschütterung auch mit dem Centrum der vulkanischen Thätigkeit zusammenfällt, sind unerlässlich, um ein wirklich vulkanisches Erdbeben zu characterisiren. Der blosse örtliche Zusammenhang genügt nicht. Nicht selten treffen Erdbeben vulkanische Gebiete und erschüttern sogar die Wände der Vulkane selbst, ohne von diesen auszugehen. Unter den Erdbeben, welche die Ostküste Siciliens oft und schwer heimgesucht haben, sind nur die wenigsten vom Aetna ausgegangen. Die Erschütterungen griffen in das vulkanische Gebiet des Aetna z. Th. vom jenseitigen Calabrien herüber, z. Th. kamen sie aus den südlicher gelegenen Gebieten des Val di Noto. Die eigentlichen Aetnabeben sind meistens nur von ganz localer Wirkung und ihre Stossrichtung führt auf das Centrum des Vulkans.“¹ — „Ganz besonders hat der örtliche Zusammenhang von Erdbeben mit Gebieten erloschener vulkanischer Thätigkeit keinerlei beweisende Kraft für die vulkanische Erregung derselben. Allerdings wissen wir, dass das Erlischensein für viele Vulkane nur eine beschränkte Bedeutung hat, und es giebt Beispiele genug, wo ein scheinbar erloschener Krater seine Thätigkeit plötzlich wieder aufnahm. Aber da das Eintreten vulkanischer Erschütterungen, wie wir sehen werden, doch immer mit gewissen Phasen

¹ A. v. LASAULX: Die Erdbeben, in KENNGOTT's Handwörterbuch der Mineralogie, Geologie und Palaeontologie, I., S. 358.

gesteigerter Thätigkeit in den Vulkanen zusammenhängt, so lässt sich wohl behaupten, dass kein Gebiet erloschener Vulkane, es sei denn, dass eine Wiederaufnahme eruptiver Thätigkeit nahe bevorstehe, an den sich in demselben ereignenden Erdbeben unmittelbar die Schuld trage. Die dem gewaltigen Ausbruche des Vesuv im Jahre 79 n. Chr. vorausgehenden vulkanischen Erdbeben deuteten eben das Wiedererwachen der lange erloschenen vulkanischen Kraft in diesem Berge an. Die Erdbeben aber, die nicht selten die Gebiete der alten Kratere in der vulkanischen Eifel und die Umgebung des Laacher See's betroffen haben, sind meist nur mit Unrecht zu diesen in genetische Beziehung gebracht worden. Sie strahlten ihre Bewegung von auswärts in diesen vulkanischen Kreis hinein, aber ihr Centrum lag vielleicht in keinem einzigen Falle wirklich auch in einem vulkanischen Centrum. Es waren Rheintalbeben, die dort fühlbar wurden. Sorgsame Feststellung der beobachteten Stossrichtung und kritische Erwägung der ganzen Erscheinungsweise muss auch für vulkanische Gegenden erst die vulkanische Entstehung der Erdbeben nachzuweisen versuchen.“¹

Wenn wir auch diesen Ausführungen v. LASAULX' im Allgemeinen beipflichten dürfen, und insbesondere die von ihm angeführten Beispiele für das Vorkommen nichtvulkanischer Erdbeben in vulkanischen Gegenden (Aetna und Eifel) als vollkommen richtig anerkennen, scheint uns doch die Ansicht, dass vulkanische Beben nur als Einleitung zu einer Phase gesteigerter vulkanischer Thätigkeit vorkämen und deshalb in anscheinend erloschenen Vulkangebieten nur dann wirkliche vulkanische Beben stattfänden, wenn daselbst das Wiedererwachen der vulkanischen Thätigkeit bevorstünde, zu weit gegangen, wie im nächsten Abschnitte eingehend dargelegt werden soll. Denn in den sogenannten erloschenen Vulkangebieten bleiben zahlreiche Spuren der vulkanischen Thätigkeit zurück. Heisse Quellen, Dampf- und Gas-Ausströmungen verrathen das Fortbestehen der offenen Verbindung mit dem heissen Erdinnern und zwischen dieser kryptovulkanischen Thätigkeit und dem Wiederaufleben der in eigentlichen Ausbrüchen sich äussernden vulkanischen Kraft besteht kein wesentlicher, sondern nur ein gradueller Unterschied. Wenn deshalb v. LASAULX sagt: „Auch das Erdbeben von Ischia vom 4. März 1881, obschon es geradezu auf den nördlichen Abhängen des Epomeo sich ereignete, lässt doch keinen nachweislichen Zusammenhang mit diesem vulkanischen Centrum erkennen. Die ganze Art der Erscheinung spricht im Gegentheile mit einiger Sicherheit dafür, dass die Zerstörung von Casamicciola nicht dem Vulkane zur Last fällt,“ so genügt es, auf die Erscheinungen zu verweisen, welche das Erdbeben vom 28. Juli 1883 auf Ischia begleiteten, und welche deutlich zeigen, dass dieses Erdbeben ebenso wie jenes vom 4. März 1881 weder in dem Einsturz der Thongruben, welche in der Gegend von Casamicciola seit langer Zeit das

¹ A. v. LASAULX: a. a. O. S. 359.

Material für die Fabrikation von Ziegeln und Töpferwaaren liefern, noch in dem Einbrechen jener Hohlräume, welche die heissen Quellen in dem Felsgerüst der Insel ausgewaschen haben sollen, seine Ursache findet, sondern dass wir es in beiden Fällen mit echt vulkanischen Beben zu thun haben. Auch das schwache und räumlich beschränkte Erdbeben, welches am 21. Mai 1882 seinen Ausgangspunkt vom Kaiserstuhl bei Freiburg im Breisgau genommen hat, ist wohl als ein echt vulkanisches zu bezeichnen, wenn man es freilich hier gewiss nicht mit dem ersten Anzeichen einer wiederauflebenden vulkanischen Thätigkeit zu thun hat, sondern nur mit den letzten Spuren des Vulkanismus, der ja in so vielen Gebieten lange nach seiner eigentlichen Wirksamkeit in Dampf- und Gas-Ausströmungen, in heissen Quellen und gelegentlich wohl auch in einer räumlich beschränkten und unbedeutenden seismischen Erscheinung bekundet, dass die Communicationen mit dem heissen Erdinnern noch nicht ganz geschlossen sind. Für Ischia aber mögen die Beben von 1881 und 1883 die Warnung bedeuten, dass hier in der That noch Ausbrüche möglich sind, wie jener vom Jahre 1302, der sich auch nach einer Pause von Jahrhunderten fühlbar machte.

Als besonders bezeichnende Eigenschaften der vulkanischen Beben führt v. LASAULX an: „Die vulkanischen Erdbeben bleiben ausschliesslich auf die nähere Umgebung eines Vulkans beschränkt und gehören nie zu den über grosse Flächen ausgedehnten Erscheinungen. Diese Erdbeben tragen fast immer sehr deutlich den Character von Explosionswirkungen an sich. Die grosse Intensität der Wirkungen steht sehr oft bei ihnen im umgekehrten Verhältnisse zur Verbreitung. Die heftigen vesuvischen Erdstösse im Jahre 63 n. Chr. warfen Herkulanum und Pompeji in Schutt und Trümmer, ohne dass sie eine weitere Verbreitung gezeigt hätten. Die Art der Entstehung dieser explosiven Erschütterungen erkennt man deutlich, wenn man auf dem Kegel eines thätigen Kraters die deutliche Coincidenz der aus demselben ausgestossenen Dampf- und Aschenwolken mit dem Erbeben des Boden wahrnimmt. So oft eine Dampfwolke hervorbricht, bebzt der Berggipfel und die schnelle Folge jener macht das Erzittern geradezu continuirlich. Die aus den schmelzflüssigen Laven sich entwickelnden Gase und vornehmlich der Wasserdampf, der in überhitztem Zustande und mit mächtiger Tension begabt, eine ganz wesentliche Rolle in den vulkanischen Magmen spielt, sind die Träger dieser Explosionen. Nun erscheint es auch verständlich, warum mit dem Austritt der Lava in der Regel die Erschütterungen ein Ende erreichen oder aufhören. Jedoch ist dieses keineswegs immer der Fall. Der grossen Aetnaeruption des Jahres 1879 gingen nur ganz unbedeutende Erschütterungen voraus, erst nachfolgend traten eine ganze Reihe zerstörender Stösse an den Flanken des Berges auf. Immerhin aber ist es natürlich, dass die Dampfansammlungen mit dem Ausströmen der Laven zugleich eine Ableitung finden. Es wird daher eine grosse Spannkraft derselben nicht mehr eintreten können, und die Erschütterungen müssen ab-

nehmen.“¹ — Wir werden im nächsten Abschnitte an einzelnen Beispielen sehen, dass den vulkanischen Erdbeben diese Eigenschaften in der That zukommen.

Ueber die nichtvulkanischen Erdbeben bemerkt v. LASAULX: Bei allen Erdbeben, bei denen der im Vorhergehenden betonte Nachweis eines ursächlichen Zusammenhanges mit Vulkanen nicht zu erbringen ist, wird es zunächst darauf ankommen, den Ort des erregenden Herdes bezüglich seiner geognostischen Lage zu erkennen. Wir haben das hierauf bezügliche in den Betrachtungen unter d)² eingehend erörtert. Von selbst leiteten uns diese auf zwei verschiedene Ursachen. Einmal fiel die erregende Stelle in solche Gebiete, in denen Einstürze unterwaschener Hohlräume nach der geognostischen Beschaffenheit fast mit Sicherheit vorausgesetzt werden durften, das andere Mal lag sie auf Spaltenlinien im Gebirgsbaue, die für die weitere Entwicklung dieses, somit für die Tektonik der Erde von Bedeutung sind. Beide Arten von Erdbeben können füglich als Dislocationsbeben bezeichnet werden; die ersteren insbesondere als Einsturzbeben, die letzteren als Spaltenbeben, oder wie HOERNES sie treffend genannt hat: tektonische Beben.“³ Die Einsturzbeben bezeichnet v. LASAULX mit Recht als Erscheinungen von bloß localer Bedeutung: Nach der Art der Vorgänge, die diese Erdbeben einzuleiten vermögen, kann von vornherein eine sehr grosse Ausdehnung derselben nicht vorausgesetzt werden. Es erscheint durchaus unwahrscheinlich, dass Einstürze eine andere als bloß locale Erstreckung und Wirkung zu haben vermögen. Wenn man aber die Gesteine in ihrer Verbreitung im Innern der Erde nach ihrem Auftreten in der ganzen Folge der bekannten geognostischen Systeme zu schätzen versucht, so wird man finden, dass die leicht löslichen Gesteine, die hiernach am meisten zur Bildung von Hohlräumen geeignet scheinen, und dadurch Einsturzerdbeben zu prädisponiren vermögen, keineswegs vereinzelt oder beschränkt, sondern in sehr grosser Verbreitung vorkommen. Das lässt a priori voraussetzen, dass auch die Einsturzbeben keineswegs vereinzelt sein mögen. Ueberall, wo Kalkstein, Gyps oder Steinsalz im Innern der Erde lagern, sind die Bedingungen für jene gegeben. Aber da es weitaus häufiger der Fall sein dürfte, dass der Zusammenbruch gebildeter Hohlräume erst allmählich und stetig durch das Niedergehen vieler kleiner Theile eines Auswaschungsgebietes erfolgt, als dass ein einziger oder nur wenige grössere Einstürze die Erfüllung jener vollziehen, so werden die meisten der hierdurch hervorgerufenen Erschütterungen in ihren Wirkungen kaum so intensiv sich gestalten, dass man dieselben an der Erdoberfläche besonders beachtet. Selbst die heftigen Erschütterungen haben nur locale Wirkungen.“⁴

¹ A. v. LASAULX: a. a. O. S. 360.

² a. a. O. S. 333 u. f.

³ a. a. O. S. 361.

⁴ a. a. O. S. 361.

Eine charakteristische Eigenschaft der Einsturzerdbeben leitet A. v. LASAULX treffend aus der Art ihrer Entstehung ab: „Da die Senkung oder der Einsturz der Decke eines gebildeten Hohlraumes meist nicht mit einem Male, sondern in oft wiederholtem Nachsinken, ruckweise erfolgt, so muss ein mehr oder weniger engbegrenztes Gebiet die erregenden Stellen für eine ganze Erdbebenperiode umfassen. Eine wesentlich veränderte Lage der Stossmittelpunkte wird entweder gar nicht an der Oberfläche wahrnehmbar sein, oder, wenn dieselbe zu beobachten ist, wird eine bestimmte Beziehung der Lage jener Stosspunkte zu einander sich nicht ergeben. Sie werden nicht auf bestimmten Linien liegen, oder ein Fortschreiten in einer Richtung erkennen lassen, sondern regellos innerhalb einer ziemlich engbegrenzten Oberflächenzone, meist von geschlossener, rundlicher Gestalt werden sie wandern, hier und da auftretend, ohne erkennbare Gesetzmässigkeit über das centrale Gebiet der Erschütterungen ausgestreut. So war es in auffallender Weise bei den Erdbebenperioden von Gross-Gerau der Fall.“

Die Spalten- oder tektonischen Beben bilden jene Kategorie, welcher, wie v. LASAULX mit Recht hervorhebt, die häufigsten, furchtbarsten und ausgedehntesten Erdbeben zuzurechnen sind, als deren charakteristische Eigenschaften er anführt: „Axialer Character der Oberflächenpropagation; Lage der erregenden Herde auf tektonischen Linien, Wandern der Stosspunkte auf diesen Linien. Es stehen diese Erdbeben mit der Gebirgsbildung im Zusammenhang; denn die Spalten, auf welche ihre Stosslinien verweisen, sind Folgen der Gebirgsbildung. Von der Annahme ausgehend, dass die Erde ein erkaltender, und daher auch fortdauernd sich contrahirender Körper ist, fassen wir die Gebirgsbildung als die Folge der durch diese Contraction hervorgerufenen Bewegungen auf, die ein Faltenwerfen, ein Zerreißen, ein Verschieben der einzelnen Theile gegeneinander zur Folge haben. Ist die Wirkung der Contraction nicht gleichmässig über die ganze Oberfläche vertheilt, so wird auch das Faltenwerfen nur an gewissen Stellen erfolgen. Wir erkennen dies auch in der That. Grosse continentale Flachlandschollen liegen in unveränderter Horizontalität an einigen Stellen vor. Um so grösser wird die faltende und zusammenschiebende Wirkung in den zwischenliegenden Theilen. In diesem Sinne kann man füglich auch von einem stauenden Einflusse sprechen, den gewisse Theile auf die meist zusammengeschobenen ausgeübt haben. Der gewaltige Druck, der auf diese Weise entsteht, mag er nun in einer oder auch in zwei sich zustrebenden Richtungen wirken, die Spannung, die hierdurch bewirkt wird, und die endlich ein Auslösen in irgend einer Weise voraussetzt, sind eine hinlänglich grosse Kraft, um Bewegungen hervorzurufen, die über grosse Theile des Planeten greifen. Die Ausgleichung der Spannung erzeugt Verschiebungen, die entweder quer zum Drucke gerichtet, der Faltenlage entsprechen oder dem Drucke parallel, aber quer zur Faltenlage gestellt sind. Klüfte und Spalten, mit allen Anzeichen erfolgter Bewegung versehen, oftmals

sich wieder schliessend, öffnend und erweiternd, sind die Wege dieser Verschiebungen.“¹

In derselben Reihenfolge, in welcher v. LASAULX diese drei Hauptkategorien der Erdbeben besprochen hat, soll in den drei folgenden Abschnitten jede derselben zum Gegenstand der eingehenden Beleuchtung gemacht werden, durch Vorführung einer Anzahl charakteristischer Beispiele und durch Discussion der verschiedenartigen Erscheinungen unter Erörterung ihrer Beziehungen zu den betreffenden Ursachen.

Wir werden jedoch absehen von der eingehenden Erörterung einer weiteren Kategorie von Erdbewegungen, auf welche der Name Erdbeben eigentlich nicht anwendbar ist, nämlich jener Erschütterungen oder richtiger gesagt Erzitterungen, die durch den wechselnden Druck der Atmosphäre veranlasst werden und deren Entstehungsart bereits Erwähnung fand (siehe S. 110—112). Diese Erzitterungen (Tremors), welche durch die Bewegung der Atmosphäre veranlasst werden und nur durch besonders feine Instrumente (Mikroseismometer) beobachtet werden können, gehören ebenso wenig zu jenen endogenen Phänomenen, deren Untersuchung unsere Aufgabe ist, wie jene zuweilen eintretenden feinen Niveauänderungen oder Ablenkungen der Schwerlinie (Pulsationen), welche wahrscheinlich zumeist auf ähnliche äussere Ursachen, wie ungleiche Besonnung und variable Belastung, zurückgeführt werden müssen. Immerhin haben wir auf die relativ bedeutenden Effecte hinzuweisen, welche die wechselnde Belastung der Erdoberfläche durch die Atmosphäre auf erstere ausüben kann. G. DARWIN hat berechnet, dass eine Vermehrung des Luftdruckes, welche über einem ganzen Continent ein Steigen des Quecksilbers um 30 mm bewirkt, die Erdkruste um 60—90 mm deprimirt und umgekehrt.² So interessant diese mikroseismischen Phänomene an sich sind, so müssen wir doch der Ansicht von C. W. C. FUCHS beipflichten, welcher sie nicht als eigentliche Erdbeben betrachtet und sie deshalb in seinen sorgfältigen statistischen Verzeichnissen übergeht, in welchen er nur jene Erdbeben verzeichnet, welche den Graden 3 bis 10 der FOREL'schen Intensitätsskala angehören.³

¹ A. v. LASAULX: a. a. O. S. 362.

² G. H. DARWIN: On the Mech. Effects of Barometr. Pressure on the Earths Surface, Philos. Magaz. 1882. 5^d Ser. XIV. S. 409—416.

³ C. W. C. FUCHS: Statistik der Erdbeben von 1865 bis 1885, 92. Bd. der Sitzungsab. d. k. Akad. d. Wiss. I. Abth., Octob.-Heft, Jahrg. 1885. S. 218.

Vierter Abschnitt.

Vulkanische Beben.

Physik der Eruptionen. Wirkung der vom Magma absorbirten überhitzten Flüssigkeiten. Verschiedener Charakter der Eruptionen. Die von SCROPE unterschiedenen Phasen der vulkanischen Thätigkeit. Erscheinungen bei einem grossen Ausbruche. Der Eruption vorangehende Erschütterungen. — Erdbeben am Vesuv im Jahre 63 vor dem Ausbruch 79; Erdbeben als Einleitung des grossen Ausbruches von 1631; Erdbeben bei der Eruption 1794. — Erdbeben vor dem Ausbruche und der Entstehung des Monte nuovo 1538. Niveauveränderungen bei diesem Erdbeben. Veränderungen der Strandlinie bei dem Ausbruch des Vesuv 1861. Erklärungsversuche. — Vulkanische Hebungen in grossem Maassstabe bei der Bildung von Laccolithen. — Vulkanische Erscheinungen, von Discontinuitäten der Erdrinde abhängig. Schwierigkeit, in manchen Gebieten, z. B. in Unteritalien, tektonische und vulkanische Beben scharf zu unterscheiden. — Thätige und anscheinend erloschene vulkanische Gebiete Italiens. — Seltene Eruptionen in den phlegräischen Feldern und auf Ischia. Erdbeben auf Ischia von 1881 und 1883. Verschiedene Ansichten über die Ursachen dieser Beben. Geologische Beschaffenheit Ischia's, Ausbrüche in historischer Zeit, Fumarolen und heisse Quellen, Geschichte der Erdbeben Ischia's, Erscheinungen des Bebens von 1883 als eines echt vulkanischen Bebens. Albanergebirg bei Rom und Monte Vultur bei Melfi als Sitz solcher Beben. — Erdbeben im Kaiserstuhl 1882, 1884 und 1886. Problematische Natur dieser Beben und jener in der Eifel.

In vulkanischen Gebieten sind Erdbeben, welche durch die im überhitzten, magmatischen Erdinneren gefesselten und einen Ausweg suchenden Liquida verursacht werden, überaus häufig. Auf einem thätigen Feuerberge finden, wie die mittelst empfindlicher Seismometer im Observatorium auf dem Vesuv angestellten Beobachtungen lehren, Tausende von Erschütterungen statt, die sich nicht weit fortpflanzen und von welchen selbst die auf dem Berge befindlichen Besucher nur die stärkeren verspüren. Es ist ferner bekannt, dass heftigere Ausbrüche stets durch Erdbeben eingeleitet werden und dass die Erschütterungen des Bodens während des Ausbruches andauern und erst abzunehmen pflegen, wenn die Eruption mit dem Hervorbrechen glühend flüssigen Gesteines ihren Höhe-

punkt erreicht hat, aber oft bis zum Ende der Eruption und selbst nach derselben noch fort dauern.

Um die Veranlassung dieser vulkanischen Beben vollkommen zu erklären, ist es nothwendig, die Physik der Eruptionen, wie sie SCROPE und REYER dargelegt haben, wenigstens in ihren Grundzügen zu betrachten. Bei allen Bethätigungen des Vulkanismus spielt nicht blos die hohe Wärme des Erdinnern, sondern auch die Durchtränkung des gluthflüssigen Magma durch überhitztes Wasser oder Wasserdampf und andere Dämpfe und Gase eine überaus wichtige Rolle. Wie E. REYER in einem für die moderne Lehre des Vulkanismus grundlegenden Werke¹ gezeigt hat, sind die das Magma durchtränkenden Liquida von grösster Bedeutung für alle mit dem Vulkanismus zusammenhängenden Erscheinungen. Durch sie wird das Magma überhaupt erst ausbruchsfähig, es bedingt ferner die grössere oder geringere Durchtränkung des Magma die Art und Weise der Eruption: stark durchtränktes Magma zerstäubt, an Liquiden armes fliesst ruhig aus, und auch für die Erstarrung und Ausbildung der vulkanischen Gesteine ist die Durchtränkung von grösster Bedeutung: mit Liquiden gesättigtes Magma erstarrt unter der Voraussetzung, dass die Liquida nicht entweichen können, vollkrystallinisch, wenig durchtränktes oder der Liquida beraubtes Magma mehr oder weniger glasig. Für die reichliche einstige Durchtränkung des Magma, aus welchem durch Erstarrung Eruptivgesteine hervorgegangen sind, ist nicht sowohl der durch Bauschanalysen in vielen dieser Gesteine nachgewiesene Wassergehalt, da dieser ja auch später eingedrungen sein kann, als vielmehr das häufige Vorkommen von Flüssigkeitseinschlüssen in den die Eruptivgesteine zusammensetzenden Mineralien beweisend. Ferner gestatten auch die Ergebnisse der Untersuchungen DAUBRÉE's über künstliche Mineralbildung, welche die grosse mineralbildende Kraft des überhitzten Wassers nachweisen, auf die Rolle rückzuschliessen, welche demselben bei der Bildung der vulkanischen Gesteine zufiel. Es gelang DAUBRÉE, durch Einwirkung überhitzten Wassers Quarz, Feldspath und andere Minerale der vulkanischen Gesteine darzustellen, sowie Obsidian in eine körnige, Trachyt-ähnliche Masse umzuwandeln.

Was die Herkunft der Durchtränkungs-Flüssigkeiten der Eruptivmassen anlangt, so ist wohl mit REYER anzunehmen, dass das irdische Magma seit der Bildung des Planeten Flüssigkeit absorbirt enthalte, und bei der Erstarrung dieselbe in ähnlicher Weise ausstosse, wie geschmolzene Metalle beim Erstarren die Spratzgase. Die Protuberanzen der Sonne sind als ungeheure Eruptionen von Gasmassen zu betrachten, welche durch analoge Vorgänge verursacht werden, und die Oberfläche des Mondes zeigt unzählige aufgeplatzte Blasen, welche auf Spratzvorgänge zurückgeführt werden müssen. Aus zahlreichen Umständen, insbesondere aus

¹ E. REYER: Beitrag zur Physik der Eruptionen und der Eruptivgesteine. Wien 1877.

der geographischen Lage der meisten irdischen Vulkane und aus der chemischen Beschaffenheit der bei vulkanischen Eruptionen entweichenden Dämpfe hat man geschlossen, dass die ursprünglich vom Magma absorbirten Flüssigkeiten derzeit wenigstens nicht ausreichen, um dasselbe ausbruchsfähig zu machen. Es sei vielmehr wahrscheinlich, dass Meerwasser, welches auf Spalten in die Tiefe dringe, unter dem Druck der lastenden Wassersäule bis zu dem glühenden Erdinnern gelangen und von demselben absorbirt werden könne. Die Möglichkeit solcher Vorgänge hat E. REYER in seinem „Beitrag zur Physik der Eruptionen und der Eruptivgesteine“ eingehend erörtert, und sie soll keineswegs in Abrede gestellt werden. Es ist aber die Frage, welcher der beiden Quellen der Durchtränkung des Magma die grössere Bedeutung zukommt, ob jenen Gasen und Flüssigkeiten, welche das Magma schon ursprünglich absorbirt enthielt und dann bei Verminderung des Druckes und eintretender Abkühlung und Erstarrung abgiebt, — oder jenem Wasser, welches, wie REYER gezeigt hat, auf Klüften und Spalten in die Tiefe dringt oder durch die Poren der Gesteine sickert, um endlich mit dem magmatischen heissen Erdinnern in Berührung zu kommen und vom Magma in Folge des hohen Druckes aufgenommen zu werden. Wenn man, wie es häufig geschieht, dem von oben eingedrungenen Wasser die Hauptwirksamkeit zuschreibt, so führt man als beweisend hierfür in der Regel die Thatsache an, dass die meisten Vulkane in der unmittelbaren Nachbarschaft des Meeres liegen. Von etwa 145 Vulkanen, welche seit dem Jahre 1750 Ausbrüche gehabt haben, liegen 100 auf Inseln und von den übrigen die Mehrzahl dicht am Meere. Es fragt sich aber, ob die Nähe des Meeres oder eines grossen Binnensees als eine unerlässliche Bedingung für die vulkanische Thätigkeit betrachtet werden darf. Man hat als einen Gegenbeweis für diese Annahme das Vorkommen der centralasiatischen Vulkane betrachtet, allein neuere Nachrichten haben ergeben, dass es sich bei den meisten angeblich noch thätigen Eruptivpunkten im Thianschan, deren Existenz man aus Angaben chinesischer Schriftsteller gefolgert hat, um brennende Kohlenlager handle. Indessen bleibt ein Punkt zweifelhaft, der Berg Baischan oder Peschan, für welchen die chinesischen Quellen genauere Angaben machen: „Baischan stösst fortwährend Rauch und Flammen aus; auf einer Seite brennen alle Steine, sie schmelzen und fliessen ein Dutzend Li (1 Li = 574.5 Meter) weit. Die geschmolzene Masse erhärtet bei der Abkühlung. Hier wird auch Schwefel gewonnen.“ Die Annahme, dass es sich hier um einen wirklichen Vulkan handle, wird durch eine Beobachtung STOLICZKA's wahrscheinlich gemacht, der bei einer Excursion nördlich von Kaschgar, im südlichsten Theile des Thianschan, etwas nördlich vom See Tschatyrkul, einen deutlichen erloschenen Krater sah. Uebrigens liegt in einem östlichen Theile Asiens, in der Mandschurei, ein zweiter Vulkandistrict ebenfalls fern vom Meere. 25 Kilometer von der Stadt Mergen, am Noni, einem Nebenfluss des Songari, der sich in den Amur ergiesst, liegen Vulkane, über deren Ausbrüche chinesische Schriftsteller berichten; die

letzte Eruption soll daselbst 1720 stattgefunden haben. Diese Angaben werden durch die Beobachtung des Fürsten KRAPOTKIN bestätigt, nach welcher in dieser Gegend erloschene Vulkankegel mit sehr frisch aussehenden Lavaströmen sich finden. NEUMAYR hebt jedoch mit Recht hervor, dass abgesehen von diesen innerasiatischen Vulkanen, deren jüngere Thätigkeit noch der Bestätigung bedarf, noch viele andere vorhanden sind, die genügend beweisen, dass die Nähe des Meeres kein unbedingtes Erforderniss ist: „Die gewaltigen Bergriesen von Ecuador stehen in zwei parallelen Reihen, die durch das Thal von Quito von einander getrennt sind. Die Vulkane der östlichen Reihe, der Cotopaxi, der Antisana etc., sind gegen 30 Meilen vom Meere entfernt und durch eine Bergkette mit Höhen von 20 000 Fuss von diesem getrennt; der Tolima liegt 40 Meilen vom Ocean. Selbst der Sangai, soweit wir wissen, der thätigste Vulkan der ganzen Erde, liegt noch jenseits der östlichen Kette im Gebiete des Amazonenstromes, ist also durch die beiden Hauptketten der Andes vom Meere geschieden. Der Popocatepetl in Mexico ist 33, der neu entstandene Vulkan bei Ajusco 36, der Punmahuida in La Plata sogar an 50 Meilen vom Meere entfernt, und in ebenso bedeutenden Abständen vom Oceane liegen manche der Vulkane in Peru und Bolivia. Es sind das immerhin schon Verhältnisse, als ob man einen bei Wien oder Konstanz gelegenen Vulkan mit dem mittelländischen Meere, einen solchen bei Gotha mit der Nordsee in Verbindung bringen wollte, und man kann sagen, dass im Durchschnitt die südamerikanischen Vulkane dem Stillen Oceane nicht näher liegen, als der Grossglockner der Adria. Noch merkwürdiger sind aber, wenn die Angaben sich bestätigen, die Verhältnisse in Nordamerika, wo im Jahre 1881 in Idaho am Clear Water River ein bis dahin unbekannter Vulkan in Thätigkeit getreten sein soll, der etwa 110—120 geogr. Meilen vom Meere abliegt, etwas weiter als Moskau von der Ostsee. Mag auch diese letzte Angabe noch der Bestätigung bedürfen, so zeigen doch die Thatsachen aus Mexico und Südamerika, dass die Nähe des Oceans keine unbedingte Nothwendigkeit für das Auftreten von Vulkanen ist, wenigstens nicht in dem Sinne, dass der direkte Zutritt des Meerwassers zu dem unterirdischen Herde vorausgesetzt werden müsste.“¹ Auch gegen den aus der chemischen Beschaffenheit der vulkanischen Dämpfe und Exhalationen abgeleiteten Beweis für die Herkunft der das Magma durchtränkenden Flüssigkeiten von dem Meere hat sich NEUMAYR ausgesprochen: „Für die Annahme, dass die Hauptmasse der Gase und Dämpfe bei den Eruptionen dem Meerwasser entstamme, hat man angeführt, dass die chemische Zusammensetzung dieser Gase ganz mit der des Meerwassers und seiner Salze übereinstimme; allein dies ist vollkommen falsch. In erster Linie bleiben die grossen Mengen von Kohlensäure, welche ausströmen, unerklärt. Ebenso verhält es sich mit der wenigstens an einigen Punkten in Massen auftretenden Borsäure, und der Versuch,

¹ M. NEUMAYR: Erdgeschichte, I. S. 260 u. 261.

das Auftreten von Kupfer, Blei etc. unter den Sublimationsprodukten auf die Spuren dieser Stoffe im Meerwasser zurückzuführen, ist wohl ein durchaus verfehlter. Auf der anderen Seite sind Brom und Jod im Meerwasser in weit stärkerem Maasse vertreten, spielen aber in den Sublimationsprodukten gar keine Rolle. Ueberdies ist es auch sehr unwahrscheinlich, dass das von oben her eindringende Wasser das ganze Magma in ziemlich gleichmässiger Weise durchtränke.“

Die Erklärung für die Thatsache, dass die meisten Vulkane dicht am Meere gelegen sind, haben wir nach NEUMAYR darin zu suchen, dass häufig an den Küsten Bruchlinien vorhanden sind, welche die Erdrinde durchsetzen, und so dem Vulkanismus, wie wir gleich sehen werden, Gelegenheit geben, sich zu bethätigen: „Das Wesentlichste, die Grundbedingung für vulkanische Erscheinungen ist also das Vorhandensein einer Spalte, nicht die Nähe des Meeres. Man wird auch sagen können, dass eine Spalte umso wahrscheinlicher Anlass zum Auftreten vulkanischer Erscheinungen geben wird, je intensiver sie ist und je weiter sie in die Tiefe dringt. Solche Maxima der Störung, die auch in der That sehr oft mit Eruptivgesteinen in Verbindung stehen, finden wir aber am häufigsten da, wo am Rande eines sich aufstauenden Gebirges ein Stück der Erdrinde in die Tiefe sinkt, ein sogenanntes Senkungsfeld sich bildet, wie solche die Po-Ebene gegenüber den Alpen, die ungarische Ebene bei den Karpathen, das Tyrrhenische Meer an den Apenninen, ferner das Aegeische, das Karibische, das Japanische Meer darstellen. Den Rändern solcher Senkungsfelder gehört auch die grosse Mehrzahl der Vulkane an. Da aber das Wasser natürlich immer die tiefsten Stellen aufsucht, so werden solche Senkungsfelder entweder vom Meere überfluthet, oder, wenn dieses keinen Zutritt hat, von Binnenseen ausgefüllt. Das Auftreten der Vulkane an grossen Wasserbecken stellt also nur eine sekundäre Erscheinung dar, beide sind in keinem unmittelbaren ursächlichen Zusammenhange.“¹

Nach REYER'S Ansicht ist das Erdinnere trotz seiner hohen Temperatur und trotz seiner die Verflüssigung befördernden Durchtränkung mit absorbirten Liquiden durch den Druck der lastenden Schichten verfestigt, tritt jedoch an einer Stelle durch Spaltenbildung Erleichterung von diesem Drucke ein, so wird das Magma local verflüssigt, es dringt in die Spalte ein und erumpirt an der Erdoberfläche unter Explosionserscheinungen. Die Verflüssigung des hochgradig erhitzten, mit Liquiden durchtränkten, aber dennoch durch den Druck der lastenden Erdrinde verfestigten Magma's beim Entstehen einer tiefgreifenden Spalte, wie sie bei der Rindenrunzelung in Folge der Abkühlung und Contraction des Erdinnern oft zu Stande kommen muss, lässt sich dem Vorgange vergleichen, welcher eintritt, wenn man eine Glasröhre öffnet, in welcher unter hohem Druck erstarrtes Walrat sich befindet. Gerade so wie in diesem Falle das unter

¹ M. NEUMAYR, Erdgeschichte, I. S. 262.

hohem Druck erstarrte Walrat schmilzt, wenn die Glasröhre, in der es eingeschmolzen war, geöffnet wird, wird das Magma verflüssigt, wenn eine Spalte tief genug hinabreicht. Das Magma kann dann in der Spalte einfach unter der Wirkung der Schwerkraft aufsteigen, den Regeln der Hydrostatik entsprechend; ohne jedoch in der Mehrzahl der Fälle die Erdoberfläche zu erreichen. Um an diese zu gelangen, bedarf es der Wirksamkeit der überhitzten Liquida, welche schon ursprünglich im Magma vorhanden sind und ihre Spannkraft bethätigen, sobald das Magma durch Hinwegfallen des Druckes der Verflüssigung zugeführt wurde. Jene Wassermengen, welche von oben zusitzen, spielen für diese Vorgänge des Emporsteigens des Magma in Spalten der Erdrinde, ja selbst für gewisse, mit vergleichsweise Ruhe stattfindenden, und auf gewaltige Lavaergüsse beschränkte Eruptionen keine Rolle, hingegen ist ihre Bedeutung für die Phänomene der gewöhnlichen heftigen, mit Dampfschüssen und Aschenauswurf verbundenen Ausbrüche höchst wahrscheinlich sehr gross. Dies lehren uns insbesondere die Erscheinungen an den ungeheueren Vulkanen Hawai's, deren Ausbrüche gewöhnlich ohne jene Explosionserscheinungen und ohne Auswurf von Schlacken und Asche stattfinden und sich auf den vergleichsweise ruhigen Erguss gewaltiger Massen dünnflüssiger, glasig erstarrender Laven beschränken. Die Eruptionen ändern aber ihren Charakter, sobald von oben zusitzendes Wasser mit der emporsteigenden Lava in Berührung kommt, dann erfolgen jene Explosionen und Dampfausbrüche, welche wir an den meisten Vulkanen der Erde zu sehen gewohnt sind.

Bei den vulkanischen Eruptionen spielt der ausgestossene Wasserdampf, begleitet von zahlreichen anderen Gasen (Chlorwasserstoff, schwefelige Säure, Schwefelwasserstoff, Wasserstoff, Kohlensäure) eine Hauptrolle, er zerstäubt das in dem vulkanischen Schlotte emporbrausende Magma zu vulkanischer Asche, schleudert Bomben und Lapilli auf gewaltige Höhen und Entfernungen, und auch aus der in Form von Strömen ergossenen Lava wird beim Erstarren eine grosse Menge früher absorbirter Dämpfe ausgeschieden. Erfolgt die Erstarrung einer Magma-Masse an der Erdoberfläche, so wird der grösste Theil der Liquida ausgespritzt und die Lava bläht sich auf, erstarrt schlackig, porös und schlecht krystallinisch. Erkalte sie jedoch unter hohem Druck in der Tiefe, so werden die Liquida länger zurückgehalten und die Erstarrung erfolgt vollkrystallinisch. Nach den Ansichten COTTA's, JUDD's und REYER's kann ein und dasselbe Magma an der Erdoberfläche poröse Laven und Gläser, in der Tiefe des vulkanischen Schlotes vollkrystallinische Gesteine (Tiefganggesteine) liefern. Auch Ergüsse in grösserer Tiefe des Meeres sollen, in Folge des Druckes der lastenden Wassersäule, vollkrystallinische Gesteine bilden. Ebenso, wie die durchtränkenden Liquida von der grössten Bedeutung für die Erstarrungsweise des emporgedrungenen Magma's sind, bethätigen sie bei dem Ausbruche selbst eine hervorragende Thätigkeit.

Die vulkanischen Eruptionen zeichnen sich durch sehr grosse Ver-

schiedenheit in ihrer Intensität aus, ebenso wie die bei vielen Vulkanen zu beobachtenden Zwischenzeiten gemässigerer Thätigkeit oder gänzlicher Ruhe grosse Mannigfaltigkeit in ihrer Dauer und in dem Wechsel der Erscheinungen zeigen. G. P. SCROPE sagt in seinem, für die Kenntniss der vulkanischen Erscheinungen grundlegenden Werke: „Ein flüchtiger Ueberblick unserer Kenntnisse von den Phänomenen der verschiedenen bekannten Vulkane führt zu dem Schlusse, dass die vollkommenste Unregelmässigkeit in Betreff der Perioden und der Intensität ihrer Thätigkeit vorhanden ist. Einige Vulkane befinden sich im Zustande ununterbrochener Eruption, andere dagegen bleiben Jahrhunderte lang im Zustande völliger äusserer Unthätigkeit, und kehren nach einer einzigen lebhaften Eruption von kurzer Dauer wieder zu demselben Zustande scheinbaren Erlöschens zurück, während wieder andere eine unendliche Mannigfaltigkeit von Phasen zeigen, die zwischen den Extremen der Lebhaftigkeit und Trägheit liegen. Jeder bisher gemachte Versuch, die grössere oder geringere Thätigkeit mit der verhältnissmässigen Höhe oder der Masse des Vulkanes, oder mit seiner Lage in Bezug auf Land und See, oder mit dem mineralogischen Charakter oder den geologischen Beziehungen der Gesteine, aus welchen er hervorbricht, in Verbindung zu bringen, kurz irgend ein allgemeines Gesetz aufzufinden, nach welchem die Häufigkeit oder Heftigkeit der Eruptionen bestimmt werden könnte, ist bisher misslungen.“ — SCROPE hat jedoch die genauere Untersuchung der vulkanischen Erscheinungen wesentlich gefördert, indem er mehrere Phasen der vulkanischen Thätigkeit unterschied, welche allerdings nicht streng gesondert sind und vielfache Uebergänge aufweisen, deren Unterscheidung jedoch für die Kenntniss der vulkanischen Vorgänge von grosser Bedeutung ist. Er unterscheidet; 1) eine Phase der permanenten Eruption, 2) eine solche der gemässigten Thätigkeit, und 3) eine Phase der von längeren Zwischenzeiten der Ruhe getrennten „Paroxysmus“-Eruptionen.

1) Phase der permanenten Eruption.

Wenige Vulkane befinden sich andauernd in Eruption. Am besten bekannt von diesen fortwährend thätigen Feuerbergen ist der kleine Vulkan Stromboli, der wahrscheinlich seit den Zeiten Homer's bis auf unsere Tage in gleicher Weise Schauplatz einer unbedeutenden aber un-
aufhörlichen vulkanischen Thätigkeit gewesen ist. Die uralten griechischen Schifffersagen, wie wir sie in der Odyssee aufbewahrt finden, verlegen hierher die Residenz des Aeolus, des Königs der Winde:

„Denn ihn hatte Kronion zum Herrscher der Winde geordnet,
Sie durch seinen Befehl zu empören oder zu schweigen.“

Die „äolische Insel“ der Alten dankt aber ihren Namen der Abhängigkeit der andauernden Eruptionen vom Luftdrucke. Der Stromboli hat eine Höhe von etwa 900 Meter, auf dem Grunde seines, gegen Osten etwas ausgerandeten Kraters befinden sich zwei Oeffnungen, in deren einer man flüssige Lava sieht, die regelmässig aufkocht. Sie steigt und fällt

in Perioden von 10 bis 15 Minuten. Hat sie beim Aufsteigen den Rand der Mündung erreicht, so explodirt aus der Lava eine dichte Dampfmasse, welche Schlacken und glühende Lavafetzen hoch in die Luft schleudert. Diese regelmässigen Ausbrüche, welche man vom Rande des Kraters ganz gut beobachten kann, werden ungestümer, wenn der Luftdruck sinkt und der Himmel sich trübt und kehren wieder zur gewöhnlichen Thätigkeit zurück, wenn besseres Wetter folgt. Die Bewohner der Insel benutzen deshalb den Vulkan gewissermassen als Barometer. Es ist höchst merkwürdig, dass in einem solchen vulkanischen Schlotte der Zustand des Gleichgewichtes, der nur durch das jeweilige Sinken des Luftdruckes in geringem Maasse gestört wird, sich durch Jahrtausende in derselben Weise erhalten hat, denn schon die Alten benutzten den Vulkan in gleicher Weise als Wetteranzeiger. „E cujus fumo — sagt Plinius — quinam futuri sunt venti in triduum praedicere incolae traduntur, unde ventos Aeolo parnisse existimatum.“ Für die Beobachtung dessen, was SCROPE treffend das „Aufkochen der Lava“ nennt, bildet der Stromboli die beste Gelegenheit, wie die Untersuchungen SPALLANZANI'S im Jahre 1788 und die übereinstimmenden Wahrnehmungen späterer Besucher (so insbesondere F. HOFFMANN'S) gezeigt haben.

Aehnlich wie der Stromboli verhält sich der Vulkan Masaya in Nicaragua, von welchem der spanische Geschichtsschreiber FERNANDO GONZALEZ DE OVIEDO, der ihn 1529 besuchte, eine Schilderung entwarf, welche durch die Beobachtungen SQUIER'S in unseren Tagen vollkommen bestätigt wurde. Als weitere in der Phase der permanenten Eruption befindliche Feuerberge nennt SCROPE den Anatitlan in Nicaragua; den Izalco an der Westküste Central-Amerika's, der seit 1728 in Thätigkeit ist; den Sangay in Südamerika; den Vulkan von Ilha de Fuego, einer der canarischen Inseln, welcher seit 1770 sich in Thätigkeit befindet, und spricht die Vermuthung aus, dass vielleicht manche der weniger bekannten Feuerberge dieser Kategorie angehören mögen.

2) Phase der gemässigten Thätigkeit.

Im Allgemeinen erfolgen die Eruptionen eines Vulkanes zeitweise, in Zwischenräumen, welche von Monaten bis zu Jahrhunderten dauern können. Wenn die Eruptionen häufig sind, so sind sie in der Regel mässig und von verhältnissmässig ruhigem Charakter, gerade so als wenn sich ein dauerndes Sicherheitsventil für die Entleerung der überschüssigen heissen Stoffe der Tiefe gebildet hätte; während in anderem Falle durch längere Zwischenzeiten getrennte Eruptionen von weit grösserer Heftigkeit eintreten. Man darf annehmen, dass eine Eruption, welche nach längerer Ruhezeit eintritt, durch aussergewöhnliche Heftigkeit ausgezeichnet ist. Eine solche ausserordentliche Entwicklung der vulkanischen Kraft nennt SCROPE einen „Paroxysmus.“ Eruptionen von ungewöhnlicher Heftigkeit haben jedoch nicht selten eine längere Phase gemässigter Thätigkeit zum Vorläufer, welche anscheinend nicht ausreicht, um die über-

schüssige Wärme so schnell abzuleiten, als es nothwendig wäre, um es nicht zu einem Paroxysmus kommen zu lassen.

Ein Beispiel für eine derartige periodische, zeitweilig sehr gesteigerte Thätigkeit bietet der Vesuv seit Anfang unseres Jahrhunderts, vielleicht schon seit 1631, in welchem Jahre seine Thätigkeit nach Jahrhunderte langer Ruhe wieder erwachte. In neuerer Zeit ist der Vesuv oft Monate lang in Eruption gewesen, er hat Schlacken, Sand, Lapilli in mässiger Weise durch temporäre Oeffnungen auf dem Gipfel oder an den Seiten des Kegels, oder im Grunde des Kraters, wenn ein solcher vorhanden war, ausgeworfen, während Lavaströme, bisweilen mit der Ruhe eines Springquells aus eben denselben oder benachbarten Oeffnungen hervortraten. Diesen Perioden mässiger Thätigkeit folgten in der Regel Zeiten der Ruhe, welche ebenfalls Monate lang andauerten, und dann begannen aufs Neue Eruptionen aus neuen Mündungen, da die alten in der Regel durch erstarrte Lava verstopft worden waren. Diese Phase gemässigter Thätigkeit ist indess gelegentlich durch eine heftige Eruption unterbrochen worden, wie sie z. B. 1794 vorkam und dann wieder 1822, bei welchen beiden wochenlang Aeusserungen einer ungeheuren Kraft stattfanden, die den ganzen oberen Theil des Kegels in die Luft warfen, welchen die vorhergehenden kleineren Eruptionen allmählich aufgebaut hatten, so dass nur ein sehr grosser aus dem Herzen des Vulkans ausgehöhlter Krater, ein Kessel von colossalen Dimensionen zurückblieb. Auch die grosse Eruption von 1872, bei welcher zahlreiche neugierige Besucher des Vulkans ein schreckliches Ende fanden, hatte eine längere Phase gemässigter Thätigkeit zum Vorläufer. — Auch der Aetna bietet ein ähnliches Beispiel einer fast stets gemässigten Thätigkeit dar, welche jedoch zeitweise mehr oder minder paroxysmusartig hervortritt. Aus der älteren Geschichte dieses Vulkanes werden zahlreiche den Paroxysmen zuzurechnende Ausbrüche aufgezählt, so jene von 479, 425, 133, 125 vor Chr., 40, 258, 420, 1169, 1329, 1537, 1669, 1766, 1787 nach Chr. Grössere Ausbrüche des neunzehnten Jahrhunderts waren jene von 1805, 1809, 1811, 1819, 1831 und 1852, der letztere, welcher am 27. August 1852 begann und bis Februar 1853 andauerte, war die bedeutendste der neueren Eruptionen. Die Zeiten zwischen diesen Epochen gewaltiger Thätigkeit waren jedoch keineswegs Perioden der Ruhe, sie waren theilweise ausgefüllt durch mässige Bethätigungen der vulkanischen Kraft.

Uebersaus zahlreiche unter den gegenwärtig thätigen Vulkanen gehören zu der Gruppe jener Feuerberge, welche in ähnlicher Weise wie Vesuv und Aetna eine andauernde, gemässigte, zeitweise aber zu heftigen Ausbrüchen gesteigerte Thätigkeit entfalten.

3) Phase der längeren Ruhepausen und der Paroxysmus-Eruptionen.

Unter dieser Bezeichnung fasst SCROPE die Erscheinungen des Vulkanismus an Feuerbergen zusammen, welche seltene, aber um so heftigere

Eruptionen aufweisen. Er sagt mit Recht, dass bei Vergleichung der überlieferten Nachrichten von Paroxysmus-Eruptionen, wie sie sich zu verschiedenen Zeiten und an verschiedenen Orten ereigneten, eine überraschende Aehnlichkeit der berichteten Thatsachen und Erscheinungen zu beobachten ist: „Wenn wir den nöthigen Abzug machen wegen des Schreckens, der auf die Gemüther der unwissenden und vielleicht abergläubischen Beobachter ausgeübt wird, wegen der allgemeinen Geneigtheit zur Uebertreibung des Wunderbaren, des Mangels wissenschaftlicher Ausdrucksweise und der nothwendig bei den Berichten unerfahrener Personen vorkommenden Irrthümer, wie auch wegen der grossen Entfernung, aus welcher die Eruptionen gewöhnlich gesehen worden sind, so sagen wir nicht zuviel, wenn wir behaupten, es lasse sich die vollkommenste Gleichheit bei denselben Phänomenen erkennen, und es seien keine anderen Unterschiede vorhanden, als solche, welche durch locale Umstände oder durch Verschiedenheiten der Intensität der entwickelten vulkanischen Kraft und durch die mineralogische Besonderheit und den chemischen Zustand der austretenden Substanzen verursacht werden.“ Diese Ansicht wird durch die Vergleichung der vortrefflichen Schilderung, welche SCROPE von einer Paroxysmus-Eruption giebt, mit älteren und neueren Berichten vollständig bestätigt. Die neueren Beobachtungen, welche am Vesuv, am Georgs-Vulkan von Santorin und anderen Feuerschlünden bei grösseren Ausbrüchen gemacht worden sind, haben die SCROPE'sche Beschreibung, welche hauptsächlich auf die genaue Beobachtung der Vesuv-Eruption des Jahres 1822 gegründet ist, nur zu bestätigen und in einigen Details zu ergänzen vermocht. Wir folgen daher in der nachfolgenden Erörterung eines grösseren Ausbruches der von SCROPE gegebenen Schilderung einer Paroxysmus-Eruption.

Einem grösseren Ausbrüche pflegen schwächere oder heftigere Erdbeben von kürzerer oder längerer Dauer voranzugehen, welche sichtlich ihren Herd in dem vulkanischen Schlotte besitzen und von demselben in radialer Richtung sich weiter verbreiten. Der Berg scheint von inneren Wehen ergriffen zu sein, welche mit dem Gebären eines Thieres zu vergleichen sind. Die Erschütterungen tragen explosiven Charakter, vergleichbar der Wirkung einer zu tief angelegten Mine, und werden offenbar verursacht durch die Spannkraft der im heraufdrängenden Magma enthaltenen Liquida. Man hört wiederholte laute unterirdische Detonationen, ähnlich Kanonenschüssen oder dem Rollen von Gewehrfeuer, und dafür wurde das Getöse auch häufig in gewisser Entfernung gehalten. Häufig sind die Erschütterungen begleitet von der Störung oder dem Versiegen von Quellen, dem Austrocknen von Brunnen und ähnlichen Vorgängen, welche durch das Zerreißen und die Verschiebungen im Unterbau des Berges veranlasst werden. In dieser Verbreitungsperiode erzwingt sich die Lava ihren Weg nach oben wie ein Keil durch eine oder mehrere Spalten, welche durch die gewaltigen Krämpfe aufgerissen wurden. Wenn so endlich die Verbindung mit der Aussenwelt hergestellt ist, so beginnt

die Eruption, gewöhnlich mit einem furchtbaren Krach, der die Grundfesten des Berges zu erschüttern scheint. Explosionen gasförmiger Fluida, deren jede eine laute Detonation verursacht und welche an Heftigkeit zunehmen, folgen einander mit grosser Schnelligkeit von der Eruptionsöffnung aus, welche zumeist der Centralkrater des Berges ist. Der Schlot ist gewöhnlich während der vorangegangenen Ruhepause verstopft gewesen, in seiner Tiefe mag ein Theil des bei dem letzten Ausbruch geförderten Magma's erstarrt sein, während der Krater selbst theilweise durch Einsturz seiner Wände verschüttet wurde. Die mit grosser Gewalt entweichenden Fluida schleudern nunmehr diese lose angehäuften Trümmer sowie Bruchstücke der festen Gesteine, durch welche sie sich ihren Weg erzwingen haben, in die Höhe. Durch die Zerreibung, welche diese Fragmente während des schnellen und wiederholten Emporschleuderns (denn die Auswürflinge fallen zum guten Theile wieder in den Schlund zurück) erleiden, werden sie so sehr zerkleinert, dass endlich ein grosser Theil mit in die Höhe gerissen wird und eine Zeitlang in den Dampf- wolken schweben bleibt, welche zu gleicher Zeit aus dem Schlote gestossen werden. Ein Theil der ausgeschleuderten Asche und der Auswürflinge rührt sonach von der Obstruction her, die nach dem letzten Ausbruche im Schlote gebildet wurde, doch liefert auch das neue heraufbrausende Magma, wenn es reichlich genug durchtränkt ist, durch seine Zerstäubung vulkanischen Sand, Lapilli, Schlackenketzen und grössere Bomben. Das Aufsteigen des Dampfes verursacht das Bild einer ungeheuren, mehrere tausend Fuss hohen Säule, welche auf dem Rande des Kraters steht und, aus der Entfernung gesehen, aus einer Masse zahlloser kugelförmiger Wolken von äusserster Weisse zu bestehen scheint, welche ungeheuren Baumwollballen gleichen, die im Aufsteigen übereinander rollen, getrieben von den nachdrängenden, durch immer neue Dampfschüsse erzeugten Wolkenmassen. In gewisser Höhe (welche durch das Verhältniss der Dichtigkeit dieser Dampfmassen zu jener der Atmosphäre bestimmt wird) breitet sich die Säule horizontal aus und bildet, wenn sie nicht durch Luftströmungen zur Seite getrieben wird, eine dunkle kreisrunde Wolke. Bei besonders günstigem, ruhigem Zustande der Atmosphäre hat die Wolke mit der tragenden Säule die Gestalt eines ungeheuren Schirmes oder einer Pinie, mit welcher der jüngere Plinius sie bei der Eruption des Vesuv im Jahre 79 verglich und welche im Oktober 1822 ebenso wieder erschien. Den stärksten Gegensatz zu dieser Säule von weissen Dampfballen bildet ein dunkler Strahl aus Asche, Schlacken und Steinen, aus welchem die grösseren und schwereren Stücke ersichtlich zurückfallen, indem sie eine parabolische Bahn beschreiben. Auch dieser Strahl von festen Bestandtheilen erreicht oft eine Höhe von mehreren tausend Fuss, während die Dampfsäule noch höher aufsteigt. Die Wolke, aus welcher häufige und kräftige Blitze fahren, dehnt sich immer weiter aus, sie verdeckt dem darunter gelegenen Landstriche das Tageslicht und das allmähliche Herabfallen des Sandes und der Asche verdüstert die

Atmosphäre immer mehr und erhöht die Bestürzung der Bewohner des betroffenen Landes.

Diese Erscheinungen sind ein Ergebniss des Aufsteigens der glühend flüssigen, kochenden Lava im Schlotte des Vulkanes. Die Dämpfe, welche von der Lava ausgeschieden werden, reissen Theile der Lava-Oberfläche mit sich, wenn sie mit Gewalt hervorbrecen und bilden hierdurch oft einen förmlichen Springquell von flüssigen Lavatropfen und glühenden Schlacken, welcher in Folge der Schnelligkeit der Bewegung einen dauernden Lichtschein giebt, der, aus der Entfernung gesehen, den Eindruck einer Flamme verursacht, und oft mit einer solchen verwechselt wurde. Noch glänzender wird die Feuererscheinung, wenn die Lava soweit emporgedrungen ist, dass sie den Krater erfüllt, dann erscheint ihr Wiederschein in der Dampfsäule über demselben, der feurige See spiegelt sich gewissermaassen in der von ihm ausgestossenen Dampfwolke, und die letztere erscheint glänzend beleuchtet. Es sind indess auch wirkliche Flammen an den in Thätigkeit befindlichen Kratern beobachtet worden, welche nur geringe Leuchtkraft besitzen und von Wasserstoffgas herrühren. In der Tiefe des vulkanischen Schlotes herrscht bei überaus hoher Temperatur Dissociation; während im relativ kühleren Krater Wiederverbindung der Elemente eintritt.

Die Lava steigt fortwährend und erreicht endlich den Rand des Kraters, über dessen niedrigste Stelle sie sich nach aussen hinabstürzt, wenn nicht früher schon der Vulkankegel dem überaus gewaltigen Druck der Lavasäule nachgegeben hat und ein Riss in der Flanke oder sogar am Fusse des Berges sich bildete, aus welchem die Lava austreten kann. Die Lava rinnt also entweder aus einer Bresche im Kraterwall oder aus einem seitlichen Riss in Strömen über die niedrigst gelegenen Räume, sie überfließt in sehr verschieden schnellem Laufe oft bedeutendes Areal, richtet grosse Verwüstungen an, verbrennt und zerstört was ihr im Wege liegt. Nachts erscheint die rinnende Lava weissglühend dort, wo das flüssige Innere des Stromes sichtbar ist; da sie sich aber bei der Berührung mit der Luft sehr schnell mit einer dicken Schlackenrinde überdeckt, so ist die allgemeine Färbung der Aussenseite eines Lavastromes bei Nacht ein dunkles Roth, welches um so dunkler wird, je dicker bei der allmählichen Abkühlung die Rinde wird. Bei Tage umhüllen die Wasserdampf-Massen, welche von der ganzen Oberfläche der ergossenen Lava aufsteigen, fast vollständig ihren Anblick, nur des Nachts leuchtet die Gluth durch. In manchen Fällen wird gar kein Ausströmen von Lava beobachtet, sondern es werden nur Asche, Schlacken und grössere Bomben ausgeworfen. Dies war z. B. der Fall bei jenem Ausbruche, der 1538 in den phlegräischen Feldern den Monte nuovo bildete. Der ganze Berg wurde bei diesem Ausbruche, auf welchen wir unten ausführlich zurückkommen, aus losen Auswürflingen angeschüttet und es kam nicht zur Eruption eines Lavastromes.

In jenen Fällen, wo Lava ergossen wird, bezeichnet das Hervorbrecen

derselben die Krisis der Eruption, welche gewöhnlich einen oder zwei Tage nach ihrem Anfange das Maximum erreicht. Ebenso bezeichnet das Aufhören des Lavafliessens aus der Oeffnung das Ende der Krisis, aber nicht der Eruption, denn die Gasexplosionen dauern oft noch einige Zeit mit ungeheurer, anscheinend kaum verminderter Gewalt fort. Endlich aber hören sie auf, flüssige oder glühende Lavamassen auszuwerfen, es scheint die Oberfläche der Lavasäule im Schlunde des Berges gesunken oder in Erstarrung begriffen zu sein. Die herausgeschleuderten Massen sind entweder erstarrte Schlacken oder Blöcke von festem Gestein; die Explosionen nehmen allmählich an Heftigkeit ab, die Aschensäule wird kürzer, das Aufstossen seltener, und es scheinen die Dampfschüsse aus grösserer Tiefe zu kommen und sich nur mühsam durch entgegenstehende Hindernisse durchzudrängen, bis endlich die ganze Erscheinung ihr Ende erreicht hat und keine Explosionen mehr wahrgenommen werden, was meist erst einige Tage oder selbst Wochen nachdem sie ihre grösste Heftigkeit erreicht haben, der Fall ist.

Als Beispiele vulkanischer Paroxysmen nennt SCROPE die Ausbrüche folgender Vulkane:

Vesuv in den Jahren: 79, 203, 472, 512, 685, 993, 1036, 1139, 1306, 1631, 1760, 1794, 1822.

Aetna: 1169, 1329, 1535, 1669, 1693 bis 94, 1780, 1800, 1852.

Tenerifa: 1704 und 1797 bis 98.

San Georgio (Azoren): 1808.

Palma (Canarien): 1558, 1646, 1677.

Lanzarote (Canarien): 1730.

Island(Alle bekannten Ausbrüche, besonders aber jene des Kötflugja-Jökul 1755 und des Skaptar-Jökul 1783.

Solchen Ausbrüchen gehen in der Regel lange Perioden vollkommener Ruhe voraus und pflegen ihnen auch zu folgen. Die Aschen und Schlacken an der Oberfläche des Kegels unterliegen der Zersetzung, die Wände des Kraters verwittern und stürzen ein. Bei länger dauernder Ruhezeit verschwinden die Spuren der einstigen Feuerwirkung, Wälder entstehen und ein Boden wird angebaut, der beim Wiederaufleben der vulkanischen Thätigkeit in alle Winde zerstreut wird. Nach BRACCINI'S Beschreibung¹ war der Gipfel des Vesuv vor 1631 dem eines feuerspeienden Berges gar nicht ähnlich, sondern mit einem Walde von mächtigen Bäumen bedeckt. Der durch die furchtbare Eruption vom Jahre 1883 berühmt gewordene Krakatoa war vor dem Ausbruche des Jahres 1680 eine grüne und baumreiche Insel, während er am 1. Februar 1681 von dem Bergmeister T. VOGEL ganz ausgebrannt und öde gesehen wurde. In der langen, der Katastrophe vom August 1883 vorangegangenen Ruheperiode bewaldete

¹ BRACCINI: Dell' Incendio fattosi nel Vesuvio 1631. Napoli 1632, citirt in K. E. A. v. HOFF: Chronik der Erdbeben und Vulkanausbrüche, 1. Theil (Gesch. d. natürl. Veränderungen d. Erdoberfl. IV. Th.) S. 241.

er sich bis zu seinem Gipfel, und nur Thermalquellen waren an der Nordseite der Insel als Spuren der vulkanischen Thätigkeit vorhanden. Der Krakatoa gehört demnach zu jener Kategorie von Feuerbergen, welche sich durch furchtbare, von langen Zwischenräumen getrennte Eruptionen auszeichnen.

Die Unterscheidung der drei von SCROPE geschilderten Phasen der vulkanischen Thätigkeit ist von grossem Vortheil für die Betrachtung und das Studium der Ausbrucherscheinungen. Sie ist jedoch insofern eine künstliche, als viele Vulkane sich in Zwischenstadien befinden oder aus einer Phase in die andere übergehen. Der am besten bekannte Vulkan der Welt, der Vesuv, hat im Laufe der Zeit den Charakter seiner Thätigkeit wesentlich geändert. Seine früheren Eruptionen scheinen meist Paroxysmen gewesen zu sein mit langen Zwischenzeiten der Ruhe. Es sind zwar vielleicht aus der älteren Zeit nur die Berichte über die grössten und verheerendsten Ausbrüche überliefert worden, jedenfalls aber lagen vor dem 17. Jahrhundert mehrfache lange Zeiträume gänzlicher Unthätigkeit, so insbesondere vor dem oben erwähnten grossen Ausbruch vom 16. December 1631; in neuerer Zeit aber ist der Vesuv durch häufigere Eruptionen ausgezeichnet. Dass solche Veränderungen in der Intensität der vulkanischen Thätigkeit bei vielen Vulkanen stattgefunden haben, dafür giebt die Gestalt derselben untrügliches Zeugnis. Der Wechsel gemässiger Thätigkeit und heftigerer Eruptionen spricht sich in einer oft mehrfachen Umwallung des in neuerer Zeit gebildeten Kegels durch kreisförmige oder Segmente von Kreisen darstellende alte Kraterwände aus. So erhebt sich der neuere Vesuvkegel aus dem alten, bei der Eruption des Jahres 79 gebildeten Krater, der zum Theile noch in dem vom Monte Somma umwallten Atrio del cavallo erhalten ist, und das Albaner Gebirge bei Rom zeigt fast ebenso deutlich einen neueren Krater (Campo d'Annibale) umgeben von den Resten eines weit ausgedehnten, älteren (Val Molar).

Das Aufquellen der Lava, ihr Hervorbrechen aus dem Krater und die explosiven Eruptionerscheinungen werden durch die Expansivkraft der im Magma enthaltenen Liquida verursacht. Die Menge derselben bedingt, wie REYER gezeigt hat, die Art der Eruption. Reichlich durchtränktes Magma zerstäubt unter gewaltigen Dampfexplosionen bei dem Heraufbrausen, wenig durchtränktes fliesst ruhig aus. Die gewaltigen Lavaströme Hawai's treten oft mit der Ruhe eines Springquelles hervor und mit der geringen Durchtränkung des geförderten Magma's hängt auch die glasige Erstarrung desselben zusammen. Die Laven des Mauna Loa und Kilauea sind sehr dünnflüssig, geschmolzenem Glase ähnlich und die hervorbrechenden Dampfstrahlen ziehen sie häufig in dünne Fäden aus (Pélè's Haar der Eingebornen), der Schlackenwolle der Hochöfen vergleichbar. Aber auch die vergleichsweise ruhigen Ausbrüche der Riesenvulkane Hawai's werden von sehr heftigen Erderschütterungen eingeleitet und begleitet. So erfolgte beispielsweise der grosse Ausbruch des Mauna-Loa im Jahre 1868 unter sehr heftigen und zahlreichen Erderschütterungen:

„Dieselben begannen am 27. März und im Verlauf von zehn Tagen erfolgten über 2000 Stöße. Ein Dorf wurde ganz zerstört und 100 Menschen kamen um. Vom 28. März bis zum 2. April spürte man in Kopapala mehr als tausend Stöße. — 28. März Abends 1 Uhr, 5 Uhr, 6 und 7 Uhr 10 Min. Erdstöße zu Hilo. — 29. März. In Hilo sechs Erdstöße. — 1. April. Abends in Hilo neun Erdstöße und in der Nacht zwölf. — 2. April. An diesem Tage erfolgte auf Hawai der heftigste Stoss. Thiere und Menschen fielen um und wurden wie Gummibälle umhergeschleudert. Bei Kopapala wurde ein Landstrich von 4 Kilometern durch einen Bergsturz 2—9 Meter hoch bedeckt und ein Schlammstrom kam hervor. In Kau und Hilo war das Erdbeben besonders am 1., 2., 3. bis 7. und 15. April sehr stark. An letzterem Orte begann Abends 4 Uhr eine Reihe von Erderschütterungen, von denen besonders die vierte die ganze Insel bewegte. Den Rest des Tages über und während der Nacht erfolgten die Erschütterungen ununterbrochen. — 3. bis 7. April. Zahlreiche Erschütterungen in Hilo. — 4. April. Auf ganz Hawai zahlreiche Erschütterungen. An zahllosen Stellen zerklüftete sich der Boden und Felsen stürzten herab. Aus den bis 3 Meter breiten Spalten ergoss sich Schlamm in ungeheurer Menge und bedeckte ein Dorf mit allen Einwohnern. Die See stieg an der Küste und schwemmte mehrere Dörfer weg u. s. w.“¹

Wie aus der oben angeführten Schilderung eines vulkanischen Paroxysmus hervorgeht, spielen heftige Erderschütterungen zumal in der Zeit, in welcher sich der eigentliche Ausbruch vorbereitet, eine grosse Rolle. Die meisten Paroxysmus-Ausbrüche, von welchen wir nähere Kunde haben, wurden durch Erdbeben eingeleitet. Wir kennen aber auch viele Beispiele, in welchen einige Jahre vor dem neuerlichen Ausbruche eines unthätigen oder anscheinend erloschenen Vulkanes heftige Erdbeben das erste Zeichen des Wiederauflebens der unterirdischen Thätigkeit gaben. So ereignete sich ein sehr heftiges Erdbeben 16 Jahre vor dem grossen Ausbruche des Jahres 79, bei welchem die Orte Herculanium und Pompeji zu Grunde gingen. Ueber dieses Erdbeben berichtet HOFF, welcher als Quellen Tacitus Hist. L. XV. C. 22 und Seneca Nat. Qu. L. I. C 1 u. 27 nennt, folgendes: „63, am 5. Febr. — Nonis Febr. U. C. 815. Coss. C. Memmius Regulus, L. Virginius Rufus. Schweres Erdbeben verwüstete die Stadt Pompeji am Fusse des Vesuv; auch ein Theil von Herculanium und die Colonia Nucerinorum wurden davon getroffen, selbst Neapel empfand dieses Beben ziemlich stark. Es war erzählt worden, dass dabei eine Heerde von sechshundert Schafen umgekommen sei, — vielleicht durch die dem Erdboden entstiegene schädlichen Dünste erstickt, wie Seneca glaubt.“²

¹ C. W. C. FUCHS: Statistik der Erdbeben von 1865 bis 1885, 92. Bd. der Sitzungsber. d. k. Akad. d. Wissensch. Wien 1885; S. 405 [619].

² K. E. A. v. HOFF: Chronik der Erdbeben und Vulkanausbrüche, I. Gotha 1840, S. 173.

In den Ruinen Pompeji's hat man vielfach Gelegenheit, die Spuren der Wirksamkeit jenes Erdbebens aufzusuchen, welches die Stadt sechzehn Jahre vor ihrer Ueberschüttung mit den Auswürflingen des Vesuv heimsuchte. Manche Gebäude zeigen noch Risse und andere Beschädigungen, die von dem Erdbeben herrühren. Eine sehr interessante Basrelief-Darstellung (siehe Fig. 42), welche den Einsturz eines der Tempel des Forums darstellt, fand sich auf einem Votivaltar. Mit Berücksichtigung der Topographie Pompeji's lässt sich aus der Fallrichtung des Gebäudes der Schluss ableiten, dass man es bei dem Erdbeben vom Jahre 63 zu Pompeji mit einem ostwestlich gerichteten Stosse zu thun habe, ein Schluss, der auch durch die Richtung der Sprünge in den Gebäuden Bestätigung findet.

Ueber den grossen Ausbruch des Jahres 79, bei welchem Herculanium und Pompeji zu Grunde gingen und bei welchem der ältere Plinius den Untergang fand, sind wir durch zwei Briefe seines Neffen an Tacitus näher



Fig. 42. Ein antikes Relief, den Einsturz eines Tempels in Pompeji bei dem Erdbeben des Jahres 63 n. Chr. darstellend (nach DE ROSSI).

unterrichtet. In der Nacht, welche dem Ausbruche vorherging, ereignete sich ein so heftiges Erdbeben, dass sogar in Misenum die Häuser erzitterten und das Meer von der Küste zurückwich. Während der Katastrophe dauerten die Erderschütterungen fort und wurden immer stärker, nahmen aber ab, als die Ascheneruption ihren Höhepunkt erreichte.

Seit jenem furchtbaren Ausbruche des Jahres 79, welcher die Gestalt des Vesuv vollkommen veränderte, denn vorher hatte derselbe wahrscheinlich nur einen einfachen Kegel, der an seinem Gipfel einen grossen, anscheinend vollkommen erloschenen Krater besass, in welchem 150 Jahre früher das Heer des Spartacus gelagert haben soll, — hat dieser Feuerberg wiederholt grössere Ausbrüche gehabt, welche stets von heftigen Erdbeben eingeleitet wurden. So geschah dies auch Ende des Jahres 1631. In der vorhergegangenen langen Ruhepause hatte sich, wie bereits oben erwähnt, der Berg vollkommen mit Vegetation bekleidet, selbst im Krater stand ein Wald von alten Bäumen, Eichen, Steineichen und Eschen, nur einzelne Fumarölen und drei Pfützen mit theils warmem, theils salzigem oder bitterem Wasser erinnerten an die frühere Thätigkeit; nichts

liess gegen Ende des Jahres 1631 ahnen, dass man am Vorabende eines furchtbaren Ausbruches stehe. Wenige Tage vor demselben wird von unterirdischem Getöse berichtet, auf der Nordwestseite hatte sich eine Spalte gebildet, aus welcher Dämpfe aufstiegen und der Krater soll sich gefüllt haben, doch vermuthete Niemand nach diesen wenigen Anzeichen das Herannahen einer Gefahr. Am Abende des 15. December 1631 begannen Erdbeben, zuerst sehr schwach, dann stärker und immer stärker; ihrer zwanzig erfolgten bis 5 Uhr des folgenden Morgens. Kurz vor Sonnenaufgang spaltete sich mit furchtbarem Getöse die Südseite des Berges etwas oberhalb des Atrio del Cavallo; Dampf, Asche, Steine wurden mit rasender Gewalt ausgeworfen, nach einigen Augenzeugen wurde ein Theil des Berges in die Luft geblasen. Eine Pinienwolke bildete sich, rasch breitete sie sich aus und verfinsterte die Sonne; um 11 Uhr fiel Aschenregen in der Basilicata, um 2 Uhr in Tarent, am Morgen des 17. wird er von Cattaro in Dalmatien gemeldet, am 16. fiel Asche auf das Verdeck von Schiffen im Golfe von Volo in Thessalien. Allein erst am 18. December erreichten die Schrecknisse ihren Höhepunkt; nach einem äusserst heftigen Erdbeben stürzte sich eine ungeheure Lavafluth aus dem Krater, die in mehreren Armen gegen das Meer herabströmte und den Weg dahin in weniger als einer Stunde zurücklegte. 3000 Menschen wurden getödtet, ein Strom zerstörte Bosco und Torre dell' Annunziata, ein zweiter den grössten Theil von Torre del Greco, ein dritter Portici und Resina und alle drei schoben sich noch mehrere hundert Meter ins Meer vor. Während der letzten Tage des Jahres kamen noch bisweilen Erdbeben und Auswürfe von Asche vor, auch von furchtbaren Regengüssen, und angeblich aus dem Krater hervorgestossenen Wassermassen wird berichtet, dann trat allmählich Ruhe ein. Die Erdstösse aber wiederholten sich bis in die Hälfte des Januar 1632.

Ueber die heftige Eruption des Vesuv vom Jahre 1794 haben wir einen sehr lebhaften Bericht von L. v. BUCH, der hier wiedergegeben werden soll, insoweit er von den die Eruption einleitenden Erdbeben handelt: „— in neueren Zeiten hat der Vulkan fast jährlich neue und grosse Phänomene gezeigt, und es lebte in der Gegend fast Niemand, der nicht die Verwüstungen mehrerer Ausbrüche selbst empfunden oder beobachtet hätte. Und doch konnte eine zweijährige Ruhe des Berges, in der sein Gipfel auch nicht einmal dampfte, die Einwohner in so grosse Sorglosigkeit stürzen, dass sie den Vesuv auch dann noch gänzlich vergassen, als sie am 12. Juni um 11 $\frac{1}{2}$ Uhr in der Nacht plötzlich ein heftiges Erdbeben aufschreckte. Der Boden in der ganzen Ebene Campaniens schwankte wie flüssige Wellen von Morgen nach Abend. Die Neapolitaner stürzten aus den Häusern auf die grossen Plätze des Palazzo Reale, del Mercato, delle Pigne. Sie glaubten im nächsten Augenblicke ihre Häuser zu Boden geworfen, und angstvoll erwarteten sie im Freien den Morgen, Calabriens Schicksal befürchtend. Als ihnen aber die Sonne hell aufging und sie den Vulkan in der gewohnten Ruhe erblickten,

glaubten sie den Ruin der südlichen Provinzen des Reiches befürchten zu müssen und leiteten von dorthier die Erscheinungen der vergangenen Nacht. Aber nicht lange währte ihr Irrthum. Drei Tage darauf, am 15. Juni um 11 Uhr in der Nacht, erbebt die Erde von neuem; es war nicht mehr ein wellenförmiges Schwanken wie vorher, es war ein unregelmässiger Stoss, der die Gebäude zerriss, die Fenster klirrend erschütterte und gewaltsam die innern Geräthschaften durcheinander stürzte. Und sogleich erhellten rothe Flammen und leuchtende Dämpfe den Himmel. Der Vesuv war am Fusse des Kegels geborsten und von den Dächern der Häuser sah man die Lava in parabolischen Bogen hervorspringen, fortwährend hörte man einen dumpfen, aber heftigen Lärm, wie der Katarakt eines Flusses in eine tiefe Höhle hinab, unaufhörlich schwankte der Berg, und eine Viertelstunde darauf hörte auch in der Stadt nicht mehr die Erschütterung auf. Mit solcher Wuth hatte man noch nie die Lava hervorbrechen sehen. Das reizbare Volk, das sich nicht mehr auf festem Boden, die Luft in Flammen und voll schrecklicher, nie gehörter Töne erblickte, stürzte, von Furcht und Schrecken ergriffen, zu den Füßen der Heiligen in Kapellen und Kirchen, griff nach Kreuzen und Bildern und durchzog heulend die Stadt in wilder Verwirrung. Der Berg achtete ihres Angstgeschreies nicht, es sprangen immer neue Oeffnungen auf und mit gleichem Lärme und gleicher Gewalt stürzte daraus die Lava hervor. Rauch, Flammen, Dampf erhoben sich zu ungeheueren Höhen jenseits der Wolken und verbreiteten sich dann auf den Seiten in Form einer unermesslichen Pinie, wie zu Plinius Zeiten. —¹

Die angeführten Beispiele mögen genügen, um zu zeigen, dass die heftigeren Eruptionen des Vesuv stets von starken Erderschütterungen eingeleitet wurden. Aber auch in den ruhigeren Zwischenzeiten erschüttern unzählige Stösse den Vulkan, sie sind freilich meist viel zu schwach, um sich in seiner Umgebung fühlbar zu machen, und werden selbst von den Besuchern des Feuerberges nicht wahrgenommen, wohl aber von den feinen Instrumenten des Observatoriums registriert. Die seismische Unruhe, welche diese Apparate bei gesteigerter Thätigkeit des Vulkans zeigen, deutet auf das Herannahen eines Ausbruches, ohne dass es freilich möglich wäre, den Zeitpunkt des Eintrittes einer sich vorbereitenden Eruption genau voraus zu bestimmen.

So war PALMIERI am Vorabende der grossen Eruption von 1872 vom Observatorium nach Neapel hinabgegangen, weil allen Anzeichen nach für die folgende Nacht keine Erscheinung von Wichtigkeit zu erwarten stand, und wenige Stunden später zerriss der Kegel von oben bis unten und die mächtigsten Lavamassen stürzten aus dem geborstenen Krater hervor. Es ist deshalb NEUMAYR wohl im Recht, wenn er sagt: „Es ist nicht zu bezweifeln, dass ein scharfer und localkundiger Beobachter, der einen Berg in der Nähe seines Wohnortes genau kennt, manchen Ausbruch

¹ L. v. BUCH: Beobachtungen auf Reisen, Bd. II.

desselben voraus sehen wird; aber wie die Erfahrung zeigt, kommt es sehr viel häufiger vor, dass ein angezeigter Ausbruch nicht eintritt und bisweilen stellt sich auch eine Katastrophe der grossartigsten Art ganz überraschend ein. — — Man darf wohl sagen, dass alle Vorhersagungen von Vulkanausbrüchen bis jetzt noch kein anderes Resultat ergeben haben, als die Umwohner in überflüssiger Weise zu beunruhigen.“¹

Auch dem Ausbruche, welcher 1538 in wenigen Tagen den Monte nuovo in den phlegräischen Feldern entstehen liess, waren Erdbeben vorangegangen, und zwar unter so merkwürdigen Erscheinungen, dass wir bei der Erörterung derselben verweilen wollen.

Es knüpfen sich an die Entstehung des Monte nuovo die Berichte von Bodenbewegungen, welche damals stattgefunden hätten, und welchen auf Grund ungenauer Angaben durch L. v. BUCH² fälschlich eine sehr grosse Ausdehnung zugeschrieben wurde. Nach L. v. BUCH, welcher den Monte nuovo als ausgezeichnetes Beispiel seiner „Erhebungskrater“ betrachtete, bestünde derselbe nicht aus einem Aufschüttungskegel von Steinen, Asche und anderen Auswürflingen, sondern aus festen Gestein- und Lavaschichten, welche durch eine im Ganzen erfolgte Erhebung eines vorher ebenen Bodens mit Aufbrechen am höchsten Punkt der Auftreibung, emporgewölbt worden wären. „Es ist ein Irrthum“ — 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.“ Zur Stütze dieser Ansicht, welche ausser L. v. BUCH auch ELIE DE BEAUMONT und DUFRENOY vertraten, wurde auch auf die unklaren Berichte zweier Beobachter (FRANCESCO DEL NERO und SIMONE PORZIO) verwiesen, nach welchen eine grosse Auftreibung des Bodens einen Berg gebildet hätte, der sich öffnete und Feuer, Steine und Asche auswarf. LYELL, welcher der Theorie der Erhebungskrater mit Erfolg entgegentrat, hat insbesondere für den Monte nuovo den Nachweis geführt, dass sein Kegel lediglich einem Aufschüttungsvorgange seine Entstehung verdanke. Gegenüber dem von DUFRENOY geltend gemachten Bericht PORZIO's verweist er auf den glaubwürdigeren von MARCANTONIO DELLI FALCONI, welcher nichts von einer solchen Erhebung des Bodens erwähnt. LYELL betont ferner, dass der vollkommen symmetrische Kegel des Monte nuovo lediglich aus Auswürflingen bestünde, dass nirgends ein ursprünglicher Kern von festem Gestein, der sich von dem übrigen Materiale unterscheidet, nachzuweisen sei, dass keine Klüfte vorhanden wären, die doch auftreten müssten, wenn eine plötzliche Emportreibung fester Massen stattgefunden hätte. LYELL citirt dann eine treffende Aeusserung eines anderen Gegners

¹ M. NEUMAYR: Erdgeschichte, I. Bd. S. 263.

² POGGENDORFF's Annalen der Physik, Bd. XXXVII (1835) S. 180 u. f.

der BUCH'schen Theorie der Erhebungskrater: CONSTANT PREVOST, welche dahin geht, dass, wenn Lager von festen, nicht elastischen Materialien einem heftigen, von unten nach oben wirkenden Druck nachgegeben haben, wir nicht bloß eine tiefe und leere Höhlung, sondern auch eine unregelmässige Oeffnung finden müssen, in der mehrere Spalten zusammenlaufen; und diese Spalten müssten durch die Wälle des Kraters brechen und gegen den Mittelpunkt desselben weiter werden. Im Innern des Monte nuovo findet man aber keine einzige Spalte dieser Art, sondern die Kraterwälle sind zusammenhängend und ununterbrochen. Auch finden sich keine Gesteinsgänge, welche uns zu der Annahme verleiten könnten, dass Spalten vorhanden gewesen seien, die später mit Lava ausgefüllt worden wären. LYELL verweist überdies auf einige Thatsachen, die ein Anhänger der Erhebungstheorie selbst, nämlich DUFRENOY, als im Widerspruche mit dieser Theorie stehend, zugiebt. Es liegen am Fusse des Monte nuovo und am Ufer des Averner-Sees mehrere römische Denkmäler, wie die Tempel des Apollo und des Pluto, welche nicht im geringsten durch die angebliche Emporhebung gelitten zu haben scheinen. „Die noch vorhandenen Mauern“ — sagt DUFRENOY¹ — „haben ihre senkrechte Stellung behalten, und die Bogen sind in demselben Zustande, wie andere Monumente an den Ufern des Meerbusens von Bajä. Die lange unterirdische Strecke, welche zu der Sibyllengrotte, an der andern Seite des Averner-Sees führt, ist ebenfalls der Beschädigung entgangen, die Decke derselben blieb vollkommen horizontal und die einzige Veränderung ist die, dass der Boden des Gemaches, in welchem die Sibylle ihre Orakelsprüche machte, jetzt wenige Zoll von Wasser bedeckt ist, was bloß von einer geringen Veränderung im Spiegel des Averner Sees zeigt.“ Alle diese Umstände lassen aber deutlich erkennen, dass der Monte nuovo ein einfacher Aufschüttungskegel ist. Wenige Stunden vor dem Beginne des Ausbruches, welcher diesen Kegel aufschüttete, fand unter heftigen Erdbeben die Emporhebung eines grösseren Landstriches um mehrere Meter statt. Es ist dies jene Veränderung, welche ein beträchtliches, früher vom Meere eingenommenes Areal, vom Monte nuovo bis über Pozzuoli hinaus trocken legte. Heute dehnt sich nordwärts von Pozzuoli bis zum Monte nuovo eine niedrig gelegene Ebene, la Starza genannt, aus, welche landeinwärts von dem früheren Gestade des Meeres an dem Gehänge des Monte Barbaro begrenzt wird. Diese Ebene war vor dem Jahre 1538 vom Meere bedeckt und wurde während der, den Ausbruch des Monte nuovo einleitenden Erdbeben über die Wasserfläche gerückt. Dieser plötzlichen Erhebung ist auch die heutige Lage des Serapistempels bei Pozzuoli zuzuschreiben, an dessen drei Säulen Lithodomenbohrungen bekunden, dass sie früher tiefer im Wasser standen.

Der Serapistempel von Pozzuoli hat grosse Berühmtheit erlangt, die

¹ Citirt in CH. LYELL'S „Principles of Geology“ deutsche Uebersetzung der sechsten Ausgabe, von CARL HARTMANN. Weimar 1841. S. 307.

auffallende Zone von Lithodomenbohrungen, welche jede der drei noch aufrecht stehenden Säulen zeigt, wurde von zahlreichen Beobachtern, so insbesondere von LYELL als ein Beweis für wiederholte Senkung und Erhebung des festen Landes angesehen. Es sind allerdings auch andere Ansichten geäußert worden, um den Sachverhalt zu erklären. A. NICOLINI hat in zahlreichen Schriften die Meinung vertheidigt, dass das Festland völlig ruhig geblieben sei und nur der Stand des Meeres sich geändert habe. GOETHE meinte, dass bei dem Zerfalle des Tempels der Schutt eine solche Anordnung gefunden habe, dass er eine Mulde umfing. Wurde diese durch aussergewöhnliche Wogen mit Salzwasser gefüllt, so konnte auf dem Schutt ein kleines, mit Seewasser gefülltes Becken zurückbleiben, in welchem über dem Meeresspiegel die Lithodomen leben konnten. Diese Erklärung, welche in etwas veränderter Form auch BROCCI für richtig hielt, genügt aber deshalb nicht, weil bei Pozzuoli noch ein zweites Bauwerk, die sogenannte Brücke des Caligula, vorhanden ist, welches ähnliche Spuren höheren Wasserstandes an mitten im Meere gelegenen Pfeilern aufweist. Es würde zu weit führen, wollten wir auch nur flüchtig aller Erklärungsversuche gedenken, zu welchen die Lithodomenbohrungen in den Säulen des Serapistempels von Pozzuoli Veranlassung gegeben haben. Ausführlich erörtert und kritisch beleuchtet finden sich alle bei SUSS, welcher einen eigenen Abschnitt seines grossen Werkes „Das Antlitz der Erde“ diesem Problem widmet.¹ SUSS zeigt in demselben, dass die Gegend, in welcher die auffallenden Verschiebungen der Strandlinie stattfanden, in der Mitte eines grossen Vulkans sich befindet, denn die einzelnen Krater der phlegräischen Felder (von welchen übrigens manche bloß als kesselförmige Einbrüche zu betrachten sein dürften) werden von einem flach ansteigenden, gemeinsamen Kegel umgeben, und es ist jedenfalls für alle Vulkane des phlegräischen Kegels ein gemeinsamer Herd anzunehmen. Der Strand von Pozzuoli, an welchem die Senkungs- und Hebungerscheinungen vorkommen, liegt nun unmittelbar benachbart jenen beiden Stellen, welche die jüngsten Spuren der eruptiven Thätigkeit darbieten, nämlich dem noch heute dampfenden Aschenkegel der Solfatara, welche im Jahre 1198 einen Ausbruch gehabt haben soll, der aber nicht ganz sicher gestellt ist, und dem im Jahre 1538 aufgeschütteten Monte nuovo.

Die Spuren der Verschiebung des Strandes sind an mehreren Resten alter Gebäude deutlich zu sehen. Die lange Reihe von Pfeilern, welche als Reste der „Brücke des Caligula,“ wohl eines alten Hafenbaues, von Pozzuoli in das Meer vortritt, zeigt deutlich aus dem unter Wasser befindlichen Ende des Wurf-Mauerwerkes und dem Beginn des Ziegelaufbaues, sowie aus der Lage der Gewölbeansätze unter Wasser, dass heute der Strand höher liegt als zur Zeit der Erbauung dieser Pfeiler; dabei

¹ E. SUSS: Das Antlitz der Erde, zweiter Band, 1888, neunter Abschnitt, S. 463—499.

sind jedoch einzelne derselben bis zu drei Meter Höhe über dem heutigen Wasserspiegel mit Serpeln und Lithodomusbohrungen besetzt, so dass einmal ein noch höherer Stand des Wassers angenommen werden muss. Nur 700 Meter von diesen Pfeilern entfernt liegt der Serapistempel, unmittelbar ausserhalb der Stadt Pozzuoli, gegen N-NW, auf der schmalen, tiegelegenen, la Starza genannten Ebene, welche, wie oben bemerkt, gegen das Land durch einen niedrigen Steilrand, das einstige Ufer des Meeres, begrenzt wird. Das Pflaster des Tempels liegt etwas unter dem heutigen Wasserstande. Drei grosse Säulenschäfte stehen aufrecht; auf diesen reichen die Bohrungen von Lithodomus bis etwa 5·3 Meter über den heutigen Wasserspiegel. Landwärts knapp hinter dem Tempel befindet sich die warme Quelle Cantarelle, welche deshalb grosses Interesse besitzt, weil Nachrichten über ihre Lage aus dem dreizehnten und sechzehnten Jahrhundert uns darüber belehren, dass damals jener hohe Wasserstand herrschte, dem die Lithodomenbohrungen an den Säulen ihre Entstehung danken. Erst bei dem Ausbruche des Monte nuovo von 1538 trat eine plötzliche Erhebung der Küste ein, welche die Ebene la Starza trocken legte. Ueber diesen Ausbruch liegen vier gleichzeitige Berichte, von SIMONE PORZIO, MARCANTONIO DELLI FALCONI, FRANCESCO DEL NERO und Hieron. BORGIA vor. „Aus diesen Berichten“ — sagt E. SUSS¹ — „lässt sich das Folgende entnehmen: Schon im Jahre 1488 (1458 ?) war in diesem Gebiete ein heftiges Erdbeben eingetreten, welches viele Menschenleben kostete. Im Anfange des 16. Jahrhunderts wiederholten sich die Stösse. In den Jahren 1537 und 1538 wurden sie immer häufiger und heftiger. Am 27. und 28. September 1538 folgten sie sich ohne Unterlass. Dann, sagt PORZIO, trat das Meer etwa 200 Schritte weit zurück; süsse Wasser quollen hervor. Dann schien jener Strich Landes, welcher am Fusse des M. Barbaro gegen den Avernener See liegt, sich zu erheben und die Gestalt eines plötzlich wachsenden Berges anzunehmen. In der folgenden Nacht begann dieser Erdhaufen (terrae cumulus) wie aus einem geöffneten Munde grosse Massen von Feuer, Bimsstein, Steinen und Asche mit grossem Geräusch hervorzuschleudern, so dass weit und breit Alles davon bedeckt wurde. FALCONI sagt nichts von einer solchen Erhebung des Bodens. Das Meer, so berichtet er, trat zurück; warme und kalte Quellen wurden sichtbar; Flammen erschienen an dem Sudatojo (am Meeresufer) und bewegten sich gegen Tripergole; dort hielten sie an in einem Thälchen, welches zwischen M. Barbaro und der Anhöhe sich befand, welche „del pericolo“ genannt wird, durch welches Thälchen man zum Avernener See zu gehen pflegte, und bei den Bädern erreichte das Feuer bald solche Gewalt, dass in derselben Nacht die Erde an demselben Orte aufbrach und solche Mengen von Asche und Bimsstein, gemischt mit Wasser herauswarf, dass alles Land davon bedeckt wurde. Dunkelschwarze und auch blendend weisse Wolken wurden hervorgestossen und zwei Tage und zwei

¹ Antlitz der Erde II. S. 480.

Nächte dauerte der Ausbruch; so entstand an der Stelle von Tripergole der Monte nuovo. Das Meer, von Bimsstein bedeckt, glich einem geackerten Lande und bis Calabrien wurde die Asche getragen. Donnerstag, den 3. October wiederholte sich der Ausbruch; am 4. October konnte man den neuen Berg besteigen und in den Krater hinabblicken, aber Sonntag den 6. Oktober verloren bei diesem Wagnisse durch einen plötzlichen neuerlichen Ausbruch viele Menschen das Leben. Es ist bereits gesagt worden, dass das Meer sich 200 Schritte weit zurückzog. „Zuerst,“ sagt PORZIO, „trat das Meer zurück, offenbar aus keiner anderen Ursache, als weil die den Austritt suchenden Ausdünstungen die Erde austrockneten, welche gleichsam dürstend, durch ihre Spalten das Wasser aufzog, wodurch es geschah, dass jener Theil der Erde, welcher früher vom Meere überfluthet war, trocken zurückblieb, und dass das Ufer durch Asche und Auswürflinge sich erhöhte.“ Hiernach hätte nicht Erhöhung, sondern Trockenlegung und Aufschüttung des getrockneten Theiles stattgefunden. Nach FALCONI ist aber die Trockenlegung bereits zehn Stunden vor dem Ausbruche eingetreten, und dass wirklich eine sehr merkliche und bleibende negative Verschiebung des Strandes eingetreten ist, ergiebt sich am deutlichsten aus einem rohen gleichzeitigen Holzschnitte, welcher den Bericht FALCONI's begleitet. Dieser zeigt unter dem Monte nuovo, gegen Pozzuoli hin, gerade an der Stelle des Steilrandes hinter der Starza, die Worte: „Termine del Mare di prima“ und ein Schiff, welches auf trockenem Lande liegt (siehe Fig. 43). Nur die ausserordentliche Seltenheit dieses Berichtes, welcher fast nur in dem von GIUSTINIANI im Jahre 1817 veranlassten Abdrucke ohne Figur im Umlaufe ist, hat diese merkwürdige Abbildung in Vergessenheit gerathen lassen.“

Nach eingehender Discussion aller Erklärungsversuche und insbesondere der Ansicht NICCOLINI's, dass das feste Land unverändert geblieben sei und nur das Meer seinen Stand verändert habe, kommt SUESS zu folgendem Resultate: „Aus dem Alterthume, den Hafengebäuden von Nisida, der Brücke des Caligula, der *Lex parietis faciundi*, dem zweifachen Pflaster im Serapistempel, kennt man nur positive Spuren,¹ und es ist nicht unmöglich, dass diese positive Bewegung langsam angedauert hat durch die ganze Zeit bis in das 13., 14., 15. und den Anfang des 16. Jahrhunderts, wo der Strand in + 5·8 Meter stand, das Meer bis an die Therme reichte und die Bohrungen an den Säulen des Tempels und an den Pfeilern der Brücke des Caligula erzeugt wurden. Dann tritt am 28. September 1538 eine plötzliche negative Bewegung ein; die Starza und der Schutthaufen des Tempels werden vom Meere verlassen, zugleich die Therme mit Asche verschüttet. Wie tief diese negative Bewegung gereicht hat, ist unbekannt, ebenso ob sofort positive Bewegung nachgefolgt ist; heute wird positive Bewegung behauptet.“

Hieraus ergiebt sich auch, dass nicht alle von NICCOLINI angenommenen

¹ d. i. Spuren einer nach aufwärts gerichteten Verschiebung der Strandlinie.

Schwankungen Geltung erlangen können. Sicher bekannt ist nur eine positive Bewegung, welche wahrscheinlich langsam durch eine Reihe von Jahrhunderten angedauert hat, und hoher Stand vom 13. Jahrhundert bis 1538; dann eine plötzliche negative



**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 PE
BICOLO E RIMASTA SOTTO LA
FALDE DEL MEDESMO**

Fig. 43. Abbildung des vulkanischen Ausbruches von Monte nuovo und des verlassenen Meeresstrandes aus „Dell' incendio di Pozzuolo, Marco Antonio delli Falconi all' Illustrissima Marchesa della Padula nel M. D. XXXVIII.“ (Aus SUSS: Antlitz der Erde II. S. 482).

Bewegung während des Ausbruches von 1538 oder kurz vor demselben. Alles übrige scheint mir unerwiesen. Ferner blieben diese Bewegungen beschränkt auf den phlegräischen Krater und was jenseits Nisida in Vergleich gezogen wurde, ist von unvergleichlich jüngerem Datum.“¹

¹ E. SUSS: Antlitz der Erde, II. S. 489, 490.

Suess giebt jedoch zu, dass in dem ungestörten Fortbestande der mehrerwähnten Quelle hinter dem Tempel während aller dieser Veränderungen eine räthselhafte Erscheinung vorliege: „Es ist richtig, dass heute die warme Quelle hinter der Cella des Tempels vorhanden ist wie vor zwei Jahrtausenden. Dennoch sollte gerade diese Stelle des Bodens im Laufe dieser Jahrtausende sich erst langsam seit dem Baue des älteren Pflasters bis 1538 um etwa 7 Meter gesenkt, und sich dann wieder im Jahre 1538 sehr rasch, ja binnen wenigen Stunden um einen merklichen Betrag, vielleicht um das ganze Maass von 5·8 Meter gehoben haben, und diese Senkung und Hebung sollten das Gefüge des Bodens so wenig beeinflusst haben, dass heute noch die Quelle fliesst. Und diese Quelle war vorhanden, als der Strand tief lag und die Römer den Tempel bauten; sie war vorhanden, als der Strand hoch lag, und man sie durch eine Mauer vor der Brandung schützen musste; sie wurde verschüttet und 1735 fand man sie wieder. Solche Stetigkeit ist schwer anders denkbar als in einem stetigen Boden.“

Es sind aber auch von anderen Ausbrüchen Berichte über ähnliche Veränderungen vorhanden.

Am 8. December 1861 begann ein in vielfacher Beziehung lehrreicher Ausbruch des Vesuv. Aus PALMIERI's Bericht über denselben¹ ist Folgendes zu entnehmen. Schon am 5. December zeigten sich heftige, verticale Schwankungen an dem LAMONT'schen Variationsapparat des Observatoriums; diese Schwankungen steigerten sich; die Erde erzitterte, und am 8. December, Nachmittags 3 Uhr, öffnete sich an der SW-Seite des Berges, 290 Meter hoch eine grosse Spalte gegen Torre del Greco. Pyroxenreiche Lava trat hervor. Gegen 11 Uhr Abends liess die Thätigkeit nach; am 9. December Morgens trat eine vorübergehende Steigerung dieser Thätigkeit ein, und es begann Auswurf aus dem Hauptkrater des Vesuv. Die Spalten verlängerten sich durch Torre del Greco bis zum Meere; ihre beiden Wände waren streckenweise gegen einander verschoben: sie durchschnitten den Lavastrom von 1794 und viele Häuser stürzten ein. Am 10. sah man an den öffentlichen Brunnen zu Torre del Greco eine aussergewöhnliche Zunahme des Wassers, mit Kohlensäure gemengt. Mit solcher Gewalt strömte aber die Kohlensäure aus dem Boden, dass sie die schweren Platten des Strassenpflasters aufzuheben im Stande war. Eine kleine Quelle am Meeresstrande nahm zu; im Meere selbst sah man eine lange Zone heftiger Wallung. Wie sich später zeigte, war sie verursacht durch entweichenden Kohlenwasserstoff. Am Strande unter Torre del Greco bemerkte man nun, dass der Meeresspiegel um 1·2 Meter tiefer stand, als eine Linie von Tang und Conchylien, welche die bisherige Strandlinie bezeichnete. PALMIERI meint, es gehe

¹ L. PALMIERI: Cronaca del Vesuvio; Annal. del R. Osservatorio met. Vesuviano, Nap. 1862, III. S. 1 u. f., sowie Compt.-rend. Paris 1861. LIII, S. 1232 — citirt in Suess: Anlitz der Erde II. S. 491 u. 499.

daraus hervor, dass der Boden erhoben worden sei. Diese Erhebung scheine der Hauptgrund der Erweiterung der Spalten in Torre del Greco zu sein, und darum habe der auf der alten Lava erbaute Theil der Stadt mehr gelitten, weil diese bei der Aufwölbung zerbrochen sei. Der Ausbruch aus dem Hauptkrater hielt an, während an der neuen Spalte die höher liegenden Essen, trotz der kurzen Dauer des Ergusses, zu einer ausserordentlichen Tiefe entleert waren.

Es waren Berichte vorhanden, aus welchen vermuthet wurde, dass bei einzelnen früheren Eruptionen, insbesondere im Jahre 1631, das Land sich gleichfalls erhob, später aber wieder gesenkt habe. Jetzt, im Jahre 1861, hatte sich die negative Bewegung nicht bis Granatello, 4 Kilometer gegen NW erstreckt und in Torre Bassano, 2.25 Kilometer gegen SO betrug sie nur 0.3 Meter. Man wählte daher einen Fixpunkt in Granatello und stellte am 31. December von einem zwischenliegenden Inselchen aus die Visur zwischen demselben und einer Marke an dem veränderten Strande bei Torre del Greco her. Am 21. Januar befand sich die letztere bereits um 0.064 Meter tiefer, am 12. Februar um weitere 0.136 Meter, am 8. März stand sie in gleicher Höhe; bis zum 31. März war sie weiter um 0.041 Meter gesunken, im Ganzen seit 31. December um 0.241 Meter. Zugleich begann am Strande ausserordentliche Wärme sich zu entwickeln; einzelne Quellen an demselben erreichten gegen Ende Januar bis 47°; schon lange waren die Schlünde des 8. December geschlossen, aber die Wärme in Torre del Greco und am Strande nahm fortwährend zu, bis endlich am 2. März eine lange Strecke des Bodens 30° erreicht hatte und rauchte, PALMIERI die flüssige Lava in nicht mehr als 500 Meter Tiefe unter der Stadt Torre del Greco vermuthete und die Bildung einer neuen Ausbruchsstelle hier erwartet wurde, während das Messinstrument eine andauernde, allerdings gerade Anfangs März unterbrochene positive Bewegung angab, welche also der langsamen Senkung des Bodens entsprechen würde.

Der vulkanische Ausbruch auf Tanna, der südlichsten der Neuen Hebriden am 10. Januar 1878, ist von einer negativen Veränderung begleitet gewesen, deren genaues Ausmaass, wahrscheinlich etwa 3 Meter, aus den Berichten nicht zu entnehmen ist; auch ist mir — sagt SUESS — nicht bekannt, ob positive Recurrenz gefolgt ist.¹

SUESS erörtert sodann die Frage, auf welche Weise sich solche Niveauveränderungen, wie sie am Monte nuove 1538 und am Vesuv 1861, welche langsame positive (d. h. nach aufwärts gerichtete) und rasche negative (nach abwärts gerichtete) Verschiebungen der Strandlinie zeigen, erklären lassen. Er meint, dass dies am passendsten durch Abnahme der

¹ E. SUESS citirt (Antlitz der Erde II. S. 498) als Quelle für die Nachricht von den Hebungerscheinungen auf Tanna: Annal. d. Hydrographie; Berlin 1878, VI. S. 371: „Capt. KILGOUR sagt, ein Felsen vor dem Hafen schien um drei Meter gewachsen und Korallenbänke waren aus dem Meere gehoben. Hier trat auch seismische Fluth ein.“

Attraction in Folge des Ausbruches geschehen könnte, giebt aber zu, dass die Rechnung diese Erklärungsweise nicht bestätige: „Im Jahre 1845 veröffentlichte BRUCHHAUSEN eine Schrift, welche die Attraction der Eis-massen als Ursache der hohen Wasserstände zur Zeit grösserer Eisanhäufungen bezeichnete, und PENCK erwähnt, dass der Verfasser im Jahre 1846 als Nachtrag zu dieser Schrift A. v. HUMBOLDT ein Manuscript überreicht habe, in welchem ausgeführt wird, dass durch vulkanische Thätigkeit die Attraction und folglich auch der Wasserspiegel könne verändert werden.¹ VERBEEK schätzte die im August 1883 vom Krakatan ausgeworfene Masse auf 18 Kubikkilometer im Gewichte von 36×10^{12} Kilogramm. Noch höher sind die Schätzungen JUNGHUHN's für die Eruption des Tambora im Jahre 1815. Nach dem Ausbruche des Monte nuovo schrieb FRANCESCO DEL NERO: „Was ich mir aber gar nicht im Kopfe zurechtlegen kann, ist die grosse Menge des Materials, das aus diesem Schlunde hervorgegangen ist . . . Und wollte Gott, dass die Höhlung sich nicht bis unter Neapel gebildet habe.“ Alle diese ausserordentlichen Mengen reichen aber nach den Berechnungen unserer Physiker nicht hin, um die vorliegenden negativen Bewegungen zu erklären. THOMSON und TAIT rechnen, dass, um die Depression des Meeres um 1 Meter zu erreichen, die Annahme einer kugelförmigen Höhlung von 3000—4000 Meter unter der Erdoberfläche nöthig sei. DRYGALSKI hat die Annahme für den Serapistempel, doch mit dem Mittelpunkte unter dem Vesuv gerechnet. Dr. MARGULES hat die Güte gehabt, sich einer Reihe dieser mühevollen Rechnungen auf mein Ersuchen zu unterziehen, und ist zu ähnlichen Ergebnissen gelangt wie seine Vorgänger. Nach diesen Rechnungen ergibt sich zunächst in Uebereinstimmung mit THOMSON und TAIT für die Senkung des Meeres um einen Meter eine kugelförmige Höhlung unter der Oberfläche von 190 Kubikkilometer. Nimmt man eine halbkugelförmige Entleerung an, so muss das Volum derselben 147 Kubikkilometer betragen; unter einer anderen, günstigsten Annahme reducirt sich das Volum auf 104 Kubikkilometer. Alle diese Zahlen stehen also noch hoch über den höchsten Schätzungen der gewaltigsten Auswürfe, und es handelt sich am Monte nuovo nicht um die negative Bewegung von einem Meter, sondern um 5—6 Meter. Es fragt sich hiernach, ob zu der alten Ansicht von BABBAGE zurückzukehren sei, nach welcher Auftreibung durch Erwärmung erfolgt. PALMIERI scheint neben der Erwärmung auch die gespannten Dämpfe als Ursache der Anschwellung anzusehen.“²

In der That scheint die Erwärmung neben der Spannkraft der im Magma gefesselten Liquida die einfachste Erklärung für die bei dem Ausbruche des Vesuv 1861 am Fusse desselben eingetretene Oscillation zu

¹ W. v. BRUCHHAUSEN: Die periodisch wiederkehrenden Eiszeiten und Sintfluthen. Trier 1846; A. PENCK: Schwankungen des Meeresspiegels. München 1882, S. 7 u. 19 (a. d. Jahrb. d. geogr. Gesellsch. München VII).

² E. SUSS: Antlitz der Erde, II. S. 493.

liefern. Erinnern wir uns daran, dass nach REYER's Theorie des Vulkanismus das Magma der Tiefe durch den Druck verfestigt aber trotz seiner Starrheit ausbruchsfähig ist, dass es emporsteigt und erumpirt, wenn Spalten tief genug aufgerissen werden, um eine locale Druckentlastung und Verflüssigung des Magma zu bewirken. Dann tritt ein Ausbruch ein, weil die im Magma enthaltenen überhitzten Liquida ihre Spannkraft bethätigen. Bei dem Empordringen in einer vulkanischen Esse werden durch diese Spannkraft radiale Sprünge aufgerissen und mit Magma injicirt, welche entweder auf die tieferen Regionen beschränkt bleiben, oder auch wohl bis zur Oberfläche heraufreichen, und dann zu Seiteneruptionen Anlass geben können. Solche Vorgänge können recht wohl ein Anschwellen des Bodens verursachen, welches hauptsächlich auf das Dunsen der injicirten Lava zurückzuführen ist. Erreicht der Ausbruch sein Ende, so bildet sich ein Propf in der vulkanischen Esse, es entsteht eine Obstruction zu Folge der hochgradigen Abkühlung, welche bei dem Ausstossen der Gase und dem Dunsen der Lava nothwendig erfolgen muss. Dann kann auch in grösserer Tiefe Erstarrung stattfinden, weil der Druck der lastenden Schichten wieder hergestellt ist. Bei dem allmählichen Erstarren der injicirten Massen tritt jedenfalls eine Verringerung des Volumens ein, und dies dürfte die Ursache des Zurücksinkens der früher gehobenen Erdoberfläche sein. Mit dieser Erklärung stimmt es anscheinend recht gut überein, dass die vulkanischen Hebungen, welche vor oder während einem Beben erfolgen, sich plötzlich geltend machen, während die späteren Senkungen viel längere Zeit erfordern.

Monte nuovo 1538 und Vesuv 1861 haben den Beweis dafür geliefert, dass es vulkanische Hebungen giebt. Es ist aber klar, dass solche Hebungen unter Umständen das Maass weit überschreiten, welches die erörterten, relativ unbedeutenden Vorgänge aufweisen. Wir können uns beispielsweise die Entstehung jener Lakkolithen, welche GILBERT in den Henry Mountains im südlichen Theile des Staates Utah geschildert hat, ohne gewaltige Auftreibung der Schichtgesteine nicht denken. Für die Henry Mountains hat GILBERT den sicheren Nachweis geführt, dass ihre Trachytkerne, die er Lakkolithe („Cisternensteine“) nannte, nach Ablagerung der ganzen Reihe von Sedimentärgesteinen, in welche sie sich einschalteten, vielleicht erst während der späteren Tertiärzeit, entstanden sind, sich zwischen die fertigen Bänke der Sandsteine und Schieferthone eingezwängt und dieselben domförmig gehoben haben. Die Bildung dieser Lakkolithe der Henry-Mountains steht aber keineswegs vereinzelt da. Schon vor GILBERT hat HOLMES ähnliche Dome aus der Sierra el Lote und aus den La Plata Mountains im südwestlichen Colorado beschrieben und NEWBERRY scheint schon im Jahre 1859 für einen Theil der Sierra Abajo im südöstlichen Utah zu ähnlichen Resultaten gelangt zu sein. Aehnliche Bildungen kommen aber auch in Europa vor. In den Euganeen zeigt

¹ Vergleiche E. SUSS, Antlitz der Erde, S. 193 u. f.

sich eine solche bei Fontana fredda, Beispiele in grösserem Maasstabe bieten die alten Vulkane der Hebriden dar. Auch die Granitmassen des Kaiserwaldes, welcher den westlichen Abschnitt des Karlsbader Gebirges bildet, werden von F. LÖWL mit den Lakkolithen der Henry Mountains verglichen. Nach LÖWL sind im Kaiserwalde acht Schichtenkuppeln des Glimmerschiefers vorhanden, welchen Granitkerne eingeschaltet sind.

Dass solche Intrusionen, welche mit Emporwölbung der überlagernden Schichten, theilweisem Zerbrecen derselben, Bildung von Spalten und Injection derselben durch von den Lakkolithen ausgehende Apophysen zusammenhängen, gewaltige Erderschütterungen hervorrufen müssen, ist wohl selbstverständlich, wenn auch diese Intrusionen aller Wahrscheinlichkeit nach mit viel grösserer Ruhe vor sich gehen mögen, als die gewöhnlichen subaerischen Ausbrüche. E. SUESS ist geneigt, das Empordringen grosser Magmamassen nicht der Spannkraft des in der Lava enthaltenen Wasserdampfes, sondern einfachem Empordrücken der Lava durch sinkende Gebirgstheile zuzuschreiben. Er erinnert an die Verhältnisse auf dem weiten Gebiete der Basin Ranges, westlich vom Colorado-Plateau, auf welchem gefaltetes Gebirge auf langen Brüchen in fast meridian verlaufenden Streifen niedersinkt. „Einzelne Ketten,“ berichtet CLAR. KING, „wurden in drei bis vier Blöcke zertheilt, welche Tausende von Fussen unter die andern hinabsanken. Die grössten rhyolithischen Ausbrüche begleiten diese Stellen der Versenkung. Wo ein grosser Gebirgsblock abgelöst wurde von seiner Umgebung und in die Tiefe sank, dort sind die Rhyolithe über denselben hingeflossen und haben sich grosse Anhäufungen von Auswürflingen gebildet. . . . Es giebt einige wenige Fälle, in welchen Gebirgszüge gespalten wurden und durch Gänge ein begrenzter Ausfluss stattfand über hohe Gipfel; aber die allgemeine Regel war, dass die grossen Ejectionen in den gesenkten Gebieten eintraten. Solche rhyolithische Ejectionen haben Berggruppen aufgebaut 3000—6000 Fuss mächtig, in Blöcken von 70—80 Miles (113 bis 129 Kilometer) Länge.“¹ „Aehnlich“ — sagt SUESS — „ist auch die Regel bei den grossen Ausbrüchen, welche die Hauptsprünge des Colorado-Plateaus begleiten, und es ist nicht thunlich, den Vorgang bei der Eruption der gewaltigen, aus Sprüngen hervorgegangenen Decken zu trennen von dem Vorgange des Eindringens der Lakkolithen, welches an vereinzeltten Stellen, ausserhalb dieser Hauptsprünge sich vollzogen hat. Es hat DUTTON diesen Umstand ganz richtig erkannt. Ich stimme unter dem Eindrucke jener Vorgänge am Vesuv, welche durch so lange Zeit vorbereitend den Ausbrüchen vom 1. und 17. April 1871 vorhergegangen sind, gerne der Ansicht bei, dass man geneigt ist, die Kraft zu überschätzen, welche dem Wasserdampfe in der Lava zugeschrieben wird. Das Heraustreten derselben auf viele Meilen langen Spalten erfolgt höchst wahrscheinlich nach den einfachen

¹ CL. KING: U. S. Geolog. Explor. of the 40 Parallel, 1878, I. S. 694, citirt in E. SUESS, Antlitz der Erde I. S. 198, 224.

Gesetzen der Hydrostatik, wobei das Hinabsinken des Gebirgsblockes selbst eine wesentliche Rolle bei dem Emporquellen der geschmolzenen Unterlage spielen muss. Es bleibt die Frage, ob der Druck, welcher durch sinkende Gebirgsmassen auf solche Lavamassen ausgeübt wird, welche nicht zum Durchbruche gelangen, jene Intrusionen hervorzubringen vermag, welche eben besprochen worden sind.“

Diese Ansicht SUSS' hat unstreitig viel Bestechendes und mag auch, wie hier nicht ausführlich dargelegt werden kann, für manche gewaltigen Ergüsse vulkanischen Magmas Geltung haben; keineswegs reicht sie aber hin, alle Ausbrüche zu erklären, von welchen doch jedenfalls die überwiegende Mehrzahl der Spannkraft der im Magma enthaltenen, überhitzten Dämpfe ihre Entstehung dankt. Aber sowohl die SUSS'sche Erklärung des Heraustretens der Lava auf Brüchen der hinabsinkenden Gebirgtheile, welche die Lava nach rein hydrostatischen Gesetzen heraufpressen, wie die REYER'sche Ansicht von dem Emporbrausen des durch eine tief genug hinabreichende, Entlastung herbeiführende Spalte verflüssigten Magma in Folge der Spannkraft der eingeschlossenen Liquida, setzt Vorgänge in der Erdrinde voraus, welche in der Lageveränderung einzelner Theile derselben begründet sind. Solche Lageveränderungen, welche zu meist als Auslösung lange sich vorbereitender Spannungen plötzlich eintreten, verursachen, wie im zweitnächsten Abschnitte gezeigt werden soll, jene Erdbeben, die wir als tektonische Beben bezeichnen. Es wird daher, wie wir schon hier hervorheben wollen, in solchen Gebieten, in welchen durch das Zerbrechen der Erdrinde und die Bewegung der einzelnen Schollen nicht bloß direct Erdbeben verursacht werden, sondern auch vulkanische Erscheinungen auftreten, unter Umständen sehr schwierig werden, vulkanische und tektonische Erschütterungen scharf auseinander zu halten. Man wird geneigt sein, bloß jene Beben, die nachweislich von einem thätigen oder im Zustande der Ruhe befindlichen Vulkane ausgehen und sich auf die Umgebung desselben beschränken, als vulkanische zu bezeichnen, während man alle verbreiteteren, nicht in unmittelbarem Zusammenhang mit einem oberflächlich sichtbaren vulkanischen Schlotte stehenden Beben für tektonische halten wird. Es ist aber recht gut möglich, dass manche der letzteren mit Intrusionenvorgängen in der Tiefe zusammenhängen, die sich oberflächlich nur durch Erschütterungen verrathen. Diese Erschütterungen aber, die man gewissermaassen als „kryptovulkanische“ bezeichnen könnte, werden in ihrer eigentlichen Natur wohl sehr schwer — mit den uns bisher zu Gebote stehenden Mitteln aber gewiss gar nicht zu erkennen sein; ein Mangel, über welchen uns allenfalls die Erwägung trösten mag, dass solche Fälle, in welchen grosse Intrusionen in der Tiefe stattfinden, ohne sich auch an der Oberfläche durch die gewöhnlichen Eruptionsercheinungen zu verrathen, vergleichsweise ungemein selten sein mögen. So ausgedehnt die Erzeugnisse der gewöhnlichen vulkanischen Thätigkeit in allen Perioden der Erdgeschichte waren, so beschränkt und selten sind Vorkommnisse, welche mit den nord-

amerikanischen Lakkolithen verglichen werden können, es mögen daher die Fälle selten sein, in welchen durch Intrusionsvorgänge verursachte Erschütterungen für tektonische Beben gehalten werden, weil eben solche auf die Tiefe beschränkte Intrusionen selten sind gegenüber jenen Fällen, in welchen die gewöhnlichen, oberflächlichen vulkanischen Erscheinungen eintreten. Aber auch in den letzteren können unter gewissen Umständen tektonische und vulkanische Beben nebeneinander auftreten. Bei der Erörterung der ersteren soll auch der seismischen Erscheinungen Unteritaliens und Siciliens eingehend gedacht und gezeigt werden, dass auf Sicilien und in Calabrien in gewissen Zonen häufige Erschütterungen auftreten, welche als tektonische Beben bezeichnet werden müssen. Diese Erschütterungszonen umgeben die Senkung des Tyrrhener Meeres. Allein ausser diesen peripherischen Schütterzonen treten auch radiale Stosslinien auf, welche gegen die im Innern der Senkung gelegene Vulkangruppe der liparischen Inseln convergiren. Die Erdbeben, welche auf diesen Radiallinien sich ereignen, mögen wohl grösstentheils auch zur Gruppe der tektonischen gehören, immerhin ist es schwierig, sie scharf von jenen Stössen zu trennen, welche wirklich von den Liparen ausgehen und als echt vulkanische zu bezeichnen sind. Solcher Art sind beispielsweise die Stösse, welche auf Sicilien zuweilen sich geltend machen und, von den Liparen kommend, in die Masse des Aetna hinein sich fortsetzen. Andererseits scheint es fraglich, ob jene Beben, welche sich gleichfalls auf Radiallinien in der Gegend von Palermo auf Sicilien, sowie bei Cosenza und Catanzaro in Calabrien häufig fühlbar machen, wirklich als echt vulkanische, von den Liparen ausgehende Beben zu betrachten sind. Wir werden an anderer Stelle auf diese schwierige zu entscheidende Frage zurückkommen müssen.

Wie aus der SCROPE'schen Unterscheidung verschiedener Phasen der vulkanischen Thätigkeit ersichtlich ist, bewegt sich dieselbe in sehr weiten Grenzen was Lebhaftigkeit und Trägheit und was die Dauer der Ruhepausen zwischen den einzelnen Ausbrüchen anlangt. Die Jahrhunderte lang währende Ruhe, welche bei manchen Vulkanen zwischen den heftigsten Bethätigungen der vulkanischen Kraft liegt, belehrt uns darüber, dass die Bezeichnung des Erlöschenseins vielfach mit Unrecht auf einen Vulkan angewendet wird, der nur im Zustande der Ruhe sich befindet. Der Vesuv galt vor der Eruption des Jahres 79 für einen erloschenen Feuerberg, und ebenso hielt man den Krakatau, der 1883 eine der furchtbarsten Eruptionen hatte, welche die Geschichte der Vulkane kennt, für erloschen. Es ist wahrscheinlich, dass die Pausen zwischen zwei Ausbrüchen viel länger sein können, als das kurzlebige Menschengeschlecht ahnt und sicher, dass noch mancher sogenannte erloschene Vulkan uns die Ueberraschung eines neuerlichen heftigen Ausbruches bringen wird.

Wie wir oben gesehen haben, zeichnen sich die phlegräischen Felder durch ausserordentlich grosse Zwischenräume der Ruhe zwischen den

selten eintretenden Eruptionen aus, der heute noch dampfende Aschenkegel der Solfatara soll im Jahre 1198 einen Ausbruch gehabt haben, dann herrschte Ruhe bis zu jener Eruption, welche 1538 den Monte nuovo entstehen liess und seither fand kein Ausbruch mehr statt, es würde aber keinen Geologen wundern, wenn im Centrum des alten phlegräischen Kegels in unseren Tagen eine Eruption beginnen und abermals einen neuen Aschenkegel aufschütten würde.

Aehnliche Verhältnisse herrschen auf der, den phlegräischen Feldern benachbarten Insel Ischia. Aus dem Alterthume liegen Nachrichten über eine vulkanische Thätigkeit dieser Insel vor, welche einst die Namen Inarime, Pithecusae und Aenaria führte. Wie in der Einleitung (siehe S. 4) hervorgehoben, hatten Griechen und Römer die Vorstellung, dass unter der Erde eingekerkerte Riesen oder Dämonen Ursache der Erdbeben und Vulkanausbrüche wären. Viele Stellen der griechischen und römischen Dichter beziehen sich darauf, dass unter vulkanischen Inseln Giganten begraben liegen. Dies ist nun gerade bei Ischia der Fall. Homer lässt unter Inarime den Giganten Typhoeus liegen (Ilias II, 781) ebenso Virgil (Aeneis IX, 718) und Lucan. Auch eine Stelle bei Hesiod dürfte sich auf die dichterische Schilderung eines aus mehreren Schlünden erfolgten Vulkanausbruches auf Ischia zurückführen lassen. Wir begegnen aber nicht bloß bei den Dichtern solchen Hinweisen, sondern finden viel bestimmtere Nachrichten bei Plinius, Strabo u. A. Nach Plinius ging die Sage, dass Ischia sowie das benachbarte Procida einst durch vulkanische Ausbrüche im Meer entstanden seien. (Hist. nat. L. 2. C. 88 [89]). Cornelius Severus sagt, dass Aenaria einst gebrannt habe. Plinius erzählt bestimmter: der auf derselben befindliche Berg Eponon habe Flammen ausgeworfen und sei darauf der Ebene gleich geworden (also entweder zusammengestürzt oder in die Luft geblasen worden). Strabo berichtet, nach Timaeus, dieses Ereigniss in etwas abweichender Weise. Er sagt: vor der Zeit des Timaeus habe ein Hügel mitten in der Insel unter Erderschütterungen Feuer ausgeworfen und das zwischen ihm und dem Meere befindliche Stück der Insel in das Meer abgestossen; die in Asche verwandelte Erde sei darauf von einem heftigen Sturme an die Insel getrieben worden; das Meer habe sich dabei anfangs drei Stadien weit zurückgezogen, dann aber die Insel überschwemmt und das Feuer ausgelöscht. Julius Obsequens berichtet von einem Feuerausbruche auf dieser Insel im Jahre 662 nach Erbauung Roms (91 v. Chr.). Man will in dem fast durchaus vulkanischen Boden Ischia's die Spuren mehrerer Ausbrüche wiedererkennen, die Jahrhunderte vor unserer Zeitrechnung stattfanden. K. E. A. v. HOFF schreibt darüber: „An dem Berge Rotaro auf der Insel Ischia soll man noch die Spuren eines vulkanischen Ausbruchs sehen, der neun Jahrhunderte vor dem Anfange unserer Zeitrechnung erfolgt sein und die Euböer von der Insel vertrieben haben soll. Ein anderer Ausbruch, durch welchen das Vorgebirge Carusa den Angaben nach entstand, soll in das vierte Jahrhundert vor Chr. Geburt

fallen und die Syrakuser von der Insel vertrieben haben, die sie nach dem Abzuge der Euböer besetzt hatten.“¹

Seit dem Beginne unserer Zeitrechnung fand ein einziger Ausbruch auf Ischia statt, im Jahre 1302 öffnete sich ein Schlund am Nordostabhänge des Epomeo, fast in der Mitte der Insel und ein Lavaström brach hervor, welcher bis zum Meere strömte. Dieser Strom (del Arso genannt) weist noch heute eine rauhe und frische, vegetationslose Oberfläche auf. Neben ihm bekunden zahlreiche heisse Quellen die vulkanische Natur der Insel, welche fälschlich als seit 1302 erloschen bezeichnet wird. Die häufigen Erdbeben, welche Ischia von Zeit zu Zeit heimsuchen, bekunden, dass die vulkanische Thätigkeit nur schlummere, aber noch keineswegs erloschen sei. Stärkere Erschütterungen traten auf Ischia im vorigen Jahrhundert, dann im Jahre 1812 ein und seither sind 15 zum Theil sehr bedeutende Erschütterungen vorgekommen. Alle früheren übertraf jene von 1881, deren beschränktes Verbreitungsgebiet bereits oben (S. 201) erwähnt wurde, an Heftigkeit und noch viel furchtbarer entfaltete sich die seismische Gewalt im Jahre 1883. Wie bereits gezeigt, war das Erdbeben, welches am 28. Juli 1883 die Insel heimsuchte von den fürchterlichsten Folgen begleitet, von welchen insbesondere Casamicciola betroffen wurde. Die Zerstörungen erreichten ausserordentliche Dimensionen (siehe Fig. 44), ein einziges Haus blieb in Casamicciola unversehrt stehen, die meisten stürzten in einem Augenblicke ein und begruben zahlreiche Einwohner und viele in Casamicciola wohnende Badegäste. Der Verlust an Menschenleben war ein sehr bedeutender, weil der Stoss bei Nacht eintrat und sein Zerstörungswerk überaus rasch vollstreckte, so dass Niemand Zeit hatte zu fliehen. Schon von dem Erdbeben vom 4. März 1881 hebt G. VOM RATH diese fast augenblickliche Wirkung hervor: „bei ähnlichen Ereignissen konnten bisweilen die Menschen eine schützende Thorwölbung oder auch das Freie gewinnen und sich retten. Nicht so bei dem Stosse von Casamicciola am 4. März; die Menschen wurden genau an der Stelle erschlagen, wo sie standen und sassen.“ Bei dem Beben vom 28. Juli 1883 erfolgte der Hauptstoss um 9 Uhr 25 Min. Abends zwar ebenso rasch, so dass das Werk der Vernichtung in einem Momente vollendet war; doch machte sich ein Unterschied gegenüber dem Beben vom Jahre 1881 insofern geltend, als der Hauptstoss von 1883 nicht ganz unvorbereitet kam. Schon eine Woche vorher wurden leichte Bewegungen bemerkt und auf dem Monte Cito, ganz nahe bei Casamicciola, traten einige bis dahin ganz schwache Fumarolen in erhöhte Thätigkeit. Auch am 28. Juli wurde der Hauptstoss von einer leichten Erschütterung mit unterirdischem Geräusch angekündigt.

¹ K. E. A. v. HOFF: Geschichte der d. Ueberlif. nachgewiesenen natürl. Veränderungen der Erdoberfläche, III, S. 382; HOFF nennt daselbst als Quelle: „FÉRUSSAC, *Bullet. des Sc. géograph.* 1824, Mai. S. 337. Citirt Wiener Zeitschrift, 1823, N. 101.“

Die geringe Verbreitung der Erschütterung sowohl im Jahre 1881 wie 1883 wurde bereits hervorgehoben (siehe S. 201, 202), sie war allerdings 1883 eine etwas grössere als 1881, die ganze Insel wurde betroffen, aber von ausserhalb, vom Festlande liegen wenige Angaben über eine deutliche Wahrnehmung der Erschütterung vor und es ist insbesondere merkwürdig, dass die überaus empfindlichen Instrumente des Vesuvobservatoriums am 28. Juli 1883 keine Bewegung anzeigten, während allerdings die Seismometer der Sternwarte zu Neapel und in weiter Ferne die Seismographen von Rom, Velletri, Florenz und Fermo leise Zuckungen registrirten.



Fig. 44. Eine Partie von Casamicciola nach dem Erdbeben vom Jahre 1883 (nach einer Photographie).

Ueber die Ursachen der Erdbeben von Ischia wurden sehr verschiedene Ansichten geäussert. Nach dem Beben von 1881 trat A. von LASAULX dafür ein, dass sie Einstürzen der grossen, von den Mineralquellen gebildeten Höhlungen zuzuschreiben wären. Er sagt:¹ „Auch auf Ischia, das ebenfalls häufig von Erdbeben heimgesucht wird, die in gar keiner nachweislichen Beziehung stehen zu dem vulkanischen Centrum dieser Insel, dem Monte Epomeo, liegen ähnliche Verhältnisse (— wie bei den von LASAULX in den vorhergehenden Zeilen besprochenen alpinen Einsturzbeben —) vor. Der Boden der Insel besteht in einiger Tiefe aus

¹ A. v. LASAULX: Die Erdbeben. Handwörterb. der Mineralogie, Geologie u. Palaeontologie I, S. 340.

starken Schichten thonigen Mergels der sogenannten Creta, einer nach-tertiären Bildung, unter welcher die tertiären Kalksteine zu erwarten sind, die wir im nahen Capri und anderswo aufragen sehen. Gerade an ihnen zeigen sich aber auch die deutlichsten Anzeichen tiefgehender Auflösung. Die höhlenreichen Wände von Capri und die grotesk zerfressenen Felsen sind dafür allbekannte Belege. Sind aber einerseits leicht lösliche Gesteine als Basis von Ischia anzunehmen, so fehlen andererseits nicht die intensivsten Agentien zur Auslaugung. Fast zwanzig heisse Quellen treten an verschiedenen Stellen der Insel zu Tage, alle mehr oder weniger reichlich beladen mit aufgelösten Salzen. Die Quelle von S. Restituta enthält in 100 Kubikzoll Wasser sogar 27.7 Gramm feste Bestandtheile.¹ Wenn also in einer Stunde nur 100 Kubikmeter Wasser aus dieser Quelle entströmen, würden sie stündlich 77 Kilo aufgelöster Bestandtheile aus der Tiefe emporbringen; 10 000 Kubikmeter Wasser also schon die ansehnliche Menge von 7700 Kilo oder $38\frac{1}{2}$ Centner.² Auch für Ischia liegt also wie für manche Beben der Schweiz die Coincidenz des Stossgebietes mit solchen Schichten vor, in denen der Zusammenbruch von gebildeten Höhlungen nicht unwahrscheinlich ist.“

Auch PALMIERI bekannte sich zu der Ansicht, dass es sich bei den Erschütterungen von Ischia um Einsturzerscheinungen handle und wollte dieselben als eigentliche Erdbeben gar nicht gelten lassen. Er verwies auf die Thonlager, welche unter Casamicciola in der Tiefe liegen und zur Fabrikation von Ziegeln und Töpferwaren durch eine Art unregelmässigen Bergbaubetriebes ausgebeutet werden. PALMIERI meint, dass hier im Laufe der Jahrhunderte der Boden ganz unterwühlt worden wäre und schliesslich die so gebildeten Hohlräume ganz oder theilweise eingestürzt seien. Erst in zweiter Linie denkt er ähnlich wie v. LASAULX an die Entstehung von Hohlräumen durch die heissen Quellen der Insel, welche unterirdische Auswaschungen hervorgebracht hätten.

Als Beweise für die Verursachung der Erdbeben von Ischia durch Einstürze werden die sehr geringe Ausdehnung und das plötzliche, durchaus unvermittelte Eintreten der Hauptstösse angeführt, welche bei anderen Erdbeben nicht vorkommen sollen. Wir haben indess gesehen, dass der Hauptstoss vom 28. Juli 1883 nicht unvorbereitet eintrat und insbesondere der Umstand, dass auf dem Monte Cito die früher schwachen Fumarolen in stärkere Thätigkeit getreten sind, zeigt, dass eine Zunahme der seismisch-vulkanischen Thätigkeit stattfand. Nach der Beobachtung des Capitäns SERPIERI war der Boden stellenweise so heiss, dass man einen Fuss unter der Oberfläche die Hand nicht auf die Erde legen konnte. Es trat also eine beträchtliche Erhöhung der Temperatur des Bodens ein, somit eine Erscheinung, welche durch einen Einsturz nur schwer erklärt werden kann.

¹ C. W. C. FUCHS: Die Insel Ischia, TSCHERMAK's mineralog. petrograph. Mitth. 1872. S. 199.

² A. v. LASAULX: Das Erdbeben von Ischia, HUMBOLDT 1882, Heft I. 1.

Was die von PALMIERI als Veranlassung eines solchen bezeichneten Thongruben anlangt, so ergab eine genaue Untersuchung derselben, welche von BALDACCI gegen Ende August 1883 vorgenommen wurde, dass diese Gruben, soweit ihre Mündung zugänglich war, im Innern keinerlei Einsturzerscheinungen darboten. Ueberhaupt erwiesen sich diese Ausgrabungen nicht als weit ausgedehnte Hohlräume, von denen ein Einsturz zu erwarten gewesen wäre, sondern als enge, unregelmässig gewundene Gänge, die, wenn einmal verlassen, sich im Laufe der Zeit wahrscheinlich von selbst in Folge der Plasticität des Thones wieder zusammenschliessen.

Die meisten Autoren, welche sich eingehender mit den Erdbeben von Ischia beschäftigten, haben den echt vulkanischen Charakter derselben anerkannt, so GUISCARDI,¹ LAVIS,² MERCALLI,³ DE ROSSI,⁴ anlässlich des Erdbebens vom 4. März 1881, welches PALMIERI einem unterirdischen Einsturze zuschrieb,⁵ in welcher Auffassung, wie wir oben gesehen haben, ihm auch v. LASAULX folgte. Nach der viel heftigeren Erschütterung vom 28. Juli 1883, welches eine sehr ausgedehnte Litteratur hervorrief, wurde die vulkanische Natur der Erdbeben von Ischia wohl allgemein anerkannt. Eine Monographie dieses Bebens vom Jahre 1883 hat G. MERCALLI geliefert. Dieselbe zerfällt in zwei Haupttheile, von welchen der erste der Schilderung der geologischen Verhältnisse, sowie der Erörterung der historischen Eruptionen, der Fumarolen und Mineralquellen und endlich der Aufzählung der früheren Erdbeben von Ischia gewidmet ist. In dem zweiten Theile der Abhandlung begegnen wir der eingehenden Erörterung des Bebens vom 28. Juli; es zerfällt dieselbe in folgende Abschnitte: 1. Geschichte des Erdbebens; 2. Einwirkung desselben auf den Boden, — Bergstürze — Fumarolen; 3. Elektrische Erscheinungen und Einwirkung des Erdbebens auf Menschen und Thiere; 4. Untersuchungen über das Centrum des Erdbebens, — Bestimmung des Epicentrums, Art der Fortpflanzung der seismischen Bewegung, Tiefe des Centrums; 5. Ursprung der Stösse, — sussultorische und undulatorische Stösse — rotatorische Bewegungen; 6. Untersuchungen über die Beschädigungen an Gebäuden; 7. vorhergehende Erscheinungen; 8. Wiederholungen; 9. Beziehungen des Erdbebens vom 28. Juli zu den endogenen Phänomenen anderer Theile Italiens; 10. Natur und Ursache der ischianer Erdbeben; 11. den Einwohnern ertheilte Rathschläge (bezüglich des Wiederaufbaues der zerstörten Orte. Wir werden in der nachfolgenden Darstellung im wesentlichen den Ausführungen MERCALLI's folgen, jedoch auf die abweichenden Meinungen anderer Autoren aufmerksam machen. MERCALLI's Abhand-

¹ Prof. GUISCARDI im Bericht der Commission der kön. Akademie zu Neapel.

² JOHNSTON LAVIS: Nature, 24. März 1881.

³ G. MERCALLI: I terremoti dell' Isola d'Ischia, Atti della Soc. Ital. di Sc. nat. vol. XXIV.

⁴ M. S. DE ROSSI: Il terremoto di Casamicciola, conferenza detta il 3 aprile alla Società Geografica.

⁵ Nota, letta nella seduta del 1^o aprile 1881 della R. Accademia di Napoli.

lung¹ enthält auch die Aufzählung der wichtigeren Veröffentlichungen aus Anlass des Erdbebens von 1883; der Arbeiten von BALDACCI,² FAZIO,³ GATTA,⁴ LAVIS,⁵ DE ROSSI,⁶ SERPIERI,⁷ sowie der Commissionsberichte, welche sich hauptsächlich auf die Art der Wiederherstellung der Gebäude auf Ischia beziehen.⁸

Die Insel Ischia hat die Form eines unregelmässigen Vierecks (siehe Fig. 45), ihr grösster ost-westlicher Durchmesser ist 9 Kilometer, der nord-südliche 6 Kilometer lang. In Mitte der Insel erhebt sich der Monte Epomeo zu einer Höhe von 792 Meter, er besteht aus tuffigen Schichten, welche älter sind als die übrigen vulkanischen Theile der Insel und bis zu 500 Meter Höhe Spuren von Meeresbildungen aufweisen, welche in Gestalt versteinерungsführender Thone auf den Tuffen des Epomeo lagern. Die eingeschlossenen Conchylien gehören noch heute im Mittelmeer lebenden Formen an. Es muss also die geologische Geschichte Ischia's mit submarinen Eruptionen begonnen haben, welchen später subaërische folgten. Nach DE ROSSI würde der Epomeo ähnlich wie der Vesuv von der Somma, von einem älteren Aufschüttungskegel umgeben sein, auf dessen Kraterrand der höhere Theil von Casamicciola liege, während Spuren dieses äusseren Kraters in der Gegend von Barrano und Serrara zu sehen seien.⁹ MERCALLI läugnet die Existenz eines solchen äusseren, der Somma des Vesuv vergleichbaren Kraterwalles. Er nimmt an, dass der Epomeo den ältesten Theil der Insel bilde, welcher zur Quartärzeit in einem Meere angeschüttet wurde, dessen Spuren an seinen Flanken bis zu 500 Meter Höhe verfolgt werden können. Der heutige Gipfel des Epomeo stellt nur den nördlichen und westlichen Theil des einstigen Kraters dar, dessen östlicher und südlicher grossentheils zerstört ist. Während der submarinen Thätigkeit des Epomeo sollen auf seiner Ostflanke die trachytischen Massen der Berge Trippiti, Vetta und Garofoli, sowie durch einen Seitenerguss die Berge Campagnano und Vezza entstanden sein, welche die Südostecke der Insel bilden. Auf einigen Punkten dieser Berge hat C. W. C. FUCHS marine Ablagerungen gefunden. Später

¹ G. MERCALLI: L'isola d'Ischia ed il terremoto del 28 luglio 1883, Mem. del R. Istituto Lombardo. Milano 1884.

² L. BALDACCI: Alcune osservazioni sol terremoto avvenuto all' isola d'Ischia il 28 luglio 1883, Boll. del R. comitato geol. 1883, 7—8.

³ E. FAZIO: Il terremoto del 28 luglio 1883.

⁴ L. GATTA: Nuova Antologia, del 1^o agosto 1883.

⁵ J. LAVIS: Notices on the earthquakes of Ischia of 1881 and 1883.

⁶ M. S. DE ROSSI: Relazione I, II, III. all' onorevole ministro Berti.

⁷ SERPIERI: Sul terremoto dell' isola d'Ischia, in „Rivista scientifico-industriale,“ settembre 1883, und „Rendiconti dell' Istituto Lombardo,“ gennaio 1884.

⁸ Relazione della Commissione del Collegio degli Ingegneri ed Architetti in Napoli; — Relazione della Commissione istituita dall' on. ministro Genala per le prescrizioni edilizie dell' isola d'Ischia.

⁹ M. S. DE ROSSI in dem Berichte über das Erdbeben vom 4. März 1881, Bull. del. Vulc. ital. 1881.

erfolgte, und zwar wahrscheinlich rasch, eine Erhebung der Insel. Die Thätigkeit des Epomeo verlegte sich auf den südwestlichen Theil derselben, es wurden die trachytischen Massen gebildet, aus welchen das Vorgebirge des Monte Imperatore und das Cap Sant' Angelo besteht. Die betreffenden Eruptionen mögen theilweise noch submarinen Ursprungs gewesen sein, denn auf den Tuffen und Trachyten des Monte Imperatore lagert bis 40 Meter Höhe ein Conglomerat mit Meeresconchylien, welche noch heute im Golfe von Neapel lebenden Formen angehören. Aehnliche Conglomerate mit Meeresconchylien finden sich aber auch bei Lacco und bei der Punta di Castiglione ungefähr 40 Meter über dem Meere und MERCALLI glaubt deshalb eine zweite kleinere Erhebung der Insel voraussetzen zu dürfen, welcher erst ihre gegenwärtige Höhenlage zuzuschreiben ist. Während der subaërischen Eruptionsperiode zeigte sich die vulkanische Thätigkeit hauptsächlich auf der nördlichen und östlichen Flanke des Epomeo. Im nördlichsten Theile der Insel entstanden durch ungeheure Trachytergüsse der Monte Marecocco und Monte Zale, im östlichen Theile wurde durch eine Seiteneruption der Berg Lo Toppo gebildet sowie die Tuffe und Laven gefördert, welche sich auf der Ostflanke des Epomeo ausdehnen. Die jüngsten Seiteneruptionen finden sich auf der Nordost-Seite des Epomeo, sie bilden die deutlichen Krater des Rotaro, Montagnone, Bagno und der Cremate. Der Lago del Bagno ist ein Kratersee, welcher dem Meeresstrande sehr nahe liegt, und jetzt in einen Hafen verwandelt ist, Rotaro und Montagnone sind die regelmässigsten und am besten erhaltenen Krater der Insel.

Ueber die historischen Eruptionen, deren Schauplatz Ischia gewesen sein soll, herrschen verschiedene Meinungen. An der Grenze von Sage und Geschichte stehen jene Ausbrüche, welche die Dichter des Alterthums, vor allem Pindar und Homer veranlasst haben, hierher den Untergang des Giganten Typhoeus zu verlegen, der unter Inarime begraben worden sein soll. Jedenfalls deutet diese Mythe darauf hin, dass noch vor den Ausbrüchen, von welchen Strabo berichtet, in grauer Vorzeit der Mensch Zeuge von Eruptionen auf Ischia gewesen ist. In Beziehung auf die historischen Ausbrüche weicht MERCALLI wesentlich von CHEVALLEY DE RIVAZ¹ und FUCHS ab, welche auf Grund der Berichte Strabo's zwei grosse Eruptionen annahmen, von welchen die erste, welche die Erythreer vertrieb, nicht lange vor der Zeit des Geron (478 bis 467 v. Chr.), die zweite gegen 470 v. Chr., wenige Jahre, nachdem die Syrakusaner sich auf der Insel festsetzten, sich ereignet hätte. In Beziehung auf den Zeitpunkt der ersteren stimmt MERCALLI allerdings mit FUCHS überein, aber er billigt die Gründe nicht, aus welchen dieser annimmt, dass damals die Krater des Montagnone und des Lago del Bagno gebildet worden seien. Die zweite Eruption aber hätte erst einige Zeit nach der Ansiedelung der

¹ CHEVALLEY DE RIVAZ: Description des eaux minéro-thermales de l'île d'Ischia — citirt in G. MERCALLI: L'isola d'Ischia etc. S. 7 (105).

Syrakusaner stattgefunden und sei wahrscheinlich dieselbe, welche Strabo als kurz vor der Zeit des Timaeus vorgefallen schildert. Diese Eruption wäre also ungefähr auf 400 v. Chr. zu setzen; und MERCALLI glaubt, dass sie in der Gegend von Lacco stattgehabt hätte. FUCHS hingegen hält die vor der Zeit des Timaeus stattgefundene Eruption für verschieden von jener, welche die Syrakusaner verjagte und glaubt, dass durch die erstere der Krater des Monte Rotaro entstand. Ferner meint MERCALLI, dass die Angabe des Julius Obsequens, wonach unter den Consuln L. Martius und Sextus Julius ein Feuerausbruch auf Aenaria stattgefunden hat und auf Grund deren CAPACCIO,¹ DE RIVAZ und FUCHS eine Eruption annehmen, welche auf Ischia im Jahre 91 v. Chr. eingetreten sei, diese Bedeutung nicht verdiene, denn der Wortlaut „Aenariae terrae hiatus flamma exorta in coelum emicuit“ könne erstlich ein blosses Austreten brennbarer Gasmengen aus einer Erdspalte bedeuten, dann erwähne kein anderer Schriftsteller, insbesondere weder Plinius noch Strabo dort, wo sie von früheren Ausbrüchen auf Ischia berichten, einen solchen, der sich wenige Jahre vor der Zeit zutrug, in welcher sie schrieben, endlich aber beziehe sich der Passus bei Julius Obsequens wahrscheinlich gar nicht auf Ischia (Aenaria), sondern auf Isernia (Aesernia).

Die drei Ausbrüche, welche G. C. CAPACCIO von Ischia unter Titus (79—81), unter Antonin (138—161) und unter Diocletian (284—305) namhaft macht, hält MERCALLI für sehr zweifelhaft, da es ihm nicht gelang, die Quellen zu finden, auf Grund deren CAPACCIO jene Ausbrüche anführt. Seither findet sich keine Erwähnung, weder von Erdbeben noch von Ausbrüchen auf Ischia, bis 1228 ein starkes, verheerendes Erdbeben und 1302 eine heftige Eruption eintrat. Bei der letzteren, welche die Lava des Arso-Stromes förderte, wurde auch eine grössere Menge von Auswürflingen ausgeschleudert, die jedoch nicht hinreichte, um einen vulkanischen Kegel von einiger Bedeutung zu bilden, sondern nur eine Art Wall um den Schlund bildeten, aus welchem die Eruption stattfand.

Ungeachtet einer gewissen Unsicherheit über die Zahl und die Zeit der älteren Eruptionen erkennen wir doch, dass die Eruptionen auf Ischia stets durch lange Zwischenzeiten völliger Unthätigkeit getrennt waren und vor jener von 1302 eine Ruhezeit von mehr als 1000 Jahren lag.

Ischia ist überaus reich an Fumarolen und heissen Mineralquellen. Die Bildung beider hängt offenbar mit der vulkanischen Natur der Insel zusammen. Von den Fumarolen sind besonders jene des Monte Cito von Interesse, welche auf einer Radialspalte des Monte Epomeo liegen. Die verlängerte Richtung derselben trifft aufwärts die Fumarole von Ignazio verde, abwärts die Mineralquellen der Rita und jene von Capitello bei Lacco. Die Fumarolen von Monte Cito sind seit langem thätig, sie haben aber in früherer Zeit viel geringere Thätigkeit gezeigt, auch ist ihre Temperatur seit 1795 zugleich mit der Heftigkeit der Erdbeben merklich

¹ G. C. CAPACCIO: La vera antichità di Pozzuoli, Roma 1652. S. 364.

gestiegen. THOMPSON fand 1795 die Temperatur der Fumarole von Monte Cito zu 94.37° ; BREISLAK besuchte sie 1796 und bestätigt, dass er keine sauren Dämpfe in ihr wahrnahm, COVELLI fand 1828 die Temperatur von 97.5° , SCACCHI 1840 bloß 89° C., JERVIS 1869 bereits 99.5° , Capitän GATTA im Juni 1883 und MERCALLI im September und November 1883 immer 100° C., und Letzterer fand auch bei seinen wiederholten Besuchen wechselnde Mengen von schwefeliger Säure in den Dämpfen. — Wir übergehen die Aufzählung der zahlreichen von MERCALLI namhaft gemachten Fumarolen und Mineralquellen und bemerken nur, dass BALDACCII aus der Vertheilung der heißen Quellen und Fumarolen das Vorhandensein von zwei Spalten (AB und CD in Fig. 45) abgeleitet hat, welche ungefähr in Ost-West- und Nord-Süd-Richtung Ischia durchziehen.

und sich gerade bei Casamicciola in jener Gegend schneiden, welche bei allen neueren Erdbeben auf Ischia die Rolle des Epicentrums gespielt hat. MERCALLI hält die Existenz dieser Spalten für nicht sehr wahrscheinlich, zumal die Ost-West-Spalte, welche von Forio über Casamicciola und Monte Rotaro zum Lago del Bagno geht, eine tangentielle Richtung gegenüber dem Kegel des Epomeo zeigt, welche a priori unwahrscheinlich sei, weil an Vulkankegeln meist Radialspalten entstehen. Nach MERCALLI liegen denn auch die meisten Fumarolen Ischia's auf solchen Radialspalten (wie wir oben bezüglich jener von Monte Cito gesehen haben) und es sind diese Spalten häufig dieselben, auf welchen Seiteneruptionen stattfanden. So stehen die Fumarolen von S. Lorenzo und Arbusto in Beziehung zu der Trachyteruption vom Monte Marecocco und Monte Zale, die Fumarolen von Castiglione und Caccinto mit dem Ausbruch des Trachytes des Monte Tabor u. s. w.

MERCALLI ist der Ansicht, dass die Mineralquellen Ischia's ihre Entstehung einem Eindringen grosser Mengen von Meerwasser in das Innere der Insel verdanken, welches auf Klüften und durch die Poren des Gesteins gegen den vulkanischen Herd wandere, dabei stark erhitzt und grossentheils in Dampf verwandelt wird. Dieser Dampf wird beim Emporsteigen im Gebirge allmählich abgekühlt, er condensirt sich und nährt



Fig. 45. Karte der Insel Ischia, A-B, C-D Verlauf der Spalten.

die heissen Mineralquellen. Wenn dies der Ursprung derselben ist, dann werden die enthaltenen Salze nach der Meinung MERCALLI's hauptsächlich aus dem Meerwasser und zum geringsten Theil aus dem Boden, welchen die Quellen durchlaufen, herrühren. Deshalb sei die Meinung PALMIERI's, welche dahin geht, dass die Mineralquellen Ischia's grosse Hohlräume im Boden erzeugen, welche einstürzend die Ursache von Erdbeben werden, eine irrige.

Von grossem Interesse sind die früheren Erdbeben Ischia's, welche MERCALLI sorgfältig zusammengestellt hat. Vor der Arso-Eruption vom Jahre 1302 wird nur ein grosses Erdbeben vom Jahre 1228 erwähnt, welches nicht von einer Eruption begleitet wurde. Damals wurde ein grosser Bergsturz an der nördlichen Flanke des Epomeo losgelöst, durch welchen 700 Menschen das Leben verloren. Von 1302 bis 1762 fand MERCALLI keine Berichte über Erdbeben auf Ischia, aber seither wiederholen sie sich mit einer erschreckenden Zunahme an Zahl und Intensität, wie aus der nachstehend auszugsweise wiedergegebenen Liste ersichtlich wird.

1762. Nach der Gazette de France vom 20.-23. August 1762 wurden auf Ischia, und zwar zu Casamicciola, 62 Stösse verspürt, von welchen einige heftiger waren und Schaden verursachten, der sich jedoch auf die Gebäude beschränkte und kein Menschenleben vernichtete.

1796. Um 5 $\frac{1}{2}$ Uhr Nachmittag des 18. März wurde Ischia von einem heftigen Stosse betroffen. In Casamicciola stürzten einige Häuser ein und begruben sieben Menschen unter ihren Trümmern.

1805. Das Erdbeben, welches am 26. Juli die Stadt Isernia in einen Schutthaufen verwandelte, wurde auch auf Ischia verspürt, ohne dort Schaden anzurichten.

1812. Gegen die Mitte September ein schwacher Stoss auf Ischia.

1827. Am 11. April eine heftige Erschütterung, welche die Richtung West-Nordwest — Süd-Südost hatte. Der Stoss war auf Ponza, woher er gekommen sein dürfte, heftiger. Während des Jahres 1827 wurden auf Ischia noch 13 andere schwache Stösse empfunden.

1828. Am 2. Februar um 10 $\frac{1}{4}$ Uhr Vormittags ein zerstörendes Erdbeben, dem eine starke unterirdische Detonation voranging. Zu Fango und im westlichen Theile von Casamicciola di sopra war die Erschütterung am heftigsten, viele Häuser stürzten ein und es gab 30 Todte und 50 Verwundete. In Laeco stürzten die Häuser nicht ein, bekamen aber viele Sprünge. Forio hat keinen Schaden gelitten, in der Stadt Ischia wurde der Stoss schwächer, auf Procida und dem Continent gar nicht gefühlt.

Am Morgen des 14. Februar wiederholte sich die Erschütterung und erzeugte neue Ruinen zu Casamicciola.

Andere weniger heftige Stösse ereigneten sich gegen Ende Juni und am 24. September.

1834. Einige Erdstösse zu Casamicciola.

1841. Um 1 Uhr Nachmittag des 6. März eine heftige Erschütterung von einigen Secunden Dauer, welche die Häuser von Casamicciola beschädigte, in den übrigen Theilen der Insel sich weniger fühlbar machte.

1851. Das zerstörende Beben, welches Melfi am 14. August um 2 Uhr 20 Minuten Nachmittags traf, wurde auf Ischia gefühlt ohne dort Schaden anzurichten.

1852. Am 7. Juni um 10 Uhr 35 Minuten Vormittags ein ziemlich starker Stoss, welcher 5 Secunden in Casamicciola, 4 Secunden in Lacco und 3 Secunden in Forio dauerte.

1863. Am 30. Januar ein starker Stoss zu Casamicciola, welcher einige Mauern zum Einstürzen brachte und Felsen vom Epomeo abstürzen liess. Die Fumarolen von Monte Cito gaben ungewöhnliche Mengen von Dampf. Der Stoss wurde leicht auf der ganzen Insel Ischia und auch auf Ventotene gefühlt.

Am 22. März wiederholte sich die Erschütterung zu Casamicciola.

Zwei weitere Stösse wurden zu Casamicciola am 29. April gefühlt. Auch diesmal zeigte die Fumarole von Monte Cito vermehrte Thätigkeit.

1864. In der Nacht vom 30. zum 31. October ein schwacher Stoss zu Forio.

1867. In der Nacht vom 15. zum 16. August verursachte ein starker Erdstoss einige Beschädigungen an den Häusern von Casamicciola. In den übrigen Theilen der Insel und zu Neapel wurde er nur schwach gefühlt.

1874. Am 23. Januar ein leichter Stoss in der Richtung NO.

1875. Am 13. Juli nach einer langen Detonation eine zuerst undulatorische, dann sussultorische Erschütterung in Casamicciola von drei Secunden Dauer. Es wurde kein Schaden angerichtet, in den übrigen Theilen der Insel war die Erschütterung viel schwächer.

1880. Am 24., 25., 26., 27. und 28. Juli wurden Erschütterungen auf Ischia verspürt, von welchen jene vom 25. um 4 Uhr Früh die stärkste war. Dieses Erdbeben scheint sein Centrum auf Ventotene (einer der Ponzainseln) gehabt zu haben, wo eine Kirche stark beschädigt wurde, oder vielleicht zwischen den Ponzainseln und Ischia. An den Fumarolen bei Forio sowie an einigen Mineralquellen sollen leichte Veränderungen bei diesem Erdbeben bemerkt worden sein.

1881. 4. März um 1 Uhr 5 Minuten Nachmittag jenes heftige Erdbeben, welches bereits Gegenstand der Schilderung (siehe S. 201) gewesen ist.

Wiederholungen dieses Bebens fanden statt am 6. und 7. März, in der Nacht vom 15. zum 16., am 17. und 27. März. Auch am 18. Juli erfolgten Erschütterungen zu Casamicciola und an benachbarten Orten. —

Die aufgezählten Erdbeben gehören offenbar zwei verschiedenen Arten an, einige wenige (jene von 1805 und 1851, sowie vielleicht jenes von 1880) haben ihren Erregungsort nicht auf der Insel selbst, sondern sind

anderweitigen Ursprungs; alle übrigen Beben sind autochthon und vulkanische Beben im engeren Sinne.

Das Erdbeben vom 28. Juli 1883 wurde bereits hinsichtlich seines beschränkten Verbreitungsgebietes und seiner heftigen Wirkungen besprochen (siehe S. 202), es bleibt daher nur wenig über die Erscheinungen nachzutragen, von welchen es begleitet wurde, ehe wir auf die Erörterung seiner Ursache näher eingehen. Wir wollen auch hierbei der Schilderung *MERCALLI'S* folgen, wenn wir es auch für überflüssig erachten, den Inhalt sämtlicher Abschnitte seiner Abhandlung eingehend zu erörtern. Der erste derselben schildert die Beobachtung der Erschütterung an den einzelnen Orten und enthält viele interessante Details. So erfahren wir, dass in Casamicciola selbst die Wirkung der Erschütterung eine sehr verschiedene war. In Casamenella und im ganzen westlichen Theile des Ortes, wo die Erschütterung am stärksten war, behaupteten die Einwohner, dass sie sich in Folge des momentanen Zusammensturzes der Häuser unter Ruinen befanden, bevor sie das Beben der Erde als solches fühlten. Der Verticalstoss war so plötzlich und heftig, dass ein Augenzeuge versicherte, es hätte ihm geschienen, als ob Casamicciola wie der Pfropf einer Champagnerflasche in die Luft gesprungen sei. Im östlichen Theile des Ortes machte sich die Erschütterung anders geltend, hier wurde eine etwas längere Dauer derselben wahrgenommen. Prof. E. *BOTTINI*, welcher sich im Moment der Katastrophe in dem hölzernen Theater nächst den Badeetablissemments befand, sagt, dass diese Dauer 15—16 Sekunden betragen habe und seine Wahrnehmungen deuten darauf hin, dass die Bewegung schwach wellenförmig begonnen habe und dann sussultorisch und heftiger wurde, bis endlich die Petroleumlampen, welche den Platz erhellten, von ihren Trägern herabsprangen. Ebenso bemerkte Prof. G. *PALMA*, der in geringer Entfernung von jenem Theater von einem Hause verschüttet wurde, aus dessen Ruinen er erst am Morgen des 29. Juli Befreiung fand, vor dem Einsturze des Hauses heftige Schwingungen, die verticale Bewegung wurde von ihm gar nicht wahrgenommen (wohl deshalb, weil mit ihr zugleich der Einsturz des Hauses erfolgte). An anderen, vom Epicentrum entfernteren Orten, wie in Panza, Testaccio, Ischia, wurde zuerst eine sussultorische, dann eine undulatorische Bewegung wahrgenommen. In Moropano waren die undulatorischen Bewegungen so stark, dass eine in Schwingung gerathene Hängelampe fast horizontale Lage einnahm. Fast alle Orte auf der Insel wurden mehr oder minder hart betroffen, nur in Ischia und Bagno wurde bis auf kleine Sprünge in etlichen Häusern kein Schaden angerichtet, immerhin war auch hier die Erschütterung noch sehr heftig, so dass z. B. der Bischof von Ischia aus dem Bette fiel. In Procida wurde das Erdbeben auf der ganzen Insel gefühlt, und erregte solchen Schrecken, dass fast alle Bewohner einige Tage unter freiem Himmel schliefen, doch wurde kein Schaden angerichtet, mit Ausnahme einiger kleiner Sprünge in den alten Mauern der Kirche des Straf-Bagno. Auf dem Continent wurde die

Erschütterung nur schwach verspürt. In Pozzuoli bemerkten sie nicht alle Personen, ein Herr hörte die Fenster klirren und die Hausglocke anschlagen. In Neapel wurde das Erdbeben nur von etlichen Personen wahrgenommen. Nach einer Mittheilung PALMIERI's verzeichnete der Seismograph der Universitätssternwarte zu Neapel am Abende des 28. Juli zwei kleine Erschütterungen, die erste schwächere von zwei Secunden Dauer um 9 Uhr 15 Minuten, die zweite etwas stärkere und längere um 9 Uhr 25 Minuten. Es waren wellenförmige Bewegungen in der Richtung Südwest-Nordost. Schwache Zuckungen wurden nach DE ROSSI auch von den Seismographen zu Ceccano, Velletri und Rom verzeichnet.

Im zweiten Abschnitte erörtert MERCALLI die Einwirkungen des Bebens auf den Boden. Zahlreiche Spalten entstanden und an mehreren Stellen bildeten sich Bergstürze und Abrutschungen. Die beiden grössten der letzteren bildeten sich auf der Nordwestseite des Epomeo über der Fango genannten Gegend. Die östlichere dieser beiden Abrutschungen liegt etwa 400 Meter westlich von Monte Cito. MERCALLI schätzt ihre Oberfläche auf 31 500 Quadratmeter und meint, dass auch die zweite, etwa 100 Meter weiter westlich gelegene eine ungefähr gleiche Ausdehnung besitze. Das Material dieser Rutschungen besteht aus dem Tuff des Epomeo, der jedoch hier durch die Thätigkeit der Fumarolen verändert und weiss oder roth gefärbt ist. Zahlreiche Spalten entstanden und manche blieben durch längere Zeit offen. In Bezug auf die Fumarolen hebt MERCALLI hervor, dass jene des Monte Cito, welche überhaupt ebenso wie die Erdbeben ihre Thätigkeit im Laufe der letzten Zeit steigerten, bei dem Erdbeben vom 28. Juli wesentlich an Intensität gewannen und dass ihr Dampf viel schwefelige Säure enthielt.

Der dritte Abschnitt berichtet von Lichterscheinungen, welche an mehreren Orten bei dem Erdbeben beobachtet wurden; wie gewöhnlich sind auch hier die Berichte zu unbestimmt, als dass Schlüsse in Bezug auf diese angeblich elektrischen Phänomene gezogen werden könnten. Immerhin ist die Zahl solcher Wahrnehmungen von Interesse, sowie der Umstand, dass ähnliche während des Erdbebens vom 13. Juli 1875 von einigen Personen gemacht wurden. In diesem Abschnitte werden auch — hauptsächlich auf Grund der Angaben des Doctor E. FAZIO — die physiologischen Einwirkungen auf den Menschen geschildert. Die Wirkung des plötzlichen Schreckens auf die psychischen Fähigkeiten war eine ausserordentliche. Die Antworten Jener, welche die Katastrophe überlebt hatten, waren unbestimmt und oft der Frage nicht entsprechend, die Erinnerung war getrübt und Manche konnten kaum einen Gedanken fassen. Wenige Fälle wirklichen Wahnsinnes kamen vor, aber fast allgemein war der Zustand genereller Hyperästhesie, zumeist unter den Frauen, bei welchen sich die fremdartigsten Formen der Hysterie zeigten. Auch einige Fälle plötzlichen Ergrauens der Haare wurden aufgezeichnet.¹

¹ E. FAZIO: Il tremuoto del 28 luglio 1883, S. 19, 22, 28 u. 35, — citirt in G. MERCALLI: L'Isola d'Ischia etc.

G. MERCALLI sagt, dass noch zu der Zeit, als er gegen Mitte September in Casamicciola weilte, aus dem Gesicht und dem Blick der armen Ueberlebenden, insbesondere der Frauen, Schreck und Betäubung zu ersehen waren. Andererseits berichtet er, dass ihm der Secretär des Bischofs erzählt habe, wie eine von Gicht geplagte Frau unmittelbar nach dem Erdbeben gesundete und ihre Heilung von Dauer gewesen sei, und wie ein des Gebrauchs der Füsse beraubter Venezianer im Augenblick des Erdbebens nicht blos gehen sondern sogar zur Meeresküste laufen konnte.

Bis zum fünften Tage nach der Katastrophe wurden Leute noch lebend aus dem Schutt hervorgezogen. Die beiden Vettern Pisani wurden noch lebend, der eine nach 111, der andere nach 116 Stunden ausgegraben. Unter den Thieren hielten die Schweine am längsten unter den Ruinen aus, ein solches wurde zu Forio noch lebend, wenn auch ziemlich abgemagert, hervorgezogen, nachdem es 14 Tage begraben gewesen. Einige Hühner wurden nach 12 Tagen noch lebend ausgegraben.¹

G. MERCALLI erörtert sodann die Lage des Centrums der Erschütterung vom 28. Juli, indem er der MALLET'schen Methode folgt. Er findet, dass die überwiegende Mehrzahl der Stossrichtungen gegen Casamenella auf einer Area zusammenläuft, welche von einer geschlossenen, stark zusammengedrückten Curve begrenzt wird. Die Gestalt und Lage dieses Epicentrums, welche letztere mit einem Halbmesser des grossen Kegels des Epomeo zusammenfalle, veranlasst ihn, zu glauben, dass das Centrum des Erdbebens in einer radialen Spalte dieses Vulkans zu suchen sei, in welche eine Lavainjection erfolgte. In Uebereinstimmung mit dieser Bestimmung des Epicentrums stehen nach MERCALLI folgende Thatsachen:

1) Die Lage des Epicentrums fällt mit jener Radialspalte zusammen, auf welcher die Fumarolen von Ignazio verde und Monte Cito, sowie die warmen Quellen von Rita und Capitello liegen.

2) In der Nähe von Casamenella begann das Beben mit einem überaus heftigen verticalen Stoss, wie er sich im Epicentrum zu ereignen pflegt, überdies wurden die schwachen Stösse und unterirdischen Geräusche (rombi), welche dem Hauptstosse vorhergingen, nur in dem höheren Theile von Casamicciola gefühlt.

3) Bei Casamenella ereigneten sich die bemerkenswerthesten Veränderungen des Bodens. Die Veränderungen der heissen Quellen im Valle del Gurgitello und zu Lacco waren nur vorübergehend, während die Verlängerung der Spalte und die Vermehrung der Thätigkeit der Fumarolen von Monte Cito dauernd blieben. Die grossen Abrutschungen liegen nur einige hundert Meter von Monte Cito.

4) In den, dem vorausgesetzten Centrum nahe gelegenen, bewohnten Orten, wie Casamicciola und Lacco bemerkte man nicht nur das Erdbeben-geräusch (rombo), sondern auch wahre unterirdische Detonationen, welche

¹ FAZIO, ebendasselbst S. 59.

einige dem Donner, andere der Explosion einer Mine, noch andere Schlägen auf ein ungeheures leeres Fass verglichen.

5) Die Wohnsitze in grösserer Nähe des angenommenen Epicentrums (Casamenella, Piazza Majo, Speziera, Penella, Casa Monte etc.) wurden am stärksten beschädigt, so dass man sagen kann, dass in ihnen fast alle Häuser nicht blos erschüttert wurden, sondern zusammenstürzten und buchstäblich nicht ein Stein auf dem andern blieb.

6) Prof. DE ROSSI und Dr. L. LAVIS fanden bei der Untersuchung des grossen Erdbebens vom 4. März 1881, dass dieses ebenfalls sein Centrum bei Casamenella hatte. Gleiches gilt auch von den Erschütterungen von 1796 und 1828. Die grosse Aehnlichkeit der Erdbeben vom Jahre 1796, von 1828 und 1881 mit jenem vom 28. Juli 1883 macht es sehr wahrscheinlich, dass sie alle denselben Ausgangspunkt hatten.

In Beziehung auf die Tiefe des Centrums des Erdbebens vom 28. Juli führt MERCALLI einige Daten an, welche auf eine sehr geringe Tiefe des Herdes schliessen lassen. Aus Sprüngen an Gebäuden wurden Emergenzwinkel der Stösse und aus diesen nach MALLET's Methode die Tiefe des Centrums abgeleitet.

Beobachtungsort:	Entfernung vom Epicentrum in Kilometern:	Emergenz- winkel:	Tiefe des Herdes:
Casamicciola marina (Casa Puoti u. Morgera)	1.200	45°	1.200
Casamicciola (bei Casa Antonio Pasquale)	1.000	45°	1.000
Forio (Kirche San Sebastiano)	2.500	15°	669
Fiajano (Haus bei Villa Baldini)	3.000	30°	1.732
Moropane (Haus des Küsters)	3.000	25°	1.399

Die mittlere Tiefe aus diesen fünf von MERCALLI als besonders berücksichtigenswerth angeführten Fällen ergibt 1200 Meter. So gering dieselbe im Vergleich mit den bei anderen Beben durch MALLET, SEEBACH und LASAULX ermittelten Tiefen erscheint, so glaubt MERCALLI doch, in Erwägung des vulkanischen Charakters des von ihm untersuchten Erdbebens, sowie im Hinblick auf die geringe Ausdehnung des Schüttergebietes, dass die Tiefe des Centrums des Bebens vom 28. Juli wahrscheinlich noch geringer war als 1200 Meter. So problematisch uns, aus an anderer Stelle (siehe S. 46 u. 47) angeführten Gründen überhaupt die Resultate der MALLET'schen Methode der Herdtiefenbestimmung scheinen, so wahrscheinlich ist es, dass die Beben von Ischia ihren Sitz wirklich in sehr geringer Tiefe haben.

In dem folgenden, fünften Abschnitt bespricht MERCALLI die Ursache der sussultorischen und undulatorischen Erschütterungen, führt die Verschiedenheit der Richtung der letzteren auf Zerlegung und Ablenkung der ursprünglichen Bewegung zurück und erörtert die vorgekommenen Fälle rotatorischer Bewegungen. Der sechste Abschnitt ist der Untersuchung der mechanischen Einwirkungen der Erschütterung auf die Gebäude gewidmet, der siebente behandelt die dem Hauptstosse vorangegangenen Erscheinungen, der achte die demselben folgenden Erschütterungen. Unter

den letzteren verdient insbesondere jene um 2¹/₄ Uhr Nachmittags vom 3. August Erwähnung. M. S. DE ROSSI berichtet, dass ein Officier, der eine Abtheilung Soldaten in der Nähe von Monte Cito befehligte, zugleich mit dem Stosse eine so heftige Dampfausströmung der Fumarole wahrnahm, dass er eine Eruption befürchtete und den Soldaten befahl, sich im Laufschrift zu entfernen. Durch diesen Stoss wurden die Ruinen vergrößert, in Forio stürzte ein Haus ein, welches zwei Frauen begrub, die dann zwar verwundet aber lebend aus dem Schutte gezogen wurden. Auch weit vom Centrum, so zu Fiajano, Barano und Fontana entstanden durch diesen Stoss neue Sprünge und neue Beschädigungen der Häuser. Dieser heftige Stoss vom 3. August wurde auch vom Seismographen des Observatoriums auf dem Vesuv um 2 Uhr 14 Minuten Nachmittags verzeichnet.

Im neunten Abschnitte erörtert MERCALLI die Beziehungen des Erdbebens vom 28. Juli zu den endogenen Phänomenen anderer Theile Italiens. Er findet einige bemerkenswerthe Coincidenzfälle nicht allein zwischen dem Erdbeben vom 28. Juli, sondern auch zwischen früheren Erschütterungen, welche ihren Herd auf der Insel selbst hatten, mit anderen Phänomenen: Die Erdbeben Ischia's vom 28. Juli 1883, 4. März 1881, 2. Februar 1828, 11. April 1827 ereigneten sich, wenn der Vesuv in gemässiger Thätigkeit (fase stromboliana) war und der Aetna in, wenn auch nicht vollkommener Ruhe. — Die Insel Chios wurde von einer Erdbebenkatastrophe einen Monat nach dem 4. März 1881 und zweieinhalb Monate nach dem 28. Juli 1883 getroffen. — In Calabrien wurden Erderschütterungen 10 Tage vor dem Erdbeben von Ischia vom 30. Januar 1863, zwei Tage vor jenem vom 4. März 1881 und drei Tage vor jenem vom 28. Juli 1883 verspürt und in der Capitanata wurden solche wenige Tage vor dem Erdbeben von Ischia von 1762 und wenige Stunden vor jenem vom 2. Februar 1828 wahrgenommen. MERCALLI meint, dass man zwar keine freie Communication der Lavamasse zwischen dem seismisch-vulkanischen Herde des Epomeo und jenen der anderen Vulkane Italiens annehmen dürfe. Die Coincidenzfälle zwischen Ischia und anderen Theilen Italiens wären seiner Ansicht nach dadurch zu erklären, dass ein Zusammenhang zwischen den seismisch-vulkanischen Herden Italiens insofern bestünde, als sie von demselben System unterirdischer Sprünge abhingen, auf welchem unterirdische Circulation von Wärme und Wasserdampf stattfände. An anderer Stelle, in dem Abschnitte, welcher die „Relaisbeben“ behandelt, werden wir darauf zurückkommen, dass sich solche Beziehungen, wie sie MERCALLI hier erörtert, auf andere und weniger problematische Weise erklären lassen.

Der zehnte Abschnitt der Abhandlung MERCALLI's handelt von der Natur und Ursache des Erdbebens vom 28. Juli 1883. Die grossen Erdbeben vom Jahre 1796, 1828, 1881 und 1883 hatten grosse Uebereinstimmung in allen ihren Erscheinungen mit Ausnahme der Stärke, welche sich rapid steigerte. Sie hatten denselben Ausgangsort, von welchem

sie sich nach allen Richtungen, aber nur auf einen sehr beschränkten Raum verbreiteten. Es waren vulkanische Beben im engeren Sinne, wie sie sich oft auf den Flanken des Aetna ereignen. Dafür sprechen folgende Thatsachen:

1) Diese Erdbeben hatten ihr Centrum auf der Flanke des Epomeo, welcher ein noch thätiger Vulkan ist, dessen Ausbrüche in sehr langen Intervallen erfolgen.

2) Die Gestalt des Epicentrums: einer gestreckten Ellipse, deren grosse Achse mit einem Radius des Epomeokegels zusammenfällt, veranlasst die Annahme, dass dasselbe mit einem Radialsprunge des Vulkans zusammenhängt, zumal auf derselben Radiallinie die Fumarolen des Monte Cito, von Ignazio verde und die warmen Quellen von Rita und Capitello liegen.

3) Die Veränderungen der Fumarolen und der Thermen, welche den Erdbeben von 1828, 1881 und 1883 vorangingen oder folgten, zeigen, dass diese Phänomene von derselben Ursache abhängen, wie die Erdbeben.

4) Die geringe Tiefe des Herdes und die im Verhältniss zur so sehr beschränkten Area des Schüttergebietes so heftige Wirkung dieser Erdbeben macht dieselben den vulkanischen Beben ähnlich, welche, wenn auch zuweilen verderblich, doch auf eine scharf umschriebene, wenig ausgedehnte Area beschränkt sind. — MERCALLI erinnert mit Recht daran, dass die Beben von Ischia durch ihre Verbreitung grosse Aehnlichkeit mit den heftigen Erschütterungen zeigen, welche die Südost-Flanke des Aetna in den Jahren 1633, 1634, 1669, 1865, 1875, 1879 etc. trafen. Am 18.—19. Juli 1865 wurde das Dorf Fondo di Macchia von einem heftigen Erdbeben betroffen, während die nur wenig über einen Kilometer entfernte Gegend von Macchia sehr wenig litt.¹

Wir müssen MERCALLI beipflichten, wenn er behauptet, dass die grossen Beben von Ischia vulkanischen Ursprungs sind und nicht besser bezeichnet werden können denn als vergebliche Ausbruchversuche (*veritativi falliti di eruzione*).

Im elften Abschnitte giebt MERCALLI practische Rathschläge, er widerräth die Wiederaufrichtung der am meisten beschädigten Siedelungen,

¹ Ueber dieses, als Beispiel eines echt vulkanischen Bebens auf der Flanke eines Vulkans, bemerkenswerthe Erdbeben sagt C. W. C. FUCHS in seiner Statistik der Erdbeben von 1865—1885 (92. Bd. d. Sitzber. d. Akad. d. Wiss. Wien 1886, S. 213 [427]: „19. Juli. Heftige Erdbeben in der Umgebung des Aetna bis Catania. Bedeutende Verwüstungen wurden dadurch in Giarre bei Catania hervorgerufen, wobei mehrere Menschen verunglückten. Um 2 Uhr Morgens war das Erdbeben bei Giarre und Acireale schwach, in Fondo Macchia, Rondinella, St. Severina aber so heftig, dass 200 Häuser zerstört wurden. Die heftigste Erschütterung bildete einen Streifen von NW nach SO, vom Fusse des Monte Muscarello bis zum Meere, 15 Kilometer lang und 1 Kilometer breit. Fondo Macchia scheint das Centrum gewesen zu sein, und ausserhalb dieses Streifens war das Beben schwach. Auch ein Stoss um 7 Uhr Morgens verursachte grossen Schaden in Faggio, Linera, Mangano u. s. w.“

warnt vor den allzuhohen Gebäuden, rath zu Bauten aus Holz an den gefährdeten Stellen, zur Vermeidung der aus lockeren Tuffen bestehenden Höhen und zur Aufsuchung der trachytischen Massen als sicheren Untergrundes, endlich warnt er vor der Errichtung der Wohnstätten unmittelbar an der Meeresküste, weil häufig Erdbeben von heftigen Schwankungen der See begleitet wurden, die sich an der Küste verderbenbringend geltend machten.

Im Schlusswort macht MERCALLI darauf aufmerksam, dass alle grösseren Erdbeben Ischia's seit 1762 dasselbe Centrum hatten, welches in geringer Tiefe bei Casa Menella liegt. Diess lässt vermuthen, dass alle diese Erdbeben Eruptionsversuche der Magmamassen des Epomeo sind, welche eine Radialklufft bei Casa Menella aufzureissen beginnen, und lässt fürchten, dass die 1762 begonnene seismische Periode, welche mit einem schrecklichen Crescendo bis zur Gegenwart fortdauert, nicht früher aufhören wird, bis der vulkanische Herd des Epomeo sich mit einer Eruption geöffnet hat, welche, wenn sie in der That eintritt, wahrscheinlich längs der Spalte vom Monte Cito zur Rita erfolgen wird. Diese Annahme wird insbesondere durch die Thatsache veranlasst, dass vor 1762 die Geschichte keine Erdbeben auf Ischia berichtet, welche nicht von Eruptionen begleitet gewesen wären. Der Zeitpunkt eines künftigen Erdbebens oder einer Eruption lässt sich aber nicht voraussagen — er könne nach wenigen Tagen — oder nach Jahrhunderten eintreten.

Erdbeben, welche von einem in kurzen Intervallen thätigen Feuerberge wie Vesuv und Aetna ausgehen, sind eine alltägliche Erscheinung; in einem vulkanischen Gebiete, welches so selten durch Eruptionen bekundet, dass es noch nicht zu den erloschenen gehört, wie die phlegräischen Felder und Ischia, ereignen sich auch Erderschütterungen seltener, sie leiten dort in der Regel die Eruptionen ein, welche in so langen Zwischenräumen auftreten. Aber auch in anscheinend längst erloschenen Vulkangebieten ereignen sich Erschütterungen, welche ganz denselben Charakter besitzen, wie jene an thätigen Vulkanen, von welchen wir einige Beispiele betrachtet haben. In Italien liegen zahlreiche alte Vulkane, von welchen zuweilen Erschütterungen ausgehen, welche durch die enge Begrenzung ihres Gebietes, sowie durch die vergleichsweise grosse Heftigkeit der Stösse charakterisirt sind. So stellen beispielsweise das Albaner Gebirge bei Rom sowie der Monte Vultur bei Melfi habituelle Schüttergebiete von vulkanischem Charakter dar.

In beiden Fällen handelt es sich aber um Vulkane, deren Thätigkeit nicht so weit hinter der Gegenwart liegt, wie jene des Kaiserstuhles bei Freiburg im Breisgau. Die Gruppe tertiärer Vulkanruinen, welche sich im Kaiserstuhle aus der Rheinebene erhebt, war zu wiederholten Malen Ausgangspunkt von Erdbeben von sehr beschränktem Schüttergebiet. Am 21. Mai 1882 wurde in einem Umkreise von nur 9 Kilometern ein einzelner schwacher Stoss gefühlt. In einem Vortrage, welchen Hofrath Dr. KNOP in der Sitzung des naturwissenschaftlichen Vereines zu Karlsruhe

am 7. Juli desselben Jahres über dieses Erdbeben hielt, theilte derselbe mit, dass sich auf Grund genauer Erhebungen der Umfang des Erschütterungsgebietes genau übersehen lasse. Der von demselben eingenommene Kreis erscheine nach einer Richtung hin, und zwar nach Südwest hin, deformirt, als ob die Erschütterung hier gewissermaassen nach Neubreisach und der näheren Umgebung dieses Ortes eine Brücke gefunden hätte. KNOP führt diesen Umstand auf die geologischen Verhältnisse der Gegend zurück. Der südwestliche Fuss des Kaiserstuhlgebirges ist, wie dessen schroffe Abhänge gegen den Rhein zu beweisen, bis zu einer verhältnissmässig geringen Tiefe von diesem Strome ausgenagt und fortgeführt und von einer geringmächtigen Geschiebedecke überlagert worden, welche der Fortpflanzung der Erschütterungen einen geringeren Widerstand entgegengesetzt, als die weit mächtigeren Geröllablagerungen der übrigen Regionen der diluvialen Rheinebene. Diese Auffassung findet eine Bestätigung in der Auffindung anstehenden vulkanischen Gesteins bei 70 Fuss Tiefe im Flussbette des Rheines bei der Fundamentirung der Pfeiler der Eisenbahnbrücke bei Altbreisach. Von besonderer Bedeutung erscheint in dieser Richtung auch eine von Oberbaurath STERNBERG gemachte Bemerkung, die er in seiner „Untersuchung über Längen- und Querprofil Geschiebeführender Flüsse“ (Zeitschrift für Bauwesen, Jahrgang XXV, S. 483 u. f.) mit Beziehung auf den Rhein zwischen Hünningen und Mannheim ausspricht, dass nämlich die ideale Curve des Längenprofils dieses Stromes bei Breisach eine Discontinuität wahrnehmen lässt, welche als Brechung des Gefälles ihren Grund in noch nicht vollständig durchbrochenem Felsgebirge haben könne. Im Allgemeinen lässt sich nach KNOP aus der Verbreitungsform des Erdbebens vom 21. Mai der Schluss ziehen, dass die Ursachen desselben im vulkanischen Gesteinskörper dieses Gebirges zu suchen sind.¹

M. NEUMAYR führt das Beben vom 21. Mai 1882 unter den echt vulkanischen an.² Er hebt gegenüber der PALMIERI'schen Hypothese, nach welcher die Erdbeben von Ischia auf Einstürze zurückzuführen wären, die Beobachtungen BALDACCI's und SERPIERI's an, welche auf die vulkanische Natur des Bebens vom 28. Juli 1883 Bezug haben und fährt fort: „Von anderer Seite, namentlich DE ROSSI, SERPIERI und SUSS wurde darauf hingewiesen, dass weder das plötzliche Eintreten der Stösse noch die enge räumliche Begrenzung eine vollständig ausnahmsweise Erscheinung bei Erdbeben, sondern (und namentlich die letztere) eine Eigenthümlichkeit der Gebiete thätiger oder erloschener Vulkane sei. Der Vultur bei Melfi, das Albanergebirge bei Rom und viele andere liessen räumlich sehr beschränkte Erschütterungen beobachten, und erst in neuester Zeit hat uns KNOP mit einem ähnlichen Beben bekannt gemacht, das seinen Ausgangspunkt vom Kaiserstuhle genommen hat, jener schönen

¹ Beilage zu Nr. 176 der Karlsruher Zeitung vom 27. Juli 1882.

² M. NEUMAYR: Erdgeschichte, Bd. I. S. 275.

Gruppe tertiärer Vulkanruinen, welche bei Freiburg im Breisgau sich aus der Rheinebene erheben. Am 21. Mai 1882 wurde hier um 4 Uhr 40 Minuten ein ganz vereinzelter Stoss gefühlt, glücklicherweise von sehr geringer Heftigkeit, der nur in einem Umkreise von etwa 9 Kilometern bemerkbar war und nur nach einer Richtung sich etwas weiter erstreckte, nämlich südwestlich gegen Neubreisach, in einer Richtung, in welcher verschiedenen Anzeichen zufolge, eine Fortsetzung der vulkanischen Gesteine unter der Decke der jüngeren Bildungen des Rheinthaales wahrscheinlich ist.“

Der Kaiserstuhl ist seither abermals Sitz eines Bebens von gleichfalls sehr beschränktem, immerhin aber etwas grösserem Verbreitungsgebiet gewesen; welches sich auch durch Lage und Gestalt wesentlich von jenem des 21. Mai 1882 unterscheidet. Auch dieses spätere Beben vom 24. Juni 1884 wurde von Hofrath Dr. A. KNOP zum Gegenstand genauer Untersuchung gemacht. Positive Nachrichten über die Wahrnehmung der Erschütterungen wurden aus folgenden Orten erhalten: Aus Baden von Achkarren, Bischoffingen, Birkensohl, Bötzingen, Burkheim, Eichstetten, Forchheim, Gottenheim, Herbolzheim, Jechtingen, Ihringen, Kenzingen, Kiechlingsbergen, Malterdingen, Oberhausen bei Emmendingen, Oberrothweil, Riegel, Sasbach, Schelingen, Weisweil, Wyhl; aus dem Elsass von Arzenheim, Markkirch, Markolsheim, Schönau. Negative Nachrichten gingen ein aus Baden von Breisach, Emmendingen und Ettenheim und aus dem Elsass von Altbreisach, Colmar und Schlettstadt. Das Beben verursachte nirgends Beschädigungen, wurde jedoch überall als ein recht heftiges Erzittern, das auch einzelne Gegenstände in Bewegung zu setzen vermochte, wahrgenommen. An einzelnen Orten wurden zwei Stösse, beide von unterirdischem Geräusche begleitet, — an anderen Punkten nur eine einzige Erschütterung wahrgenommen. Von den einzelnen Berichten mögen nur zwei hier angeführt sein, welche weitergehendes Interesse besitzen, da der eine die Abhängigkeit der Erdbebenwirkung vom Untergrund neuerdings bestätigt, der andere beweist, dass am 24. Juni 1884 Abends im Kaiserstuhl zwei durch ein Intervall von ungefähr drei Viertelstunden getrennte Stösse vorkamen. Nach den durch Hofrath KNOP in Sasbach am Rhein persönlich gesammelten Notizen wurde das Erdbeben daselbst deutlich von einer grösseren Anzahl der Ortsbewohner beobachtet, besonders deutlich aber auf einer Strecke am Ufer des Altrheins hin, zwischen dem basaltischen Eichert und der ebenfalls basaltischen Limburg und dem Lützelberge, während es im östlichen Theile des auf Rheinkies überhaupt gelegenen Ortes, nach Königsschaffhausen hin sich rasch abgedämpft zeigte. Zu SCHELINGEN im Kaiserstuhl wurden zwei Stösse bemerkt, der erste 7 $\frac{1}{2}$ Uhr, der zweite 8 Uhr 18 Minuten nach der Bahnuhr. Das Zittern des Bodens war von einem dumpfen Geräusch begleitet, ähnlich dem Donner eines entfernten Gewitters. Die Richtung des Stosses schien von Nordost nach Südwest gerichtet zu sein. Während dessen kurzer, wenige Secunden betragender Dauer geriethen Möbel ins Schwanken, so

dass in Schränken aufbewahrte Gläser und Geschirr klirrten, wie auch die Fenster. Der unterirdische Donner wurde nach dem Stosse gehört, beim zweiten Stosse schwächer, als beim ersten. —

Ueber den Charakter dieses Erdbebens äussert sich A. KNOP folgendermaassen: „Am Schlusse unserer Mittheilungen über das Erdbeben im Kaiserstuhl vom 21. Mai 1882 (vergl. Beiträge zur Naturw. Chronik des Grossh. Baden für 1881 und 1882, Verhandl. des Karlsruher Naturwissenschaftlichen Vereines) wurde gesagt: „Von Interesse wird es sein, bei ferneren Wiederholungen von Erdbeben in dieser Gegend zu erkennen, ob das Centrum derselben unverändert bleibt oder ob dessen Lage sich ändert?“ Eine theilweise Beantwortung dieser Frage hat sich im Verlaufe einer unerwartet kurzen Zeit vollzogen. Auf beigegebener Karte ist das Erschütterungsgebiet vom 21. Mai 1882 mit einer rothen Linie umzogen. Es umfasst etwa $\frac{3}{4}$ des Gebietes des vulkanischen Gebirges mit einer südwestlichen Ausbauchung nach Altbreisach hinzu, welche vermuthen lässt, dass die Wurzeln des Vulkans nach dieser Richtung sich unter dem Rheinkies ausdehnen. Das Gebiet der neueren Erschütterungen vom 24. Juni 1884 ist auf der Karte mit einer unterbrochenen rothen Linie umzogen. Wenn man auch das wohl vielverzweigte Wurzelwerk des vulkanischen Kaiserstuhles in unerforschten Tiefen bezüglich seiner Wirkungen auf die Ausbreitungsformen von Erschütterungswellen nicht mit Sicherheit beurtheilen kann, so erkennt man doch an den Symptomen, dass das Centrum des Erschütterungsgebietes vom Himmelberge aus weiter nach Norden gerückt ist, in die nähere Umgebung von Königschaffhausen, dass dabei aber auch die Anlage zur Kreisform, wie sie im Erdbeben vom 21. Mai 1882, bis auf die gegen Neubreisach gerichtete Ausstülpung zu beobachten war, in eine elliptische übergeführt worden ist, mit einer grössten Achse in der Richtung der Medianebene des Rheinthales. Es schmiegen sich demnach die neueren Erdbebenwirkungen denjenigen an, welche im Allgemeinen als Längsbeben im Rheinthale bekannt sind, und bekrunden damit wiederum, dass die Rheinischen Erdbeben als sog. tektonische oder Strukturbeben aufzufassen sind.“¹

Diese Ausführungen stehen indes wenig im Einklang mit den Wahrnehmungen, welche bei einem dritten Erdbeben im Kaiserstuhl am 3. Januar 1886 gemacht wurden. Auch diesmal war die Verbreitung der Erschütterung sehr beschränkt. Positive Nachrichten wurden gesammelt von folgenden Orten: Amaltern, Bahlingen, Bischoffingen, Endingen, Forchheim, Hecklingen, Heimbach, Kenzingen, Ködringen, Königschaffhausen, Leiselheim, Malterdingen, Oberrothweil, Riegel, Sasbach, Schelingen, Weissweil, Wyhl; unsichere Nachrichten von Bleichheim und Wagenstadt, negative Berichte liefen ein aus Bombach, Broggingen, Herbolzheim, Nord-

¹ Mittheilungen der Erdbeben-Commission des Naturwissenschaftlichen Vereines zu Karlsruhe — Verhandlungen des Naturwissensch. Vereines zu Karlsruhe, X. Bd 1883—1888, S. 47.

weil. Die Zeit des Eintrittes der Erschütterung (gegen 3 Uhr Morgens) war der Beobachtung nicht günstig, demungeachtet wurde an den genannten Orten dieselbe zumeist deutlich wahrgenommen. Gegenstände wurden bewegt, Bettstellen verschoben, schlafende Personen erwachten, Geschirr fiel von den Möbeln u. s. w. Fast allgemein wurde ein sehr starkes, donnerähnliches Rollen vor dem Erdbeben gehört, manche Personen wollen auch nur das erstere und gar keine Erschütterung verspürt haben. Auf der den Mittheilungen der Erdbeben-Commission des naturw. Vereins zu Karlsruhe beigegebenen Uebersichtskarte der Erdbeben im badischen Oberlande und im Elsass im Jahre 1886 ist das Verbreitungsgebiet dieses Bebens vom 3. Januar 1886 in Gestalt einer gestreckten Ellipse ersichtlich gemacht, deren grosse Achse von WSW gegen ONO gerichtet ist, also mit dem Rheinthal einen grossen Winkel bildet. Es scheint also wenig wahrscheinlich, dass jene Ansicht, welche von KNOP anlässlich seiner Untersuchung des Bebens vom 24. Juni 1884 ausgesprochen hat, zur Erklärung der seismischen Erscheinungen des Kaiserstuhles hinreicht. Würde das Erdbeben vom 3. Januar 1886 nicht zu einer Stunde stattgefunden haben, welche seine genauere Beobachtung so sehr erschwerte, so würde dessen Untersuchung vielleicht schon sicherere Resultate in Bezug auf die Burtheilung des Charakters der seismischen Verhältnisse des Kaiserstuhles geliefert haben. Sehr auffallend ist, dass bei der geringen Ausdehnung des ganzen Gebietes jede der drei Erschütterungen, welche binnen vier Jahren (1882—1886) im Kaiserstuhl wahrgenommen wurden, einen anderen Ausgangspunkt und eine abweichende Verbreitung gehabt zu haben scheint. Immerhin hatte jede derselben ihr Centrum innerhalb des Kaiserstuhles. In den beiden späteren Fällen erreichten die Bewegungen des Bodens noch den Fuss des Schwarzwaldes in der Gegend bei Kenzingen. Der möglichst genauen Untersuchung künftiger Beben, welche in dem habituellen Stossgebiete des Kaiserstuhles keinesfalls ausbleiben werden, muss es anheimgestellt werden, volle Klarheit über die Natur der seismischen Erscheinungen zu bringen, welche schon heute zwar mit grosser Wahrscheinlichkeit aber noch nicht mit Gewissheit als echt vulkanische bezeichnet werden können.

Immerhin muss auch die Möglichkeit zugegeben werden, dass wir es trotz aller auffallenden Erscheinungen, welche die Beben des Kaiserstuhles darbieten, dennoch blos mit tektonischen Rheinthalbeben zu thun haben, welche lediglich durch die eigenthümlichen Bodenverhältnisse zu Erscheinungen werden, welche anscheinend mit der vulkanischen Natur des Kaiserstuhles zusammenhängen. Die eigenthümliche Begrenzung und geringe Verbreitung der jeweiligen Schüttergebiete wäre dann dadurch zu erklären, dass die Erschütterung, die durch einen tektonischen Vorgang, durch eine Dislocation im inneren Felsgerüste verursacht wurde, sich nur dort an der Oberfläche bemerkbar gemacht hätte, wo die Vulkanruinen des Kaiserstuhles als festere Gesteinsmassen aus der Ebene des Rheinthales emporragen, während in dieser selbst die jüngeren Bildungen des Schwemm-

landes wie in so vielen ähnlichen Fällen, die Erschütterungen in ihrer Fortpflanzung gehemmt und selbst ganz unfühlbar gemacht hätten.

Wie dem auch sei, wir müssen unter allen Umständen der Schwierigkeit gedenken, in solchen Gebieten der längst erloschenen vulkanischen Thätigkeit seismische Erscheinungen mit Sicherheit als letzte Zuckungen jener Kräfte zu erkennen, welche daselbst einst viel gewaltigere Leistungen aufzuweisen hatten. In diesem Sinne sei daran erinnert, dass nach v. LASAULX auch die nicht selten in der Eifel auftretenden Erdbeben keineswegs als vulkanische betrachtet werden dürfen. „Die Erdbeben,“ sagt v. LASAULX, „die nicht selten die Gebiete der alten Krater in der vulkanischen Eifel und die Umgebung des Laacher See's betroffen haben, sind meist nur mit Unrecht zu diesen in genetische Beziehung gebracht worden. Sie strahlten ihre Bewegung von auswärts in diesen vulkanischen Kreis hinein; aber ihr Centrum lag vielleicht in keinem einzigen Falle wirklich auch in einem vulkanischen Centrum. Es waren Rheinthalbeben, die dort fühlbar wurden. Sorgsame Feststellung der beobachteten Stossrichtung und kritische Erwägung der ganzen Erscheinungsweise muss auch für vulkanische Gegenden erst die vulkanische Entstehung der Erdbeben nachzuweisen versuchen.“¹

Diesen Worten v. LASAULX müssen wir unbedingt beistimmen, zumal wir noch vielfach Gelegenheit haben werden, zu sehen, wie schwierig in manchen Gegenden durch verschiedene Ursachen herbeigeführte Erschütterungen in ihrer Wesenheit erkannt werden können. Nur die eingehendste Untersuchung der Erscheinungen der einzelnen Erdbeben und die Vergleichung der gewonnenen Daten mit dem geologischen Bau und der Beschaffenheit der betreffenden Gegend kann die Frage nach der Ursache der Erschütterungen beantworten.

¹ A. v. LASAULX: Die Erdbeben, KENNGOTT'S Handwörterbuch der Mineralogie etc. Bd. I. S. 359.

Fünfter Abschnitt.

Einsturzbeben.

Beispiele von Einstürzen in Bergwerken: Krugschacht zu Königshütte in Oberschlesien, Altenberg im sächsischen Erzgebirge; — Einsturz natürlicher Hohlräume. BISCHOF's Ausführungen über die unterirdischen Auswaschungen im Kalkgebirge und in Gypslagern und die dadurch verursachten Einstürze; VOLGER's „Hohlschichten,“ Einsturzhypothese bei MOHR und MARENZI; — Häufigkeit der Einstürze im höhlenreichen Karst, Ansichten v. MOJSISOVIC'S und TIETZE's über die Karstbildung, Detonationsphänomen von Meleda 1822—1826 und vom Monte Tomatico bei Feltre 1851; Erdbeben von Gross-Gerau 1869—70; Einsturzbeben in der Bodensee-Mulde 1881—1886; — Allzuweite Ausdehnung der Einsturztheorie, VOLGER's Ansichten über die Erdbeben in Wallis, über das Beben von Lissabon. A. v. LASAULX's Auffassung der Beben von Ischia und der im Jordanthale häufig vorkommenden Erschütterungen als Einsturzbeben. Geringe Bedeutung der Einstürze als Ursache von Erschütterungen.

Wir haben bereits an früherer Stelle Gelegenheit gehabt, zu sehen, dass der Einsturz künstlich geschaffener Hohlräume im Erdboden Erschütterungen erzeugt, welche vollkommen den Charakter natürlicher Erdbeben tragen. Der im Jahre 1875 erfolgte Einsturz der abgebauten Glocke des Krugschachtes zu Königshütte in Oberschlesien erzeugte eine mit heftiger Detonation verbundene Erschütterung, die in einem Umkreise von fast einer Stunde deutlich als Erbeben des Bodens und dumpfer Donner wahrgenommen wurde. Die einzelnen Erscheinungen waren (wie S. 33 gezeigt wurde) dieselben wie bei einem Erdbeben. Es sei gestattet, noch ein weiteres Beispiel für durch Grubenbau verursachte Einstürze und Bodenerschütterungen anzuführen. E. REYER erzählt über den Zinnbergbau zu Altenberg im sächsischen Erzgebirge folgendes: „Im Jahre 1458 soll ein Köhler, welcher seinen Meiler auf der Zinnkluft gebaut hatte, beim Ausstossen des Meilers Zinn gefunden haben. Dies hätte den Anstoss zum Aufkommen von Altenberg gegeben, welches nach Bericht des Pirnaer Mönches rasch bis auf einige hundert Häuser angewachsen sein soll. Die ersten Gewerken waren zum Theile Graupner, zum Theile

Freiberger. Rasch blühte der Ort auf unter fortwährendem Zuströmen auswärtiger Bergleute. 1470 wurde dem Orte freier Markt bewilligt. Wasserkünste wurden angelegt und ein Stollen begonnen. 1543 wird der 800 Klafter lange Stollen, freilich erst, nachdem er mehrere Male ins Freie gefallen, ins Stockwerk durchschlägig. Zum grossen Theile war dieser gewaltige Stollen doppelt übereinander getrieben worden wegen der Ventilation. 1545 waren die durch Feuersetzen im Stock entstandenen Höhlungen bereits so gross geworden, dass die Massen in einem nicht unbeträchtlichen Umfang zusammenbrachen. Die Zertrümmerung der Gesteine reichte bis in die Tiefe von etwa 50 Klafter. Mit einem kleinen Einsturztrichter ging der Bruch zu Tage aus; bald sollte der Trichter weiter werden und endlich zur grossen Pinge anwachsen. Dass der Betrieb durch diesen Fall nicht lange gestört wurde, dass die Gewerken vielmehr mit verdoppeltem Eifer und grossen Mitteln weiter arbeiteten, zeigt die Thatsache, dass 1554 bereits eine grosse neue Wasserkunst fertig ist und dass 1566 noch eine zweite eingerichtet wird. In diese Zeit fällt auch eine wesentliche wirthschaftliche Aenderung. Der Bruch hatte das Bergwerkseigenthum verschiedener Gewerken durcheinander geworfen. Die Folge davon war, dass die ehemaligen Sondereigenthümer nun zu einem Bunde sich vereinigen mussten. 90 Zechen verbanden sich im Jahre 1564 unter dem Namen Zwitterstocks-Gesellschaft. 1568 erhielt Altenberg die erste gedruckte Zinnordnung, ein neuer Beweis dafür, dass der oberste Betrieb des Bergwerkes durch den Bruch nicht lange unterbrochen worden sein kann. Es ist mir sogar sehr wahrscheinlich, dass gerade der Bruch grösseres Leben in das Bergwerk brachte; es musste ja den Bergleuten bald klar werden, dass der Bruch den zähen Felsen gar trefflich zerkleinert hatte und dass man von nun an viel Zeit und Holz ersparen konnte. Gewiss arbeiteten sie von nun an in den Zechen, welche noch im ganzen Gesteine standen, auch auf einen Bruch los. Und wirklich ereignete sich der zweite Tagebruch bereits im Jahre 1578. Die Bergleute mögen es sich so gewünscht haben. Die Regierung aber betrachtete den Bruch als einen durch Nachlässigkeit eingetretenen Unglücksfall. Sie schickte vier Cameralräthe und diese entsetzten alle Amtsleute ihres Dienstes. Die harten Strafen konnten doch keine neue Weise des Abbaues bewirken. Es wurde wie früher in den an die Pinge angrenzenden festen Massen mit Feuersetzen vorgegangen und dadurch grosse Höhlungen geschaffen, welche, da ja das Gestein im Ganzen gefördert wurde, leer blieben. So wurde denn weiter unterwühlt, bis im Jahre 1620 der dritte und grösste Bruch eintrat. „Da ist unser liebes Bergwerk alles in einen Haufen gegangen,“ besagt der kurze Bericht im Freiburger Rathssarchiv. Ein heftiges Erdbeben wurde in der ganzen Stadt verspürt, das die Leute aus dem Morgenschlaf rüttelte. Alles lief zum Bergwerk und erfuhr bald, dass 24 Mann unten in den zertrümmerten Tiefen seien. Die Aufregung mag man sich vorstellen. Der grösste Theil der Leute aber hatte sich an einem sicheren Orte befunden und sie kamen bald zur allgemeinen

Freude herauf. Noch weitere vier Mann wurden nach vier Tagen heil heraufgebracht und nur ein alter Mann blieb verschollen. Von ihm sagte aber das Gerücht, „er habe besonders eifrig zum Weghauen der Bergfesten gerathen.“ So war er nun bestraft. Der Bruch hatte alles Gestein nach Aussage der Bergleute von Ost gegen West in die Tiefe geschoben, weil 1. die Klüfte grösstentheils W. fallen und 2. der Abbau im Westen grössere Weitungen geschaffen hatte. Der kleine alte Bruchtrichter hatte sich durch dieses Ereigniss zu einer Pinge von 3800 Quadratklaffer Fläche erweitert. Eine Schmiede, welche nahe dem Rande des alten Einsturztrichters gestanden hatte, war in den erweiterten Zertrümmerungskreis hineingezogen worden. Der pecuniäre Schaden war diesmal gross, weil mehrere Schächte und Göpel mit in Trümmer gingen.“ —¹

Es unterliegt sonach wohl keinem Zweifel, dass Einstürze unterirdischer Hohlräume Erschütterungen verursachen können, welche sich an der Oberfläche als Erdbeben fühlbar machen. Sowie in den angeführten Fällen ein von Menschenhand geschaffener Hohlraum schliesslich zu gross wurde, so dass die nicht genügend unterstützte Decke einbrechen musste, so vollzieht sich ein Gleiches in unzähligen Fällen in der Natur, da die auflösende Thätigkeit des Wassers in vielen Schichten, zumal aber in Gyps- und Kalklagern sich stetig vergrössernde Hohlräume schafft, welche endlich zu gross werden und einbrechen müssen. Gerade so wie bei den von Menschenhand geschaffenen unterirdischen Hohlräumen der Einsturz zumeist wegen der Festigkeit des Hangenden allmählich erfolgt, geschieht wohl auch bei den durch natürliche Kräfte gebildeten Höhlen der Einbruch in einzelnen kleineren Theilen und macht sich demzufolge zumeist nicht in gewaltsamer Weise, sondern in schwächeren, oft wiederholten Erschütterungen fühlbar. Wie aber zuweilen auch in Bergwerken die Decke eines grösseren abgebauten Hohlraumes, einer „Glocke“ plötzlich einbricht, geschieht dies auch in der Natur.

Der Karst, welcher mit Recht als der Typus eines höhlenreichen Kalkgebirges angeführt wird, zeigt in seinem Relief die unverkennbaren Spuren unzähliger Einsturzvorgänge, welche an der Gestaltung der Oberfläche ebenso theilgenommen haben, wie die in die Kategorie der geologischen Orgeln gehörenden Karsttrichter. Der Unterschied zwischen den Einsturzkesseln (Dolinen) und den durch die chemische Auflösung des Kalkes an der Oberfläche entstandenen Karsttrichtern wird uns noch an anderer Stelle beschäftigen, jetzt haben wir zunächst die Entstehung der ersteren ins Auge zu fassen.

Den Zusammenhang zwischen der Erzeugung unterirdischer Hohlräume durch die Thätigkeit des Wassers und dem Entstehen der im Kalkgebirge so häufigen Einstürze und Erdfälle erörtert G. BISCHOF folgender-

¹ E. REYER: Ueber die erzführenden Tieferuptionen von Zinnwald-Altenberg und über den Zinnbergbau in diesem Gebiete, Jahrb. d. k. k. geolog. R.-Anstalt. Wien 1879, Bd. 29. S. 42, 43.

maassen: „Im Causalzusammenhang mit der Bewegung bedeutender unterirdischer Wassermassen im zerklüfteten Kalkgebirge stehen die Erdfälle, welche sich daselbst häufig finden. So unter andern auf der Hochebene, die sich von der Haar und von dem Teutoburger Walde nach der westphälischen Niederung verflacht. Mit Annäherung an die Linie, auf welcher die mächtigen süßen Quellen der dortigen Gegend vorkommen, vermindern sich die Erdfälle, und verschwinden jenseits derselben gänzlich. Es ist daher keine Frage, dass sie von Auswaschungen im zerklüfteten Kalkgebirge durch die darin sich bewegendes Wasser herrühren. Ebenso entstehen am Fusse der Felsen im Aarthale, im Herzogthum Nassau von Zeit zu Zeit Erdfälle im Kalkstein. Sehr zahlreich kommen trichterförmige Vertiefungen im Kalkgebirge Krains vor. Ebenso fand ich sie auf der Gemmi in der Schweiz, auf den höchsten Punkten dieses Passes. Dass die Auswaschungen, welche die Wasser im zerklüfteten Kalkgebirge bewirken, vollkommen hinreichen zur Entstehung der Erdfälle, zeigt die nachstehende Untersuchung. Im Wasser der Pader, in welcher sich die sämmtlichen Paderquellen vereinigen, fand ich $\frac{1}{3959}$ seines Gewichtes kohlen-sauren Kalk. Nach angestellten Messungen beträgt die Menge des in einer Minute fortfließenden Wassers dieses Flusses 1074450 Pfund, worin also 271.4 Pfund kohlen-saurer Kalk enthalten sind. Hieraus berechnet sich, dass dieser Fluss in einem Jahre nahe einen Würfel von 93 Fuss Seite kohlen-sauren Kalkes dem Gebirge entzieht. Einer der grösseren Erdfälle, den ich in der dortigen Gegend fand, bildete einen umgekehrten Kegel von ungefähr 150 Fuss Durchmesser und 25 Fuss Tiefe. Einen solchen Kalkkegel führen die Paderquellen in einem Zeitraume von ungefähr 67 Tagen fort. In dem Wasser der Lippe fand ich $\frac{1}{4415}$ und in dem der Alme $\frac{1}{5552}$ kohlen-sauren Kalk. Aehnliche Quantitäten kohlen-sauren Kalkes im Wasser aus Kalkhöhlen und in Flüssen der Württemberger Alp fand SCHÜBLER. Aus der Wasserergiebigkeit der Lippe und der Alme berechnet sich, dass diese beiden Flüsse dem Kalkgebirge jährlich einen Würfel kohlen-sauren Kalkes von wenigstens $51\frac{1}{2}$ Fuss Seite entziehen; denn da jene Messung zu einer Zeit vorgenommen wurde, wo die Wassermenge nur $\frac{1}{3}$ der durchschnittlichen betrug, so ist die wahre Menge bei weitem grösser. Rechnet man dazu, was die kleineren der dortigen Flüsse und Bäche dem Kalkgebirge entziehen, so kann man annehmen, dass dem dortigen Kalkgebirge überhaupt bei weitem mehr als ein Würfel von 100 Fuss Seite jährlich entzogen wird. Darin ist nicht begriffen der kohlen-saure Kalk, welcher dem Gebirge während der Regenzeit und im Frühjahre beim Weggange des Schnees mechanisch entzogen wird; denn diese Menge kommt nicht in Betracht, da hier nur derjenige kohlen-saure Kalk geschätzt werden soll, der aus dem Innern des Gebirges fortgeführt wird. Im Gegentheile rührt ein Theil des aufgelösten Kalkes ebenfalls von der Oberfläche her; obgleich die grössere Menge beim Verweilen des Wassers in den Klüften und Höhlen des Kalkgebirges aufgelöst wird. Diese bedeutenden Quantitäten kohlen-sauren

Kalkes, welche die Flüsse in jener Gegend dem Kalkgebirge entziehen, reichen zur Erklärung der schon entstandenen und täglich noch entstehenden Erdfälle vollkommen hin.¹

An anderer Stelle erörtert BISCHOF die leichte Zerstörbarkeit des Gypses und die häufige Bildung von Höhlen und Erdfällen in Gypslagern: „Nächst dem Kochsalze ist der Gyps als Gebirgsart, das löslichste unter den in der Natur vorkommenden Salzen. Er tritt in solcher Menge auf, dass er da, wo er vorkommt, Einfluss auf die Gestaltung der Oberfläche hat. Er bildet Hügel und kleine Berge, die aus flachen Gegenden und aus Ebenen, bald sanft, bald ziemlich steil und, besonders im Vergleiche zu ihren Umgebungen, sich manchmal ansehnlich hoch erheben. Hier ist dieses in 400 Theilen Wasser lösliche Salz der auflösenden Wirkung der Meteorwasser völlig preisgegeben. Nehmen wir 3 Fuss für die mittlere jährliche Regenmenge an, so ergibt sich, dass, wenn das auf einen Gypsberg fallende Meteorwasser sich ganz mit Gyps sättigt und ihn bloß auf der Oberfläche auflöst, nahe $\frac{1}{2}$ Linie jährlich von demselben abgenagt werde. Unter dieser Voraussetzung würde ein 100 Fuss hervorragender Gypsberg bloß durch Auflösung in 28 800 Jahren geebnet werden. Da indess die mechanische Fortführung durch Gewässer unstreitig viel bedeutender ist, als die chemische durch Auflösung: so ist klar, dass ein solcher Gypsberg in einem viel kürzeren Zeitraume verschwinden würde. Dieser Flötz-Gyps ist sehr zerklüftet; die Meteorwasser dringen daher rasch ins Innere, wo sie, in vielfacher Berührung mit dem Salze, Gelegenheit haben, sich damit zu sättigen. Sind die benachbarten Schichten nicht, oder weniger zerklüftet, so können sogar die in den Umgebungen niedergehenden Meteorwasser in den Gyps dringen, so dass bei weitem mehr als $\frac{1}{2}$ Linie jährlich davon aufgelöst und fortgeführt wird. Daher denn auch die grossen Höhlen im Innern vieler Gyps-felsen und die Erdfälle auf ihnen.“²

Dem Angriffe des Wassers auf die Kalklager und der Hinwegführung grosser Mengen gelösten Kalkes schreibt G. BISCHOF grossartige Ortsveränderungen in dem Schichtengebäude zu: „Erinnert man sich, dass die Erdfälle im Kalkgebirge von der Fortführung des kohlensauren Kalkes durch Gewässer herrühren, dass z. B. die Paderquellen eine Menge dieses Carbonates, gleich einem Erdfalle von 150 Fuss Durchmesser und 25 Fuss Tiefe, in 67 Tagen fortführen, so gewinnt man einen Ueberblick von den grossartigen Ortsveränderungen, welche auf diese Weise entstehen. 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

¹ G. BISCHOF: Lehrbuch der chemischen und physikalischen Geologie. Bonn 1847. I. Bd. S. 25 u. 26.

² G. BISCHOF: ebenda, Bd. I. S. 541 u. 542.

aber dadurch partielle Verrückungen der Schichten eintreten mussten, kann nicht bezweifelt werden.“¹

Diesen Gedankengang hat G. H. O. VOLGER weiter verfolgt und in seiner Hohlschichtenhypothese verarbeitet. Er sagt: „Die unterirdischen Auswaschungen erzeugen durchaus nicht immer eigentliche Höhlen in dem Sinne, welchen man mit diesem Worte zu verbinden pflegt. Da sich die Gewässer vorzugsweise auf den Schichtenflächen bewegen, so werden diese abgenagt. Selten ruht eine Felsschicht 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 Gebirgstheilen 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 ins Gewicht, welche auch nach der kürzesten Bewegung, selbst wenn die Dicke der Hohlschicht nur nach Linien sich misst, in der ungeheuersten Erschütterung der Sohle sich zu äussern vermag.“²

Den Ansichten VOLGER's über die Verursachung der Erdbeben durch den Einsturz von unterirdischen Hohlräumen und „Hohlschichten“ sind nur wenige Autoren, wie z. B. FR. MOHR,³ unbedingt beigetreten; für die meisten wurden die VOLGER'schen Ausführungen vielmehr Veranlassung, die Einsturzhypothese gänzlich fallen zu lassen, oder ihr eine noch viel beschränktere Geltung zuzuerkennen, als sie in der That hat. Dabei hat man es häufig für ganz überflüssig erachtet, die Hohlschichtenhypothese

¹ G. BISCHOF: Lehrbuch der chemischen und physikalischen Geologie, II. Bd. 2. Abth. Bonn 1855. S. 1086, 1087.

² G. H. O. VOLGER: Untersuchungen über das Phänomen der Erdbeben in der Schweiz, III. Theil. S. 393 u. 394.

³ F. MOHR: Geschichte der Erde, zweite Auflage. Bonn 1875. S. 215 u. f.

eingehend zu widerlegen. Eine treffende kritische Erörterung derselben hat jedoch F. PFAFF geliefert.¹

Eine der VOLGER'schen verwandte, sich aber doch in wesentlichen Grundzügen von ihr unterscheidende „Einsturzhypothese“ hat F. MARENZI aufgestellt. Derselbe erklärt verschiedene geologische Phänomene durch Einstürze im Erdinnern. Die Hohlräume, welche diese Einstürze herbeiführen, denkt er sich durch ungleiche Zusammenziehung der verschiedenartigen Massen bei der Wärmeabnahme der Erde entstanden² und die Einstürze solcher Hohlräume verursachen ausser anderen Erscheinungen (wie z. B. vulkanische Eruptionen) auch Erdbeben.³ Die Seebeben sind nach MARENZI auf Einstürze des Meeresgrundes zurückzuführen,⁴ wie insbesondere daraus zu schliessen wäre, dass bei den Seebeben zunächst ein Zurückziehen des Meeres vom Lande stattfindet, weil das Wasser mit grosser Schnelligkeit in den sich durch den Einsturz darbietenden Hohlraum stürzt. Die MARENZI'sche Einsturzhypothese soll hier nicht weiter erörtert werden, denn es ist klar, dass grössere Hohlräume im Erdinnern auf die durch ihn angenommene Weise nicht entstehen können. Der Druck der lastenden Schichten ist, wie A. HEIM gezeigt hat, schon in mässiger Tiefe so gewaltig, dass grössere Hohlräume nicht bestehen können. Die MARENZI'sche Einsturzhypothese braucht uns deshalb weiter nicht zu beschäftigen, hingegen müssen wir die Einsturztheorie VOLGER's noch etwas näher ins Auge fassen. Es darf nicht geleugnet werden, dass die von BISCHOF und VOLGER behauptete Auswaschung grosser Hohlräume in mehr oder minder leicht löslichen Gesteinsschichten in der That stattfindet, es wurde auch bereits auf den Karst als auf ein Kalkgebirge hingewiesen, welches Höhlen von ausserordentlicher Zahl und Ausdehnung aufweist, und in welchem auch Spuren grossartiger Einstürze in grosser Zahl auftreten. Es ist auch selbstverständlich, dass solche Einstürze zu Erschütterungen Anlass geben müssen, welche man im vollen Sinne des Wortes als Einsturzbeben bezeichnen muss. Wir werden deshalb die Karstphänomene etwas näher ins Auge fassen und zwar hauptsächlich deshalb, um die Ursache zu erörtern, weshalb andere ausgedehnte Kalkgebirge die Höhlen und Einstürze in viel geringerem Grade erkennen lassen.

Die Häufigkeit der Einstürze und der mit ihnen zusammenhängenden Einsturzbeben im Karst betont A. v. LASAULX mit folgenden Worten: „Wenn wir an die im grossartigsten Maassstabe unterminirten Karstgebiete mit ihren Höhlen, Grotten und Dolinen denken, wo man auf Schritt und Tritt Felstürzen und Felseinbrüchen begegnet, tritt uns das Bild solcher Erdbeben recht deutlich entgegen. Denn jeder Felstrichter oder Doline ist das Denkmal eines Einsturzes, der mit einer Erschütterung

¹ F. PFAFF: Allgemeine Geologie als exacte Wissenschaft. Leipzig 1873. S. 235—237.

² F. MARENZI: Fragmente über Geologie oder die Einsturzhypothese, fünfte Auflage (die erste erschien 1863). Triest 1875. S. 72 u. f.

³ Ebenda, S. 118.

⁴ Ebenda, S. 122.

verbunden gewesen sein muss. HOCHSTETTER hat selbst¹ ein Erdbeben, das er zu dieser Kategorie rechnet, im August 1880 zu St. Margarethen in Unter-Krain wahrgenommen.²

Dürfen nun auch, wie unten zu erörtern sein wird, die Karsttrichter keineswegs als Denkmale von Einstürzen bezeichnet werden, da sie der langsam wirkenden Corrosion zuzuschreiben sind, so ist doch die Zahl der kesselförmigen Einstürze (Dolinen) im Karst eine ganz ausserordentliche. Um so merkwürdiger ist es, dass andere Kalkgebirge solche Erscheinungen in viel geringerem Maassstabe zeigen. Die Erklärung hierfür giebt uns die Karsttheorie von E. v. MOJSISOVICS, welche derselbe anlässlich der geologischen Untersuchung des bosnischen Karstlandes aufstellte.³

„Gegenüber der auffallenden Thatsache“ — sagt E. v. MOJSISOVICS — „dass die Karsterscheinungen nicht allgemein überall dort auftreten, wo reine Kalke gebirgsbildend vorkommen, mag es zweckmässig sein, die Frage aufzuwerfen, auf welchen Voraussetzungen denn eigentlich das Karstphänomen beruht. Ich kann mich kurz fassen, da die morphologische Seite der Frage bereits vielseitig, in letzterer Zeit besonders erschöpfend durch BOUÉ⁴ und TIETZE⁵ behandelt worden ist. Die grossartige Durchlöcherung der Kalkformationen, die unterirdischen Flussläufe und die durch diese theils chemische, theils mechanische Erosion bewirkten partiellen Einstürze sind es nicht, welche das Karstphänomen bedingen. Sie sind nur begleitende Erscheinungen, für welche die Bedingungen hier günstiger sind, als irgendwo. Sie sind nur, wie man auch sagen kann, die sichtbaren Aeusserungen des Karstprocesses. Was die Karsttrichter betrifft, so wurde bereits der Versuch gemacht, dieselben als eine chemische Erosionsform des reinen Kalkes zu erklären, welche an und für sich mit dem Karst nichts zu thun hat.“

An anderer Stelle⁶ erörtert v. MOJSISOVICS die Bildung der Karsttrichter in folgender Weise: „Zu den wesentlichen Karsterscheinungen rechnen wir die Becken ohne oberirdischen Abfluss, die weitverzweigten Hohlräume, die unterirdischen Flussläufe und die Einsturzkessel (Dolinen). Die Karsttrichter werden nun allgemein ebenso wie die Dolinen als Einsturzerscheinungen aufgefasst und demgemäss zu den Karsterscheinungen

¹ F. v. HOCHSTETTER: Ueber Erdbeben, Beilage zu den Monatsblättern des wissenschaftlichen Clubs. Wien 1880. S. 9.

² A. v. LASAULX: Die Erdbeben, KENNGOTT's Handwörterbuch der Mineralogie etc. I. Bd. S. 361.

³ E. v. MOJSISOVICS in „Grundlinien der Geologie von Bosnien-Hercegovina.“ Wien 1880. S. 60, 61. (Separatabdruck a. d. Jahrbuch der k. k. geologischen Reichsanstalt.)

⁴ A. BOUÉ: Ueber Karst- und Trichterplastik. Sitzungsber. d. k. Akad. der Wiss. Wien math. nat. Cl. 43. Bd.

⁵ E. TIETZE: Geologische Darstellung der Gegend zwischen Karlstadt in Croatien u. dem nördl. Theil des Canales der Morlaccia, Jahrb. d. k. k. geologischen Reichsanstalt 1873.

⁶ Grundlinien der Geologie von Bosnien, S. 45 des Separatabdruckes.

gezählt. Indessen spricht schon die auffallend regelmässige Form der Trichter gegen diese Annahme. Einstürze kennzeichnen sich stets durch unregelmässige Umrisse, und selbst benachbarte, unter ähnlichen Umständen zu Stande gekommene Einstürze werden nie genau die Form ihrer Nachbarn copiren. Bei den Karsttrichtern gehört aber gerade die Wiederkehr derselben trichterförmigen Gestalt mit mehr weniger kreisrundem Umriss zu den charakteristischen Eigenschaften. Die volle Ueberzeugung aber, dass die Karsttrichter keine Einstürze sein können, erhält man in solchen Fällen, wo geneigte Flächen, wie z. B. Berggehänge, von Trichtern derart dicht besetzt sind, dass nur schmale Felsrippen als Ränder zwischen den einzelnen Trichtern fortlaufen. Man hat derartigen Flächen nicht unpassend das Prädicat „blattersteppig“ beigelegt. Wie sich aber derartige oberflächliche Aushöhlungen im festen Kalkfels als Einstürze erklären lassen sollen, scheint mir gänzlich unverständlich. Als ich zum ersten Male mit Karsttrichtern besäte, „blattersteppige“ Gehänge sah, wurde ich sofort an die Karrenfelder unserer nördlichen Kalkalpen erinnert. Es fiel mir zunächst auf, dass diesen südlichen Gegenden Karrenfelder vollständig fehlen, trotzdem die äusseren Bedingungen zur Bildung derselben in vielen Fällen erfüllt erschienen. Als ich dann weiter beobachtete, wie innig die Verbreitung der Trichter mit dem Auftreten der Terra rossa oder deren Derivate zusammenhängt, so setzte sich in mir die Ansicht fest, dass die sogenannten Karsttrichter in die Kategorie der „geologischen Orgeln,“ mit welchen sie ja auch die äussere Gestalt gemeinsam haben, gehören. Die Karsttrichter sind die Hauptangriffspunkte der chemischen subaërischen Auflösung der Kalkfelsen, und deshalb findet sich auch die unlösliche Asche des Kalkes, die Terra rossa, so innig mit den Trichtern vergesellschaftet. Der Zusammenhang zwischen den Karsttrichtern und den eigentlichen Karsterscheinungen bestände demnach aus dem zufälligen Zusammenkommen an demselben Orte.“

Ueber das Wesentliche der Verkarstung sagt v. MOJSISOVIC: „Da das Karstphänomen, wo es auftritt, keine localisirte Erscheinung ist, sondern über weite Districte gleichmässig verbreitet ist, da ferner selbst ein der Entfaltung dieses Phänomens ungünstig erscheinender Gebirgsbau, wie z. B. der dalmatinisch-bosnische Faltenbau, die Erscheinung keineswegs zu beeinträchtigen vermag, so kann nur eine auf weite Strecken hin gleichmässig wirkende mächtige Kraft die Ursache des Karstprocesses sein. Diese Kraft aber kann keine andere sein, als der horizontale Gebirgsschub. Wenn in Gebirgsgegenden die mechanische Arbeit der Thalbildung durch fortdauernde oder mehr weniger intermittirende Gebirgsfaltung gestört oder unterbrochen wird, so wird die nächste Folge die Abdämmung von Thalstrecken zu Seebecken sein. Besteht das Gebirge aus im Wasser unlöslichen Gesteinen, so kann erst die Ausfüllung der Seebecken durch Neubildungen oder die mechanische Ausfeilung einer Abflussrinne das Seebecken wieder trocken legen. Besteht dagegen das Gebirge aus einem im Wasser relativ leicht löslichen Gesteine, wie reiner Kalk, welcher

überdies leicht zur Zerklüftung neigt, so kann sich das Wasser zunächst durch chemische, in späteren Perioden aber durch vereint chemisch-mechanische Erosion unterirdische Abflusswege öffnen. Die der unterirdischen Erosion vorarbeitende Zerklüftung der Kalkfelsen kann selbstverständlich durch die fortdauernde Gebirgsfaltung herbeigeführt oder beschleunigt werden. Hört die Gebirgsstauung auf oder lässt die Intensität derselben bedeutend nach, so werden sich nach und nach in Folge des Nachstürzens des Deckgebirges und der fortschreitenden subaërischen Denudation die unterirdischen Flussläufe in subaërische Abflussrinnen transformiren — und der Karstprocess, welcher als eine besondere Form der Erosion in reinen Kalkgebieten erscheint, ist beendet. — Störung der begonnenen Thalbildung in Kalkgebirgen durch Gebirgsfaltung wäre sonach die erste Veranlassung zur Herausbildung des Karstphänomens.“

Gegen die Ansichten v. MOJSISOVIC'S hat E. TIETZE mannigfache Einwände erhoben, die hier nicht ausführlich dargelegt werden können. TIETZE ist nicht geneigt, der Gebirgsbildung eine wichtige Rolle im Karstprocess zuzuschreiben, er sagt in Bezug auf den obigen Schlusssatz: „Wäre es denn ein gar so grosser Irrthum, wenn wir diesen Satz einigermaassen umkehrten und sagten, dass gerade in Gebirgen, welche eine Disposition zur Karstbildung bereits zeigen, deren Durchlöcherung demnach schon begonnen hat, die subaërische Thalbildung sich nicht frei entwickeln und durch die Gebirgsfaltung leicht gehemmt werden kann. Bei der weiteren Fortentwicklung des Karstprocesses werden sich dann freilich die verschiedenen Factoren desselben gleichsam in die Hände arbeiten, für den Beginn des Processes aber bliebe die Rolle, welche der Gebirgsfaltung gerade für die Entstehung der geschlossenen Kesselthäler zugedacht wurde, nach dieser meiner Auffassung eine höchst untergeordnete.“¹

Diese Anfänge des Processes: Auslaugung auf Spalten und Bildung kleinerer und grösserer Hohlräume finden sich aber in jedem Kalkgebirge und es bleibt ohne Zuhülfenahme der Erklärung, welche v. MOJSISOVIC'S gegeben hat, unverständlich, weshalb nur der Karst die ihn charakterisirenden Erscheinungen voll und ganz zur Ausbildung gebracht hat.

Auch die von MOJSISOVIC'S gegebene Erklärung der Karsttrichter als geologische Orgeln bekämpft TIETZE, indem er sich gegen die Unterscheidung von Karsttrichtern und Dolinen als genetisch verschiedener Bildungen ausspricht. So wie das Wort Karsttrichter nur die deutsche Uebersetzung von Doline sei, wären alle diese Vertiefungen auf Einstürze zurückzuführen.² Die bezüglichlichen Darlegungen TIETZE'S sind für uns insofern von grossem Interesse, als sie die ausserordentliche Häufigkeit der (auch von MOJSISOVIC'S nicht geleugneten aber vielleicht auf ein allzu

¹ E. TIETZE: Zur Geologie der Karsterscheinungen, Jahrbuch d. k. k. geologischen Reichsanstalt 1880, 30. Bd. 4. Heft. S. 734 (6).

² a. a. O. S. 742 [14] u. f.

geringes Maass zurückgeführten) Einstürze in Karstgebieten betonen: „Wahrscheinlich sind in den verschiedenen Karstländern die Trichter erzeugenden Einstürze selbst seit historischer Zeit nicht gar so selten gewesen. Es fehlte, was bei den ethnographischen Verhältnissen eines Theiles jener Länder nicht Wunder nimmt, vielleicht hie und da nur an Beobachtern, welche solche Ereignisse in der Literatur fixirten. Den Bewohnern selbst ist die Sache nichts Neues. Professor PILAR in Agram, der als Landsmann der croatischen Bewohner unseres Karstes in leichter Weise mit denselben verkehren konnte und bei diesem Verkehr vieles zu hören bekam, was anderen, der Sprache und Sitte minder kundigen Reisenden verborgen blieb, schreibt in seinem Beitrage zur Lösung der Wasserfrage im croatischen Karst¹ bezüglich der modernen Entstehung von Einsturzlöchern und Trichtern wörtlich Folgendes: „„An manchen Stellen gehen diese Veränderungen so rasch von Statten, dass mancher Grenzer-Jüngling, welcher nach einigen Decennien sein Vaterland wieder sah, wohl sagen konnte, es sei durch Neubildung von Trichtern gar nicht mehr zu erkennen gewesen. Häuser mussten in Folge von Erdstürzen verlegt werden, Obstgärten, die einmal bestanden, waren nicht mehr und neue Saumwege waren angebahnt, da die früheren unwegsam geworden.““ Wer möchte unter solchen Umständen noch an der Einsturznatur der Karsttrichter zweifeln?“²

E. TIETZE erinnert auch an einen Erdfall, welcher als Folgewirkung des Erdbebens von Klana vom 1. März 1870 bei Novokračina eintrat, und pflichtet der von STUR gegebenen Erklärung dieses Phänomens bei, welche die in Alluvialgebilden erfolgte Einsenkung auf den Einbruch einer darunter befindlichen Höhle im Kalkstein zurückführt. STUR's Bericht über den Erdfall von Novokračina³ lautet folgendermaassen: „Südlich vom Orte bemerkte man nach der Haupterschütterung in der Alluvialausfüllung des Kessels von Novokračina eine Stelle, an welcher die Erde nach und nach versank und sich in Folge davon eine trichterförmige Vertiefung ausbildete. Offenbar ist unter den Alluvionen das Gewölbe irgend einer unterliegenden Höhle des Kalkes in Folge der Erschütterung eingebrochen und durch die entstandene Oeffnung das darüber lagernde Alluvium in die Höhle eingesunken. Die grössten in der Gegend vorgefundenen und in die entstandene Vertiefung hineingeworfenen Steinblöcke haben weiterem Einfallen der Erde in die Vertiefung nicht Einhalt thun können. Nach späteren Mittheilungen vom Hörensagen sollen an diesem Trichter 100 Quadratfuss Fläche des Bodens 18 Fuss tief eingesunken sein.“ —

Tritt uns hier ein Erdfall als Folgewirkung einer viel grossartigeren seismischen Erscheinung entgegen, deren Ursache im nächsten Abschnitt

¹ Die Wassernoth im Karste. Agram 1874. S. 142.

² E. TIETZE: Zur Geologie der Karsterscheinungen, a. a. O. S. 755 (27).

³ D. STUR: Das Erdbeben von Klana im Jahre 1870, Jahrbuch d. k. k. geologischen Reichsanstalt 1871, 21. Bd. S. 238 (8) in der Fussnote.

zu erörtern sein wird, so erscheinen Einstürze in höhlenreichen Gebieten wie im Karst vielfach als selbstständige Erscheinungen, welche an sich kleine Erderschütterungen verursachen. Es muss jedoch bemerkt werden, dass bei den meisten unterirdischen Einbrüchen die Bodenbewegungen nur schwach waren und in geringe Entfernung vom Ausgangspunkte sich verbreiteten, während die von den Einstürzen verursachten Schallwirkungen viel grössere Aufmerksamkeit veranlassten. In vielen Fällen wurden nur Schallwirkungen, welche zumeist mit Detonationen verglichen wurden, wahrgenommen. Man bezeichnete deshalb die Erscheinungen, welche im Jahre 1851 am Monte Tomatico bei Feltre und in den Jahren 1822 bis 1826 in viel grösserem Maassstabe auf der Insel Meleda bei Ragusa vorkamen, geradezu als Schall- oder Detonationsphänomen, weil eben die Erschütterungen des Bodens vergleichsweise schwach waren gegenüber den Schallwirkungen, welche grossen Schrecken verursachten. Nur selten waren, wie unten zu erörtern sein wird, die Detonationen mit heftigeren Bodenbewegungen verbunden.

Berichte über Detonationsphänomene, welche nachweislich mit Erdfällen und Einstürzen im Zusammenhang stehen, sind nicht selten. P. PARTSCH, welcher sich hinsichtlich der Schallerscheinungen von Meleda dagegen ausspricht, dass dieselben durch Einstürze zu erklären wären, wie BREISLACK in seinem am 15. August 1823 an das k. k. Institut der Wissenschaften zu Mailand erstatteten Bericht annimmt, führt selbst ein interessantes Beispiel für die Verursachung solcher Detonationen durch Einsturz mit folgenden Worten an: „Wir erlauben uns hier, da wir über derley Fälle nirgends aufgezeichnete Data fanden, anzuführen, dass uns der Herr Kreishauptmann von Ragusa, Freiherr von Waidmannsdorf, die Mittheilung gemacht hat, dass in einer Gegend von Galizien eine Zeit lang ein unterirdisches Getöse gehört worden sey, dessen Ursache man nicht kannte, bis sich ein Erdfall oder eine Einsenkung des Bodens ergab. Nach dem Ende des Phänomens und nach einigen anderen besonderen Umständen zu schliessen, habe man dann das Getöse nur dem Herabstürzen von Felsmassen zuschreiben können.“¹

Ein weiteres Beispiel erwähnt G. H. O. VOLGER mit nachstehenden Worten: „Im Jahre 1814 hörte man zu Anfange Septembers bei Alais im Gard Departement in Frankreich vierundzwanzig Stunden lang Knalle wie von ganzen Geschützlagen, zuletzt einen sehr starken Krach, welchem unmittelbar die Senkung eines Getreidefeldes folgte. Ein Bauer fühlte den Boden unter seinen Füssen weichen und eilte davon. Die Senkung, etwa 100 Fuss im Durchmesser, ging 13 Fuss tief; es sammelte sich, was keiner Erörterung bedarf, Wasser in derselben.“²

¹ P. PARTSCH: Bericht über das Detonationsphänomen auf der Insel Meleda bei Ragusa. Wien 1826. S. 140, 141.

² Journal des Débats, 1814, 24. Sept., citirt in G. H. O. VOLGER: Untersuchungen über das Phänomen der Erdbeben in d. Schweiz, III. Bd. S. 394.

J. F. SEYFART berichtet über ein zu dieser Kategorie von Erdbeben gehöriges Phänomen folgendermassen: „Im Jar 1708 richtete in Provence vom Anfang des Septembris bis in den zehnten Tag ein merkwürdiges Erdbeben vielen Schaden an. Die Gegend, da dieses mit einem grossen Erdfall verbundene Erdbeben sich zutrug, war bei der Stadt Manosque in Provence, so dem Malteser Orden gehörig, und zwischen Aix und Sisteron gelegen ist. Bey derselben lag bisher ein sehr anmuthiger und fruchtbarer Berg, welcher durch die 9 tägige Erschütterung und die Gewalt des unter der Erde verschlossenen Windes dermassen durcharbeitet ward, dass er plötzlich einfiel, und etliche Menschen mit den Schaafen, welche darauf weydeten, wie auch 2 kleine Dörfer völlig verschlang. Aus den durch den Erdfall eröffneten Klüften sprüzte das Wasser mit entsezlicher Gewalt über eine Elle dick im Durchschnitt herfür und fand man, nachdem die Witterung sich gelegt, viele Hölen, auch einige kleine aber sehr tiefe Seen. Die in der Nachbarschaft wonenden Einwoner wolten auch bei der Nacht eine Feuer-Flamme, welche zuweilen aus denen Klüften herausgefahren, beobachtet haben.“¹

Auch die heftigen und andauernden Schallphänomene auf der Insel Meleda, welche nur selten mit Erschütterungen verbunden waren, sind wohl auf Einsturzvorgänge zurückzuführen. Die Gegen Gründe, mit welchen P. PARTSCH die diesbezügliche Ansicht BREISLAK's bekämpft,² sind kaum stichhaltig, ehe wir aber auf sie eingehen, haben wir die Geschichte der Detonationen von Meleda an der Hand des von PARTSCH gegebenen Berichtes ins Auge zu fassen.

„Man findet in der Erinnerung der ältesten Leute zu Meleda keine Spur von früheren Detonationen auf dieser Insel. Zwei mehr als achtzigjährige Greise, Paolo Strasgicich und Giovanni Basto von Babinopoglie, sagten auf Befragen der Erhebungs-Commission Folgendes aus: „„Wir bezeugen, dass auf Meleda früher nie jene Geissel Gottes verspürt worden ist, die man jetzt allda seit ungefähr drei Jahren fühlet, nämlich einen Knall, ähnlich einem Kanonenschusse und das unterirdische Erdbeben (tramoto sotteraneo). In unserer Jugend haben wir, es ist wahr, Erdbeben verspürt, aber diese waren natürliche, und von geringer Bedeutung und haben uns nicht viel Furcht eingejagt, weil sie von keinen Kanonenschüssen begleitet waren, nicht wie diejenigen, welche, wie wir schon oben gesagt, sich jetzt hören lassen in diesem unserem unglücklichen Orte.““³

„Im Monat März des Jahres 1822 hörte man zu Babinopoglie ein Knallen, wie von entfernten Kanonenschüssen. Es schien vom Meere oder vom Festlande zu kommen, und man glaubte, dass es von dem Abbrennen des schweren Geschützes aufeinander feuern der Schiffe oder von

¹ J. F. SEYFART: Allgemeine Geschichte der Erdbeben. Frankfurt und Leipzig 1756. S. 102. Als Quellen nennt SEYFART: Einleit. zur Histor. aus den Zeitungen, II. Stück. S. 1044.

² P. PARTSCH am oben angegebenen Orte, S. 141.

³ Ebenda, S. 75.

einer Schlacht zwischen den Türken im benachbarten Bosnien herrühre. Dieses den Kanonenschüssen ähnliche Getöse wiederholte sich von nun an in gewissen, aber keineswegs regelmässigen Zeiträumen und mit grösserer oder geringerer Stärke, so dass die Bewohner der Insel bald ihren Irrthum einsahen, und theils wegen der Neuheit, theils wegen der Stärke des Phänomens in nicht geringe Bangigkeit und Furcht versetzt wurden. Diese verschwanden zwar zum Theile, als die Detonationen, zuweilen von schwachen Erdstössen begleitet, mehrere Monate hindurch anhielten, ohne Schaden zu verursachen. Vom Monate September 1822 bis zum Monat März 1823 war es auf Meleda stille, im letztgedachten Monate jedoch stellten sich die Detonationen und Erdstösse wieder ein und erreichten in den Monaten August und September des Jahres 1823 eine so furchtbare Stärke, dass sie nicht blos die Bewohner von Babinopoglie, wo sich das Phänomen stärker als irgendwo äusserte, sondern auch die ganze Bevölkerung der Insel in die grösste Bestürzung versetzten.“

Der beunruhigende Charakter, welchen das Phänomen in den Monaten August und September 1823 annahm und welcher mehrere Personen zur Flucht von dem Hauptort Babinopoglie in entlegene Theile der Insel oder selbst nach Ragusa veranlasste, bewog sogar einen mit Localerhebungen Beauftragten, dem k. k. Gubernium von Dalmatien den Vorschlag zu machen, die ganze Bevölkerung der Insel auf das dalmatinische Festland zu versetzen, da er die Zerstörung der Insel befürchtete. Ausserdem waren den Behörden von mehreren zur Abgebung von Gutachten aufgeforderten Gelehrten in Wien, Mailand, Pavia und Padua die verschiedenartigsten Ansichten mitgetheilt worden, so dass endlich im Sommer des Jahres 1824 eine Commission, bestehend aus FRANZ RIEPL und PAUL PARTSCH, von Seite der k. k. Hofkanzlei nach Meleda entsendet wurde, um das Detonationsphänomen gründlich zu untersuchen. Der von PAUL PARTSCH erstattete Bericht enthält mehrere Erzählungen über die bedrohlichen Erscheinungen vom 23. August und 3. September 1823, von welchen nachstehend zwei vollständig, die dritte auszugsweise wiedergegeben werden sollen. 1) Herr MARINO PALUSKOVICH, pensionirter Pfarrer von Babinopoglie, machte folgende Mittheilungen:

„Auf Verlangen einer k. k. Commission hat der Unterzeichnete die Ehre, dasjenige getreulich auseinander zu setzen, was sich in dem Dorfe Babinopoglie auf Meleda in den zwei Epochen vom 23. August und 3. September 1823 bezüglich auf das, daselbst ganz neue Local-Phänomen zutrug. Die Bewohner dieses Dorfes (nachdem sie sich ein wenig erholt hatten von der Wirkung [efetto] der sogenannten Detonationen oder Explosionen, oder dem hohlen Knallen gleich einer Mine, oft von einem succussorischen Erdbeben begleitet und von der Nordseite des Ortes kommend, Detonationen, welche im März 1822 anfangen, den ganzen April und Mai mit Heftigkeit und Schrecken mehrere Mal des Tages und meist nach Mitternacht bis zum Aufgang der Sonne bis in den Monat Juni fort dauerten, unabhängig von Mondesveränderungen, von Fluth und

Ebbe des Meeres, und von Veränderung der Zeit) wurden den 23. August 1823 um 5¹/₂ Uhr Nachmittags nicht wenig von einem starken Erdstoss erschreckt, welcher von dem jähren und hohen Berge Veliki-Grad ein grosses Felsstück losreissen machte. Es folgten bis zur Nacht fünf andere Schüsse, aber ohne Erschütterung des Bodens. Was sodann die Detonationen des zweiten Zeitraumes betrifft (nämlich die Detonationen in der Nacht vom 2. auf den 3. September), so fingen sie gegen 8 Uhr Abends an und dauerten, von mehr oder weniger starken Erderschütterungen begleitet, oder auch ohne diese, in kleinen Zwischenräumen bis zur Annäherung der Morgendämmerung fort; alsdann fingen die Schüsse und Erdstösse an, welche von der Seite des Berges Zirine zu kommen schienen; sie waren stärker und anhaltender als je, dauerten bis zum Untergange der Sonne, verursachten Sprünge in einigen Gebäuden und zwangen die erschrockenen Bewohner, sich auf die entgegengesetzte Seite des Dorfes zu flüchten. Sie weinten, führten ihre Kinder und ihr Vieh mit sich und bekehrten, da sie sich in einer bevorstehenden Lebensgefahr glaubten, von dem ehrwürdigen Ortspfarrer das Sacrament der Busse. Der Unterzeichnete (Marino Paluscovich), bei einem solchen Ereigniss ein Oeffnen der Erde oder den Umsturz (rovesciamento) der Berge befürchtend, die sich oberhalb der Häuser von Babinopoglie erheben, welche höher als die anderen, höhlenreich, wiederhallend (echeggianti), nackt und den Einsturz drohend sind, wie die Einwohner auch in Erfahrung gebracht haben, suchte sich, ungeachtet des bekannten Schadens eines verrenkten und hängenden Armes nach Ragusa zu retten.“

2) Herr STEFANO MILOVICICH, Pfarrer in Babinopoglie, erzählt die Ereignisse vom August und September 1823 folgendermaassen:

„Den 23. August herrschte zu Meleda eine heitere und ruhige Luft und die Bevölkerung war in vollkommener Ruhe mit Feldarbeiten beschäftigt, als sich plötzlich um 5 Uhr Nachmittags eine verdoppelte Detonation hören liess, von einem starken successorischen Erdbeben begleitet, welches verursachte, dass sich, zum grossen Schrecken und Entsetzen der Einwohner, von dem Berge Veliki-Grad genannt, oberhalb des Dorfes von Babinopoglie, ein grosser Felsen losriss, der, hinabstürzend, in mehrere Theile zerfiel und einige unter dem genannten Berge liegende Häuser zu zerschmettern drohte. — In der Nacht des 3. Septembers des nämlichen Jahres herrschte auf der Insel Meleda vollkommene Stille, die Bevölkerung ruhte, müde von den ländlichen Beschäftigungen, in den Häusern aus, als sich Detonationen hören zu lassen anfangen, welche nur von kleinen Zwischenräumen unterbrochen wurden. Mehrere derselben wurden von einer wellenförmigen oder stossweisen, stärkeren oder schwächeren Bewegung der Erde begleitet, so dass den ermüdeten Leuten der Schlaf genommen wurde. Diese Detonationen dauerten die ganze Nacht fort, und um die Dämmerung des 4. Septembers liessen sich ihrer fünf oder sechs ungemein starke hören, von einer heftigen, wellenförmigen Bewegung des Bodens begleitet, welche Sprünge in den Mauern verschiedener Häuser

verursachte, und die Bevölkerung in der Art erschreckte, dass man die Mütter mit ihren zarten Kindern im Arme, die Männer mit ihren Heerden, weinend aus ihren Wohnungen entflohen und auf solche Orte ihre Zuflucht nehmen sah, wo sie nicht von Steinen bedroht waren. Eine grosse Anzahl von Weibern und Männern begab sich vor die Pfarrkirche, um den Beistand des Allerhöchsten und die in der äussersten Gefahr nothwendigen Sacramente zu erlehen. Der Unterzeichnete (Stefano Milovcich), welcher seit dem Jahre 1822 das Verhängniss hatte, sich in ähnlichen Fällen zu befinden, hat nicht verfehlt, der Bevölkerung seinen Muth zu zeigen und dieselbe aufzumuntern, sich dem göttlichen Willen zu fügen; aber erschreckt von den Detonationen in der Nacht vom 3. September sah er sich gezwungen, sich den 4. auf zwei Tage in das untere Ende seiner Pfarrei (nach dem Convente im Lago Grande, am westlichen Ende von Meleda, ungefähr zehn italienische Meilen von Babinopoglie entfernt) zurückzuziehen, wo die Detonationen weniger hörbar waren. Nachdem die drohende Gefahr vorbei war, begab er sich wieder nach seinem eigenen Aufenthaltsorte zurück.“

Aehnlich lautet auch der Bericht einer dritten Persönlichkeit, des Herrn GIOVANNI BENEDETTO DE GHETALDI, des Prätors-Stellvertreter (facente funzione di Pretore) zu Babinopoglie, nur dass dieser schon im August die Flucht ergriff, als die Erschütterung am 23. ein Felsstück vom Veliki-Grad loslöste, welches beim Herabstürzen in die Ebene sich spaltete und zum Theil den Schafstall des Gregorio Sciupizza zertrümmerte und Detonationen und Stösse am 24. andauerten. DE GHETALDI begab sich an das Ostende der Insel nach Goritta. Auch dort hörte man am 28. und 31. August mehrere Detonationen mit den gewöhnlichen Stössen verbunden. — „Weder Erschütterungen noch Detonationen verspürte man den 1. September und im Verlaufe des 2. Septembers. Die ganze Bevölkerung war somit beruhigt und wäunte, die obgenannte Geissel habe aufgehört. Sie sahen sich jedoch in der Nacht vom 2. auf den 3. September in ihren Hoffnungen getäuscht, indem sich beinahe jede halbe Stunde Detonationen, häufig von stossweisen Erschütterungen begleitet, hören liessen. Als der Tag des 3. dämmerte, erzeugten vier sehr starke und gleich aufeinander folgende, von einer stossweisen Erschütterung des Bodens begleitete Detonationen ein solches Schrecken in den Gemüthern der Babinopoglianer, dass die Mütter, ihre zarten Kinder auf den Armen tragend, die Greise, kaum im Stande den Fuss zu heben, die Jugend beider Geschlechter auf die andere Seite der Ebene, die ihren Häusern entgegengesetzt ist, zitternd entflohen.“ Der Bericht GHETALDI's schildert sodann die grosse Bestürzung der Bevölkerung, die Flucht des Pfarrers, der, wieder nach Babinopoglie zurückgekehrt, eine Bussprocession veranstaltete u. s. f.

„Die geschilderten Ereignisse,“ berichtet PARTSCH, „in den Monaten August und September 1823 sind glücklicherweise der höchste Grad der Wirksamkeit geblieben, den das Phänomen von Meleda bisher erreichte.

Von dieser Zeit bis zu Ende des laufenden Jahres 1825 (soweit nämlich die den Unterzeichneten mitgetheilten Nachrichten gehen), äusserte sich das Phänomen zwar ziemlich oft, aber in weit geringerem Grade der Stärke. Den Monat über, den sie auf Meleda zubrachten (vom 14. October bis 15. November 1824), liessen sich an sieben verschiedenen Tagen, nämlich den 25., 28., 29. October, den 1., 2., 11. und 12. November Detonationen hören, die aber sehr schwach waren. Nur eine dieser Detonationen und zwar die in der Nacht vom 27. auf den 28. October war von einer merkbaren Erschütterung begleitet, so dass die Fenster erzitterten, und in dem Hause, welches wir bewohnten, alles plötzlich wach wurde und in Unruhe gerieth. Diese Erschütterung, obwohl sie einen starken Eindruck auf Menschen hervorbrachte, war doch nicht so stark, um die Vorrichtungen in Bewegung zu bringen, welche wir aufgestellt hatten, als Pendel, die von der Zimmerdecke herabhingen, Uhrfedern, in den Zimmerwänden befestigt und an dem Ende mit einer Bleikugel beschwert, Gefässe mit Wasser und dergleichen. Auch das Quecksilber in der Barometersäule oscillirte nicht. Seit unserer Abreise von der Insel waren die Detonationen und Erdstösse im jüngst vergangenen Monat Februar (1825) am heftigsten. Es ereigneten sich dieselben den 8., 12., 13., 15., 16., 18., 19., 22., 26. und 28. Zuweilen auch mehrmal des Tages. Vier von diesen Detonationen waren von starken Erdstössen, einige andere von minderstarken Erschütterungen begleitet.“¹

Vor den starken Detonationen in den Monaten August und September 1823 wurden keine genaueren Aufzeichnungen über das Phänomen gemacht, später erhielt die Pretura von Meleda den Auftrag, solche zu führen und allmonatlich über den Fortgang des Phänomens an das Kreisamt von Ragusa zu berichten. P. PARTSCH giebt dieses Journal wieder und ergänzt es für die erste Periode des Phänomens aus den der Commission sonst zugegangenen Berichten, sowie nach den gedruckten Briefen des Dr. L. STULLI. Aus den Verzeichnissen ergibt sich, dass sich Detonationen und Erdstösse zu allen Jahreszeiten und in allen Monaten ereigneten. „Sie fielen, wie das Journal beweist, beinahe zu allen Stunden des Tages und der Nacht vor. Man glaubt zwar auf Meleda, dass sich die Detonationen häufiger in den Morgenstunden vor Aufgang der Sonne hören lassen, dies scheint aber daher zu kommen, weil zu dieser Zeit bei dem allgemeinen Schweigen auch die schwächeren Detonationen von Menschen, die gewisser Beschäftigungen wegen schon vor Tagesanbruch wach sind, leichter gehört werden. Die Detonationen sowohl als die Erdstösse finden auf Meleda vor, bei und nach jeder Witterung statt. Sie ereignen sich bei heiterem und bedecktem Himmel, bei trockenem Wetter, bei oder nach kurzem oder anhaltendem Regen, bei hoher oder niedriger Lufttemperatur, bei starker, geringer und nicht wahrnehmbarer elektrischer

¹ P. PARTSCH: Bericht über das Detonationsphänomen auf der Insel Meleda. S. 84.

Spannung der Atmosphäre, bei vollkommener Windstille, bei schwach bewegter Luft und bei Stürmen, bei allen Arten der Luftströmung aus was immer für einer Weltgegend, endlich bei ruhiger und empörter See.“¹

PARTSCH erwähnt ferner, dass das Phänomen von Meleda drei Modificationen aufweise, indem erstlich Detonationen ohne Erschütterung vorkämen, zweitens Detonationen von solchen begleitet würden, endlich drittens sich auch Erderschütterungen ohne Detonationen ereigneten. Dieser dritte Fall sei der seltenste und sei nur ein paar mal vorgekommen, während der erste der gewöhnlichste wäre. In der Regel würden nur die stärkeren oder mittelmässigen Detonationen von Erdstössen begleitet, doch gäben sich auch manchmal starke Detonationen kund, auf welche gar keine merkbare Erschütterung des Bodens folgte, oder es ereigneten sich mittelmässige Detonationen, welche von ziemlich starken Erschütterungen begleitet wurden.

Von den Erschütterungen, welche in Meleda auf Detonationen folgten, wurden einige auch auf dem benachbarten Continent, z. B. zu Stagno und Ragusa, obwohl viel schwächer und ohne Detonationen wahrgenommen. Andererseits hat man Erdbeben, welche auf dem Continente durch ihre Heftigkeit Schrecken verbreiteten, zu Meleda nur schwach verspürt.

Ueber die Art der Detonationen selbst berichtet PARTSCH: „Die Detonationen gleichen, nach einstimmiger Aussage sowohl der Meledaner, als aller Jener, welche das Phänomen zu beobachten Gelegenheit hatten, vollkommen dem Schall von Kanonenschüssen aus grösseren oder kleineren Entfernungen. Oft scheint es, der Schall komme aus einer Entfernung, die das Maximum der Distanz für die Wahrnehmbarkeit desselben ist. Von der Art waren die meisten Detonationen, welche sich während unseres Aufenthaltes auf Meleda hören liessen. Die stärksten einzelnen Detonationen sollen der Schallwirkung einer auf die Entfernung von einigen hundert Schritt abgefeuerten Kanone von ziemlich starkem Kaliber gleichen. Zwischen diesen beiden Extremen kommen eine Menge von Modifikationen vor. Einige vergleichen die Detonationen mit dem Getöse, welches das Sprengen einer Mine verursacht, oder dem Schalle einzelner entfernter Donner. Von dem gewöhnlichen Donner sind jedoch die Detonationen dadurch verschieden, dass man bei ihnen kein Rollen, kein allmähliches Schwächer- oder Stärkerwerden des Schalles wahrnimmt. Es geben sich auf Meleda wohl oft zwei, seltener drei oder mehrere Detonationen unmittelbar oder in kurzen Zwischenräumen aufeinander kund, die manchmal von gleicher, manchmal von verschiedener Stärke sind, der Schall ist jedoch abgebrochen und nie von rollender Art. Häufig folgen zwei Schüsse unmittelbar aufeinander, sie sind gewöhnlich von ungleicher Stärke und der zweite soll meistens stärker sein als der erste. In selteneren Fällen und namentlich bei den Ereignissen in den Monaten August und September 1823 fingen die Detonationen mit mehreren sehr

¹ P. PARTSCH: Bericht etc. S. 87.

heftigen Schüssen an, welchen viele schwächere schnell aufeinander folgten, und endeten mit mehreren einzelnen starken Schüssen. Die Einwohner vergleichen die stärkeren Schüsse dieser Detonationen mit dem Schalle des groben Geschützes aus Batterien, und die mittleren schwächeren, die schnell aufeinander folgten, mit einem Pelotonfeuer. Manchmal sollen die Detonationen auch mit der Schallwirkung verglichen werden können, die eine Batterie erregt, welche nach mehreren einzelnen Schüssen damit endet, zwanzig auf einmal abzubrennen. In der Nacht vom 2. auf den 3. September 1823 hörte man über hundert einzelne Schüsse und ungefähr alle 5 Minuten einen.“¹

Ueber die Gegend, in welcher die Detonationen sich vernehmbar machten, berichtet PARTSCH: „Die Detonationen werden vorzüglich im Thale von Babinopoglie gehört. Zu Blatta, Progiura und Maranovich, 4—7 italienische Meilen von Babinopoglie entfernt, hört man nur die starken Detonationen; die allerheftigsten auch an den Enden der Insel zu Coritti und in dem Convento im Lago grande, also auf eine Entfernung von 10—12 italienischen Meilen. Wir konnten nicht mit völliger Gewissheit ermitteln, ob die heftigen Detonationen auch noch in grösseren Entfernungen wahrgenommen wurden. Schiffe, welche in dem Canal von Meleda zwischen dieser Insel und Sabioncello segelten, sollen sie, nach Dr. STULLI, gehört haben; ob man aber zuweilen die Detonationen auch auf der Halbinsel Sabioncello, auf den Inseln Corzola und Giupana und dem Festlande, zu Stano, Canosa und selbst zu Ragusa hört, wie einige behaupten, bleibt zweifelhaft.“²

Die Detonationen von Meleda waren also nur auf sehr beschränktem Raume bemerkbar und PARTSCH sieht sich veranlasst, dies gegenüber den grossen Entfernungen, auf welche andere unterirdische Getöse wahrgenommen wurden, hervorzuheben. Um so merkwürdiger ist es, dass man die Ursprungsstelle des Phänomens nicht genauer bezeichnen kann. „Die Gegend“ — sagt PARTSCH — „aus welcher zu Meleda die Detonationen kommen, lässt sich nicht genau bestimmen. Der vorige Prätor von Meleda, Herr Carlo de Natali, stellte zu diesem Behufe Wachen auf den Bergen aus, welche Babinopoglie umgeben; die Aussagen dieser Wachen sollen aber unter sich so sehr im Widerspruch gestanden sein, dass darüber nichts ausgemittelt werden konnte. Die Mehrheit der Aussagen lässt die Detonationen entweder von den Bergen, die das Thal von Babinopoglie nach Norden einschliessen, und vorzüglich von dem Berge Zirine, oder aus der Gegend stammen, wo dieses Thal gegen Südosten mehr offen ist. Aus der letzteren Gegend kamen auch die Detonationen, welche wir zu Meleda hörten.“ — „Es kommt noch anzuführen, dass die Detonationen nie das Echo rege machen, welches, wenn ein Schall an der Südseite des Thales von Babinopoglie entsteht, sehr ausgezeichnet ist; ferner, dass in den Höhlen Ostasevizza und Movrizza, die nördlich von Babinopoglie hinter

¹ P. PARTSCH a. a. O. S. 89 u. 90.

² ebenda, S. 91.

den Bergen Cattune und Veliki-Grad liegen, während der Detonationen tiefe Stille geherrscht hat und dass der Schall von aussen in dieselben hineindrang. Ob dies immer der Fall sei, lässt sich aus Mangel öfterer Beobachtungen nicht entscheiden. Die in dem Berichte des Dr. KRASKOVICH vorkommende Aussage eines Bewohners von Babinopoglie, er habe, während er sich in der Höhle Ostasevizza befand, einen Kanonenschuss gehört, welcher die ganze Höhle erbeben machte, so dass er erschrocken davon lief, zeigt wohl, dass man die Detonationen zuweilen auch in den Höhlen hört, lässt aber unentschieden, ob der Schall aus den Tiefen der Erde oder ebenfalls von Aussen kam.¹

PARTSCH bringt ferner in seinem Berichte zur Kenntniss, dass eine Reihe von Begleiterscheinungen, welche sonst bei Erdbeben auftreten, bei den Schallphänomenen von Meleda gänzlich vermisst wurden. Auch diese negativen Angaben sollen der Vollständigkeit halber wiedergegeben werden: „Die Erdbeben werden zuweilen durch ein starkes Fallen der Quecksilbersäule im Barometer angekündigt; manchmal fällt das Quecksilber während der Erschütterung und steigt dann bald wieder in die Höhe; viele Erdbeben äussern jedoch auch gar keine Wirkung auf den Barometerstand. Dieses letztere scheint auch bei den Detonationen und Erdbeben von Meleda der Fall zu sein, mit Bestimmtheit kann es aber nur von den Detonationen und Erschütterungen vom 15. October 1824 bis 28. Februar 1825 behauptet werden; für den Zeitraum nämlich, über welchen uns Barometerbeobachtungen vorliegen. Die Detonationen haben während unserer Anwesenheit weder auf die Magnetnadel noch auf den Elektrometer eingewirkt. Vor, während und nach den Detonationen und Erderschütterungen ist auf Meleda noch nie eine leuchtende Erscheinung gesehen worden. Noch nie hat man auf Meleda in Verbindung mit dem Naturereignisse einen schwefligen oder bituminösen Geruch oder andere Exhalationen verspürt. Das Wasser der Cisternen ist nie versiegt. An den Thieren bemerkte man vor den Detonationen und Erderschütterungen keine ungewöhnliche Unruhe; auch haben dieselben nicht im Voraus beängstigend auf den Menschen eingewirkt. Es haben sich in Folge der Detonationen und Erdbeben keine Spalten, Einsenkungen oder Erhebungen in dem Felsboden der Insel gebildet, wenigstens hat man deren keine wahrgenommen. Nach einer Erderschütterung vom 23. August 1823 rollte aber ein, wahrscheinlich loser Felsblock, dessen Gewicht auf 8000 Pfd. geschätzt wird, von dem steilen Abhange eines Berges, Veliki-Grad genannt, in das Thal von Babinopoglie hinab.“²

Der Schaden an Gebäuden, welcher durch die Erderschütterungen auf Meleda angerichtet wurde, war sehr geringfügig. P. PARTSCH schreibt darüber: „Dieser Schaden ist von keinem grossen Belang. Mehrere Häuser in Babinopoglie bekamen ganz kleine, unbeträchtliche Sprünge; die schwächeren und weniger unterstützten Mauertheile (z. B. die Mauer

¹ P. PARTSCH: Bericht etc. S. 93.

² P. PARTSCH a. a. O. S. 95.

oberhalb der Thüren und Fenster) einiger Häuser von schlechter Construction borsten etwas stärker; zwei Gebäude endlich, nämlich das Haus des Antonio Krajancich zu Babinopoglie und die Capelle zu Blatta, welche schon früher baufällig waren, wurden ganz unbenützlich. Das Felsstück, welches sich den 23. August 1823 in Folge einer Erschütterung von dem Berge Veliki-Grad losriss, zerstörte, da es im Herabrollen zum Glücke in kleinere Stücke zerfiel, nur die Hälfte eines Schafstalles in Babinopoglie.“¹

Der vierte Abschnitt der Abhandlung von P. PARTSCH führt den Titel: „Die verschiedenen, über die Natur des Phänomens von Meleda ausgesprochenen Meinungen und kritische Beleuchtung derselben.“ Zahlreiche Autoren haben sich mit der, grosses Aufsehen erregenden Erscheinung beschäftigt und dieselbe auf sehr verschiedenartige Weise erklärt. Wir können auf die Einzelheiten dieser Erklärungsversuche und auf die kritische Erörterung, welcher sie durch PARTSCH unterzogen wurden, nicht näher eingehen, es mag genügen, wenn wir ihnen eine flüchtige Betrachtung widmen, wobei wir mit Vortheil jener Zusammenstellung folgen, welche PARTSCH gegeben hat, indem er die einzelnen Hypothesen nach ihrer Aehnlichkeit in fünf Gruppen brachte.²

1) Das Phänomen von Meleda ist vulkanischer Natur. Es könnte da eine Eruption stattfinden: Gutachten des Herrn KRASKOVICH³ und des Herrn BAUMGARTNER.⁴ Es wird da ein Vulkan ausbrechen und die Insel zerstören: Gutachten des Herrn DE ROMANO.⁵

2) Die Ursache des Phänomens von Meleda ist derjenige Process, welcher unter der Oberfläche unserer Erde zugleich Erdbeben und vulkanische Phänomene hervorbringt. Eine allgemeine Meinung, ausgesprochen von Herrn LITROW.⁶ Hierher auch die Meinung des Herrn MENIS,⁷ dass zwischen dem Phänomen von Meleda und den Erdbeben die engste Analogie stattfindet. Herr MENIS lässt Beides durch die in ihrem Gleichgewicht gestörte Electricität hervorbringen. Dass das Phänomen von Meleda zu den Erdbeben gehöre, scheinen auch die Herren BREISLAK, BOSSI und CONFIGLIACHI in ihren zweiten Gutachten⁸ zuzugestehen. Auch

¹ P. PARTSCH, a. a. O. S. 96.

² a. a. O. S. 103, 104.

³ KRASKOVICH, Kreisphysicus zu Ragusa, in einem Berichte an das Kreisamt von Ragusa, vom 23. Juli 1822.

⁴ BAUMGARTNER, Professor der Physik a. d. Universität zu Wien, in einem Gutachten an das Vice-Directorat der philosophischen Studien an der Wiener Universität, vom 10. Februar 1823.

⁵ DE ROMANO, provisor. Baudirector in Dalmatien, in einem Bericht an das Gubernium in Dalmatien vom 24. November 1823.

⁶ LITROW, Director der Sternwarte zu Wien, in einem Bericht an das Vice-Directorat der philosoph. Studien a. d. Wiener Universität vom 29. October 1822.

⁷ Dr. MENIS, Stellvertreter des Kreisphysicus von Ragusa in einem Berichte an das Kreisamt von Ragusa vom 16. September 1823.

⁸ BREISLAK, k. k. Inspector der Pulver- u. Salpeterfabriken in der Lombardei, BOSSI, Mitglied des Mailänder Instituts der Wissenschaften, CONFIGLIACHI, Professor der Physik an der Universität zu Pavia, in ihrem zweiten Gutachten an das

der Recensent der Briefe des Dr. STULLI in der *Biblioteca italiana*¹ zählt das Phänomen von Meleda den Erdbeben zu.

3) Die Detonationen von Meleda rühren von der Entbindung einer luftförmigen Flüssigkeit aus dem Meere her, welche sich in einem Augenblicke zu einem ungeheuren Raume ausdehnt, oder welche sich, wenn sie an die Oberfläche des Wassers gelangt, mit einem Bestandtheile der atmosphärischen Luft vermischt, und somit das Getöse hervorbringt. Eine Theorie, ausgesprochen von Dr. STULLI in dem 1823 zu Ragusa in Druck erschienenen Werkchen.²

4) Die Detonationen und Erderschütterungen von Meleda können durch das Herabfallen und Fortrollen von Felsenmassen in unterirdischen Höhlen erklärt werden. Die Meinung des Herrn BREISLAK in seinem ersten, dem Mailänder Institute der Wissenschaften vorgelegten Gutachten.³

5) Das Phänomen von Meleda kann dadurch entstehen, das Wasser aus einer oder aus mehreren Höhlen in andere, mit Luft angefüllte, überfließen und darin die Luft verdichten, welche beim Entweichen Detonationen und Erderschütterungen hervorbringt. Eine hydraulische oder pneumatische Erklärungsart, abgegeben von Herrn CONFIGLIACHI, Professor der Physik zu Pavia, in seinem ersten Gutachten.⁴ Dieser Theorie haben Herr BOSSI in seinem ersten Bericht,⁵ die ungenannten Astronomen der Sternwarte zu Mailand in einer von Herrn CESARIS abgegebenen Erklärung⁶ und die Professoren der Universität Padua in ihrem gemeinschaftlichen Gutachten⁷ beigestimmt.“

Der eingehenden Kritik, welche PARTSCH allen diesen Erklärungsversuchen zu Theil werden lässt, wollen wir nicht folgen, es sei nur bemerkt, dass die aufgestellten Hypothesen theilweise von vollkommen irrigen

k. k. Institut der Wissenschaften zu Mailand vom 24. Januar, 7. Februar und 23. Februar 1824.

¹ Referat im Märzhefte der *Bibliotheca italiana* vom Jahre 1824.

² Dr. STULLI, ausübender Arzt in Ragusa, veröffentlichte Ende 1823 vier Briefe, vom 15. Juli 1822, 24. October 1822, 30. September 1823 und 4. October 1823 unter dem Titel: „Sulle detonazione della Isola di Meleda, Lettere del Dr. L. Stulli.“

³ BREISLAK in dem an das k. k. Institut der Wissenschaften zu Mailand am 15. August 1823 erstatteten Bericht.

⁴ CONFIGLIACHI in dem Bericht an das k. k. Institut der Wissenschaften zu Mailand vom 15. August 1823.

⁵ BOSSI in einem Bericht an das k. k. Institut der Wissenschaften zu Mailand vom 15. August 1823.

⁶ Die Astronomen der Sternwarte zu Mailand in einem von Herrn CESARIS an das Gubernium in Mailand erstatteten Bericht vom 19. November 1823.

⁷ Die Professoren RENIER, DAL NEGRO, MELANDRI, SANTINI und CONFIGLIACHI der Universität Padua in ihrem gemeinschaftlichen Gutachten vom 21. Januar 1824 an den Director der philosophisch-mathematischen Facultät der genannten Universität, NICOLO DA RIO, welcher letzterer in dem Einbegleitungsschreiben an das Gubernium in Venedig vom 17. Februar 1824 ebenfalls seine Meinung (zwar nur eine negative) über das Phänomen von Meleda abgibt.

Voraussetzungen ausgehen — so hält z. B. DE ROMANO die im Karstkalk von Meleda wie im Karst überhaupt häufig vorkommenden Dolinen und Karsttrichter für vulkanische Krater und behauptet, dass er bei der Untersuchung dieser Krater an mehreren Stellen vulkanische Gesteine gefunden habe, während solche auf der ganzen Insel gar nicht vorkommen.

Für uns ist nur die von BREISLAK aufgestellte Einsturzhypothese von grösstem Interesse. PARTSCH giebt die Stelle aus BREISLAK's Gutachten, welche diese Hypothese darlegt, folgendermaassen wieder:

„In diesem Gesteine“ (dem Höhlenkalkstein, einer Abänderung des Jura-Kalkes,¹ aus welchem, wie Herr BREISLAK vermuthet, Meleda besteht) „sind Höhlen nicht allein sehr häufig, sondern verlängern sich auch auf ansehnliche Strecken; bald erweitern sie sich und verengen sich dann wieder in schmale Verbindungen. Ihr Boden ist zuweilen von Massen versperrt, die sich von den Wänden oder den Gewölben losgetrennt haben, wie überhaupt von sehr ungleicher Erhöhung, so dass, wenn man diese unterirdischen Höhlen durchwandern will, man bald abwärts, bald aufwärts steigen muss. Das Wasser, welches entweder in die Zwischenräume der Schichten, oder in die, diese Schichten durchsetzenden Spalten einsickert, schwängert sich mit Kalkerde und bildet jene Tropfsteine, in welchen die Einbildungskraft die sonderbarsten Gegenstände erblickt. So wird, was grössere Aufmerksamkeit verdient, der Zusammenhang zwischen Schicht und Schicht oder zwischen den Wänden einer und derselben Schicht aufgehoben. Wenn nun eine der Schichten einmal angefangen hat, sich von der benachbarten loszumachen, oder Theile davon sich voneinander zu trennen, so müssen Stürze (crollamenti) im Innern der Höhle erfolgen. Die herabfallenden Massen müssen nebst dem Stosse, den sie auf dem Boden hervorbringen, so lange rollen, bis sie ein Hinderniss finden, wo sie liegen bleiben, und an dem sie einen Stoss hervorbringen, der ihrer Masse, vervielfacht mit ihrer Geschwindigkeit, angemessen ist. Der Stoss, den der Fall einer Masse und das Fortrollen derselben den Wänden oder dem Gewölbe gegeben hat, muss sich den benachbarten Theilen communiciren, muss sie erschüttern und dadurch den Fall derselben hervorrufen. Daher werden die Felsstürze einige Zeit fort dauern, bis sich alle nur etwas voneinander getrennten Theile losgemacht haben, und sie können sich erneuern, so oft die nämlichen Umstände zurückkehren. Es wird dann jedesmal hervorgebracht werden: 1) Ein mehr oder weniger starkes unterirdisches Getöse, je nach der Masse des sich lostrennenden Stückes, der Zeit des Rollens und der Beschaffenheit des Ortes, welcher den Schall zurückwirft. 2) Ein Stoss auf alle Theile der unterirdischen Höhle, welcher sich auch auf die Oberfläche fortpflanzen kann. Er wird ebenfalls im Verhältniss stehen mit der Masse, mit der Geschwindigkeit, mit welcher das losgebrochene Stück sich fortbewegt und mit dem Stoss, den es hervorbringt, wenn es an das Hinderniss

¹ richtig: Karstkalk der Kreideformation.

gelangt, das es aufhält. Diese Erklärung scheint im Einklang zu stehen mit den in dem Berichte (des Dr. KRASKOVICH) angeführten, das Phänomen begleitenden Umständen, nämlich: 1) mit der Schwäche der Stösse, die, obwohl merkbar, nicht die geringste Wirkung hervorbringen; 2) mit der Beschaffenheit des Getöses. Eine grosse Masse, welche von einem Gewölbe auf den Boden einer Grotte herabfällt, rollend sich auf demselben einige Zeit fortwälzt, und endlich mit Heftigkeit an den Körper anstösst, der sich der Bewegung entgegengesetzt, muss ein Getöse hervorbringen, ähnlich dem eines starken Kanonenschusses in einer ansehnlichen Entfernung oder hinter einem Berge losgebrannt; es kann mit einer Batterie verglichen werden, die nach verschiedenen, aufeinander folgenden Kanonenschüssen damit endet, zwanzig in demselben Augenblicke abzufeuern. Die Sprünge, welche das rollende Stück macht, entsprechen den verschiedenen einzelnen Kanonenschüssen, und der letzte stärkere Anstoss kann dem gleichzeitigen Abfeuern einiger Kanonen verglichen werden.¹

PARTSCH stellt die Möglichkeit dieser Erklärungsweise eines sich durch unterirdisches Getöse und schwache Erderschütterungen kund gebenden Phänomens keineswegs in Abrede, er giebt ausdrücklich zu, dass von unterirdischen Gewölben herabfallende und dann einige Zeit in Höhlen fortrollende Felsenmassen an einigen Orten vielleicht wirklich schon Erscheinungen hervorgebracht haben, die denen des Phänomens von Meleda ziemlich ähnlich gewesen sein können. „Dass aber“ — „sagt PARTSCH — „die von Herrn BREISLAK aufgestellte Erklärungsart auf das Phänomen von Meleda nicht passe (obwohl sie für ähnliche Fälle, aber wohl auch nur höchst selten, angenommen werden dürfte) geht aus Umständen hervor, die Herrn BREISLAK zur Zeit, wo er sein erstes Gutachten, welches sich blos auf den Bericht des Dr. KRASKOVICH stützt, abgab, noch nicht bekannt sein konnten. Nie können wohl Felsenmassen, die sich von der Decke unterirdischer Höhlen losmachen, eine solche Erschütterung des Bodens, vorzüglich nach oben zu, hervorbringen, dass davon Gebäude auf die Erstreckung von mehreren Stunden (nämlich auf die Entfernung von Babinopoglie bis Blatta) beschädigt und dadurch Felsstücke von benachbarten Bergen losgerissen werden könnten; dass die, in den unterirdischen Höhlen herabfallenden Massen einen Schall erregen, den man zuweilen auf der ganzen, fünf deutsche Meilen langen Insel, wie auf dem, die Insel umgrenzenden Meere hört, und welcher manchmal so heftig ist, dass er dem Abfeuern einer Batterie gleicht; einen Schall, von dem man nicht mit Bestimmtheit sagen kann, dass er da oder dort, oder überhaupt aus der Erde hervorkomme; dass diese unterirdischen Felsstürze ein Phänomen erzeugen, welches die Bevölkerung einer ganzen nicht unbedeutenden Insel zittern macht, und da ein paar Mal alle jene Scenen des Schreckens hervorrief, zu welchen nur bedeutendere Erdbeben Veran-

¹ P. PARTSCH: Bericht über das Detonationsphänomen auf der Insel Meleda. S. 138—140.

lassung geben. Wollte man, um die Stärke des Phänomens zu erklären, zu sehr bedeutenden unterirdischen Verstärkungen seine Zuflucht nehmen, so müsste, was auch schon bei der langen und gegenwärtig schon dreijährigen Dauer des Phänomens hätte eintreten müssen, doch irgendwo eine Einsenkung des Bodens stattgefunden haben.“¹

Diese Einwendungen, welche P. PARTSCH gegen die Einsturzhypothese BREISLAK'S anführt, sind kaum stichhaltig. Schon geringere Einstürze künstlich erzeugter Hohlräume in Bergwerken veranlassen an der Oberfläche dieselben Erscheinungen wie Erdbeben (vergl. die von LASAULX gegebene Schilderung der Erscheinungen, die der Einsturz der abgebauten Glocke des Kruschachtes zu Königshütte in Oberschlesien verursachte — S. 33), sie veranlassen in der Nähe des Einsturzes an der Oberfläche successorische Bewegungen von beträchtlicher Intensität, und unterirdischer Donner und schwächere Erschütterung verbreiten sich auf eine ziemliche Entfernung. Die mechanischen Wirkungen des Phänomens von Meleda waren übrigens, wie PARTSCH selbst feststellte (vergl. oben S. 303) sehr geringe, nur zwei Gebäude, eines zu Babinopoglie und eines zu Blatta, die früher schon auffällig gewesen waren, wurden ganz unbrauchbar, die meisten Häuser zu Babinopoglie erlitten, wenn sie überhaupt beschädigt wurden, nur unbedeutende Sprünge. Auch das Felsstück, welches sich am 23. August 1823 nach einer Erschütterung vom Berge Veliki-Grad ablöste, dürfte schon vorher ziemlich gelockert gewesen sein, so dass es nur eines kleinen Anstosses bedurfte, um es zum Absturz zu veranlassen. Uebrigens war die Verbreitung des Schallphänomens von Meleda und noch mehr jene der Erschütterungen, die zuweilen mit den Detonationen verbunden waren, eine sehr mässige (vergl. oben S. 303), so dass man die Erscheinungen als bloß locale bezeichnen muss, die recht gut durch unterirdische Einstürze hervorgerufen worden sein können, zumal die Dimensionen der Höhlen im Karst so bedeutende sind, dass recht gut gewaltige Einstürze in denselben stattfinden können, ohne dass ein Nachbrechen bis zur Oberfläche in allen Fällen stattfinden müsste.

Es ist selbstverständlich, dass sich auch gegen die von PARTSCH gegebene Erklärung der Phänomene von Meleda, welche von dem plutonistischen Standpunkte HUMBOLDT'S und L. v. BUSCH'S ausgeht, wesentliche Einwände geltend machen lassen. Wir begnügen uns jedoch damit, die Ansicht der Commission über das Phänomen von Meleda, wie sie der Eingang des fünften Abschnittes der PARTSCH'Schen Monographie darlegt, vorzuführen, ohne uns in die nähere Erörterung derselben einzulassen. „Unsere Meinung“ — sagt P. PARTSCH — „besteht im Folgenden: 1) Die Detonationen und Erdstöße von Meleda sind Phänomene, welche den Erdbeben angehören. 2) Erdbeben und Vulkane haben eine und dieselbe Entstehungsursache. 3) Diese ist nicht in der äusseren Rinde, sondern mehr im Innern der Erde zu suchen. 4) Erdbeben sind häufige

¹ P. PARTSCH, a. a. O. S. 141 u. 142.

Erscheinungen, aber nur äusserst selten oder vielleicht nie folgen denselben in der jetzigen Altersperiode der Erde in Gegenden, wo kein thätiger Vulkan oder Merkmale einer ehemaligen vulkanischen Thätigkeit bestehen, vulkanische Ausbrüche.“¹

Ein ganz ähnliches Phänomen, wie jenes von Meleda machte sich in den Monaten November und December 1851 am Monte Tomatico bei Feltre in der Provinz Belluno bemerkbar. Berichte über die Erscheinungen vom Monte Tomatico hat W. HAIDINGER gesammelt.² Wir entnehmen einem derselben, welcher von P. EUGENIO JAROSCH, Professor an dem bischöflichen Seminar zu Feltre, herrührt, Folgendes: 1) „Die unterirdischen Detonationen wurden in Feltre zum ersten Male am 4. oder 5. November 1851 wahrgenommen, während in der Ebene heftiger Regen und in den Gebirgen häufiger Schnee fiel. 2) Von besagtem Zeitpunkte bis zum 26. December folgten sich die in Rede stehenden Detonationen in grösseren oder kleineren Zwischenräumen, mit grösserer oder minderer Heftigkeit, aber immer in unregelmässigen Perioden. 3) Diese Detonationen waren mit einem entfernten plötzlichen Knall zu vergleichen, oder wohl auch mit einem Schalle wie wenn ein Felsenstück in einen tiefen See fällt. 4) Einige Personen wollen in dem Augenblicke des Schalles manchmal auch ein Wanken des Erdbodens bemerkt haben — ich hatte mich aber nie davon überzeugt. Es ist jedoch gewiss, dass manchmal die Fenster der Häuser zitterten und die an den Wänden aufgehängten Geräthe sich merklich bewegten. 5) Die Magnetnadel, die ich mehrmals beobachtete, zeigte niemals jene Störungen, die bei Erdbeben vorzukommen pflegen. Der Barometer wurde wenig beobachtet, er hielt sich jedoch immer sehr hoch und namentlich im December. Die Thiere gaben kein Zeichen einer Vorahnung der Detonationen; als diese erfolgten, zeigten sie sich jedoch sehr unruhig und rissen sich von ihren Stricken los; im freien Felde waren sie ruhiger. 6) Die Oertlichkeit, an welcher die Detonationen am merkbarsten zu hören waren, ist am nördlichen Fusse des Tomatico beim Orte Villaga; im sonstigen Umfange des Berges scheint das Phänomen nicht bemerkt worden zu sein. In der Stadt Feltre waren die Detonationen nur drei oder viermal gut wahrnehmbar; in grösserer Entfernung vom Monte Tomatico glaube ich nicht, dass die Detonationen gehört worden seien.“³ P. E. JAROSCH schliesst seinen Bericht, der sich auch mit den geologischen Verhältnissen der Umgebung Feltre's sowie mit den verschiedenartigen Hypothesen der Erklärung des Schallphänomens beschäftigt, mit den Worten: „Bei Eröffnung der günstigen Jahreszeit wird es nöthig sein, sich an Ort und Stelle zu begeben, um eine genauere Untersuchung vorzunehmen, hauptsächlich

¹ P. PARTSCH, a. a. O. S. 153.

² W. HAIDINGER: Das Schallphänomen des Monte Tomatico bei Feltre; Jahrbuch der k. k. geologischen Reichsanstalt, 4. Bd. Wien 1853. S. 559.

³ Am angegebenen Orte, S. 564.

da sich einige neue tiefe Spaltungen eröffnet haben sollen.“¹ Im Gegensatz zu diesem, am 14. März 1852 erstatteten Bericht des Herrn P. E. JAROSCH heisst es in einem von der Municipalität zu Feltre am 25. März 1852 abgegebenen ausdrücklich, „dass die nach Ablauf der herbstlichen Regen vorgenommene Untersuchung des Ortes, wo die Detonationen stattgefunden hatten, keine Erdrisse, keine Eindrückungen, keine Aufblähungen u. dgl. zeigte, dass keine neuen Quellen entstanden und die schon bestandenenen nicht versiegten, durchaus keine sichtbare Veränderung beobachtet werden konnte.“²

Prof. Dr. T. A. CATULLO schrieb über das Schallphänomen des Monte Tomatico folgenden Brief: „Padua, den 14. März 1852. In Beantwortung der verehrlichen Zuschrift der k. k. geologischen Reichsanstalt, muss ich vor Allem mittheilen, dass ich bei dem im verflossenen Herbste bei Feltre vorgekommenen Phänomen nicht Augenzeuge war. Dieses Phänomen fand statt im Berge Monte Tomatico, 3 Miglien von Feltre entfernt; dieser Berg erhebt sich südlich zwischen Feltre und Pederoba, mehr oder weniger dem Thale folgend, in welchem der Piave fliesst. Der Tomatico gehört zur Jura- und Neocomien-Formation. Dr. FACEN von Feltre, welcher über diesen Gegenstand in der Venetianer Zeitung (27. November 1851) einen Bericht erstattete, sagt, dass das Geräusch, aus welchem das Phänomen bestand, der Art war, als wenn ein grosser Felsen von der Höhe herab in ein grosses Wasserbecken gefallen wäre. Dieses Geräusch dauerte, mit Zwischenräumen von mehreren Stunden und mit mehr oder weniger Kraft, durch mehrere Tage. Nach jedem Schlage erfolgte unmittelbar ein Zittern des Erdbodens, welches eine starke Oscillation der Fenster der nächsten Häuser hervorbrachte. Dr. FACEN glaubt folgende Erklärung geben zu können, dass nämlich im Innern des Tomatico-Berges sich eine ausgedehnte geschlossene Höhle vorfinden dürfte, welche in Folge des fortwährenden Regens sich mit Wasser angefüllt hätte, dass ein unterirdischer Erdfall stattgefunden haben könne, dass sich grosse Massen von Felsen abgelöst und von der Höhe in das Wasserbecken gefallen seien, welcher Fall das Phänomen verursachte. Diese Hypothese ähnelt jener des Herrn NECKER, um einen vor wenigen Jahren in den Schweizer Salinen vorgekommenen Fall zu erklären (Proceed. geol. Soc. of London, vol. 3. 1838). Die mir gegen Ende des verflossenen Jahres von Feltre und Belluno zugekommenen Nachrichten stimmen nicht mit dem Berichte des Herrn FACEN überein, indem Einige glauben, dass vom Tomatico-Berge, als vom Mittelpunkte aus, sich die Schallwellen der Stösse in verschiedenen Richtungen fortpflanzen, nämlich längs den zwei Ausläufern der Gebirgskette und durch eine Strecke längs dem Thale zwischen Carpen und Scalon; Andere behaupten, die erwähnten Stösse kaum in kurzen Entfernungen gehört zu haben. Da mir die Beweise mangeln, um die

¹ a. a. O. S. 565.

² a. a. O. S. 566.

eine oder die andere Meinung anzunehmen, so habe ich beschlossen, mich an Ort und Stelle zu begeben, um allda nähere und weniger entgegengesetzte Nachrichten über die Natur des von FACEN beschriebenen Phänomens einzuholen, so auch zu untersuchen, ob nicht vielleicht am Abhange des Tomatico sich Spalten, Einsenkungen oder andere Kennzeichen finden lassen, welche die im Innern des Berges stattgefundenen Wirkungen erklären könnten.“¹

W. HAIDINGER schliesst sich der Ansicht Jener an, welche als Ursache des Schallphänomens vom Monte Tomatico Einsturzvorgänge unterirdischer Höhlen annehmen, und sagt wörtlich: „Unterirdische Erdfälle, auf welche sich Schallphänomene dieser Art ziemlich ungezungen zurückführen lassen, sind wohl nicht ohne Beispiel. Die Natur derselben und der ganzen unterirdischen Welt der Kalksteinhöhlen ist uns durch die kühnen, gefahrvollen Forschungen unseres verehrten Freundes Dr. A. SCHMIDL in der neuesten Zeit viel bekannter geworden. Die ungeheuren Dämme von Steingetrümmer, die man bei der Durchforschung der Höhlen so oft überklettern muss, sind nichts anderes, als von der Decke hereingebrochene Felsmassen. Oefters erzählen die Zeitungen vom Ausbleiben eines Höhlenflusses, der späterhin plötzlich aber trübe wieder hervorbricht. Das erklärt sich gut durch einen solchen Einbruch. Geht der Bruch zu Tage aus, so bildet sich die Foibe, der Erdfall, der Trichter, die Doline, unter geeigneten Verhältnissen der See. Ob man am Monte Tomatico bei Feltre aus dem unterirdischen Schalle mit Gewissheit auf unterirdische Steingeröllfälle schliessen darf, ob ein rasches Fortschreiten angenommen werden kann, ob eine ausgedehnte, nicht unterstützte Gesteinsdecke über einer entsprechenden unterirdischen Wassermasse sich ausbreitet, ob es so naheliegend sei, ein Einstürzen derselben zu befürchten, so dass man — wie aus Veranlassung des allmählichen Einstürzens des Calanda — Vorsorge für die Stadt und ihre Bewohner treffen sollte, das sind allerdings sehr wichtige Fragen, welche unsere volle Aufmerksamkeit erheischen. Jede Nachricht, die uns Neues lehrt, wird willkommen sein. Indessen suchen wir auch billig Neues auf schon Bekanntes und Erlebtes zurückzuführen. Da liegt uns denn gewiss am allernächsten das „Detonationsphänomen auf der Insel Meleda,“ welches seiner Zeit so grosses Aufsehen erregt hat und über welches uns der treffliche Bericht des gegenwärtigen Directors des k. k. Hof-Mineralien-Cabinetts, P. PARTSCH, vorliegt.“² Diesen Ausführungen HAIDINGER'S über die Ursache des Schallphänomens des Monte Tomatico sowie insbesondere über die Gleichartigkeit desselben mit den Detonationen von Meleda müssen wir wohl beipflichten, beide Erscheinungen dürften auf Einstürze in unterirdischen Höhlen zurückzuführen sein, und wurden in diesem Sinne auch in dem Werke E. v. Moj-

¹ a. a. O. S. 563 u. 564.

² W. HAIDINGER. Das Schallphänomen des Monte Tomatico bei Feltre, Jahrbuch d. k. k. geolog. Reichsanstalt. Wien 1853. S. 566.

SISOVIC'S: „Die Dolomitriffe von Südtirol und Venetien“¹ sowie in den „Erdbebenstudien“² besprochen.

Während in diesen Fällen der Charakter der Einsturzerdbeben ein kaum verkennbarer ist, tritt er uns in anderen Fällen, welche derselben Erdbebencategorie zugerechnet werden, keineswegs in derselben Deutlichkeit entgegen. So vor allem in jenen seismischen Erscheinungen, welche in den Jahren 1869, 1870 und 1871 von Gross-Gerau bei Darmstadt ausgingen und sich theilweise über ein sehr bedeutendes Areal verbreiteten. Diese, durch häufige Wiederholung ausgezeichneten Beben wurden durch A. v. LASAULX als Einsturzbeben bezeichnet, es ist aber sehr zweifelhaft, ob ihnen diese Eigenschaft wirklich zukommt. Ueber die ausserordentlich grosse Zahl der einzelnen Stösse, welche bei der Erdbebenperiode von Gross-Gerau 1869—1870 wahrgenommen wurden, wurde bereits an früherer Stelle Einiges mitgetheilt (siehe S. 208). Mit Zugrundelegung der von C. W. C. FUCHS in seiner Statistik der Erdbeben von 1865—1885 gegebenen Daten mögen nachstehend wenigstens die Hauptsächlichsten dieser grossen Erdbebenperiode angeführt werden.

Die Erschütterungen derselben begannen in der Nacht vom 12. zum 13. Januar 1869. Etwa 12 Uhr Nachts wurde Darmstadt von einem so heftigen Erdstoss betroffen, dass Balken krachten und Möbel sich verrückten. Gegen 7 Uhr Morgens wiederholte er sich. Der Stoss in der Nacht war auch in Frankfurt sehr heftig, schwächer in Mainz, Worms, Fürth in H. und vielen Dörfern bis Aschaffenburg. Am 20. Januar ereigneten sich abermals Erdstösse in Darmstadt von Nord nach Süd. Der stärkste trat Abends gegen 3 Uhr ein und wurde in Gross-Biberau, Langen, Aarheiligen, Engelsbach, Niederbeerbach, dann in Hollerbach und Niederneudorf im Amt Buchen gespürt. In Darmstadt zählte man an diesem Tage fünf Stösse, 8 Uhr und 11 Uhr Vormittags, $2\frac{1}{2}$, $5\frac{1}{4}$ und $7\frac{3}{4}$ Uhr Nachmittags. Die drei ersten waren in der ganzen Stadt zu bemerken, die anderen nur in den östlichen Strassen.³

In der Gegend von Darmstadt trat nun bis October Ruhe ein; doch ereigneten sich in den Rheinlanden in der Zwischenzeit mehrere nennenswerthe Erderschütterungen:

17. März. Gegen $9\frac{1}{2}$ Morgens Erdbeben in der Rheinprovinz, als dessen Centrum Siegburg erschien.

22. Juni. Abends $10\frac{1}{2}$ Uhr Erdstoss in St. Goar, Lorch, Caub und bis Bonn.

2./3. October. In der Nacht starke Erderschütterung in der Rhein-

¹ E. v. MOJSISOVIC'S: Die Dolomitriffe von Südtirol und Venetien. Wien 1879. S. 452.

² R. HOERNES: Erdbebenstudien, Jahrbuch d. k. k. geolog. Reichsanstalt, 28. Bd. Wien 1878. S. 388.

³ C. W. C. FUCHS: Statistik der Erdbeben von 1865—1885, 92. Bd. d. Sitzungsberichte d. k. Akad. d. Wissensch. Wien, 1. Abh. 1885, Octoberheft S. 280.

provinz. Als Grenzpunkte wurden Boppard, Köln, Honnef an der Sieg und Kuchenheim bis Einskirchen angegeben.

An diesen Orten, sowie in Coblenz, Vallendar, Neuwied, Remagen, Bonn und Königswinter war der Stoss sehr stark. In geringerer Stärke verbreitete sich die Erschütterung noch viel weiter, Saarbrücken, Düsseldorf, Betzdorf an der Sieg und Bergisch-Gladbach wurden davon betroffen, sogar viele Orte bis Lüttich. —

9. October. Morgens 10 Uhr 56 Minuten Erdstoss mit einer Detonation in Bonn.

Vom 18. October an begannen die Erschütterungen wieder sich in der Gegend von Darmstadt und insbesondere in Gross-Gerau fühlbar zu machen.¹

18. October. 4 Uhr Nachmittags in Darmstadt wellenförmiger Erdstoss von S. nach N., $1\frac{1}{2}$ Sec. Dauer.

24. October. 11 Uhr 30 Minuten Nachts schwacher Erdstoss in Gross-Gerau.

25. October. 4 Uhr 30 Minuten Nachmittags abermals schwache Erschütterung in Gross-Gerau.

26. October. Abends Erderschütterungen in Gross-Gerau.

27. October. 11 Uhr 46 Minuten Nachts Erderschütterungen in Gross-Gerau.

28. October. Morgens 4 Uhr Erdstoss in Ehringhausen im Kreise Wetzlar und 11 Uhr 30 Minuten Nachts eine wellenförmige Erschütterung von S. nach N. in allen Orten an der Dill.

28. October. 4 Uhr Nachmittags starker Erdstoss in Darmstadt. In Gross-Gerau ereigneten sich zwischen 4 Uhr und 4 Uhr 30 Minuten mehrere Erderschütterungen.

29. October. Im Laufe des Tages viele Erderschütterungen in Gross-Gerau, besonders am Abend gruppenweise. Um 9 Uhr ein heftiger Stoss im Kreise Wetzlar.

30. October. Morgens 10 Uhr 20 Minuten und 10 Uhr 35 Minuten Erderschütterung in Gross-Gerau. — Nachmittags 4 Uhr 25 Minuten Erdstoss zwischen Gross-Gerau und Darmstadt von 2 Sec. Dauer und von S. nach N. sich fortpflanzend. — Abends $6\frac{1}{2}$ Uhr Erderschütterung in Neustadt a. H. und um 6 Uhr in Waldalpesheim bei Kreuznach. — Abends 8 Uhr 5 Minuten grosses Erdbeben mit kanonenschussähnlicher Detonation in Gross-Gerau, Darmstadt, dem westlichen Odenwald und bis Hanau mit folgenden Einzelheiten: Mainz 8 Uhr 4 Min. heftiger Stoss, in Darmstadt um dieselbe Zeit drei Stösse von S. nach N., Zwingenberg um 8 Uhr, Eberstadt 8 Uhr 30 Min., Wolfskehlen 8 Uhr 15 Min., Griesheim 8 Uhr, Nierstein 8 Uhr 10 Min., Nauheim 8 Uhr 5 Min., Münster bei Dieburg 8 Uhr, Reichelsheim im Odenwald 8 Uhr, Schönberg 8 Uhr 3 Min., Lindenfels 8 Uhr 30 Min., Langen und Philippseich 8 Uhr ein

¹ Vergleiche C. W. C. FUCHS a. a. O. S. 282 und folgende.

Erdstoss. In Rheinhessen: Ensheim bei Wörrstadt 8 Uhr 15 Minuten, Mommenheim und Waldulmersheim 8 Uhr, Dürkheim in der Pfalz schwach ein Stoss. — Die Erschütterung spürte man auf einem elliptischen Raum, dessen Axe im Westen von Ensheim bis Reichelsheim im Osten 50 Kilometer betrug, die kleine Achse von N. nach S., von Philippseich bis Rodau 40 Kilometer. — Später kamen noch folgende Erderschütterungen vor: Um 11 Uhr Nachts im Schloss Schönberg, 11¹/₂ Uhr in Neustadt a. G., 11 Uhr 50 Min. in Stockstadt, Eberstadt, Wolfskehlen, Oppenheim, Nierstein, Bodenheim und Nauheim, gegen Mitternacht in Gmünden auf dem Hundsrück, 11 Uhr 30 Min. auf der Ahlerhütte bei Lahnstein und auf der Eisenbahn zwischen Ems und Nassau. Es lässt sich nicht feststellen, wie weit diese Erscheinungen local oder allgemeiner auftreten. In Gross-Gerau zählte man zehn Stösse bis zum folgenden Morgen.

31. October. Morgens 1 Uhr sehr starker Stoss in Gross-Gerau, dann um 4 Uhr Morgens, um 12 Uhr 10 Min., 3 Uhr 25 Min., und 5 Uhr 25 Min. sehr heftige Stösse, ausserdem noch zahlreiche schwächere, im Ganzen 56 Stösse, welche C. W. C. FUCHS insgesamt mit der jeweiligen Stosszeit anführt.¹ Der Erdstoss um 3³/₄ Uhr Morgens wurde u. A. gespürt in: Alweiler, Kreis St. Wendel, Bendorf im Rheinthal, Cobern im Moselthal sehr stark; 4 Uhr wird als Eintrittszeit angegeben in Bacharach mit von SO nach SW gerichteter Fortpflanzung, Coblenz, Mayen (4 Uhr 12 Min. von SW nach NO) und Bonn, 133 Kilometer von Gross-Gerau entfernt.

Von dem Erdstoss um Mittag kamen Nachrichten aus Stockstadt (12 Uhr 14 Min.), Erfelden, Gustavsburg, Bischofsheim (12 Uhr 5 Min. und 12 Uhr 10 Min. unter Getöse), Hochheim, Wiesbaden, Heidelberg.

Mit dem Erdstoss von 3 Uhr 24 Min. in Gross-Gerau stimmen wohl folgende überein: Pfungstadt (3 Uhr 28 Min.), Eberstadt (3 Uhr 5 Min.), Stockstadt (3 Uhr 23 Min.), Wolfskehlen (3 Uhr), Griesheim (3 Uhr 30 Min.), Oppenheim (2 Uhr und 3 Uhr 25 Min.), Wiesbaden (3 Uhr 30 Min.), Rüsselheim im Mainthale (3 Uhr 30 Min.), Langen (3 Uhr 25 Min.), Philippseich (3 Uhr 15 Min.), Reichelsheim im Odenwald (3 Uhr 15 Min.), Mörlenbach, Lindenfels, Reichenbach, Heidelberg (3 Uhr 30 Min.). Die grosse Axe dieses Erschütterungsgebietes von Lindenfels nach Wiesbaden, in südöstlich-nordwestlicher Richtung hat acht Meilen, die kleine von Südwest nach Nordost, von Langen nach Oppenheim, 3³/₄ Meilen Durchmesser.

Noch ausgedehnter war die Erschütterung um 5 Uhr 25 Min. Abends. Sie wurde nicht nur in allen bisher genannten Orten gespürt, sondern auch einerseits in Mannheim, Heidelberg, der ganzen Provinz Starkenburg, ganz Rheinhessen und Mainz, andererseits in Frankfurt, Höchst, Giessen, Boppard, Andernach (6 Uhr), Köln (5¹/₂ Uhr), Hanau (5¹/₂ Uhr) und im Westerwald. In Dürkheim in der Pfalz beobachtete man gegen

¹ a. a. O. S. 283.

6 Uhr einen von S nach N gerichteten Erdstoss von 2 Sec., in Neustadt um 5 Uhr 45 Min. einen von W. nach O. In Frankfurt soll der Stoss im westlichen Stadttheil stärker gewesen sein als im östlichen. In Rüsselsheim und Schwanheim stürzten Schornsteine ein; in Giessen empfand man drei Stösse. Der diesmal erschütterte Raum bildete ungefähr eine Ellipse von SO nach NW, 133 Kilometer lang und 90 Kilometer breit in der kurzen Axe. Köln liegt jedoch ausserhalb derselben.

Mehrere secundäre Erschütterungen wurden an einzelnen Orten beobachtet, die sich nicht in Uebereinstimmung bringen lassen, z. B. in Langenschwalbach am unteren Taunus zwischen 6 und 7 Uhr, Stockstadt 7 Uhr 35 Min., Unkel 8 Uhr, Münster a. St. und Bingerbrück zwischen 9 und 10 Uhr, Worms 10 Uhr, Remagen und Oberwinter 10 Uhr 25 Min., wellenförmig von N nach S, Gemünden im Kreis Simmern zwischen 10 und 11 Uhr.

Ungewöhnlich weit erstreckte sich eine Erschütterung um 8 Uhr Abends, nämlich bis zum hohen Asperg in Württemberg.

Zwischen 11 Uhr und Mitternacht sind u. A. folgende Thatsachen festgestellt: Trier, Guntersblum, Darmstadt, Bodenheim, Eltville kurz vor Mitternacht eine Erschütterung; Mayen 11 Uhr 30 Min., Andernach 11 Uhr, Burgbrohl 11 Uhr 30 Min., Oberlahnstein 11 Uhr 45 Min., Neustadt im Mainthal 11 Uhr 45 Min., drei oder vier Stösse von NO nach SW und in Frankfurt 11 Uhr 45 Min. einer, Wetzlar zwischen 11 $\frac{1}{2}$ und 12 Uhr, Dillenburg nach Mitternacht, Trarbach 12 Uhr 30 Min. einer.

1. November. Auch an diesem Tage ereigneten sich in Gross-Gerau zahlreiche Erschütterungen, im Ganzen waren es 52 Stösse, die stärksten waren jene um 4 Uhr 7 Min. und 7 Uhr 10 Min. Morgens, und 2 Uhr 15 Min., 2 Uhr 50 Min., 6 Uhr 15 Min. und besonders 11 Uhr 50 Min. Abends. An anderen Orten ereignete sich an diesem Tage u. A. Folgendes:

In Mannheim 3 Uhr 11 Min. Morgens Erdbeben aus drei Stössen bestehend, denen sogleich ein vierter folgte. Sehr heftig wiederholte es sich um 4 Uhr 10 Min. Beide Erdbeben hatten grosse Ausdehnung und erstreckten sich über Frankfurt, Wiesbaden, Mainz, Kaiserslautern, Mörlenbach, Lindenfels, Fürth, Erbach, Reichenbach i. O., Aschaffenburg, bis Heilbronn, Neustadt, Dürkheim, Giessen, Marburg, Braubach, Ems, Köln, Saarbrücken.

In Wiesbaden und Braubach erfolgte um 5 Uhr 15 Min. Morgens abermals eine Erderschütterung.

Lange andauernd war die Erderschütterung in den meisten Orten um 11 Uhr 46 Min. Abends. In Mannheim war es ein heftiger Stoss, dem ein unbestimmtes Schütteln folgte; in Darmstadt trat der Stoss 11 Uhr 58 Min., in Stuttgart und Heilbronn 11 Uhr 45 Min., Worms 11 Uhr 40 Min., Heidelberg 11 Uhr 50 Min., Wiesbaden 11 Uhr 40 Min., Bingen 11 Uhr 45 Min., Braubach, Boppard und Koblenz 11 Uhr 30 Min., Neuwied 12 Uhr, Unkel 11 Uhr 30 Min., im Odenwald, Langengrombach

und Oberbeerbach um 11 Uhr 15 Min., in Mörlenbach, Schöllnbach, Birkenau u. s. w. um 12 Uhr, im Mainthal, Kostheim 11 Uhr 30 Min., Hochheim 11 Uhr 45 Min., Frankfurt 11 Uhr 45 Min., Höchst und Offenbach 11 Uhr 30 Min., Hanau und Aschaffenburg 11 Uhr 50 Min. ein. In Gemünden, Kreis Simmern erfolgten zwei Stösse, um 11 Uhr 30 Min. und 12 Uhr. In Frohnhausen bei Kassel 11 Uhr 45 Min., Dillenburg kurz nach 12 Uhr nur einer. Im Moselthal ein Stoss: Trier 11 Uhr 45 Min. schwach von SO nach NW., Bernkastel und Cobern 11 Uhr 30 Min. stark, Gillenfeld 11 Uhr, Mayen und Laach 11 Uhr 45 Min. Dieser Stoss war der ausgedehnteste, denn er betraf einen Raum von 122 Kilometern im Radius von dem Centrum Gross-Gerau aus.

Zwischen 9 und 10 Uhr Abends, wo die Erderschütterungen in Gross-Gerau so zahlreich waren, machte man an anderen Orten folgende Beobachtungen: Giessen 9 Uhr 10 Min. wellenförmige Erderschütterung, Lorsch 9 Uhr 20 Min., Boppard, Burgbrohl, Mayen 9 Uhr 30 Min., Kaiserslautern 9 Uhr 30 Min., Dillenburg und Gemünden 10 Uhr eine Erschütterung.

2. November. Fortsetzung des Erdbebens von Gross-Gerau. Zahlreiche Stösse, von welchen als die stärksten hervorzuheben sind jene um 3 Uhr 15 Min., und 11 Uhr 15 Min. Morgens, 2 Uhr 30 Min. und besonders 9 Uhr 28 Min. Abends. Letzterer war so heftig, dass der Boden unter den Füßen wankte, Spiegel von den Wänden stürzten und Schornsteine herabgeworfen wurden. Beobachtungen an anderen Orten: Mannheim Abends 9 Uhr 29 Min. Erdstoss in der Dauer von 3 Secunden. Um dieselbe Zeit wurde auch in Heidelberg und Darmstadt eine Erschütterung wahrgenommen. In Mainz um 9 Uhr 27 Min. ein sehr starker Erdstoss, der die Thürme von W nach O, dann von N nach S schwanken machte, ausserdem traten 6 Oscillationen mit Getöse ein. Neustadt a. H. vier Stösse um 9 Uhr 25 Min. von N nach S; Dürkheim vier wellenförmige Erschütterungen von SW nach NO um 9 Uhr 25 Min., Alzey 9 Uhr 25 Min., Gernsheim, Stockstadt, Guntersblum, Oppenheim, Nackenheim, Wiesbaden, Bingen, Bacharach, Caub, Braubach 9 Uhr 30 Min., Bonn 9 Uhr 26 Min., ebenso Köln, Neuwied 10 Uhr, Giessen 9 Uhr 30 Min., Marburg 9 Uhr 45 Min., Wetzlar 9 Uhr 30 Min., im Odenwald, Erbach und Reichenbach 9 Uhr 45 Min.

Ausserdem wurden an diesem Tage noch zahlreiche einzelne Erschütterungen in dem Erdbebengebiete zu verschiedenen Zeiten wahrgenommen.

3. November. Den ganzen Morgen dauerte zu Gross-Gerau das Stossen, Rütteln und Donnern an, man konnte 23 Stösse und 49 Schwingungen deutlich unterscheiden. Davon wurde einer am frühen Morgen im weiten Umkreis wahrgenommen: Mainz Morgens 3 Uhr 40 Min. Erdbeben von S nach N und in Darmstadt drei Stösse in vier Secunden, ferner wurde diese Erschütterung verspürt in Dürkheim, Alzey, Gries-

heim, im Odenwald (Oberbeerbach, Reichenbach), in Frankfurt, im Lahnthal u. s. w.

Ein anderer ausgedehnter Erdstoss trat zwischen 9 und 10 Uhr Abends ein, wo in Gross-Gerau keiner besonders auffiel. Er traf u. A. Braunfels, Wetzlar (9 Uhr 30 Min.), Dürkheim (9 Uhr 45 Min.), Offenbach und Isenburg (9 Uhr 25 Min.).

Die Erschütterungen zu Gross-Gerau dauerten dann den ganzen November 1869 fort, doch in geringerer Intensität und Häufigkeit, wenngleich an jedem Tage noch immer eine ziemliche Zahl einzelner Stösse beobachtet wurde. Der 22. November bezeichnete ein Wiederaufleben der seismischen Thätigkeit, da an diesem Tage zahlreichere Stösse stattfanden, von denen einer um 7 Uhr 8 Min. Morgens fast ebenso stark war, wie der am 31. October und sich weit ausbreitete, so dass er in Mannheim, Heidelberg, Darmstadt, einem Theil des Odenwaldes, Heilbronn, Mainz, Wiesbaden, Rüdesheim und Bingen wahrgenommen wurde. Ende November und im Laufe des December 1869, sowie im Januar 1870 dauerten die Erschütterungen zu Gross-Gerau fort.

Seit Ende Januar 1870 herrschte daselbst ziemliche Ruhe, doch waren wenige Tage ganz frei von Erderschütterungen. Vom 18. Februar an vermehrten sich dieselben wieder und gerade an diesem Tage spürte man 10 Uhr Morgens einen Stoss und 7 $\frac{1}{2}$ Uhr Abends einen heftigen Ruck, dem noch ein schwächerer folgte. Am heftigsten wurde dieses Ereigniss im nördlichen Theile von Gross-Gerau gespürt. Durch das ganze Jahr 1870 wurden bald schwächere, bald heftigere Erschütterungen zu Gross-Gerau wahrgenommen, desgleichen 1871.

Im Jahre 1871 ereigneten sich neben Erschütterungen, welche von Gross-Gerau ausgingen, auch manche Erdbeben, welche ihr Centrum in nicht allzu grosser Entfernung, im Odenwald und in der Gegend von Lorsch hatten. Da dieses Nebeneinandervorkommen benachbarter Erschütterungen für die Deutung des Phänomens von Gross-Gerau von Wichtigkeit ist, sollen nachstehend, den Angaben von C. W. C. FUCHS¹ folgend, die in diesem Gebiete Deutschlands im Jahre 1871 stattgehabten seismischen Erscheinungen kurz angeführt werden.

25. Januar. Erdstoss in Gross-Gerau.

2. Februar. Morgens 4 Uhr heftiges Erdbeben zu Boxberg (Odenwald) auch in Fürth und Lampertheim gespürt. An ersterem Orte wurden Möbel in oberen Stockwerken vom Platze gerückt.

5. Februar. Schwache Erderschütterung in Gross-Gerau.

7. Februar. Während der Nacht abermals schwache Erderschütterung zu Gross-Gerau.

10. Februar. Morgens 5 Uhr 26 Min. Erdbeben in Mannheim und vielen anderen Orten der badischen und bayrischen Pfalz und von Hessen, das sich auch noch in den benachbarten Ländern schwach fühlbar machte.

¹ a. a. O. S. 292 bis 295.

In Mannheim dauerte der Stoss 2 Secunden mit der darauf folgenden rüttelnden Bewegung, dabei konnte man deutlich fünf Wellen unterscheiden und ihre Wirkung war so stark, dass Balken krachten und die Glocken zu tönen anfangen. Der erste Stoss war von einem heftigen eigenthümlichen Geräusch begleitet. In Darmstadt soll die Dauer der Erschütterung 4 Secunden gewesen und um 5 Uhr 45 Minuten ein zweiter schwächerer Stoss gefolgt sein. — Beobachtungen des ersten starken Stosses wurden aus zahlreichen Orten gemeldet, z. B. Heidelberg, Neckar-gemünd (hier in der Richtung von N nach S), Baden, Achern, Frankfurt, Wiesbaden, Pforzheim, bayrische Pfalz, Strassburg. In Strassburg war der Stoss noch so heftig, dass z. B. in einem Bäckerhause ein Tisch mit Brod umfiel. Auf dem Gutenbergplatz entstand ein Loch von $2\frac{1}{2}$ Meter Tiefe und $1\frac{1}{4}$ Meter im Umfang; ebenso hatte sich in der Schlossergasse eine beträchtliche Senkung gebildet. (Neue bad. Landeszeitung in Mannheim, 12. Februar.) In Kehl waren es drei Stösse. — Der Mittelpunkt der Erschütterung kann in der Umgebung von Lorsch vorausgesetzt werden, hier waren wenigstens die Verwüstungen am grössten. — Die äussersten Grenzen des erschütterten Raumes sind ungefähr durch Strassburg, Saarbrücken, Esslingen, Stuttgart und Wiesbaden angegeben. — Um 6 Uhr 25 Min. desselben Tages erfolgte in Darmstadt der dritte Stoss, welcher auch in Mannheim gespürt wurde. Gegen $12\frac{1}{2}$ Uhr und 2 Uhr sollen in letzterer Stadt abermals Erdstösse vorgekommen sein.

11. Februar. Morgens $5\frac{1}{2}$ Uhr starker Erdstoss im Thal von Reichenbach (Odenwald) und in Darmstadt.

12. Februar. Morgens wieder eine schwache Erschütterung in Mannheim u. a. O. In Schwanheim war sie so stark, dass in der Kirche die Gewölbesteine sich verschoben. Morgens 10 Uhr 33 Min. Erschütterung in Reichenbach, Höchst und Darmstadt.

14. Februar. Erderschütterung in Gross-Gerau.

15. Februar. Erderschütterung in Gross-Gerau.

16. Februar. Mehrere aber schwache Stösse in Darmstadt. Zu derselben Zeit stürzten in Lorsch durch Erderschütterungen 42 Schornsteine ein; auch in Schwanheim, Rodau, Bensheim und Lindenfels waren sie stark.

19. Februar. Erdstösse von W nach O zu Lindenfels im Odenwald und schwächere in Darmstadt.

20. Februar. Erdstösse von W nach O zu Lindenfels im Odenwald und schwächere in Darmstadt.

21. Februar. Nachmittags spürte man zu Calw (Württemberg) während 2 Stunden Erderschütterungen, von denen auch ein Theil in Ludwigsburg, Heilbronn und Rottweil empfunden wurde.

22. Februar. Gegen $4\frac{1}{2}$ Uhr Abends starker Erdstoss mit donnerähnlichem Getöse in Rippoldsau (Schwarzwald). Die Bewegung war von langer Dauer und pflanzte sich nach Norden fort.

25. Februar. Morgens 8 Uhr 45 Min. Erdstoss in Darmstadt, der

stärkste nächst dem des 10. Februar in diesem Jahre. In Biblis war er mit Getöse verbunden. An demselben Orte waren zwischen dem 10. und 25. Februar 13 Stösse, mehrere mit unterirdischem Getöse, eingetreten. Zu derselben Zeit wie in Darmstadt wurde auch in Fränkisch-Krumbach und in Hanau und Ludwigshafen bei Mannheim eine Erderschütterung beobachtet. Um 8 Uhr 52 Min. erfolgte ein zweiter schwacher Stoss in Darmstadt und Ludwigshafen, um 9 $\frac{1}{2}$ Uhr einer in Aschaffenburg. An den Hauptorten dieses Erdbebens folgten bis zum Abend noch neun Stösse und drei weitere in der Nacht.

26. Februar. Morgens 4 Uhr 10 Min. Erdstoss in Darmstadt.

28. Februar. In Darmstadt drei Erdstösse. An der Bergstrasse sollen die Erderschütterungen an diesem und den vorhergehenden Tagen noch heftiger gewesen sein.

16. März. Erdstoss in Frankfurt.

24. März. Morgens zwischen 2 und 3 Uhr Erderschütterung längs des westlichen Odenwaldes bis Darmstadt.

5. April. Erdbeben im nördlichen Odenwald.

12. April. Erdbeben in Reichenbach und Darmstadt.

14. April. Abends 1 Uhr 50 Min. Erderschütterung mit Getöse von kurzer Dauer in Bonn und am Laacher See.

5. Mai. Mehrere Erderschütterungen im westlichen Odenwald.

6. Mai. Mehrere Erderschütterungen im westlichen Odenwald.

25. Mai. Erderschütterung in Gross-Gerau.

18. Juni. Erderschütterung in Reichenbach und mehreren Orten des westlichen Odenwaldes.

27. Juli. Nach zweimonatlicher Ruhe begannen Morgens 11 Uhr 52 Min. wieder die Erdbeben in Gross-Gerau. Heftiger unterirdischer Donner mit Schütteln der Wände wurde von eigenthümlichem Nachrollen gefolgt. Um 1 Uhr 45 Min. Abends wiederholten sich die Erschütterungen schwächer, jedoch mit deutlich sprungweise fortsetzendem Nachrollen. Gross-Gerau war wieder Centrum, während dasselbe zuletzt häufig zwischen Lorsch und Auerbach gelegen war.

29. bis 30. Juli. In der Nacht drei weitere Erderschütterungen in Gross-Gerau und am 30. Abends 2 Uhr eine weitere mit unterirdischem Rollen.

8. August. Erdbeben im westlichen Odenwald.

15. August. Abends 9 $\frac{1}{2}$ Uhr heftiger Erdstoss mit Getöse im Brohlthale, von SW nach NO sich fortpflanzend.

16. August. Erdbeben im westlichen Odenwald.

30. August. Erdbeben im westlichen Odenwald.

23. September. Erdbeben im westlichen Odenwald.

10. November. Morgens 7 Uhr Erdbeben im westlichen Odenwald.

16. November. Erdstoss in Gernsheim und Reichenbach.

17. November. Kurz vor 2 Uhr Abends eine beträchtliche Erderschütterung im vorderen Odenwald und an der Bergstrasse. Fast in jeder

Woche war in den letzten Monaten dort ein derartiges Ereigniss eingetreten. Die meisten davon wurden in Gross-Gerau nicht beobachtet, so auch der Stoss am 17. November. Es hatte sich demnach ein neues Centrum gebildet. In Gross-Gerau konnte man im Sommer meist nur durch das Seismometer leise Erderschütterungen erkennen, aber selbst die Unruhe dieses Instrumentes verringerte sich sehr im October, so dass an Stelle von neun und mehr Schwankungen in 24 Stunden nur noch eine bis zwei täglich stattfanden.

18. November. Erdbeben im Odenwald und in Darmstadt.

20. November. Erdbeben im westlichen Odenwald, besonders von Lindenfels bis Darmstadt, desgleichen am 21. November.

23. und 25. November sowie 4. December. Erdbeben im westlichen Odenwald.

Auch in den folgenden Jahren ereigneten sich im Odenwald und in der Gegend von Darmstadt nicht selten Erdbeben, so insbesondere im Februar, October und December 1873; — als Centrum der Erschütterung erschien Gross-Gerau abermals 1878, bei den unbedeutenden Beben vom 2. Januar, 5 Uhr Morgens und in der Nacht vom 25. zum 26. März.

Bei der Hauptperiode der Erschütterungen von Gross-Gerau ist insbesondere bemerkenswerth, dass sie von einer so ausserordentlich grossen Zahl schwacher Erschütterungen gebildet wurde, die zumeist den Charakter blosser Vibrationen trugen. Nur verhältnissmässig wenige waren stärker, und selbst die stärksten, vom 31. October und 2. November 1869, reichten nur hin, einzelne Schornsteine umzustürzen. Manche dieser Erschütterungen hatten jedoch bei vergleichsweise schwacher Wirkung in ihrem anscheinenden Centrum eine sehr beträchtliche Ausdehnung. Diese, wie aus den oben wiedergegebenen Aufzeichnungen hervortritt, bei mehreren der an sich schwachen Erschütterungen aufgetretene weite Verbreitung spricht sehr entschieden gegen die Annahme, dass das ganze Phänomen auf Einsturzerscheinungen zurückzuführen sei. A. v. LASAULX nennt die Beben von Gross-Gerau wiederholt als typische Einsturzbeben. Er sagt, nachdem er der für viele Erdbeben festgestellten Thatsache des Zusammenhanges mit erkannten und nachweisbaren Spalten im Gebirgsbaue gedachte: „Bei anderen Erdbeben ist dieses thatsächlich nicht nachgewiesen. Für die Erdbeben von Gross-Gerau, locale Erschütterungen in den norddeutschen Tieflanden, z. B. der Lüneburger Haide und der Gegend von Stassfurt, für viele kleinere Erdbeben der Schweiz, für das vorhin erwähnte Erdbeben von Ischia u. a. treten dagegen andere Beziehungen zu Tage. Für diese liegt der Ausgangspunkt der Erschütterung in Gebieten, die aus leichtlöslichen Gesteinen bestehen, in denen die Bildung von Hohlräumen durch Auslaugung und Auswaschung durchaus plausibel erscheint. Der Zusammenbruch solcher, eine Zeitlang sich tragender unterirdischer Gewölbe, der entweder mit plötzlicher Senkung oder mit allmählichem stossweise erfolgendem Zusammenrutschen erfolgen kann, ist

die erregende Ursache für Erdbeben.“¹ Und an anderer Stelle führt er das eigenartige Wandern der Stosspunkte, welches die Erdbebenperiode von Gross-Gerau erkennen lässt, als im Zusammenhang mit der Einsturzursache stehend an, indem er eine charakteristische Eigenschaft der Einsturzbeben in folgender Weise aus der Art ihrer Entstehung herleitet: „Da die Senkung oder der Einsturz der Decke eines gebildeten Hohlraumes meist nicht mit einem Male, sondern in oft wiederholtem Nachsinken ruckweise erfolgt, so muss ein mehr oder weniger engbegrenztes Gebiet die erregenden Stellen für eine ganze Erdbebenperiode umfassen. Eine wesentlich veränderte Lage der Stossmittelpunkte wird entweder gar nicht an der Oberfläche wahrnehmbar sein, oder, wenn dieselbe zu beobachten ist, wird eine bestimmte Beziehung der Lage jener Stosspunkte zu einander sich nicht ergeben. Sie werden nicht auf bestimmten Linien liegen, oder ein Fortschreiten in einer Richtung erkennen lassen, sondern regellos innerhalb einer ziemlich eng begrenzten Oberflächenzone, meist von geschlossener, rundlicher Gestalt werden sie wandern, hier und da auftretend, ohne erkennbare Gesetzmässigkeit über das centrale Gebiet der Erschütterungen ausgestreut. So war es in auffallender Weise bei der Erdbebenperiode von Gross-Gerau der Fall.“²

So richtig nun im Allgemeinen diese Betrachtungen sein mögen, so ist doch die Anwendung derselben gerade auf die Bebenperiode von Gross-Gerau kaum sicher begründet. Denn es scheint, als ob während derselben, wie die zu diesem Behufe ausführlich wiedergegebene Chronologie der einzelnen Erschütterungen darthut, ein Wandern der Stosspunkte in einem Maasse stattgefunden hat, welches weit über jenes hinausgeht, welches allenfalls mit partiellen Einstürzen in einem Höhlensysteme in Verbindung gebracht werden könnte. Allzu zahlreich sind die selbstständigen, in einem weitausgedehnten Erdbebengebiet stattgehabten Erschütterungen, welche nicht auf das Centrum Gross-Gerau zurückgeführt werden können. Würden die Zeitangaben genauer sein, so würde man wahrscheinlich mit einiger Sicherheit erkennen, dass in einigen Fällen ein sehr beträchtliches Areal gleichzeitig oder nahezu gleichzeitig von einer an sich schwachen Erschütterung betroffen wurde, eine Erscheinung, die unmöglich auf Einstürze unterirdischer Hohlräume zurückgeführt werden könnte, — andererseits würde genauere Zeitbestimmung wahrscheinlich erkennen lassen, dass in noch zahlreicheren Fällen, als wir sie schon jetzt in der Chronik der Bebenperiode von Gross-Gerau verzeichnet finden, selbstständige Erschütterungen in anderen Theilen des damaligen Erdbebengebietes auftraten. Es spricht also alle Wahrscheinlichkeit dafür, dass wir es bei dieser Erdbebenperiode mit tektonischen Ursachen zu thun haben. In diesem Sinne hat sich auch A. PENCK ausgesprochen, indem

¹ A. v. LASAULX: Die Erdbeben in KENNGOTT'S Handwörterbuch der Mineralogie, Geologie und Palaeonthologie, I. Bd. S. 339.

² Ebenda, S. 361.

er über die Bildung der oberrheinischen Tiefebene folgendes sagt: „Die Erhebung der rheinischen Gebirge und die Senkung der oberrheinischen Tiefebene erfolgten weder auf einmal noch längs je einer Verwerfungsspalte, sondern geschahen nach und nach an ganzen Schwärmen einzelner Verwerfungen. Der Dislocationsprocess hat nicht bloß während der älteren Tertiärperiode stattgefunden, sondern dauerte auch während der jüngeren Tertiärperiode bis zur Diluvialperiode fort und hält wahrscheinlich auch heute noch an. Zahlreiche Erdbeben, welche die Gegend von Darmstadt heimsuchen, dürften davon zeugen, dass die Senkung auch gegenwärtig noch fort dauert.“¹ In weiterem Sinne könnte man daher diese Erdbeben auch als Einsturzbeben oder vielmehr richtiger als Senkungsbeben bezeichnen, wenn man sich darüber klar ist, dass es sich hier nicht etwa um den Einsturz durch Auswaschung erzeugter Hohlräume sondern vielmehr um das Niedergehen ganzer Schollen der Erdrinde handelt, also um Erscheinungen, auf welche wir im nächsten Abschnitte zurückzukommen haben. Mit Recht bezeichnet hingegen v. LASAULX jene localen Erschütterungen in der Lüneburger Haide, die häufigen Erdbeben zu Stassfurt als eigentliche Einsturzbeben.

Ueber die Beben von Leopoldshall und Stassfurt in dem Zeitraume 1865 bis 1885 entnehmen wir den Zusammenstellungen von C. W. C. FUCHS folgende Daten:²

14. December 1880. Morgens wurde Leopoldshall und Stassfurt wieder von einer starken Erschütterung betroffen, deren Ursache allgemein in einem neuen Einsturze des Salzwerkes gesucht wird.

29. Mai 1883. Heftiges Erdbeben in Stassfurt. Bei einzelnen Häusern und im Gewölbe der St. Johanniskirche entstanden dadurch Risse. Die Ursache dieser Erscheinung sind die seit zwei Jahren im Salzwerke von Leopoldshall zuweilen eintretenden Niedergänge, die auch in der Nacht vom 28.—29. Mai erfolgten.

12. August 1883. Morgens 4 Uhr 10 Min. Erdbeben in Stassfurt. Um 11¹/₂ Uhr Morgens und Abends gegen 5 Uhr erfolgten noch zwei Erschütterungen, die erste die stärkere, die nicht nur in Gebäuden, sondern auch im Freien gespürt wurde.

4. September 1883. Morgens 3 Uhr 5 Min., 4 Uhr 30 Min. und 7 Uhr 30 Min., Abends 8 Uhr 45 Min. Erderschütterungen in Stassfurt.

5. September 1883. Mehrere schwache Erderschütterungen in Stassfurt.

6. September 1883. Morgens 3 Uhr 10 Min. und 9 Uhr 30 Min. Erschütterungen in Stassfurt.

10. Juli 1884. Abends 6 Uhr 20 Min. ziemlich starke Erderschütterung in Stassfurt.

¹ A. PENCK: Das Deutsche Reich, in A. KIRCHHOFF'S Länderkunde von Europa, 1. Theil, 1. Hälfte, 1887. S. 235.

² Siehe C. W. C. FUCHS: Statistik der Erdbeben von 1865—1885 a. a. O., S. 95 u. f.

Solche Erscheinungen sind in Salzlagerstätten keineswegs befremdend, mögen dieselben nun durch die Hand des Menschen abgebaut oder durch die lösende Kraft des Wassers ausgewaschen werden. Mit Recht wendet daher v. LASAULX die Annahme unterirdischer Einstürze auf Gegenden an, in welchen, wie in der Lüneburger Haide, grössere Hohlräume durch die Auslaugung von Salzlagerstätten entstehen müssen. An anderer Stelle¹ verweist v. LASAULX auf die Häufigkeit von Einsturzkesseln im norddeutschen Flachlande: „Viele solche durch unterirdische Einstürze entstandene Kessel sind später mit Wasser erfüllt und zu Seen umgewandelt worden, so z. B. manche Seen im norddeutschen Flachlande, in welchem Einsenkungen in Folge der in fast allgemeiner Verbreitung vorhandenen Gyps- und Steinsalzablagerungen leicht erklärlich sind.“

Aehnliche Verhältnisse finden sich in Thüringen: „Die Gypse des Zechsteins haben am Saum des Thüringerwaldes und des Harz zahlreiche Erdfälle erzeugt und Gleiches bedingten die Gypse des Keupers auf der Thüringer Platte. Manches tiefe Wasserbecken, der Salzunger-, Schön- und Grävensee im Südvorlande des Thüringerwaldes, eine ganze Reihe von Seen am Fusse des Harzes stehen hiermit in Verbindung.“²

Erdbeben, welche den Charakter der Einsturzbeben tragen, hat auch die Erdbebencommission des Naturwissenschaftlichen Vereins zu Karlsruhe in ihren, in den Verhandlungen des genannten Vereins veröffentlichten „Mittheilungen“ geschildert. Die bezüglichen Ausführungen seien hier wörtlich wiedergegeben: „Von den aufgeführten sporadischen Erdbeben dürften diejenigen das Interesse vorläufig am meisten in Anspruch nehmen, welche theils an den Ufern des Bodensees oder weiter nördlich davon, theils in der nordwestlich aus dem Spiegel des Sees heraustretenden Bodensee-Mulde sich von Zeit zu Zeit wiederholen. Es gehören dahin diejenigen von:

Konstanz am 11. Januar 1881,

Ludwigshafen-Stockach am 24. Februar 1881,

Neuhausen bei Engen am 9. März 1881,

Engen am 21. März 1886,

Thiengen am 16. November 1886,

und diejenigen vom 28. November 1886, welche gleichzeitig zu Stockach, Ludwigshafen, Winterspüren, auf der Reichenau, bei Salem und Ueberlingen empfunden worden sind.

In diesen Gegenden wird zum weitaus grössten Theil das Diluvium und Tertiär vom weissen Jura mit seinen mächtigen Kalksteinbänken unterteuft. In diesen Kalksteinen pflegen die Tagewasser rasch zu versinken und trockene Hochebenen zu erzeugen. Die in die Tiefen gehenden

¹ A. v. LASAULX: Die Quellen, in KENNGOTT'S Handwörterbuch der Mineralogie, Geologie und Palaeontologie, III. S. 134.

² A. PENCK: Das Deutsche Reich (Länderkunde Europa's, erster Theil, erste Hälfte). S. 330.

Gewässer lösen allmählich den kohlsauren Kalk, wie man vielfach in Steinbrüchen zu sehen Gelegenheit hat, in denen die sogen. geologischen Orgeln (das sind durch niedergehende Gewässer erweiterte, schachtartige Röhren) zu Tage gelegt werden. Besonders schön sind solche zu beobachten am Wege zwischen Immendingen und Möhringen, wo die Donau in trockenen Jahren ganz im Kalkstein verschwindet, um in der 11 Kilometer entfernten Aachquelle mit doppelter Wasserführung wieder aufzutreten. Die Versinkung der Donau findet in der Medianebene der Bodensee-Aach-Mulde statt, und dass dieselbe auf das Terrain einen bewegenden Einfluss ausübt, davon kann man sich leicht durch den Augenschein überzeugen, wenn man auf das Plateau zwischen jener Versinkung in der Richtung gegen Aach durch die schönen Buchenwälder geht, in denen man gleichgerichtete, schroffe, bis etwa 80 Fuss tiefe verticale Einsenkungen findet, welche kaum etwas anderes, als die Wirkungen innerer Zusammen- und oberer Nachstürze von Kalksteinhöhlen sein dürften, welche durch die Wasserzüge in den Tiefen erzeugt worden sind. Sind solche innere Zusammenbrüche von Gesteinsmassen mit Erschütterungen verbunden, so ist die Entstehung localer oder sporadischer Erdbeben dadurch wohl erklärlich. Man kennt ähnliche Erscheinungen auch an anderen Orten, z. B. in den südlichen Abruzzen bei La Posta, Atina, Sora, Isola del Liri, woselbst derartige Erdbeben mitunter einen bedenklichen Charakter annehmen.“¹

G. H. O. VOLGER hat auch die im Wallis so häufig auftretenden und oft ausserordentliche Intensität und Verbreitung erlangenden Erdschütterungen auf Einstürze unterirdischer Hohlräume zurückgeführt. Der Inhalt seines dreibändigen Werkes: Untersuchungen über das Phänomen der Erdbeben in der Schweiz, wurde bereits wiederholt erwähnt (siehe S. 14 u. 15 sowie 212 bis 214), an dieser Stelle hat uns insbesondere jener des zweiten Bandes zu beschäftigen, in welchem die geologische Beschaffenheit des Kantons Wallis erörtert wird, um ihn als ein habituelles, seismisches Stossgebiet zu erweisen, selbstverständlich im Sinne jener Hohl-schichtenhypothese, welche bereits oben erwähnt wurde. Wir können uns an dieser Stelle auf Anführung der Schlussätze beschränken, mit welchen VOLGER die Resultate seiner Betrachtungen darlegt. Er sagt: „In Betreff der Abzehrung der Schichten im Innern der Gebirgsmassen wird man leicht zu dem Schlusse kommen, dass die durch dieselbe veranlasste sich niedersetzende Bewegung der Massen langsam, stetig und unmerklich vor sich gehen kann, wo die angegriffenen Massen aus schwerer und leichter löslichen Stoffen in einigermaassen gleichmässigem Gemenge bestehen, dass sie dagegen unterbrochener und in plötzlichen Absätzen geschehen kann, wo das massigere Vorkommen reinerer Lagen leicht löslicher Stoffe in den Erstreckungen der lebhaftesten unterirdischen Wasserzüge

¹ Verhandlungen des Naturwissenschaftlichen Vereins zu Karlsruhe, zehnter Band, 1883—1888. Karlsruhe 1888. S. 127 u. 128.

die Aushöhlung mehr oder weniger weiter Räume, die Unternagung lang und breit erstreckter Gebirgsstücke gestattet. Die mächtigen überlagernden Massen tragen sich bis zu einem gewissen Grade gegenseitig durch Seitendruck. Ueberschreitet aber die Unternagung eine gewisse Ausdehnung, welche nach der Mächtigkeit und Structur der überlagernden Massen sehr verschieden sein kann, so muss ein plötzliches, stossweises Niedersetzen, ein je nach dem Volumen des sich setzenden Gebirgsstückes schwächerer oder kräftigerer Ruck herbeigeführt werden. Der heftige Stoss, welchen eine meilenhohe und meilenweite Gebirgsmasse bei der geringsten derartigen Bewegung auf die tieferen, die Grundlage der Unternagung bildenden Massen ausüben muss, wird von dem Stosspunkte aus ein mehr oder minder hoch wogendes Wellensystem erzeugen, welches nun auskreisend und mit den mannigfachsten Ungleichmässigkeiten des Widerstandes in den aus den verschiedensten Gesteinen bestehenden, in den verschiedensten Lagerungsverhältnissen befindlichen Gebirgsmassen kämpfend, mehr oder minder weit hinaus in fühlbarer Weise sich zu verbreiten vermag.“¹

Wenn nun auch gegen den Grundgedanken der VOLGER'schen Ansichten: Bildung von unterirdischen Hohlräumen durch Auswaschung und Verursachung von Erdbeben durch Einsturz dieser Hohlräume ein Einwand nur insofern zulässig ist, als sich diese Phänomene doch nur in beschränktem Maasse in jenen Gebieten abspielen können, welche wie der Karst aus den oben erörterten mehrfachen Gründen eine Neigung zur Höhlenbildung erkennen lassen, so muss doch gegen den Inhalt der mitgetheilten Stelle des VOLGER'schen Werkes deshalb Einspruch erhoben werden, weil derselbe allzu ausgedehnte Hohlräume voraussetzt, wie sie in grösserer Tiefe der Erdrinde nicht bestehen können. VOLGER giebt zu, dass sich die überlagernden Massen nur bis zu einem gewissen Grade gegenseitig durch Seitendruck tragen. Es ist leicht einzusehen, dass dieser Grad nicht so weit gehen kann, um eine meilenhohe und meilenweite Gebirgsmasse über einer „Hohlschicht“ schwebend zu erhalten wie das Gewölbe eines Bauwerkes. Alles was wir über die Wirkung des Gebirgsdruckes wissen, spricht gegen eine solche Annahme, auch dann, wenn wir nicht mit HEIM annehmen, dass schon in relativ geringer Tiefe deshalb, weil die Gesteine über ihre Festigkeit hinaus belastet sind, ein allgemeiner, dem hydrostatischen Drucke entsprechender Gebirgsdruck in der Weise allseitig auf die Gesteinstheilchen einwirkt, dass auch die sprödesten Gesteine in einen plastischen Zustand versetzt sind. Auch dann, wenn wir uns mit GÜMBEL, STAPFF, PFAFF u. A. der Anschauungsweise HEIM's in Betreff der bruchlosen Umformung in Folge des allseitig wirkenden Gebirgsdruckes nicht anschliessen würden, müssten wir annehmen, dass bei so enormen Druckverhältnissen die Gesteine durch

¹ G. H. O. VOLGER: Untersuchungen über das Phänomen der Erdbeben in der Schweiz. II. S. 278, 279.

weitgehende innere Zertrümmörung, Verschiebung und Wiederverkittung der Fragmente in die Lage versetzt würden, allmählich nachzurücken. Das Entstehen von „Hohlschichten“ in grösserer Tiefe und Ausdehnung ist daher kaum möglich und ein plötzliches Niedergehen ganzer Gebirgszüge wie es die VOLGER'sche Theorie will, höchst unwahrscheinlich.

Doch folgen wir den Betrachtungen des hervorragendsten Vertreters der Einsturztheorie weiter: „Die löslichsten aller Stoffe“ — sagt VOLGER — „welche als regelmässige Lager im Schichtenbau der Erde aufzutreten pflegen, sind das Steinsalz und der Gyps. Spuren des ersteren lernten wir in Wallis an verschiedenen Punkten kennen; doch scheint fast überall, soweit die Quellenzüge reichen, der Vorrath durch die Auslaugung bereits erschöpft zu sein, wenigstens fördern nirgends die Quellen reichere Massen dieses wichtigen Stoffes. Bohrungen an geeigneten Stellen würden jedoch immerhin in diesem Lande mit wohlbegründeten Hoffnungen zu unternehmen sein. Für die Betrachtung, auf welche hier unser Auge gerichtet ist, haben die Gypsmassen eine grössere Bedeutung. Das Auftreten eines ansehnlichen, entweder vollständig aus Gypslagern bestehenden oder im Wechsel mit anderen genetisch verwandten Gesteinen eine mehrfache Wiederholung von Gypslagern darbietenden Schichtensystemes haben wir insbesondere durch die ganze Erstreckung der Walliser Mulde verfolgt. Die ganzen Hochgebirge, vom Rhodan-Thale bis zu den Höhen des Piemontesischen Gebirgswalles ruhen in einer Mulde, deren Unterlage aus Gyps besteht, und während diese Gypsmassen im Grunde oder an der linken Thalwand des Rhodan-Thales zu Tage treten und ebenso am Piemontesischen Grenzwalde, wo sie freilich meistentheils durch das „ewige“ Eis der Gletscher verborgen sind, stellenweise zum Vorscheine kommen, liegen sie in der Tiefe der Mulde eine vielleicht zwei Meilen tief unter dem Grunde der tiefsten Thäler, während sich die höchsten Gipfel noch fast eine halbe Meile über diesen Thalgründen erheben.“ Die Richtigkeit dieser Darstellung hinsichtlich der Ausdehnung, Mächtigkeit und des tektonischen Verhältnisses der Gypslager im Wallis vorausgesetzt, muss hervorgehoben werden, dass diese Lager keineswegs in ihrer ganzen Erstreckung der Auslaugung so zugänglich sein dürften, wie dies die VOLGER'sche Theorie voraussetzt. Ein grosser Theil dieser Gypslager wird von den Wasserläufen allerdings mehr oder minder rasch gelöst werden, und dann auch ein Nachrücken der hangenden Schichten verursachen, andere Theile aber dürften der auflösenden Thätigkeit des Wassers mehr oder weniger entrückt sein, so dass die von VOLGER vorausgesetzten „Hohlschichten“ auch aus diesem Grunde sich nicht in jener Ausdehnung bilden können, wie dies die Einsturztheorie verlangt.

„Die gypshaltigen Thermen“ — fährt VOLGER fort — „wie der Rothbach zu Saas im Grund, die Quellen des Brieger Bades, die Quellen von Leuk und andere bekannte und vielleicht noch unbekannt, beziehen ihren Gypsgehalt aus jenen Gypslagen, in deren Mulde das ganze innere Walliser-Gebirge ruht. Genaue Untersuchungen der Wasser

dieser Quellen und ihrer Ausgiebigkeit sind leider nicht vorhanden. Nur von einer Quelle, der Lorenz-Quelle zu Leuker-Bad, der reichsten zwar unter den Quellen des Dala-Thales, mit welcher aber mindestens zwanzig andere schwächere gemeinsam an Wasserspende wetteifern, liegen sorgfältigere Untersuchungen vor. Diese Quelle liefert in jeder Secunde 29 Pfund Wasser und fördert im Laufe eines Jahres nicht weniger als acht Millionen Pfund Gyps aus der Tiefe, eine Masse, welche, als dichter Gypsfels berechnet, etwa 60 000 Kubikfuss beträgt. Eine solche Lieferung verlangt eine Abtragung an den Gypsschichten im Innern der Mulde, in Folge deren eine Schicht von einer Quadratmeile Fläche um $\frac{1}{4}$ Linie dünner werden würde. Diese eine Hauptquelle des Leuker Bades würde also im Laufe eines Jahrhunderts eine Quadratmeile des Walliser Gebirges mit einem Hohlräume unternagen, welcher $\frac{1}{4}$ Fuss Höhe haben würde. Man schätzt aus diesen Berechnungen leicht wenigstens so viel, dass die Gesamtwirkung aller Thermalzüge, welche aus der Walliser Mulde ihr Wasser beziehen, eine sehr wichtige sein muss!¹ Wenn wir nun auch, wie wir oben die Ausführungen VOLGER's über die Lagerungsverhältnisse und die Ausdehnung der Gypsschichten in Wallis als richtig vorausgesetzt haben, annehmen wollen, dass ebenso die Berechnung der Gypslieferung der Lorenz-Quelle vollkommen richtig ist, und dieselbe jährlich ein Quantum von acht Millionen Pfund Gyps liefert, welches einem Volum von 60 000 Kubikfuss dichten Gypsfelses entspricht, so kann damit noch keineswegs bewiesen werden, dass diese Quelle im Jahrhundert eine $\frac{1}{4}$ Fuss mächtige „Hohlschicht“ von einer Quadratmeile Fläche schaffe; es ist im Gegentheil wahrscheinlich, dass local viel grössere Hohlräume entstehen, die aber auch rasch, sei es allmählich oder ruckweise, durch das Nachbrechen der Hangendschichten wieder ausgefüllt werden mögen. Wenn daher VOLGER sagt: „es ergibt sich also, dass Wallis und ganz besonders die Gebirgsmulde von Mittelwallis allerdings reich ist an Verhältnissen, deren unausweichliche Folge Bewegungen und Erschütterungen des Erdbodens sein müssen,“ so lässt sich dies keineswegs in Abrede stellen, es muss nur als unwahrscheinlich bezeichnet werden, dass gerade die im Jahre 1855 von Wallis ausgegangenen Beben lediglich auf Einstürze der Gebirgsmassen zurückzuführen sind, welche durch die unterirdische Auslaugung der Gypsflöze verursacht wurden. Diese Beben, welche VOLGER im dritten Bande seiner Monographie ausführlich schildert, haben theilweise eine sehr bedeutende Verbreitung gehabt, so insbesondere die HAUPTERSCHÜTTERUNG vom 25. Juli 1855, Nachmittags 0^h 55^m Berner Zeit; die zweite HAUPTERSCHÜTTERUNG vom 26. Juli Vormittags etwa 10^h 7^m Berner Zeit, die dritte HAUPTERSCHÜTTERUNG vom 26. Juli Nachmittags, etwa 2^h 20^m Berner Zeit und die vierte HAUPTERSCHÜTTERUNG vom 28. Juli Vormittags, etwa 11^h Berner Zeit, deren Verbreitung VOLGER in einer sorgfältig gearbeiteten Karte

¹ G. H. O. VOLGER, a. a. O. S. 280.

darstellt. Die sehr beträchtliche Ausdehnung der am 25. Juli 1855 erschütterten Fläche erhellt leicht aus der Anführung der an der Peripherie derselben gelegenen Orte: Paris, Concy-le-Château, Wetzlar, Salzhausen, Kallenberg, Bischofswerda, Mantua, Parma, Genua; es wurde also ein sehr beträchtlicher Theil Mitteleuropa's erschüttert. Die Wirkungen im pleistoseisten Gebiet waren zwar, den Schilderungen VOLGER's nach sehr bedeutend, sowohl was die Zerstörung von Gebäuden als auch was die Verursachung von Felsstürzen und Bergrutschungen anlangt, immerhin sind sie keine solchen, wie sie sich hätten ereignen müssen, wenn daselbst ein solcher Einsturz erfolgt wäre, dass die von ihm verursachte Bodenbewegung sich auf einen solchen Raum von Mitteleuropa hätte ausdehnen können. Es gelten hier dieselben Bedenken, welche oben (S. 316) gegen die Erklärung der Beben von Gross-Gerau als Einsturzbeben vorgebracht wurden.

G. H. O. VOLGER hat der Einsturzhypothese allzuweiten Spielraum eingeräumt. Es ist sehr fraglich, ob dieselbe wirklich zur Erklärung der im Wallis so häufig auftretenden Erdbeben herangezogen werden darf, obschon die Ausführungen VOLGER's über die dort stattfindenden Auslaugungsprocesse durch Mineralquellen sehr zu Gunsten dieser Hypothese einnehmen könnten, wenn nicht manchmal die von dieser Ursprungsstelle ausgehenden Erschütterungen sich über so grosse Flächenräume ausbreiten würden, dass die Annahme eines Einsturzes unmöglich hinreichen kann, die Erscheinung zu erklären, und wenn nicht in anderen Gegenden der Schweizer Alpen ganz ähnliche seismische Erscheinungen vorkämen, während diesen Gegenden die leicht löslichen Ablagerungen und die Mineralquellen fehlen würden, welche im Wallis zu der Vermuthung Anlass geben, dass in ihnen die Ursache der häufigen Erschütterungen zu suchen sei. Mit A. HEIM betrachten wir auch die Walliser Erdbeben als Folgewirkung der gebirgsbildenden Vorgänge und werden auf sie im nächsten Abschnitte zurückzukommen haben. Jedenfalls ist VOLGER aber im Unrecht, wenn er gewisse bei Erdbeben vorgekommene Senkungsvorgänge als Ursache der Erschütterung bezeichnet. So sagt er von dem grossen Erdbeben von Lissabon am 1. November 1755: „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.“¹ Hier ist offenbar Ursache und Wirkung verwechselt worden. Wenn ferner wirklich bei einem Walliser Erdbeben vom 9. September 1755 der Simplon beträchtlich niedriger geworden sein sollte, wie VOLGER auf Grund einer von NÖGGERATH citirten Angabe BERTRAND's anführt, so muss diese Erscheinung noch nicht auf einen Einsturzvorgang im Sinne der VOLGER'schen Hypothese zurückgeführt werden und noch weniger beweist es, wenn VOLGER angiebt, dass

¹ G. H. O. VOLGER: Unters. über das Phänomen der Erdbeben in der Schweiz, III. Bd. S. 395.

das Gefühl des Einsinkens sich auch bei den Erdbeben im Visp-Thale im Jahre 1855 bei sehr Vielen wiederum geltend gemacht habe.

Aber auch von anderer Seite wurden Erdbeben, welche keineswegs durch Einstürze verursacht worden sein können, als Einsturzbeben bezeichnet.

A. v. LASAULX führt (wie wir oben S. 221 gesehen haben) mit Unrecht die Erdbeben auf Ischia auf Einstürze der durch die heissen Quellen verursachten Hohlräume zurück; er bemerkt ferner: „O. FRAAS bringt auch die oft sehr verheerenden Erdbeben im Jordanthale in Beziehung zu den zahlreichen Höhlen im Gebirge Juda, Ephraim und längs des Flusslaufes.“¹ Wie jedoch die Vergleichung der bezüglichen Stelle² lehrt, lag es FRAAS vollkommen fern, die Erdbeben des Jordanthales auf Höhlen-einstürze zurückzuführen, er erörterte vielmehr ihren Zusammenhang mit einer bedeutsamen tektonischen Linie, der Jordanspalte, und sagt wörtlich: „In der Nähe solcher Spalten gehen stets unterirdische Bewegungen vor sich, die nothwendig mit Niveauschwankungen verknüpft sein müssen, vulkanische Erscheinungen im weitesten Sinne des Wortes, die sich, seit die Chroniken Meldung thun, in den fürchterlichsten Erdbeben kund gethan haben.“ Wir werden an anderer Stelle diese Beben als tektonische Erschütterungen besprechen, welchen eine seit langem bekannte, gewaltige Dislocation zu Grunde liegt, die erst in neuerer Zeit als ein Glied einer Kette ähnlicher Störungen erkannt wurde, die sich weithin an der Oberfläche des Planeten verfolgen lassen;³ für jetzt sei nur bemerkt, dass FRAAS die Höhlen der Jordangegend keineswegs als Ursache mit den dortigen Erdbeben in Zusammenhang bringt, sondern sie nur als Beweis für die Spaltenbildung anführt. Es geschieht dies mit folgenden Worten: „Für die durchgreifende Zerklüftung des gesammten Gebirges sprechen besonders die zahlreichen Höhlen im Gebirge Juda, Ephraim und längs des Jordanlaufes, die theilweise als unterirdische Thäler, jedenfalls als alte Wasserläufe angesehen werden können.“⁴ FRAAS dachte sonach gar nicht daran, die Erdbeben des Jordanthales auf Höhlen-einstürze zurückzuführen, wie man nach dem Wortlaute des oben citirten Hinweises in der LASAULX'schen Abhandlung glauben könnte. Leider ist dieser Irrthum in Bezug des Charakters der Jordanthalbeben auch in S. GÜNTHER's Geophysik übergegangen, in welcher es heisst: „Man hat sich neuerlich vielleicht etwas gar zu skeptisch und ablehnend gegen die Einsturztheorie verhalten, die auf verkarstete und höhlenreiche Gegenden — wie nach FRAAS auf die Länder am Jordan — und auch auf das Walliser Rhonethal vielleicht doch ganz wohl anwendbar sein dürfte.“⁵

¹ A. v. LASAULX: Die Erdbeben, KENNGÖTT's Handwörterbuch der Mineralogie, Geologie u. Palaeontologie I. S. 341.

² O. FRAAS: Aus dem Orient. Stuttgart 1867. S. 78.

³ Vergl. E. SUSS: Die Brüche des östlichen Afrika, Denkschr. d. k. Akad. d. Wiss.; Wien 58. Bd.; 1891.

⁴ O. FRAAS: Aus dem Orient. Stuttgart 1867. S. 78.

⁵ S. GÜNTHER: Lehrbuch der Geophysik, I. Bd. Stuttgart 1884. S. 400.

Halten wir alle unsere bisherigen Erfahrungen über Erderschütterungen, deren Ursache in dem Einsturze durch die lösende und weg-schaffende Kraft des Wassers erzeugter Höhlen sicher nachgewiesen ist, sowie über Erdbeben, welche angeblich auf Einstürze von Hohlräumen und „Hohlschichten“ zurückzuführen wären, in der That aber durch andere, theils vulkanische, theils gebirgsbildende Vorgänge verursacht sind, zusammen, so müssen wir uns zu der Ansicht bekennen, dass erstere Erscheinungen, die eigentlichen Einsturzbeben oder Auswaschungsbeben wie sie NEUMAYR nennt,¹ nur in räumlich beschränkten Gebieten auftreten und nur locale Bedeutung besitzen können. Wir müssen NEUMAYR beipflichten, wenn er sagt: „Die auf diese Weise entstehenden Erschütterungen können unter Umständen innerhalb engster Grenzen in hohem Grade heftig und zerstörend wirken; man kennt aus dem Karstgebiete Fälle, in welchen mehrere Häuser sammt ihren Einwohnern dabei in die Tiefe stürzten und begraben wurden. Aber andererseits können sie der Natur der Sache nach nur ganz locale Phänomene darbieten, die, durch den Einsturz einer einzelnen Höhlung hervorgebracht, sich nicht weit über den Ort der Entstehung ausbreiten. Für grosse, weitverbreitete Erscheinungen können wir diese Entstehungsweise nicht annehmen.“

¹ M. NEUMAYR: Erdgeschichte, I. Bd. S. 296.

Sechster Abschnitt.

Dislocationsbeben.

Verschiedenartigkeit der Dislocationen der Erdrinde, Terminologie derselben; — Erklärungsversuche der Dislocationsvorgänge. Contractionstheorie von SUESS und HEIM, gegentheilige Ansichten REYER'S u. A. — Schwierigkeit die letzten Ursachen der tangentialen und verticalen Bewegungen zu ergründen, ungenügende Kenntniss von der Beschaffenheit des Erdinnern. — Unterscheidung der tektonischen Beben nach den ihnen zu Grunde liegenden Bewegungen der Erdrinde, Blattbeben und Vorschubbeben durch tangentielle Bewegungen verursacht; Schwierigkeit, die mit verticalen Bewegungen in Senkungsgebieten zusammenhängenden Beben von den in solchen Gegenden häufig auftretenden vulkanischen Erscheinungen zu trennen. — Die Erdbeben Unteritaliens, die habituellen Stossgebiete Siciliens und Calabriens, vulkanische, radiale und peripherische Beben im Bereich der tyrrhenischen Senkung. — Erdbeben am Südrande der Alpen; das Beben von Belluno 1873 als Beispiel eines Blattbebens, jenes von Klana 1870 als Beispiel einer peripherischen Erschütterung. — Erdbeben in den nordöstlichen Alpen und den westlichen Karpathen; die Erdbeben Niederösterreichs. — Tektonische Erschütterungen in den Schweizer Alpen. — Die erzgebirgisch-vogtländischen Beben. — Das andalusische Erdbeben vom 25. December 1884. — Die seismischen und vulkanischen Erscheinungen der Jordanspalte.

Bereits im dritten Abschnitte dieses Buches (siehe S. 215, 224) wurde darauf hingewiesen, dass die tektonischen Beben die häufigsten und grossartigsten jener Erscheinungen darstellen, welche wir insgesamt als Erdbeben bezeichnen. Die in den unmittelbar vorhergehenden Abschnitten erörterten vulkanischen und Einsturz-Beben sind vergleichsweise seltenere Vorkommnisse, welchen nur eine locale Bedeutung zuerkannt werden kann.

Die tektonischen Beben sind die unmittelbaren Folgewirkungen von Bewegungen, welche in der starren Rinde des Planeten vor sich gehen, Bewegungen, welche man häufig als gebirgsbildende bezeichnet, obwohl jene Faltungsvorgänge, welche die Kettengebirge aufstauen, nur einen Theil jener Dislocationen darstellen, durch welche die tektonischen oder Dislocations-Beben verursacht werden. Ehe wir auf die Besprechung der Ursachen dieser Dislocationen eingehen, haben wir uns mit der Natur

derselben vertraut zu machen. Es geschieht dies wohl am besten, wenn wir der lichtvollen Darstellung folgen, welche E. SUESS im dritten Abschnitte des ersten Bandes seines grossen Werkes „Das Antlitz der Erde“ von den Dislocationen der Erdrinde gegeben hat.

„Die sichtbaren Dislocationen in dem Felsgerüste der Erde“ — sagt SUESS — „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 tangentielle und radiale Spannungen 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 Gebirgstheile gegeneinander erzeugt worden ist.“¹

Es mag bereits an dieser Stelle darauf hingewiesen sein, dass SUESS im Gegensatz zu anderen Anschauungen nach aufwärts gerichtete radiale Bewegungen im Festen (d. i. Hebungen) nicht anerkennt. Wir haben bereits im vierten Abschnitte (siehe S. 253) die Möglichkeit solcher Hebungen durch vulkanische Vorgänge erörtert und werden später noch auf jene Ansichten anderer Autoren zurückkommen, welche im Gegensatz zu SUESS an der Möglichkeit nach aufwärts gerichteter radialer Bewegungen im Felsgerüste der Erde festhalten und für solche Hebungen physikalische Erklärungen zu geben versuchen.

E. SUESS fährt in seiner Besprechung der horizontalen und verticalen Dislocationen folgendermassen fort: „Es giebt weite Gebiete, in welchen die erste, und andere, in welchen die zweite Gruppe vorherrscht, und es giebt auch Strecken, in welchen beide gemeinsam erscheinen und ein innerer Zusammenhang zwischen beiden erkennbar ist, in welchen daher die räumliche Zerlegung eine minder vollständige gewesen ist. Dieser wesentliche Unterschied in den Bewegungen der Lithosphäre ist aus einer Vergleichung der Structur der alten Welt deutlich erkennbar; er ist auch den amerikanischen Geologen nicht entgangen. Die geologische Provinz des Great Basin, sagt CLARENCE KING, hat zwei verschiedene Typen dynamischer Thätigkeit: eine, in welcher sichtlich tangentialer Druck der hauptsächlichliche Factor war und welche Contraction und Faltung erzeugte, wahrscheinlich in postjurassischer Zeit; eine andere von streng verticaler Thätigkeit, wahrscheinlich innerhalb der tertiären Epoche, in welcher wenig Beweise oder Spuren von tangentialem Druck vorhanden sind.“² Unsere Fachgenossen jenseits des Oceans sind sogar um ein gutes Stück weiter gegangen. Schon im Jahre 1875 sprach GILBERT bei der

¹ E. SUESS: Antlitz der Erde, I. S. 143.

² CLAR. KING: U. S. Geolog. Explor. 40th. Parallel, I. 1878. S. 744, citirt in E. SUESS: Antlitz der Erde, I. S. 144 – 188.

Vergleichung der gefalteten Appalachien mit den gesenkten Basin Ranges die Vermuthung aus, dass in den Appalachien die bewegenden Ursachen oberflächlich, in den Basin Ranges tiefliegend seien.¹

Suess erörtert dann der Reihe nach zunächst die durch tangentielle Bewegung, die durch Senkung und die durch Combination beider Vorgänge verursachten Dislocationen.

Als die einfachste und unmittelbarste Folge einer annähernd horizontalen Bewegung der obersten Theile der Erde bezeichnet er das Entstehen langer Falten, deren Sättel eine Strecke weit hinstreichen, dann allmählich verflachen und durch andere Sättel abgelöst werden, welche parallel und mehr oder minder abwechselnd stehen. „Solche Falten werden gestaut durch entgegenstehende Hindernisse, und ihr Streichen krümmt sich dann im Sinne der allgemeinen Bewegung nach vorwärts. Der mittlere Theil des Juragebirges ist ein seit lange bekanntes, treffliches Beispiel für diesen Fall.“ Als Beispiele für die in den verschiedensten Formen erscheinenden Faltungen nennt Suess jene in den Menilit führenden Schiefermassen am äusseren Saume der Karpathen in Mähren, welche als Faltungen von der Regelmässigkeit eines schematisirten Modelles erscheinen, die Wände des Axenberges am Vierwaldstättersee, die Falten des Himalaya-Gebirges und der Appalachien.

„Staut sich die faltende Masse in sich selbst, so thürmt sie sich zu Luftsätteln auf, welche wohl auch gegeneinander geneigt sein mögen. Die Luftsättel, welche Kauffmann vom Pilatus, Ascher vom Säntis, v. Richthofen vom Formarinsee in Vorarlberg, Lotti in den Apuanischen Alpen beschrieben habe, zeigen verschiedenartige Abänderungen dieser Erscheinungen.“ Ueber die Bildung von liegenden Falten und Sätteln sagt Suess: „Es ist ganz richtig, dass wie Heim hervorhebt, bei gleicher Bewegung Falten entstehen können, welche nach entgegengesetzten Himmelsrichtungen geneigt sind, dass also z. B. in einem nach Nord bewegten Gebirge nach Nord geneigte und auch nach Süd geneigte Falten auftreten können, und wohl ebenso richtig, dass als der erste Anlass für die Neigung eines solchen Luftsattels die Höhe des Fusspunktes der Faltung angesehen wird.“² Aber die Erfahrung lehrt, Thurmman hat es vor Jahren im Jura gezeigt und Heim selbst bestätigt es an vielen Stellen seines inhaltsreichen Werkes, dass die übergrosse Mehrzahl der geneigten Falten eine und dieselbe Neigung hat, so zwar, dass der Scheitel der Falte gegen aussen, die folgende Mulde gegen innen, in dem grössten Theile der Alpen also der Sattel gegen Nord, die Mulde gegen Süd gerichtet ist. Dieser Umstand ist es auch, welcher der von B. Studer ausgesprochenen Regel zu Grunde liegt, dass die C förmig gekrümmten Schichten in den Schweizer Alpen die offene Seite nach aussen kehren.“

¹ G. K. Gilbert, in Wheeler: Rep. Geol. and Geogr. Explor. and Surveys West of 100 Merid., III. 1875, S. 62, citirt in E. Suess: Antlitz der Erde I. S. 144—188.

² A. Heim: Der Mechanismus der Gebirgsbildung, 1878, I. 233; II. S. 207.

Als das grösste und merkwürdigste Beispiel von Einfaltung und Ueberfaltung bezeichnet SUESS die von HEIM und BALTZER¹ dargestellten Beziehungen der Trias und des Jurakalkes an dem Nordabhänge der Finster-Aarhorn-Masse, und meint, dass an dem gegenseitigen Eingreifen von Gneiss und Kalk, insbesondere an der Auswulzung der Kalkkeile, der Vorwärtsbewegung des hangenden Gebirges der wesentlichste Theil zufalle. SUESS erörtert sodann das Zustandekommen der „Schuppenstructur“. Er erinnert daran, dass schon vor vielen Jahren GRESSLY im Juragebirge wahrnahm, dass bei stärker geneigten Falten das Bestreben hervortrete, nach einer der Axe des Sattels entsprechenden Fläche sich zu theilen, worauf dann die Ueberschiebung des hangenden Theiles auf diese Theilungsfläche erfolgt, sowie dass H. D. ROGERS aus seiner Untersuchung der Appalachien die Regel ableitete, dass bei Ueberstürzung einer Falte der normal gelagerte Flügel über den umgestürzten, also der hangende über den liegenden Flügel hinauf bewegt wird.² In manchen Gebirgstheilen tritt diese Erscheinung nicht vereinzelt ein, sondern wiederholt sich in mehreren, parallel hintereinander streichenden Faltensätteln. Die Folge ist jene eigenthümliche Structur des Gebirges, die als Schuppenstructur bezeichnet wird. In dem ursprünglichen, geneigten Faltensattel zeigte der liegende Theil die verkehrte, der hangende die normale Reihenfolge der Schichten. Indem nun durch die Ueberschiebung der liegende, das ist der überstürzte Flügel dem Auge gänzlich entzogen wird, bleiben hintereinander nur die hangenden Flügel mit gegen das Innere des Gebirges, bei nördlicher Bewegung also südwärts geneigter, doch normaler Schichtfolge zurück. Als ausgezeichnetes Beispiel der Schuppenstructur nennt SUESS den von BITTNER untersuchten östlichsten Theil der Kalkzone der Alpen in Niederösterreich. „Man wird — sagt BITTNER — die aufeinanderfolgenden Schichtenwiederholungen als ebenso viele Hangendflügel schiefer oder liegender Falten aufzufassen haben, deren antiklinale Axen bei weiter fortschreitender Entwicklung der Falten gerissen sind, wodurch die Hangendflügel übereinandergeschoben, die liegenden Flügel dagegen sammt und sonders verdrückt wurden.“³

Als ein weiteres Beispiel der Schuppenstructur nennt SUESS den östlichen Jura an der Stelle seiner grössten Stauung gegen den Schwarzwald und verweist auf den Gegensatz zwischen Tafeljura und Kettenjura, wie ihn das Profil des Bötzberges nach MOESCH zur Ansicht bringt. „Vergleicht man nun — sagt SUESS — diese Vorkommnisse (der Schuppenstructur) mit den Erfahrungen der Bergleute, so wird es klar, dass sie nichts

¹ A. BALTZER: Der mechanische Contact von Gneiss und Kalk im Berner Oberlande; Beitr. z. geol. Karte der Schweiz, XX, 1880.

² H. D. ROGERS: On the Laws of Structure of the more disturbed Zones of the Earth's Crust; Trans. Roy. Soc. Edinb. 1851. XXI, S. 442; citirt in E. SUESS: Antlitz der Erde I. S. 148—188.

³ BITTNER: Die geologischen Verhältnisse von Hernstein in Niederösterreich. Wien 1882. S. 305.

Anderes sind, als dieselben Ueberschiebungen, welche man unter dem Namen der „Wechsel“ oder „Schlächten“ von den Verwerfungen zu unterscheiden gelernt hat, und welche in England „Creeps“ genannt werden.“¹

Suess erörtert dann die mit der Faltung im Zusammenhang stehenden, quer auf das Streichen der Falten stehenden Verschiebungsflächen, welche er mit einem dem Bergbaue in den Alpen entlehnten Ausdruck als „Blätter“ bezeichnet. Er erwähnt als Beispiele die schon von Escher² gekannte Querspalte, welche vom Wildkirchli bis zum Rheinthal den Faltenbau des Säntis durchsetzt, die Querlinie im Neuenburger Jura, welche vom Südrande dieses Gebirges, an dem nordöstlichen Ende des Lac de Joux vorüber über Hôpitaux nordwärts bis gegen Pontarlier sich erstreckt, die Verschiebung, welche quer auf das Streichen in der Gegend des oberen Thunersees sich findet, sowie auf die Verschiebung einzelner Theile der Molasse, welche Kauffmann zwischen dem Thuner und Züricher See nachgewiesen hat.³ In den östlichen Alpen zeigen sich, wie Suess hervorhebt, zahlreiche Verschiebungsflächen, welche, wie immer auch das Streichen des betreffenden Gebirgstheiles verlaufen mag, gegen Nord bis Nordost, sehr vorherrschend gegen Nordnordost gerichtet sind. Diese Flächen fallen steil zur Tiefe, und so beständig ihre Streichungsrichtung ist, ebenso unbeständig scheint ihr Fallen zu sein, indem es leicht aus Westnordwest in Ostsüdost übergeht. Die Flächen selbst sind oft bucklig, doch glatt geschliffen, nicht selten von horizontalen oder leicht zum Horizonte geneigten Striemen oder Furchen bedeckt, und begleitet von der bei der Bildung von solchen Harnischen so oft hervortretenden Neigung, kleinere Gebirgstheile keilförmig oder linsenförmig abzuquetschen. Solche „Blätter“ erwähnt Suess zunächst aus der Umgebung des Königssees bei Berchtesgaden, dann aus den Tauern und aus der Gegend von Raibl. Er führt ferner die Verschiebungslinie von Belluno, die von Bitner an der Hohen Wand bei Wiener Neustadt beobachteten, gegen Nordnordwest streichende Blätter und endlich die Medina-fault, an welcher eine Hälfte der Insel Wight gegen die andere verschoben wurde, als Beispiel an.

„Es gehen demnach aus der tangentialen Bewegung im Gebirge zweierlei Sprungflächen hervor. Die erste Gruppe bilden Ueberschiebungsflächen, Wechsel oder Schlächten, durch deren Wiederholung die Schuppenstructur entsteht, und die zweite Gruppe sind die Verschiebungsflächen, Blätter oder Uebersprünge.“⁴

Von den Dislocationen durch Senkung sagt Suess, dass man von einer radialen Spannung nicht sprechen sollte, sofern man nur die

¹ E. Suess a. a. O. S. 152.

² A. Escher von der Linth: Geol. Beschreibung der Sentis-Gruppe (herausgegeben von Moesch), Beitr. z. geol. Karte d. Schweiz, 1878. XIII.

³ Die letzteren Störungen bereits erwähnt in E. Suess: Entstehung der Alpen S. 61 u. f.

⁴ E. Suess: Antlitz der Erde, I. S. 159.

Störungen in dem Baue des äusseren Felsgerüstes im Auge hat. Ein activer Zug nach abwärts sei in der ganzen umfangreichen Gruppe von Dislocationen, welche auf verticale Bewegungen zurückzuführen sind, nicht vorhanden. Wo die tangentielle Bewegung fehlt, lassen sich die vorhandenen Dislocationen ungezwungen durch das Weichen der Unterlage und durch die Schwerkraft erklären. Was man sieht, sind nur verschiedene Formen von passiven Einsenkungen und Einstürzen. Es bleibt der Eindruck, als wirke die radiale Componente in grösserer Tiefe und als würden hierdurch unter einer äusseren Schale Räume geschaffen, welche gestatten, dass grosse Theile der äusseren Schale in dieselben hinabsinken. Für die in einem Senkungsfelde zu beobachtenden Erscheinungen hat SUËSS eine ebenso angemessene Terminologie geschaffen, wie für die verschiedenartigen Dislocationen durch Horizontal-Bewegung. Beide Erscheinungen unterliegen bestimmten Bedingungen. „So wie die Falten einer grossen Kette nach gemeinsamen Gesetzen geordnet sind, so wie jede derselben von ihren Nachbarfalten und von der allgemeinen Structur der Kette abhängig ist und so wie sie alle aus einer gemeinschaftlichen Ursache hervorgegangen sind, so sieht man auch in ausgedehnten Landstrichen die Senkungslinien zu Netzen oder Systemen sich ordnen, welche gemeinschaftlich die Lage eines Senkungsfeldes zeichnen und ebenso wie die Falten eines Kettengebirges aus einer gemeinschaftlichen Ursache hervorgegangen sind. In einem normalen Senkungsfelde unterscheidet man zwei Hauptrichtungen der Sprünge, welche wir in Uebereinstimmung mit der schon vor vielen Jahren von DEFFNER für die Brüche im schwäbischen Jura eingeführten Bezeichnung die peripherischen und die radialen Sprünge nennen. Ausserdem finden sich stets noch ohne allgemein gültige Regel hinzutretende diagonale Sprünge und ferner kürzere untergeordnete Quersprünge, welche die Hauptsprünge rechtwinklig verbinden.¹

Die peripherischen Sprünge bilden die wichtigste Gruppe. Sie umgrenzen nicht nur das Senkungsfeld mit weitem Bogen oder Polygon, sondern sie wiederholen sich innerhalb dieses Umrisses in mehr oder minder concentrischer Weise, wohl auch als die Sehne eines Bogens oder quer über den Winkel des Polygons herlaufend, und nicht selten bemerkt man eine höchst merkwürdige Regelmässigkeit in den horizontalen Abständen der einzelnen gegen die Mitte des Senkungsfeldes einander folgenden Zonen von peripherischen Sprüngen. An jedem dieser peripherischen Sprünge ist mit wenigen Ausnahmen der gegen die Mitte des Senkungsfeldes liegende Flügel gesenkt, so dass sich der Betrag der Senkungen gegen die Mitte, das ist gegen die Tiefe des Senkungsfeldes summirt. Es kommt aber allerdings auch vor, dass zwischen irgend zwei peripherischen Sprüngen ein Gebirgsstreifen zu tief gesunken ist, so dass dann die äussere Seite des folgenden Sprunges als die hangende erscheint und eine

¹ C. DEFFNER: Die Lagerungsverhältnisse zwischen Schönbuch und Schurwald, Württemb. Jahresh. 1861, XVII. S. 170—262, 256 u. f.

kleine Compensation eintritt. Solche zu tief gesenkte Streifen nennen wir nach einem alten bergmännischen Ausdrucke Gräben oder Grabensenkungen. Es kommt ferner vor, dass in dem Streichen einer peripherischen Linie das Ausmaass der Senkung allmählich sich mindert und zugleich in nicht allzugrosser Entfernung eine zweite peripherische Spalte mit parallelem Verlaufe beginnt und mit zunehmender Senkung sich fortsetzt, so dass die eine Spalte durch die andere abgelöst wird, wie in ähnlicher Weise die Falten der Kettengebirge sich ablösen. Dann bleibt zwischen beiden Sprüngen ein gleichsam schwebendes Stück zurück, und solche Stücke hat MOJSISOVICs bei den grossen Senkungsbrüchen der Südalpen als Brücken bezeichnet. Nähern sich die äusseren Umrissse zweier Senkungsfelder einander und bleibt zwischen beiden ein trennender Rücken, von welchem nach beiden Seiten die Senkungen mehr oder minder treppenförmig abfallen, so bezeichnen wir diesen Rücken mit einem ebenfalls im Bergbaue üblichen Worte, als einen Horst, wohl auch als einen Horst erster Ordnung, im Gegensatze zu den untergeordneten Horsten, welche da oder dort zwischen dem Sprungnetz sich bilden. Als solche Horste erster Ordnung nennt SUESS den Schwarzwald, die Vogesen, den Morvan und das Kaibab-Plateau am Colorado. Untergeordnete Horste können auch auf Sprüngen im gefalteten Gebirge entstehen, sobald sie von verticaler Bewegung begleitet sind.

Die radialen Sprünge sind in ihrer Anlage lange nicht so regelmässig wie die peripherischen Sprünge. Sie sind in Senkungsfeldern von mässiger Ausdehnung besser entwickelt, sie durchschneiden dann die peripherischen Sprünge und erzeugen mehr oder minder trapezförmige Schollen, welche zuweilen eine selbstständige, schräge und abnorme Bewegung verrathen, durch welche die Regelmässigkeit des Senkungsfeldes örtlich beirrt wird. Gegen die Mitte, wo die radialen Linien sich zu drängen beginnen, entstehen kleinere Keile, und aus der weitgehenden Zerstückelung der Erde gehen stellenweise eigenthümliche, örtlich verschiedene Einsturzfelder hervor, welche bald einen runden, bald einen unregelmässig eckigen Umriss haben können und deren Ausdehnung in ein und demselben Senkungsfelde eine sehr verschiedene sein mag. Als solche Einstürze gegen die Tiefe eines Senkungsfeldes nennt SUESS den Riesessel, den Höhgau und die Liparischen Inseln.

Er macht ferner darauf aufmerksam, wie ausserordentlich leicht selbst sehr grosse Sprünge dieser Art, welche mit verticalen Dislocationen im Betrage von tausenden von Fussen verbunden sind, unserem Auge verhüllt bleiben und wie oft künstliche Aufschlüsse solche Störungen dort blolegen, wo sie früher nie vermuthet wurden. So verräth kein Anzeichen an der Oberfläche des einförmigen Hügellandes von Pöbraz das Vorhandensein der Lettenkluft, welche jetzt durch den Bergbau bis zu einer Tiefe von mehr als tausend Meter aufgeschlossen ist, und auf welcher eine bedeutende Dislocation der angrenzenden Theile stattgefunden hat. SUESS verweist darauf, dass die neueren Untersuchungen in Böhmen

das Vorhandensein zahlreicher Brüche und Verwerfungen ergeben haben, dass die böhmische Silbermulde nach diesen Erfahrungen anstatt des früher gebotenen Bildes einer einfachen Synklinale mehr und mehr das Bild einer sehr breiten und verwickelten Grabensenkung annimmt, dass überhaupt ein sehr grosser Theil Böhmens, insbesondere West, Nord und Ost des Landes, der Schauplatz ausgedehnter Senkungen gewesen ist, welche sich auf weichender Unterlage an zahlreichen Sprungflächen vollzogen haben. Die schematische Unterscheidung von peripherischen und radialen Sprüngen findet in diesem Falle freilich keine Anwendung.

Viel grossartiger erscheinen verticale Störungen und zwar unter vollkommenem Ausschluss jedweder horizontal wirkenden Kraft oder Spannung im westlichen Nordamerika. Dort sind horizontal geschichtete Platten auf ausserordentliche Strecken hin durchschnitten von grossen Störungslinien, welche sich selten durchkreuzen und demzufolge auch keine Veranlassung zu localen Einstürzen geben. Das Ausmaass der Senkung ändert sich nicht blos auf der Erstreckung der langen Bruchlinien, sondern es tritt die Senkung sogar bald auf der einen, bald auf der anderen Seite des Sprunges ein. SUËSS erörtert diese Art der Störungen an ihrem ungezeichnetem, von DUTTON geschilderten Beispiel, nämlich an jenem System von Dislocationen, welches die Hochplateaus des westlichen Utah durchsetzt. Die dortigen Störungslinien sind auf lange Strecken hin mehr oder minder scharfe J-förmige Beugungen der Schichten, welche von den amerikanischen Forschern im Gegensatz zu den „folds“, d. i. wahren Falten alpiner Gebirgsbildung als „monoclinalflexures“ bezeichnet werden. SUËSS bezeichnet sie, da unserer Nomenclatur eine einfache Benennung dieser Störungen fehlte, ebenfalls als Flexuren im Gegensatz zu den Falten. Diese Flexuren ersterben an manchen Orten in immer flacherer Beugung; an anderen Orten gehen sie in steile Brüche über mit beträchtlicher Absenkung einer Seite. Aus der zerrissenen Flexur wird eine Verwerfung mit geschleppten Flügeln, wobei der gesenkte Flügel nach aufwärts, der andere nach abwärts geschleppt ist. Flexuren und Verwerfungen haben daher nicht als wesentlich verschiedene Erscheinungen zu gelten. SUËSS bezeichnet die langen Brüche im horizontalen Gebirge, welche aus Flexuren hervorgehen und einen wechselnden Verwurf zeigen, als Tafelbrüche.

Einen ganz anderen Charakter als die bisher besprochenen Formen der Senkung, welche an eine Gruppe von linearen Flexuren oder Sprüngen gebunden sind, an welchen sich die Dislocation vollzieht, weisen jene Senkungen auf, welche ohne sichtbare lineare Spaltenbildung vor sich zu gehen scheinen. „Es bricht ein Stück der Erde zur Tiefe, mit unregelmässigem, bald rundem, bald länglichem Umriss; steile Wände umgeben den eingestürzten Raum, aber man sieht nicht, dass lineare Spalten gebildet wären. In einzelnen Fällen bildet allerdings eine gerade Linie einen Theil des Umrisses; dann hat die Senkung eine ältere Spalte sich gleichsam zu Nutze gemacht; die Abtrennung ist nach einer älteren Kluff

erfolgt, aber die Kluft wurde nicht durch den Einsturz erzeugt. Bald steht ein solcher Einbruch vereinzelt, gleich einem Kessel; bald ist er zu gross und unregelmässig, um diese Bezeichnung passend erscheinen zu lassen. Der Umriss erstreckt sich wohl auch in der Richtung des Streichens des Gebirges, aber der Einsturz erfolgt ohne Rücksicht auf die Beschaffenheit des Gesteins. Sehr oft endlich schliessen sich mehrere oder viele solche Einbrüche aneinander, durch sporenartige Horste unvollständig getrennt, oder auch vereinigt zu einem einzigen weiten Einbruch. Diese Einbrüche haben ferner die Eigenthümlichkeit, dass sie im gefalteten Gebirge erscheinen, also in Regionen, in welchen jene horizontalen Spannungen allerdings vorhanden sind, deren Abwesenheit im Colorado-Plateau so auffallend ist, und man kann ferner behaupten, dass sie gegen den äusseren Rand der Faltengebirge selten, gegen den inneren Rand dagegen sehr häufig sind. So gilt es wenigstens für das Alpensystem.¹

Als Beispiele solcher Einbrüche erörtert SUESS den Kessel von Hirschberg im Riesengebirge, die Senkung von Salzburg in der Flyschzone der Alpen, den Einbruch von Laibach, die Senkung von Wien und die Einbrüche, welche den Ostrand der Alpen gegen die ungarische Ebene begrenzen, ferner die bogenförmig eingreifenden Brüche an der Innenseite der Appeninen, und verweist darauf, dass solche Einbrüche noch ein weit grösseres Maass erreichen können, wie die Beschaffenheit vieler Küsten lehrt, die steil und quer auf das Streichen gebrochen sind. Als Beispiele solcher durch grosse Einbrüche quer abgeschnittene Küstengebirge nennt SUESS jene der Krim und den Kaukasus.

Von den Dislocationen aus vereinigter Senkung und tangentialer Bewegung sagt SUESS, dass vor allem bei ihrer Betrachtung zu unterscheiden sei, welches die Streichungsrichtung der hauptsächlich Bruchlinie im Verhältnisse zu der Richtung der faltenden Kraft ist. Steht der Bruch annähernd senkrecht auf der Richtung der Gebirgsfalten, ist er also ein Querbruch, so wird die Störung wahrscheinlich durch den verschiedenen Grad der Faltung auf beiden Seiten mehr oder weniger der schrägen Bewegung an einer Blattfläche gleichen. Ist dagegen der Bruch ein Längsbruch, was viel häufiger vorkommt, so ist zu unterscheiden, ob der gesenkte Theil im Sinne der faltenden Kraft nach innen oder nach aussen liegt, ob also z. B. in einem nach Nord gefalteten Zuge der südliche oder der nördliche Theil abgesunken ist. Wird ein gefaltetes Gebirge von einem Längsbruche durchschnitten und sinkt an demselben der innere Flügel zur Tiefe, so zeigt sich nicht selten in dem Gebirge das Bestreben, in einer der normalen Faltung ganz entgegengesetzten Richtung zu überfalten, wodurch an demselben nicht nur Aufrichtung, sondern auch Einklemmung und Umstürzung der Schichten entstehen mag.² Diese Erscheinung nennt SUESS Rückfaltung und macht zahl-

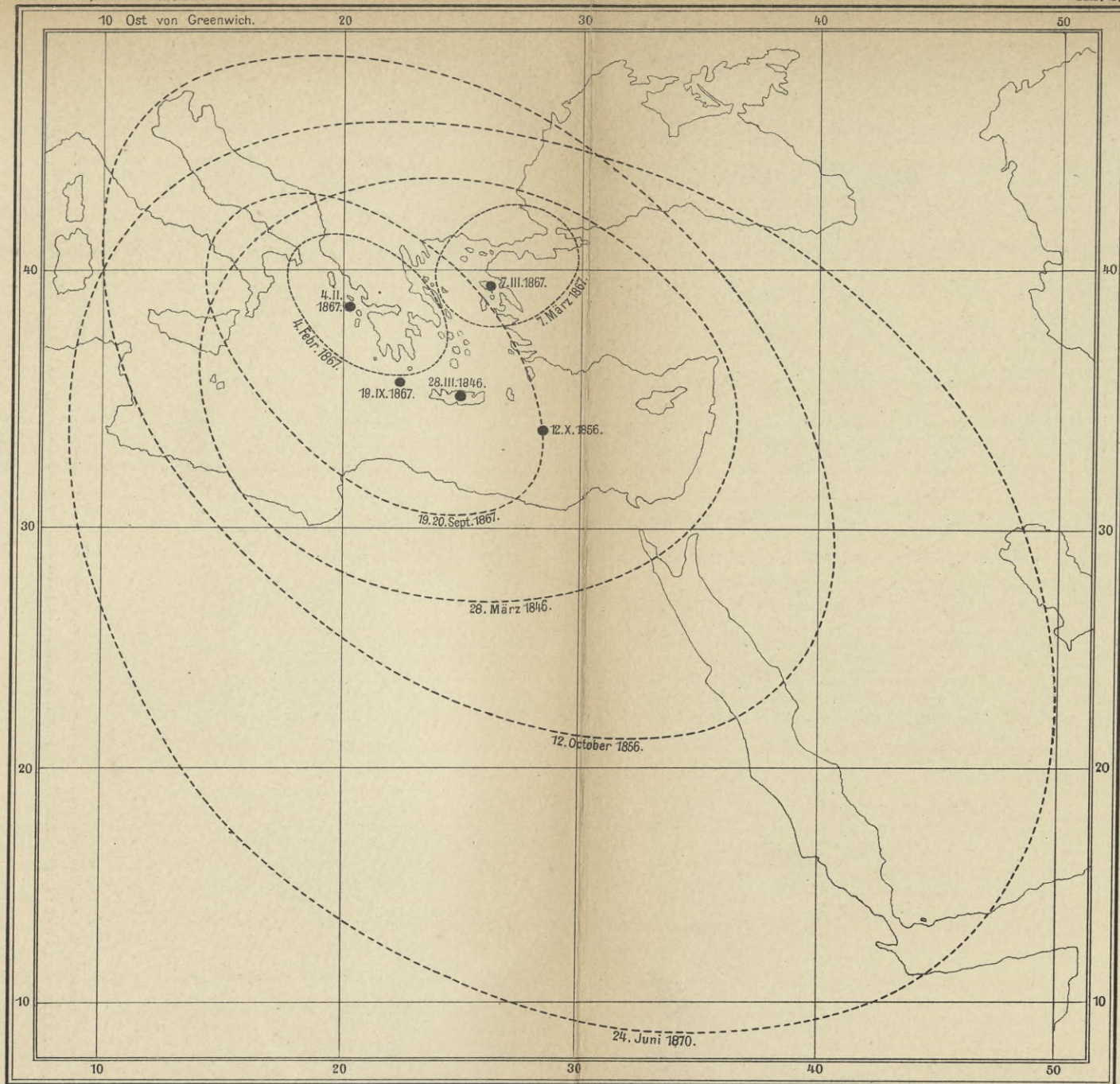
¹ SUESS: Antlitz der Erde, I. S. 175.

² E. SUESS a. a. O. S. 181.

reiche Beispiele dafür namhaft. Die grosse Masse des Riesen- und Isergebirges sammt der Heuscheuer und den inneren Theilen der Sudeten ist nach Nordost bis Ost bewegt. An ihrem Innenrande aber ist sie auf eine lange Strecke durch einen nordwestlich streichenden Bruch abgeschnitten, und auf dieser Linie ist in einer dem normalen Gebirgsbaue entgegengesetzten Richtung Granit mit anderen archaischen Felsarten gegen Südwest über weissen Jura und Kreide herübergebogen. Dieselbe Erscheinung wiederholt sich an dem Südrande der böhmischen Masse in der Gegend von Ortenburg und ähnlich dürfte es sich auch an dem Südrande des Teutoburger Waldes verhalten. Dieselbe Erscheinung der Rückfaltung tritt auch in alpinen Einsturzgebieten, wie im Prättigau und in der Neuen Welt bei Wiener Neustadt auf.

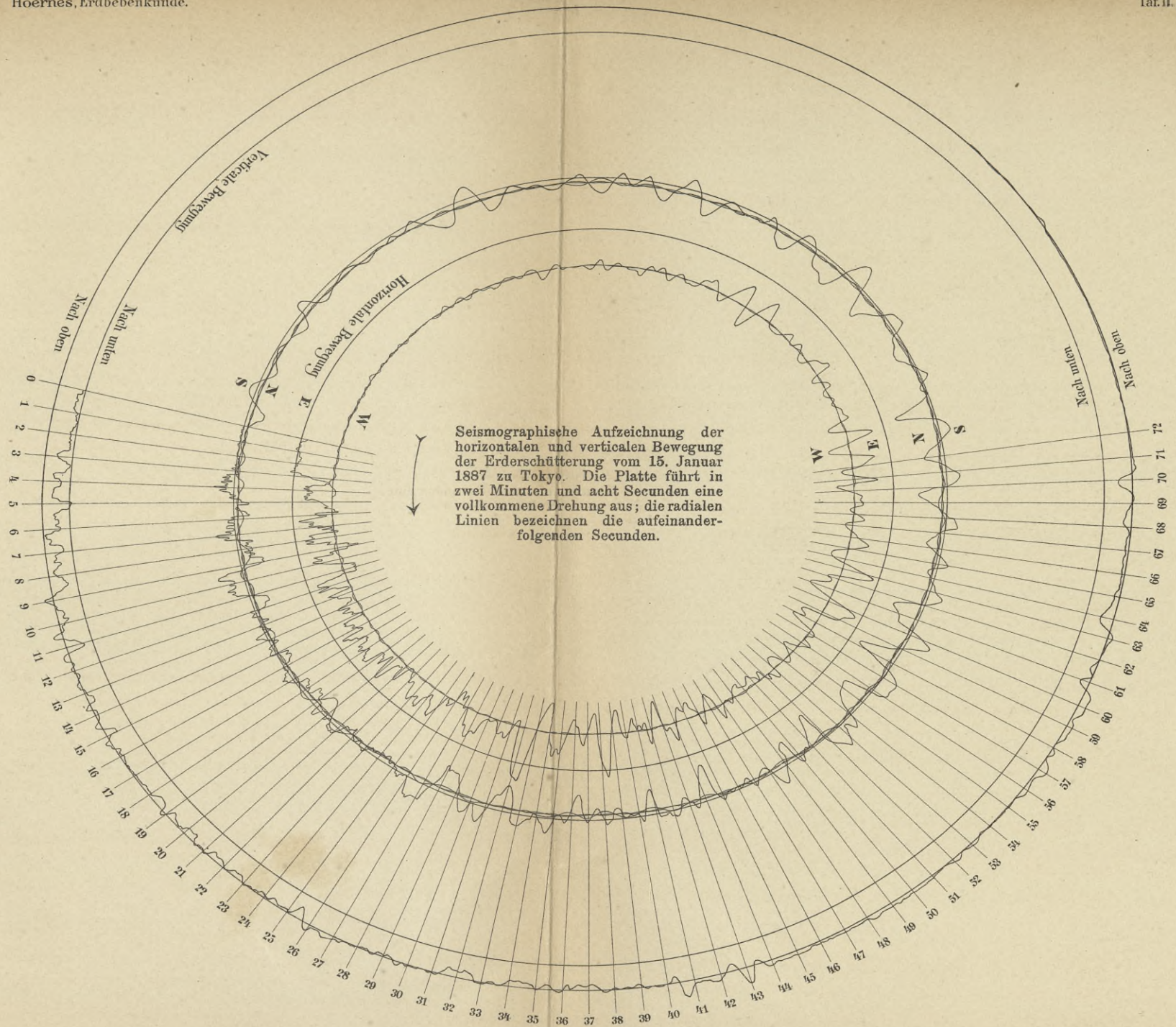
Wenn aber in einem faltenden Gebirge Absenkungen auf im Streichen liegenden Sprüngen in solcher Weise sich ereignen, dass ein nach aussen liegender Gebirgstheil gesenkt wird, dass also z. B. in einem nordwärts faltenden Gebirge auf Ostwestsprüngen nordwärts von der Hauptregion der Faltenbildung das Land hinabsinkt, dann erfolgt weit grössere Horizontalbewegung, als würde sie befördert durch die vorliegende Senkung. Dies nennt **Suess** Vorfaltung und führt als Beispiel die verwickelten Lagerungsverhältnisse der belgischen Kohlenfelder an. Aus der Gegend von Boulogne bis nach Aachen reicht eine grosse Ueberschiebung des Gebirges gegen Nord, welche es dahin bringt, dass an mehreren Stellen, im Pas de Calais wie bei Lüttich, das flötzreiche Carbongebirge unter devonischen Schichten abgebaut wird, und dass bei Namur ein nach abwärts gerichtetes Stück eines grossen Faltensattels, bestehend aus silurischen und devonischen Ablagerungen, dem in gleichem Sinne nach abwärts gekrümmten carbonischen Gebirge auflagert. Nur der ausgedehnte Bergbau, durch welchen diese ausserordentlichen Störungen unter dem von der Kreideformation bedeckten flachen Hügellande bekannt geworden sind, lieferte jene Aufschlüsse, auf Grund deren die belgischen Geologen die stattgefundenen Dislocationen analysiren und in ihrer Bedeutung feststellen konnten.

Für die Erörterung jener Kategorie von Erdbeben, welche wir als tektonische bezeichnen, ist die scharfe Unterscheidung der verschiedenartigen Dislocationen, welche in der Rinde des Planeten zu beobachten sind, von ungleich grösserer Bedeutung als die Feststellung der Ursache dieser Störungen. Wie aus einer bereits oben angeführten Stelle (siehe S. 328) hervorgeht, betrachtet **Suess** die sichtbaren Dislocationen in dem Felsgerüste der Erde als das Endergebniss von Bewegungen, welche durch Verringerung des Volums unseres Planeten hervorgehen. Er befindet sich hierin in Uebereinstimmung mit **A. Heim**, welcher wohl am eingehendsten von Allen, die sich mit dem Gegenstande beschäftigten, die Volumverminderung des Erdinneren als Ursache der Störungen in der Rinde dargestellt hat. Der Grundgedanke der **Heim'schen** Ansicht über die Oberflächenbildung der Erde ist schon durch **A. v. Humboldt** mit den Worten



Darstellung des ungefähren Gebietes der grossen Orientalischen Erdbeben von 1846, 1856, 1867, 1870 nach J. Schmidt. In fünf Fällen (aber nicht für das Erdbeben von 1870) sind die wahrscheinlichen Epicentra durch einen schwarzen Punkt angedeutet worden.





Seismographische Aufzeichnung der horizontalen und verticalen Bewegung der Erdschütterung vom 15. Januar 1887 zu Tokyo. Die Platte führt in zwei Minuten und acht Secunden eine vollkommene Drehung aus; die radialen Linien bezeichnen die aufeinanderfolgenden Secunden.



ausgesprochen worden: „Ungleicher secularer Wärmeverlust der Erdrinde und des Erdkernes bewirkt eine Faltung (Runzelung) der starren Oberfläche.“¹ — Unter den zahlreichen Vertretern der Lehre von der Gebirgsentstehung durch Volumverminderung des Erdkernes in Folge der allmählichen Abkühlung muss HEIM an erster Stelle genannt werden. Er hat es versucht, aus genauen Profilen den Zusammenschub, welchen die Erdrinde durch die Kettengebirgsbildung erlitten hat, zu bestimmen und fand sodann durch Rechnung, dass die Umfangsverkürzung der Erde durch die gesammte Gebirgsbildung noch nicht 1 % erreiche, eine Grösse, welche durch die vorausgesetzte Ursache: Temperaturabnahme des Erdkernes und dadurch herbeigeführte Verminderung des Volumens füglich erklärt werden kann. „Wenn wir — sagt HEIM in seinem grossen Werke über die Gebirgsbildung² — 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 ($\frac{7}{12}$ bis $\frac{4}{5}$ für den Jura, $\frac{1}{2}$ 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 $\frac{1}{3}$ % . Schätzen wir die Faltung der anderen von dem Central-Alpen-Meridian geschnittenen Gebirge noch in ihrem Zusammenschube ab, so finden wir, dass die Umfangsverkürzung durch die gesammte Gebirgsbildung bis jetzt nicht ganz 1 % betragen hat.“ HEIM hat sodann berechnet, dass eine Abkühlung des Erdinnern von 200° genüge, um in Folge der Volumverminderung eine Rindenrunzelung oder Gebirgsfaltung von der Ausdehnung der Alpen zu verursachen, eine Abkühlung von 500° aber hinreiche, um auf einem grössten Kreise der Erde drei Gebirge wie die Alpen, d. h. so ziemlich alle Gebirge der Erde aufzuthürmen.

Die Contractionshypothese hat in neuerer Zeit vielfache Gegner gefunden, ohne dass es gelungen wäre, sie vollkommen zu widerlegen oder

¹ A. v. HUMBOLDT: Kosmos 1845, I. S. 312.

² Untersuchungen über den Mechanismus der Gebirgsbildung im Anschlusse an die geologische Monographie der Tödi-Windgällen-Gruppe. II. Band. Basel 1878.

bessere Erklärungen an ihre Stelle zu setzen. Es kann nicht Aufgabe des Verfassers sein, an dieser Stelle die neueren Hypothesen der Gebirgsbildung eingehend zu beleuchten, er sieht sich vielmehr veranlasst, diejenigen, welche den Gegenstand weiter verfolgen wollen, auf eine vor Kurzem erschienene, sehr lesenswerthe Abhandlung Professor E. REYER's¹ zu verweisen, in welcher an Stelle der von REYER als ungenügend bezeichneten Contractionshypothese eine Anzahl anderer Erklärungsarten erörtert und an der Hand sinnreicher Experimente geprüft wird. REYER legt insbesondere Gewicht auf die Thermalhypothese, welcher zufolge die Ablagerung von Sedimenten Durchwärmung und Hebung verursacht. Er ergänzt diese Hypothese durch die Annahme der Gleitfaltung in den auf geneigter Unterlage ruhenden Sedimenten. Wenn nun auch manche Faltungsvorgänge in der Erdrinde auf das einfache Abgleiten geneigter Schichten auf ihrer Unterlage in Folge der Schwere zurückzuführen sein mögen, so kann diese Erklärung unmöglich für die gesammten Faltengebirge hinreichen, ebensowenig als durch Nachschübe anwachsende Eruptivmassen andere als bloss locale Ueberschiebungen und Faltungen zu Stande bringen können. Das Experiment kann in solchen Fällen nicht den Werth eines Beweismittels haben, weil es eben unter Voraussetzungen angestellt wird, die vielleicht den natürlichen Verhältnissen in keiner Weise entsprechen. Mit Recht sagt E. SUËSS in dem der Erörterung der Dislocationen gewidmeten Abschnitte seines Werkes „Das Antlitz der Erde“ über derartige Experimente: „Ich nehme auch keinen Anstand, zu gestehen, dass bei allem Interesse für die vielfachen Versuche, die Erscheinungen des Bruches oder der Faltung künstlich hervorzubringen, mir für den Augenblick die Untersuchung entscheidender Punkte in der Natur selbst von weit grösserer Wichtigkeit erscheint.“²

Bereits in der Einleitung (siehe S. 22 und 23) wurde Veranlassung genommen, der Theorie G. PILAR's zu gedenken, nach welcher die Schollen der Erdrinde auf dem flüssigen Erdinnern schwimmen und je nach ihrer verschiedenartigen Abgrenzung durch nach unten convergirende oder divergirende Brüche die Tendenz haben, zu sinken oder zu steigen. Diese Theorie PILAR's hat viel Bestechendes und scheint insbesondere geeignet, die Bewegungsvorgänge in Tafelländern, wie sie oben (S. 334) geschildert wurden, auf einfachere Weise zu erklären, als irgend eine andere. Die hauptsächlichste Einwendung, welche gegen sie erhoben werden kann, bezieht sich auf die Beschaffenheit des Erdinnern, welches PILAR mit vielen älteren Autoren als flüssig annimmt, während in neuerer Zeit zumeist Starrheit desselben vorausgesetzt wird. In seinem, für die moderne Lehre des Vulkanismus grundlegenden Werke: „Beitrag zur Physik der Eruptionen und der Eruptivgesteine“ sucht REYER den Nachweis zu führen,

¹ E. REYER: Ursachen der Deformationen und der Gebirgsbildung, Leipzig 1892.

² E. SUËSS: Antlitz der Erde, I. S. 143.

dass trotz hoher Temperatur und trotz der gleichfalls die Verflüssigung befördernden Durchtränkung das Erdinnere durch den Druck der lastenden Schichten verfestigt ist, und nur locale Verflüssigungen des Magma eintreten, sobald durch Spaltenbildung stellenweise Druckerleichterung stattfindet. REYER führt zur Stütze seiner Ansicht auch die Ergebnisse der Forschungen von Physikern und Astronomen an und beruft sich insbesondere auf HOPKINS und THOMSON¹, während PILAR die Folgerungen, welche HOPKINS aus der Beobachtung der Präcession und Nutation, THOMSON aus der Analyse des Fluthphänomens ableitet, verwirft und die gegentheiligen Ansichten von DELAUNAY und SIEMENS billigt².

Es kann nicht unsere Aufgabe sein, auf diese Streitfrage näher einzugehen, so wichtig sie auch für die Theorie der Gebirgsbildung sein mag. Es soll hier nur daran erinnert werden, dass die wirklichen Kenntnisse, welche wir von der Beschaffenheit des Erdinnern haben, der Natur der Sache nach nur sehr gering sein können. Unsere Erfahrungen über die Zunahme der Temperatur des Erdinnern gründen sich auf einen verschwindend kleinen Theil des Durchmessers des Planeten, der unseren Beobachtungen zugänglich ist, und die in diesem ermittelten geothermischen Tiefenstufen weisen solche Verschiedenheiten auf, dass die vielfach angestellten Berechnungen über die Temperatur der grösseren Tiefen von ziemlich willkürlichen Prämissen ausgehen. Unsere experimentellen Erfahrungen über die gegenseitige Wirkung, welche grosse Hitze und grosser Druck auf den Aggregationszustand ausüben, sind noch sehr gering und es ist fraglich, ob jene Gesetze, welche wir unter den an der Erdoberfläche herrschenden oder mit den uns zu Gebote stehenden Mitteln leicht herbeizuführenden Verhältnissen ermittelt haben, auch unter so weit geänderten Bedingungen ihre Geltung behaupten, wie sie mit einiger Wahrscheinlichkeit in grösserer Tiefe vorausgesetzt werden können. Mit demselben Rechte, mit welchem von manchen Autoren auf Grund der heute bekannten Thatsachen die Beschaffenheit des Erdinnern als flüssig oder als fest behauptet wird, könnte auch ein gasförmiges Erdinnere angenommen werden, weil ja in grosser Tiefe eine so hohe Temperatur herrschen mag, dass für viele Elemente und Verbindungen der kritische Punkt überschritten sein wird. Es lässt sich aber eine solche Behauptung, abgesehen von unseren ganz ungenügenden Kenntnissen von der Temperatur des Erdinnern schon deshalb gar nicht prüfen, weil die kritische Temperatur weniger Körper bekannt ist und weil vorausgesetzt werden muss, dass sie bei der Wechselwirkung verschiedener Substanzen grösseren oder geringeren Schwankungen unterliegt. Wenn wir z. B. auch in der Lage wären, die kritische Temperatur des Eisens zu kennen, so würde doch die Frage übrig bleiben, ob dieselbe nicht durch die Anwesenheit eines wei-

¹ E. REYER: Beitrag zur Physik der Eruptionen und der Eruptivgesteine. Wien 1877. S. 110.

² G. PILAR: Grundzüge der Abyssodynamik. Agram 1881, S. 30—34.

teren, in Wechselwirkung stehenden Elementes einer Verschiebung unterliegen würde oder nicht.

Es mag hier daran erinnert sein, dass vor Kurzem ein ausgezeichnete Geophysiker, S. GÜNTHER, für das Vorhandensein sämtlicher Aggregatzustände im Innern der Erde eingetreten ist. GÜNTHER erklärt sich gegen die von den englischen Physikern aus den Erscheinungen der Präcession und Nutation abgeleitete Annahme der Starrheit des Erdinnern mit folgenden Worten: „Man übersah, dass der Erfolg, dessen richtige Interpretation man dabei doch immer allein vor Augen hatte, auch auf andere Weise erzielt werden kann, dass die Achsenschwankungen nicht anders ausfallen, wenn man sich denkt, innerhalb der Erde seien sämtliche Aggregatzustände, die es geben kann, in kontinuierlicher Aufeinanderfolge vertreten. Jene inneren Reibungswiderstände, welche an der distinkten Grenzfläche zweier Materien von ganz verschiedener molekularer Structur unvermeidlich wären, sind nicht vorhanden, und das aus angenähert ähnlichen und ähnlich liegenden Schichten von stetig variirender Dichte bestehende Ellipsoid wird sich im Wesentlichen wie ein homogener Körper verhalten. Dass aber die Verschiedenheit der Aggregatzustände im Inneren unseres Wohnkörpers eine solche ist, wie wir sie schilderten, das lässt sich heute zwar nicht in aller Schärfe beweisen, wie denn strenge Beweise in diesem Falle wohl für immer zu den frommen Wünschen gehören werden, aber es lässt sich doch ganz unverhältnissmässig wahrscheinlicher machen, als noch vor einigen Jahrzehnten, da LESLIE und HERBERT SPENCER sich gegen die Starrheit der Erde erklärten. Es steht fest, dass, je tiefer man in die Erde eindringt, um so höher die Temperatur steigt, und wenn man sich nicht mit der ganz in der Luft stehenden Idee begnügt, als diese Zunahme der Erdwärme mit einemale ihr Ende erreichen könne, so bleibt nur übrig, zu glauben, dass die Temperatur fortwährend ansteigt. Nach HENRICHS Berechnung zahlreicher, in Gruben und Bohrlöchern vorgenommener Thermometermessungen, welche uns wenigstens von allen vorhandenen das meiste Vertrauen einflösst, ist das Temperaturwachsthum ein völlig gleichmässiges, und es ist der isogeothermische Gradient zwar für verschiedene Erdorte selbst sehr verschieden, für den von einem bestimmten Punkt ausgehenden Erdradius aber so gut wie constant. Wie klein die Zunahme innerhalb eines gewissen Verticalabstandes auch sei, in den centralen Partien der Erde wird doch eine ungemein hohe Temperatur herrschen, welche nach sachkundiger Schätzung keinesfalls unter $20,000^{\circ}\text{C}$. bleibt. Bei solcher Hitze kann nun aber kein Stoff, soweit unsere Erfahrung reicht, in anderem als gasförmigem Zustande mehr bestehen, und zwar wird es der sogenannte überkritische Zustand sein, dessen Eigenart es ist, dass auch der allerstärkste Druck keine Verflüssigung des Gases herbeizuführen vermag. Je mehr man sich radial vom Centrum entfernt, um so mehr wird, bei geringer Variation des Druckes, die Temperatur abnehmen, und der von uns gedachte Wanderer wird alle Modalitäten kennen

lernen, in denen elastisch- und tropfbar flüssige Körper bestehen können, vom einatomigen Gase an bis zur schwerflüssigen, plastischen Teigmasse. Man sieht sofort, dass diese Auffassung der intratellurischen Zustandsänderungen allen jenen Speculationen über ein in den Eingeweiden der Erde wogendes Glutmeer den Boden entzieht, welche als ein Nachklang des altgriechischen Dogmas vom Pyriphlegeton in unsere Zeit hereinreichen und in der nur zu bekannten PERREY-FALB'schen Hypothese ihre höchste Entfaltung erreicht haben.“¹

Die von GÜNTHER vertretene Hypothese hat jedenfalls, obwohl unsere Erfahrungen nicht hinreichen, ihre Giltigkeit strenge zu beweisen, grosse Wahrscheinlichkeit für sich. Die Annahme eines sehr heissen und theilweise plastischen, theilweise flüssigen, ja sogar gasförmigen Erdinneren lässt sich zudem eher mit der, die Dislocationen der Erdrinde noch am einfachsten erklärenden Contractionshypothese vereinen, als die Voraussetzung hochgradiger Starrheit des Erdkörpers.

Die angeführten Bemerkungen mögen genügen, um die Schwierigkeiten anzudeuten, mit welchen die Erklärung der Dislocationen der Erdrinde zu kämpfen hat, wenn man sie bis zu den letzten Ursachen verfolgt. Für unsere Zwecke ist dies jedoch nicht nöthig, da wir uns zunächst mit den bereits oben an der Hand der SUESS'schen Ausführungen geschilderten Bewegungsvorgängen der Kruste zu beschäftigen haben, in welchen wir die Ursachen jener Erdbeben erkennen, die wir als tektonische bezeichnen. Mag die von SUESS und HELM vertretene Contractionstheorie genügen, um die verschiedenen Bewegungen der Erdrinde zu erklären oder mögen wir im gegentheiligen Falle uns gezwungen sehen, zu den von REYER und PILAR gegebenen Erklärungsversuchen unsere Zuflucht zu nehmen, wir erkennen in allen Fällen, dass diese Bewegungsvorgänge mit Erderschütterungen verbunden sein müssen, welche wir tektonische Erdbeben nennen und welche wir je nach der Art der stattgehabten Bewegung auch als verschiedenartige Erschütterungen unterscheiden können.

SUESS bezeichnet als eine wesentliche Eigenschaft der neueren Classificationsversuche der Erdbeben nach ihrer Entstehungsursache: „das richtige Bestreben, solche Erderschütterungen, welche wahre Ortsveränderungen einzelner Theile der Lithosphäre begleiten oder vorbereiten, mag man sie nun tektonische Beben oder Dislocationsbeben nennen, von allen anderen Beben abzuschneiden.“² — „Vorausgesetzt nun — fährt SUESS fort —, was gerne zugegeben mag, dass keine Dislocation ohne Erdbeben gebildet wird, muss es ebenso viele Arten von Dislocationsbeben geben, als es Gruppen von Dislocationen giebt, und dieselben Grundsätze der Eintheilung müssen auch hier Geltung erlangen. Hiernach hätten wir wenigstens in jenen typischen Fällen, in welchen die Zerlegung der tellurischen Span-

¹ S. GÜNTHER: Gedanken über das Wesen des Vulkanismus. „Ausland“ 1892, Nr. 39.

² E. SUESS: Das Antlitz der Erde, I. S. 228.

nungen eine vollständigere ist, zwei Hauptgruppen zu unterscheiden, nämlich Erdbeben, welche aus tangentialen Spannungen, und solche, welche aus Senkung hervorgehen.“

Die Erdbeben, welche aus tangentialen Spannungen hervorgehen, zeigen zum Theil quer auf das Streichen der Gebirge gerichtete Stosslinien, deren Zusammenhang mit jener Gruppe von Störungen, welche als Blätter bezeichnet wurden (siehe oben S. 331) klar hervortritt. Solche Beben nennt SUËSS deshalb Blattbeben. Hierher gehören zahlreiche Erderschütterungen des nördlichen Theiles der Ostalpen, so insbesondere jene mit der unten zu erörternden Kamplinie zusammenhängenden, welche sich geradlinig weit in das gegenüberliegende böhmische Massiv fortpflanzen, ferner das karpathische Erdbeben von Sillein vom 15. Januar 1858, das Beben von Belluno vom 29. Juni 1873 und viele andere. Wechsel- oder Vorschubbeben haben im Streichen des Gebirges gelegene Achsen. „Wenn — sagt SUËSS — das belgische Erdbeben vom 23. Februar 1828, welches durch grosse Ausdehnung bei mässiger Intensität und durch genaues Verfolgen des Streichens des Kohlengebirges ausgezeichnet war, in der That, wie LASAULX vermuthet, von der Faille du midi ausging, so dürfte es als Beispiel eines Wechsel- oder Vorschubbebens angesehen werden. Im Allgemeinen dürften sich die Schüttergebiete von Wechselbeben an der Oberfläche weniger scharf abgrenzen als Blattbeben, deren radial aus dem Gebirge hervortretende Stossrichtung bezeichnend ist. Es ist wahrscheinlich, dass die grösste Anzahl der Beben in der nördlichen Hälfte der Alpen aus tangentialen Bewegungen hervorgehe. Solche Beben scheinen nur äusserst selten von vulkanischen Ausbrüchen begleitet zu sein.“¹

Ganz anders liegt die Sache bei jenen Erdbeben, die mit der zweiten Gruppe der Dislocationen, mit den verticalen Bewegungen grösserer und kleinerer Schollen der Erdrinde zusammenhängen. In den Senkungsfeldern treten auf den Dislocationsbrüchen und mit den Erderschütterungen die meisten vulkanischen Ausbrüche hervor. „Hier nun entsteht — sagt SUËSS — die Frage, wo die Grenze zwischen Dislocationsbeben und vulkanischen Beben zu ziehen sei, eine Frage, welche im abstracten Sinne sehr leicht zu lösen ist, indem man die explosiven Erscheinungen als bezeichnend für die vulkanischen Beben festhält. In der Natur aber zieht sich diese Grenze nicht so leicht; der Vorgang der Eruption zerfällt in eine Reihe von Abschnitten, in welchen die Bewegungen einander nicht gleichen, und es erscheinen Beben auf einer längeren Linie, welche man leicht für Dislocationsbeben halten möchte, die aber doch nur eine Phase des Ausbruches bezeichnen.“ Der Schwierigkeit, tektonische und vulkanische Beben in gewissen Gebieten scharf auseinanderzuhalten, wurde bereits in einem früheren Abschnitte gedacht (siehe S. 278 und 279); wir müssen hier eingehender auf sie zurückkommen und thun dies wohl am

¹ E. SUËSS: Das Antlitz der Erde, I. S. 229.

besten, indem wir jenes Beispiel erörtern, an welchem auch SUESS das Nebeneinander-Auftreten tektonischer und vulkanischer Erdbeben erläutert, indem wir die Erdbeben des südlichen Italien betrachten.

In einer der Darstellung dieser seismischen Erscheinungen gewidmeten Abhandlung¹ erörtert SUESS zunächst den geologischen Bau Calabriens und des nahe gelegenen Theiles der Insel Sicilien und zeigt, dass die calabrischen Gebirge Bruchstücke eines Kettengebirges sind, welches durch Einbrüche grossentheils zerstört wurde. Das Tyrrhenische Meer erscheint als ein Senkungsfeld, welches von Bruchstücken dieses Kettengebirges umgürtet wird. SUESS zeigt, dass das peloritane Gebirge auf Sicilien, der Höhenzug des Aspromonte und die Masse der Scylla auf Calabrien zusammengehörige Bruchstücke eines einzigen Gebirges sind, von

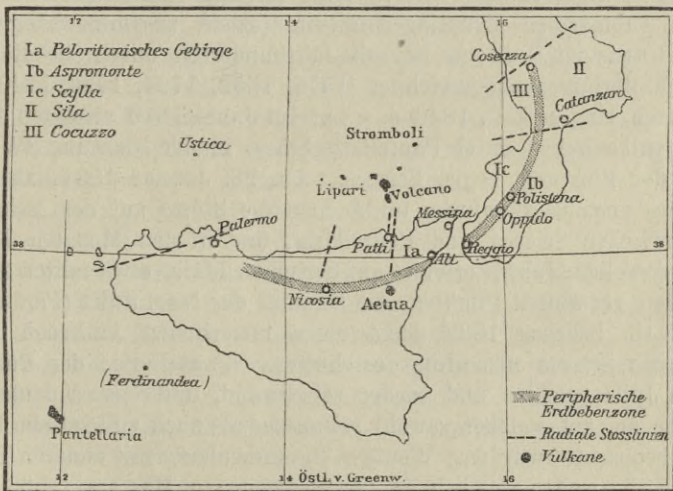


Fig. 46. Die Erdbebenzonen, Stosslinien und Vulkane des südlichen Italien.

welchem abgebrochene Reste in das Tyrrhenische Meer und zwar insbesondere in die beiden Meerbusen von Gioja und S. Eufemia hinabgesunken sind. Als weitere Bruchstücke erscheinen der langgestreckte Monte Cocuzzo und die Masse der Sila. „Vom Cap Calara in Sicilien bis gegen Scalea, westlich von Castrovillari, am Tyrrhenischen Meere einerseits, und vom Cap Alessio zur Mündung des Crati und Coscile andererseits, gehört alles Gebirge den Resten der älteren Gesteine eines grossen Kettengebirges an. Der Schichtenkopf einer östlichen Nebenzone ist, vielfach unterbrochen, bei Spezia, am Cap Argentario, bei Tolfa und weit im Süden bei S. Donato, südlich von Castrovillari sichtbar. Innerhalb der mehrfach von transgredirenden jüngeren Sedimenten bedeckten Mittelzone aber unterscheiden wir je nach dem Verlaufe der trennenden Schiefergürtel: zuerst einen zer-

¹ E. SUESS: Die Erdbeben des südlichen Italien, Denkschr. d. k. Akad. d. Wissensch., 34. Bd., Wien 1874.

brochenen Gebirgskern, welchem das peloritische Gebirge, die Felsen der Scylla und das vaticanische Bruchstück, der Aspromonte und die Terra S. Bruno angehören, dann die ganze Gebirgsmasse der Sila, endlich ein Bruchstück eines dritten Gebirgskernes, nämlich den Monte Cocuzzo. Das Jonische Meer aber und insbesondere das Tyrrhenische Meer erscheinen uns als Senkungsfelder. Gegen das Jonische Meer fällt dabei die Trennungslinie des versunkenen Gebirgstheiles von dem sichtbaren mit der Scheidung der Gebirgskerne zusammen, während gegen das Tyrrhenische Meer hin diese Linie als ein Bruch mitten durch die zunächst liegenden Gebirgskerne selbst läuft.“¹

Suess erörtert sodann die seismischen Erscheinungen Siciliens und zeigt, dass erstlich das südwestliche und südliche Sicilien häufig durch Erdbeben erschüttert wird, welche mit den vulkanischen Inseln und mit den submarinen Eruptionen dieser Gegend zusammenhängen: Die kleine Küstenstadt Sciacca ist seit Jahrhunderten durch die Häufigkeit der Erschütterungen ausgezeichnet (1578, 1652, 1724, 1726, 1740, 1816, 1831 durch längere Zeit, 1840 u. s. f.). Im Jahre 1816 erfolgten zugleich auf der vulkanischen Insel Pantellaria Stösse in der Richtung SW.—NO., also in der Richtung gegen Sciacca. Am 28. Januar 1831, als Sciacca neuerdings erschüttert wurde, fühlte man die Stösse auf dem Schiffe Britannia zwischen Sciacca und Pantellaria, und in den Monaten Juli und August desselben Jahres erfolgte auf derselben Linie, etwa mitten zwischen den beiden genannten Punkten, die Bildung der Insel Julia (Ferdinanda). Als am 16. Februar 1832 Julia einen neuerlichen Ausbruch begann, wurde auch Sciacca neuerdings erschüttert. Pantellaria, der Punkt, an welchem Julia erschien und wieder verschwand, und Sciacca deuten somit eine Linie an, auf welcher sowohl seismische als auch vulkanische Erscheinungen beobachtet wurden. Weniger Zusammenhang mit anderen Punkten verrathen die weiter westlich an der Südküste zu Mazzara (1536, 1841) vorgekommenen Erschütterungen. Für die östlich von Sciacca folgenden Theile der Südküste, insbesondere für die häufig betroffene Gegend von Girgenti, dann für S. Maria di Niscemi (bei Terranuova), wo am 18. März 1780 während sieben aufeinanderfolgenden Stössen ein drei Miglien langer Streifen der Küste versank, und zwar stellenweise zu einer Tiefe von 30 Fuss, liegt die Vermuthung sehr nahe, dass ein der verlorenen Insel Julia ähnlicher Ausgangspunkt der Stösse im Meere liege. Thatsächlich wurde in der Nacht vom 4. auf den 5. October 1846 im Meere südlich von Siculiana bei Girgenti eine submarine vulkanische Eruption beobachtet.“²

Im südöstlichen Sicilien finden Erschütterungen statt, deren Centrum gleichfalls im Meere zu suchen ist. „Aehnlich wie mit Girgenti und Terranuova scheint es sich mit den häufigen Erdbeben der Umgegend

¹ E. SUSS: Die Erdbeben des südlichen Italien, S. 12 des Separatabdruckes.

² E. SUSS a. a. O. S. 18.

des Val di Noto und auch mit jenen von Syrakus zu verhalten. Aus dem Val di Noto sind zum Theil sehr heftige Erschütterungen aus den Jahren 1693, 1727, 1818 u. a. bekannt, ohne dass ein Zusammenhang mit dem Aetna ersichtlich wäre. Ebenso verhält es sich mit den Erschütterungen von Modice, westlich von Noto, im Jahre 1825. Für dieses ganze Gebiet scheint das starke Erdbeben vom 28. März 1846 maassgebend zu sein, welches auch in Catania verspürt, aber nicht dem Aetna zugeschrieben wurde, welches dagegen heftig auf Malta und Gozzo auftrat und weit davon zu Lecce in Apulien, auf den Jonischen Inseln, auf Rhodos und bis Alexandrien sich bemerkbar machte.¹ Dieser Erschütterung, deren Centrum offenbar südöstlich von Sicilien im Meere lag, war aber am 18. Juni 1845 ein submariner Ausbruch in $36^{\circ} 40' 56''$ lat. und $13^{\circ} 44' 36''$ long. vorausgegangen, welchen die Bemannung des englischen Schiffes Victory sah. Die Beobachtungen von 1845 und 1846 geben aber zugleich Aufschluss über das höchst merkwürdige Erdbeben vom 20. Februar 1818, welches ebenfalls zugleich im östlichen Sicilien und auf Malta, jedoch auch auf dem calabrischen Festlande verspürt wurde. An diesem Tage langten nämlich bei ruhigem Aetna gewaltige Stöße aus dem Meere, und zwar in der Richtung von SO. gegen NW. an; Catania litt beträchtlich und sie pflanzten sich gegen Trecastagni, Masaluccia und Nicolosi gleichsam mitten in die Masse des Aetna hinein fort.“²

Suess zeigt ferner, dass in Palermo zweierlei Erdbeben eintreten und zwar erstlich Stöße aus NO., welche von den Liparen zu kommen scheinen, so am 5. März 1823, an welchem Tage Stromboli, Lipari und Salina sehr heftig erschüttert wurden, und gleichfalls sehr heftige Stöße in Palermo mit der Richtung von NO. gegen SW. eintrafen: „Bei Cefalu folgte ein Seebeben, die heissen Quellen von Termini wurden gestört. In der Nacht folgten weit im Osten, zu S. Lucia di Milazzo, heftige Erschütterungen aus der Richtung von Stromboli und Vulcano, begleitet von vier fürchterlichen Schlägen; zu Palermo wurde nichts davon verspürt. Am 7. und 8. trafen dagegen zu Palermo neuerdings Stöße aus demselben Centrum ein; am 26. desselben Monats erneuerten sie sich, und am 27. wurde sogar in der Fortsetzung der Liparischen Radiallinie über Palermo hinaus auf der Insel Favignana ein Theil der alten Festungswerke durch einen solchen Stoss ins Meer gestürzt. Vom 26. März bis Ende April erfolgten anhaltende Stöße zu Castel-Buono (S. von Cefalu), welche FERRARA, dem die ausführlichsten Beobachtungen über diese Gruppe von Erschütterungen zu verdanken sind³, ebenfalls den Liparen zuschreibt. Dieses Beispiel reicht hin, um zu zeigen, dass von den Liparen radiale Stöße gegen Sicilien ausgehen, welche in diesem Falle bald der Linie Palermo-

¹ Vergleiche über dieses Erdbeben das an anderer Stelle (S. 193) auf Grund der Angaben von J. SCHMIDT Gesagte.

² E. SUSS a. a. O. S. 14.

³ FERRARA: Mem. sopra i tremuot. della Sicilia in Marzo 1823, Palermo, — citirt in SUSS: Die Erdbeben des südlichen Italien, S. 14 des S. A.

Alcamo-Favignana gefolgt sind, bald gegen Milazzo gerichtet wurden, bald die mittlere Richtung gegen Cefalu-Castel-Buono nahmen. Die Richtung von den Liparen her ist jedoch nicht die einzige, welche zu Palermo beobachtet wird. Am 21. Juni 1827 traten daselbst rasch nacheinander vier starke oscillatorische Bewegungen mit der Richtung von Ost gegen West auf; am 29. Juni und 5. Juli folgten neue Erschütterungen, und am 10. August zwei schwache Stöße gegen West, während am 14. August lange wiederholte Stöße aus NO. eintrafen, also aus der Liparischen Gegend, wie jene von 1823. Ebenso kamen die Stöße vom 24. März 1835 aus NO., während jene vom 13. Juni 1843 von Ost gegen West liefen. Bemerkenswerth ist, dass am 9. und 10. November 1803 Stöße von Ost gegen West zugleich in Messina und Palermo verspürt wurden, und zwar bei ruhigem Aetna.“

Im peloritischen Gebirge werden häufig Stöße gefühlt, welche von den Liparen ausgehen: „Am häufigsten sind die Stöße von Vulcano etwas gegen SW., in die Richtung von Naso hin, eingetreten. So wurde z. B. am 25. August 1631, einen Tag nach einem grossen Ausbruche auf Vulcano, Naso von einem Erdbeben zerstört, und nachdem am 4. Mai 1739 während einer Eruption auf Vulcano starke Stöße in dieser unglücklichen Stadt angelangt waren, wurde sie am 18. desselben Monats während eines grässlichen Ausbruches auf Vulcano neuerdings sammt S. Mauro niedergeworfen, während sich bei Val Demone die Erde öffnete und schloss. Jeder Erschütterung auf Sicilien ging aber ein Geräusch voran, welches aus der Richtung von Vulcano kam. Die Erschütterungen der ganzen Bucht, welche Vulcano gegenüber liegt, und des der Insel zunächst liegenden Ortes Milazzo sind ausserordentlich häufig. So wurde am 9. März 1786 die Gegend von Patti, S. Pietro, dann Cap Tindaro bis Milazzo und bis Messina hin getroffen; am 13. Juli 1823 erbehte Val Demone, vom 19. bis 22. Jänner 1842 Patti. Am 10. Februar 1831 erzitterte das ganze nördliche Sicilien und schien das Centrum in Milazzo zu sein, am 28. desselben Monats wurde Milazzo durch neue Stöße arg beschädigt. Allerdings war um dieselbe Zeit der obere Krater des Aetna in einiger Thätigkeit, ein Zusammenhang desselben mit der Erderschütterung jedoch nicht nachweisbar.“¹

Stöße von den Liparen her pflanzen sich zuweilen bis zum Aetna fort, so erfolgte am 4. Mai 1781, als der Aetna, dessen Eruption am 28. Januar 1780 begonnen hatte, noch in Thätigkeit war, ein Stoss von Nord nach Süd, in der Richtung von Vulcano über Patti in den Berg hinein.

Der Aetna zeigt ganz andere Erscheinungen. „Abgesehen von den kleineren, wenn auch für die nächste Umgebung oft verheerenden subaetnäischen Stößen, welche als Begleiter der Eruptionen auftreten und auf den nächsten Umkreis beschränkt bleiben, geschieht es zuweilen, dass

¹ E. SUSS a. a. O. S. 15.

ein Ausbruch von stärkeren Erschütterungen begleitet ist, die sich dann mehr oder minder gleichmässig über die ganze Insel ausbreiten. So war es unter Anderem der Fall am 13. März 1780. Hierher dürfte z. B. auch das grosse Erdbeben vom Jahre 1537 zu rechnen sein, wo durch 12 Tage ganz Sicilien von Catania bis Trapani und von Palermo bis Sciacca und Agrigent erbebte, bis am 3. Mai sich am Abhange des Aetna grosse Schlünde öffneten und ein gewaltiger Ausbruch begann.“ SUESS erinnert dann an jene Radiallinien, auf welchen, wie bereits erwähnt, Stösse von aussen in den Berg hineingegangen sind, wie der Stoss aus SO. am 20. Februar 1818, welcher vielleicht von der im Jahre 1845 bekannt gewordenen submarinen Eruptionsstelle herkam, und jener vom Jahre 1781, welcher aus Nord, wahrscheinlich von Vulcano stammte. Er bespricht sodann jene Schütterzone, welche sich durch Sicilien von Messina bis Palermo hinzieht und, wie später gezeigt werden soll, mit der calabrischen Bebenzone zusammenhängt: „Nach aussen sind, neben den Erschütterungen nach Messina hin, jene in westlicher Richtung die auffallendsten, und schliesst sich hier an dieselben eine Kette von Punkten, welche der Sitz selbstständiger Erschütterungscentra zu sein scheinen. Diese Richtung tritt zunächst in der Häufigkeit der Stösse gegen Bronte hervor. In der weiteren Fortsetzung gegen West ist das Erdbeben von Troina und Nicosia vom April 1822 zu nennen. Am 5. April dieses Jahres hörte man unterirdische Detonationen in der Umgebung des Aetna, und begann ein Ausbruch, am 6. April erfolgte das Erdbeben, dessen Centrum Nicosia zu sein schien, und das sich einerseits bis Cesare unweit Bronte gegen Ost, anderseits bis Gangi und Gangliano gegen West erstreckte. Am 10. April wiederholten sich die Stösse in Nicosia und der Umgegend des Aetna. Unmittelbar gegen West schliesst sich das Gebiet der Erschütterungen im Madonien-Gebirge. In der Nacht vom 24. auf den 25. Februar 1818 erfolgte hier ein heftiger Stoss, dessen Centrum bei Petrolì und Polizzo zu sein schien; bei Geraci öffneten und schlossen sich Spalten; der zweite Stoss erfolgte bald darauf etwas nördlicher bei Castel-Buono, das, wie früher erwähnt wurde, auch im Jahre 1823 erschüttert wurde; die Stösse dauerten hier bis in den April 1819; den 27. August 1819 begann eine Eruption des Aetna. Auf dieser Linie mag sich wohl auch der grosse Ausbruch des Aetna vom 16. April 1817 in Palermo bemerkbar gemacht haben. Die Kette von Stosspunkten, welche vom Aetna über Bronte, Nicosia und die Madonien gegen Palermo läuft, kann möglicherweise in einem Zusammenhange mit den ostwestlichen oder westöstlichen Stössen stehen, welche in Palermo neben den liparischen Stössen bemerkbar wurden.“¹

SUESS unterscheidet demnach auf Sicilien sehr verschiedenartige seismische Erscheinungen. Er zeigt, dass die Insel von drei Regionen seismischer Erregung umgeben ist, welche zugleich vulkanische Eruptions-

¹ E. SUESS a. a. O. S. 16.

stellen sind und von welchen Stösse in radialer Richtung gegen die Insel erfolgen. Diese drei Regionen entsprechen so ziemlich den drei Seiten des Umrisses der Insel. Die erste derselben ist die Pantellarische, welche neben der vulkanischen Insel Pantellaria, der verschwundenen Insel Julia und der submarinen Ausbruchsstelle vom Jahre 1846 auch die entferntere, vier Kratere tragende Insel Linosa umfasst. Gegen Nord deuten wohl die Aegadischen Inseln die Grenze dieses Gebietes an, gegen Osten aber Malta und Gozzo. Es ist zu bemerken, dass Julia auf der alten Radiallinie Pantellaria-Sciaca hervorbrach. Die zweite Region ist die Jonische, deren gewaltige Erschütterungen Apulien, das südöstliche Sicilien und Malta erzittern machen und sich weithin in den Orient fortpflanzen. An vulkanischen Erscheinungen ist hier allerdings dermalen nur die submarine Eruption vom Jahre 1845 zu nennen. Die dritte Region ist die Liparische, welche in deutlichen Radialstössen bald Palermo, bald Naso oder Milazzo erschüttert. Sie trennt sich von der vorhergehenden durch die heraufragenden Fragmente der Masse des Aspromonte und des Peloritanschen Gebirges. Das Auftreten dieser drei Stosscentra und ihre Wirkung auf Sicilien ist so auffallend, dass sie der aufmerksame FERRARA schon im Jahre 1823 erkannte¹. Eine auffallend andere Rolle spielt der Aetna. Zunächst giebt es Stösse, welche von den Liparischen Inseln und aus der Jonischen Region gegen den Berg gerichtet sind. Sieht man ferner von den subaetnäischen Erschütterungen an seinem Fusse oder von den allgemeinen Bewegungen der Insel ab, welche von seinen grossen Eruptionen veranlasst werden, so zeigt sich nur eine einzige Linie, welche mit diesem Riesenberge in engerer Verbindung zu stehen scheint, nämlich die Linie Aetna-Bronte-Nicosia-Madonien-Palermo. Die Bedeutung dieser Linien aber wird klar, wenn man ihre Fortsetzung in Calabrien in's Auge fasst.

Die Untersuchung der seismischen Erscheinungen Calabriens ergiebt, wie SUESS nachgewiesen hat, eine sehr auffallende Uebereinstimmung mit der Structur des Bodens und der Lage der Vulkane. SUESS verweist zunächst auf den innigen Zusammenhang gewisser seismischer Phänomene auf Sicilien und Calabrien und nennt als Beispiel die wiederholten Erschütterungen Messina's am 3., 4. und 6. Januar 1846, an welchen Tagen nach übereinstimmenden Beobachtungen die Stösse nicht vom Aetna, noch von den Liparen, sondern aus Nordost, von der calabrischen Halbinsel, und zwar vom westlichen Gehänge des Aspromonte herüberkamen. Dieses Beispiel deutet auf eine Ausgangsstelle von Stössen hin, deren hohe Bedeutung SUESS mit folgenden Worten darlegt: „Entlang einer Linie, welche knapp am westlichen Fusse des Aspromonte in der Richtung SW.-NO. oder SSW.-NNO. hinläuft, welche zugleich die Grenze der älteren Formationen gegen die tertiären Ablagerungen der Westseite

¹ FERRARA: Mem. sopra i tremuoti etc. S. 32 u. folg. — citirt in E. SUESS: Die Erdbeben des südlichen Italien, S. 17.

bezeichnet, und welche nach den früher gegebenen Darstellungen mit der Abbruchslinie dieses Gebirgskernes zusammenfällt, wiederholen sich seit einigen Jahrhunderten Erdbeben der verheerendsten Art. Diese Linie trennt die Berge der Scylla und das Vaticanische Fragment von dem Reste der Masse des Aspromonte. Diese westlich vorliegenden Bruchstücke und die zwischenliegende Ebene sind der hauptsächlichste Schauplatz der Zerstörungen, während östlich von dieser Region auf dem Aspromonte selbst und seinem jonischen Abhange die Erschütterungen weitaus seltener und schwächer sind. Daneben bleibt aber zugleich ein radialer Einfluss der Liparen unverkennbar.¹

Die Wirksamkeit dieser, am Westrande des Aspromonte verlaufenden Stosslinie erörtert SUSS an dem grossen calabrischen Erdbeben von 1783, dessen furchtbare Wirkungen bereits wiederholt Erwähnung fanden (vergleiche insbesondere S. 71 und S. 92—95). Ehe wir diese grossartige, seismische Erscheinung in's Auge fassen, sei mit einigen Worten der vulkanischen Phänomene gedacht, deren Schauplatz kurz vorher Sicilien und die Liparen waren. Nachdem der Aetna durch 14 Jahre geruht hatte, begann unter gleichzeitigem Erbeben vieler Orte der Umgebung am 28. Januar 1780 ein Ausbruch des Berges. Am 13. März wurde bei erhöhter Thätigkeit desselben fast ganz Sicilien erschüttert; am 28. wurden die Stösse auch in Calabrien verspürt; am 8. und 9. April, bei neuerlicher Eruption, litt besonders Messina. Der Ausbruch dauerte fort, die Stösse in Messina und bis Calabrien hin wiederholten sich. Die heftigsten Stösse aber erfolgten, insbesondere am 18. Mai, zu Ali und Fiume di Niso an der Ostküste, etwa auf halbem Wege zwischen Taormina und Messina; diese waren so überaus plötzlich und heftig, dass man nach übereinstimmenden Nachrichten an dieser Stelle den Ausbruch eines neuen Vulkans erwartete; sie wurden ihrem Charakter nach der Explosion von Minen verglichen. Endlich, im Monate Juni, brach unter fürchterlichem Getöse auch Vulcano auf den Liparen los. Am 14. September wurde Patti erschüttert, am 13. Februar 1781 erneuerten sich die Stösse in Messina; am 4. Mai 1781, als der Aetna noch in Thätigkeit war, erfolgte in seiner Umgebung ein Stoss von Nord nach Süd, in der Richtung von Vulcano über Patti in den Berg hinein. Noch im selben Jahre erlosch die Thätigkeit des Aetna fast ganz und der Berg blieb bis zum Jahre 1787, also während der ganzen Zeit der nun zu beschreibenden Erschütterungen Calabriens in Ruhe.

Plötzlich, den 5. Februar 1783, um $\frac{1}{2}$ 1 Uhr Nachmittags, erfolgte ein grässlicher Schlag, dessen Centrum das Städtchen Oppido und das nahe gelegene S. Cristina, knapp am Bruchrande des Aspromonte, waren. Binnen zwei Minuten waren zahlreiche Ortschaften des westlichen Calabriens und des zunächst liegenden Theiles Siciliens und mit ihnen viele Tausende von Menschenleben zerstört. In einer meilenlangen tiefen Spalte

¹ E. SUSS a. a. O. S. 17.

lösten sich die jüngeren Meeresbildungen von den älteren Felsarten des Aspromonte ab, und es wurden wohl auch grössere Massen derselben in gleitender Bewegung thalabwärts fortgetragen. Bei Oppido, S. Cristina und bei Terranuova, an welch' letzterem Orte von 1600 Einwohnern nur 400 das Ereigniss überlebten, bildeten sich grosse Senkungen und Klüfte, wie z. B. jene Kluft, welche HAMILTON bei Terranuova sah, die $\frac{3}{4}$ Miglien breit und 500 Fuss tief war. Die Entsetzten erregenden Schilderungen der Folgen dieses Schlages finden wohl am besten Ausdruck in den Worten des gewissenhaften VIVENZIO, dass das Gebiet so verändert worden sei, dass die Einwohner selbst die frühere Oberfläche stellenweise nicht wiederzuerkennen vermochten. Von seinem Centrum breitete sich dieser Schlag gegen N., W. und S. aus, so dass der östlich liegende Aspromonte nur wenig erschüttert wurde. Mit der Entfernung minderte sich seine Gewalt. In Messina, wo in Folge der Zerklüftung des Bodens viele Häuser einstürzten, senkte sich der Quai einen Fuss tief unter das Meer. In Scilla stürzten Felsblöcke von dem Berge Bastia zur Stadt herab, später fiel südlich von der Stadt ein grosses Stück des Berges Montasina in's Meer. Unter solchen Gefahren flüchtete sich die Bevölkerung an den Strand. Da stürzte gegen Abend die Anhöhe Campalla in der Ausdehnung von $1\frac{1}{2}$ Quadratmiglien zum Meere herab, zwei grosse Wellen näherten sich dem Strande und fegten fast die ganze flüchtige Bevölkerung, über 1400 Menschen, hinweg. Am Torre di Faro, am Eingange in die Strasse von Messina, beobachtete man zur selben Zeit Folgendes. Zwei Drittheile des Thurmes waren Nachmittags zur Zeit des ersten Stosses eingestürzt. Um 7 Uhr Abends begann die Erde neuerdings zu erbeben; nach einer halben Stunde hörte man ein starkes Dröhnen aus Ost von ausserhalb der Strasse her; hierauf erhob sich langsam das Meer, zog sich vom Ufer zurück und stürzte sodann verheerend weit landeinwärts vor.

Am nächsten Tage, den 6. Februar, folgten noch immer heftige Stösse mit demselben Centrum; am dritten Tage, den 7. Februar, wiederholten sie sich, aber der Stosspunkt war längs der Bruchlinie des Aspromonte ein gutes Stück weit gegen NNO. vorgerückt und befand sich in der Gegend von Soriano, von Laureana bis Vallelonga. Den ganzen Monat hindurch wurde nun der Boden erschüttert, bis am 28. Februar ein neuer Hauptschlag eintraf. Der Ort, welcher jetzt als Centrum angesehen wurde, ist Polia, NNO. von Vallelonga; die Hauptwirkung war also abermals ein Stück weit längs derselben Linie hingewandert.

Nach längeren untergeordneten Bewegungen trat am 28. März der nächste Hauptschlag ein; dieser erfolgte in den Bergen, welche den Golf von S. Eufemia gegen Ost überragen, und zwar war das Centrum bei dem Orte Girifalco, welcher, wie sich später zeigen wird, oft der Schauplatz der Aeusserung liparischer Radialstösse gewesen ist. Wie in später zu erwähnenden Fällen, so pflanzte sich auch jetzt das Erdbeben von dieser einen Stelle auch gegen Borgia südlich von Catanzaro, hier also östlich über die Bruchlinie hinaus fort. Dieser Stoss wurde mit auffal-

lender Heftigkeit zu Messina gefühlt und vollendete dort die Zerstörungen des 5. Februar.

Mit dem Stosse zu Girifalco am 28. März war die seismische Kraft an dem nördlichen Ende der Bruchlinie des Aspromonte angelangt. In unregelmässigen Zeiträumen und gleichsam sprungweise sich äussernd, hatte sie sich doch an den Verlauf dieser Bruchlinie gehalten, denn die als Centra von Stössen genannten Punkte S. Cristina und Oppido-Laureana und Soriano-Polia-Girifalco liegen alle auf dieser Linie.

Der Boden wurde noch fortwährend dann und wann von kleineren Stössen erschüttert, bis am 5. Juni abermals eine heftige Erschütterung erfolgte. Ihr Centrum war jetzt zu Radicena, ebenfalls an der Bruchlinie, jedoch ganz nahe bei Oppido gelegen, sodass eine nahezu völlige Rückkehr zu dem Ausgangspunkte des 5. Februar eingetreten war. Volle Ruhe war aber auch jetzt noch nicht eingetreten und am 29. Juli traf im Norden noch ein verheerender Stoss die Stadt Catanzaro.¹

Suess zeigt dann an den ausführlichen Beobachtungen, welche der Arzt DOM. PIGNATARO zu Monteleone über das Auftreten und die Richtung der einzelnen Stösse gesammelt hat und welche als „Giornale Tremotico“ im zweiten Bande von VIVENZIO's Geschichte dieser Erdbeben verzeichnet sind, dass die während der ganzen Zeit in Monteleone anlangenden Stösse (abgesehen von den aus West kommenden liparischen, die sich zeitweise einstellten) zuerst aus Südsüdwest, dann aus Süd, dann aus Südost, dann Ost, endlich Nordost gekommen sind, entsprechend dem Vorrücken der Hauptschläge von Oppido in Südsüdwest gegen Laureana u. s. f. bis Girifalco im Nordosten. Es hat aber zwischen diesem Vorrücken ein wiederholtes Zurückspringen in die frühere Richtung stattgefunden, und ist dieses Vorrücken überhaupt langsamer vor sich gegangen, als das Vorrücken der Hauptschläge auf dieser Linie. „Vielleicht — meint Suess — findet diese Thatsache ihre Erklärung in dem von DOLOMIEU betonten Umstande, dass der Stoss vom 7. Februar nicht mit einer von dem Centrum Soriano aus gleichmässig abnehmenden Heftigkeit, sondern zugleich sehr heftig zu Messina bemerkt worden ist, und dass auch der Stoss vom 28. März zu Girifalco in Messina Verwüstungen angerichtet hat, welche weitaus grösser sind, als in vielen zwischenliegenden Orten. Wie dem auch sei, es muss jedenfalls zugegeben werden, dass die Linie S. Cristina-Oppido-Terranuova - Radicena - Laureana - Soriano - Polia - Girifalco eine Reihe von Punkten verbindet, welche den Sitz einer bemerkenswerthen seismischen Thätigkeit darstellen. Die verticalen Hauptschläge dieser Linie, welche, wie das Beispiel von Monteleone zeigt, sich über das Vorland fortpflanzen konnten, sind ihrem Wesen nach von der grossen Menge sicilischer Radialstösse verschieden, dafür aber ausserordentlich ähnlich den vorangegangenen Schlägen von Ali. Dieser Punkt dürfte denn auch als die sicilische Fortsetzung der genannten Linie aufzufassen sein. Diese Linie

¹ E. SUSS a. a. O. S. 18 u. 19.

ist zugleich die Bruchlinie der Masse des Aspromonte; sie trennt das vaticanische Bruchstück und die Berge von Scilla von der Hauptmasse, ebenso liegt das peloritische Fragment grösstentheils oder ganz auf der inneren, d. h. liparischen Seite dieser Linie. Auf dieser Scheidelinie liegen Thermen bei Sinopoli, Cinquefrondi und Galatro.“¹

Suess erörtert sodann die älteren Erdbeben im südlichen Calabrien und zeigt, dass in einigen Fällen die Einwirkung der Liparen sehr deutlich hervortritt. So war dies der Fall im Jahre 1626, als Girifalco und zugleich Catanzaro schwer betroffen wurden; am 22. Februar begannen die Stösse, im nächsten Monate, während sie noch andauerten, trat ein Ausbruch von Vulcano ein. Im Jahre 1638 war ein guter Beobachter, der Jesuit ATHAN. KIRCHER, Zeuge eines der grössten Phänomene dieser Art und er hat eine drastische Schilderung desselben hinterlassen. Zur See von Süden kommend, hatte er schon Erschütterungen verspürt, bevor er zu Pizzo ans Land stieg. Nicht lange darauf wurde durch einen vom Stromboli kommenden Stoss die ganze Stadt S. Eufemia zerstört. Wie unten zu erörtern sein wird, hat das Beben von 1638 aber seine grössten Wirkungen weiter in Nord und Nordost gehabt. Als Beispiele der radialen Wirkung der Liparen nennt Suess ferner noch die Erschütterungen von Nicastro (20. Juli 1609, 6. October 1821, 31. August 1826 u. a.), und erwähnt noch die heftigen Beben vom 6. November 1662 und vom 9. Januar 1693. Bei dem ersteren litt insbesondere Soriano, und wurde das festgebaute Dominikanerkloster daselbst niedergeworfen. Es ist dies, wie früher gezeigt wurde, einer der Hauptpunkte von 1783 gewesen. Bei den verheerenden Erschütterungen vom 9. Januar 1693, welche 49 Städte und grössere Ortschaften zerstörten, schienen die einzelnen Stösse aus der Richtung des Aetna zu kommen und pflanzten sich längs des Aspromonte von Südwest gegen Nordost fort; die Bedeutung dieser Richtung für Calabrien ergibt sich aus den Ereignissen von 1783.

Suess bemerkt sodann, dass die in der Gegend von Catanzaro häufigen Erschütterungen kaum auf einen selbstständigen Herd zurückzuführen sind, da einzelne Fälle auf Stösse hindeuten, welche aus dem Golfe von S. Eufemia über Girifalco und den Rand der Serra S. Bruno herkommen (1626, 1821 u. a.) und als Liparische angesehen werden mögen, während andere ihre Abstammung aus dem Schüttergebiet von Cosenza verrathen (15. November 1824, 10. Juli 1841). In dem letzteren sind zweierlei seismische Phänomene zu unterscheiden: „Das Thal des Crati zwischen den beiden Massen des Monte Cocuzzo und der Sila gehört zu den ausgezeichnetsten seismischen Gebieten Italiens. Insbesondere ist es die Umgebung der Stadt Cosenza, welche durch die Häufigkeit der Erschütterungen, die sich bis zum Jahre 1186 zurück verfolgen lassen, zu einer traurigen Berühmtheit gelangt ist. Die viel-

¹ E. SUSS a. a. O. S. 20.

fachen Beobachtungen, welche aus diesem Gebiete vorliegen¹, geben die Möglichkeit, an dieser Stelle zwei von einander verschiedene Arten von Erdbeben zu unterscheiden, nämlich solche, die liparischen Ursprunges sind, und solche, welche von selbstständigen, dem Thale des Crati angehörigen Stosspunkten ausgehen. Die liparischen Stösse sind seltener oder doch seltener nachweisbar. Ein grosses Beispiel ist das schon erwähnte Erdbeben des Jahres 1638. Wie der Stoss im Golf von S. Eufemia anlangte, hat KIRCHER beschrieben². Der Bericht von LUTIO D'ORSI³ sowie die demselben beigefügte Relation von HETTORE LATRO lehren aber, dass der Stoss vom 27. März 1638 die ganze Masse des Monte Cocuzzo erschütterte, Cosenza traf und noch im jenseitigen Thalgehänge verspürt wurde. Rogliano, südlich von Cosenza am Crati, wurde gänzlich zerstört, so dass nach diesen Berichten kaum eine Spur des Ortes zurückblieb; ganz zerstört wurde ferner Scigliano, Martirano, S. Eufemia und andere der Umgebung des Cocuzzo angehörige Ortschaften.

Mit diesem Erdbeben stimmt jenes vom 4. October 1870 überein⁴. Erst traf ein gewaltiger Rombo ein, dann der Schlag. Uralte Bäume schlugen ihre Wipfel gegeneinander und auf der Strasse sprangen die Steine einen Meter hoch in die Luft. Der Fluss Crati führte warmes, rauchendes Wasser, an zwei Punkten traten Schlammströme hervor. Die hauptsächlichste Zerstörung erfolgte zu S. Stefano, Mangone und Figline in der unmittelbarsten Nähe von Rogliano, welches im Jahre 1638 so sehr gelitten hatte. Dabei ging die Richtung des Stosses quer über die ganze Halbinsel von Amantea im Südwesten gegen Rossano im Nordosten, folglich in der liparischen Richtung. Den zweiten Typus der cosentini-schen Erdbeben zeigt z. B. jenes vom 12. Februar 1854. Der Hauptschlag war kurz, äusserst heftig, und es ist bemerkenswerth, dass von den Beobachtern die Aehnlichkeit mit den grossen Schlägen von 1783 hervorgehoben wird, also mit jenen der calabrischen Hauptlinie. Mit dieser Hindeutung stimmt auch der elliptisch von Nordwest gegen Südost ausgedehnte Bezirk der grössten Zerstörung, welcher von Rogliano bis Rende reichte. Rende und Donnici bei Cosenza werden als die Centra des Stosses bezeichnet. Sehr bemerkenswerth sind ferner für diese zweite Gruppe von Erdbeben die Angaben Rossi's über die Erscheinungen des Jahres 1835⁵. Auch in diesem Jahre litt die Umgegend von Cosenza grossen Schaden. Am 12. Oc-

¹ SUESS nennt als Hauptquelle GRECO's Buch: „Delle princip. opere intorno ai Calabri Tremuoti dal 1783 al 1854“, Cosenza 1856.

² Mundus subterraneus. S. 240.

³ L. D'ORSI: DESCRIZ. de' Tremuoti e delle Rouine della Calauria; Napoli 1639, — citirt in E. SUESS: Erdbeben des südlichen Italien, S. 21.

⁴ CONTI: Memor. e Statist. sui tremuoti s. Prov. di Cosenza nell' anno 1870, Cosenza 1871, citirt in E. SUESS a. a. O., sowie G. VOM RATH: Ueber d. Erdbeben von Cosenza, 4. Oct. 1870, Zeitschr. d. Deutschen geologischen Gesellschaft, 1871.

⁵ Annal. civil. 1846, XIX, S. 11, — citirt in E. SUESS: Die Erdbeben des südlichen Italien, S. 22.

tober traten drei heftige Schläge von unten nach aufwärts ein, mit starkem Rombo, dann folgten undulirende Bewegungen. Das Centrum lag zwischen Cosenza und Bisignano, fiel also wohl mit jenem vom 14. Juli 1767 zusammen. Nun dauerten die Stösse noch längere Zeit an und gingen bis 25. December 1835 in Cosenza von Nordwest gegen Südost; an diesem Tage änderten sie vollständig die Richtung und gingen nun von Südost gegen Nordwest. Eine solche Aenderung erklärt sich wohl am leichtesten aus einer Verlegung des Focus, wie sie an der calabrischen Hauptlinie bekannt ist. In der That erfolgte von diesem Tage an durch längere Zeit ein Schlag bald da, bald dort im Thale, und war dasselbe durch längere Zeit kaum einen ganzen Tag hindurch frei. Cosenza und Bisignano aber blieben die Hauptpunkte. Im Jahre 1832 gingen die Stösse zu Cosenza von Südost gegen Nordwest, gehörten also der zweiten Gruppe an; in dem oft erwähnten Jahre 1783 trafen hier Stösse mit der Richtung Südwest-Nordost ein, welche daher in die erste Gruppe zu stellen sind.“

Suess vergleicht die cosentinischen Stösse mit jenen der südlichen Gegenden. Es ergibt sich hiebei sofort die völlige Uebereinstimmung der liparischen Stösse, die Analogie der Erschütterungen auf der Linie Amantea-Rogliano-Rossano und jener, welche von Vulcano her auf Naso oder anderen Stellen der sicilischen Küste eintreffen. Dabei bleibt bemerkbar, dass diese Radialstösse hier auf bestimmten Linien sich quer durch die beiden grossen Massen des Cocuzzo und der Sila fortpflanzen können, wobei sich an jener Stelle, an welcher das tiefe trennende Thal des Crati von der Radiallinie geschnitten wird, zugleich die grösste Zerstörung zeigt. Rogliano liegt genau an jenem Punkte, an welchem die Linie Amantea-Rossano den Crati kreuzt. Diese Stösse laufen nur aus Südwest gegen Nordost, nicht auch in entgegengesetzter Richtung. Die zweite Gruppe der cosentinischen Stösse nähert sich ebenso sehr jenen von Oppido, Laureana u. s. f. an der calabrischen Hauptlinie. Hier sind es selbstständige Foci, an denen die verticalen Schläge erfolgen, und die fortgepflanzten Stösse stehen ihrer Richtung nach ziemlich senkrecht auf den Radialstössen, können aber, wie an der calabrischen Hauptlinie, an demselben Orte bald mit der Richtung Nordwest-Südost, bald mit jener von Südost gegen Nordwest eintreffen.

Indem wir darauf verzichten, auf die von Suess weiters erörterten, vergleichsweise minder wichtigen Beben der Ostseite Calabriens einzugehen und ebenso davon absehen, jene durch häufige Erderschütterungen gekennzeichnete seismische Zone zu betrachten, welche bei Orsomarso und Papsidero westlich von Castrovillari beginnt und in fast rein von Süd nach Nord laufender Richtung bis zum Monte Vultur sich verfolgen lässt, wollen wir die Hauptresultate in's Auge fassen, die sich aus den Suess'schen Untersuchungen über die Erdbeben Siciliens und Calabriens ergeben. Sie bestehen im Wesentlichen in der Unterscheidung von dreierlei Erderschütterungen, welche Suess folgendermaassen kennzeichnet:

a) solche, die ihr Centrum in einem Vulkane haben, hauptsächlich

den Fuss des Berges erschüttern, in der Regel einer Eruption vorangehen oder dieselbe begleiten, zuweilen auch bei besonderer Heftigkeit sich in undulirenden Bewegungen über eine grosse Fläche fortpflanzen; diese mögen Eruptivstösse heissen

b) solche, welche zwar auch in einem Vulkane ihren Ursprung haben, von diesem aber nach bestimmten Linien wie einzelne Strahlen ausgesendet werden; sie sind hier Radialstösse genannt worden

c) solche, welche ihr Centrum nicht in einem Vulkane haben, wenn auch eine gewisse Wechselwirkung zwischen ihrem Auftreten und nahen Vulkanen angedeutet ist.

Die Natur dieser Erschütterungen beleuchtet SUËSS in jener Abhandlung, der die vorstehenden Schilderungen entnommen wurden, mit folgenden Worten:

„Die Eruptivstösse bilden einen wesentlichen Theil des Vorganges, welcher bei den Explosionen der Vulkane beobachtet wird, und werden in dem Maasse schwächer, als durch die Eruption von Dampf, Laven und Asche die innere Spannung vermindert wird.

„Die Radialstösse erscheinen wiederholt auf bestimmten Linien, und vom selben Centrum aus kann die Erschütterung binnen ganz kurzer Zeit von einer dieser Linien auf die andere übertragen werden und dann wieder zur ersten zurückkehren, wodurch von einander entfernte Punkte, wie z. B. die Gegend von Palermo und jene von Naso, abwechselnd getroffen werden können. Auf solchen Radiallinien können unter Umständen Vulkane hervorbrechen (Julia); als im Jahre 1870 ein Radialstoss der Liparen die calabrische Halbinsel, und zwar die beiden Hauptrücken des Cocuzzo und der Sila kreuzte, äusserte er sich am heftigsten in dem zwischen diese beiden Gebirgsmassen eingeschnittenen Thale (Gegend von Rogliano). Ein ausgebildetes System von solchen Radiallinien besitzen die Liparen und reicht dasselbe nach der einen Richtung bis über Palermo an die Aegadischen Inseln, nach der anderen bis über Amantea nach Rossano. Die zwischenliegende Küste des Tyrrhenischen Meeres wird oft von Radialstössen getroffen, vorzugsweise am Nordrande des peloritischen Fragmentes und im Golfe von S. Eufemia bis Girifalco und Catanzaro hinein. Ein zweites System von solchen Linien geht von der Pantellarischen Gruppe und den zugehörigen submarinen Ausbruchstellen aus, wahrscheinlich ebenso ein drittes vom Jonischen Meere, ein viertes ist vielleicht im Golf von Tarent zu suchen. Alle diese Centra liegen im Meere und scheinen mehr Gruppen von Vulkanen, als Einzelvulkane, wenn es in diesem Falle gestattet ist, von dem Bekannten auf das Unbekannte zu schliessen, zu sein. Der riesige sichtbare Einzelvulkan, dessen Scheitel weithin dieses Gebiet beherrscht, der Aetna, scheint ein solches System von Radiallinien nicht zu besitzen. Es sind im Gegentheile Radialstösse bekannt, welche in den Aetna hinein gerichtet waren.

„Die Erdbeben der dritten Ordnung zeigen eine höchst auffallende Vertheilung. Bezeichnet man von Norden her auf einer Karte die Stoss-

punkte Luzzi (zwischen Bisignano und Cosenza), Cosenza, Donnici, S. Stefano (bei Rogliano), dann Girifalco, dann Pezzoni-Soriano, Terranova, Oppido, S. Cristina, dann jenseits des Meeres Ali, so erhält man ein weites Kreissegment, dessen Centrum die Liparen sind. Längs des Crati fällt diese Linie mit der Trennung der Massen des Cocuzzo und der Sila zusammen; südlich davon entspricht sie der Bruchlinie des Aspromonte. Bei Ali zieht sie südlich vom peloritanischen Fragmente hin, sodass Mte. Cocuzzo und die Fragmente des vaticanischen Vorgebirges und der Scilla, und wohl auch das ganze peloritanische Bruchstück innerhalb, die ganze Masse der Sila und die Hauptmasse des Aspromonte aber ausserhalb dieser Linie liegen. Es scheint aber ferner diese Linie ihre Fortsetzung in jener einzigen fortlaufenden Richtung zu finden, welche in Sicilien vom Aetna ausgeht, nämlich in der Richtung Ali-Aetna-Bronte-Nicosia-Madonien, so dass mehr als ein halber Kreis um die Liparen gezogen wäre. Die Stösse auf dieser Linie mögen wohl passend als peripherische Stösse bezeichnet werden; sie unterscheiden sich von den radialen Stössen auch dadurch, dass sie auf der peripherischen Linie hin und her rücken, und so binnen kurzer Zeit an demselben Punkte aus verschiedenen Richtungen anlangen können. Der Aetna aber scheint demnach nur die Stelle eines solchen peripherischen Stosspunktes einzunehmen, sowie Julia auf einer Radiallinie steht.“¹

In seinem grossen Werke: „Das Antlitz der Erde“ ist SUESS neuerdings auf die Erdbeben des südlichen Italien zurückgekommen. Die dortigen Ausführungen haben für uns besonderes Interesse, weil sie erstlich die 1874 von SUESS gegebenen Ausführungen wesentlich erweitern, und weil sie sodann recht klar die Schwierigkeit erkennen lassen, in einem derartigen Gebiete scharf zwischen tektonischen und vulkanischen Beben zu unterscheiden. „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 Unterschiede 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 secundäre Erscheinung.“²

SUESS verweist dann, um den Charakter der Vorgänge auf einer solchen Radiallinie zu kennzeichnen, auf jene Linie, welche von Vulcano in den Aetna, nach Paternó und Mineo, also etwa von Nordnordost gegen Südsüdwest durch den Aetna läuft. Wie oben bereits erwähnt wurde, fand am 4. Mai 1781, als der Aetna, dessen Eruption schon 1780 begonnen hatte, noch in Thätigkeit war, ein Stoss von Nord nach Süd, von

¹ E. SUESS: Die Erdbeben des südlichen Italien, S. 23 und 24.

² E. SUESS: Das Antlitz der Erde, I. S. 230.

Vulcano über Patti gegen den Aetna statt. „Diese selbe Linie — sagt SUESS — ist seit dem Jahre 1873 in Thätigkeit.“ Ueber die Vorgänge auf Vulcano besitzen wir Berichte von MERCALLI und PICONE; jene auf dem Aetna und in Sicilien sind auf das Eingehendste von OR. SILVESTRI untersucht worden. Seit dem Jahre 1780 war Vulcano in Ruhe geblieben, bis er im Monate Juli 1873 begann, mehr und mehr Dampf auszustossen. Am 7. September stieg eine hohe Rauchsäule empor und nun folgten bis zum 20. October rhythmische, strombolische Ausbrüche und bildeten sich vier grosse Oeffnungen im nördlichen Theile des Kraters. Etwa bis zur Mitte des folgenden Jahres 1874 blieb Vulcano in mässiger Thätigkeit.

Am 29. August 1874 brach der Aetna los. Der Gipfel des Berges war vom Cratere elliptico gegen Nordnordost auf eine Länge von 5 km gespalten. Eine mächtige Rauchsäule trat hervor; Asche und Schlacken wurden ausgeworfen; durch sieben Stunden vernahm man, wie SILVESTRI sagt, das eigenthümliche Gebrüll, welches sich beim Emporquellen der Lava vernehmen lässt. Da begannen ganz unerwarteter Weise die Anzeichen des nahenden Ausbruches abzunehmen, und am folgenden Tage, den 30. August, schien dieser Paroxysmus beendet. Nun folgten durch längere Zeit heftige Erderschütterungen an dem nördlichen Fusse des Berges.

Wir gelangen zu einer nächsten Phase. Diese begann am 4. October 1878 mit einem heftigen Erdbeben zu Mineo, am südlichsten Ende der Radiallinie. Weitere Stösse folgten; in den ersten Tagen des Monats December traten an den Schlammvulkanen zu Paternò, welches in gerader Linie zwischen Mineo und dem Gipfel des Aetna liegt, Ausbrüche von Gas und Schlamm auf, welche lange andauerten. Vulcano, der seit 1873 nicht ganz zur Ruhe gekommen war, steigerte vom 6. Januar 1879 an seine Thätigkeit. Am 26. Mai wurden wiederholte Erdstösse am südlichen Fusse des Aetna verspürt und gegen Abend sah man auf der Höhe des Berges sowohl von SSW. als von NNO. schwarze Rauchsäulen aufsteigen, während sich aus dem Hauptkrater weisser Dampf erhob. Die ganze Hochregion des Berges hatte sich in der Richtung der Radiallinie von SSW. gegen NNO., mit leichter S-förmiger Krümmung die Spalte von 1874 wieder eröffnend, auf 10 km Länge mitten durch den Hauptkrater gespalten. SILVESTRI hat die Einzelheiten des Ausbruches mit bewundernswerthem Muth und Scharfsinn verfolgt.

Am 6. bis 7. Juni konnte dieser Ausbruch als beendet angesehen werden; daneben, ganz ausserhalb des Gebietes dieser Vorgänge, tief unten an dem östlichen Fusse des Berges, in der Nähe der Vorlagen des Val del Bove gegen das Meer, hatte sich am 1. Juni ein leichter Erdstoss eingestellt. Während die Eruption zu Ende war, hielten hier die Erdstösse an, bis am 17. Juni eine äusserst heftige sussultorische Erschütterung diese scheinbar abseits liegende Gegend traf. Personen auf freiem Felde erhielten die Empfindung, als hätten sie einen Sprung gethan. Mehrere Ortschaften wurden erheblich beschädigt. Die etwa 7 km lange grössere Achse des Schüttergebietes war aus OSO. gegen den Gipfel des Aetna gerichtet.

Es steigerten sich die Ausbrüche zu Paternó, am 13. December 1879 war wieder heftiges Erdbeben im Süden bei Mineo.

Schon damals konnte SILVESTRI aus diesen Vorkommnissen entnehmen, dass in der Tiefe des Erdkörpers eine Spalte vorhanden sein müsse, welche den Aetna von NNO. gegen SSW. durchsetzt, und dass der nördlichste vorgeschobene Nebenkrater des Aetna, bei dem Dorfe Mojo, dann der Hauptkrater, die Schlammausbrüche bei Paternó und Mineo dem Verlaufe dieser Spalte entsprechen. Seither ist eine weitere Bestätigung eingetreten, indem am 22. März 1883, südlicher und tiefer als bisher, doch abermals von SSW. gegen NNO., unter M. Concilio der Berg auf 5 km Länge barst; doch ist auch dieses Mal die Menge herausgetretener Lava nur eine sehr mässige gewesen. Die Thätigkeit und Lage von Vulcano aber lassen diese Spalte als eine Fortsetzung der südlichen Radiallinie der Liparen erkennen. —

Diese Einzelheiten lassen nun die grosse Verschiedenheit zwischen einem aus tangentialer Spannung hervorgegangenen Dislocationsbeben, wie etwa einem nordalpinen Blattbeben, und den Vorgängen auf der Radialkluft eines Senkungsfeldes ersehen.

Bei den neueren Ausbrüchen des Vesuv konnte man stets einen längeren oder kürzeren Zeitraum der Vorbereitung erkennen. SILVESTRI betont ausdrücklich, dass am Aetna den letzten grossen Ausbrüchen stets eine längere oder kürzere strombolische, d. i. rhythmische Thätigkeit als Einleitung vorausgegangen war. Dies deutet an, dass es sich hier nicht um Bewegung grosser Erdschollen gegeneinander handelt, sondern um die allmähliche und zeitweise Wiedereröffnung verschlackter Kanäle, welche auf den Bruchspalten vorhanden sind.“¹

Diese Erklärung vermag jedoch nur bezüglich eines Theiles der auf den liparischen Radiallinien stattfindenden Erschütterungen zu befriedigen. Sie zeigt strenge genommen nur, dass auf einzelnen solchen Linien echt vulkanische Beben stattfinden, wenn eben eine Bruchspalte so sehr erweitert wurde, dass sie ein Heraufdringen des Magma gestattete. Für die Bildung einer solchen Communication mögen dort, wo eine peripherische Schütterzone, welche jedenfalls mit einem die Senkung umschreibenden Bruchsysteme zusammenhängt, von einem radialen Sprunge gekreuzt wird, — und allem Anscheine nach ist dies beim Aetna der Fall — alle Vorbedingungen erfüllt sein. Keineswegs dürfen deshalb aber alle Radialbeben, welche im Bereiche der tyrrhenischen Senke auftreten, als echt vulkanische bezeichnet werden; sie mögen vielmehr grossentheils ebenso wie die peripherischen Erschütterungen auf Dislocationsvorgänge zurückzuführen sein. Das dürfte zumal für die calabrischen Radiallinien gelten, und es dürfte z. B. die Linie Amantea-Cosenza-Rossano eher als ein tektonischer Querbruch aufzufassen sein, denn als ein durch die vulkanische Thätigkeit der Liparen aufgerissener Sprung. In diesem Sinne hat

¹ E. SUSS: Das Antlitz der Erde, S. 231—233.

sich der Verfasser schon 1878 in seinen „Erdbebenstudien“ geäußert¹ und den Versuch gemacht, auch am Südrande der Alpen, wo vulkanische Erscheinungen fehlen und die in Unteritalien so schwierige Trennung tektonischer und vulkanischer Erdbeben in Wegfall kommt, eine die adriatische Senkung umgebende peripherische Schütterzone und dieselbe kreuzende, also in gewissem Sinne radiale Stosslinien nachzuweisen. Dabei wurde als Beispiel für diese das Beben von Belluno 1873, als Beispiel für jene das Erdbeben von Klana 1870 erörtert.

Für das Erdbeben von Belluno vom 29. Juni 1873 wurde dabei hauptsächlich die Monographie desselben benützt, die A. BITTNER² veröffentlichte. Wir entnehmen derselben zunächst, dass sich drei Districte unterscheiden lassen, die vom Erdbeben besonders hart betroffen wurden, nämlich erstens die Orte im Piavethal von jener Stelle an, wo der Fluss durch das Thor zwischen dem Monte Dolada und Monte Serva aus der engen Felsschlucht tritt, die seinen Oberlauf bildet, bis in die Umgebung von Belluno; zweitens die Ortschaften im Becken von Alpagò, östlich von Belluno und endlich drittens die Umgebung von Ceneda im Süden. Die Intensität der Erschütterung war in diesem kleinen, so eigenthümlich umgrenzten Gebiet eine sehr bedeutende und kann, wie BITTNER bemerkt, jener der grössten Erdbeben an die Seite gestellt werden. Belluno selbst und seine nächste Umgebung wurden vom Erdbeben hart mitgenommen. Die eigentliche Stadt, auf einer ziemlich hohen, aus präglacialem, geschichteten Diluvialschotter bestehenden Terrasse, auf drei Seiten vom Piave und Torrente Ardo umflossen, hat bedeutend mehr gelitten, als ihre Sobborghi, welche auf den modernen Alluvionen der genannten Gewässer liegen. In der eigentlichen Stadt sind von 508 Häusern 8 zerstört, 110 derartig beschädigt worden, dass sie zum Niederreißen bestimmt werden mussten, weitere 139 haben starken Schaden erlitten, waren indessen noch wiederherzustellen, und alle übrigen hatten leichtere Beschädigungen davongetragen. Bei weitem günstiger gestalteten sich die Verhältnisse in den Sobborghi, von deren 242 Häusern nur zwei zum Niederreißen bestimmt wurden, während sich unter den übrigen noch 21 stärker beschädigte finden. Es ist dies ein Beispiel der stärkeren Wirkung der Erschütterung in unmittelbar benachbarter, aber ungünstiger Lage. Ob die stärkere Einwirkung in der Stadt selbst durch deren höhere Lage oder durch den weniger elastischen Untergrund bewirkt wurde, wollen wir dahingestellt sein lassen, da sich kaum eine sichere Erklärung hiefür ergeben dürfte. BITTNER leitet aus den mannigfachen Zerstörungen grösserer und kleinerer Bauten in der Stadt eine Stossrichtung von NO. nach SW. ab, obwohl er erwähnt, dass einzelne Beschädigungen in der Stadt durchaus nicht mit einem von NO. wirkenden Stosse in Einklang zu bringen sind.

¹ R. HOERNES: Erdbebenstudien, Jahrbuch der k. k. geolog. R. Anst. Wien 1878.

² A. BITTNER: Beiträge zur Kenntniss des Erdbebens von Belluno vom 29. Juni 1873. Sitzungsber. der k. Akad. d. Wiss. Wien, 69. Bd., 1874.

Er erinnert diesbezüglich daran, dass abgesehen davon, dass Brechungen und Ablenkungen der Kraft zu den sehr wahrscheinlichen Dingen gehören, es ja auch gewiss möglich sei, besonders unter der Voraussetzung, dass der Sitz des Erdbebens eine Spalte ist, dass thatsächlich Stösse von verschiedenen Punkten derselben ausgegangen seien und sich in mannigfachen Richtungen durchkreuzt haben mögen. Er beurtheilt auch aus der Lage der Risse und Spalten an den Gebäuden den Emergenzwinkel, unter welchem die Stossrichtung die Erdoberfläche schneidet, und findet, dass bei der Mehrzahl der zu beobachtenden ziemlich steilen Risse und Spalten dieser Winkel als ein nicht sehr bedeutender anzunehmen ist, woraus sich bei der Erwägung, dass Belluno dem Erdbebencentrum unzweifelhaft sehr nahe liegt, die weitere Folgerung ergibt, es müsse dieses Erdbebencentrum in nur geringer Tiefe seinen Sitz haben. Genau denselben Schluss zieht aber G. VOM RATH aus der Vergleichung des äusserst eng umgrenzten Zerstörungsgebietes mit der ungemein grossen Erschütterungsfläche dieses Erdbebens.¹

In den in der Umgebung Belluno's gelegenen Ortschaften war die Zerstörung theilweise sehr bedeutend, namentlich in Visome, doch war es schwierig, sichere Schlüsse über Stossrichtung u. s. w. abzuleiten. Immerhin liess sich für Visome gleichfalls die Nordost-Richtung des Stosses feststellen.

Capo di Ponte (Ponte nell' Alpi) und das nahe gelegene Polpet sind nach BITTNER nicht besonders stark betroffen worden; — besonders auffallend aber ist es, dass die Orte, welche auf dem flachen Höhenrücken liegen, der die Mulde von Belluno und das Thal von Alpago trennt, fast gar nicht beschädigt wurden. BITTNER sagt hierüber: „Eine Viertelstunde von Capo di Ponte entfernt, da wo der Fluss Rai in den Piave mündet, liegt Cadola, eine ganz unbedeutende Häusergruppe, die aber eine schöne, neugebaute Kirche, die Hauptpfarrkirche der zur Gemeinde Capo di Ponte zuständigen Ortschaften und einen imposanten Campanile besitzt. Der Untergrund ist hier festes Gestein, wohl der eocänen Thalausfüllung angehörend, der letzte Ausläufer des Nummulitenkalkrückens, der von den hohen Kreidebergen des Monte Faverghera und Monte Pascolet im Westen des Sees von Santa Croce gegen Norden ziehend, sich als trennender Wall zwischen das Gebiet von Belluno und das Thal von Alpago legt. Es ist, wenn auch nicht unerklärlich, so doch gewiss höchst überraschend, dass die sämmtlichen, auf diesem flachen, Col di Pera genannten Rücken liegenden Ortschaften, man kann wohl sagen, gar nichts gelitten haben. Das gilt für Quantin, Sossai, Roncan, Lastreghe, Cugnan, Vich und auch noch für das auf der äussersten Spitze dieses Rückens gelegene Cadola. Die Bewohner sind hier auch ziemlich sorglos im Gefühle ihrer Sicherheit, wie ich mich bei Gelegenheit des sehr starken Stosses vom 8. August

¹ G. VOM RATH: Das Erdbeben von Belluno am 29. Juni 1873. Neues Jahrbuch für Mineralogie etc., 1873, S. 70.

selbst zu überzeugen Gelegenheit hatte, da ich mich damals gerade in Cadola befand. Die Bewohner stürzten zwar, sobald die Bewegung erfolgte, in grösster Eile, aber mit lachenden Gesichtern ins Freie, während im schärfsten Gegensatze hierzu in dem höchstens eine Viertelstunde entfernten Soccher von Neuem eine so furchtbare Bestürzung platzgegriffen hatte, dass man sich eines höchst unheimlichen Gefühles nicht erwehren konnte.“ Wir werden unten auf die Ursache zurückkommen, welche der auffallenden Erscheinung zu Grunde liegt, dass die Ortschaften auf dem Col di Pera, der fast gänzlich aus den rothen Mergeln der obersten Kreide (Scaglia) besteht, vom Erdbeben fast gar nicht betroffen wurden, während die Orte zu beiden Seiten theilweise der Zerstörung anheimfielen.

Das Terrain westlich vom Col di Pera wird eingenommen von dem Zerstörungsgebiet der Umgebung Belluno's, jenes östlich von dem genannten Höhenzug von dem hart betroffenen Alpagò-Becken. Die Zerstörungen in dem Letzteren waren sehr gross und allgemein, doch haben einzelne einander nahe gelegene Ortschaften, ja selbst Theile eines und desselben Ortes in sehr verschiedenem Grade gelitten. „Soccher — sagt *BITTNER* — bildet das Anfangsglied einer Reihe aufs schrecklichste verwüsteter Ortschaften, die in dem Alpagò-Thale grösstentheils an den Abhängen der hohen Randgebirge, zum geringeren Theile am flachen Seeufer liegen. Dies gilt besonders für Arsiè mit Raveane, Pieve d'Alpagò mit Torres, Plois und Curago, Puos, Condanzan, Borsoi mit Lavina und Farra. Unter diesen sind wieder Arsiè, Torres, Plois und Curago, ferner Puos und Condanzan wirklich nur noch Trümmerhaufen.“ In der Umgebung von Pieve d'Alpagò, dem Vororte der fünf Gemeinden dieses Thales, haben Sitran, Tignes, Villa, Torch, Garna verhältnissmässig sehr wenig, Pieve selbst, Torres, Plois und Curago, die höher am Fusse des Gebirges liegen, ungemein stark gelitten. Torres zählt zu den auf das allerschrecklichste heimgesuchten Plätzen; *BITTNER* berichtet: „Zur Zeit meiner Anwesenheit war Torres von den Einwohnern verlassen und nur einige Soldaten beschäftigten sich damit, die noch stehen gebliebenen Trümmer vollends niederzureissen.“ In dem Theile des Alpagò-Thales, welches von dem Gebiete der Gemeinde Chiès eingenommen wird, sind die Zerstörungen bei Weitem nicht so arg, als in Pieve und Torres, aber grösser als zu Garna, Sitran und Tignes. In Chiès selbst tritt wieder einmal die Ungleichheit in der Wirkung des Erdbebens recht auffallend hervor, indem der nördliche Theil des Dorfes ziemlich stark, der südliche fast gar nicht gelitten hat. Bei Chiès haben auch ziemlich bedeutende Erdabstürzungen stattgefunden. Lamosano, nördlich von Chiès gelegen, hat etwa in gleichem Grade gelitten, wie der ihm zunächst liegende Theil jenes Ortes. Condanzan, am Wege von Lamosano nach Tambre, besteht nur aus wenigen Häusern, welche zum grössten Theile niedergeworfen wurden. Borsoi erscheint ebenfalls hart mitgenommen, während in Tambre keine grössere Beschädigung vorgekommen ist. In dem benachbarten Valdinogher sind dieselben sehr beträchtlich, und in Farra befindet man sich wieder in einer

Region der grössten Zerstörung. Zahlreiche Häuser sind hier sogleich niedergeworfen worden, noch zahlreichere mussten in Folge der erlittenen Beschädigungen demolirt werden. In Puos kann die Zerstörung, wie BITTNER berichtet, riesengross genannt werden: „Die Campanile ist total zusammengestürzt, die Kirche selbst hat die unmerklich gegen W. abweichende S-Wand nebst Theilen der beiden angrenzenden Mauern verloren“ u. s. w. Von Puos gegen SW. an der Strasse, die die Hauptverkehrsader des Alpagogebietes ist und welche bei La Secca in die Belluneser Strasse mündet, liegt die unbedeutende Häusergruppe Bastia, die sich ganz ähnlich zu Puos verhält, wie etwa Cadola zu dem gegenüberliegenden Soccher, d. h. soviel wie gar nicht gelitten hat; auch die Häusergruppe La Secca ist ganz verschont geblieben. Man steht hier wieder am Fusse des Bergrückens von Quantin-Cadola, der bei diesem Erdbeben in ganz vorzüglicher Weise die Rolle einer „Brücke“ gespielt zu haben scheint. Erst gegen den See von Santa Croce tritt man wieder in die Region der Zerstörung ein. An längeren Strecken wurden hier die Deckplatten der Mauer herabgeworfen, welche die Strasse gegen das Seeufer abgrenzt, auch haben hier gewaltige Felsabstürze von den Gehängen des Monte Pascolet herab stattgefunden. Santa Croce hat viel weniger gelitten, als man seiner Lage nach erwarten sollte, bei Weitem grösser, ja sogar sehr bedeutend aber ist die Zerstörung in Fadalto, obwohl dessen Entfernung von Santa Croce kaum mehr als eine Viertelstunde beträgt. Auch in Cima nove finden sich noch Beschädigungen, von da hinab aber nach Serravalle verschwinden dieselben gänzlich und wir haben es somit abermals mit einer jener merkwürdigen Unterbrechungen der Erdbebenwirkungen zu thun, an denen dieses Erschütterungsgebiet so reich ist. Zu San Floriano bemerkt man kaum hie und da einen ganz unbedeutenden Sprung, und genau dasselbe gilt für Serravalle; — sowie man sich aber aus Serravalle heraustretend gegen Ceneda wendet, zeigen sich abermals Spuren der zerstörenden Kraft. In Ceneda selbst finden sich Beschädigungen, und sehr gewaltig sind dieselben südwestlich von diesem Orte, wo in dem unbedeutenden Dorfe San Pietro di Feletto das Erdbeben die grösste Anzahl von Menschenleben gefordert hat, indem aus den Trümmern der zusammengestürzten Kirche allein 36 Tode hervorgezogen wurden. „Man hat diesen Einsturz vielleicht nicht ohne Grund der Bauälligkeit dieser Kirche zugeschrieben. Wenn man jedoch bemerkt, dass auch die wenigen Häuser, die man auf den vielverschlungenen Wegen der Umgebung zu Gesichte bekommt, ebenfalls nicht unerhebliche Beschädigungen an sich tragen, so dürfte auch die entgegengesetzte Vermuthung, die nämlich, dass hier das Erdbeben mit noch sehr ursprünglicher Kraft gewüthet habe, nicht so ganz zurückzuweisen sein, insbesondere da dafür noch andere Gründe sprechen.“ Weiter gegen Conegliano hinab verlieren sich alle Spuren der Erschütterung und auch in dieser Stadt selbst ist ausser einer Beschädigung des Thurmes alles glücklich vorübergegangen, wenn auch die Bewegung selbst als eine ungemein heftige übereinstimmend bezeichnet wird.

Beschädigungen sind endlich noch im Osten der Doppelstadt Vittoria (zu der sich Ceneda und Serravalle in neuerer Zeit vereinigt haben), im Gebiete der Gemeinden Capella, Sarmede, Cordignano und Fregona vorgekommen, welche der Vollständigkeit wegen erwähnt werden müssen.

Aus der Liste der älteren venetianischen Beben, welche BITTNER veröffentlichte, seien die Erschütterungen von Collalto vom Jahre 1859 hervorgehoben: „20. Januar, 8^h 56^m Beginn des merkwürdigen und lang andauernden Erdbebens von Collalto bei Barbisano am Soligo. Ausser auf Schloss Collalto, in dessen unmittelbarer Nähe das Centrum gewesen zu sein scheint, ward die Bewegung noch sehr stark in Falze, Pieve di Soligo, Sernaglia, Moriago, Col San Martino, Guja, Combair, Miane, San Pietro und bei Valdobbiadene und Vidor an dem Piave wahrgenommen. Ebenso gegen O. zu Serravalle, Ceneda und Conegliano. Zu Collalto waren die meisten Stösse vertical.“ Diese Stösse von Collalto haben für uns besonderes Interesse, weil dieser Ort auf der Verlängerung der, wie wir gleich sehen werden, durch BITTNER für die Bellunesischen Erdbeben als Hauptstosslinie erkannten Bruchlinie des Querthales von Santa Croce liegt.

Der durch BITTNER veröffentlichten Uebersicht der Erdstösse, welche vom 29. Juni bis Ende December 1873 in der Provinz Belluno beobachtet worden sind, entnehmen wir, dass einzelne Stösse sich im Alpagothal besonders stark erwiesen, die in Belluno kaum gefühlt wurden.

BITTNER fasst das Resultat seiner Untersuchungen, welches namentlich auf den Beobachtungen der Stossrichtungen beruht, in folgender Weise zusammen: „Als ein Hauptstosspunkt ist die Gegend im Osten vom Lago di Santa Croce, im Südosten von Farra, kaum in Zweifel zu ziehen, und diesem Focus würden sich auch die im Gebiete von Ceneda gemachten Beobachtungen unterordnen lassen, wenn man nicht vielleicht für San Pietro di Feletto die Annahme vorzieht, hier unmittelbar auf der Spalte selbst hätte sich die Kraft in selbstständiger Weise geäussert. Aber es bleibt noch Belluno mit seinem Nordoststosse und da scheint es mir, falls man nicht eine ganz sonderbare Brechung der Stossrichtung voraussetzen will, wohl am einfachsten, ein zweites Centrum der Erschütterung anzunehmen, welches etwa da liegen würde, wo die Thalspalte des oberen Piave beginnt, also zwischen den Bergen Serva und Dolada. Es ist bereits oben bemerkt worden, dass der Oberlauf des Piave einer tiefen, steilwandigen, fast schnurgeraden Schlucht folgt, welche genau parallel zu der angenommenen Erdbebenspalte Collalto Santa Croce verläuft. Die Auffassung derselben als Fortsetzung dieser (in etwas überspringender Richtung) scheint mir daher nicht im Geringsten gewagt zu sein, umso mehr, als ein Umstand von ziemlich grossem Gewichte diese Auffassung noch unterstützt. Der Erdstoss vom 18. December, einige Minuten vor 8 Uhr Morgens, wurde nämlich in Belluno sehr schwach, in Perrarolo dagegen in viel bedeutenderer Kraft wahrgenommen. Es würde somit als Sitz des Erdbebens vom 29. Juni 1873 eine Spalte zu gelten haben, die von NNO. nach SSW. verläuft; oder, um genauer zu sein, müsste man

zwei Spalten annehmen, die einander sehr nahe liegen, parallel sind und von denen die eine gewissermaassen nur als die Fortsetzung der anderen zu betrachten wäre. Die Kraft der Erschütterung würde dann an dem nördlichen Ende der östlichen und an dem südlichen Ende der westlichen gleichzeitig gewirkt haben, das Erdbeben von Collalto aber hätte sodann das südliche Ende der ersteren zum Ausgangspunkte, während der am 19. December zu Ferrarolo empfundene Stoss auf die nördliche Fortsetzung des letzteren hinweisen würde.“

Diesen Ausführungen BITTNER's sei die Bemerkung hinzugefügt, dass die geradlinige Fortsetzung der Stosslinie Capo di Ponte-Perrarolo genau Zell am See trifft, wo die Erschütterung vom 29. Juni 1873 so stark war, dass man nach BITTNER hier wohl ein secundäres Erschütterungsgebiet anzunehmen berechtigt wäre. Ebenso liegt die Umgebung von Salzburg in der Fortsetzung unserer Stosslinie — von hier ab scheint die Richtung des Stosses nach Nord-Ost, gegen Wels, Linz und Freystadt abgelenkt worden zu sein.

BITTNER macht ferner darauf aufmerksam, dass unter den Erschütterungen, welche dem Hauptbeben vom 29. Juni folgten, einzelne Stösse, wie jener vom 31. Juli, 5 Uhr 32 Minuten Abends und jene vom Morgen des 1. August 1873 wohl in dem einen, aber nicht in dem anderen Stossgebiete wahrgenommen wurden, was die obige Annahme getrennter Stosscentren wesentlich unterstützt. Er sagt ferner von seiner Erdbebenspalte, dass man darüber, dass sie keine hypothetische sei, sondern wirklich existire, die grösstmögliche Wahrscheinlichkeit durch eine kleine Umschau gegen Westen erhalten könne: „Denn da zeigt sich, dass das Seethal von Fadalto gar nichts anderes ist, als das östlichste Glied jener Reihe von gewaltigen Querschluchten, die den Südabhang der Alpen durchsetzen und vom Lago Maggiore, Lago di Lugano, Lago di Como, Lago d'Iseo, Lago d'Idro, Lago di Garda und vom Lago di Santa Croce (nebst dessen südlicheren kleineren Nachbarn) erfüllt werden. Es kann gar keinen auffallenderen Parallelismus geben, als ihn diese Seethäler darbieten. Aber auch Erdbeben gehören in dem einen wie in dem anderen zu den durchaus nicht ungewöhnlichen Erscheinungen. Ich erinnere hier nur an die sehr bedeutenden und überaus zahlreichen Erschütterungen in den Jahren 1866 und 1868 am Gardasee, an die nördlich vom Lago d'Idro zu Tione in den fünfziger Jahren mehrfach beobachteten Erdbeben und an die von verderblichen Wirkungen begleiteten Erdstösse vom Jahre 1867 am Lago Maggiore. In Beziehung auf den Gardasee könnte man die Analogie sogar noch weiter treiben, und Castiglione, im Süden davon gelegen (Erdbeben vom 13. August 1771) mit Collalto vergleichen, wenn sich nachweisen liesse, dass das erwähnte Erdbeben wirklich hier seinen Sitz gehabt habe.“

Dass die BITTNER'schen Stosslinien wirklich der seismischen Erscheinung vom 29. Juni 1873 zu Grunde liegen, konnte der Verfasser bei der im Sommer 1876 ausgeführten geologischen Aufnahme der Gegend ersehen,

nachdem die beiden, von BITTNER angenommenen Stosslinien in der That mit Brüchen zusammenfallen, auf welchen gewaltige Dislocationen der anstossenden Gebirgstheile stattgefunden haben.¹

Betrachten wir zunächst die Thalschlucht des Piave von Perrarolo bis Capo di Ponte (Ponte nell' Alpi), so sehen wir sie von einem tiefen, steilwandigen Einriss gebildet, der grösstentheils im Dachsteinkalk liegt. Die vorwaltend horizontal gelagerten Dachsteinkalkmassen, die zu beiden Seiten der Thalschlucht sich oft in bei 1000 Meter hohen Wänden stundenlang hinziehen, würden uns das Vorhandensein eines Bruches wohl kaum verrathen, wohl aber ist dies der Fall bei den aufgelagerten Lias- und Juraablagerungen, welche in der Umgebung von Longarone und Castello Lavazzo auf der rechten Seite des Thales in mässiger Neigung bis in dasselbe hinabsetzen, während am linken Ufer des Piave in dreifacher Wiederholung eben dieselben Schichten anstehen. Von dem auf der rechten Thalseite gelegenen Monte Campello, auf dessen Höhe rothe Neocommergel die Jurakalke überlagern, ziehen die letzteren nach Castello Lavazzo hinab, wo sie in dem Hohlwege der Ampezzaner Strasse und in zahlreichen Steinbrüchen gut aufgeschlossen sind und zahlreiche, aber schlecht erhaltene Ammoniten enthalten. Diese rothen Ammoniten führenden Knollenkalke des oberen Jura setzen auch über den Piave und seine Alluvionen hinüber und stehen an der Ostseite im Thalgrunde an, dort von rothen Neocommergeln überlagert. In Folge einer der Thallinie parallel streichenden Verwerfung kommt über den Neocommergeln der linken Thalseite Lias heraus; der mittlere Jura entzieht sich entweder durch sehr geringe Mächtigkeit der Beobachtung oder fehlt ganz, es folgen die oberjurassischen rothen Knollenkalke und darüber die gleichfarbigen Neocommergel. Eine zweite, parallele Verwerfung vermittelt das Sichtbarwerden des Dachsteinkalkes, überlagert von Lias und in höheren Theilen des Gebirges von Jura und Neocom. Kurz wir sehen in Folge der parallelen Brüche eine dreifache Wiederholung derselben Schichten. Die Lagerungsverhältnisse von Jura und Neocom verrathen uns hier unzweifelhaft das Vorhandensein einer grossen Querspalte, welche mit dem Laufe des Piave von Perrarolo bis Ponte nell' Alpi zusammenfällt, und wie wir oben gesehen haben, zugleich eine der von BITTNER nachgewiesenen Stosslinien des Erdbebens von Belluno darstellt.

Noch deutlicher tritt der von BITTNER angenommene Querbruch von Santa Croce hervor, welcher die überspringende Fortsetzung der Piavethalspalte und zugleich die Hauptstosslinie des Erdbebens vom 29. Juni 1873 ist. Der Querbruch von Santa Croce ist eine sehr bedeutsame tektonische Linie, welche, wie der Verfasser in seinen „Erdbebenstudien“ zu zeigen versuchte, mit einer horizontalen Verschiebung der angrenzenden Gebirgstheile zusammenzuhängen scheint. Die damals

¹ Vergl. E. v. MOJSISOVICS: Die Dolomitrise von Südtirol und Venetien, S. 447; S. 455—457.

gegebene Darstellung¹ möge hier wiederholt sein, wiewohl sie durch die späteren genaueren Untersuchungen KARL FUTTERER's eine, wie unten gezeigt werden soll, wesentliche Berichtigung erfahren hat: „Die Mulde von Belluno erscheint von der oberitalienischen Ebene durch einen Höhenzug getrennt, der vorzugsweise aus Kreideformation besteht. Biancone und Scaglia spielen die Hauptrolle, doch erscheint fast unmittelbar unter den rothen Mergeln der letzteren, nur durch eine wenig mächtige Lage von weissem Hornstein führenden Kalk getrennt, eine bedeutende Masse von Hippuritenkalk. Zu beiden Seiten des antiktinalen Höhenzuges der Kreideformation, dessen Schichten sehr steil gegen die Ebene, sehr flach gegen die Mulde von Belluno geneigt sind, folgen Tertiärablagerungen. In der Mulde von Belluno liegt auf der Scaglia eine mächtige Flyschmasse, durch

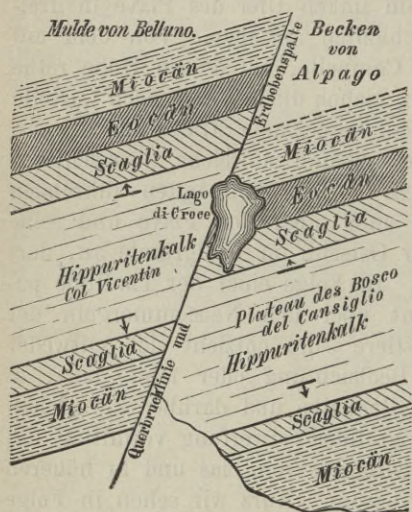


Fig. 47. Schematische Darstellung der tektonischen Verhältnisse an der Bruchlinie von Santa Croce.

zwei eingelagerte Züge von Nummulitenkalk als eocän charakterisirt; erst nördlich vom Piave, der die Mulde der Länge nach durchströmt, folgen die grünen Sandsteine und Mergel der Schioschichten. Am Rande der Ebene folgen unmittelbar auf die rothen Mergel der Scaglia petrefactenreiche Straten der Schioschichten; das Eocän scheint hier zu fehlen. Es ist nun höchst bemerkenswerth, dass dieser Zug des Col Vicentin am Lago di Croce wie abgeschnitten erscheint. Steil stürzen hier die Gehänge des Monte Faverghera und die weissen Hippuritenkalkfelsen des Monte Pascolet zum Lago di Croce ab; auf der anderen Seite desselben aber findet der antiktinale Höhenzug, welcher die Mulde von Belluno von der oberitalienischen Ebene trennt, keine unmittelbare Fortsetzung. Das Plateau des Bosco del Cansiglio, welches aus fast horizontal gelagerten Schichten der Kreideformation bestehend, dem Zuge des Col Vicentin entsprechen würde, liegt um ein gutes Stück südlicher und tritt wie eine Bastion aus der ersten Walllinie am Südfusse der Alpen in die oberitalienische Ebene hinaus. Die Mulde von Belluno würde ihre unmittelbare Fortsetzung im Becken von Alpago finden, wenn nicht diese Verschiebung stattgefunden hätte. Ganz dieselbe Entwicklung der Tertiärformation findet sich in beiden Vertiefungen, welche wir wohl als eine zusammengehörige Synklinale betrachten müssen, die allerdings, wie das für die südalpine Entwicklung charakteristisch ist, nicht durch eine steile Falte, sondern durch eine grosse, wahre Verwerfung entstanden ist.

¹ Jahrbuch der k. k. geologischen Reichsanstalt, 28. Bd. Wien 1878, S. 405—407.

Es spielen diese langen Brüche, auf welchen stets ein Absitzen der südlichen Scholle stattgefunden hat, eine höchst bedeutsame Rolle am Rande des alten Depressionsgebietes, das heute von der oberitalienischen Ebene eingenommen wird. Diese Brüche sind wohl zu unterscheiden von den aufgebrochenen und überschobenen Antiklinalen, denen wir in den Nordalpen so häufig begegnen und meines Erachtens ein vollgiltiger Beweis für die Richtigkeit der SUËSS'schen Erklärung der Entstehung der Alpen aus einseitigen aneinander gepressten Ketten. Abnormale Ueberkippungen, wie sie sich im Val Sugana finden, sind erstlich bedingt durch eine noch viel zu wenig gewürdigte Erscheinung, die häufig im Grossen an solchen Brüchen eintritt: das Schleppen der Schichten, und dann mag da schon die beginnende Horizontal-Verschiebung mitgewirkt haben.

Die Mulde von Belluno und das Becken von Alpage würden eine kontinuierliche Synklinale darstellen, wenn nicht auf dem Querbruche von Santa Croce eine Bewegung der angrenzenden Gebirgsteile in horizontalem Sinne sich geltend gemacht hätte. So aber zieht sich ein niedriger, aus Kreidebildungen bestehender Rücken, der Col di Pera, vom Monte Pascolet bis gegen Capo di Ponte und trennt die beiderseitigen tertiären Bildungen, eocänen Flysch und die grünen Sandsteine und Mergel der Schioschichten, welche in beiden Gebieten in gleicher Weise auftreten.

Es ist nun gewiss kein Zufall, dass dieser Verschiebungsbruch auf das genaueste zusammenfällt mit der von BITTNER nachgewiesenen Hauptstosslinie des Erdbebens vom 29. Juni 1873 und dass genau in seiner Verlängerung Collalto liegt, jenes Schloss, das im Jahre 1859 Centrum eines lange andauernden Erdbebens war. Offenbar ist die Erdbebenerscheinung von Belluno hervorgebracht durch die Querverschiebung zweier anstossenden Gebirgsteile, die sich auch heute noch durch Erschütterungen des Bodens bemerkbar macht. Der Stosspunkt von Collalto lässt uns nun darauf schliessen, dass der Verschiebungsbruch auch in jenen, unseren Augen heute entrückten Gebirgsteilen fortsetzt, die gegenwärtig von den postglacialen Alluvionen der lombardisch-venetianischen Ebene bedeckt sind. Ein Umstand gestattet uns ferner noch, annähernd das junge Alter dieses Verschiebungsbruches festzustellen. Wie in der vorstehenden schematischen Skizze ersichtlich, erscheinen die untermiocänen Ablagerungen der Schioschichten noch mitverschoben, es kann daher die Verschiebung nicht vor der Bildung derselben begonnen haben, sie muss aber andererseits in der Diluvialperiode bereits existirt haben, da durch das so gebildete Querthal von Santa Croce ein gewaltiger Arm des Piavegletschers hinabstieg gegen Serravalle und Conegliano, wo wir heute seine Stirnmoränen bei Colle Umberto finden.“

Diese Darstellung hat durch genauere Untersuchung der Umgebung des Sees von Santa Croce eine wesentliche Berichtigung erfahren. Wie K. FUTTERER¹

¹ KARL FUTTERER: Die Entstehung der Lapisinischen Seen, Zeitschrift der Deutschen geologischen Gesellschaft, 44. Bd. 1892, S. 133.

gezeigt hat, sind ausser dem Hauptquerbruche, welcher vom Nordende des Sees von Santa Croce bis zum Lago Morto zu verfolgen ist, nicht allein noch meherer Brüche vorhanden, welche in derselben Richtung (annähernd Nord-Süd) das Gebirge durchsetzen, sondern es treten östlich von dem Hauptbruche auch im Streichen des Gebirges liegende Brüche auf, von welchen insbesondere einer (die Linie G-H der FUTTERER'schen Karte) für die Lagerung der Tertiärgelände des abgeschürften Beckens von Alpago bedeutsam wird. Die Natur dieser im Streichen des Gebirges, d. i. in NO.-SW.-Richtung gelegenen Störungslinie konnte der Verfasser bei seiner Begehung um so eher verkennen, als sich seine Untersuchung auf das in der von E. v. MOJSISOVICs herausgegebenen Karte des tirol-venetianischen Hochlandes dargestellte Terrain beschränkte und er demzufolge weder das Becken von Alpago noch das Plateau des Bosco del Cansiglio genauer kennen lernte, da dieselben eben östlich vom Rande jener Karte liegen, welcher den Lago di Santa Croce durchschneidet. Bei einer flüchtigen Excursion in's Becken von Alpago gewann er, eben durch die Stellung der tertiären Schichten in Folge jenes Längsbruches getäuscht, die Vorstellung, als sei der westlich von der Bruchlinie von Santa Croce gelegene Gebirgstheil etwas weiter nach Nord gerückt worden, als der östliche. Mit dieser Vorstellung schien die Thatsache gut übereinzustimmen, dass das Plateau des Bosco del Cansiglio gegenüber der westlichen Fortsetzung der südlichsten Alpenkette einen bastionartigen Vorsprung in die Poebene bildet. Wenn nun auch aus den sorgfältigen Untersuchungen FUTTERER's hervorgeht, dass dem Hauptbruch von Santa Croce eher die Rolle einer blossen Verwerfung zukommt, als einer Verschiebungslinie, auf welcher eine beträchtliche horizontale Bewegung der angrenzenden Gebirgstheile stattgefunden hätte, so scheint es doch, als ob diesem Bruche eine tektonische Bedeutung in dem Sinne zuzuschreiben wäre, dass die angrenzenden Theile des Gebirgszuges in anderer Weise der stauenden Kraft des gebirgsbildenden Horizontalschubes sich angepasst hätten. Hierauf deutet auch das Vorhandensein der oben erwähnten, im Streichen des Gebirges liegenden Störungen hin, die westlich von der Bruchlinie von Santa Croce kein Analogon haben. Jedenfalls haben wir es in der Linie von Santa Croce mit einem ausgezeichneten „Blatte“ im Sinne der SUESS'schen Terminologie der tektonischen Störungen zu thun und es unterliegt wohl keinem Zweifel, dass diese Störungslinie eine wesentliche Rolle bei den Erdbeben dieser Gegend (Belluno 1873, Collalto 1859) gespielt habe, die sonach als „Blattbeben“ bezeichnet werden müssen.¹ Es ist für diese Deutung des Bruches von Santa Croce von Wichtigkeit, dass derselbe nicht, wie BEYRICH meinte², schon bei Cima Fadalto sein südliches Ende besitzt, sondern sich vielmehr südwärts fortsetzt, wie FUTTERER zeigt,

¹ R. HOERNES: Der Querbruch von Santa Croce. Zeitschrift der Deutschen geologischen Gesellschaft, Jahrgang 1892, S. 347.

² Zeitschr. d. Deutsch. geolog. Gesellsch. 30. Bd. 1878, S. 533.

nach dessen Darstellung die Sprunghöhe der Verwerfung am Lago Morto den höchsten Betrag erreichen und bis auf 1800 Meter anwachsen soll.

Haben wir in dem Beben von Belluno 1879 ein ausgezeichnetes transversales oder Blatt-Beben kennen gelernt, so sehen wir in dem Erdbeben von Klana vom Jahre 1870 ein longitudinales oder, mit Rücksicht auf die dem Hauptstosse vom 1. März 1870 vorangegangenen und gefolgtten Erschütterungen ein peripherisches, welches sich zu der periadriatischen Senkung ähnlich verhält wie die peripherischen Beben Calabriens zu jener des Tyrrhener Meeres. Das Beben von Klana wurde durch D. STUR beschrieben, welcher im Mai 1870 von Seite des österreichischen Ministeriums des Innern beauftragt wurde, eine eingehende Untersuchung des im Küstenlande, insbesondere im Bezirke Volosca stattgehabten Erdbebens und dessen Folgen vorzunehmen, im eventuellen Falle einen Platz auszumitteln, auf welchem die Bewohner der beinahe ganz zerstörten Ortschaft Klana eine neue Ansiedlung errichten sollten. STUR bereiste Ende Mai 1870 die am heftigsten betroffene Gegend, sammelte sodann im Wege der Behörden und von zahlreichen Privatpersonen eine grosse Anzahl von Daten und veröffentlichte die gewonnenen Resultate im Jahrbuche der k. k. geologischen Reichsanstalt. Diese Arbeit STUR's¹ liegt jener Darstellung zu Grunde, welche der Verfasser in seinen „Erdbebenstudien“ von dem Erdbeben von Klana gegeben hat², und welche hier auszugsweise wiederholt wird.

Der von STUR gegebenen Uebersicht der Ereignisse des Erdbebens von Klana entnehmen wir zunächst folgende Daten:

„Das Erdbeben von Klana wurde zuerst am 27. Februar 1870 sehr schwach, deutlicher am 28. Februar verspürt. Von diesem Tage an wurden fast täglich Erdstösse von verschiedener Stärke in der engeren Umgebung wahrgenommen bis zu meiner Ankunft an Ort und Stelle. Nach den vorliegenden Nachrichten wurde der letzte schwache Erdstoss in Klana am 8. Juli 1870 Nachmittags beobachtet. Die HAUPTerschütterung, welche alle die erhobenen Schäden und Verwüstungen fast ohne Ausnahme veranlasst hat, erfolgte am 1. März (Fasching-Dienstag) circa um 8 Uhr 57 Min. Abends. Sehr starke Erschütterungen, die in ihrer Stärke dem Hauptstoss vom 1. März am nächsten zu stehen kommen, erfolgten: 1) am 10. Mai, 5 Uhr 56 Min. Abends; 2) am 11. Mai, 2 Uhr 50 Min. Morgens. Die anderen beobachteten und wahrgenommenen Erschütterungen waren alle verhältnissmässig viel schwächer und von sehr verschiedener relativer Stärke. Von der HAUPTerschütterung am 1. März wurde entschieden am stärksten und folgenschwersten der Ort Klana betroffen. Der erste Eintritt in den Ort machte allerdings den Eindruck, als sei die Zerstörung keine so gewaltige, da man Kirche und Häuser aufrecht stehend und bereits wieder

¹ D. STUR: Das Erdbeben von Klana im Jahre 1870, Jahrb. d. k. k. geolog. Reichsanstalt, 21. Bd. 1871. 2. Heft.

² Jahrb. d. k. k. geolog. Reichsanstalt, 28. Bd. 1878, S. 421—441.

theilweise bewohnt sehen konnte; die Detail-Untersuchung zeigte jedoch, dass kein Haus vollständig verschont geblieben, vielmehr alle (140) durch die Zerstörung baufällig geworden sind.“

Allerdings hat die Zerstörung der Häuser der Umstand der landesüblichen schlechten Bauart sehr begünstigt, und erscheint es bei dem hohen Grade von Zerstörung ebenso wunderbar als erfreulich, dass kein Menschenleben zu beklagen war.

„Viel geringer waren die Verwüstungen in den nächsten Ortschaften, die fast in einem Halbkreise in S., W. und N. an Klana gelegen sind, und in der angegebenen Richtung nachstehend aufeinander folgen: Studena, Skalnica, Lippa, Lissac, Sušak, Novokračina, Zabiče und Podgraje. In den genannten Orten haben nur einzelne Häuser stärkere Beschädigungen erlitten. Immerhin findet man auch hier eingestürzte Mauern und Rauchfänge, sehr bedeutende Sprünge und Risse in den Wohngebäuden, die die betreffenden Objecte baufällig machten. — In dem weiter entfernten Umkreise der Umgegend von Klana ist das Erdbeben noch sehr stark wahrgenommen worden, doch sind die in Folge davon erfolgten Beschädigungen viel unbedeutender, meist auf vereinzelt Risse in einzelnen Gebäuden und auf einige Beschädigungen an Rauchfängen beschränkt, so im Amtsgebäude von Volosca (Risse), in der Kirche zu Veprinaz (Risse), im Posthause Permani (Risse und Rauchfangsturz), am Ruppauer Schranken (Verschiebung von Kochgeschirren), zu Dornegg und Illyr. Feistritz (Risse in Gebäuden und Rauchfang-Beschädigungen), und in Prem und Bitinje (Risse im Plafond).

Wenn man die Verwüstungen und Beschädigungen in's Auge fasst und die mündlichen Mittheilungen über die Gewalt der Katastrophe erwägt, scheint es keinem Zweifel zu unterliegen, dass Klana in jenem Theil des Erschütterungsgebietes gelegen ist, in welchem das Erdbeben am schrecklichsten gewüthet hat.“

Bemerkenswerth erscheint die durch STUR angeführte Thatsache, dass die starke Verwüstung der Häuser von Klana auch ihrer Lage auf jüngeren Alluvionen zuzuschreiben ist; — während einzelne Fälle beobachtet werden konnten, in welchen auf Kalk gebaute Häuser sehr wenig gelitten haben.

Die ausführliche Erörterung der Frage, ob eine Verlegung der Ansiedlung gerathen erscheine und an welchem Orte dieselbe mit Vortheil stattfinden könne, interessirt uns hier nicht weiter; — STUR kommt übrigens zu dem Resultate, dass eine Verlegung der Ortschaft aus mehreren Gründen unvortheilhaft erscheine. Weit wichtiger ist für uns jener Abschnitt, welchen STUR Chronik des Erdbebens von Klana nennt. STUR giebt in demselben ein chronologisches Verzeichniss sämmtlicher ihm vorliegenden Daten über beobachtete oder wahrgenommene Erschütterungen im gesammten Erschütterungsgebiete von Klana im weiteren Sinne, vom 21. December 1869 angefangen bis inclusive 8. Juli 1871 — und bemerkt hierbei: „Ob alle diese verzeichneten Erschütterungen als Vorläufer und

Nachfolger der Katastrophe von Klana, ob namentlich diejenigen Erschütterungen, die in Klana nicht beobachtet wurden, daselbst wegen Mangel an Aufmerksamkeit überhört wurden, oder als selbstständige, von dem Ereignisse in Klana unabhängige Erscheinungen zu betrachten seien, ist unmöglich festzustellen. Ich verzeichne diese anscheinend selbstständigen Erschütterungen, ohne damit andeuten zu wollen, dass ich sie als zusammenhängend mit der Katastrophe zu Klana betrachte.“ — Es schien jedoch dem Verfasser, als ob die in dieser Chronik von STUR angeführten Stöße mit wenigen Ausnahmen eine gewisse Zusammengehörigkeit errathen liessen. Er verzeichnete deshalb diejenigen Orte, die mit einiger Wahrscheinlichkeit als selbstständige Stosspunkte betrachtet werden konnten, auf der Karte, und fand, dass in der That eine höchst merkwürdige Zone von häufigeren Erschütterungen sich zeigte, welche aus der Gegend von Ottocac und St. Georgen bei Zeng über Fiume und Klana in die Gegend von Triest läuft, ihre Fortsetzung in der Umgebung von Görz und Gradisca findet, die so oft und auch in der seismischen Periode, von welcher wir sprechen, Schauplatz von Erderschütterungen war. Weiterhin würde sich unsere Zone dann in das Gebiet von Udine — einen bekannten Erdbebenherd — fortsetzen und schliesslich mit jener schon von BERTI angenommenen und später auch von BRITNER besprochenen Linie zusammenfallen, die am Südrande der Alpen über Asolo und Possagno zu dem vicentinischen Vulkandistricte verläuft.

In der That findet auf dieser Zone, welche den concaven Innenrand der Ostalpen und des istro-dalmatinischen Karstes begleitet, ein ganz ähnliches Wandern der Stosspunkte statt, wie es SUSS für die peripherischen Erdbebenlinien Calabriens und Siciliens nachgewiesen hat. Bisweilen aber dringen die seismischen Bewegungen auch auf Radiallinien weit in's Innere des Gebirges vor, ja sie kreuzen dasselbe und machen sich am Nordrande der Alpen fühlbar, wie das beispielsweise bei dem Beben von Belluno am 29. Juni 1873 der Fall war, und wie es noch in weitaus merkwürdigerer Weise auf der Stosslinie des Erdbebens von 1348, der Linie Venedig-Villach, stattfindet.

Doch zunächst wollen wir uns auf die Erörterung jener Erscheinungen beschränken, die in der Periode des Erdbebens von Klana zu beobachten waren; — wir folgen bei ihrer Betrachtung der oben erwähnten von STUR veröffentlichten Chronik. In den letzten Monaten des Jahres 1869 ereigneten sich Erderschütterungen an mehreren Stellen der oben erwähnten peripherischen Zone:

2. October, 6^h 30^m p. m. Cormons und Rubia im Görzer Gebiet. Leises Beben. Diese schwache Erschütterung leitet eine lange Phase von Bewegungen auf unserer Erdbebenzone ein.

21. December, 6^h 15^m a. m. Gmünd. Stoss von N. nach S.; wurde gleichzeitig in Malta, Dornbach, Hilpersdorf, Kotschach und Eisentratten in der Umgebung von Gmünd beobachtet. Wir haben es hier mit einer Erderschütterung zu thun, die ziemlich weit im Innern der Alpen statt-

fand, wahrscheinlich auf einer Bruchlinie, auf welcher auch seither Erschütterungen in dieser Gegend sich ereigneten.

21. December, 11^h 40^m p. m. Görz und Umgebung: erster Stoss heftig, zweiter, unmittelbar vor Mitternacht, schwächer. Am selben Tage, wie in der Umgebung von Malta, jedoch um 16¹/₂ Stunden später, macht sich eine seismische Bewegung auf unserer Erdbebenzone geltend. Es scheint bemerkenswerth, dass sich der Stosspunkt gegenüber dem Beben vom 2. October ein wenig nach Ost verschoben hat.

Mit Beginn des Jahres 1870 wird der Angriffspunkt der seismischen Kraft abermals weiter nach Ost und Süd-Ost verlegt:

2. Januar, Nachts. Fiume: ein leichter Stoss.

3. Januar, Nachts. Fiume: Erdstoss als leichte Schwingung. Vom 3. Januar an wurden in Fiume häufiger leichte Erderschütterungen wahrgenommen, ohne verzeichnet worden zu sein. Es erscheint bei diesen Stößen auch fraglich, ob sie ihren Stosspunkt bei Fiume selbst hatten, oder ob nicht vielmehr die Stöße zu Klana stattfanden. — Jedenfalls sehen wir, dass mit Beginn 1870 die seismischen Bewegungen, welche Ende 1869 in der Gegend von Cormons und Görz fühlbar waren, ziemlich weit nach SO. gerückt sind und in der Umgebung Fiume's auftreten.

3. Januar, 2^h a. m. Ottocac. Svica und St. Georgen bei Zeng: heftige Erschütterung von 2—3 Secunden Dauer.

4. Januar, 4^h a. m. Ottocac, Svica und St. Georgen bei Zeng: minder heftig.

5. Januar, 2^h a. m. Ottocac, Svica und St. Georgen bei Zeng: leichte Erschütterung.

6. Januar, 2^h a. m. Ottocac, Svica und St. Georgen bei Zeng: sehr leichte Erschütterung.

Wir sehen hier vom 3. bis 6. Januar Erschütterungen auf jener oben erwähnten Zone, und zwar ziemlich weit in Südost stattfinden, der erste Stoss am 3. Januar war der stärkste in dieser Gegend, die folgenden schwächer. Es folgte nun eine siebenwöchentliche Zeit der Ruhe in dem in Rede stehenden Gebiete; — es sei denn, dass Erderschütterungen der Beobachtung entgingen, wie das bei schwachen nächtlichen Stößen oft genug der Fall sein mag, oder dass dieselben nicht aufgezeichnet wurden.

27. Februar, 11^h 45^m a. m. Idria: leichte Erschütterung. 1^h p. m. Laas (nach anderer Mittheilung um 12 Uhr Mittags, also vielleicht derselbe Stoss wie in Idria): erstes Erdbeben.

27. Februar, 8^h p. m. Laas: Erderschütterung von 5 Min. Dauer.

Wir bemerken sonach Ende Februar das Wiederaufleben der seismischen Thätigkeit und zwar etwas landeinwärts, nordöstlich von unserer Schütterzone.

28. Februar, 0^h 22^m p. m. (12 Uhr Mittags in mehreren Berichten): ziemlich verbreitete Erschütterung, scheint den Stosspunkt in der Nähe von Dornegg und Illyrisch Feistritz, NW. von Klana gehabt zu haben.

28. Februar, 8^h 45^m p. m. Veglia: rotatorische (sic!) Erdbeben.

Am Abend desselben Tages, an dessen Mittag die Umgebung von Dornegg getroffen wird, haben wir einen Stoss zu verzeichnen, der jedenfalls selbstständig auf einem im SO. gelegenen Punkte stattfand.

1. März, 6^h 0^m p. m. Fiume: eine vom Postconducteur in seiner Wohnung beobachtete leichte Erschütterung.

Ob wir es hier mit einem selbstständigen Stoss zu thun haben, der seinen Angriffspunkt in Fiume hatte, erscheint unsicher (aus Klana wurden überhaupt nur die stärksten Stösse gemeldet); — jedenfalls sehen wir ein Rückkehren der seismischen Bewegung, die am 28. Februar zu Veglia bemerkbar war.

1. März, 8^h 57^m p. m. (in den meisten Berichten als 9 Uhr Abends bezeichnet): Haupterschütterung mit dem Centrum Klana, wo starke Verwüstungen stattfanden. Nach STUR's Angaben scheint eine starke Verbreitung nach der Richtung NW. und SO. stattgefunden zu haben, entsprechend dem Verlaufe der oben angedeuteten Schütterzone, — auch die grosse Axe der Ellipse, mit welcher STUR die stärksten erschütterten Orte umschreibt, entspricht ihrer Richtung. Bemerkenswerth erscheint auch die starke Wirkung des Stosses in Gottschee, die vielleicht eine Radialstosslinie andeutet.

1. März, 9^h 15^m p. m. Fiume: ein sehr leichter Stoss von NO. in SW.

„ 9^h 30^m p. m. Fiume: ein etwas heftigerer Stoss von NO. in SW.

„ 9^h 40^m p. m. Dornegg: ein kleiner Stoss von einer halben Secunde Dauer, von SSW. in NNO. Nach diesem folgte eine Anzahl kleinerer Erschütterungen, die nicht genau wahrgenommen wurden.

1. März, 9^h 48^m p. m. Fiume: leichter Stoss.

Ob alle diese Stösse ihren Ursprung bei Klana nahmen oder als selbstständig (mit dem Stosspunkt Fiume) anzunehmen sind, erscheint fraglich, jedenfalls ist ihre Verbreitung (die letzten Stösse von Fiume und Dornegg sind wohl zusammengehörig) der angenommenen Schütterzone entsprechend. Bemerkenswerth erscheint, dass die Stossrichtung in Fiume stets NO.-SW., in Dornegg hingegen SSW.-NNO. angegeben wird, also senkrecht auf die Schütterzone.

2. März, 1^h 5^m a. m. Fiume: Postconducteur hat in seiner Wohnung fünf aufeinanderfolgende Stösse beobachtet.

2. März, 1^h 15^m a. m. Fiume: leichter Stoss von NO. in SW.

„ 3^h a. m. Im Savethal wurden zwei Erdstösse beobachtet, welche innerhalb 7—8 Minuten aufeinander folgten. Zerstörungen in der Panovitscher Fabrik (Station Littay-Sava). Die Stösse im Savethal bei Littay scheinen mit einer radialen Stosslinie zusammenzuhängen, auf welcher die häufigen Beben von Adelsberg und Triest sich ereignen. Diese Radiallinie scheint sich in die Gegend von Cilli und Tüffer fortzusetzen, möglicherweise liegt sie auch den häufigen Beben von Laibach zu Grunde.

2. März, 1^h 48^m a. m. Stoss in Sessana.

3. März, 2^h a. m. Veglia: eine schwache Erschütterung. Hier macht sich abermals ein Abweichen des Stosspunktes nach SO. geltend.

4. März, 1^h 45^m a. m. Dornegg und Illyr. Feistritz: eine kleine Erschütterung.

4. März, 2^h 45^m a. m. Dornegg und Illyr. Feistritz: Nachts (3 Uhr) eine kleine Erschütterung mit Getöse, Dauer eine Secunde, Richtung SSW.-NNO. Fiume: leichte Erschütterung mit vorangehendem Dröhnen. Eine Uhr blieb stehen. Dauer drei Secunden; Richtung NW.-SO. Es ist dies die einzige Nachricht von einem Erdstoss in Fiume mit der Richtung NW.-SO., d. h. dem Streichen der Erschütterungszone entsprechend, während alle übrigen, während der ganzen Erdbebenperiode in Fiume wahrgenommenen Stösse in zu dem Streichen der Schütterzone senkrechter Richtung erfolgten.

4. März, 4^h a. m. Fiume: leichter Stoss von NO. in SW., Dauer drei Secunden.

5. März, 1^h 44^m a. m. Dornegg: mässig stark, eine halbe Secunde lang, Richtung SSW.-NNO.

5. März, 2^h 17^m a. m. Dornegg: sehr schwach, eine halbe Secunde lang, Richtung SSW.-NNO.

5. März, 6^h 30^m a. m. Fiume: sehr leichter Stoss NO.-SW.

„ 11^h 15^m p. m. Fiume: leichter Stoss NO.-SW.

Ob die Erschütterungen in Klana fühlbar waren, wird nicht berichtet, ist aber wohl, wie bei allen Erschütterungen von Dornegg und Fiume vorauszusetzen. Bemerkenswerth erscheint, wie schon oben erwähnt, dass zu Dornegg die Stösse immer die Richtung SSW.-NNO., in Fiume SW.-NO. aufweisen. Dies gilt auch für alle folgenden Angaben, die diese beiden Orte betreffen.

6. März, 2^h 45^m a. m. Dornegg, Illyrisch Feistritz: Mässige Erschütterung von 2 Secunden Länge und SSW.-NNO.-Richtung.

6. März. Fiume: Nachts zwei sehr leichte Stösse.

„ 3^h 41^m a. m. Dornegg: mässiger Stoss, Dauer eine Secunde, Richtung SSW.-NNO.

April, Dornegg: Im April wurden mehrere kleinere Erdbeben wahrgenommen, die aber nicht genauer verzeichnet sind.

10. April, 4^h a. m. Radmannsdorf: zwei Stösse, wovon der erstere stärker als der zweite war. Der zweite folgte in 2—3 Secunden dem ersten nach. Der erste Stoss verursachte eine Erschütterung der Gebäude, ohne einen Schaden anzurichten. Wir sehen hier wieder ein Beispiel von seismischen Erscheinungen weiter im Innern des Landes, wie wir solche schon mehrmals während der Periode des Erdbebens von Klana wahrgenommen haben (Gmünd und Malta 21. December 1869, Idria 27. Februar 1870, Laas 27. Februar 1870, Littay 2. März 1870.

28. April, 3^h 25^m a. m. Fiume: ein undulatorischer, sehr fühlbarer Stoss mit heftigem Dröhnen in der Dauer von vier Secunden und von NO.-SW.-Richtung. Derselbe bestand aus zwei Erschütterungen, die etwa 2—3 Secunden nacheinander folgten. „Scheint vertical gewesen zu sein, wie aus der geringen Amplitude der Schwingungen eines zu diesem Zwecke

aufgestellten Pendels hervorging.“ Jedenfalls dürfte dieser Stoss bei Fiume selbst sein Centrum gehabt haben, was wir nicht bei allen, uns von diesem Punkt gemeldeten Erschütterungen behaupten können, da eben von Klana nur die stärksten Erschütterungen gemeldet wurden.

29. April, 7^h 30^m a. m. Fiume: leichtes Erzittern des Erdbodens.

„ 2^h 28^m a. m. Fiume: schwaches Zittern des Bodens.

4. Mai, 2^h 30^m a. m. Fiume: schwacher Stoss.

9. Mai, 4^h 16^m a. m. Fiume: ein deutlich bemerkter Stoss.

10. Mai, 2^h 51^m a. m. Fiume: kaum bemerkbares Erzittern.

„ 9^h 19^m a. m. Fiume: kaum bemerkbares Erzittern.

„ 4^h 5^m p. m. Fiume: wohl bemerkbarer Stoss mit Dröhnen begleitet; Adelsberg: ziemlich starker Erdstoss; Dornegg und Illyrisch Feistritz: ein schwacher Stoss, der im Freien nicht wahrgenommen wurde. Dieser Stoss hat möglicherweise seinen Angriffspunkt in Adelsberg gehabt.

10. Mai, 5^h 4^m p. m. Bitinje: Erschütterung; Volosca: ein starker Erdstoss.

10. Mai, 5^h 56^m p. m. (in den meisten Berichten 6 Uhr Nachmittags) zweite schwächere Haupterschütterung von Klana; scheint auch zu Volosca sehr stark gewesen zu sein. Vom Dletvoberg wird die Richtung des Getöses und der Erschütterung als von ONO. gegen WSW. fortstreichend geschildert. Von Fiume wird berichtet, dass diesem Stoss, dessen Intensität jener der Erschütterung vom 1. März vergleichbar war, ein heftiges Dröhnen und Rollen von Klana her vorausging. Die Richtung des undulatorischen, 5 Secunden dauernden Stosses aber war NO.-SW. „Im physikalischen Institute, das wie eine Festung stark gebaut ist, beobachtete Herr Prof. BACOTIC während der Dauer der Erschütterung, wie erst die gegen NO. liegende Mauer sich erhob (Wellenberg von unten nach oben), dann senkte sie sich, während sich die gegenüberliegende Mauer erhob, um sich bald wieder zu senken, mit jenem eigenthümlichen Geräusch, welches diese Erscheinung stets begleitet.“ Auch die oben erwähnte Beobachtung der Stossrichtung am Dletvoberg von ONO. gegen WSW. unterliegt keinem Zweifel; der Beobachter, Forstverwalter BRAUNITZER, befand sich im Freien, in den Waldungen des Dletvoberges und berichtete Folgendes: „Von Trestnik her (ONO.) ein langsames unterirdisches Dröhnen, gegen WSW. fortschreitend näherte sich ihm, das plötzlich in ein gewaltiges Schütteln überging, von dem Aeste und Blätter der Waldbäume ergriffen wurden und daran Theil nahmen. Nachdem dieses Schütteln die Aufenthaltsstelle BRAUNITZER's erreicht hatte, verspürte er einen Stoss, und dann ging das Getöse weiter rollend in WSW. vorüber.“

10. Mai, gegen 9 Uhr Abends, Gottschee: kleiner Stoss. Da andere Nachrichten über eine Erschütterung zu dieser Zeit fehlen, so darf wohl Gottschee für dieselbe als Stosspunkt angesehen werden; es illustriert dies die starke Einwirkung der Erschütterung vom 1. März und die oben angenommene Stosslinie: Klana-Gottschee.

11. Mai, 1^h 30^m a. m. Fiume: schwacher Stoss, Gottschee: schwacher Stoss.
 „ 2^h 15^m a. m. Fiume: leichter Stoss.
 „ 2^h 50^m a. m. Dritte schwächere Haupterschütterung: stark in Klana, Dornegg und Illyrisch Feistritz, Fiume und Volosca. Am letzteren Orte scheint die Bewegung am stärksten gewesen zu sein. Der Bericht bei STUR lautet: „Volosca: bis 3 Uhr Früh folgten mehrere heftige Erdstöße, aber Punkt 3 Uhr erschütterte abermals ein sehr heftiger, bei fünf Secunden dauernder, Alles erschreckender Stoss. Demselben folgte nach kaum einer Minute ein zweiter, beinahe gleich grosser Stoss. Von da an vergingen bis 5 Uhr Früh nie fünf Minuten ohne wenigstens eine Erschütterung.“ Der 11. Mai ist übrigens durch sehr zahlreiche Erschütterungen ausgezeichnet, von welchen die STUR'sche Chronik folgende aufzählt:

11. Mai, 4^h 15^m a. m. Fiume: leichter Stoss; Gottschee: schwächere Stöße.
 „ 4^h 30^m a. m. Fiume: leichter Stoss.
 „ 5^h 0^m a. m. Fiume: leichter Stoss.
 „ 8^h 0^m a. m. Volosca: kurzer Stoss.
 „ 9^h 15^m a. m. Fiume: leichter Stoss; Volosca: kurzer, heftiger Stoss.
 „ 9^h 50^m a. m. Fiume: leichte Erschütterung.
 „ 11^h 38^m a. m. Fiume: leichter Stoss.
 „ 1^h 0^m p. m. Fiume: kleine Erschütterung.
 „ 2^h 18^m p. m. Fiume: leichter Stoss.
 „ 2^h 45^m p. m. Triest: Erdbeben.

Vom darauffolgenden Tage (12. Mai) wird keine Erschütterung gemeldet, doch am 13. und 14. machten sich wieder solche bemerkbar.

13. Mai, 9^h 5^m a. m. Fiume: mittelmässig starker Stoss.
 „ 11^h 19^m p. m. Fiume: mittelmässig starker Stoss.

Bis Ende Mai dauern die Erschütterungen in der Gegend von Fiume an, einzelne Tage verstreichen ohne Stoss, an anderen finden 1—3 Erschütterungen statt.

16. Mai, 10^h 0^m p. m. Fiume: dumpfes Dröhnen.
 „ 10^h 25^m p. m. Fiume: eine ziemlich starke Schwingung, die vier Secunden dauerte. Ihr ging ein Getöse voran.
 18. Mai, 10^h 57^m p. m. Fiume: leichte Schwingungen mit vorangehendem Getöse.

19. Mai, 9^h 26^m a. m. Fiume: schwaches Erdbeben.
 21. Mai, 1^h 5^m a. m. Fiume: langgedehntes Rollen und schwache Erschütterung.
 „ 1^h 45^m a. m. Fiume: schwache Erschütterung.
 „ 2^h 5^m a. m. Fiume: ziemlich bemerkbarer Stoss.
 23. Mai, 8^h 25^m p. m. Fiume: schwacher Stoss.
 „ 10^h 45^m p. m. Fiume: schwache Erschütterung.

26. Mai, 4^h a. m. Klana: schwacher Stoss.

„ nach 5 Uhr Nachmittags, Volosca: schwaches, in horizontaler Richtung schwingendes Erdbeben.

27. Mai, 11^{1/2} Uhr Vormittags, Volosca und Castua: eine schwache Erschütterung.

30. Mai, 3^h a. m. Klana und Studena: eine schwache Erschütterung.

Nach Ablauf des Monates Mai wurden die Stösse, wie es scheint, selten, schwache Erschütterungen äussern sich noch auf dem Schauplatz der seismischen Erscheinung, die am 1. März, 10. und 11. Mai so heftig aufgetreten war; bemerkenswerth erscheint, dass noch gegen Ende der Periode ein kleiner Stoss in Veglia vorkam, jener vom 9. Juni, so dass bis zum Schlusse der seismischen Erscheinung das Wandern der Stosspunkte sich äusserte, welches bereits wiederholt Erwähnung fand.

4. Juni, 10^h p. m. Volosca: schwaches Beben.

9. Juni, 8^h 30^m a. m. Veglia: kurzer Stoss.

13. Juni, 4^h—6^h a. m. Volosca: sechs verschiedene schwache Erschütterungen.

8. Juli, Nachmittags in Klana ein schwaches Beben.

Aus dieser Chronik lässt sich eine Reihe von Thatsachen entnehmen, welche für uns von höchstem Interesse sind. Der erste, bereits wiederholt erwähnte Umstand betrifft die Wanderung des jeweiligen Stosspunktes auf einer Zone, welche die Halbinsel Istrien vom Hinterlande abtrennt, nördlich vom Golfe von Triest einen Bogen nach Görz beschreibt, und von da, wie bereits angedeutet wurde, über Udine bis zur Verbindung mit der schon von BERTI und BITTNER vorausgesetzten Schütterzone am Südrande der Alpen verfolgt werden kann. Andererseits setzt sich unsere Schütterzone aus der Gegend von Fiume nach SO., entsprechend dem Streichen des dalmatinischen Karstes fort. Ausserdem haben wir während derselben Erdbebenperiode weniger zahlreiche Erschütterungen kennen gelernt, die auf weiter landeinwärts gelegenen Stosspunkten stattfanden. Grösstentheils haben wir es hier wohl mit Radialstössen zu thun, in vereinzelten Fällen vielleicht auch mit einer peripherischen Linie, welche der Hauptschütterzone parallel läuft.

STUR spricht sich bei Zusammenfassung der gewonnenen Resultate, in den Schlussbemerkungen seiner Arbeit, folgendermaassen aus:

„Die Umgegend von Klana, d. h. das vom Erdbeben am meisten hergenommene Gebiet, lässt sich in eine Ellipse einschliessen, deren Längendurchmesser von NW. in SO. streicht und etwa 4 Meilen lang ist. Klana liegt nahezu im südöstlichen Brennpunkte dieser Ellipse. STUR erörtert ferner den Umstand, dass die Erschütterung vom 1. März 1870 ausser in Klana auch in Laibach und Karlstadt recht heftig aufgetreten ist, es sei aber unmöglich, nach den gegebenen Daten zu bestimmen, ob die Erschütterung in diesen drei Punkten zu gleicher Zeit auftrat, oder ob zwischen dem Eintritte des Ereignisses an jedem dieser drei Punkte ein Unterschied in der Zeit stattfand. Nachdem er ferner noch gezeigt

hat, dass in diesen am stärksten betroffenen Orten die Angaben über Stossrichtung vielfach controvers sind, und auch aus den Beschädigungen, den Spalten der Gebäude und den Bewegungsrichtungen lose gewordener Körper sich für einen und denselben Ort verschiedene Stossrichtungen ableiten lassen, kommt er zu dem Schlusse: „Nach diesen Thatsachen scheint das Erdbeben von Klana in jeder Hinsicht keine Gesetzmässigkeit, sondern nur Unregelmässigkeit aufzuweisen. Es ist kein sogenanntes centrales Erdbeben, da es drei vorzugsweise erschütterte Gebiete hat; es ist kein lineares Erdbeben aus demselben Grunde; es ist endlich auch kein transversales Erdbeben, sondern ein Erdbeben mit einem mässig grossen Verbreitungsgebiete, in welchem vorzüglich drei Stellen, aber ungleich stark erschüttert wurden und die zwischenliegenden Gegenden diese Erschütterung minder stark, mässig oder gar nicht wahrgenommen haben. Die geologische Beschaffenheit des Landes hat, im Allgemeinen genommen, auf das locale stärkere Auftreten der Erderschütterungen in den drei Centren keinen Einfluss nehmen können, da alle drei Centren andere geologische Verhältnisse aufzuweisen haben. Klana selbst liegt mitten im Karstgebiet. Die Gegend von Klana ist dadurch ausgezeichnet, dass hier zwischen zwei ausgedehnten Kalkgebieten ein schmaler Zug von Tasello-Sandstein vorkommt, welcher einerseits sich verengend in Südost nach Fiume und weiter hinaus, andererseits sich erweiternd nach Nordwest fortzieht und theils mit dem Sandsteingebiet von Triest, theils mit dem von Wippach und Görz zusammenhängt. Eine ähnliche Stellung wie Klana haben hundert andere bewohnte Orte im Gebiete dieses Sandsteinzuges, ohne von der Katastrophe mehr als irgend ein anders situirter Ort empfunden zu haben.“

STUR scheint sonach geneigt, den geologischen Verhältnissen der Umgebung von Klana keine entscheidende Bedeutung hinsichtlich der in Rede stehenden Erderschütterung zuzuschreiben. Es ist dies aber in geradezu eminenten Weise der Fall.

STACHE hat in seinen Mittheilungen über die tektonischen Verhältnisse des Gebietes der Küstenländer auch das Terrain, auf welchem sich die seismische Erscheinung des Jahres 1870 abspielte, näher geschildert; er hat gezeigt, dass Istrien durch eine eigenthümliche Linie vom übrigen Karstlande getrennt wird. Uns interessirt hier namentlich die von STACHE 1864 beschriebene „Spalte von Buccari“, die südöstliche Fortsetzung des Reccagebietes, welche von diesem durch eine eigenthümliche Wasserscheide getrennt wird. STACHE sagt über diese Spalte von Buccari¹: „Südlich von dem das Reccagebiet geographisch abschliessenden Dletvorücken und seinen Querriegeln treten die beiden grossen Kreidegebirgskörper des Schneeberger Waldes und der Tschitscherei noch näher aneinander. Sie streichen von da ab fortdauernd durch eine bald mehr, bald minder tief

¹ G. STACHE: Die Eocängebiete in Inner-Krain und Istrien, II. Folge: IV. Die Gebirgsspalte von Buccari, Jahrb. d. k. k. geolog. Reichsanstalt, XIV. Bd. 1864.

eingerissene Spalte getrennt, in parallelen Linien gegen Fiume zu und setzen weiterhin der croatischen Küste entlang bis über Novi hinaus gegen das dalmatinische Küstengebiet zu fort. Der nördliche unmittelbar an die Recca-Mulde stossende Theil der Spalte hat ein steiles, von Nord nach Süd gerichtetes Streichen. Der längere, südliche Theil jedoch biegt wiederum in eine der des südwestlichen Muldenrandes des Recca-Gebietes sehr nahe kommende Nordwest-Südost-Richtung um. Die Länge der ganzen Gebirgsspalte, soweit dieselbe dem zu besprechenden Gebiete zwischen dem Dletvoberg und Novi angehört, beträgt etwas mehr als 12 Stunden. Die Breite derselben übersteigt selten eine halbe Stunde; ja sie ist auf längere Strecken auf eine Viertelstunde und bei S. Cosmo auf kaum 100 Schritt beschränkt. Obgleich die einfache Form einer langen Gebirgsspalte im Allgemeinen nicht auf eine Mannigfaltigkeit in der Ausbildung geographischer und landschaftlicher Verhältnisse schliessen lässt, so ist doch der Charakter dieser Spalte ein so wechselnder, dass eine Absonderung derselben in sechs, durch besondere geographische und landschaftliche Formen gekennzeichnete Einzelgebiete naturgemäss erscheint. Der kürzere nördliche Haupttheil zwischen dem Dletvoberg und Fiume zerfällt in zwei, der längere, südliche Haupttheil der Spalte bis Novi in vier solche Sondergebiete. In jenem ersteren scheiden wir das Gebiet zwischen dem Dletvorücken und den Quellen der Reczina oder das Klana-thal von dem Thalgebiet der Reczina. In dem zweiten erscheinen das Draguthal, der Hafen von Buccari, das Vinodol und das Thal von Novi als besondere Landschaftsgebiete.“

Ueber die Tektonik dieser Gegend bemerkt der Verfasser in seinen „Erdbebenstudien“: „STACHE hat nun zwar eine Anzahl von Profilen aus den verschiedenen Theilen des Spaltengebietes von Buccari gegeben; ich muss gestehen, dass ich mir aus denselben nur dann ein einheitliches Bild zu machen im Stande war, wenn ich von der angenommenen Faltenbildung gänzlich absehend, die Linie Dletvoberg, Buccari, Novi als einen Längsbruch auffasste, auf welchem ein Absitzen des südlichen Flügels und theilweise eine Schleppung der Schichten des nordöstlichen, stehen gebliebenen Randes eintrat. Ich wäre aber geneigt, obwohl ich die Gewagtheit eines solchen Ausspruches über ein mir persönlich unbekanntes Gebiet vollkommen einsehe und die Unzukömmlichkeit einer solchen „Geologie a priori“ zugeben muss, zu glauben, dass die sämtlichen Störungen im Istrianer Karst und in einem guten Theil des gesammten Küstenlandes analogen Vorgängen ihr Entstehen verdanken, d. h. dass die langgezogenen, regelmässigen Linien, in welchen wir die Straten von Kreide und Eocän im Karst und auf den dalmatinischen Inseln aufeinander folgen sehen, nicht durch Falten, sondern durch ebenso viele parallele Brüche verursacht seien.“ Zur Unterstützung dieser Ansicht wurde in den „Erdbebenstudien“ auf die von SUESS in seiner „Entstehung der Alpen“ gegebenen Darstellung der Tektonik des Karstes verwiesen, in welcher es unter anderem heisst: „Man hat ein gewisses Recht, den dalmatinischen

Küstenstrich als den Rand einer grossen Mulde, — einer Geosynklinale in dem Sinne des Herrn DANA anzusehen, deren Gegenflügel im Appenin sichtbar ist. Unsere Küstenlinien aber sind Bruchränder; das Netz von engen Canälen, welches die dalmatinischen Inseln trennt, gleicht ganz und gar dem langmaschigen Geflecht von Sprüngen, welches entsteht, so oft ein halbstarre Körper gebogen wird. Die Tiefe der adriatischen Mulde ist also nach gesunken. Hängt das stufenweise Absitzen des Gebirges in der Tschitscherei mit diesem Nachrücken zusammen?¹ In eingehender Erörterung wurde sodann in den „Erdbebenstudien“ die Analogie zwischen den grossen Brüchen Südtirols und den Störungen im Karst hervorgehoben: „Die Brüche sind solche Verwerfungen, deren Ebenen vom Gebirge abfallen, und auf welchen immer ein mehr oder weniger bedeutendes Absitzen der südlichen Scholle stattgefunden hat. In Folge der weitgehenden Schleppungs-Erscheinungen, die manchmal meilenlange Züge von Schichtgesteinen in hängender, oft senkrechter, bisweilen auch überkippter Schichtstellung erkennen lassen, wird das ursprünglich einfache Bild complicirt, so dass es leicht verkannt werden kann und man wirkliche Falten zu sehen glaubt.“ Als eine derartige Störung (welche im Sinne der oben erörterten Terminologie der Dislocationen als eine Flexur zu bezeichnen wäre) wurde in den „Erdbebenstudien“ auch der Bruch oder die Spalte von Buccari aufgefasst, im Gegensatz zu STACHE, welcher sich über diese Störung mit folgenden Worten äussert: „Das langgezogene Spaltengebiet von Buccari ist eine directe, nur durch die geographische Form einer eigenthümlichen Wasserscheide getrennte, stark verengte, kluffartige Fortsetzung des zu einer breiteren, faltenförmig überkippten Mulde auseinandergespreizten Eocämbietes der Recca. Es stellt trotz mannigfacher localer Abweichungen im Schichtenbau eine lange, im Grossen und Ganzen gegen NO. geneigte und zugleich mit der Richtung ihrer nordwest-südöstlichen Streichungsrichtung zum Meeresniveau mehr und mehr sich senkende Falte dar.“ Dem gegenüber wird in den „Erdbebenstudien“ angenommen: „Es sei diese Spalte nicht sowohl durch eine Falte, als durch einen Bruch verursacht, auf welchem ein Absitzen des SW.-Flügels stattgefunden hat. Die Ansicht, welche SUSS nur hypothetisch ausgesprochen hat, dass das stufenweise Absitzen des Gebirges in der Tschitscherei mit einem Nachsinken des Terrains zusammenhänge, hat, wie ich glaube, ihre volle Berechtigung, und wir haben im Istrianer Karst dieselbe Erscheinung, die in weitaus grösserem Maassstabe sich im tirol-venetianischen Grenzgebirge bemerkbar macht, wo die Absitzungen auf den Bruchlinien oft weit über 1000 Meter betragen.“²

In übereinstimmendem Sinne äussert sich SUSS im dritten Abschnitte des ersten Bandes seines grossen Werkes: „Das Antlitz der Erde“, welcher der Erörterung der adriatischen Senkung gewidmet ist. Er bemerkt

¹ E. SUSS: Die Entstehung der Alpen, S. 92.

² Jahrbuch der kk. geolog. R.-Anstalt, 1878, S. 437.

hier über die Karstbrüche: „In der Nähe von Caporetto am oberen Isonzo zeigt sich die erste jener langen Dislocationslinien, welche von hier an jedenfalls bis Antivari, d. i. durch vier Breitengrade, wahrscheinlich aber noch viel weiter gegen Süden fortziehen, und welche mit beständigem südöstlichen Streichen für den Bau der östlichen Küstenländer des adriatischen Meeres maassgebend sind. Es giebt kein Gebiet in Europa, in welchem Dislocationen von so ausserordentlicher Länge und Regelmässigkeit bekannt wären, und es ist dasselbe durch den rühmlichen Wetteifer österreichischer Geologen im Karstgebiete, im westlichen Croatien sowie durch die ganze Erstreckung Dalmatiens erforscht worden. STUR hat die nordwestlichen Theile am Isonzo, STACHE Istrien und die benachbarten Theile, HAUER den Zusammenhang durch ganz Dalmatien geschildert. Aber erst nachdem auch das westliche Bosnien und die Herzegowina erforscht waren, konnte MOJSISOVIC ihren Zusammenhang mit dem Senkungsgebiet der Südalpen andeuten und konnte BRITNER zeigen, dass bis in die Herzegowina das Wesen dieser langen Dislocationen dasselbe ist. Endlich hat sie TRETZE auf dem montenegrinischen Gebiete noch weiter gegen Süd verfolgt. Es sind durchwegs Flexuren oder Brüche, deren südwestlicher, dem Meere zugekehrter Schenkel gesenkt und deren südwestlicher Schenkel zuweilen überschoben ist. Es wiederholt sich also in weit grösserem Maassstabe der Bau der Flexuren Südtirols; während aber dort Senkung und Ueberschiebung gegen Südost, weiterhin gegen Süd erfolgte, tritt sie hier gegen Südwest ein. So vollzieht sich das Absinken des dinarischen Gebirgszuges gegen die Tiefe des adriatischen Meeres.“¹

Den Verlauf der Karstbrüche schildert SUSS in folgender Weise: „Ein sehr grosser Bruch von beinahe ostwestlicher Richtung schneidet nach STUR östlich von Caporetto das Gebirge von Dachsteinkalk ab, welches den mächtigen Krn und die Höhen südlich vom Wocheinthale bildet, und der Dachsteinkalk ist südwärts über die abgesunkenen Kreidekalken geschoben. Dieser Bruch scheint die Fortsetzung jener langen Dislocationslinie zu sein, welche nach TARAMELLI's Angaben von Barcis über Gemona nach Starasella bei Caporetta läuft. Südlich von diesem Hauptbruche zeigt sich die erste der südöstlich laufenden Linien. Sie scheint nicht in die Richtung der vorhergehenden Linie einzulenken. Sie entspricht dem Flusslaufe des Isonzo bei Tolmein, findet ihre Fortsetzung im Thale der Idria gegen Tribussa, legt bei der Bergstadt Idria, wo sie von vielen untergeordneten Brüchen begleitet wird, die überstürzten und gänzlich verkehrten Lagen des Carbon und der Trias auf eine längere Strecke knapp neben den abgesunkenen Kreidekalk und verläuft weiter über Zirknitz gegen Laas. Eine zweite Linie erscheint südwestlich von Canale, läuft nördlich von Görz an dem Fusse der über die abgesunkenen Gebirge hinübergeschobenen Bergmassen des Tarnowaner und Birnbaumer

¹ E. SUSS: Das Antlitz der Erde, I., S. 344.

Waldes hin und ist von STACHE durch die Spalte von Buccari, nördlich von Fiume, bis an die Meeresküste bei Novi und, in Zersplitterung, auf die Insel Veglia verfolgt worden. Eine dritte Linie beginnt hart am Meere, bei Duino nordwestlich von Triest; sie führt schräge über die istrische Halbinsel und zerlegt sich hier in treppenförmige Abstürze. Im Westen von Veglia, auf der Insel Cherso, auf Lussin und Unie erscheinen die weiteren Fortsetzungen dieser istrischen Dislocationen. So streichen, bald durch Zersplitterung vermehrt, bald in geringerer Zahl, diese grossen Störungslinien fort; eine derselben bildet einen grossen Theil der Küste des dalmatinischen Festlandes.“

Suess erörtert weiters die Bildung des adriatischen Meeres und zeigt, dass der nördliche Theil desselben relativ jungen Ursprunges sei. Er macht auf das Fehlen mitteltertiärer Meeresablagerungen im periadriatischen Gebiete von Istrien bis Montenegro aufmerksam. Die zahlreichen dalmatinischen Inseln sind ganz frei von jüngeren Meeresbildungen, erst auf der mitten in der Adria gelegenen kleinen Insel Pelagosa treten solche auf und STACHE betrachtet geradezu die Inselkette Lagosta-Pelagosa-Tremiti als die Südküste des einstigen adriatischen Festlandes. Längs der italienischen Ostküste treten, wie Suess hervorhebt, einzelne Gebirgsschollen auf, welche als Bruchstücke der eingesunkenen dalmatinischen Tafel betrachtet werden können. „Die erste dieser Schollen ist der Monte Conero bei Ancona. Das zweite, viel bedeutendere Stück ist das breite und vielfach gegliederte Vorgebirge des Monte Gargano. Dasselbe erhebt sich in einzelnen Theilen über 1000 Meter, bricht steil gegen den Apennin ab und ist durch eine von jungen Meeresablagerungen erfüllte Niederung von demselben getrennt. Seine steil geneigten Schichten bestehen nach Bucca's Angaben aus tithonischem cretacischem und eocänem Kalkstein und eocänem Mergel. Endlich sind hieher die ausgebreiteten Vorkommnisse von Kreidekalkstein zu rechnen, welche in den Murgien von Bari und unter den jüngeren Ablagerungen Apuliens bis Otranto hinaus bekannt sind. Der Gegensatz all' dieser Strecken gegen den Apennin ist so gross, dass DE GIORGI vorschlug, dieselben als ein besonderes orographisches System, als „Apulo-Garganische Gruppe“ abzuscheiden. Zur Bekräftigung der Ansicht, dass hier ein Zusammenhang quer über die heutige Adria stattgefunden habe, macht NEUMAYR darauf aufmerksam, dass nach KOBELT die heutige Landschneckenfauna des Monte Gargano nicht italienischen, sondern dalmatinischen Charakter an sich trägt.“¹

Suess verweist ferner auf das Vorkommen fluviatiler Sande in dem südlichsten Theile Istriens sowie auf den kleinen Inseln Unie, den beiden Canidole und Sansego; er erinnert an das Vorkommen der Reste grosser Landthiere, welche auf vielen Inseln in Breccien gefunden wurden, und mit Recht als Beweis für den einstigen Zusammenhang mit dem Festland betrachtet werden. Auch die bekannte Thatsache, dass auf mehreren der

¹ E. SUSS: a. o. a. O. S. 346.

dalmatinischen Inseln der Schakal noch heute lebend angetroffen wird, ist in diesem Sinne zu deuten.

Es unterliegt sonach keinem Zweifel, dass die Entstehung der periadriatischen Senkung im geologischen Sinne sehr jungen Datums ist, die Erdbeben sind als Zeichen dafür aufzufassen, dass diese Senkung auch heute noch andauert. SUESS sagt hierüber: „Es ist aber aller Grund vorhanden, zu vermuthen, dass die Bewegungen, durch welche in neuerer Zeit das adriatische Meer erweitert wurde, auch heute nicht abgeschlossen sind. Die Region der periadriatischen Brüche ist heute häufigen und verschiedenartigen Bewegungen ausgesetzt. Es ist nach den Beobachtungen von BITTNER und HOERNES anzunehmen, dass das bedeutende Erdbeben von Belluno vom 29. Juni 1873 auf zwei parallel gegen NNO. gerichteten Verschiebungsf lächen, auf wahren Blättern, vom Südrande der Alpen quer durch dieselben bis in die böhmische Masse erfolgt und daher jenen Erdbeben sehr ähnlich gewesen ist, welche am Nordabhange der Alpen eintreten. Eine Erklärung für diese aus dem Senkungsfelde heraus erfolgende Erschütterung bin ich zu geben nicht in der Lage. Allerdings sind auch andere ähnliche Blätter mit Verschiebungen, z. B. bei Raibl und im Thale von Weissenfels vorhanden, und ist es nicht unwahrscheinlich, dass auch das grosse Erdbeben von Villach vom Jahre 1348 ein Querbeben gewesen sei. Aber es ist eine bekannte Thatsache, dass Zengg, Zara, Ragusa und andere Theile der durch die Dislocationslinien gebildeten Küstenstrecken Dalmatiens zu wiederholten Malen der Schauplatz der heftigsten Erschütterungen gewesen sind, und HOERNES hat mit Recht darauf aufmerksam gemacht, dass in den Jahren 1869 und 1870 die Karstlinie Görz-Klanafiume-Ottocac, d. i. die zweite der oben angeführten Dislocationslinien, eine Strasse wandernder Stosspunkte gewesen ist, welche in allen wesentlichen Merkmalen der peripherischen calabrischen Linie von 1783 gleicht. TIETZE hat Aehnliches an der Dislocationslinie in der Nähe der montenegrinischen Küste bei Antivari wahrgenommen.“¹

Wenden wir uns nun zur Besprechung eines anderen seismischen Gebietes, zur Betrachtung der Erdbeben der nordöstlichen Alpen. Der äussere Saum derselben ist sehr häufig der Sitz transversaler Beben, welche sich in der Regel mehr oder minder weit über den Rand des Gebirges hinaus fortsetzen, und indem sie die schmale vorgelagerte Ebene verqueren, sich mehr oder minder weit in die böhmische Masse erstrecken. Die Ebene, welche die böhmische Masse von den Alpen scheidet, ist in Bayern breit, verengt sich zwischen Ybbs und St. Pölten, und erweitert sich dann abermals bis weit gegen Nordost, wo nördlich von Brünn die älteren Gesteine der Sudeten näher an den Aussenrand des Kettengebirges herantreten und bei Weisskirchen geradezu die äusseren Zonen der Karpathen und die devonischen Gesteine der Sudeten zusammenstossen. Sowohl in den westlichen Karpathen, die ja als unmittelbare Fortsetzung der nord-

¹ E. SUESS a. v. a. O. S. 347 u. 348.

östlichen Alpen zu betrachten sind, wie in diesen, lassen die grösseren Erdbeben ein deutliches Streben erkennen, sich quer über die trennende Zone aus dem Kettengebirge in das jenseitige Plateau fortzusetzen. SUSS hat dieses Verhältniss im zweiten Abschnitte des ersten Bandes seines Werkes: „Das Antlitz der Erde“ eingehend geschildert, und die Verbreitung der neueren Erdbeben des in Rede stehenden Gebietes auf einem Kärtchen dargestellt, welches in Figur 49 wiedergegeben ist.

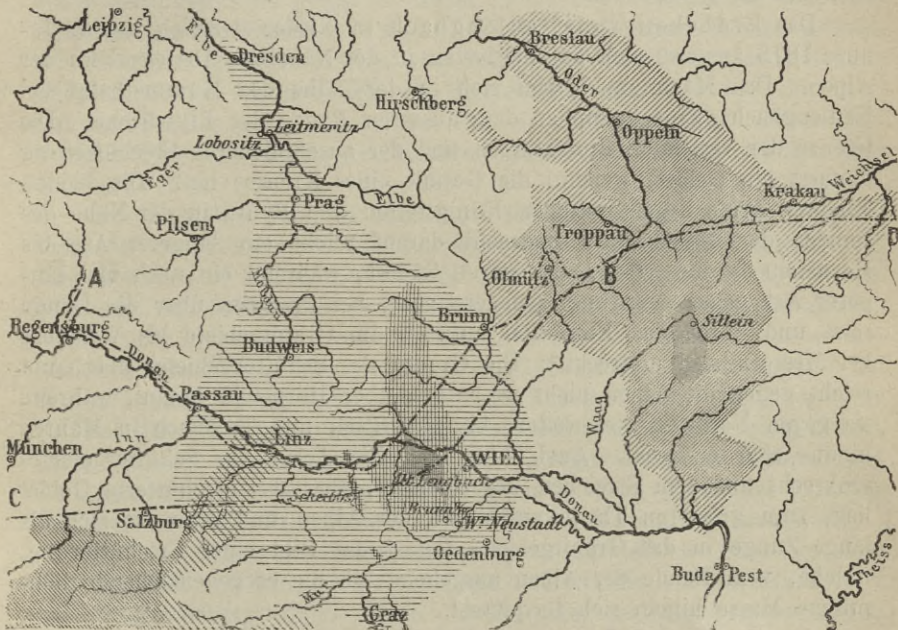


Fig. 49. Neuere Erdbeben in den nordöstlichen Alpen und den westlichen Karpathen nach E. SUSS (Antlitz der Erde, I. S. 105).

A, B. Südrand der böhmischen Masse und des südlichen Theiles der Sudeten.

B. Berührungspunkt bei Weisskirchen.

C, B, D. Nordrand der Alpen und Karpathen.

Als Beispiele für die von SUSS hervorgehobene Tendenz der Verbreitung transversaler Beben aus dem Nordsaume der Alpen in das vorgelagerte ältere Massiv werden von ihm insbesondere angeführt: das Beben von Sillein 1858, das Erdbeben von Neulengbach 1873, ältere Erschütterungen, welche auf derselben Linie (Kamplinie) stattfanden, wie jene von 1590, 1768, das Beben von Scheibbs 1876. SUSS sagt über diese Erdbeben folgendes: „Das Erdbeben von Sillein am 15. Januar 1858 hatte sein Maximum im oberen Waagthale in einem unregelmässig elliptischen, etwa von Nord gegen Süd gestreckten Raume, in welchen die Granitmasse des Mincowberges hineinragt. Der Schütterkreis dieses Bebens reichte, allmählich verengt, südwärts bis Gran an der Donau. Er verbreitete sich östlich bis Tarnow und westlich bis Brunn, erstreckte sich in unregelmässiger Weise durch einige Theile des Riesengebirges

und einen grossen Theil der Sudeten und reichte gegen Nord bis Trebnitz nördlich von Breslau.¹ Obwohl dieser Stoss aus dem Innern der Karpathen hervorging, hat sich die Erschütterung nicht nur quer durch die vorliegenden Ketten, über die Ebene und bis in das jenseitige Gebirge, nämlich das Riesengebirge und die Sudeten fortgesetzt, sondern es liegt sogar ein sehr beträchtlicher Theil des Schüttergebiets ausserhalb der Karpathen. Die grössere Achse desselben steht quer auf das Streichen des Gebirges.

Das Erdbeben von Neulengbach in Niederösterreich am 3. Januar 1873 äusserte sich am heftigsten in der Nähe des Aussenrandes der Alpen. Das Maximum befand sich in der Nähe des Hummelhofes bei Neulengbach, ganz knapp an dem äusseren Rande der Flyschzone. Die Grenze der verticalen Bewegungen und der ansehnlicheren Erschütterung umfasst ein Gebiet, welches die Gestalt eines Kreuzes hat. Die beiden kürzeren Arme liegen zwischen Königstetten und Pyhra in der Nähe des Randes der Flyschzone; senkrecht darauf reicht ein längerer Ast bis Hornstein in die Alpen, also gegen Südost, während ein noch viel längerer Ast gegen Nordwest sich erstreckt, bei Preuwitz über die Donau setzt und durch das Kampthal aufwärts im Granitgebiete bis Wildberg bei Messern sich erstreckt.² Die Grenze des Schüttergebietes überhaupt reicht gegen die Alpen nicht wesentlich über Hornstein hinaus, während sie gegen Nordwest viel weiter, bis Meseritsch und Trebitsch in Mähren hinaus sich erstreckt. Auch hier liegt die Achse des Schüttergebietes senkrecht auf dem Streichen des Gebirges, aber das erschütterte Gebiet liegt zum grösseren Theile ausserhalb der Alpen und erstreckt sich als lange Zunge in das Granitgebiet. Es ist das Bild einer Erschütterung, welche, vom Rande der Alpen ausgehend, in die entgegenstehende böhmische Masse hinein sich fortpflanzt.

Am 12. Juni 1874 wiederholte sich die Erscheinung an derselben Stelle, doch mit geringerer Intensität; diesmal reichte der Stoss gegen Nordwest bis Raabs und gegen Südost bis Klausen Leopoldsdorf, drang also im Granit jenseits der Ebene abermals viel weiter vor, als in die Alpen hinein, in welchen er nicht einmal die Flyschzone überschritt.

Es zeigt sich aber, dass dieselbe Stelle und dieselbe Fortpflanzungslinie auch in früherer Zeit zu wiederholten Malen heftig erschüttert worden sind, wobei das Maximum des Stosses bald knapp an dem Aussen-

¹ SUSS nennt als Quellen für das Studium dieses Erdbebens:

L. H. JEITELES: Bericht über das Erdbeben am 15. Januar 1858 in den Karpathen und Sudeten. Sitzungsber. d. k. Akad. d. Wissensch. Wien, 35. Bd. 1858, S. 511—592 und Karte.

JUL. SCHMIDT: Untersuchungen über das Erdbeben vom 15. Jan. 1858. Mittheil. d. geograph. Gesellsch. Wien II. S. 131—203 und Karte.

A. KORNHUBER: Erdbeben vom 15. Januar 1858, besonders rücksichtlich seiner Verbreitung in Ungarn. Ber. d. Vereins f. Naturk. in Pressburg, 1858.

² Vergl. Figur 50, auf welcher das Hauptschüttergebiet des Erdbebens vom 3. Januar 1873 dargelegt ist.

rand der Alpen bei Lengbach, bald innerhalb der Alpen, bei Brunn unweit von Wiener-Neustadt, an der Kreuzungsstelle dieser Erdbebenlinie und jener Thermenlinie lag, welche die Senkung der Alpen bei Neustadt bis in die Nähe von Wien begrenzt. Ueber dieses Senkungsfeld, welches mit Tertiärbildungen und flach aus den Alpen hervorgeschobenen Schuttkegeln bedeckt ist, gegen Süd hinaus hat man diese seismische Linie jedoch niemals verfolgt. Es sind vielmehr die auf dieser Linie eingetretenen Erderschütterungen stets gegen Nordwest in die böhmische Masse hinaus in Entfernungen fortgepflanzt worden, welche bei heftigen Stößen grösser, bei schwachen geringer waren, aber öfters bis über Prag hinausreichten, während in die Alpen hinein die Erstreckung stets eine viel geringere war und häufig mit localen, zuweilen für die Ortschaften verheerenden Zerrüttungen der jungen Ausfüllungen des Senkungsfeldes bei Neustadt endete.

Das Erdbeben vom 29. Juni 1590 auf dieser Linie reichte bis Iglau; jenes überaus heftige vom 15. September 1590, das heftigste, welches seit dem Bestehen ähnlicher Nachrichten von diesem Theile der Alpen ausgegangen ist, hatte auch sein Maximum in der Nähe von Neulengbach, reichte über Iglau mit grosser Stärke bis Prag und war noch in Leitmeritz sehr bemerkbar. Am 27. Februar 1768 erfolgte der Hauptstoss bei Brunn an der Thermenlinie und wurde Neustadt beschädigt; der Stoss lief auf derselben Linie gegen Nordwest und reichte über Iglau hinaus. Diese Beispiele mögen genügen, um die Wichtigkeit und die Beständigkeit der Linie und den Grad der Beständigkeit in dem Wesen der Erschütterungen zu ermessen. Diese Linie wurde die Kamplinie genannt.¹

Als ausserhalb der Kamplinie, an dem Südrande des Senkungsfeldes von Neustadt, in Mürzzuschlag und am Semmering, am 14. März 1837 ein heftiger Schlag erfolgte, blieb der Charakter des Schüttergebietes derselbe. Man konnte die Bewegung südwärts nur bis Bruck a. d. Mur verfolgen, während sie nordwärts über Prag bis Alt-Bunzlau beobachtet wurde.

Weiter im Westen trat am 17. Juli 1876 ein ziemlich heftiges Erdbeben in der Umgebung von Scheibbs in Niederösterreich auf; das Maximum lag wie in Lengbach knapp an dem äusseren Rande der Alpen, und die Erschütterung war sehr heftig auf einem langen und schmalen Gebiete, welches von Scheibbs gegen Südsüdost bis Kindberg in Steiermark und gegen Nordnordwest über Scheibbs hinaus, bis Persenbeug am Rande der böhmischen Masse reichte. Das gesammte Schüttergebiet zeigte aber eine birnförmige oder flaschenförmige Gestalt, indem es in die Alpen nur bis Graz, gegen Ost bis Pressburg, gegen West bis Mondsee und Passau, gegen Nord aber mit allmählich sich verengendem Umriss bis Dresden sich erstreckte. Noch in Lobositz an der Elbe läuteten die

¹ E. SUSS: Die Erdbeben Niederösterreichs. Denkschrift der k. Akademie der Wissensch. Wien, 33. Bd., 1873.

Glocken. Auch dieses Erdbeben erfolgte also quer auf das Streichen der Alpen und es reichte durch die ganze Breite der böhmischen Masse bis nach Sachsen.

In allen diesen Fällen, das ist bei allen Erdbeben, deren Ausgangspunkt in diesem Theile des Alpensystems lag und deren Schüttergebiet genauer bekannt ist, mit Ausnahme einiger sehr untergeordneter und örtlich beschränkter Beben, ist die Erschütterung quer auf das Streichen des Gebirges erfolgt. Stets schien dieselbe vornehmlich einer mehr oder minder scharf begrenzten Linie zu folgen; es sind zu wiederholten Malen und mit verschiedener Intensität Beben auf derselben Linie aufgetreten, und der Stoss hat sich jedesmal weiter nordwärts in das gegenüberliegende archaische Plateau fortgesetzt, als südwärts in das gefaltete Kettengebirge, aus welchem er hervorging. Der Grund dieser Uebereinstimmung ist heute noch nicht bekannt, aber ich halte die Ansicht für berechtigt, dass die Ursache dieser Erschütterungen eine gemeinsame sei, und dass die in diesen Erdbeben sich äussernde Kraft stets vorhanden ist und nur zeitweise zur Aeusserung gelangt.“¹

Es ist nun von grosser Wichtigkeit, festzustellen, inwieferne diese transversale Erdbebenlinien mit Störungen im Aufbau des Kettengebirges zusammenhängen. In einer Monographie der niederösterreichischen Erdbeben zeigte SUSS, dass dieselben an mehrere Linien gebunden sind, welche einen ganz verschiedenen Charakter besitzen. Fig. 50 bringt dieselben zur Anschauung.

Die bereits erwähnte Kamplinie (C-D der Karte) ist durch folgende Erschütterungen gekennzeichnet:

a) 3. Januar 1873, grösste Wirkung am Hummelhofe bei Altlengbach, heftigere Erschütterung längs einer Linie, welche sich $12\frac{1}{2}$ Meilen lang vom Grillenberg bei Hörnstein bis Wildberg bei Messern verfolgen lässt.

b) 15. September 1590, zerstörendes Erdbeben, dessen Maximum bei Thurn und Rappoltenkirchen ganz nahe mit jenem der viel schwächeren Erschütterung vom 3. Januar 1873 zusammenfällt.

c) 26. und 27. Februar 1768. Die im Jahre 1873 erschütterte Strecke blieb ruhig, dagegen wurden die beiden Fortsetzungen dieser Linie, einerseits Brunn und Neustadt, andererseits Počatek und andere Orte in Böhmen heftig getroffen.

d) 13. Juli 1841. Auf derselben Linie traf ein Erdstoss zugleich Neustadt und Unter-Plank (im Kampthale).

e) 25. Juni 1844. Leichte Erschütterung zu Drösiedl unweit Messern.

Nicht minder wichtig ist die zweite Linie, welche SUSS die Mürzlinie nennt (E-F der Karte), und welche das Schüttergebiet von Villach mit der Niederung von Neustadt verbindet. SUSS nennt auf dieser Linie folgende Maxima einzelner Erdbeben:

¹ E. SUSS: Das Antlitz der Erde, I. S. 109.

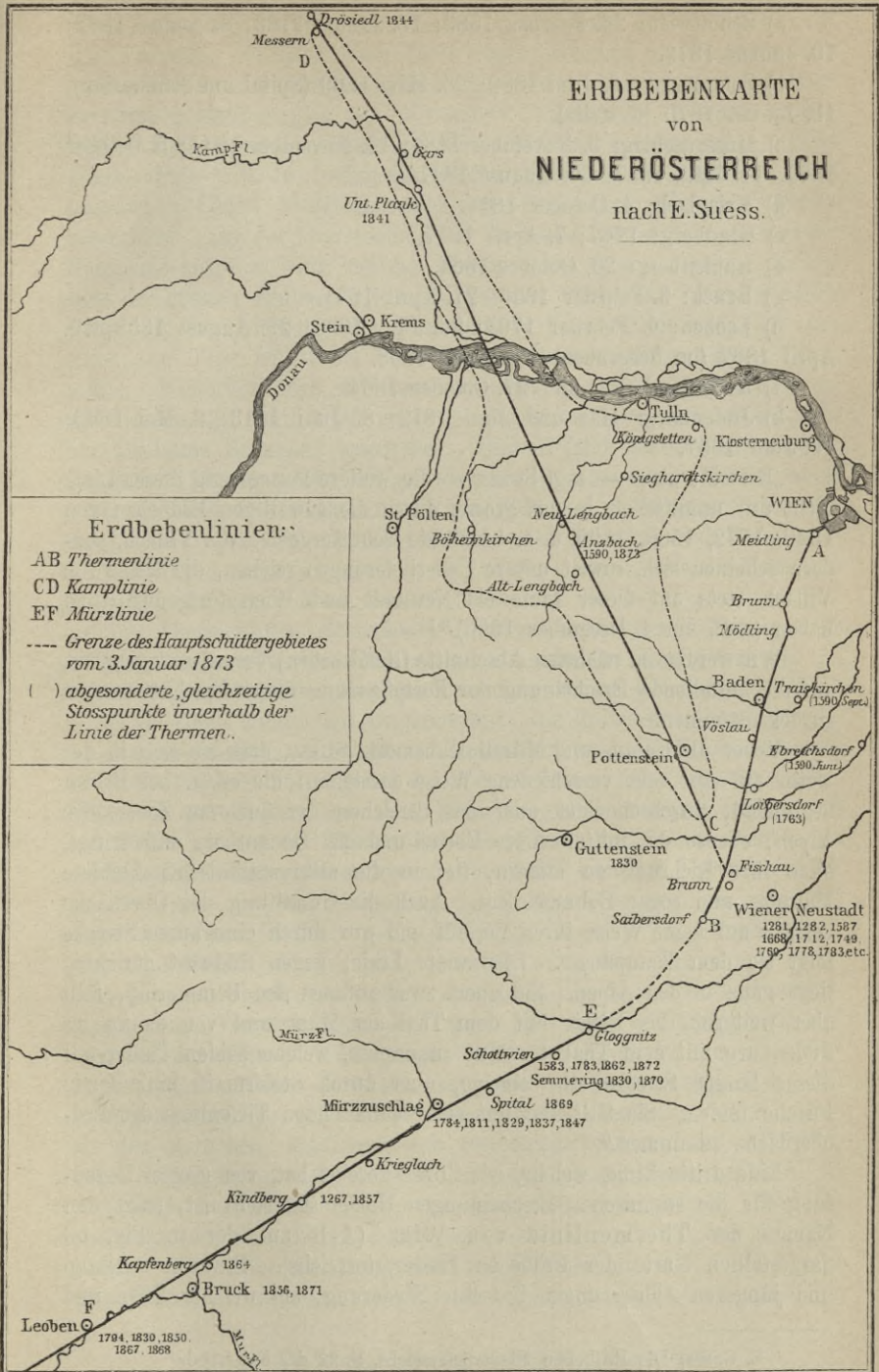


Fig. 50. Erdbebenkarte von Niederösterreich.

a) Schottwien: 26. Februar 1583; 18. Januar 1783; 8. August 1862; 10. Januar 1872.

b) Semmering: 8. Juni 1830; 25. März 1869 (Spital am Semmering); 18. Januar 1870 (Göstritz).

c) Mürzzuschlag: 3. November 1784; 17. November 1811; 5. October 1829; 14. März 1837; 30. August 1847.

d) Krieglach: 4. October 1811.

e) Kindberg: 1267; 7. April 1857.

f) Kapfenberg: 26. October 1864.

g) Bruck: 3. Februar 1856; 21. April 1871.

h) Leoben: 6. Februar 1794; 26. Juni 1830; 29. August 1858; 10. April 1867 (im Seegraben); 24. April 1868.

i) Knittelfeld: 26. und 27. October 1864.

k) Judenburg: Mai und Juni 1812; 8. Juni 1813; 3. Mai 1843; 19. Juni 1857.

„Es trifft aber — sagt SUESS — die weitere Fortsetzung dieser Linie nicht nur unmittelbar in das grosse, durch die gewaltigen Erdbeben von 1348, 1572, 1580, 1690 u. a. berühmte Schüttergebiet von Villach, sondern scheinen sich, soweit unsere Ueberlieferungen reichen, die Stösse von Villach stets auf dieser Linie bis Neustadt und Wien fortgepflanzt zu haben (z. B. am 4. December 1690).“¹

Wir werden im nächsten Abschnitte (Relaisbeben) Veranlassung haben, auf die auffallende Erscheinung der Fortpflanzung dieser Erschütterungen zurückzukommen.

Ueber die Kamp- und Mürzlinie bemerkt SUESS, dass sie sich in der Natur auf eine sehr verschiedene Weise darstellen: die erste, bei Brunn beginnend, durchschneidet quer das Streichen der äusseren Zonen der Alpen, ebenso die mitteltertiäre Ebene und das Donauthal, und dringt, ohne ihre Richtung zu ändern, tief in die altkrystallinischen Gebiete Mährens und sogar Böhmens ein. Auch die Gestaltung der Oberfläche verräth auf keine Weise ihren Verlauf und nur durch eine kurze Strecke folgt sie dem Kampflusse. Die zweite Linie, gegen Südwest gerichtet, liegt ganz in den Alpen. Sie quert zwar anfangs den Semmering, fällt aber weiterhin bis Bruck mit dem Thal der Mürz und von da an bis Judenburg mit dem Thal der Mur zusammen, welche beiden Thäler auf dieser langen Strecke eine einzige, quer durch Steiermark hinlaufende Furche bilden. Sie fällt also mit einer auffallenden Tiefenlinie der Oberfläche zusammen.“

Eine dritte Linie, welche, wie SUESS gezeigt hat, von grosser Bedeutung für die seismischen Erscheinungen Niederösterreichs ist, trägt den Namen der Thermenlinie von Wien (A-B auf der in Fig. 50 dargestellten Karte der Erdbeben Niederösterreichs). Die von tertiären und jüngeren Ablagerungen bedeckte Niederung, auf welcher Wien und

¹ E. SUESS: Die Erdbeben Niederösterreichs, S. 32 des Sep.-Abdr.

Wiener Neustadt liegen, gehört einem inneralpinen Senkungsgebiete an. Diese Senkung ist nach West durch einen Abbruch der Kalkalpen begrenzt, welcher das Streichen derselben kreuzt und auf welchem die Thermen und Schwefelquellen von Wirzendorf (Seilerbrunn), Fischau, Brunn, Vöslau, Baden und dem Theresienbade in Meidling hervorkommen. Diese Thermenlinie tritt in bedeutsame Beziehungen zu den beiden anderen seismischen Linien Niederösterreichs, wie SUESS mit folgenden Worten hervorhebt: „Auf der Thermenlinie, an der Stelle, an welcher sie von der Kamplinie gekreuzt wird, bei den Thermen von Brunn, traf der Hauptstoss des grossen Erdbebens vom 27. Februar 1768 ein. Etwas nördlich davon, in der Richtung der Thermenlinie liegt Wöllersdorf, wo man schon zwei Tage früher ein unterirdisches Getöse wahrgenommen haben wollte. Weiterhin folgt auf derselben Linie die merkwürdige Stelle, an welcher am 23. April 1626 aus der erbebenden Erde zum ersten Male der „heilsame Brunnen“ emporstieg. Hierauf folgt Leobersdorf, welches im Jahre 1763 eine sehr heftige, aber wie es scheint ganz locale, wenn auch vielleicht mit einem ungarischen Erdbeben gleichzeitige Erschütterung erlitt. Das Erdbeben von 1768 hat bei Enzesfeld und Baden eine Vermehrung von Quellen gezeigt; bei Gainfarn wurde stets die Fortpflanzung von Süd gegen Nord deutlich beobachtet. Weiter gegen Nord sind auf der Thermenlinie selbstständige Maximalpunkte von Erdbeben nicht bekannt, denn trotz des Umstandes, dass einzelne Erschütterungen in Wien als sussultorische bezeichnet werden, nehme ich Anstand, Wien selbst als einen habituellen Ausgangspunkt von Erdbeben zu bezeichnen.“¹

SUESS erörtert sodann das Auftreten von zweierlei Erschütterungen in Wien. Seitliche Stösse gehen von anderen Stossgebieten, von der Kamplinie oder von Ungarn aus. Jene Erschütterungen hingegen, welche sich von Süden her auf der Thermenlinie nach Wien fortpflanzen, werden als verticale Erschütterungen auftreten. Man hätte sonach in Niederösterreich eine zweifache Art der Verbreitung der Erdbeben anzunehmen; nämlich: „eine mittelbare, wobei die Fortpflanzung durch die in Schwingungen versetzten Massen der Erdrinde vermittelt wird, und eine unmittelbare, nach gewissen durch Jahrhunderte constanten Linien, welche Zerreissungsspalten oder Verwerfungen oder irgend eine andere Discontinuität der Erdrinde darstellen.“ Weiters hebt SUESS die Häufigkeit der Erdbeben hervor, welche Wiener-Neustadt heimgesucht haben und erklärt dieselbe in folgender Weise: „Betrachtet man nun die Umgebung von Neustadt als den südlichen, keilförmig sich verschmälernden und am schärfsten durch Bruchränder abgegrenzten Theil des grossen Senkungsfeldes, so tritt auch die Bedeutung der seismischen Linien in anderer Weise als bisher hervor. Die Mürzlinie entspricht nahezu der Fortsetzung des keilförmigen Endes der Niederung oder der Thermenlinie selbst, die Kamplinie dagegen geht radial von ihr aus. Wo beide Linien sich unter der

¹ E. SUESS: Die Erdbeben Niederösterreichs. S. 33 d. Sep.-Abdr.

Ebene schneiden, d. h. unter der Stadt Neustadt, befindet sich die Stelle, welche öfter als irgend eine andere in Niederösterreich die Quelle von Erdbeben gewesen ist. Neustadt wird als Centrum genannt in den Erdstössen von 1281, 18. Mai 1282, 20. September 1587, 27. August 1668, 10. April 1712, 15. und 16. Juni 1718, 8. Juni 1749, 26. Februar 1768 (zugleich mit Brunn), 5. Februar 1769, 3. December 1778, 18. November 1776, 13. Februar 1783, 29. und 30. October 1802, 13. Juli 1841 (mit Unter-Plank), 28. November 1858, 19. December 1868, also seit sechs Jahrhunderten, und wenn die Aufzeichnungen so ausführlich wären als für Wien, so wäre die Zahl der bekannten Fälle gewiss eine noch weit grössere.“¹

Ein inniger Zusammenhang zwischen den seismischen Erscheinungen auf der Kamplinie und jenen des Senkungsfeldes zeigt sich ferner darin, dass zu wiederholten Malen, während auf der Kamplinie ein Erdbeben ausserhalb der Thermenlinie eintrat, zugleich, oft in einer Entfernung von vielen Meilen innerhalb der Thermenlinie, also im Senkungsfelde, irgend ein Punkt local auf das stärkste betroffen wurde. SUESS führt dafür folgende Beispiele an:

a) 1590, 29. Juni. Erschütterung an der Kamplinie. — Weit davon, innerhalb des Senkungsfeldes, in Ebreichsdorf, ist der Stoss so heftig und steil, dass Wasser aus den Brunnen geworfen wird.

b) 1590, 15. September. Verheerendes Erdbeben an der Kamplinie. Hauptstoss bei Thurm und Rappoltenkirchen unweit Alt-Lengbach. — Weit davon, innerhalb des Senkungsfeldes, wird Traiskirchen zerstört; 30 Häuser stürzen daselbst ein.

c) 1768, 26. Februar. Grosses Erdbeben in zwei Revieren; das eine umfasst den nördlicheren Theil der Kamplinie in Mähren und Böhmen, das zweite Brunn und Neustadt.

d) 1841, 13. Juli. Erdbeben ziemlich heftig zu Neustadt, zugleich in grosser Entfernung davon zu Unter-Plank an der Kamplinie.

Ganz anders wie die Kamplinie, auf welcher zuweilen heftige Erdbeben eintraten, während ein zweites Maximum der Erschütterung innerhalb oder an der Thermenlinie lag, verhält sich die Mürzlinie. Getrennte Maxima fehlen und nur ein einziges Mal, am 14. März 1837, wurde bei einem Stoss, der von der Mürzlinie ausging, eine heftigere Wirkung bei Ebreichsdorf beobachtet. Andererseits pflanzen sich die heftigen Erschütterungen der Umgebung von Villach und jene von Leoben auf der Mürzlinie nach Niederösterreich und weiterhin auf der Thermenlinie gegen Wien fort. Die auffallendsten Erscheinungen, auf welche wir im nächsten Abschnitt (Relaisbeben) zurückzukommen haben werden, zeigte in dieser Hinsicht das grosse Erdbeben vom 4. December 1690, welches Villach verheerte, auf den genannten Linien seine Fortpflanzung fand und in Wien heftige Wirkungen äusserte (Beschädigung des Stefansthurmes). Zu-

gleich trat ein weiteres, jedoch nicht mit verheerenden Wirkungen verbundenes Maximum in grosser Entfernung bei Meissen in Sachsen ein, bezüglich dessen SUSS die Frage aufwirft, ob dasselbe nicht von der Kamplinie abhängig gewesen wäre, auf welcher sich die Erschütterung bis nach Sachsen fortgepflanzt hätte.

Während die Mürzlinie einer stark ausgeprägten, dem Streichen des Gebirges folgenden Tiefenlinie entspricht, und die Thermenlinie mit dem scharf bezeichneten Abbruch des östlichen Theiles der nördlichen Kalkalpen gegen die inneralpine Senkung von Wien zusammenfällt, soll — nach der oben citirten Stelle in SUSS' Monographie der niederösterreichischen Erdbeben — die Gestaltung der Oberfläche in keiner Weise den Verlauf der Kamplinie verrathen, welche quer das Streichen der äusseren Zonen der Alpen sowie die mitteltertiäre Ebene und das Donauthal durchschneidet und, ohne die Richtung zu ändern, tief in die altkrystallinischen Gebiete des böhmischen Massivs eindringt. Es hat jedoch A. BITTNER gezeigt, dass die Kamplinie mit sehr bemerkenswerthen transversalen Störungen im Aufbau des Kettengebirges zusammenhängt. Den gesammten Bau der nordöstlichen Kalkalpen wie der ihnen vorgelagerten Flyschzone beherrscht nach BITTNER'S Untersuchungen die Schuppenstructur in ausgeprägteste Weise. Die langen Streichungslinien haben hier die nordöstliche Richtung der Karpathen und es wiederholt sich immer wieder dieselbe Schichtfolge stets nach Südost geneigt, wobei die aufeinanderfolgenden Schichtwiederholungen als die Hangendflügel schiefer Falten aufzufassen sind, deren Liegendflügel sammt und sonders verdrückt wurden. Von diesem Schuppenbau macht die Gegend der Hohen Wand bei Wiener Neustadt eine auffallende Ausnahme. Die Hohe Wand läuft der Thermenlinie in grosser Nähe parallel und bezeichnet den stärksten Abbruch der Kalkalpen dieser Gegend. Obwohl nun im ganzen Gebirge die Ueberschiebung der Falten gegen Nordwest vorherrscht, und soweit gegangen ist, dass durch Verdrückung der liegenden Falten die Schuppenstructur in ausgezeichneter Weise zur Ausbildung kam, tritt uns an dem inneren Rande der Hohen Wand eine Ueberschiebung im entgegengesetzten Sinne, eine Rückfaltung entgegen, in Folge deren auf eine lange Strecke hin die Triaskalke der Wand über den überkippten Gosaubildungen lagern. BITTNER hat nun beobachtet, dass die ganze, gegen Südost rückgefaltete und überschobene Masse von jüngeren, queren Störungen durchsetzt wird. Während die grosse Wechsel- oder Ueberschiebungsfläche am Fusse der Hohen Wand (in Figur 51 mit *nn*, *n' n'* bezeichnet) SW.-NO. streicht, ist die Richtung jener queren Störungen (von welchen eine in Fig. 51 auf der mit *mm* bezeichneten Linie dargestellt erscheint) SSO.-NNW. (genauer N. 15° W.)

Diese queren Störungen stellen sich als Blätter dar, auf welchen eine staffelförmige Verschiebung der angrenzenden Gebirgsthelle stattgefunden hat, so dass wir an ihnen im queren Sinne Wiederholungen der Serie der Gosaubildungen und der ihnen auf der durchsetzten und verworfenen

Ueberschiebungsfäche folgenden Triasgesteine wahrnehmen. Auf den Blättern hat Bildung von Rutschflächen (Harnischen) sowie von Tafeln von Reibungsbreccie stattgefunden. BITTNER hat in ausführlicher Darstellung gezeigt, dass solche Blätter in mehrfacher Wiederholung auftreten, wir können jedoch an dieser Stelle den betreffenden eingehenden Darstellungen¹ nicht folgen, sondern müssen uns begnügen, der von BITTNER betonten Uebereinstimmung der Richtung dieser Blätter mit der Kampmlinie und den eigenthümlichen Beziehungen übereinstimmend streichender

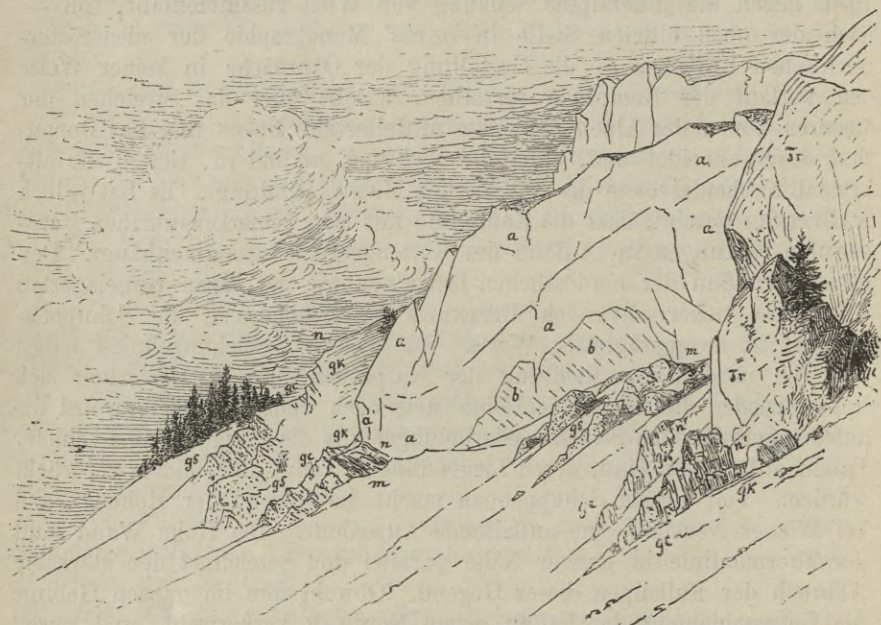


Fig. 51. Der Fuss des Heiligensteines an der Hohen Wand bei Wiener Neustadt (nach SUESS: Antlitz der Erde, I. S. 184).

Tr = Triaskalk; gk = Gosau-Kalkstein; gc = Gosau-Conglomerat; gs = Gosau-Sandstein; *nn'n'* Wechsel-(Ueberschiebungs) Fläche zwischen Trias und überstürzter Kreideformation; *m m m* Linie der Verschiebung an der Blattfläche *a a a*; *b b* Tafel von Reibungsbreccie an dem Blatte.

transversaler Störungen zur Thermenlinie zu gedenken. BITTNER sagt hierüber²: „Bei Besprechung des Kalkes der Hohen Wand und der ihm angelagerten Gosauschichten wurde darauf aufmerksam gemacht, dass grosse Brüche, von Verwerfungen begleitet, die Wandkalke mitsammt den Gosaubildungen durchsetzen, und zwar geschieht das in einer Art, welche zu der Voraussetzung nöthigt, dass die Aufrichtung und Ueberkippung der Gosauschichten schon erfolgt sein musste, ehe diese Klüfte sich bildeten, da die gesammte Masse einschliessig die Gosaubildungen als ein Ganzes verworfen und die Kreide sogar an den Verwerfungen geschleppt erscheint. Diese Brüche sind also sehr jugendlichen Alters. Ihre Richtung

¹ A. BITTNER: Die geologischen Verhältnisse von Hernstein in Niederösterreich, Wien 1882, S. 247—250.

² a. a. O. S. 307 u. 308.

ist eine in N. 15° westlich verlaufende. Störungen, welche die Streichungslinien verqueren, scheinen im Gebiete der Karte überhaupt eine grosse Rolle zu spielen. Ihnen ist die höchst auffallend hervortretende, von tertiären Bildungen erfüllte Depression neben dem Unterlaufe der Triesting zuzuschreiben. Am südwestlichen Rande dieser Depression enden plötzlich in ganz übereinstimmender Weise alle höheren Bergzüge: die Wand, die Mandlingzüge, die Dolomitkette des Waxenecks. Im Nordosten erhebt sich dagegen ebenso unvermittelt das Eiserne Thor. In sehr merkwürdiger Weise wird diese Depression von Erdbebenercheinungen heimgesucht, und die von SUESS, Denkschriften XXXIII, nachgewiesene Kamptlinie, die Linie der stärksten Erschütterungen in Niederösterreich, verläuft in nordnordwestlicher Richtung innerhalb dieser Depression, durch die Orte Brunn, Hernstein, Grillenberg, Neuhaus, Hafnerberg, Klausen-Leopoldsdorf u. s. f. bezeichnet. Die grosse Depression der unteren Triesting und die Erdbeben der Kamplinie scheinen ohne Zweifel in ursächlichem Zusammenhange zu stehen. Aber auch im Nordosten jenseits des hohen Lindkogels sind die transversalen Störungen noch nachweisbar und die das Hauptstreichen so auffallend kreuzenden Schichtenstellungen im unteren Helenenthale wohl auf solche zurückzuführen. Gegen die Wiener-Neustädter Ebene ist das gesammte Gebirge durch einen grossen Bruch abgeschnitten, welcher von Thermalerscheinungen begleitet wird. Die Ortschaften Saubersdorf, Brunn, Fischau, Hölles, Vöslau, Baden, Gumpoldskirchen, Mödling etc. bezeichnen die Lage der längs dieses Abbruches aneinander gereihten warmen Quellen. Und es ist nicht zu verkennen, dass die bedeutendsten von ihnen gerade an jenen Stellen liegen, an welchen die Thermallinie von den oben erwähnten nordwestlich verlaufenden Transversalstörungen getroffen wird. So verhalten sich die Thermen von Fischau und Brunn in ähnlicher Weise zu der Kamplinie, wie diejenigen von Vöslau und Baden zu den grossen Querbrüchen, welche die schmale, in die Höhe gepresste Masse des Hohen Lindkogels zu beiden Seiten begrenzen.“

Diese Ausführungen BITTNER's sind von grosser Bedeutung für die Erklärung der seismischen Erscheinungen Niederösterreichs, denn sie erweisen nicht blos den Zusammenhang der Kamplinie mit transversalen Störungen des Kettengebirges, sondern lassen auch die Art des Zusammenhanges der Erschütterungen der Kamplinie mit solchen innerhalb oder auf der Linie der Thermen klar erkennen. Die einschlägigen Beobachtungen BITTNER's haben auch SUESS veranlasst, seine Ansicht über die Kamplinie wesentlich zu modificiren, denn während er 1873 am Schlusse seiner Monographie der Erdbeben Niederösterreichs sich dahin ausspricht, dass die Bruchlinien, welche so grosse Senkungen, wie die inneralpine Niederung von Wien begrenzen, nicht nur die gesammte Reihe der sedimentären Gesteine der Alpen, sondern auch die darunter liegenden Felsarten bis zu sehr grosser Tiefe durchsetzen müssten, und dass man ebenso die Kamplinie ohne eine sichtbare Ablenkung quer durch die Kalkalpen, die

Flyschzone, die Ebene und einen so grossen Theil der alten Gesteine Mährens und Böhmens hinlaufen sähe; — während er auch 1875 diese Ansicht von der Erstreckung der Kamplinie weit in's altkrystallinische Massiv hinein festhält und von ihr sagt: „Diese Linie mag wohl ihren Ursprung in einer Tiefe nehmen, in welcher der Gegensatz zwischen dem alpinen und ausseralpinen Gebirge nicht besteht“¹; sagt SUESS neuerlich von derselben Linie: „BITTNER hat den Parallelismus der N. 15° W. streichenden, zahlreichen Blattflächen des nordöstlichen Theiles der Alpen mit der Kamplinie betont. Man wird aber darum nicht anzunehmen haben, dass solche Blattflächen sich bis in die jenseitige archaische Masse fortsetzen. Demnach wäre die weite Verlängerung der Schüttergebiete gegen Nord nur ein Phänomen der Fortpflanzung, ein Anzeichen der Richtung der Stösse, welche aus den Alpen hinaus erfolgt sind.“²

In vielen anderen Gegenden der Alpen wurde ein mehr oder minder deutlicher Zusammenhang der seismischen Erscheinungen mit dem Gebirgsbau nachgewiesen. So hat es insbesondere H. HOFER versucht, in einer Monographie der Erdbeben Kärntens³ in ähnlicher Weise wie dies SUESS für Niederösterreich gethan hat, den Zusammenhang mit den tektonischen Verhältnissen zu erweisen. Aber viele von den durch HOFER angenommenen Stosslinien sind weder durch die seismischen Erscheinungen selbst genügend charakterisirt, da sie denselben ziemlich willkürlich zu Grunde gelegt werden, noch fallen sie mit Bruchlinien zusammen. Dies gilt insbesondere von den nordwestlich gerichteten Stosslinien, von denen HOFER annimmt, dass durch sie ein höchst merkwürdiger Zusammenhang der Erdbeben der südlichen Kalkalpen und jener Westdeutschlands bedingt würde. Wir kommen auf diese Beziehungen im nächsten Abschnitte noch zurück und beschränken uns hier auf die Bemerkung, dass in anderen Fällen der Zusammenhang der seismischen Erscheinungen Kärntens mit tektonischen Störungen viel sicherer nachgewiesen erscheint. In besonders klarer Weise geschah dies durch R. CANAVAL für das Erdbeben von Gmünd am 5. November 1881⁴. Auch in einer weiteren, der Erörterung der ostalpinen Erdbeben des Jahres 1882 gewidmeten Abhandlung⁵ hat CANAVAL sich nicht darauf beschränkt, eine sorgfältige Zusammenstellung der Nachrichten zu geben, sondern veröffentlichte neue Belege für die als Stosslinien activ werdenden Brüche und interessante Ideen über den Mechanismus der sich senkenden Schollen der Erdrinde. Für das Beben vom 5. November 1881 nimmt CANAVAL entsprechend seiner

¹ E. SUESS: Die Entstehung der Alpen, S. 85.

² E. SUESS: Das Antlitz der Erde, I. S. 110.

³ H. HOFER: Die Erdbeben Kärntens und deren Stosslinien, Denkschriften der kais. Akad. d. Wissensch., Wien, 42. Bd., 1880.

⁴ B. CANAVAL: Das Erdbeben von Gmünd (Kärnten) am 5. November 1881. Sitzungsber. der k. Akad. d. Wiss. Wien 1882.

⁵ R. CANAVAL: Beiträge zur Kenntniss der ostalpinen Erdbeben des Jahres 1882; Jahrbuch des naturhistorischen Landesmuseums von Kärnten, XVII. Bd. 1885.

Verbreitung nach bestimmten Linien einen Zusammenhang mit verschiedenen Störungen an. Von diesen sind die Depression Krumpendorf-Feldkirchen, ferner die Möllthallinie POSEPNY's, welche auch der Richtung des unteren Drauthales von der Einmündung der Möll bis Villach entspricht, und endlich die von HOFER für das Beben vom 22. October 1876 construirte Gitschthallinie fast parallel und streichen gegen Stunde 20 (ungefähr WNW.-OSO.). Diese Störungen waren wiederholt activ, so dürfte z. B. auf die von HOFER nicht berücksichtigte Möllthallinie das Beben vom 18. März 1855 bezogen werden. Ausser diesen drei Linien waren nach CANAVAL am 5. November 1881 noch andere Störungslinien als Stosslinien thätig, so eine dem oberen Lieserthale zwischen Gmünd und Leoben entsprechende Linie, welche WSW.-ONO. verläuft und eine andere, dem unteren Lieserthal zwischen Gmünd und Lieserhofen entsprechende, deren Richtung SSW.-NNO. ist. Alle diese Linien aber sind, wie CANAVAL nachweist, durch Erosionsfurchen, welche von Störungen bedingt sind, sowie durch Verschiebungs- und Rutschflächen gekennzeichnet.

In der Schweiz besteht, wie bereits in der Einleitung erwähnt wurde (siehe S. 25) seit 1878 eine über Anregung Professor A. HEIM's von der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft in's Leben gerufene Erdbebencommission, die eine sehr eifrige Thätigkeit entfaltet und seit November 1879 die in der Schweiz so häufig auftretenden seismischen Erscheinungen zum Gegenstand genauer Erhebungen und sorgfältiger Studien machte. Im Anhange zu dem Berichte über die Erdbeben der Schweiz in den Jahren 1888—91¹ gab der gegenwärtige Schriftführer der Commission eine Uebersicht über die zwölfjährige Thätigkeit derselben², welcher wir folgende Angaben entnehmen. Im Ganzen wurden in den Jahren 1880 bis einschliesslich 1891 nicht weniger als 81 verschiedene Beben mit 585 einzelnen Erdstössen ohne Zuhilfenahme seismischer Apparate wahrgenommen, wobei mehr als 300 im Simmenthale vom April bis October 1885 verspürte nicht mitgerechnet sind. In der Zahl 81 sind sieben grosse Beben inbegriffen, durch welche die Schweiz wahrscheinlich nicht primär erschüttert worden ist, nämlich:

- Das westalpine Beben vom 20. Juli 1881,
- das untersavoyische Beben vom 10. December 1883,
- das badische Beben vom 24. Januar 1884,
- das westalpine Beben vom 23.—29. November 1885,
- das Erdbeben von Morea vom 27. August 1886;
- das ligurische Erdbeben vom 23. Februar 1887,
- das veroneso-vcentinische Beben vom 7. Juni 1891.

¹ J. FRÜH: Die Erdbeben der Schweiz in den Jahren 1888—1891, Annalen der schweizerischen meteorologischen Centralanstalt, Jahrg. 1891.

² Die früheren Berichte der Erdbebencommission, erstattet von FOREL, HEIM, FORSTER, FRÜH, TARNUTZER, erschienen in den Jahrbüchern des tellurischen Observatoriums zu Bern, herausgegeben von Prof. D. A. FORSTER.

Nach Abzug derselben kommen dann für eine zwölfjährige Periode auf die Schweiz 74 Erdbeben mit Erschütterungsgebieten von wenigen bis mehr als 200 Kilometer Durchmesser. Sie vertheilen sich auf sämtliche Monate des Jahres; doch waren sie in den Wintermonaten (December, Januar, Februar) mehr als doppelt so häufig wie im Sommer (Juni, Juli, August). Als „Hauptgesichtspunkte aus der Naturgeschichte der Beben“ der Schweiz hebt FRÜH folgende hervor:

„1) Es gelang nie, klar und zwanglos ein Epicentrum zu finden, etwa als gemeinschaftlicher Schnittpunkt der Stossrichtungen oder als Oberflächenprojection eines in der Tiefe gelegenen Stosspunktes; vielmehr erfolgten die Erschütterungen von Zonen oder Flächen aus, oder es wurde der grössere Theil des Erschütterungsgebietes wahrscheinlich primär bewegt.

2) Nach der Lage des Erschütterungsgebietes zum Streichen der Gebirgsschichten kennen wir Längs- und Querbeben.

3) Es giebt habituelle Stossgebiete; so wurden Graubünden, das St. Gallische Rheinthal, das Säntisgebiet, das untere Rhonethal oder Savoyen-Westschweiz wiederholt bewegt.

4) Intensität und Areal des Erschütterungsgebietes stehen meistens im umgekehrten Verhältniss zu einander, woraus zu schliessen ist, dass die Erschütterung in der Hauptsache nicht elastisch fortgepflanzter Stoss, sondern ihre Ausdehnung mehr oder weniger das Abbild der primär, horizontal oder vertical, einseitig bewegten Scholle ist.

5) Nach ihren Ursachen können wir die Erderschütterungen zurückführen auf locale Senkungen von Schuttkegeln an Seen, auf Auswaschung von Gyps und Salz, vorherrschend auf tektonische Vorgänge, auf Gleichgewichtsschwankungen des gefalteten Alpen- und Jurasystemes.“

Diese weitaus vorherrschenden tektonischen Beben sind es, welche uns an dieser Stelle vor Allem interessiren, ihnen gegenüber treten die durch andere Ursachen bedingten Erschütterungen vollkommen in den Hintergrund, wie z. B. die eigenthümlichen Erschütterungen, welche am 7. Juni 1891 um 5^h 45^m p. m. in Vevey und Tour de Peilz am Genfersee beobachtet wurden und offenbar mit einer Senkung des Schuttkegels der Veveyse zusammenhängen.

Die in der Schweiz so zahlreichen tektonischen Beben liefern einen Beweis für die von HEIM in seinem grossen Werke über den Mechanismus der Gebirgsbildung ausgesprochene Ansicht, dass ohne eine zahllose Menge solcher Erschütterungen der langsamste Faltungsvorgang nicht denkbar wäre (siehe S. 218). Wir wollen aus der grossen Zahl solcher Beben, wie sie in den Arbeiten der schweizerischen Erdbebencommission sorgfältig geschildert erscheinen, einige Beispiele betrachten.

Das Graubündner Beben vom 7. Januar 1880, welches von drei Stössen gebildet wird, die um 12^h 30^m, 3^h 40^m und 4^h 25^m a. m. statt-

fanden, war, wie A. HEIM gezeigt hat¹, ein ausgesprochenes Querbeben. Seine maximale Ausbreitung fällt in Süd-Nord-Richtung vom Bergell bis an den Fläscherberg und beträgt ungefähr 80 Kilometer. Diese Längsrichtung ist diejenige der alten Rheinstromthäler (Westrhein = Avers, Schams, Domleschg, Kunkels, Taminathal; Ostrheinstamm = Septimer, Oberhalbstein, Lenzerheide, Chur, Luziensteig — vergl. HEIM: Untersuchungen über den Mechanismus der Gebirgsbildung, I. S. 321). „Schon in sehr alter Zeit — sagt HEIM — war hier durch die Thalausspülung die Festigkeit der Alpen etwas gebrochen. Wahrscheinlich fällt in diese Querzone die „Rheinlinie“ der Geologen, zugleich eine starke Horizontalverschiebung, indem die beiderseits derselben gelegenen Gebirgsmassen nicht zusammenpassen wollen. Oestlich dieser Querzone sind die triadischen Schichten sehr stark, westlich gar nicht erkenntlich ausgebildet, es fällt also jedenfalls in unsere Querbebenzone eine mechanische Discontinuität im Alpenkörper, und deshalb ist das Fortgehen von Verschiebungen in diesem Gebiete mehr als bloß möglich, es ist hier viel wahrscheinlicher als an vielen anderen Orten.“

Die von HEIM angenommene Querbebenzone enthält die beiden angeführten alten Rheinläufe, mit dem zwischen denselben heraus modellirten, fast geradlinigen Süd-Nord gerichteten Querkamm: Cima di Lago oder Cima di Cavi, Weissberg, Piz Curver, Stätzerhorn, Calanda, welcher Kamm nur durch einige Thaleinschnitte, von denen derjenige des Schynpasses geologisch gesprochen ganz junger Natur ist, durchschnitten wird. In diese Zone fallen die meisten Punkte, an welchen der erste Stoss verspürt wurde, und in dieser Querzone wird allgemein die Stossrichtung mit unbedeutenden Abweichungen als S.-N. oder N.-S. bezeichnet. Das Beben ist also ein echtes Alpentransversalbeben und macht den Eindruck des Fortgehens einer Transversalverschiebung. Die Breite, in welcher das Beben fühlbar wurde, beträgt in der Längsrichtung der Alpen oft nur 20 Kilometer, z. B. von Andeer (Schams) bis Savognin (Oberhalbstein). Eine Ausnahme davon machen zwei Alpenlängslinien, welche die Querbebenzone schneiden. Die nördliche der Beiden ist das Vorderrheinthal und dessen nach Osten bis zum Schnittpunkt mit dem Prättigau verlängerte Richtung. Sie liegt ganz in der Streichungsrichtung der Schichten und fällt im östlichen Theile mit einer scharfen, hier und da zum Bruche gesteigerten Fälte zusammen. Die südliche Linie entspricht ebenfalls dem Streichen der Alpen und der Gesteinsschichten. In diese Linie fällt westlich das Hinterrheinthal, dessen verlängerte, gegen ONO. zielende Richtung den Piz Curver übersetzt und dann in die Thalstrecke Tiefenkasten-Filisur fällt. In diesen beiden Längszonen, welche die Querbebenzone schneiden, breitete sich die Erschütterung in der Streichrichtung der Schichten auf je 55 Kilometer aus. Sehr wesentlich ist der Umstand,

¹ A. HEIM: Die schweizerischen Erdbeben vom November 1879 bis Ende 1880. Bern 1881.

dass auf diesen Längszonen die Stöße ganz vorwiegend in der Längsrichtung empfunden wurden, wie die von HEIM veröffentlichte graphische Darstellung, in welcher alle zuverlässigen Stossrichtungen eingetragen sind, ergibt. Selbst da, wo die Längszonen die Querbebenzone schneiden, wird der Stoss theilweise in der Richtung der kreuzenden Längszonen empfunden. Daraus wird nach der Ansicht HEIM's sehr wahrscheinlich, dass die in den beiden Längszonen gefühlte Erschütterung eine auf gespannten Linien in der Streichrichtung der Schichten fortgepflanzte, von der Hauptquerbebenzone angeregte Erschütterung, und die hier gefühlte Richtung die Fortpflanzungsrichtung des primären Stosses war, während dieser letztere als ein Verschiebungsruck quer zu den Alpen auf der Querbebenzone aufzufassen ist. Wenn dieser letzteren eine Verschiebungsfläche entspricht, so wird die Erschütterung in N.-S. und S.-N.Richtung beiderseits der Verschiebungsfläche fühlbar sein, und es ist deshalb aus dem Erdbeben nicht möglich, die ganz genaue Lage derselben anzugeben; — vielleicht wird es geognostischer Untersuchung später gelingen, sie aufzufinden. Obschon man sich im Allgemeinen darüber, ob der Stoss S.-N.-oder N.-S.-Richtung hatte, sehr leicht täuscht, bleibt es doch sehr auffallend, dass die der Querbebenzone angehörigen, östlich von der zwischen den alten Westrhein und den Ostrhein fallenden, oben namhaft gemachten Querkammlinie liegenden Beobachter alle S.-N.; die westlich derselben liegenden Beobachter N.-S. angehen. Die Trennung fällt zwischen Cresta (Avers), Mutton, Lenz östlicherseits und Sufers, Sils, Thusis, Haldenstein westlicherseits. Nachdem HEIM noch der ausserhalb des eigentlichen Erschütterungsgebietes zu Davos und Glarus beobachteten Stöße gedacht hatte, welche in die Kategorie der Relaisbeben gehören, und deshalb im nächsten Abschnitte erörtert werden sollen, fasst er die Ergebnisse seiner Untersuchung über das in Rede stehende Beben mit folgenden Worten zusammen: „Das Erdbeben vom 7. Januar 1880 in Graubünden ist also ein Querbeben mit zur Gebirgsrichtung transversaler, gestreckter Erschütterungszone und transversalen Stößen, wobei nach beiden Seiten longitudinal in zwei einzelnen Longitudinalzonen die Erschütterung sich etwas weiter seitlich von der queren Hauptzone fortgepflanzte. Hier können wir somit die Querzone als das wahrscheinlich dauernd etwas verschobene Stück Erdrinde von den Longitudinallappen, in welche blos die Erschütterung sich seitlich abgesplittert und elastisch fortgepflanzt hat, unterscheiden.“

Ein gutes Beispiel eines longitudinalen Bebens geben die Erschütterungen des Juragebirges im December 1879. Wir entnehmen der Zusammenstellung HEIM's folgende Angaben:

1) 1879, December 4., ungefähr 9 Uhr 30 Min. Morgens, Erschütterung in Colombier (jurassisches Ufer des Neuenburgersee). Der schwache Stoss wurde als Horizontalstoss gefühlt und erzeugte Klappern von Bildern an der Wand und von Geschirr im Kasten. Von keinem anderen Orte her geschieht dieses Stosses Erwähnung.

2) 1879, December 4., Zeit 5 Uhr 33 Min. 30 Sec. Abends. Eine Erschütterung wird dem Nordwestufer des Lemansees entlang fühlbar, während am südlichen Ufer nichts verspürt worden ist. Die meisten Beobachter aus Genf berichten, dass der Stoss von unten nach oben in verticaler Richtung erfolgt sei. Die Fortpflanzungsrichtung wird widersprechend angegeben. In Morges wurden drei unmittelbar aufeinander folgende Horizontalstösse in ost-westlicher Richtung verspürt. In Lausanne war der Stoss schon sehr schwach. Seine grösste Intensität hatte er in Genf, wo Läuten von Hausglocken, Krachen des Gebäudes vernommen wurden. Auch hier stieg jedoch die Intensität nicht über den Grad 3 der FOREL'schen Skala. Berichte über dieses Beben liegen übrigens bloss aus Alleverd, Genf, Nyon, Morges und Lausanne vor. Die Ausbreitung dieses Stosses lässt ihn als ein Longitudinalbeben erkennen, welches von dem Winkel, da Alpen und Jura verschmelzen, dem inneren Rande der Jura entlang sich parallel den Ketten in SSW.-NNO.-Richtung auf etwa 150 Kilometer Länge, wovon 50 in die Schweiz fallen, verfolgen lässt, während seine Breite wohl nicht auf 10 Kilometer steigt.

3) 1879, December 4., „gegen Mitternacht“, starker Stoss in St. Loup, „ca. 2 Uhr Früh“, „nach Mitternacht“ in Babendorf.

4) 1879, December 5. Zeit: nach 5 Uhr Morgens, schwache Erschütterung beobachtet in Lausanne und Etoy (zwischen Morges und Rolle) und mit der Zeitangabe 5 Uhr 32 Min. in Locle, „gegen 4 Uhr“ in Richen bei Basel und in Schopfheim (Grossherzogthum Baden). Diese der Zeit nach übereinstimmenden unabhängigen Angaben von fünf so weit auseinandergelegenen Orten beweisen, dass in der That zu genannter Zeit eine schwache Erschütterung eintrat.

5) 1879, December 5., ca. 10 Uhr Vormittags, schwacher Erdstoss in Itingen (Baselland).

6) 1879, December 5., Zeit: Mittel aus 37 brauchbaren Angaben = 2 Uhr 31 Min. 30 Sec. Nachmittags. Das Hauptgebiet dieser Erschütterung ist der Baseler Jura. Im Ganzen sind 97 Berichte eingegangen. Fast alle Beobachtungen betreffen Punkte, welche innerhalb des Polygons: Aarau, Frick, Schopfheim, Basel, Benken bei Basel, Hägendorf bei Olten liegen. Ausserhalb dieses Gebietes, dessen verschiedene Durchmesser in der Länge nicht erheblich voneinander abweichen, ist das Beben nur an ganz vereinzelt Stellen bemerkt worden, und zwar gegen Südwest am Jura-Rand in Solothurn und Bipp (Kanton Bern), gegen Osten in Schaffhausen, Schleithelm (Kanton Schaffhausen), Badenwyler am Blauen (Schwarzwald), in Russikon bei Pfäffikon (Kanton Zürich) und in Niederaach bei Amriswil (Kanton Thurgau). Die grosse Mehrzahl der Angaben über Stossrichtungen (14 von 17) fallen mehr weniger genau in die Streichrichtungen der Juraketten (SW.-NO. oder O.-W.), nur zwei Beobachter geben S.-N. an (aus Zunzgen und Riggenbach). Bezeichnend ist, dass von Orten, die oben auf einem Juragewölbe stehen, wie Wartburg („Säli-Schlössli“) bei Olten, von solchen, die ganz im Kettenjura liegen (Waldenburg,

Diegten), von solchen, die am Rande des Kettenjura stehen (Solothurn, Benken), von solchen, die den Thälern des Plateaujura angehören und solchen des Rheinthal und des Schwarzwaldes (Schopfheim, Badenwyler) die gleiche Stossrichtung (im Mittel WSW.-ONO.) angegeben wird. „Es scheint also hier, wie HEIM hervorhebt, wiederum nicht ein Stoss von einem Punkte oder einer Zone aus sich radial verbreitet zu haben, sondern das Schüttergebiet that einen einheitlichen Ruck.“

7) 1879, December 5., „nach 9 Uhr Abends“, wird von Richen bei Basel eine Nacherschütterung angegeben.

8) 1879, December 12., „zur Zeit der Morgendämmerung“, wird ein Beben aus dem Kanton Solothurn von Losdorf und Gösigen übereinstimmend von mehreren Beobachtern gemeldet.

Nach HEIM bilden die aufgezählten Erschütterungen zusammen ein grösseres Beben der Juraregion. Mehrere der Stösse (1, 3, 5 und 7) sind jeweilen nur von ein oder zwei Beobachtern gemeldet, so dass die Möglichkeit einer Täuschung nicht ganz ausgeschlossen ist. Die drei ausgedehnteren Erschütterungen (2, 4 und 6) zeigen ein Vorrücken des Erschütterungsgebietes in der Jurazone von SW. nach NO., indem die erste von Alleverd bis Lausanne, die darauf zeitlich folgende von Etoy bis Schopfheim, die dritte von Solothurn bis Schaffhausen und Niederaach reichte. Alle drei, besonders die beiden ersteren, sind sehr vorwiegend in der Längsrichtung des Jura entwickelt, die erste erschüttert mehr den inneren Rand, die zweite greift schon etwas tiefer in die Ketten hinein, die dritte geht durch das ganze Juragebirge hindurch von dem Rande der Molasse bis in den Rand des Schwarzwaldes hinein. Ganz bestimmte Linien oder Flächen als Stosslinien, als Dislocationsflächen anzugeben, ist nach dem vorhandenen Material nicht möglich. Nr. 8 ist wohl bloss als locales Nachbeben zu bezeichnen, die durch die drei Hauptbeben ausgelösten Spannungen in der Erdrinde hatten hier noch nicht genügendes Gleichgewicht erzeugt. Das gleiche gilt wohl auch von einem 1879 den 12. December circa 2 $\frac{1}{2}$ Uhr Nachmittags in Oberweiler am Fusse des Blauen im Schwarzwald verspürten localen Stosse. Derselbe wurde als Schlag von unten verspürt, schien von WSW. nach ONO. fortzuschreiten und war von aus SW. kommendem Donnerrollen begleitet.¹

Als Beispiel eines schwachen Longitudinalbebens der ostschweizerischen Molasse sei die Erschütterung vom 15. Februar 1888 angeführt. An dem genannten Tage um 6 Uhr 15 Min. Morgens wurde ein Erdstoss verspürt in St. Gallen, St. Fiden, Heiligkreuz, Herisau, Teufen, Bühler, Heiden, Grub, Wolfhalden, Arbon, Rorschach, Thal und zwar in diesem Molassegebiet, wesentlich im Nordflügel der nördlichen Antiklinale, ganz allgemein, wenn auch schwach. Wahrscheinlich liefen aus diesem Grunde nur aus so vielen Orten und im Ganzen nur 27 Berichte ein. Ein Be-

¹ A. HEIM: Die schweizerischen Erdbeben vom November 1879 bis Ende 1880, S. 3—6 des Sep.-Abdr.

richterstatter in Mels fühlte den Erdstoss um 7 Uhr Früh als ein dreimaliges Zittern, wodurch Bilder an einer N.-S.-Wand in's Schwanken gerieten. Ferner wurde der Stoss wahrgenommen „gegen 6 Uhr“ in Tettngang als ein „Schwanken“ von W.-O., in Friedrichshafen um dieselbe Zeit leicht, in Hemigkofen bei Friedrichshafen um 5 Uhr 45 Min. Morgens in zwei auf Sandkies gebauten Häusern als ein bis zwei Secunden dauernder Seitenruck. Da aus Obertheuringen und Ober-Eschach (N.-Friedrichshafen) und von weiter nördlichen Orten Oberschwabens gar keine Berichte eingegangen sind, dürfte die Angabe aus Habsthal bei Bechingen auf ein besonderes locales Beben zu beziehen sein, oder auf Irrthum beruhen. Obschon sich die Erschütterung von Friedrichshafen bis Mels fühlbar machte, liegt thatsächlich ein specielles ostschweizerisches Molassebeben vor, das sich als schmales Längsbeben mit Achsen von 35 und 10 Kilometer wesentlich im Kanton Appenzell und dem benachbarten St. Gallen abspielte und als kleine Verschiebung der Molasseschichten in der Nähe der Antiklinale aufzufassen ist.¹

Während in der Schweiz, sowohl im Alpen- wie im Jura-Gebirge, die tektonischen Erschütterungen überaus häufig auftreten, wie schon an früherer Stelle hervorgehoben wurde (S. 218), sind echte Einsturzbeben in der Schweiz eine vergleichsweise seltene Erscheinung. Darauf, dass gerade die von VOLGER als Einsturzbeben geschilderten Erschütterungen, die aus dem Wallis ihren Ursprung nahmen, dieser Kategorie nicht zuzurechnen sind, wurde bereits früher hingewiesen (S. 323 und 324). Auch die von VOLGER eingehend geschilderten Walliser Beben vom 25. und 26. Juli 1855 gehören zur Kategorie der tektonischen Beben, wie insbesondere aus ihrer weiten Verbreitung hervorgeht. Der locale Charakter der Einsturzbeben gegenüber den oft über weite Flächen sich ausdehnenden tektonischen Erschütterungen wird in den Arbeiten der schweizerischen Erdbebencommission wiederholt hervorgehoben. Insbesondere macht A. HELM in seinen Berichten über die schweizerischen Erdbeben nachdrücklich auf die locale Beschränkung der Einsturzbeben aufmerksam. So sagt er im Berichte über die Erschütterungen des Jahres 1880: „Mai 7., 5 Uhr 45 Min. Morgens, wurde im Kurhaus Tarasp ein ziemlich heftiger Stoss verspürt. Solche ganz locale, kleine Erdbeben in einer an auslangenden Thermen reichen Gegend machen den Eindruck unterirdischer Höhleneinstürze, während, wie jetzt allgemein eingesehen wird, ein schwacher Horizontalruck, der über Hunderten von Quadratmeilen fühlbar wird (wie schon das folgende Schweizerbeben vom 4. Juli 1880), durch Höhleneinstürze so wenig erklärt werden kann, als die enormen Wellenbewegungen, oder die successorischen Schläge grosser Erdbeben, die Gebäude in die Luft schnellen, oder die mit plötzlichen, überdauernden Hebungen ganzer Küstenstriche verbunden sind.“

¹ J. FRÜH: Die Erdbeben in der Schweiz in den Jahren 1888—91, S. 6 u. 7 des-S.-A. (aus den Annalen der schweizer. meteorolog. Centralanstalt, Jahrg. 1891).

In der sehr ausführlichen Darstellung, welche das fast in der ganzen Schweiz fühlbare Beben vom 4. Juli 1880 durch HEIM gefunden hat, führt derselbe den Nachweis, dass dasselbe nur in der gleichzeitigen und gleichartigen, ruckweisen Bewegung eines sehr ausgedehnten Stückes der Erdrinde, nicht aber in einem localen heftigen Anstoss seine Ursache haben konnte. Ein Beispiel eines weiteren echten Einsturzbebens erwähnt A. HEIM in seinem Berichte über die schweizerischen Erdbeben im Jahre 1881 mit folgenden Worten: „1881, Juni 16., 1^h Morgens, heftiger, donnerähnlicher Knall mit Erzittern des Bodens im Val de Ruz, einem jurassischen Muldenthal zwischen der südlichsten und der zweiten Jurakette im Kanton Neuenburg gelegen. Der Schall weckte auch in Locle Schlafende auf, ohne dass dort die Erschütterung fühlbar war, und er soll auch in Neuchâtel wahrgenommen worden sein. Da haben wir eine Erscheinung vor uns, welche von allen bisher besprochenen Beben der Schweiz verschieden ist. Bedenken wir, dass wir in einer dislocirten und höhlenreichen Gegend uns befinden, so wird es zum wenigsten recht wahrscheinlich, dass wir hier endlich einmal ein Einsturzbeben gefunden haben. Da ist die Erschütterung ein bloss locales Zittern, kein Schwanken, kein Stoss, der über weite Flächen ginge.“

Alpen- und Jura-Gebirge, die uns so häufig als Schauplatz tektonischer Erdbeben entgegentreten, sind Kettengebirge von vergleichsweise jugendlichem Alter. Aber auch geologisch alte Gebirge, deren Aufrichtung in weit entlegene Zeiträume fällt, werden heute noch von tektonischen Beben heimgesucht, wenn auch nicht so häufig und in nicht so hohem Grade. Ein ausgezeichnetes Beispiel hierfür sehen wir im sächsischen Erzgebirge, dessen Erdbeben durch H. CREDNER zum Gegenstand sorgfältiger Untersuchung gemacht wurden.

Bereits in seiner Abhandlung über das vogtländisch-erzgebirgische Beben vom 23. November 1875 äussert sich H. CREDNER in dem Sinne, dass die ziemlich häufigen erzgebirgischen Beben zu erklären sind als Aeusserungen der Gebirgsentstehung und der unterirdischen Spaltenbildung durch seitlichen Druck, nachdem die gebirgsbildenden Ursachen durch enorme Zeiträume von den ältesten bis zu den jüngsten Perioden sich bethätigt haben (vergl. S. 216). Diese Ansicht findet durch die weiteren Untersuchungen der erzgebirgischen Beben ihre vollkommene Bestätigung. In der durch eine Uebersichtskarte erläuterten Monographie der erzgebirgisch-vogtländischen Erdbeben während der Jahre 1878 bis Anfang 1884¹ erweist CREDNER den causalen Zusammenhang dieser Erdererschütterungen mit tektonischen Verhältnissen. Der erzgebirgische Abfall, namentlich aber das angrenzende Vogtland sind der Schauplatz und das Ursprungsgebiet verhältnissmässig häufiger Erschütterungen, während sich solche in dem nördlich und nordwestlich vorliegenden Flachlande sehr selten fühlbar machen, oder, wenn dies der Fall sein sollte, fast nie autochthon sind.

¹ Zeitschrift für Naturwissenschaften, Bd. LVII, 1884.

Von 13 der 15 in den Jahren 1875 bis Anfang 1884 in Sachsen und angrenzenden Landstrichen beobachteten Erdbeben liegt der Ausgangspunkt im Gebirge, also im Bereiche sehr beträchtlicher Lagerungsstörungen durch Faltung, Zerreißung und Verwerfung. Allein sechs dieser Erschütterungen beschränken sich auf das Vogtland, oder sind von dort ausgegangen. Es steht dies damit im Einklange, dass gerade das vogtländische, palaeozoische Gebiet als Kreuzungspunkt mehrerer in verschiedener Richtung wirkender Druckkräfte besonders reich ist an grösseren und kleineren dasselbe zerstückelnden Verwerfungen. Dieselben gehören nach LIEBE vier Richtungen an: der fichtelgebirgischen (O.-W.), der hercynischen (NW.-SO.), der erzgebirgischen (SW.-NO.) und der aus beiden letzteren resultirenden N.-Richtung. Sie wiederholen und durchkreuzen sich in oft ausserordentlich kleinen Zwischenräumen, so dass das Vogtland durch sie in unzählig viele Gebirgskeile und Klötze zertheilt wird. Jede geringe Lagerveränderung einer solchen Gesteinsmasse kann zur Ursache einer Erderschütterung werden. Augenscheinlich ist dies bei den Erdstössen von Weischlitz am 12. December 1880, von Gera-Greiz am 22. October 1883, von Brockau am 19. December 1883 der Fall, welche sich, wenn auch ziemlich intensiv, doch nur auf höchst beschränktem Gebiet äusserten. Auf ähnliche ursächliche Vorgänge dürfte das vogtländische Erdbeben vom 23. November 1875 und das Lobensteiner Erdbeben vom 29. September 1883 sowie der Stoss zurückzuführen sein, welcher sich vom Vogtlande aus am 20. October 1883 wellenförmig bis nach Chemnitz, Orlamünde und jenseits Leipzig fortpflanzte. Auffälliger hingegen erscheint die wiederholte Erschütterung der Gegend von Meerane und Waldenburg am 15. December 1880 und 21. Januar 1884. Beide Male schliesst sich das von dem Erdbeben betroffene Gebiet direct an das SW.-Ende der mittelgebirgischen Antiklinale an, so zwar, dass der nordöstliche Theil des Erschütterungsgebietes noch dem mittelgebirgischen Phyllit, der Rest dem Perm angehört. Bei der Erschütterung vom 15. December 1880 besitzt die erschütterte schmale Zone eine ausgesprochene erzgebirgische Richtung und fällt in die Fortsetzung der mittelgebirgischen Sattelaxe. Möglicherweise steht dieses Erdbeben in ursächlicher Verbindung mit jener Verwerfung, welche sich nördlich von Meerane dadurch kenntlich macht, dass das Rothliegende, auf welchem diese Stadt, sowie das benachbarte Crottenlaide stehen, in das Niveau des Buntsandsteines gesunken ist. Auch bei dem Glauchau-Meeraner Erdbeben vom 21. Januar 1884 verläuft die wellenförmige Bewegung in der SW.-NO.-Linie. Ein gewisser Zusammenhang auch dieser Erderschütterungen mit der Tektonik lässt sich demnach kaum verkennen. Was endlich das kleine Thumer Erdbeben vom 28. November 1878 betrifft, so ist es wahrscheinlich, dass es auf der grossen Wiesenbader Verwerfungsspalte erzeugt wurde und von seinem Ursprungsorte aus sich in den angrenzenden Schichtencomplexen in der Richtung des Streichens derselben nach beiden Seiten zonal fortpflanzte.

Mit Recht sagt CREDNER: „Gerade solche häufiger wiederkehrende

und local beschränkte Erderschütterungen wie unsere sächsisch-vogtländischen sind es, welche wegen der geringen Complicirtheit der Erscheinung mit besonderer Wahrscheinlichkeit auf Störungsvorgänge innerhalb des Gebirgsbaues als auf die Ursachen vieler Erdbeben hinweisen. Sie verdienen es deshalb, sorgsam registriert zu werden. Zugleich aber scheint aus einem Vergleiche unserer erzgebirgisch-vogtländischen Erdbeben mit denjenigen z. B. des Alpen-Systemes hervorzugehen, dass die Zahl und Intensität der beiderseitigen Erdbeben im umgekehrten Verhältnisse steht zu dem Alter der Gebirge, von denen sie ausgehen. Diese Thatsache würde sich in vollem Einklange befinden mit unseren Anschauungen über die Genesis der als tektonisch bezeichneten Erdbeben: je jugendlicher ein Gebirge, desto grösser sind noch die Spannungen innerhalb seines Faltenwurfes, desto häufiger und energischer die Auslösungen derselben durch Zerreibungen und Verschiebungen, während bei so alten Gebirgen, wie das Erzgebirge und das Vogtland, deren Zusammenstauchung schon in der Mitte der Carbonzeit vollendet war, der Ausgleich bereits fast vollkommen zu Stande gekommen ist.“

Bei den erzgebirgisch-vogtländischen Beben haben wir es mit untergeordneten und in ihren Wirkungen keineswegs furchtbaren Aeusserungen derselben seismischen Kräfte zu thun, welche in anderen Kettengebirgen weitgehende Verheerungen bewohnter Orte und grosse Verluste an Menschenleben herbeiführen. Es sei gestattet, noch ein solches, verwüstendes Beben des letzten Jahrzehntes anzuführen, zumal dieses, nämlich das andalusische Beben vom 25. December 1884, einen sehr interessanten Zusammenhang zwischen den tektonischen Verhältnissen und den seismischen Vorgängen erkennen lässt. Die letzteren werden offenbar durch die vorhandenen grossen Querbrüche der betischen Kette bedingt. Die Structur dieses Kettengebirges wurde anlässlich des grossen Erdbebens vom 25. December 1884 genau untersucht und in dem Berichte der französischen Mission d'Andalousie finden wir die geologische Beschaffenheit des engeren Schüttergebietes auf das eingehendste sowohl in Bezug auf stratigraphische, petrographische und palaeontologische Verhältnisse wie insbesondere hinsichtlich der Tektonik des Gebirges erörtert. Die betische Kette zeigt nun nicht ein bloss zusammengefaltetes und durch Brüche in ihrem Streichen durchsetztes Gebirge, sondern es ist dasselbe auch durch Querbrüche in einzelne Stücke zerlegt, welche eine gewisse orographische Selbstständigkeit besitzen. Diese einzelnen Stücke: die Serrania de Ronda, Sierra Tejada, Sierra Nevada, Sierra de Baza u. s. w. danken ihre Individualität nicht allein den oberflächlichen Einflüssen der Erosion, die nur mitgeholfen hat, um die Grenzen der einzelnen Bruchstücke der betischen Kette schärfer hervortreten zu lassen.

Diese Quergliederung der betischen Kette tritt sehr scharf hervor, wenn man, wie dies CHARLES BARROIS und ALBERT OFFRET in ihrem „Mémoire sur la constitution géologique du Sud de L'Andalousie“ gethan haben, auf einem Kärtchen das Streichen der Ketten durch Einzeichnung

der Aufbrüche der krystallinischen Schiefer und die Unterbrechungen und queren Verschiebungen durch die grossen Querstörungen ersichtlich macht (Fig. 52).

Wir sehen auf diesem Kärtchen¹, dass drei grosse Querbrüche auftreten, die als diejenigen von Malaga, von Motril und Guadix bezeichnet werden können. Werden diese Störungslinien über die beiden Seiten der betischen Kette genügend verlängert, so trifft jene von Malaga die vulkanische Insel Alboran, jene von Guadix das vulkanische Massiv von Cabo de Gata, während jene von Motril auf der anderen Seite der betischen Kette das Epicentrum des Bebens vom 25. December 1884 schneidet.

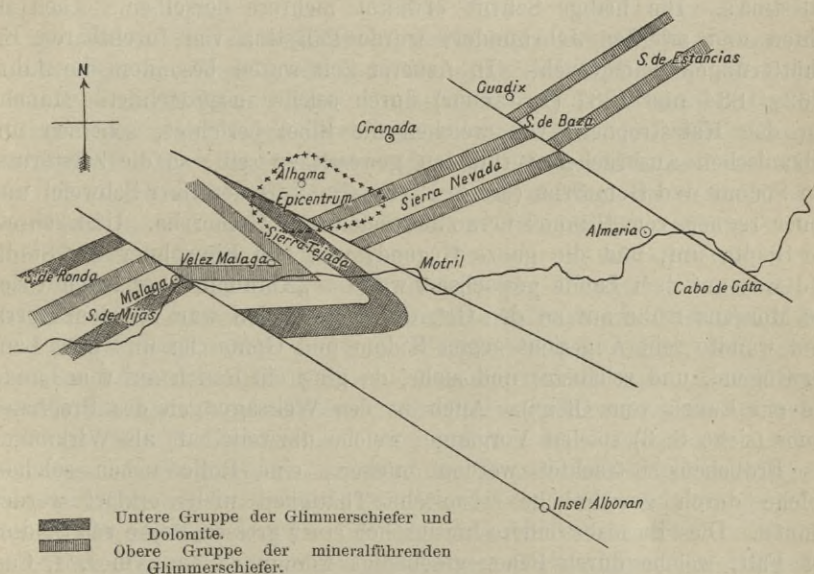


Fig. 52. Die Querstörungen der betischen Kette und das Epicentrum des grossen andalusischen Erdbebens vom 25. December 1884.

Die Lage dieses Epicentrums entspricht genau der grossen Querstörung zwischen der Sierra Tejada und der Sierra Nevada.

Die grossen Querbrüche von Malaga, Motril und Guadix sind es, auf welchen sich die fortwährend weiter wirkenden Kräfte der Gebirgsbildung immer wieder durch seismische Erscheinungen äussern müssen, und wir haben es auch bei dem grossen Erdbeben vom 25. December 1884 offenbar mit einem „Blattbeben“ im Sinne der SUSS'schen Terminologie zu thun. Es war aber dieses andalusische Erdbeben eines der furchtbarsten, welche sich in diesem Gebiete ereignet haben, denn man zählte damals 690 Tode und 1426 Verwundete in der Provinz von Gra-

¹ Mission d'Andalousie: Études relatives au tremblement du terre du 25. Décembre 1884, Mem. Acad. des Sciences, T. XXX. Nr. 2, 1889, S. 117.

nada und 55 Todte und 57 Verwundete in jener von Malaga. In dem Orte Arenas del Rey, welcher 1500 Einwohner zählte, gab es 135 Todte und 253 Verwundete. Der am 25. December 1884 angerichtete Schaden an den Gebäuden war gleichfalls sehr gross, 12,000 Häuser lagen in Ruinen und 6000 hatten grössere und kleinere Beschädigungen davongetragen.

Bereits an früherer Stelle wurde der häufigen Erschütterungen gedacht, von welchen die Gegend der Jordanspalte heimgesucht wird, und darauf hingewiesen, dass die dortigen seismischen Erscheinungen keineswegs zur Kategorie der Einsturzbeben gehören können (vergl. S. 325).

Erdbeben gehören zu den häufigsten und verheerendsten Landplagen Palästina's. Die heilige Schrift erwähnt mehrere derselben. Auch im achten und zwölften Jahrhundert wurde Palästina von furchtbaren Erschütterungen heimgesucht. In neuerer Zeit waren besonders die Jahre 1762, 1834 und 1837 (1. Januar) durch solche ausgezeichnet. Manche von den Katastrophen, von welchen die Bibel berichtet, scheinen mit vulkanischen Ausbrüchen verbunden gewesen zu sein, so die Zerstörung von Sodom und Gomorrha (Moses I. 19: „Da liess der Herr Schwefel und Feuer regnen vom Himmel herab auf Sodom und Gomorrha. Und kehrte die Städte um, und die ganze Gegend, und alle Einwohner der Städte und was auf dem Lande gewachsen war“ — „Abraham aber machte sich des Morgens frühe auf an den Ort, da er gestanden war vor dem Herrn. Und wandte sein Angesicht gegen Sodom und Gomorrha und alles Land der Gegend, und schauete; und siehe, da ging ein Rauch auf vom Lande, wie ein Rauch vom Ofen“). Auch in den Weissagungen des Propheten Amos (siehe S. 3) spielen Vorgänge, welche unzweifelhaft als Wirkungen des Erdbebens betrachtet werden müssen, eine Rolle neben solchen, welche durch gewöhnliche seismische Thätigkeit nicht erklärt werden können. Dies ist insbesondere hinsichtlich einer grossen Reihe von Städten der Fall, welche durch Feuer geschädigt werden sollen (Amos, 1. Cap. 3, 7, 10, 12, 14, 2. Cap. 2, 5). Immerhin können diese biblischen Stellen nur mit einiger Wahrscheinlichkeit auf die gleichzeitige Bethätigung seismischer und vulkanischer Kraft gedeutet werden. Aus dem geologischen Bau des Landes aber geht hervor, dass dasselbe in früherer Zeit Schauplatz gewaltiger Bodenbewegungen und grosser Eruptionen gewesen sein muss.

Suess hat gezeigt, dass Palästina, Syrien und Arabien derselben geologischen Einheit angehören, wie die Wüstentafel Nordafrika's, welche vom atlantischen Ocean bis an den Euphrat und an den persischen Meeresbusen reicht.¹ In Palästina ist in dieser Tafel eine grosse Grabensenkung vorhanden: das Thal des Jordans und des Todten Meeres, welche sich durch das Wadi Arabah und das Wadi Akabah bis zum Rothen Meere fortsetzt, das selbst als eine ungeheure Grabensenkung aufgefasst werden

¹ E. Suess: Das Antlitz der Erde, I. S. 475—484.

muss. Treffend hat OSCAR FRAAS die Senkung des Rothen Meeres mit dem Rheinthal zwischen Schwarzwald und Vogesen verglichen: „Aehnlich wie Schwarzwald und Vogesen, obgleich durch das breite Rheinthal getrennt, doch auf einerlei Bildungsweise hindeuten, so auch die krystallinischen Berge im Osten und Westen des Rothen Meeres. — Wie im Westen der Vogesen und im Osten des Schwarzwaldes die Trias und der Jura an das alte krystallinische Gebirge sich anlegt, so im Osten des Sinai wie im Westen der Nilberge beiderseits obere Kreide und älteres Tertiär.“¹

Die geologischen Verhältnisse der Jordanländer hat SUESS im ersten Bande seines Werkes: „Das Antlitz der Erde“ folgendermaassen geschildert:

„— Kreide und Eocänschichten ziehen nun, dem nubischen Sandstein aufgelagert, wie dieser quer über die sinaitische Halbinsel; vor ihnen breitet sich die Wüste Tih aus. Sie sind hier, wie BAUERMANN gezeigt hat, auch von zahlreichen Verwerfungen durchschnitten. Sie gelangen nun nach Palästina und bilden weithin die Berge von Juda und alles Land bis zu dem Sporn von Carmel hinaus; es folgt die Senkung von Jezreel mit ihren vulkanischen Ausbrüchen, und jenseits setzen sich dieselben Schichten wieder in den Libanon fort. Es ist fast alles nur cretaceischer Kalkstein, und der eocäne Kalkstein liegt in seltenen vereinzelt Schollen auf demselben. Oestlich vom Jordan ist das Verhältniss ein etwas verschiedenes. Tief unten im Wadi Garundel, südlich von Petra, liegt eine abgesunkene Scholle von Nummulitenkalk und an mehreren Stellen sieht man abgesunkenen Kreidekalk; zugleich erscheinen die cretaceischen Schollen auf den Höhen, und von den drei Gipfeln des Hor besteht einer aus Porphyr, ein anderer, der höchste, aus nubischem Sandstein, der dritte aus cretaceischem Kalkstein. Nun bildet nordwärts derselbe lichte Kalkstein alles Hochland der Moabiter und Ammoniter im Osten des Todten Meeres. Unter demselben ist am Todten Meere der nubische Sandstein sichtbar; auf der Höhe sind ihm schwarze vulkanische Massen aufgesetzt, vereinzelt Kegel und breite Ströme. Der lichte Kalkstein zieht fort, bildet den Ostrand des Jordanthales und verschwindet endlich unter den weiten Laven des Jaulân, des Haurân und der noch weiter im Innern des Landes von WETTSTEIN und DOUGHTY erschlossenen vulkanischen Gebiete. —

Wer quer über das Land von Jaffa nach Jerusalem und an das Todte Meer reist, erhebt sich zuerst auf dem Rücken von Juda bis zu etwa 1000 Meter über dem Mittelmeere und steigt sodann etwa 1400 Meter zu dem Todten Meere hinab, dessen Wasserspiegel bekanntlich in — 392 Meter liegt. Da jedoch die dem Ostrande zunächst liegende Tiefe dieses Meeres beinahe 400 Meter beträgt, so fällt thatsächlich die Oberfläche des Gebirges von dem Rücken von Juda um etwa 1800 Meter gegen die tiefste

¹ OSCAR FRAAS: AUS dem Orient, S. 33.

Stelle dieser grossen Tiefenlinie hinab. Nach den Arbeiten LARTET's, nach der Erforschung der cretacischen Schwelle im Wadi Arabah, welche in + 230 bis 240 Meter die Wasserscheide zwischen dem Rothen Meere und dem Todten Meere bildet, und dem Nachweise des gänzlichen Mangels jüngerer Tertiärbildungen in dem ganzen Gebiete der Tiefenlinie hat es als sichergestellt zu gelten, dass das offene Meer in diese grosse und merkwürdige Tiefe niemals eingedrungen ist. Die Bildung dieser Tiefenlinie ist ein junges Ereigniss, sonst wäre die Schwelle vom Meere überschritten worden.

Alles Land westlich vom Todten Meere ist flach gelagert und trotz der mächtigen Absenkung der Oberfläche besteht es nur aus Kalkstein der mittleren und oberen Kreide. Nach FRAAS sind aber zu beiden Seiten des Rückens, gegen das Mittelmeer wie gegen das Todte Meer, treppenförmige parallele Verwerfungen vorhanden, welche die Oberfläche von der Höhe herabsenken zu den Tiefen im Osten und im Westen. Anders ist es im Osten. LARTET hat gelehrt, dass dort die alten Massengesteine weiter nach Nord greifen, als an der Westseite der Tiefenlinie, dass der Porphyr noch an der Südostseite des Todten Meeres hervortritt, und dass der nubische Sandstein an dem Fusse des ganzen Ostufers und noch weit im Jordanthale hinauf sichtbar ist. Das östliche Ufer zeigt daher in jedem Querprofile ältere Felsarten als das westliche. Hieraus schloss LARTET in Uebereinstimmung mit früheren Vermuthungen von L. v. BUCH und HITCHCOCK, dass das Todte Meer und die Jordanlinie ein Bruch sei, verbunden mit Senkung des westlichen Flügels. Hält man nun aber LARTET's Erfahrungen im Osten der Bruchlinie und jene von FRAAS im Westen derselben zusammen, so zeigt sich Folgendes. Die Höhe des breiten Rückens von Juda weicht nicht allzusehr von jener des Hochlandes östlich vom Todten Meere ab. Kreidekalke bilden da und dort den Boden. Die Jordanlinie ist ein Bruch, aber während im Osten dieser Bruch an einer einzigen grossen Hauptspalte sich vollzog, entstanden im Westen mehrere parallele Brüche, auf welchen der Westflügel nicht im ganzen Körper, sondern in Treppen absank, so dass ein einseitiger Graben entstand. —

Eine einfache Verwerfung kann an der Oberfläche eine Stufe erzeugen, aber kein Thal; sie kann durch Erosion zu einem Thale ausgeweitet werden, aber dann wird das Thal eine bestimmte, der Richtung des Abflusses entsprechende Neigung besitzen und nie unter das Niveau des Meeres hinabreichen. Ein Thal, dessen Sohle 800 Meter unter das Meer hinabreicht, um südwärts bald wieder 230 Meter über dasselbe anzusteigen und dann wieder unter das Meer hinabzusinken, kann weder durch eine einzige Verwerfung, noch durch Verwerfung und Erosion erzeugt sein. Streifen müssen abgesunken sein an parallelen Brüchen, in grosser Länge und zu ungleicher Tiefe. Das ist jenes Schwanken in der Mächtigkeit der Verwerfungen, welches wir an den Sprüngen des Hochplateau's von Utah, wie an den grossen Brüchen der Südalpen wahrgenommen haben. So

allein können breite Thalniederungen wie Wadi Arabah und Wadi Akabah entstehen, und das ungleiche Maass des Absinkens im Graben kann durch Klemmung herbeigeführt werden.“¹

Während aber E. SUESS noch 1885 vermeinte, dass die Jordanlinie südwärts keine Fortsetzung finde, war er 1892 in der Lage, nachzuweisen, dass sie nur das nördlichste Glied einer gewaltigen Kette ähnlicher Störungen sei, die ungefähr im selben Breitengrad sich weit nach Süden verfolgen lassen. Ueber das Zusammentreten der Gräben der Jordanlinie und des Rothen Meeres sagte SUESS 1885: „An der Südspitze der sinaitischen Halbinsel begegnen sich zwei der grössten linearen Bruchsysteme, welche auf der Erdoberfläche bekannt sind. Die erste Richtung ist die erythräische; sie findet ihre Fortsetzung in der Richtung von Suez. Die zweite, fast genau von Nord nach Süd laufende Richtung ist jene der Jordanlinie. Von Coelesyrien her, durch den See von Tiberias, dem Laufe des Jordan folgend, durch das Todte Meer, das Wadi Arabah über die etwa 230—240 Meter hohe, aus cretacischem Kalkstein aufgebaute Schwelle von Safeh herab zum Wadi Akabah und den gleichnamigen Golf erstreckt sich diese. Sie trifft im spitzen Winkel auf die erythräische Linie und findet keine Fortsetzung.“²

Die Ergebnisse der Forschungsreisen im östlichen Afrika liessen jedoch bald erkennen, dass der Jordanlinie verwandte, nur viel grossartigere Störungen daselbst auftreten. Das Vorhandensein grosser Bruchlinien oder Zonen vulkanischer Thätigkeit in Ostafrika wurde schon früher angenommen. Jos. THOMSON hatte im Jahre 1881 die Ansicht ausgesprochen, „dass in irgend einer früheren Zeit eine grosse Linie vulkanischer Thätigkeit sich erstreckte vom Cap, über den Nyassa-See, Ugogo, Kilimandscharo bis nach Abessynien, stets parallel und nahe dem Ocean verlaufend.“³ DOUVILLÉ⁴ äusserte im Jahre 1886 bei Bearbeitung der von AUBRY aus Schoa gebrachten Fossilreste die Meinung, dass der grosse Abbruch, welcher das abessynische Hochland gegen Ost begrenzt, Fortsetzung finde in der Küstenlinie von Cap Delgado bis Mozambique; der Kilimandscharo bleibe westlich, der Golf von Annesley bezeichne das Herantreten der abessynischen Störungslinie an das Meer, die weitere Fortsetzung dieser Störungslinie aber bilde der Golf von Akaba, das Thal von Araba, das Todte Meer bis zum Libanon. Diese Vermuthungen konnten aber nicht näher erörtert werden, da die Kenntniss Ost-Afrika's allzu lückenhaft war, und insbeson-

¹ E. SUESS: Antlitz der Erde, I. S. 482.

² E. SUESS: Antlitz der Erde, I. S. 477.

³ Jos. THOMSON: Notes on the Geol. of East Central Africa, in „To the Central Afr. Lakes and back., London 1881, II. S. 304; citirt in E. SUESS: Die Brüche des östlichen Afrika (Beiträge zur geologischen Kenntniss des östlichen Afrika, IV), Wien 1891, S. 1 des Sep.-Abdr.

⁴ H. DOUVILLÉ: Examen des fossiles rapp. du Choa par M. AUBRY; Bull. soc. géol. 1885—86, 3. sér. XIV. S. 240.

dere ein Gebiet von mehr als fünf Breitegraden gerade an jener entscheidenden Stelle unbekannt war, an welcher durch die Lage der Riesenvulkane Kilimandscharo und Kenia in der That eine meridionale Richtung wirklich angedeutet schien. Die Ergebnisse der Forschungsreise des Grafen TELEKI und des Linienschiffsleutenants v. HÖHNEL erweiterten die Kenntniss dieses Ländergebietes wesentlich und lassen uns die grösste und merkwürdigste Dislocation der Erde klar erkennen. E. SUSS hat sie eingehend geschildert. Nach seiner Darstellung lässt sich vom 16. oder 15. Grad südlicher Breite bis etwa $36^{\circ} 4'$ nördlicher Breite und 35 bis $36^{\circ} 30'$ östlicher Länge von Greenwich eine auffallende Neigung der planetarischen Oberfläche wahrnehmen, in meridionaler Richtung und beiläufig auf demselben Meridian zu spalten. Das südlichste Stück der Kette von Dislocationen gehört dem Thal des Shiré-Flusses und dem Nyassa-See an. Man sieht dort zwei meridional verlaufende, steile Ränder archaischer Tafeln in Entfernungen, die mindestens 50 und höchstens 80 Kilometer betragen, das Thal des Shiré-Flusses und weiterhin den Nyassa-See umgrenzen. Die Axe dieses Gebietes liegt zwischen 35° und $35^{\circ} 20'$ östl. L. von Greenwich. Gegen das nördliche Ende des Nyassa-Sees, beiläufig in 10° südl. Br. findet eine plötzliche Ablenkung dieser Senkung gegen NW. statt. In der gegen NW. streichenden Fortsetzung, jenseits des Sees, erscheinen junge Vulkane. Vielleicht setzt sich die abgelenkte Senkung am Leopold-See fort. Nördlich vom Nyassa liegt archaisches Hochland und ist keine Fortsetzung der Senkung bekannt, aber in 6° südl. Br., im Districte Ilindi, westlich von Mpwapwa, etwa in $35^{\circ} 25'$ östl. L., erscheint eine auffallende Strecke gesenkten Landes, auch trockener Seeboden. Weiterhin liegt der Manjara-See als eine abflusslose Senke am Ostfusse der Man-Kette, deren Absturz hier gegen NNO. streicht. In 4° südl. Br., in der Breite des Meru und des Kilimandscharo, wendet sich dieser Absturz in die meridionale Richtung. In 3° südl. Br. beginnt eine zusammenhängende Grabensenkung, welche bis an das südliche Ende des abessynischen Hochlandes, d. i. bis 5° oder $5^{\circ} 20'$ nördl. Br. reicht. Der Meridian 36° östl. L. läuft durch den Natron-See, knapp westlich vom Naiwascha, nahe östlich vom Baringo und durch den Rudolf-See, es kann somit dieser Meridian als die Axe des Grabens bezeichnet werden. Jenseits des Stephanie-Sees deuten alle Anzeichen auf eine weitere grabenförmige Senkung, welche gegen NO. streicht und einerseits von den Abfällen des abessynischen Hochlandes, andererseits vom Tafelrande der Arussi (Somali-Scholle) begrenzt ist. Sie umfasst den Unterlauf des Omo und den Oberlauf des Hawasch, an ihrem NO.-Ende liegt der Vulkan Dofané bei Ankober. Ganz Afar ist gesenktes, von jungen Vulkanen bedecktes Land, in welchem vielleicht die Vulkankette, welche der Vulkan Janghudi angehört, die Fortsetzung des Omo-Grabens bezeichnet. Der östliche Abfall der abessynischen Scholle ist hier durch einen gewaltigen Abbruch dargestellt, welcher von Ankober nahe W. von 40° östl. L. in der Richtung des Meridians verläuft. Es folgt nun die grosse Senkung des Rothen Meeres, welche gegen NNW. streicht, und

stellenweise, wie an der Bucht von Annesley, in 15° nördl. Br. von vulkanischen Zonen begleitet ist. In 28° nördl. Br. greift der Golf von Akabah, wie bereits oben erörtert, in NNO.-Richtung in das Land ein. Der Hauptbruch dieses Grabens liegt an der Ostseite und kann in derselben Richtung bis zum südlichen Theile des Rothen Meeres, d. i. bis $31^{\circ} 10'$ nördl. Br. verfolgt werden. Der Jordangraben zeigt meridionale Richtung, seine Axe liegt zwischen $35^{\circ} 20'$ und $35^{\circ} 30'$ östl. L. Die nördlichsten Theile der grossen Gruppe von Dislocationen, welche wir durch einen so grossen Theil der Erdoberfläche verfolgt haben, sind erst in neuerer Zeit, durch die Untersuchungen BLANCKENHORN's, näher bekannt geworden. Dieselben haben gezeigt, dass der grosse Bruch nicht in der Ablenkung und der Zersplitterung endet, welche er in der Gegend des Antilibanon und der Palmyrene nach den Darstellungen DIENER's zu beobachten ist. Während die Grabensenkung von Baalbeck, die grosse Bekâa nach NNO. gerichtet ist, tritt am Nordende des Libanon wieder die meridionale Störungsrichtung hervor und der in eine grosse Basaltmasse eingesenkte Graben der kleinen Bekâa und die vom Orontes durchflossene Senkung des Ghâb folgt dem Meridian $36^{\circ} 20'$ östl. L. Diese Senkung lässt sich bis gegen Deirkusch, d. i. bis etwa $35^{\circ} 58'$ nördl. Br. verfolgen. In $35^{\circ} 42'$ nördl. Br. geht von diesem Graben das gesenkte Gebiet von Rudj in der Richtung gegen NO. ab, und von diesem zweigt wieder in meridionaler Richtung ein kleiner Bruch ab, der gegen Dj. Ala gerichtet ist. Sein Lauf folgt dem Meridian $36^{\circ} 30'$ östl. L. und er reicht etwa bis $36^{\circ} 4'$ nördl. Br.

„Auf der ganzen Linie aber, von Süd bis Nord, war in jüngster Zeit und ist zum Theil noch heute die vulkanische und seismische Thätigkeit eine sehr beträchtliche. Die Erdbeben, welche in unseren Tagen so oft den syrischen Brüchen folgen, die Episode von Sodom und Gomorrha, der vulkanische Ausbruch, welcher im Jahre der Hedschra 654 (1258 n. Chr.) in der Nähe der Stadt Medina eintrat und jenseits des Rothen Meeres all' die vulkanischen Schlünde von Afar, der rauchende Oertéale und der Ausbruch des Dubbi bei Edd im Jahre 1861, die Linie grosser Aschenkegel, welche über den Janghudi zum Dofané und zum Zuquala führt, Herer und Dendy, deren Kratere mit Wasser gefüllt sind, wie jener des Zuquala, dann Kullall und Elgon, die Reihenvulkane der Höhnel-Insel und der letzte Ausbruch des Vulkanes Teleki, weiters die vielen grösseren und kleineren Ausbruchstellen bis zum Kenia und zum Kilimandscharo, endlich bis zum Doenje Ngai und ausserhalb dieser Zone z. B. die thätigen Vulkane, welche neuerlich EMN PASCHA in der Nähe des Albert-Edward-Nyanza entdeckt haben soll, sie sind insgesamt Zeugen labiler tellurischer Zustände auf diesen Linien. Man begreift, dass das Volk solche Vorkommnisse mit seinem Sagenkreise verbindet, dass die häufigen Erdbeben am Tanganyika von den Eingebornen als die Klagen und Warnungen des Sturmdämons Kabogo bezeichnet werden, und dass bei den Somali's sogar behauptet wird, vor der Noachischen

Fluth habe das Meer nicht bestanden, welches heute Arabien von Afrika trennt.“¹

Es unterliegt sonach keinem Zweifel, dass die in Palästina und Syrien so häufigen und so verheerenden seismischen Erscheinungen als tektonische Beben betrachtet werden müssen, welche mit der gewaltigen Dislocation zusammenhängen, deren weite Erstreckung oben geschildert wurde, und es ist klar, dass die Beben der Jordanländer keineswegs auf Einsturzerscheinungen zurückgeführt werden dürfen (siehe S. 325). Die Gräben des östlichen Afrika, Palästina's und Syriens sind in alte Tafelländer eingesenkt, ihr vielfach geradliniger, oft meridionaler Verlauf contrastirt auf das schärfste mit den bogenförmigen Störungslinien, welche den gefalteten Theilen der Erdrinde, den Kettengebirgen, eigen sind. Hier wie dort aber erkennen wir den innigen Zusammenhang zwischen den Bewegungen im Felsgerüste und jenen Erschütterungen, welche wir als tektonische oder Dislocations-Beben bezeichnen.

¹ E. SUSS: Die Brüche des östlichen Afrika (Beiträge zur geologischen Kenntniss des östlichen Afrika, IV. Theil. Wien 1891, S. 26 des Sep.-Abdr.

Siebenter Abschnitt.

Relaisbeben.

Aufstellung des Begriffes der unselbstständigen Beben durch KLUGE. Weitere Begründung durch LASAULX. — Erscheinungen bei alpinen Beben. — Graubündtner Beben vom 7. Januar 1880. — Fortpflanzung des grossen Villacher Bebens vom 4. December 1690, des Bebens von Belluno 1873, des Agramer Bebens auf Linien von verschiedener tektonischer Bedeutung. — Zusammenhang der Erdbeben Kärntens und der seismischen Erscheinungen am Mittelrhein. — Simultanbeben. REYER'S Erklärung derselben durch kosmische Einwirkungen.

Bereits in früheren Abschnitten war von eigenthümlichen Beziehungen die Rede, in welchen seismische Erscheinungen benachbarter oder entlegener Gebiete zu einander zu stehen scheinen. Es wurde damals (siehe S. 272) auf mehrere solche Fälle hingewiesen und der problematischen Erklärung gedacht, welche MERCALLI für solche Erscheinungen gegeben hat, die durch einen Zusammenhang der seismisch-vulkanischen Herde verursacht werden sollten. MERCALLI verweist auf die Möglichkeit, dass ein Zusammenhang zwischen diesen Herden insofern bestünde, als sie von demselben System unterirdischer Sprünge abhingen, auf welchem unterirdische Circulation von Wärme und Wasserdampf stattfände. So wären die Coincidenzfälle zwischen Ischia und anderen Theilen Italiens zu erklären, wenn man auch keine freie Communication der Lavamasse zwischen den seismisch-vulkanischen Herden anzunehmen hätte. Es ist jedoch diese Hypothese selbst auf die eigentlich vulkanischen Beben kaum anwendbar, da wir wissen, dass vulkanische Herde, selbst wenn sie unmittelbar benachbart sind, eine sehr grosse Unabhängigkeit in ihrer Thätigkeit zeigen. Die überwiegende Mehrzahl der Erdbeben aber ist, wie in den vorhergehenden Abschnitten gezeigt wurde, nicht auf vulkanische Ursachen zurückzuführen, und es müssen daher auch andere Verhältnisse jene Wechselbeziehungen bedingen, die nicht selten zwischen den seismischen Erscheinungen verschiedener Gebiete zu beobachten sind, und sich häufig in der Art zeigen, dass die Beben einer Region von den Erschütterungen einer anderen hervorgerufen oder doch wenigstens befördert zu werden scheinen.

Auf die Erscheinung der unselbstständigen oder Relaisbeben hat schon KLUGE aufmerksam gemacht. Er meint, dass die Schwierigkeiten der Erdbebenbeobachtung zum Theil darin zu suchen seien: „dass ein Erdbeben durch seine letzten, abgeschwächten Wellen an einem anderen, weit entfernten Punkte eine selbstständige Erschütterung hervorrufen kann, die möglicherweise einen ganz anderen Ursprung hat, als dieses primäre Erdbeben. Es ist dies eine Erscheinung, welcher bis jetzt noch nicht die Beachtung gewidmet worden ist, welche sie verdient. Es giebt nämlich Stossgebiete, welche gewissermaassen den Widerhall oder das Echo weit entfernter Erdbeben bilden, in denen zwar die Disposition zu einer Erderschütterung vorhanden ist, dieselbe aber häufig erst, wie es scheint, durch eine andere geweckt werden muss. Dergleichen Gegenden zeichnen sich nicht nur dadurch aus, dass die Wellen eines entfernten Erdbebens in ihnen allemal stärker gefühlt werden, als in den dazwischen liegenden Gebieten, oder dass in ihnen ein weit entferntes Erdbeben beobachtet wird, während die zwischen ihnen und dem Ursprungsorte des Erdbebens gelegenen Punkte gar nichts merken, sondern auch dadurch, dass in ihnen erst Stunden oder halbe Tage nach der primären Erschütterung des entfernten Stossgebietes ein secundäres Erdbeben eintritt.“¹

A. v. LASAULX sagt über die Veranlassung secundärer Erschütterungen ausserhalb des Gebietes des Hauptbebens Folgendes: „Findet in einem Gebiete eine Erderschütterung statt, so kann sie nachfolgende neue Erschütterungen hervorrufen, indem die vorhandene Spannung durch die von aussen hinzukommende Erregung ausgelöst wird. Sowohl Einsturzbeben, als auch tektonische Beben vermögen auf diese Weise ausserhalb des Erschütterungsbereiches eines vorausgehenden Erdbebens, demselben aber mehr oder weniger unmittelbar nachfolgend, gleichsam als Relaiswirkungen verursacht zu werden: Relaisbeben würde daher vielleicht für solche Erschütterungen eine passende Bezeichnung sein. Durch den innigen Zusammenhang, in dem die Spalten der Gebirge oft über grosse Gebiete hin untereinander stehen, ist gerade bei den tektonischen Beben die Möglichkeit für Relaisbeben eine sehr grosse.“²

Es ist gewiss, dass Relaisbeben sehr häufig auftreten, es ist jedoch aus leicht begreiflichen Gründen in vielen Fällen schwierig, sie in dieser ihrer Eigenschaft zu erkennen. Oft mag man vermeinen, es mit der directen Fortpflanzung des Hauptbebens zu thun zu haben, während in der That eine zweite, sekundäre Erschütterung sich ereignete, oft hinwiederum mag man ein durch eine entfernte Erschütterung hervorge-rufenes Beben für vollkommen selbstständig erachten. Die Zahl der Relaisbeben im Sinne der von LASAULX gegebenen Erklärung mag viel

¹ KLUGE, K. E.: Ueber die Ursachen der in den Jahren 1850 bis 1857 stattgefundenen Erderschütterungen. Stuttgart 1861. S. 62, 63.

² A. v. LASAULX: Die Erdbeben, in KENNGOTT's Handwörterbuch der Mineralogie, Geologie und Palaeontologie I. S. 364.

häufiger sein, als gewöhnlich angenommen wird und durch einigermaassen sichere Beispiele belegt werden kann.

Bei dem Beben von Graubündten am 7. Januar 1880, dessen Erschütterungsgebiet im vorherigen Abschnitte erörtert wurde, fanden ausserhalb dem Umrisse des Schüttergebietes und durch viele entschieden vereinende Berichte getrennt, noch an einzelnen Punkten merkbare Erschütterungen statt, so näher am Erschütterungsgebiete Davos, in grosser Entfernung hingegen Glarus. HEIM bemerkt hierzu: „Man hat schon längst Aehnliches bei verschiedenen Erdbeben wahrgenommen und auf Coincidenz- und Interferenz-Erscheinungen zurückzuführen gesucht (eine Erklärung, die HEIM selbst bei anderer Gelegenheit, z. B. bei der isolirten Wahrnehmung des westschweizerischen Bebens vom 30. und 31. December 1879 zu Niederaach bei Amriswyl im Kanton Thurgau acceptirte). Dies mag für viele Fälle, vielleicht auch hier zutreffen, es darf aber wohl noch auf eine andere Möglichkeit hingewiesen werden: Wenn irgendwo Localspannungen in den Gesteinslagen vorhanden sind, so kann unter Umständen eine Erschütterung von der Intensität I oder II (nämlich der FOREL'schen Intensitätsskala, siehe S. 181) eine Auslösung derselben und damit eine locale gleichzeitige, fühlbare Erschütterung hervorbringen; die einzige Bedingung dazu, dass unser Beben vom 7. Januar in der Intensität II oder I, also ohne feine Instrumente nicht wahrnehmbar, bis nach Glarus reichte, hat alle Wahrscheinlichkeit für sich.“¹

Handelt es sich bei dem Graubündtner Erdbeben vom 7. Januar um Relaisbeben in nahe benachbarten Orten, so ist in vielen Fällen bei alpinen Erdbeben eine auffallend weite Verbreitung nach bestimmten Richtungen eingetreten.

Sehr auffallend sind in dieser Hinsicht die Erscheinungen, welche am 4. December 1690 auftraten und auf welche E. SUESS in seiner Monographie der Erdbeben Niederösterreichs aufmerksam macht.² Am 4. December 1690 verwüstete eine grosse Erschütterung Villach und seine Umgebung, pflanzte sich nach der Mürzlinie fort und beschädigte den Stephansturm in Wien. Gleichzeitig trat ein zweites Maximum, wenn auch nicht mit so verheerender Gewalt, in grosser Entfernung, bei Meissen in Sachsen, hervor. Vereinigt man jene Orte dieser Gegend, an welchen die Glocken zum Anschlagen gebracht wurden, durch Linien, so ergibt sich ein Dreieck, dessen Ecken Dresden, Wittenberg und Naumburg sind, dessen Spitze gegen Südost gerichtet ist, und in welchem Meissen excentrisch und näher der Spitze liegt. Insoweit nun diese Angaben vollständig sind, scheint der Stoss sich daher von Meissen hauptsächlich gegen Nordwest ausgebreitet zu haben. Wenn man nun bedenkt, dass am 15. September 1590 bei der

¹ A. HEIM: Die schweizerischen Erdbeben vom November 1879 bis Ende 1880, Bern 1881, S. 9.

² E. SUESS: Die Erdbeben Niederösterreichs, Denkschriften der k. Akademie d. Wissensch. Wien 1873, S. 35 des Sep.-Abdr.

grossen Erschütterung an der Kamplinie die Bewegung in der geraden Richtung dieser Linie über Prag hin so weit reichte, dass noch in Leitmeritz die grosse Thurm-glocke bewegt wurde, so entsteht die Frage, ob nicht etwa wirklich die Stösse der Kamplinie als bis nach Sachsen reichend anzusehen sind. Zugleich traf zwischen diesen beiden Punkten, Villach und Meissen, welche gleichsam die Endpunkte der verlängerten Mürz- und Kamplinie andeuten würden, im schwäbischen Jaxtkreise eine Erschütterung bei Schloss Rechberg ein.

An ebenderselben Stelle macht SUESS auch auf eigenthümliche Beziehungen der seismischen Erscheinungen in Kärnten und Obersteiermark aufmerksam: Als am 6. Februar 1794 Leoben von einem starken Erdbeben heimgesucht wurde, schien sich die Erschütterung nach zwei Linien fortzupflanzen, nämlich auf der Mürzlinie gegen Nordost über Mürzhofen und Kindberg und auf einer zweiten gegen Nordwest gerichteten Linie über Mautern und Kalwang, welche zu der Schütterregion der Umgebung von Admont führt. Man findet ferner in den Katalogen PERREY's für 1857 eine Reihe von Angaben, welche eine merkwürdige Uebereinstimmung von Stössen zu Rosegg bei Villach mit solchen aus der Umgebung von Admont zeigen, welche grösstentheils von BOUÉ und J. SCHMIDT angeführt werden. SUESS giebt hierüber folgende Zusammenstellung:

Kärnten	Nördl. Steiermark und Oberösterreich
24. Dec. 1857. Rosegg	Wiederholte Stösse zu Spital, Windisch-Garsten, Lietzen u. Admont.
25. Dec. Morgens, wiederholte Stösse zu Rosegg, St. Veit, bis Klagenfurt, Tigring, Ossiach.	Morgens zu Lietzen und Windisch-Garsten, Abends zu Windisch-Garsten.
26. Dec.	Morgens ebendasselbst.
28. Dec. in Kärnten, Nacht zum 29. Dec. in Rosegg.	
29. Dec. Rosegg.	

SUESS bemerkt sodann, dass bei der grossen seismischen Bewegung vom 25. Januar 1848 in der That Villach und Basel zu gleicher Zeit zerstört worden zu sein scheinen. Nach der Ansicht SUESS' lehren alle diese Beispiele, dass an der nördlichen Seite der Mürzlinie ein eigenthümlicher Zusammenhang der seismischen Erscheinungen herrscht, dessen Einzelheiten sich noch nicht übersehen lassen. Es scheint uns jedoch wahrscheinlich, dass wir es wenigstens bei einem Theile dieser sehr auffallenden Beziehungen mit „Relaisbeben“ zu thun haben.

Das Erdbeben von Belluno vom 29. Juni 1873, welches bereits Gegenstand der Besprechung war (siehe S. 359 u. f.), zeigte eine auffallende Verlängerung seines Verbreitungsgebietes gegen NNO. Es scheint dies damit in Zusammenhang zu stehen, dass die Stosslinie dieses Bebens mit Dislocationen im Zusammenhang stehen, welche dieselbe Richtung aufweisen. Es kann uns daher nicht befremden, wenn am 29. Juni 1873

die Erschütterung in Zell am See so stark war, dass BITTNER geneigt ist, dort ein zweites secundäres Schüttergebiet anzunehmen. Die auffallendsten Erscheinungen aber traten im salzburgischen und oberösterreichischen Gebiete auf. Salzburg liegt wie Zell am See fast genau in der Verlängerung der Stosslinie Belluno-Perrarolo. Wir sehen hier einen Zusammenhang, der sich auch in der Thatsache auszusprechen scheint, dass die Gegend von Salzburg auch sonst zu gleicher Zeit erschüttert wird, wenn in Mittelitalien Erdbeben stattfinden: „Am 12. März 1873: Erdbeben in Mittelitalien, speciell in der Gegend von Urbino, Zeit 9^h 5'. Zu fast derselben Zeit wurde auch zu Grubhof in Salzburg eine mittelstarke Erschütterung beobachtet (Grubhof ist ein Landgut, $\frac{3}{4}$ Stunden von Lofer entfernt).“ BITTNER meint, dass eine am Nordrande der Alpen wieder auflebende Stärke der Erschütterung ein sehr auffallender Umstand sei, und weist auf einige Fälle hin, in welchen gleichzeitig Bodenbewegungen am nördlichen Abhange der Alpen und in Oberitalien beobachtet worden sind. Zwei von diesen Fällen sind allerdings zweifelhaft, es sind dies die Erdbeben vom Jahre 1785 und 1869 (17. Februar); zwei andere aber und zwar die Erschütterungen vom 16. October 1841 und vom 12. März 1873 würden kaum als unrichtige Angaben betrachtet werden können. —

H. HOEFER hat den Erdbebenercheinungen, welche sich am 29. Juni 1873 in Oberösterreich geltend machten, besonderes Augenmerk zugewendet.¹ BITTNER hat bereits für die Orte Vöcklabruck, Wels, Kletzenmarkt, Scharthen die Stossrichtung SW.-NO. (oder umgekehrt) festgestellt und bei dem Umstand, als in der Richtung nach NO. das Schüttergebiet eine auffallende Ausbauchung bis Freystadt erfuhr, kann man schon aus dem Anblick der BITTNER'schen Karte des Erdbebens von Belluno die Wahrscheinlichkeit einer Ablenkung des Stosses von Salzburg an gegen NO. ableiten. HOEFER schliesst aus den genauen Zeitangaben für den Stoss von Salzburg und Summeran bei Freystadt, dass das oberösterreichische Beben selbstständig gewesen sei und sein Centrum in der Nähe von Wels gehabt habe. (BITTNER berichtet von Schloss Dietach bei Wels: Fräulein HERMA GROSS durch einen sehr kräftigen Stoss aus dem Schlafe geweckt, die Thür war aufgesprungen, eine Hängelampe schwankte heftig, Bilder und Spiegel waren in Bewegung.) In seinen „Erdbebenstudien“ hat der Verfasser den geringfügigen Zeitunterschied der oberösterreichischen Erschütterung als nicht so wesentlich bezeichnet, weil selbst die sogenannten Normalzeiten der Bahnuhren, auf welche HOEFER zumeist seine Berechnungen stützte, zwar für gewöhnliche Bedürfnisse als hinreichend genau bezeichnet werden können, bei dem Studium der Fortpflanzungserscheinungen der Erdbeben aber doch nicht das erforderliche Maass von Genauigkeit besitzen. Er hat ferner noch auf einen anderen Umstand aufmerksam gemacht: „Nehmen wir auf Grund unserer heutigen

¹ H. HOEFER: Das Erdbeben von Belluno am 29. Juni 1873, Sitzungsber. d. kais. Akad. d. Wissensch., 74. Bd. Wien 1876.

Kenntnisse über Gebirgsbildung an, dass Erderschütterungen durch Spaltenwerfen oder auch durch Verschiebung eines Gebirgstheiles an einem anderen entstehen, so müssen offenbar an einer Anzahl verschiedener Punkte dieser Stosslinie Erschütterungen verursacht werden; es ist nun keineswegs nothwendig, dass dieselben genau zur selben Zeit stattfinden, im Gegentheil, es kann, wenn z. B. eine alte Kluft von Neuem aufbricht, an dem Ende ein Stoss stattfinden, hierauf die Verschiebung oder der Bruch sich nach der Mitte fortsetzen, und sich nach einem längeren oder kürzeren Zwischenraume am anderen Ende fühlbar machen. Die Zwischenzeit zwischen den einzelnen Erschütterungen kann dabei Secunden oder Minuten, sie kann aber auch Tage betragen. So schwierig es daher sein wird, die Beobachtung der angerichteten Zerstörungen zur Erforschung der Stosslinie zu verwenden, so schwierig wird auch die Folgerung aus den Stosszeiten sein; — es wäre denn, man würde astronomische Uhren und Seismometer zur Controle verwenden.“¹

Aehnliche Ansichten hat A. HEIM anlässlich der bei dem Beben von Genf und Waadt am 28. Juni 1880 Morgens zu Genf, Coppet und Nyon beobachteten Stosszeiten ausgesprochen. Die auf Berner Zeit reducirten², zuverlässigen Angaben des Zeitpunktes der Erschütterung sind:

Genf:	Coppet:	Nyon:
3 Uhr 12 Min. 55 Sec.	3 Uhr 11 Min. 50 Sec.	3 Uhr 11 Min. 45 Sec.

Aus diesen Zahlen ergibt sich nun als horizontale Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Bebens an der Erdoberfläche: Von Nyon bis Coppet ca. 7300 Meter in 65 Secunden, Geschwindigkeit 112 Meter per Secunde; von Coppet bis Genf ca. 13,250 Meter in 65 Secunden, Geschwindigkeit 204 Meter per Sec.; von Nyon bis Genf ca. 20,550 Meter in 130 Sec., mittlere Geschwindigkeit 158 Meter per Sec. HEIM bezweifelt es, dass diese Zahlen der elastischen Fortpflanzung der Erschütterung entsprechen. Es seien die gefundenen Geschwindigkeiten hierher gar zu gering, dann wären sie im Haupterschütterungsgebiet geringer als in den peripherischen Theilen, was umgekehrt erwartet werden müsste, endlich blieben die Stossrichtungen und ihre Vertheilung ebenfalls im Widerspruch mit dieser Annahme. HEIM giebt der Vermuthung Raum, dass die Zeitverschiedenheiten durch verschiedenartige primäre Bewegung hervorgebracht seien: „Wenn wir ein langes Brett über eine lange Kante legen und der Länge nach brechen, so bricht es auch nicht an allen Punkten der Linie ganz gleichzeitig.“

¹ R. HOERNES: Erdbebenstudien. Jahrb. d. k. k. geolog. Reichsanst., 28. Bd. Wien 1878, S. 420.

² Wir folgen hier einer später von HEIM gegebenen Berichtigung; — die von HEIM in seiner Abhandlung: „Die schweizerischen Erdbeben vom November 1879 bis Ende 1880“ gegebenen Daten gehen von der Annahme aus, dass die von Genf gemeldeten Daten (3 Uhr 7 Min. 45 Sec.) sich auf Berner Zeit beziehen, während sie nach Genfer Zeit gemacht wurden; die Zeit von Genf aber geht 5 Minuten und 9 Secunden nach der Berner Uhr.

Es mag daher auch bei dem Beben von Belluno und bei dessen Fortpflanzung jenseits der Alpen auf die — überdies noch nicht einmal vollkommen sicher gestellte — geringfügige Zeitdifferenz kein besonderer Werth zu legen sein; doch müssen wir es für wahrscheinlich halten, dass das salzburgisch-österreichische Beben, welches von Salzburg bis Summerau bei Freystadt in SW.-NO.-Richtung sich fortpflanzte, ein secundäres, durch das Beben von Belluno zur Auslösung gelangtes, also ein „Relaisbeben“ war. Zur Unterstützung dieser Ansicht mag auch darauf hingewiesen werden, dass auf der Linie Wels-Linz-Freystadt und ihrer Fortsetzung nicht selten selbstständige Erschütterungen eingetreten sind. Es mag in dieser Hinsicht an die Erdbeben von Gallneukirchen und Steieregg nordöstlich von Linz, und an die Erderschütterungen des Eulenberges bei Litschau in Niederösterreich erinnert werden, welche ebenfalls auf jener Linie liegen, welche am 29. Juni 1873 durch eine von Belluno ausgehende Erschütterung gleichfalls und zwar bis Summerau in Bewegung gesetzt wurde.

Auch bei dem Beben von Agram vom 9. November 1880 traten mehrfach Erscheinungen auf, welche möglicherweise auf die Erregung von Relaisbeben zurückzuführen sind. Die Verbreitungsverhältnisse dieser Erschütterung wurden bereits im dritten Abschnitte (siehe S. 188—190) eingehend dargelegt, es sei hier nur kurz daran erinnert, dass ausserhalb des Hauptverbreitungsgebietes das Erdbeben vom 9. November 1880 an einzelnen Orten sich fühlbar machte, so war die Erschütterung in Budweis und Prossnitz ziemlich heftig, obwohl Obersteiermark und Niederösterreich sehr viele, Salzburg und Oberösterreich fast nur negative Nachrichten geliefert haben. Aehnlich verhält es sich in Ungarn, wo Szegedin den östlichsten Punkt bildete, — in Tirol, wo die Erschütterung in Bozen wahrgenommen wurde, und in Italien, wo das Erdbeben an mehreren Orten beobachtet wurde, obwohl die österreichischen Küstenstationen der Adria überwiegend negative Nachrichten gaben. Einen Schlüssel zur Erklärung liefert die Thatsache, dass die Seismographen der Observatorien von fast ganz Italien das Erdbeben verzeichneten, so dass aller Wahrscheinlichkeit nach dort, wo Localspannungen vorhanden waren, die weit verbreitete Bewegung von mikroseismischer Intensität fühlbare secundäre Erschütterungen hervorzurufen im Stande war.

Ein eigener Abschnitt der Monographie der Erdbeben Kärntens, welche H. HOEFER 1880 veröffentlichte, ist der Erörterung des Zusammenhanges der von HOEFER angenommenen Nordwest-Stosslinien mit westdeutschen Erdbeben gewidmet. HOEFER geht in seiner Erörterung zunächst von den grossen Erschütterungen der Jahre 1348 und 1690 aus, deren weite und eigenartige Verbreitung bereits oben Erwähnung fand, er untersuchte sodann die weiteren Beziehungen, welche etwa zwischen den seismischen Erscheinungen Westdeutschlands und Kärntens bestehen, und kam zu sehr überraschenden Resultaten. Ueber die Beziehungen der Erschütterungen von 1348 und 1690 sagt HOEFER: „Während des Erd-

bebens am 25. Januar 1348 waren in den südlichen Kalkalpen, soweit die uns bekannten Aufschreibungen reichen, längs dreier Linien grossartige Zerstörungen aufgetreten, und zwar längs der Dobratsch-Linie in Kärnten, nach der Tagliamento-Linie in Venetien, und in Bozen-Primiero in Tirol. Es muss überraschen, dass gleichzeitig in Schwaben mehrere Burgen — acht werden benannt — einstürzten. Ebenso auffallend ist es, dass das nächstgrosse Erdbeben Kärntens, nämlich jenes vom 4. December 1690, ebenfalls in Schwaben und Franken, insbesondere in der Umgebung von Nördlingen, sehr stark verspürt wurde, stärker als in den sie umgebenden Gebieten. In Kärnten sind die Zerstörungen längs der Malta-Linie aufgetreten, welche nach NW. verlängert, die Gegend von Nördlingen trifft. Unter den letzteren peripherisch gelegenen Orten waren es wieder Augsburg und Frankfurt am Main, welche den Stoss besonders stark empfanden, beide Städte liegen nahe der gezeichneten NW.-Linie, verlängert man dieselbe noch weiter nach NW., so trifft sie Cöln, welches gleichzeitig mit den übrigen genannten Orten erschüttert wurde, jedoch nach allen Nachrichten einem eigenen localen Beben angehört hat, dessen Schüttergebiet von jenem Schwabens etc. getrennt war. Es war somit während des Bebens im Jahre 1690 eine Linie von Cöln bis Villach wirksam.¹ HÖEFER hält sonach eine Stosslinie von Cöln bis südöstlich von Laibach nachweisbar, welche Mitteleuropa verquert, hier und da, besonders im nordöstlichen Theile Tirols und zwischen Frankfurt am Main und Cöln, Unterbrechungen aufweist, doch im grossen Ganzen überaus deutlich schon durch die obengenannten Beben (HÖEFER citirt irrig als Beleg auch das Erdbeben vom Jahre 1511) bezeichnet wäre. HÖEFER hat sodann versucht, auch durch andere Beben als jene von so grossartig zerstörender Wirkung einen Zusammenhang längs dieser Linie nachzuweisen und zu diesem Behufe die Erdbebenkataloge von C. W. C. FUCHS durchgesehen, und war, wie er selbst schreibt, „geradezu überrascht von der Abhängigkeit der Erschütterungen in der Nähe des Mittelrheins und jener in den südlichen Kalkalpen. Die Stosslinie Cöln-Laibach verquert den nördlichen Theil des Odenwaldes, und berücksichtigt man die Krümmung dieser Linie, welche vermöge der Kegelprojection unserer Karte nicht als strikte Gerade eingezeichnet werden kann, so trifft sie Darmstadt. Insbesondere diese Stadt und der nachbarliche Odenwald sind es, welche so häufig erschüttert werden, wenn wenige Tage zuvor oder darnach in den südöstlichen Kalkalpen ein Beben auftrat.“ Bei dem Interesse, welches die von HÖEFER durch Annahme nordwestlicher Stosslinien, die von Kärnten bis an den Rhein reichen sollen, beantwortete Frage hat, sei es gestattet, die von HÖEFER angeführten Nachweise des Zusammenhanges wiederzugeben, zumal dieselben unten einer weiteren Erörterung unterzogen werden sollen. HÖEFER gliedert dieselben in drei Zusammenstel-

¹ H. HÖEFER: Die Erdbeben Kärntens und deren Stosslinien. Denkschriften d. kais. Akademie d. Wissensch. Wien 1880, 42. Bd., S. 71 u. 72 d. Sep.-Abdr.

lungen, welche die Beziehungen westdeutscher Beben zur Cöln-Laibacher-, zur Idria- und der Tschitscher Linie darlegen sollen.

A. Längs der Cöln-Laibacher Stosslinie fanden nahezu gleichzeitige Beben statt:

1) 1869, October: Am 13. Radmannsdorf in Krain, am 16. Gmünd in Kärnten und am 18. Darmstadt (Hessen).

2) 29. October 1870. Gross-Gerau (Odenwald). — 30. October Laibach.

3) 6. Januar 1872. Moosbrunn (Amt Eberbach, Odenwald), $6\frac{3}{4}^h$ Morgens, zwei ziemlich starke Stösse. 7. Januar 1872. Gottschee (Krain), zwei Stösse ($6\frac{1}{2}^h$ und $8\frac{1}{2}^h$? m). Zeitdifferenz: Min. $23\frac{3}{4}$ Stunden, Max. $37\frac{1}{2}$ Stunden. Entfernung 87 Meilen.¹

4) 15. Mai 1872. Odenwald (das Centrum scheint der Felsberg gewesen zu sein), kurz vor 9^h Morgens. — 17.—18. Mai 1872. Laibach, $12\frac{1}{2}^h$ Nachts. Zeitdifferenz: $39\frac{1}{4}$ Stunden. Entfernung 80 Meilen. — 25. Mai 1872. Bessungen (nahe an Darmstadt). Zeitangabe fehlt.

5) 3. August 1874. Pfungstadt (bei Darmstadt), $8\frac{1}{2}^h$ Abends. — 10. August 1874. Trata (bei Bischofslack), auch in Laibach, $7^h 15^m$ Morgens. Zeitdifferenz: 6 Tage $10\frac{3}{4}$ Stunden. Entfernung 80 Meilen.

6) Anfangs Juli 1876. Darmstadt und Umgebung. — 19.—20. Juli 1876. Ogulin, Nachts. — 5. August 1876. Darmstadt und Umgebung (Centrum scheint der Felsberg gewesen zu sein), kurz nach 2^h ? m. Zeitdifferenz: circa 16 Tage. Entfernung 94 Meilen.

7) 7. September 1876. Hessischer Odenwald und unteres Maingebiet. 11.—12. September. Ober-Krain, Nachts $11\frac{3}{4}^h$. Zeitdifferenz: circa $4\frac{1}{2}$ Tage. Entfernung 75 Meilen. — 12.—13. September 1876. Am stärksten in Salonichi (Rumelien), Nachts. Zeitdifferenz: circa 24 Stunden. Entfernung 130 Meilen. Salonichi fällt annähernd in die südöstliche Fortsetzung der Linie Cöln-Laibach.

8) Nachdem ein beträchtlicher Theil Krains am 12. Februar 1879 erschüttert wurde — die Wellen pflanzten sich auch nach Kärnten, bis Klagenfurt und darüber hinaus fort — fühlte man in Bischofslack mehrere Nachbeben, die letzten am Morgen und Abend des 16. Februar. Vom 17. d. M. wurden von Kaisersfelden bei Rosenheim (Baiern) heftige Erderschütterungen gemeldet, welche in die Cöln-Laibacher Linie fallen.

B. Beziehungen zwischen Westdeutschland und der Idria-Linie.

1) 27. Februar 1870. Idria und Laas (Krain) und Gross-Gerau (Odenwald).

2) 8. Januar 1873. Adelsberg, Triest, $1^h 45^m$ Mittags. — 15. Januar 1873. Tauberbischofsheim, $2^h 25^m$ Nachts. Zeitdifferenz: 6 Tage $12\frac{3}{4}$ Stunden. Entfernung 75 Meilen. — 19. Januar 1873. Der ganze Odenwald und seine weitere Umgebung.

¹ Die Entfernungen in geographischen Meilen sind annähernd genau.

3) 20. März 1874. Jülich 10^h 59^m Morgens. — 21. März 1874. St. Peter und Dornegg bei Illyrisch-Feistritz, 8^h Morgens und 2^{3/4}^h Nachmittags. — Wiederholung in Dornegg am 27. März um 10^h 25^m Abends. Zeitdifferenz: 15^{2/4} Stunden. Entfernung 110 Meilen.

4) 16. Mai 1874. Hardenberg bei Mainz. — 19. Mai. St. Peter (Krain), 5^h Morgens und 5^h Abends. — 22. Mai. Darmstadt, 11^h 5^m Morgens. Für letztere zwei Stöße ist die Zeitdifferenz: Min. 2 Tage 18 Stunden, Max. 3 Tage 6 Stunden. Entfernung 85 Meilen.

5) 3. August 1874. Pfungstadt (bei Darmstadt), 8^{1/2}^h Abends. — 10. August 1874, 7^h 15^m Früh, Oberkrain. — 10. August 1874. Lissa, 10^h 30^m Abends. Zeitdifferenz: 7 Tage 2 Stunden. Entfernung 125 Meilen.

6) 22. October 1876. Knin (Dalmatien), 4^h 22^m Morgens. = 22. October 1876. Saifnitz, 9^h 4^m Vormittags. Zeitdifferenz: 4 Stunden 42 Minuten. Entfernung 47 Meilen.

C. Beziehungen zwischen Westdeutschland und der Tschitscher-Linie.

1) 29. October 1870. Gross-Gerau (Odenwald). — 1. November. Triest.

2) 18. März 1872. Darmstadt, 3^h Morgens. — 22. März 1872. Zara, 11^h 59^m Morgens. Zeitdifferenz: 4 Tage 9 Stunden. Entfernung 110 Meilen.

3) 14. Mai 1872. Udine und Cividale. — 15. Mai 1872. Odenwald (Centrum der Felsberg), kurz vor 9^h Morgens. Zeitdifferenz: circa 1 Tag. Entfernung 72 Meilen.

4) 10.—11. März 1873. Darmstadt, 12^h Nachts. 13. März 1873. Zara 9^h Morgens. Zeitdifferenz: 2 Tage 9 Stunden. Entfernung 110 Meilen. — 15. März 1873. Athen (fällt eigentlich in die südöstliche Verlängerung der Cöln-Laibacher Linie). Stunde? Zeitdifferenz: circa 2 Tage. Entfernung von Zara 132 Meilen.

5) 16. Februar 1874. Darmstadt (18. Februar Tübingen). — Zwischen 15.—22. Februar, Insel Zante.

HOEFER theilt ferner eine Tabelle mit, in welcher er die zahlreichen Einzlerschütterungen des Erdbebens von Klana (siehe S. 372) und jene von Gross-Gerau (siehe S. 313) 1870 zusammenstellt.

Bei eingehender Erwägung kann man den von HOEFER vorgebrachten Thatsachen eine Beweiskraft in dem Sinne, dass auf den von ihm angenommenen Stosslinien ein wirklicher Zusammenhang der westdeutschen und kärntischen Beben stattfände, nicht zugeben. Von den durch HOEFER angeführten Beziehungen sind zunächst jene belanglos, welche sich auf Erdbebenperioden wie jene von Gross-Gerau und Klana beziehen, bei welchen die einzelnen Stöße so überaus zahlreich sind. Auch hier ist übrigens ein genaues Zusammenfallen der Maxima der Thätigkeit nicht ersichtlich, im Gegentheile hatte das Beben von Gross-Gerau seinen eigentlichen Höhepunkt in den letzten Monaten des Jahres 1869. Es kann ferner eine gegenseitige Beeinflussung der seismischen Erscheinungen

Kärntens und Westdeutschlands in jenen von HOFER angeführten Fällen wohl kaum angenommen werden, wo die Zeitdifferenz mehrere Tage, ja Wochen beträgt. Immerhin bleiben auch nach Ausscheidung dieser Fälle noch genug übrig, welche gewisse Beziehungen zwischen den alpinen und den westdeutschen Beben andeuten. Es dürfte aber für diese Fälle am naheliegendsten sein, sie als Relaisbeben aufzufassen; da die Annahme, dass die Stosslinien selbst einheitliche wären, doch viel unwahrscheinlicher ist.

E. REYER hat in seiner theoretischen Geologie die unselbstständigen Beben eingehend behandelt; er bezeichnet sie als „Simultan-Beben“ und erörtert ihre verschiedenen Ursachen. Zunächst erwähnt er jene Beben, welche nicht auf eine einheitliche Dislocation, sondern auf mehreren parallel streichenden Brüchen, auf einer Bruchzone sich ereignen, wie z. B. das Beben Brixen-Triest-Mantua. Auch von den südamerikanischen Beben, von welchen manche eine ausserordentlich weite Erstreckung hatten, meint REYER, „dass man es wohl nicht mit einfachen Longitudinal-Verwerfungen zu thun habe, sondern mit Systemen von Verwerfungen (Verwerfungs-Zügen), in welchen zu gleicher Zeit Spannungen ausgelöst werden. Während diese Simultanbeben noch unter den Begriff der Quer-, bez. Längsbeben fallen, halten sich die Beben in anderen Fällen an Dislocationen von verschiedenem Charakter: 1690 wurde Villach, die Mürzlinie und Wien zugleich erschüttert. Diese Punkte können allerdings durch eine Linie verbunden werden, sie liegen aber in Wirklichkeit auf zwei Längs- und einem Querbruche. Das betreffende Beben war allerdings ein lineares, fällt aber durchaus nicht unter den Begriff des Longitudinalbebens, man könnte es, wie REYER meint, als „lineares Simultanbeben“ bezeichnen. In jenen Fällen, in welchen andere Autoren (HEIM, WÄHNER etc.) annehmen, dass ein grösseres Stück der Erdkruste gleichzeitig bewegt und dislocirt worden sei, ist REYER geneigt, eine andere Erklärung für wahrscheinlicher zu halten. Er hält die HEIM'sche Deutung, dass eine grosse Partie der Erdkruste dislocirt werde, für unzulässig, weil unter einer ausgedehnten Scholle niemals ein Hohlraum bestehen kann, welcher das Absitzen der ganzen Scholle ermöglichte, und weil Vertical-Spannungen in grossen Gebieten der Erdkruste gleichfalls nicht existiren können. Da jede grössere Partie der Erdkruste sich dem Magma plastisch accomodirt, können Spannungen nur auf der Grenze zwischen Gebieten von verschiedener Massenbewegung, etwa zwischen einer stabilen und einer sinkenden Scholle, entstehen. „Ich möchte deshalb meinen, dass in den angeführten Fällen entweder ein ganzes Netz von Spannungen in verschiedenen Dislocationsflächen ausgelöst wurde oder dass eine gleitende Bewegung des betreffenden Schicht-Complexes sich vollzog. Im zweiten Falle aber dürfte sich der gleitende Schub gemeiniglich combiniren mit Auslösungen auf zahlreichen Rupturen im bezüglichen Schicht-Complex.“¹

Während in diesen Fällen nach REYER ein verwickeltes Dislocations-

¹ E. REYER: Theoretische Geologie, Stuttgart 1888, S. 701.

Netz in einer tektonischen Einheit thätig ist, beherrschen gewisse Simultanbeben von namhafter Ausdehnung Gebiete, welche tektonisch miteinander in keinem Zusammenhang stehen. Als Beispiele solcher Simultanbeben nennt REYER folgende: „Im ersten Jahre des zweiten punischen Krieges wurde die unerhörte Zahl von 57 Beben nach Rom gemeldet; es ist wohl wahrscheinlich, dass ein Theil dieser Beben simultan war. Bei Christi Tod wurde Kleinasien und ein Theil von Europa von Beben betroffen. 1349 wurden Baiern, Kärnten, Krain, Croatien, Dalmatien und der nördliche Apennin zugleich erschüttert, 1728 das westliche Deutschland, die Schweiz, Mittel- und Unter-Italien. Das Beben von Lissabon, 1755, beherrschte Portugal, Spanien, Frankreich, Italien, das westliche Deutschland und Nord-Afrika; die Bebenwelle ging über den Atlantischen Ocean; im Ganzen wurde etwa 8⁰/₁₀ der Erdoberfläche betroffen. Die dislocirten Gebiete erlitten durch Monate Nachbeben. Von diesen Beben sagt REYER, dass die Unabhängigkeit der Bebengebiete unbestreitbar sei, da zwischen den erschütterten Gebieten namhafte ruhige Districte sich einschalten. Man könne sich nicht vorstellen, dass eine einheitliche Spannung so weit entfernte, tektonisch selbstständige, ja zum Theil vollständig isolirte Gebiete beherrschen könnte. Vielmehr müsse man unter diesen Umständen wohl annehmen, dass die an sich selbstständigen Spannungen der verschiedenen Gebiete durch kosmische Agentien gleichzeitig ausgelöst werden. REYER ist geneigt, diese Erklärung auch auf jene Fälle anzuwenden, in welchen Simultan-Beben tektonisch selbstständige, jedoch benachbarte Gebiete in der Weise erschüttern, dass das Schüttergebiet eine einheitliche Fläche darstellt. Er nennt als Beispiele hierfür jene tektonischen Beben, welche gleichzeitig die Alpen und das böhmische Massiv erschütterten (siehe S. 386) oder zugleich Ungarn, die Karpathen und Schlesien betrafen (siehe S. 385).

„Ich denke — sagt REYER — in diesen Fällen an eine gemeinsame kosmische Ursache, durch welche verschiedene Spannungen in tektonisch selbstständigen Gebieten ausgelöst wurden. Man könnte allerdings denken, dass die Gleichgewichtslagen der Tiefe in der Art alterirt werden, dass Rupturen entstehen, welche sich um die alte Anordnung der einzelnen Schollen nicht kümmern, sondern dieselbe durchbrechen. Ein solcher Vorgang ist gewiss möglich, aber nicht wahrscheinlich, da so gewaltige Rupturen gemeiniglich alt sind, und demgemäss auch geologisch nachweisbar sein müssen, was jedoch in den angezogenen Fällen nicht zutrifft. Es ist deshalb wahrscheinlich, dass den meisten Simultanbeben keine tiefe, einheitliche tektonische Störung zu Grunde liegt, sondern dass es sich einfach um gleichzeitige Auslösung selbstständiger Spannungen durch kosmische Agentien handelt. Die Untersuchung, ob in den bezüglichen Fällen wirklich eine disponirende Constellation herrscht, ist zur Lösung der Frage erforderlich.“¹

¹ E. REYER: Theoretische Geologie, S. 702.

Es muss jedoch diese Erklärung von vornherein als wenig wahrscheinlich aufgefasst werden, da die Wirkung kosmischer Kräfte als seismische Ursache geringfügig erscheint. Die Discussion der PERREY'schen und der FALB'schen Hypothesen hat gezeigt, dass in denselben die Wirkung der Constellationen weitaus überschätzt wurde. Wenn auch zugegeben werden muss, dass Erdbeben zur Zeit der Sonnennähe etwas häufiger sind, als zur Zeit der Sonnenferne, so sind die Constellationen von Sonne und Mond doch im Allgemeinen von sehr geringer Bedeutung für die seismischen Phänomene, sie treten selbst zurück gegenüber den Veränderungen in der irdischen Atmosphäre. Diese letzteren könnten vielleicht, wenn schon ein äusserer Grund für manche Simultanbeben gesucht werden soll, eher als Veranlassung derselben betrachtet werden, als jene kosmischen Verhältnisse.

REYER selbst schränkt übrigens die Erstreckung seiner eigenen Hypothese ein: „Es wäre jedoch gefehlt, wollte man alle Simultan-Beben auf kosmische Wirkungen zurückführen; manche gleichzeitige Beben treten gewiss ein, ohne dass eine disponirende Constellation bestünde. Es können eben in verschiedenen Gebieten zu gleicher Zeit Spannungen reif werden, deren gleichzeitige Auslösung nur zufällig ist und keinen tieferen Grund hat. In anderen Fällen aber dürften Simultan-Beben gleichfalls unabhängig von kosmischen Agentien durch gegenseitige Auslösung verursacht sein: Kommt ein Beben aus ein oder dem anderen Grund zur Auslösung, so werden dessen Wellen, sobald sie Gebiete mit halbreifen Spannungen erreichen, unter Umständen dieselben auslösen.“¹

Nun scheint die letztere Erklärung jedenfalls die einfachste und natürlichste für die weitaus überwiegende Mehrzahl jener Fälle, in welchen gleichzeitige oder durch geringfügige Zeitintervallen getrennte Beben in benachbarten, aber tektonisch selbstständigen Gebieten auftreten. In einzelnen dieser Fälle mag es sich um ganz selbstständige Erschütterungen handeln, welche ohne irgend einen gegenseitigen Einfluss stattfinden, in einer wahrscheinlich noch weit geringeren Zahl von Fällen mögen äussere Ursachen, wie grosse Depressionen des Luftdruckes oder selbst kosmische Verhältnisse (Fluthconstellationen) die Veranlassung von Simultanbeben werden, in der grössten Mehrzahl der Fälle aber werden wir es mit einer gegenseitigen Beeinflussung in dem Sinne zu thun haben, dass eine Erschütterung in einem Nachbargebiete die Auslösung einer Spannung verursachte, welche sonst vielleicht etwas später ein selbstständiges Beben erzeugt haben würde. Wir werden daher die meisten „Simultan-Beben“ als „Relaisbeben“ im Sinne der von LASAULX gegebenen Erklärung aufzufassen haben.

¹ E. REYER a. a. O., S. 703.

Achter Abschnitt.

Die Sintfluth.

Erklärung des Phänomens durch Zusammenwirken eines grossen Wirbelsturmes und eines Erdbebens an den Mündungen des Euphrat. — Zwei Berichte in der biblischen Darstellung vereint. — BEROSUS. — Das Izdubar-Epos. — Oertlichkeit. — Verwendung von Asphalt. — Warnungen. — Die Katastrophe. — Strandung. — Zeit der Sintfluthkatastrophe. — Erdbebenerscheinungen in Flussländern. — Wirbelstürme. — Zusammenfallen beider Erscheinungen.

Die Erklärung der biblischen Sintfluth bildete seit Langem ein Problem für die Geologen. Man hat seinerzeit das Vorkommen fossiler Muscheln auf Bergen als Beweis für die allseitige Verbreitung der noachischen Fluth betrachtet. J. SCHEUCHZER ging so weit, einen fossilen Riesensalamander als „*Homo diluvii testis*“ zu beschreiben und seinen „*Piscium quaelae et vindiciae*“, die Fische, deren Abdrücke so häufig in den Schichten gefunden werden, darüber Klage führen zu lassen, dass sie um der Sünden der Menschheit willen bei der grossen Fluth ihren Untergang gefunden hätten. Der noch heute gebräuchliche Name „Diluvial-Formation“ dankt sein Entstehen der Vorstellung, dass die jüngsten Bildungen der Erdrinde das Produkt einer allgemeinen Ueberschwemmung seien, die man mit der Sintfluth der Bibel und mit den in den Mythen vieler Völker erwähnten Fluthen, wie der ägyptischen und der deukalionischen bei den Griechen, in Verbindung brachte. Allen diesen Ideen liegt die Vorstellung einer allgemeinen Fluth zu Grunde, wie sie in dem biblischen Berichte angedeutet ist, der ja sagt, dass die Fluth bis über die höchsten Gipfel der Berge ging: „... und das Gewässer nahm überhand, und wuchs so sehr auf Erden, dass alle hohen Berge unter dem ganzen Himmel bedeckt wurden. Fünfzehn Ellen hoch ging das Wasser über die Berge, die bedeckt wurden“ (Moses I. 7. 18, 19). Man hat auch die verbreiteten und bei vielen Völkern der Erde vorkommenden Sagen von einer einstigen grossen Fluth im Sinne der biblischen Ueberlieferung verwerthet und aus ihnen einen Beweis für die allgemeine Ausdehnung der Sintfluth ableiten

wollen. Diese Sagen sind indess einerseits durch verschiedene Naturereignisse verursacht worden, wie durch die Ueberschwemmungen des gelben Flusses (Hwang-Ho) in China, durch Seebeben in Südamerika; andererseits wurden sie durch Uebertragung mythischer Berichte von einem Volke zum anderen in vielfach veränderter und entstellter Form verbreitet.

E. SUESS hat es unternommen, die biblische Sintfluthsage auf ein locales Naturereigniss zurückzuführen, welches an den Mündungen des Euphrat und Tigris durch das Zusammenwirken eines Erdbebens und eines Wirbelsturmes hervorgebracht wurde.¹ Er ging dabei von den keilinschriftlichen Texten aus, bei deren Benutzung ihn Dr. PAUL HAUPT unterstützte, und war in Folge dessen in der Lage, an Stelle der biblischen Berichte viel ältere Ueberlieferungen zu benutzen, welche es eher zulassen, die grosse Sintfluthkatastrophe durch natürliche Ereignisse zu erklären.

SUESS bemerkt zunächst, dass bei der Entstehung so grosser Fluthen die atmosphärischen Niederschläge nur einen untergeordneten Antheil haben können. Ausserordentlich viel gewaltiger sind die Fluthen, welche durch Wirbelstürme, und die ausgedehntesten sind jene, welche von Erdbeben erzeugt werden. SUESS erinnert an die Erscheinungen, welche bei grossen Seebeben wahrgenommen werden (vergleiche S. 116—124), und pflichtet LYELL bei, welcher die Fluthsagen der araucanischen Indianer durch die in Südamerika häufigen seismischen Fluthen erklärte. Solche seismische Fluthen sind aber nach dem bisherigen Stande der Erfahrung nur auf Inseln, flach gelegenen Küstenstrecken und in dem tieferen Theile grosser Flussthäler vorauszusetzen. Die gangbare Auffassung des biblischen Textes bot daher jeder physischen Erklärung Schwierigkeiten. Man mochte nicht zugestehen, dass eine seismische Woge das Fahrzeug Noah's bis auf die Höhe des Ararat getragen habe, und auch durch meteorische Niederschläge konnte das Ereigniss nicht erklärt werden. Die biblische Darstellung besteht aus zwei von verschiedenen Berichterstattern verfassten Aufschreibungen, welche unter mehrfachen Wiederholungen und mit untergeordneten Abweichungen von einander auf eine Weise vereinigt sind, welche ihre Trennung nicht schwer macht. Sie unterscheiden sich in auffallender Weise dadurch, dass der eine Berichterstatter für die Gottheit den Namen Jahveh, der andere die Pluralform Elohim anwendet, sowie durch die Art der Darstellung selbst. Aber die Trennung beider Berichte fördert nicht wesentlich die Erkenntniss der damaligen Vorgänge in der Natur, und wenn es auch versucht worden ist, durch scharfsinnige Exegese zu zeigen, dass unter den Worten Moses I. 8, 4 „das Gebirge Ararat“ nicht der heutige Berg dieses Namens, sondern die Berge einer Landschaft zu verstehen seien, über deren Lage Sichereres nicht vorliegt, so ist auch hierdurch noch kein wesentlicher Erfolg erzielt.

¹ E. SUESS: Das Antlitz der Erde, I. S. 25—98; — diese Darstellung ist auch besonders erschienen unter dem Titel: „Die Sintfluth, eine geologische Studie“, von EDUARD SUESS, Prag und Leipzig 1883.

Aus den erhaltenen Bruchstücken der Schriften des BEROSUS, eines babylonischen Priesters, welcher um 350 bis 260 v. Chr. lebte, weiss man seit längerer Zeit, dass in den Niederungen des Euphrat die Ueberlieferung von einer grossen Fluth bestand, welche in mehreren Zügen auffallend mit der biblischen Erzählung übereinstimmt. Diese grosse Fluth ereignete sich nach BEROSUS, welcher sich auf die heiligen Schriften be ruft, unter der Regierung des Xisuthros, Sohn des Otiartes. Kronos verkündet dem Xisuthros im Traume, dass am 15. des Monates Daisios alle Menschen durch eine Fluth zu Grunde gehen würden. Er befiehlt ihm, die Schriften zu vergraben zu Sippara, der Stadt der Sonne, dann ein Fahrzeug zu bauen, dasselbe mit Nahrungsmitteln zu versehen, dann es mit seiner Familie und seinen Freunden zu besteigen, auch vierfüssige und fliegende Thiere mitzunehmen. Xisuthros befolgt die Gebote, die Fluth tritt ein und bedeckt das Land; sie nimmt wieder ab; er lässt Vögel fliegen, um sich von dem Zustand der Dinge zu unterrichten, verlässt endlich sein Fahrzeug und bereitet mit seiner Familie den Göttern ein Opfer. Xisuthros wird nun zum Lohne für seine Frömmigkeit erhoben, um unter den Göttern zu wohnen, ebenso seine Frau, seine Tochter und der Steuermann. Dies ist der wesentliche Inhalt des Berichtes des BEROSUS, wie er von ALEXANDER POLYHISTOR überliefert wurde. „Von dem Schiffe des Xisuthros, so schliesst derselbe, welches endlich in Armenien stehen geblieben war, besteht noch ein Theil in den kordyäischen Bergen von Armenien, und die Leute scharren das Erdpech ab, mit welchem es aussen bekleidet war, und benützen dasselbe als Amulet gegen Krankheiten. Und als die Anderen zurückgekehrt waren nach Babylon und die Schriften zu Sippara wieder gefunden hatten, erbauten sie Städte und errichteten Tempel, und so wurde Babylon wieder bevölkert.“ Es mag hier erwähnt sein, dass W. BRANCO in eingehender Darstellung gezeigt hat, dass die Erzählung des BEROSUS von den zu seiner Zeit noch vorhandenen Resten der Arche in den kordyäischen Bergen als eine jeder vertrauenerweckenden Grundlage entbehrende Fabel zu betrachten ist, zumal zwischen der Zeit des BEROSUS und der Sintfluth ein längerer Zeitraum liegen muss als jener, der die Gegenwart von der Zeit des BEROSUS trennt.¹

Viel älter aber als der Bericht des BEROSUS ist jene keilinschriftliche Darstellung der Sintfluth, auf welche SUESS seine Erklärung derselben gründet. Durch den von verdientem Glücke begleiteten Eifer englischer Forscher, wie LAYARD, LOFTUS, G. SMITH und vor Allen durch HORMUZD RASSAM sind in Tausenden von mit Keilschrift bedeckten Thonscherben die Reste der königlichen Bibliothek von Ninive aus dem Trümmerhaufen von Kujundjik zu Tage gefördert und der wissenschaftlichen

¹ W. BRANCO: Das angebliche Wrack der Arche Noae nach des BEROSUS und Anderer Mittheilungen. Jahreshefte des Vereins für vaterländische Naturkunde in Württemberg, 1893.

Welt wiedergegeben worden. Die Schriften sind nicht nur religiösen Inhaltes, sondern umfassen die verschiedensten Zweige menschlichen Wissens. Der grösste Theil der uns erhaltenen Exemplare dieser uralten Werke wurde in der Regierungszeit Asûrbânîpal's (670 v. Chr.) von den in den Bibliotheken von Babylon, Kutha, Akkad, Ur, Erech, Larsa, Nipur und anderen Städten aufbewahrten Originalen copirt; dies ist insbesondere auch der Fall mit jenen Tafeln, welche den Bericht über die Sintfluth enthalten. Derselbe bildet eine Episode in einem grossen Epos, welches die Thaten des Helden Izdubar meldet. Man kennt verschiedene Copien dieses Epos; sie wurden auf Befehl Asûrbânîpal's von einem weit älteren, wahrscheinlich mehr als zwei Jahrtausende vor unserer Zeitrechnung niedergesetzten Texte genommen, welcher damals in der Priesterbibliothek zu Erech aufbewahrt wurde. Mit Recht wird dasselbe von G. SMITH als ein grosses nationales Werk bezeichnet. Es besteht aus zwölf Gesängen, welche RAWLINSON nach einzelnen hervortretenden Theilen des Inhaltes in geistreicher Weise mit den zwölf Zeichen des Zodiacus verglichen hat. Der Lebenslauf des Helden Izdubar, wahrscheinlich übereinstimmend mit dem biblischen Nimrod, wird nun in diesen zwölf Gesängen auf unzweifelhaft historischer Grundlage vorgeführt und erhält durch die Vergleichung mit den Zeichen des Thierkreises eine allegorische Aehnlichkeit mit dem Laufe der Sonne. Der elfte Gesang, der Reihe des Zodiacus nach dem Zeichen des Wassermannes entsprechend, enthält den Bericht über die Sintfluth: Izdubar hat einen Freund Êabâni verloren, ist krank und wandert nun weit hinab an die Mündung der Ströme zu seinem Ahnen Hasîs-Adra, welcher, aus der Sintfluth errettet, von den Göttern dahin versetzt wurde, um niemals alternd, dort ein unsterbliches Leben zu führen. Izdubar findet seinen Ahnen, befragt ihn um seine wunderbaren Erlebnisse, und dieser erzählt.

Hasîs-Adra's Erzählung liegt in mehreren Uebersetzungen vor, von welchen SUESS diejenige von G. SMITH sowie die Bemerkungen zu derselben von FOX TALBOT, ferner jene von J. OPPERT, F. LENORMANT und PAUL HAUPT anführt. SUESS hat seiner Erörterung die letzte Uebersetzung HAUPT's¹ zu Grunde gelegt, wobei er manche weitere Mittheilungen HAUPT's benutzen konnte. Theilweise (für den sehr unvollständigen Theil Col. II, Z. 1—24, welcher von HAUPT nicht wiedergegeben ist) hat SUESS die Uebersetzung von LENORMANT herangezogen. Seither sind jedoch weitere Uebertragungen des babylonischen Sintfluthberichtes erfolgt, so von H. ZIMMERN² und P. JENSEN³, welche theilweise mit den Angaben des

¹ PAUL HAUPT: Der keilinschriftliche Sintfluthbericht, eine Episode des babylonischen Nimrod-Epos, Habilit.-Vorlesung geh. a. d. Univ. Göttingen, 1880, Leipzig 1881; sowie P. HAUPT: Der keilinschriftliche Sintfluthbericht in SCHRADER: Keilinschriften und altes Testament, 2. Aufl. Giessen 1883, citirt in E. SUESS: Die Sintfluth.

² H. ZIMMERN: Die Assyriologie als Hilfswissenschaft, Antrittsvorlesung, Königsberg i. Pr. 1889.

³ P. JENSEN: Die Kosmologie der Babylonier, Strassburg 1890.

HAUPT'schen Textes und infolge dessen auch mit den aus diesem abgeleiteten Folgerungen SUESS' in Widerspruch stehen. Wir werden unten auf mehrere Fälle zurückzukommen haben, folgen aber zunächst der Darstellung, welche SUESS auf Grund der HAUPT'schen Uebertragung von dem Inhalte des Berichtes Hasis-Adra's giebt:

Col. I, 8—10. Einleitende Ansprache an Izdubar. 11—17, a. Die grossen Götter beschliessen die Anrichtung der Sintfluth in der uralten Stadt Surippak am Euphrat. 17, b—19. Der Gott Êa, der Herr der unerforschlichen Weisheit, der Gott des Meeres, war im Rathe der Götter und theilt H.-Adra den Beschluss derselben mit. 20—27. Êa's Warnung und Auftrag, ein Schiff zu bauen auf trockenem Lande. 28—31. H.-Adra sucht zu widersprechen, fürchtet den Spott des Volkes und der Aeltesten. 32—45. Êa's neuerliche und ausführliche Weisung, Vorhersage der Fluth, Auftrag Korn mitzunehmen, Hab und Gut, Familie, Knechte und Mägde, Verwandte, Vieh und Wild. 46—52. H.-Adra sagt zu, obwohl noch Niemand in dieser Weise ein Schiff gebaut (hier leider viele Lücken).

Col. II, 1—24. (Leider höchst unvollständig.) Bezieht sich nach den vorhandenen Resten auf den Bau und die Ausrüstung des Fahrzeuges. 25—29. H.-Adra bringt alle Habe an Silber und Gold zusammen und allen lebendigen Samen, den er hatte, das Gesinde, das Vieh und das Wild, auch alle Verwandte lässt er einsteigen. 30—36. Letzte Warnung durch eine Stimme (?); H.-Adra's Furcht. 37—39. Er besteigt das Schiff, schliesst es ab und übergiebt den grossen Bau sammt seiner Ladung dem Steuermanne Buzurkurgal. 40—50. Schilderung des Naturereignisses.

Col. III, 1—3. Fortsetzung der Schilderung (unvollständig). 4. Es sieht der Bruder nicht mehr nach dem Bruder. 5—7. Furcht der Götter selbst; sie flüchten empor zum Himmel des Gottes Anu. 8—18. Laute Klage der Göttin Istar über den Untergang der Menschen; Klage der Götter über die Wassergeister der Tiefe. 19—23. Dauer von Sturm und Fluth, Abnahme. 24—30. H.-Adra durchschiff die Fluth; Leichname treiben umher; erster Ausblick; er bricht in Thränen aus. 31. Erstes Erscheinen von Land. 32—36. Strandung an (dem oder) einem Berge des Landes Nizir und sechstägiger Aufenthalt. 37—44. H.-Adra lässt eine Taube (?) heraus, dann eine Schwalbe, dann einen Raben. 45—48. Er verlässt mit allen Begleitern das Fahrzeug und bereitet ein Opfer. 49—50. Die Götter kommen herbei. 51—53. Istar hebt in die Höhe die grossen Bogen (?) und schwört nicht zu vergessen.

Col. IV, 1—5. Diese Tage. Alle Götter mögen herankommen, nur Bêl nicht, welcher die Fluth angerichtet. 6—9. Bêl's Zorn über H.-Adra's Errettung. 9—11. Der Gott Adar weist auf Êa. 12—22. Êa's Rechtfertigung. Der Schuldlose soll nicht mit dem Schuldigen leiden. Reissende Thiere, Hunger und Pest mögen den Menschen heimsuchen, aber keine Sintfluth mehr. 23—30. Der beruhigte Bêl steigt in das Innere des Fahrzeuges, legt H.-Adra's Hände in die seines Weibes, erhebt beide zu den Göttern und versetzt sie an die Mündung der Ströme.

Anknüpfend an diesen Inhalt erörtert SUESS zunächst die Lage des Ausgangspunktes, der Stadt Surippak am Euphrat, deren Bevölkerung, wie aus dem Gesange, insbesondere aus der Furcht Hasis-Adra's vor dem Spotte derselben hervorgeht, im Schiffbau wohl erfahren war. Alle Autoren verlegen diese Stadt an den unteren Theil des Stromes. RAWLINSON sucht ihre Lage in der Nähe des heutigen Howeiza und bezeichnet sie nur insofern als eine Stadt des Inlandes, als man noch niemals eine Stadt an die Seeküste in unmittelbarer Nähe eines grossen Stromes wie der Euphrat gebaut habe, aus dem Grunde, weil dort die Schifffahrt durch die Verlandung gefährdet wäre. SUESS machte jedoch darauf aufmerksam, dass unter der damaligen Meeresküste schwerlich die heutige zu verstehen sei. Es sei in hohem Grade wahrscheinlich, dass ein beträchtlicher Theil des Tieflandes in der Nähe der heutigen Mündungen des Euphrat und Tigris erst in den letzten Jahrtausenden gebildet worden ist. SUESS führt eine Anzahl älterer Nachrichten von Plinius und Arrian sowie neuere Beobachtungen an, aus welchen ein rasches Anwachsen des Landes hervorgeht. In jener frühen Zeit besaßen Euphrat und Tigris getrennte, jedoch benachbarte Mündungen, wie aus der Bezeichnung von Hasis-Adra's späterem Wohnsitz hervorgeht:

Col. IV, 30. „Da nahmen sie mich und in die Ferne, an die Mündungen der Ströme versetzten sie mich.“ Oberhalb dieses in Verlandung begriffenen Gebietes, am Euphrat, also an einer heute weit landeinwärts gelegenen Stelle des Flachlandes, lag die schon zur Zeit der Sintfluth uralte Stadt Surippak.

SUESS hebt sodann die Verwendung von Asphalt bei dem Bau des Schiffes hervor, welche die Erzählung Hasis-Adra's in Uebereinstimmung mit dem Bruchstücke des BEROSUS und dem elohistischen Berichte der Genesis angiebt. Die Stelle des Izdubar-Epos lautet:

Col. II, 9. Ich sah Spalten und fügte das Fehlende hinzu.

10. Drei Saren Erdpech goss ich über die Aussenseite.

11. Drei Saren Erdpech goss ich über die Innenseite.

BEROSUS erzählt, dass das Erdpech noch in späten Zeiten von der Aussenseite des Fahrzeuges abgescharrt und als Heilmittel verwendet worden sei. Genesis VI, 14 lautet: „Fac tibi arcam de lignis laevigatis: mansiunculas in arca facies et bitumine linies intrinsecus, et extrinsecus.“ (In LUTHER's Uebersetzung: „Mache Dir einen Kasten aus Tannenholz und mache Kammern darin, und verpiche sie mit Pech inwendig und auswendig.“) Diese Verwendung des Asphaltens aber weist auf ein bestimmtes Merkmal der geologischen Beschaffenheit des unteren Euphratgebietes hin. Die dortigen Niederungen sind von asphaltreichen miocänen Höhen umgeben. Erdpech ist in jenem Landstriche seit uralter Zeit in mannigfacher Weise in Verwendung, und noch heute gebraucht man es zum Dichten der Schiffe. SUESS stellt neben den Bericht von der Uebergiessung des Sintfluthschiffes mit Asphalt von aussen und innen, wie sowohl Izdubar-Epos wie Genesis ausdrücklich sagen, eine Darstellung

heutiger Gebräuche bei der Darstellung von Fahrzeugen zu Hit am Euphrat. Der Eisenbahn-Ingenieur CERNIK berichtet darüber: „Man begnügt sich, ein rohes Korbgeflecht zu erzeugen, ohne Kiel und mit Tamariskenknüppeln als Rippen, die Zwischenräume mit Stroh und Rohrgeflecht ausgefüllt und der ganze Bau sodann über Gebühr, sowohl aussen als innen, mit einer Lage Asphalt verputzt. Nichtsdestoweniger besitzen diese Fahrzeuge ein bedeutendes relatives Tragvermögen.“ — Es ist also, wie SUESS hervorhebt, in Hit am Euphrat zur raschen Herstellung wasserdichter und tragfähiger Fahrzeuge heute noch derselbe Vorgang in Gebrauch, welchen vor Jahrtausenden Ḥāsīs-Adra befolgte.

SUESS erörtert sodann die Warnungen, welche das Ereigniss verkünden. Er legt Gewicht darauf, dass dieselben von Êa, dem weisen Gotte des Meeres, kommen. Dieser sass mit zu Rathe, als Götter die Anrichtung der Sintfluth beschlossen, und sagte seinem treuen Ḥāsīs-Adra das drohende Strafgericht voraus. „Von welcher Art — sagt SUESS — können diese Warnungen des Meeresherrn gewesen sein? Ich meine, es können dies nur kleinere, wahrscheinlich seismisch erregte Fluthen gewesen sein, ein sich wiederholendes Hinausspülen des Meeres über seine Ufer, welches zugleich den Euphrat staute und in der nicht weit vom Meere gelegenen Stadt Surippak Furcht erweckte und diese Vorsichtsmassregel veranlasste.“

Die letzte Warnung, welche der Besteigung des Schiffes unmittelbar vorangeht, ist allerdings von etwas anderer Art:

Col. II, 30. Als nun die Sonne die bestimmte Zeit machte,

31. da sprach eine Stimme(?): am Abend werden die Himmel Verderben regnen.

33. Die bestimmte Zeit ist herangekommen,

34. sprach die Stimme(?): am Abend werden die Himmel Verderben regnen.

„Auffallend ist — sagt SUESS — dass die sonst so allgemeine Personification der Naturkräfte hier nicht durchgeführt, sondern eine „Stimme“ als redend eingeführt wird, als würde es sich um eine ganz ungewohnte Erscheinung, vielleicht um ein seismisches Dröhnen, einen Rombo handeln. Weitere Vermuthungen müssen aber hier unterbleiben. Die vorstehenden Zeilen sind leider nur auf einem Exemplare der Sintfluth tafeln erhalten, und der Text an beiden Stellen, wo das durch „Stimme“ übersetzte Wort vorkommt, verstümmelt.“

Eingehend erörtert SUESS sodann den wichtigsten Theil der Schilderung, welcher das Ereigniss selbst betrifft. Der Text Col. II, 40 bis Col. III, 7 lautet nach der HAUPT'schen Uebersetzung:

Col. II, 40. Da erhob sich Mû-sêri-ina-namâri

41. vom Grunde des Himmels, schwarzes Gewölk,

42. in dessen Mitte Rammân seinen Donner krachen liess,

43. während Nebo und Sarru aufeinander losgehen,

44. die Thronträger über Berg und Land schreiten.

45. Die Wirbelwinde(?) entfesselt der gewaltige Pestgott.

46. Adar lässt unaufhörlich die Canäle(?) überströmen,
47. die Annunaki bringen Fluthen herauf,
48. die Erde machen sie erzittern durch ihre Macht,
49. Rammân's Wogenschwalm steigt bis zum Himmel empor.
50. Alles Licht verfällt der (Finsterniss).

Col. III, 1. In einem Tage . . . der Erde ver(wüsten) sie wie . . .

2. rasend wehte (ḥantîs izîqá-ma) . . . Berg(?) . . .
3. die . . . führen sie herbei (zum) Kampfe gegen die Menschen.
4. Es sieht der Bruder nicht mehr nach dem Bruder, die Menschen kümmern sich nicht mehr umeinander. Im Himmel
5. fürchten sich die Götter vor der Sintfluth und
6. suchen Zuflucht, steigen empor zum Himmel des Gottes Anu.
7. Wie ein Hund auf seinem Lager, kauern sich die Götter an dem Gitter des Himmels zusammen.

Suess bringt diese Verse in folgende Gruppen: a) Col. II, 40—45 betreffen Vorgänge in der Atmosphäre; b) 46—48 beziehen sich auf die Erde; c) 49—50 beziehen sich auf beide; d) Col. III, 1—3 sind leider in ihrer heutigen Unverständlichkeit unverwendbar; e) 4—7 schildern den Eindruck auf Menschen und Götter.

Den unübersetzten Ausdruck Col. II, 40 deutet DELITZSCH mit „Wasser der Morgenröthe mit Tagesanbruch“. Rammân ist der gewaltige Wettergott. Auf schweres Gewölk ist Gewitter gefolgt, dann Wirbelwind. Suess deutet die über Berg und Land schreitenden „Thronträger“ als Staubtromben und weist auf das häufige Auftreten solcher Staubsäulen im unteren Mesopotamien hin.

Col. II, 46—49 bedeuten nach Suess Schwankungen des Wassers in den offenen Gerinnen, Hervorbrechen des Grundwassers des Euphrat unter gleichzeitigem Erzittern des Bodens. Er sagt: „Das Ueberströmen der Canäle ist eine Erscheinung, welche bei heftigeren Erschütterungen des Bodens selbstverständlich ist, hier aber durch Sturm und Rückstau vermehrt sein mag. Von grosser Bedeutung scheint mir Z. 47. Die Annunaki sind, wie namentlich Haupt gezeigt hat, die Geister der Tiefe, die Geister der grossen unterirdischen Wasser. Sie sind es, welche die Erde erschüttern, und welche aus der Tiefe „Fluthen bringen“. Dieses Herauf-treten von Wässern aus der Tiefe entspricht den oft genannten Stellen des elohistischen Berichtes Gen. VII, 11: Rupti sunt omnes fontes abyssi magni et cataractae caeli apertae sunt (da aufbrachen alle Brunnen der Tiefe und thaten sich auf die Fenster des Himmels; Luth.) — und VIII, 2, nach dem Ereignisse: Et clausi sunt fontes abyssi et prohibitae sunt pluviae de caelo (Und die Brunnen der Tiefe wurden verstopfet, und dem Regen vom Himmel ward gewehret; Luth.). Das Izdubar-Epos meldet also wirklich, dass Wasser aus der Tiefe gekommen sei, und in der biblischen Darstellung ist an zwei Orten das Wasser aus der Tiefe im Gegensatz zum Regen vom Himmel genannt. Dieses Hervortreten grosser Wassermengen aus der Tiefe ist aber ein Phänomen, welches in bezeich-

nender Weise die Erderschütterungen in den Alluvialgebieten grosser Flüsse begleitet.“ (Vergleiche S. 97 u. f.)

Col. II, 49. „Rammân's Wogenschwalm steigt zum Himmel empor“ kann nach SUESS nur auf eine durch eine Cyklone herbeigeführte Ueberschwemmung gedeutet werden. Er hebt hervor, dass vorher noch keine Rede von der Hochfluth ist, ja dass sich das Schwanken des Wassers in den Canälen und das Hervorbrechen des Grundwassers überhaupt nur vor einer ausgebreiteten Ueberfluthung beobachten lassen: „In den ersten Worten, in welchen die Fluth erwähnt wird, steigt sie schon zum Himmel empor, und nicht Êa, der Meergott, welcher vielmehr der wohlwollende Warner gewesen ist, sondern Rammân, der Wettergott, wird genannt. Das sind wohl nicht nur sturmgepeitschte Wogen einer seismisch erregten Ueberfluthung. Vor solchen Wogen wären die Götter nicht in den Himmel Anu's oder, wie einzelne Keilschriftforscher diese Stelle deuten wollten, aus der Sphäre der Planeten in jene der Fixsterne geflohen.“

Die von SUESS gegebenen Deutungen gründen sich auf HAUPT'S Uebersetzung des Sintfluthberichtes. Seither haben sich aber auch andere Assyriologen mit demselben beschäftigt und haben sich hiebei bedeutende Aenderungen des Textes gerade an jenen Stellen ergeben, welche für die Erklärung der Sintfluth durch ein Naturereigniss entscheidend sind. Diese Umgestaltungen betreffen insbesondere Col. II, 44—49. Es sind nach JENSEN¹ zu streichen die „Thronträger“, welche SUESS als Staubsäulen deutete; ferner das Ueberströmen der Canäle, das Heraufbringen der Fluthen aus dem Boden von Seiten des Annunaki und das Erzittern der Erde; endlich auch der Wogenschwalm des Rammân. Indessen sagt JENSEN² ausdrücklich: „Gleichwohl wird SUESS in der Hauptsache, dass die Sintfluth als vom Meere her kommend anzusehen ist, sicher recht behalten und, wenn in die eben angeführten Stellen irrthümlicherweise eine Schilderung verschiedener Naturereignisse hineingelesen worden ist, so werden eben diese zum Theil an anderen Stellen des Berichtes erkannt werden dürfen, wie z. B. in Z. 49 statt von einem Wogenschwalm wohl sicher von einem (Staub)gewühl die Rede ist u. s. w.“ BRANCO³ bemerkt hiezu, dass sich dann die Mitwirkung eines Erdbebens auf diesen babylonischen Sintfluthbericht hin nicht mehr aufrecht erhalten lasse, da das Erzittern der Erde und das damit im Zusammenhang stehende Heraufbringen der Fluthen aus der Tiefe zu streichen sei. Es bleibe daher in der von SUESS gegebenen naturwissenschaftlichen Lösung der babylonischen Fluth nur der Cyklon als Erreger übrig, soweit eben solche Lösung auf diesen einen Bericht gegründet wäre. „Damit ist nun aber — sagt BRANCO — keines-

¹ P. JENSEN: Die Kosmologie der Babylonier. Strassburg 1890, S. 367—446.

² A. a. O. S. 368.

³ W. BRANCO: Das angebliche Wrack der Arche Noae nach des BEROSUS und Anderer Mittheilungen. Jahreshefte des Vereins für vaterländische Naturkunde in Württemberg, 1893, S. 24.

wegs die Mitwirkung eines Erdbebens bei dieser Sintfluth als unmöglich ausgeschlossen; denn wenn auch der uns hier vorliegende babylonische Bericht nach der neuen Deutung von einem solchen nicht spricht, so ist das doch in dem alttestamentlichen Berichte der Fall. Hier heisst es „Das ist der Tag, da aufbrachen alle Brunnen der grossen Tiefe“, was auf ein Herauftreten des Grundwassers in Folge von Erderschütterungen hindeutet, wie SUESS gezeigt hat. Diese mangelnde Uebereinstimmung zwischen beiden Berichten kann nun so gedeutet werden, dass das Heraufbrechen der Gewässer aus der Tiefe eine frei erfundene Zuthat des jüdischen Erzählers ist. Wenn aber letzteres nicht der Fall wäre, dann würde dies darauf hinweisen, dass der biblische Bericht nicht aus dieser in Ninive niedergelegten Version der babylonischen Sage, deren Original sich in Erech befand, geschöpft wurde, sondern dass er die Wiedergabe einer anderen, vielleicht noch älteren, uns nicht bekannten, etwas abweichend lautenden babylonischen Version ist, in welcher sich die fragliche Stelle über das Heraufbrechen der Gewässer von der Tiefe befand. Es ist ja wohl in hohem Grade wahrscheinlich, dass über ein so gewaltiges Natureigniss noch andere Berichte ausser den zufällig auf uns gekommenen in handschriftlicher Aufzeichnung bestanden haben werden. Trifft diese Annahme das Richtige, so würde die von SUESS ausgesprochene Mitwirkung einer Erderschütterung bei der Sintfluth dennoch zu Recht bestehen bleiben, auch wenn der Bericht aus Ninive nach neueren Untersuchungen keinen Anhaltspunkt mehr dafür gewährt.“ Zu Gunsten der Richtigkeit dieser Ausführungen BRANCO's und zum ferneren Beweis der Mitwirkung seismischer Kräfte bei der in Rede stehenden Naturerscheinung muss darauf hingewiesen werden, dass die griechische Sage der deukalionischen Fluth, welche jedenfalls auf Uebertragung aus babylonischer Quelle zurückzuführen ist, ebenfalls den doppelten Ursprung des Wassers der Ueberfluthung kennt. In der mit Recht oder Unrecht LUCIAN zugeschriebenen Schrift „von der syrischen Göttin“ findet sich eine Beschreibung des Tempels von Hierapolis am oberen Euphrat und die Schilderung der Ceremonie der Hydrophoria, welche Deukalion zur Erinnerung an das Unglück und seine Rettung eingesetzt hat. Es heisst in dieser Schilderung: „Die Meisten sagen, dass Deukalion Sisytthes das Heiligthum erbaut habe; dieser Deukalion, unter welchem die grosse Wasserfluth stattfand. Von Deukalion hörte ich auch in Hellas die Sage, welche die Hellenen von ihm erzählen, die sich folgendermassen verhält:“ . . . Nun wird die Schlechtigkeit der ersten Menschen erzählt. — „Zur Strafe“ — heisst es dann — „traf sie grosses Unglück. Sogleich sandte die Erde aus ihrem Schoosse eine grosse Menge Wasser empor, gewaltige Regengüsse traten ein, die Flüsse schwellen an, und das Meer ergoss sich weithin über das Land, bis Alles Wasser wurde und Alle umkamen, nur Deukalion blieb von den Menschen allein . . . Er hatte nämlich einen Kasten gebaut und seine Familie, sowie Paare von allerlei Gethier waren in den Kasten getreten. Alle fuhren in dem

einen Kasten, so lange das Wasser anhielt. So erzählen die Hellenen über Deukalion.“

Es ist sonach, selbst wenn für Col. II, 46 und 47 des Izdubar-Epos die HAUPT'sche Uebertragung unrichtig sein sollte und die JENSEN'sche Deutung richtig wäre, die SUESS'sche Annahme der Mitwirkung eines Erdbebens bei der Sintfluthkatastrophe durch die anderen Berichte bestätigt, zumal diese wohl unabhängig von einander auf babylonische Quellen zurückzuführen sein dürften. Die Uebereinstimmung dieser Berichte lässt es aber sogar als wahrscheinlich erscheinen, dass der Lesung der betreffenden Stelle des Izdubar-Epos durch HAUPT der Vorzug zu geben ist.

Der weiteren Schilderung des Verlaufes der Sintfluth in dem genannten Epos ist zunächst zu entnehmen, dass in demselben die Zeitdauer der Fluth viel kürzer angegeben wird, als in dem biblischen Berichte, und sich demzufolge weit mehr den ähnlichen Erfahrungen der Gegenwart nähert. Es heisst:

Col. III, 19. Sechs Tage und sieben Nächte

20. behält Wind, Sintfluth (Wirbelsturm) und Sturm die Oberhand,

21. beim Anbruch des siebenten Tages (aber) liess der Sturm nach, die Sintfluth (Wirbelsturm), die einen Kampf

22. geführt wie ein (gewaltiges) Kriegsheer,

23. beruhigte sich; das Meer nahm ab und Sturm und Sintfluth (Wirbelsturm) hörten auf.

Ebenso wird die Strandung des Schiffes im Izdubar-Epos in einer Weise erzählt, welche der von SUESS gegebenen Erklärung des grossen Naturereignisses der Sintfluth viel mehr entspricht als der biblische Bericht:

Col. III, 30. Ich schaute die Himmelsrichtungen (oder: wohin ich auch blickte) ein furchtbares Meer

31. nach den zwölf Himmelshäusern (d. i. nach allen Richtungen der Windrose) kein Land.

32. (Willenlos) trieb das Schiff nach der Gegend von Nizir,

33. da fasste ein Berg der Gegend von Nizir das Schiff und liess es nicht nach der Höhe zu weiter.

Ueber die Lage der Gegend Nizir giebt eine Inschrift Aufschluss, welche von einem Kriegszuge des Königs Asúr-nâçirpal berichtet. Danach ist diese Landschaft östlich vom Tigris, jenseits vom unteren Zab, etwa zwischen dem 35. und 36. Breitengrad zu suchen. Wie SUESS hervorhebt, ist nach dem Texte des Izdubar-Epos keine Nöthigung oder gar irgend ein Beweis für die Annahme vorhanden, dass die Strandung tief im Gebirge oder gar auf einem der Hochgipfel erfolgt sei: „Unter dem Lande Nizir wird man das Land zu verstehen haben, welches durch die miocänen Höhenzüge des Karatschok Dagh, Baruwân Dagh und weiter gegen Süd durch den nördlichen Theil des Djebel Hamrin von der Ebene des Tigris abgetrennt ist. Mehrere Flüsse, unter ihnen auch der untere

Zab, durchbrechen in engen Schluchten diese Höhenzüge, und die tertiären Conglomeratbänke bilden häufig wild zerrissene Felswände von beträchtlicher Höhe. Die Seehöhe dieser dem Lande Nizir vorliegenden Berge beträgt im Durchschnitte etwa 300 Meter; die eingerissenen Flüsse liegen viel tiefer. Ich finde aber keine Veranlassung zu der Annahme, dass diese Berge überfluthet worden seien. Das Fahrzeug treibt über die grosse Niederung dahin, geräth in das Gebiet des tiefer liegenden Tigris und strandet an dem Gehänge eines dieser gegen Nordost und Nord die Niederung begrenzenden miocänen Vorberge. Es erreicht nicht den Gipfel des Berges, aber die Geretteten verlassen dann das Schiff und ersteigen den Berg, denn es heisst an späterer Stelle:

Col. III, 46. „Ich richtete her einen Altar auf dem Gipfel des Berges . . .“

„Entscheidend für das Wesen der ganzen Katastrophe aber — sagt SUESS — scheint mir, dass das Fahrzeug entgegen dem Gefälle der Flüsse vom Meere hinweg landeinwärts getrieben worden ist. Jede nach der verbreiteten Auffassung des Ereignisses vornehmlich durch Regen veranlasste Fluth hätte dasselbe sicherlich vom unteren Euphrat in's Meer hinausgetragen. Es ist aber diese allgemein verbreitete Auffassung des biblischen Berichtes durch diesen selbst kaum sicher zu begründen. Schon im vorigen Jahrhundert haben hervorragende Exegeten behauptet, dass (den hebräischen Texten fehlte bekanntlich ursprünglich die Vocalisirung) in Gen. VI, 17 und VII, 6 anstatt ‚majim‘ aquae, Wasser, — ‚mijam‘, a mari, vom Meere, gelesen werden solle. So übersetzte schon vor mehr als hundert Jahren J. D. MICHAELIS, welchen BUNSEN einen der Begründer der neueren Bibelforschung nennt, die betreffenden Stellen:

VI, 17. Ich aber will von der See her eine Ueberschwemmung über die Erde bringen, um alle beseelten Leiber unter dem ganzen Himmel zu vertilgen.

Und ferner:

VII, 6. Noach war damals sechshundert Jahre alt, als die Ueberschwemmung von der See her über die Erde einbrach, und er ging selbst nebst seinen Söhnen, seiner Frau und seiner Söhne Frauen in das Schiff, um dem Wasser der Sintfluth zu entkommen.

Hiezu wird die sehr vernünftige Bemerkung gemacht: ‚In der That muss die Sündfluth hauptsächlich aus der See entstanden seyn, denn die Luft kann bey weitem so viel Wasser nicht halten, als zu ihr erfordert wird, folglich auch nicht im Regen herabschütten‘. Gegen diese Auffassung, welche mehrere hervorragende Bibelforscher des vergangenen Jahrhunderts theilten, wird eingewendet: ‚Die Aenderung von majim in mijam sei unnöthig und unzulässig, weil ja auch der Regen besonders stark mitwirkte‘. Wie ausserordentlich stark aber durch dieselbe die biblische Erzählung den heutigen Erfahrungen über ähnliche Ereignisse genähert wird, bedarf keiner Erläuterung.“

Die noch folgenden Theile der Erzählung Hasis-Adra's sind nament-

lich in ihren engen Beziehungen zu dem biblischen Texte von äusserstem Interesse, aber sie bieten keinen weiteren Aufschluss über die Frage nach den Ursachen der Sintfluth. Die Episode der Aussendung der Vögel wurde behandelt von DELITZSCH und EB. SCHRADER, welche die grössere Ursprünglichkeit des chaldäischen Berichtes und die überraschende Gleichartigkeit einzelner Zeilen des biblischen Textes hervorheben. Die grossen Bogen Anu's, welche die Göttin Istar in die Höhe hebt vor ihrem Gelübde, der Regenbogen der Genesis, sie bestätigen den Regen. Êa, der Gott des Meeres, tritt besänftigend auf, und er ist es, welcher den streitbaren Bêl auffordert, keine Sintfluth mehr zu veranstalten.

Aus dem Wortlaute des Izdubar Epos geht hervor, dass als Schauplatz der Sintfluth das untere Stromgebiet Mesopotamiens von der nahe dem Meere am Euphrat liegenden Stadt Surippak bis zu den Abdachungen der Berge von Nizir jenseits des Tigris zu betrachten sei. SUESS erwähnt einen Einwurf, welcher gegen diese Auffassung von AUG. DILLMANN gemacht wurde. Es geht derselbe dahin, dass die ganze Färbung des chaldäischen Berichtes eine specifisch babylonische sei, dieser Bericht sei „babylonisch localisirt“. Trotz dieser Localisirung zeige derselbe doch keine einleuchtende Anknüpfung an die klimatischen Verhältnisse des Landes, und zwar wird bemerkt, erstens: dass die Ueberfluthung nicht in Bezug stehe mit den periodischen Hochwässern der Flüsse im November und im Frühjahr, und zweitens: dass gar nicht einzusehen sei, warum das von einem Steuermann geleitete Schiff so weit gegen Nord gefahren sei. Verständlich werde die Sache nur, wenn auch in der babylonischen Sage die Abkunft der neuen Menschheit vom Norden her noch ein feststehender Zug war. Dann aber sei sicher, dass Babylonien nicht die ursprüngliche Heimath der Flutherzählung war.¹ SUESS hebt hervor, dass diese Einwände nur aus der binnenländischen Auffassung des grossen Naturereignisses hervorgehen, welche in dem Regen die Hauptquelle der Ueberfluthung zu sehen geneigt ist, obwohl bei so grossen Fluthen der Regen nur als eine Nebenerscheinung auftritt. Die Fluth kam vielmehr, wie alle grossen Fluthen der heutigen Tage, vom Meere her; Erdbeben und Cyklone stehen in keinen Beziehungen zu den periodischen Anschwellungen der Flüsse, und sie sind auch die Ursache gewesen, dass das Schiff so weit nach Norden getrieben wurde.

Die Untersuchungen über die genaueren Angaben von Tag und Monat des Beginnes der Sintfluth, welche sich bei Berosus und in Gen. VII, 11 finden, sowie über RAWLINSON's merkwürdigen Vergleich der Gesänge des Izdubar-Epos mit den Zeichen des Thierkreises übergeht SUESS als nicht in den Bereich seiner Aufgabe gehörig. In Bezug auf das genauere Datum der Sintfluth begnügt er sich, auf den Versuch BOSANQUET's hin-

¹ AUG. DILLMANN: Ueber die Herkunft der urgeschichtlichen Sagen der Hebräer; Sitzungsber. d. k. preuss. Akad. d. Wiss., Berlin 1882, XXI, S. 436—439, — citirt in E. SUESS: Die Sintfluth, S. 29 u. 71.

zuweisen, welcher glaubte dasselbe auf Grund der Beobachtungen über Sonnenfinsternisse im Alterthume ermitteln zu können. Dieser Versuch führte auf das Jahr 2379 v. Chr.¹ SUESS bemerkt, dass er diese Ziffer nur der Vollständigkeit halber erwähne, während allen Anzeichen nach die Katastrophe in eine viel frühere Zeit falle.

Eingehend erörtert W. BRANCO das hohe, vorgeschichtliche Alter der Sintfluth in einer Abhandlung, in welcher er den Nachweis führt, dass der Bericht des Berosus, es seien zu seiner Zeit noch Reste der Arche in den Coreyräischen Bergen Armeniens vorhanden gewesen, als eine jeder vertrauenerweckenden Grundlage entbehrende Fabel zu betrachten ist. Die Zeit der Sintfluth liegt nach BRANCO in grauer, sagenhafter Vorzeit; ganz ebenso, wie auch die handelnden Personen des Izdubar Epos vorgeschichtliche, mythische sind. Zur Stütze dieser Ansicht wird zunächst auf unsere genauere Kenntniss der altbabylonischen Geschichte verwiesen, welche bis jetzt in das achte vorchristliche Jahrhundert hinaufreicht. In dieser Zeit aber redet Sargon II. von Babylon in seinen Inschriften bereits von nicht weniger als 350 Königen, welche vor ihm über Assur und Babel geherrscht hatten. Ueber diese wissen wir freilich nichts Näheres. Aber wir kennen einen einstweiligen Grenzpunkt der babylonisch-assyrischen Geschichte aus einer Inschrift des Nabonedus, welche im 6. Jahrh. v. Chr. verfasst wurde. Nabonedus erzählt in derselben, er habe 18 Faden tief unter dem Sonnentempel von Sipar einen beschriebenen Thoncyliner gefunden, welchen Naram-Sim, der Sohn Sargon I., schreiben liess, welchen also seit 3200 Jahren kein König vor ihm gesehen habe. Danach hat Sargon I. etwa 3800 Jahre v. Chr. gelebt.² Ist nun die Sintfluth ein mythisches, vorgeschichtliches Ereigniss, so muss sie älter als mindestens 3800 Jahre v. Chr. sein. Mit Recht hebt jedoch BRANCO hervor, dass uns noch eine andere Ueberlegung mit Nothwendigkeit zu der Ueberzeugung führt, dass die Sintfluth zu vorhistorischer Zeit stattgefunden haben muss. Hätte sie sich nämlich in historischer Zeit ereignet, so würde doch sicherlich das Andenken an ein so grauenhaftes, so überwältigendes Ereigniss durch eine grosse Zahl von Inschriften und baulichen Erinnerungen festgehalten worden sein, von welchen doch wenigstens ein Theil uns überliefert sein müsste. Es würde nothwendig die ganze Zeitrechnung der Babylonier und Assyrier von diesen in eine vor- und eine nachsintfluthliche Periode getheilt worden sein. Von alledem ist aber

¹ BOSANQUET: Synchron. History of Assyria and Judaea; Trans. Bibl. Arch. Soc. III. 1874. S. 19 und desselben: Chron. Remarks on the History of Esther and Ahasverus, ebend. V, 1877, S. 264; — citirt in E. SUESS: Die Sintfluth, S. 29 u. 71. An letzterer Stelle bemerkt SUESS, dass diese Berechnung auf wenig zuverlässigen Voraussetzungen beruhe, und verweist auf die durch Inschriften beglaubigte Zeit Sargon I., die etwa um 3800 v. Chr. anzusetzen ist.

² THIELE: Babylonisch-assyrische Geschichte, S. 565, 568 u. 570; — citirt in W. BRANCO: Das angebliche Wrack der Arche Noae nach des BEROSUS und Anderer Mittheilungen, Jahreshefte des Vereins für vaterländische Naturkunde in Württemberg, 1893, S. 29.

nichts zu finden; nur sagenhafte, nicht historische Ueberlieferung der gewaltigen Fluth ist in der Literatur jener Völker vorhanden. Die Sintfluth muss also sehr alt sein.

Suess erörtert in seiner Abhandlung über die Sintfluth eingehend die Erscheinungen, welche Erdbeben in Flussländern hervorrufen: das Hervorbrechen des Grundwassers und das Einsinken des Bodens. Er bespricht zunächst die grossartigen Erscheinungen, deren Schauplatz der Ran of Kachh bei dem Erdbeben des Jahres 1819 gewesen ist (vergleiche S. 104 bis 107), er erwähnt die Vorgänge bei den Erdbeben in den Gangesländern am 2. April 1762, 3. April 1810, 11. September 1829 und 11. November 1842 und erörtert endlich die Bodenbewegungen, welche mit Schlammauswürfen verbunden bei dem Beben vom 10. Januar 1869 in der Provinz Kachar stattfanden (vergleiche S. 97).

Ferner bespricht Suess die Wirkungen der Cyclonen an den indischen Küsten. Noch weit schrecklicher als die Erdbeben wüthen in dem Flachlande der indischen Flussmündungen von Zeit zu Zeit die vom Meere her kommenden Wirbelstürme. Viele von ihnen entstehen in der Nähe der Andamanen. Von dort ziehen sie Verderben bringend gegen Nord, Nordwest oder West. Bald treten sie, ungeheure Wassermassen herbeitragend und von unermesslichem Regen begleitet, in die Mündungen des Megna oder des Ganges, bald stürzen sie sich auf die Ostküste des Festlandes, bis Pondicherry hinab, oder sie treffen die Insel Ceylon.

In der Nacht vom 11. zum 12. October 1737 trat ein solcher Wirbelsturm in den Ganges ein und reichte viele Meilen stromaufwärts. Zugleich erfolgte ein Erdbeben und in Calcutta wurden 200 Häuser niedergeworfen. Schiffe von 60 Tonnen Tragfähigkeit wurden über die Bäume landeinwärts getragen. Das Wasser im Ganges soll sich um 40 Fuss über den gewöhnlichen Stand erhoben haben; man schätzte damals den Verlust an Menschenleben auf 300,000 Seelen. Diese Ziffer ist übertrieben, aber ohne Zweifel war die Katastrophe eine furchtbare.

H. BLANFORD hat ein Verzeichniss der Cyclonen der Bucht von Bengalen von dem Jahre 1737 bis zu der grossen Cyclone von 1876 veröffentlicht und gezeigt, dass in diesem Zeitraume von 139 Jahren 112 grössere und geringere Wirbelstürme dieses Meer bewegt und die Küste getroffen haben.¹ Suess führt mehrere Beispiele aus dieser Liste an, welche die furchtbaren Verheerungen erläutern, welche die Cyclonen an den indischen Küsten verursachen:

Am 19. und 20. Mai 1787 erreichen Sturm und Sturmfluth Coringa an dem Delta des Godavery und reichen 32 Kilometer in das Land; es gehen nach einer beiläufigen Schätzung 20 000 Seelen und 500 000 Stück Vieh verloren.

¹ H. F. BLANFORD: Catal. of Cyclones in the Bay of Bengal; Journ. Roy. Asiat. Soc. Bengal, 1877, XLVI. 6., pag. 328—338; — citirt in E. SUESS: Die Sintfluth, S. 44 u. 73.

Am 19. October 1800 zugleich furchtbarer Wirbelsturm und Erdbeben zu Ongole und Masulipatam, zu beiden Seiten der Mündung des Kistna.

Im Juni 1822 fegt eine Sturmfluth über den östlichen Theil der Sunderbunds, über Burisal und Backergunge; der Sturm soll nur 85 Kilometer in 24 Stunden vorgeschritten sein, 50 000 Menschen sollen das Leben verloren haben.

Den 31. October 1831 trifft eine solche Sturmfluth den äussersten Westen des Festlandes des Ganges, wo es sich südlich von Calcutta gegen Kuttack ausdehnt; 300 Ortschaften werden hinweggefegt und mindestens 11 000 Menschen ertränkt; es folgt Hungersnoth und wird der gesammte Verlust an Menschenleben aus diesem Ereigniss auf 50 000 Seelen geschätzt.

Den 21. Mai 1832 ertrinken durch eine solche Fluth im Ganges-Delta 8 000 bis 10 000 Menschen.

Vom 12. zum 17. November 1837 kommt Sturm und Flut von den Andamanen nach Coringa; die Woge war 8 Fuss hoch; 700 Menschen verloren ihr Leben auf den Schiffen; 6000 sollen am Lande umgekommen sein.

Der weniger durch seine Verheerungen als durch seine ausserordentlich lange Strasse bemerkenswerthe Wirbelsturm vom October 1842 ging, wie so oft von den Andamanen aus, in gerader, rein westlicher Richtung kreuzte er am 22., 23. und 24. October den südlichen Theil des bengalischen Meerbusens, und seine Mitte erreichte noch am letzten Tage nach 5 Uhr Nachmittags die Osiküste etwas nördlich von Pondicherry. Nun wendete sich die Richtung, offenbar abgelenkt durch die Höhenzüge, ein wenig gegen Südwest und am 25. Mittags kreuzte das Sturmcentrum im Palgautcherry pass zwischen Salem und Panyany die westlichen Ghats. Hier scheint eine Spaltung eingetreten zu sein; es sind zwei getrennte Wirbelstürme im arabischen Meere erschienen. Der südliche Arm ging in west-nordwestlicher Richtung fort, erfasste am 27. October Mittags schon weit jenseits der Laccadiven in lat. $11^{\circ} 5' N.$, long. $69^{\circ} 09' O.$ das Schiff „Futty Salam“ und ereilte am 31. October in lat. $14^{\circ} N.$, long. $61^{\circ} O.$, nachdem bereits fast der sechste Theil des Erdumfangs zurückgelegt war, nicht 6 Längengrade von der Insel Sokotra mit furchtbarer Gewalt das Schiff „Seaton“, welches er entmastete und als hilfloses Wrack zurückliess. Von hier an hat sich der Sturm mehr gegen Nordwest gewendet. Dies geht aus dem Umstande hervor, dass zwischen Sokotra und dieser Stelle verkehrende Schiffe nur von seiner entfernteren, peripherischen Erregung getroffen wurden. Der nördliche Ast nahm schon von der ostindischen Küste her, wie es scheint, einen mehr mehr nordwestlichen Verlauf. Auf der ganzen Küste, vom Eingange in den persischen Meerbusen bis zum Golf von Aden und an dem afrikanischen Festlande, noch südlich vom Cap Guardafui scheiterte eine grosse Anzahl von Fahrzeugen, und der in Aden lebende Beobachter Dr. MALCOLMSON vermuthete sogar, der Wirbelsturm habe noch in der Nähe der Insel

Bahrein den persischen Meerbusen gekreuzt. Ueber diesen nördlichsten Theil der Strasse werden aber keine directen Beobachtungen mitgetheilt.

Vom 2. bis 5. October 1864 ging eine Cyklone von den Andamanen gegen Nordwest; im Hooghly schwemmte die Woge nahe an 48 000 Menschen und 100 000 Stück Vieh weg. Zwei grosse Postdampfer wurden trocken auf die Felder gesetzt; alle Bäume wurden entlaubt.

BLANFORD's traurige Liste schliesst mit der grossen Cyklone von Bakergunge vom 29. October bis 1. November 1876. Am 23. October 1876 begann im Südosten der Bucht von Bengalen ein Raum von vermindertem Luftdrucke sich zu bilden. Am 26. und 27. bemerkte man in dieser Region bereits heftige vorticose Winde. In den beiden folgenden Tagen bewegte sich dieser Raum verminderten Druckes gegen Nord; am Abende des 29. hatte sich bereits eine heftige Cyklone gebildet. Die Mitte war am 30. October Mittags in lat. 14° und long. 89° . Es trat eine Ablenkung gegen Nordnordost ein, und Geschwindigkeit und Gewalt des Sturmes nahmen zu. Am 1. November, gegen 3 Uhr Morgens, erreichte derselbe die Mündung des Megna mit einer Geschwindigkeit von etwa 32 Kilometer in der Stunde. Die Calmenregion in der Mitte des Sturmes war wahrscheinlich elliptisch, quer auf die Richtung des Vorwärtsschreitens und 24 bis 29 Kilometer breit. Noch etwa 300 Kilometer von dieser Mitte war die Gewalt so gross, dass Schiffe entmastet wurden. In derselben Nacht war kurz vor dem Sturme bei Vollmond eine ungewöhnlich hohe Fluthwelle in den Megna eingetreten und hatte den Fluss zurückgestaut. Es war noch nicht die Zeit voller Ebbe angelangt, als die zurückweichende lunare Fluth, von der Sturmfluth der Cyklone erfasst und überwältigt, mit dieser zu einer gewaltigen Woge vereint, landeinwärts zurückkehrte. Was gegen West und Nordwest lag, wurde von gestautem Süsswasser, was ostwärts lag, von Salzwasser überfluthet. Binnen kurzer Zeit waren 3000 Square Miles (etwa 141 geographische Quadratmeilen) des Festlandes und der grossen vorliegenden Inseln 3 bis 15, ja bis zu 45 Fuss hoch mit Wasser bedeckt. Das Centrum des Sturmes ging dabei gegen Nordnordwest auf das höher liegende Gebiet von Tipperah los, zerschellte an demselben und löste sich auf. Der Gouverneur Sir R. TEMPLE schätzte in seinem amtlichen Berichte die Zahl der ertränkten Menschen auf 215 000 bei einer Gesamtbevölkerung von 1 062 000 Seelen. BLANFORD, welcher später schrieb, meint, es seien beiläufig 100 000 Menschen ertränkt worden. Die Häusergruppen sind hier in der Regel von Bäumen umstellt, sonst wäre der Verlust noch weit grösser gewesen. Entsetzlich sind die Schilderungen der Beamten von dem Zustande des Landes nach der Katastrophe, die Häuser waren zerstört, die Bäume ihrer Blätter und der Aeste beraubt, das Land mit Lachen bedeckt und in Haufen waren die Leichname von Menschen und Rindern zusammengefeßt — das wahre Abbild einer vorübergegangenen Sintfluth. Das Gebiet dieser grossen Cyklonenfluth ist genau dasselbe, welches von dem Erdbeben des Jahres 1762 betroffen worden war.

Suess hebt hervor, dass zuweilen Erdbeben und Cyklone vereint aufgetreten sind, so im Jahre 1737 zu Calcutta und im Jahre 1800 an den Mündungen des Kistna und verweist auf die Beeinflussung der seismischen Erscheinungen durch weitgehende Entlastung von dem Luftdruck wie sie die Grundbedingung des Wirbelsturmes ist. (Vergleiche Seite 112 und 113.)

Im letzten Abschnitte seiner Abhandlung über die Sintfluth kommt Suess darauf zurück, dass alle Umstände derselben eine wesentliche Bestätigung der Ansicht ergeben, welche in dem Sintfluthberichte des Izdubar-Epos nicht eine von auswärts entlehnte und hier nachträglich localisirte Sage, sondern vielmehr die Ueberlieferung eines einheimischen Ereignisses erkennt, welches sich wirklich in den bezeichneten Theilen der Euphratniederung zugetragen hat. Die Euphratmündungen bieten alle für ein solches Ereigniss nöthigen Vorbedingungen und die Verlegung desselben an irgend eine andere Flussmündung würde dasselbe aus dem Gebiete der heutigen Traditionen entfernen. Man könnte z. B. etwa an die vereinigten Mündungen von Ganges und Bramaputra denken, welche heute so oft von Erdbeben und Cyklonen heimgesucht werden. Aber gerade die Häufigkeit grosser Ueberfluthungen, wahrer Sintfluthen in diesem Gebiete sind eher ein Argument gegen eine solche Annahme, denn die uns vorliegenden Sintfluthberichte stammen aus Gegenden, in welchen ein solches Ereigniss ein höchst seltenes, ja geradezu etwas unerhörtes war und gerade darum so unauslöschbaren Eindruck zurückliess. Es ergossen sich die Meeresfluthen über reich besiedelte Landschaften, welche niemals früher der Schauplatz eines solchen Ereignisses gewesen waren, und es auch nach dem Ausspruche der Gottheit niemals wieder sein sollten, ein Ausspruch, welcher sich in einer aus dem so häufig überflutheten Ganges-Delta stammenden Ueberlieferung gewiss nicht finden würde.

Suess erörtert sodann die Häufigkeit der Erdbeben in Mesopotamien und Syrien und bespricht die verschiedenen Sintfluthsagen anderer Völker. Viele davon haben gar nichts mit dem Naturereigniss zu thun, von welchem das Izdubar-Epos berichtet, andere, wie der elohistische und der jahvistische Bericht der Genesis, sowie die hellenisch-syrischen Mythen von der deukalionischen Fluth sind übertragene und vielfach veränderte, aber doch in einzelnen Theilen ihren Ursprung sicher verrathende Ueberlieferungen. Anders verhält sich die Sache mit den chinesischen Berichten von der grossen Ueberfluthung Chinas unter der Regierung des Kaisers Yáo (2537 v. Chr.), welche wahrscheinlich durch den gelben Fluss verursacht wurden, der auch seither so grosse Verwüstungen angerichtet hat, dass man ihn den Kummer China's nennt. Es ist klar, dass die historischen Berichte von dieser, durch die Arbeiten Yü's beseitigten Ueberfluthung China's mit der biblischen Sintfluth nichts zu thun haben.

Die Ergebnisse seiner Forschung fasst Suess in folgender Weise zusammen:

1. Das unter dem Namen der Sintfluth bekannte Naturereigniss ist

am unteren Euphrat eingetreten und war mit einer ausgedehnten und verheerenden Ueberfluthung der mesopotamischen Niederung verbunden.

2. Die wesentliche Veranlassung war ein beträchtliches Erdbeben im Gebiete des persischen Meerbusens oder südlich davon, welchem mehrere geringere Erschütterungen vorangegangen sind.

3. Es ist sehr wahrscheinlich, dass während der Periode der heftigsten Stösse aus dem persischen Golf eine Cyklone von Süden her eintrat.

4. Die Traditionen anderer Völker berechtigen in keiner Weise zu der Behauptung, dass die Fluth über den Unterlauf des Euphrat und Tigris hinaus, oder gar über die ganze Erde gereicht habe.

Dieser Vorfall ist es nun, welcher unter ganz verschiedenen Voraussetzungen, durch eine wunderbare Verkettung der Umstände und nachdem er durch Jahrtausende der Erinnerung der Völker eingepägt geblieben war, aus den heiligen Büchern des Alterthums in die geologische Wissenschaft Ausdrücke wie „Diluvium“, „Diluvial-Formation“ und „diluviale Ablagerungen“ herübertreten liess. Er ist heftig und zerstörend gewesen, aber es fehlt der Beweis für seine weite Ausbreitung. In schlichten Worten stellen sich dem Geologen seine Hauptzüge etwa folgendermassen dar:

In einer andauernden seismischen Phase mag durch Erdstösse zu wiederholten Malen das Wasser des persischen Meerbusens in das Niederland an den Mündungen des Euphrat geworfen worden sein. Durch diese Fluthen gewarnt, baut ein vorsichtiger Mann, Ḥasīs-Adra, d. i. der gottesfürchtige Weise genannt, ein Schiff zur Rettung der Seinigen und kalfatert es mit Erdpech, wie man heute noch am Euphrat zu thun pflegt. Die Bewegungen der Erde nehmen zu: er flüchtet mit den Seinigen in das Schiff; das Grundwasser tritt aus dem geborstenen Flachlande hervor; eine grosse Depression des Luftdruckes, bezeichnet durch furchtbaren Sturm und Regen, wahrscheinlich eine wahre Cyklone, vom persischen Meerbusen hereintretend, begleitet die höchsten Aeusserungen der seismischen Gewalt; das Meer fegt verheerend über die Ebene, erhebt das rettende Fahrzeug, spült es weit landeinwärts und lässt es an jenen miocänen Vorhügeln stranden, welche unterhalb der Mündung des kleinen Zab die Niederung des Tigris gegen Nord und Nordost umgrenzen.



I. Erdbeben-Register.

(Verzeichniss der in der Erdbebenkunde besprochenen Erschütterungen, nach Localitäten geordnet).

- A**cera (Guinea), 10. Juli 1862 — 3.
Achaja, 26. December 1861 — 100, 101, 102, 103, 137.
Adelsberg (Krain), 8. Januar 1873 — 423.
Admont, 24. December 1857 — 418.
Aetna 1633, 1634, 1669, 1865, 1875, 1879, 1865 — 273.
— 20. Februar 1818, 1781 — 347.
Agram, 9. November 1880 — 38, 39, 47, 49—57, 98, 99, 126, 143, 144, 145, 149, 168, 169, 173, 174, 175, 177, 178, 179, 188, 189, 190, 205, 208, 211, 421.
Alais (Gard-Departement) 1814 — 291.
Algerien, März 1825 — 126.
Ali (Sicilien), 18. Mai 1780 — 349.
Andalusien, 25. December 1884 — 41, 129, 146, 147, 191, 192.
Antiochia, 115, 333, 387, 394 oder 395, 20. Mai 525, 29. Mai 526, März 527, 29. November 528, 31. October 589 — 210.
Arica (Peru), 13. August 1868 — 115, 119, 120.
Armenien, 1840 — 126.
Athen, 24. Juni 1870 — 147 u. Tafel I. — 15. März 1873 — 424.
- B**aikal-See 12. Januar 1862 — 127.
Basel, 25. Januar 1348 — 418.
Battang (China), 1870 — 36.
Belgien, 23. Februar 1828 — 41.
Belluno, 29. Juni 1873 — 38, 41, 64, 72, 73, 98, 177, 188, 204, 211, 215, 216, 359—368, 384, 418, 419, 420.
Bessungen (bei Darmstadt), 25. Mai 1872 — 423.
Böhmen, 7.—10. Januar 1824 — 126.
Bogota (Neu-Granada), 16. November 1827 — 96.
Brockau, 19. December 1883 — 405.
Bruck (Steiermark), 3. Februar 1856, 21. April 1871 — 390.
Brunn (Niederösterreich), 27. Februar 1768 — 387, 388.
Brussa (Kleinasien), 28. Februar und 11. April 1885 — 206, 207.
- C**alabrien, 9. Januar 1693 — 352.
— 1783 — 36, 27, 42, 64, 71, 92, 93, 94, 95, 108.
— 16. December 1857 — 42, 43, 44, 45, 59.
Calcutta, 11.—12. October 1737 — 442, 445.
Californien, 21. October 1868 — 96, 97.
Callao (Peru), 28. October 1724 — 120.
Campanien (Ausbruch des Vesuv), 12. Juni 1794 — 242.
Casamicciola (Ischia), 28. Juli 1883 — 63, 126, 176, 201, 202, 258, 259, 260, 261, 268, 269, 270, 271, 272, 273, 274.
Castiglione (Oberitalien), 13. August 1771 — 364.
Catania, 1699 — 123.
Catanzaro (Calabrien), 29. Juli 1783 — 351.
China, 1649 — 3.
Chios, 3. April 1880 — 108, 132.
Collalto, 1859 — 363, 364, 368.
Concepcion, 20. Februar 1835 — 22, 80, 81, 82, 83, 85, 121, 135, 136.
Cosenza (Calabrien), 27. März 1638, 4. October 1870, 12. Februar 1854 — 353. — 1835, 1832, 1783 — 354.
Cumana, 14. November 1797 — 114.
- D**armstadt, 18. October 1867, 5. Mai 1872, 3. August 1874, 5. August 1876 — 423.
— 18. März 1872, 10.—11. März 1873, 16. Februar 1874 — 424.
Delphi, August 1870 — 91; 279 v. Chr. — 92.
Dobratsch bei Villach, 25. Januar 1348 — 90.
- E**ngen, 21. März 1886 — 319.
England, 18. November 1795 — 211.
- F**eltre (Mte Tomatico) siehe Tomatico.
- G**anges-Länder, 2. April 1762, 3. April 1810, 11. September 1829, 11. November 1842 — 442.

- Gardasee, 1866 und 1868 — 364.
 Genf, 28. Juni 1880 — 420.
 Gera-Greiz, 22. October 1883 — 405.
 Girifalco (Calabrien), 28. März 1783 — 350, 351.
 Gitschthal (Kärnthen), 22. October 1876 — 397.
 Glauchau-Meerane, 21. Januar 1885 — 405.
 Gmünd (Kärnthen), 16. October 1869 — 423.
 — 5. November 1881 — 396, 397.
 Gottschee (Krain), 7. Januar 1872 — 423.
 Graubündener Beben, 7. Januar 1880 — 398—400, 417.
 Griechenland, 19. u. 20. September 1867 — 197 u. Tafel I.
 Gross-Gerau (Hessen), Erdbebenperiode 1869, 1870 u. 1871 — 208, 308—317, 424.
 Grubhof bei Lofer (Salzburg), 12. März 1873 — 419.
 Guanaxuato (Mexiko), 1784 — 74.
Helike, 373 v. Chr. 102, 137.
 Herzogenrath, 22. October 1873 — 59.
 — 24. Juni 1877 — 59, 70, 77.
Idrja, 27. Februar 1870 — 423.
 Iquique (Peru), 9. Mai 1877 — 117.
 Irkutsk, 8. März 1828 — 128.
 Ischia, 1228, 1762, 1796, 1805, 1812, 1827, 1828, 1834 — 266.
 — 1841, 1851, 1852, 1863, 1864, 1867, 1874, 1875, 1880, 1881 — 267.
 — 2. Februar 1828 — 126.
 — 4. März 1881 — 201.
 — 28. Juli 1883 s. Casamicciola.
Jamaica, 7. Juni 1692 — 36, 96, 120.
 Judenburg (Steiermark), Mai und Juni 1812, 8. Juni 1813. 3. Mai 1843, 19. Juni 1857 — 390.
 Jülich, 20. März 1874 — 424.
 Juragebirge, December 1879 — 400—402.
Kachar (Indien), 10. Jan. 1869 — 97, 442.
 Kachh (Ran of K.), 1819 — 104—107, 442.
 Kärnthen, Friaul, 25. Januar 1348 — 90.
 Kaisersfelden bei Rosenheim (Bayern), 17. Februar 1879 — 423.
 Kaiserstuhl, 21. Mai 1882 — 63, 274, 275, 276, 277.
 — 24. Juni 1884 — 276, 277.
 — 3. Januar 1886 — 277, 278.
 Kapfenberg (Steiermark), 26. October 1864 — 400.
 Kephallonia, 30. September 1636, 11. Juli 1766, 11. Juli 1767 — 210.
 — 4. Februar 1867 — 195, 196, 206, 210 u. Tafel I.
 Kindberg (Steiermark), 1267, 7. April 1857 — 390.
 Kiyoto (Japan), 4. September 1596 — 4.
 Klana (Istrien), 1870 — 206, 209, 290, 359, 369—379, 384, 424.
 Knin (Dalmatien), 22. Oct. 1876 — 424.
 Knittelfeld (Steiermark), 26. u. 27. Oct. 1864 — 390.
 Konstanz, 11. Januar 1881 — 319.
 Kreta, 28. März 1846 — 193 u. Tafel I.
 Krieglach (Steiermark), 4. October 1811 — 390.
Laibach, 17—18. Mai 1872 — 423.
 — 10. August 1874 — 423.
 Leoben (Steiermark), 6. Februar 1794, 26. Juni 1830, 29. August 1858, 10. April 1867, 24. April 1868 — 390.
 — 6. Februar 1794 — 418.
 Leopoldshall, 14. December 1880 — 318.
 Lietzen und Windischgarten, 24., 25 u. 26. December 1857 — 418.
 Lima (Peru), 28. October 1724 — 120.
 Linththal (Schweiz), 1701, 1702 — 218.
 Lissa, 10. August 1874 — 424.
 Lissabon, 1. November 1755 — 103, 125, 126, 133, 134, 177, 199, 200, 201, 205, 324, 426.
 Ludwigshafen - Stockach, 24. Februar 1881 — 319.
Mazzara (Sicilien), 1536, 1841 — 344.
 Meerane-Waldenburg, 15. December 1880, 21. Januar 1884 — 405.
 Meissen, 4. December 1690 — 417.
 Meleda, 1822—24 — 74, 214, 291 bis 304, 307.
 Messina, 3., 4. und 6. Januar 1846 — 348. — 8. und 9. April 1780 — 349.
 — 13. Februar 1781 — 349.
 Milazzo (Sicilien), 10. und 28. Februar 1831 — 346.
 Mineo (Aetna), 4. October 1878 u. f. — 357.
 Missouri, 1811 — 36.
 Mitteldeutsches Beben, 6. März 1872 — 59.
 Mittelmeer, 12. October 1856 — 193, 194, 195 u. Tafel I.
 Mittelmeer, 24. Juni 1870 — 198, 199 u. Tafel I.
 Montenuovo, 1538 — 244 bis 250.
 Moosbrunn (Amt Eberbach, Odenwald), 6. Januar 1872 — 423.
 Mürrzuschlag (Steiermark), 3. November 1784, 17. November 1811, 5. October 1829, 14. März 1837, 30. August 1847 — 390.
 Mytilene, 7. März 1867 — 196 u. Tafel I.
Naso (Sicilien), 25. August 1631, 4. Mai und 18. Mai 1739 — 346.
 Neulengbach (Niederösterreich), 3. Januar 1873 — 387.
 Neuhausen bei Engen, 9. März 1881 — 319.

- Neustadt (Niederösterreich), 1281, 18. Mai 1282, 20. September 1587, 27. August 1668, 10. April 1712, 15. u. 16. Juni 1718, 8. Juni 1749, Februar 1768, 5. Februar 1769, 3. December 1778, 13. Februar 1783, 18. November 1776, 29. u. 30. October 1802, 13. Juli 1841, 28. November 1858, 19. December 1868 — 88, 392.
- Neustadt (Niederösterreich), 27. Februar 1768 — 176.
- New Madrid (Mississippi), 6. Januar 1812 — 127.
- Nicastro (Calabrien), 20. Juli 1609, 6. October 1821, 31. August 1826 u. a. — 352.
- Niederaach bei Amriswyl (Kanton Thurgau), 30.—31. December 1879 — 417.
- Niederösterreich, 29. Juni 1590 — 205, 387, 392.
— 15. September 1590 — 387, 388, 392.
— 3. Januar 1873 — 190, 191.
- Odenwald, 6. Januar 1872, 15. Mai 1872, 25. Mai 1872, 19. Januar 1873, 5. Aug. 1876, 7. September 1876 — 423, 424.
- Ogulin (Croatien), 19.—20. Juli 1876 — 423.
- Ongole und Masulipatam an der Mündung des Kistna (Indien), 19. October 1800 — 443, 445.
- Oppido (Calabrien), 5. Februar 1783 — 108, 349, 351.
- Owens Valley (Californien), 26. März 1872 — 47, 48, 64.
- Palästina, 1762, 1834, 1837 — 407.
- Palermo, 2. September 1726 — 134.
— 5., 7. u. 8., 26., 27. März 1823 — 345.
— 21. Juni, 29. Juni, 5. Juli, 10. August, 14. August 1827, 24. März 1835, 13. Juni 1843 — 346.
- Patti (Sicilien), 9. März 1786, 19.—22. Januar 1842 — 346.
- Pendschab, 2. März 1878 — 47, 48.
- Pfungstadt (bei Darmstadt), 25. Mai 1872 — 423.
— 3. August 1874 — 424.
- Phokisches Erdbeben, von Ende Juli 1870 durch drei Jahre — 90, 91, 203, 204, 207.
- Pinerolo (Piemont), 2. April bis 17. Mai 1808 — 109.
- Pisko (Peru), 1690 — 124.
- Polia (Calabrien), 28. Februar 1783 — 350.
- Pompeji, 63 — 240, 241
- Potidäa, 479 v. Chr. — 123.
- Radicena (Calabrien), 5. Juni 1783 — 351.
- Radmannsdorf (Krain), 13. October 1869 — 423.
- Rheinisches Erdbeben, 1846 — 59.
- Rheinisch-schwäbisches Beben, 24. Januar 1880 — 26.
- Rheinprovinz, 26. August 1878 — 38, 124.
- Riobamba, 1797 — 36.
- Rogliano (Calabrien), 27. März 1638 — 353.
- Rosegg (Kärnten), 24., 25., 28. und 29. December 1857 — 418.
- S. Eufemia (Calabrien), 27. März 1638 — 352, 353.
- San Francisco (Californien), 21. October 1868 — 96.
- S. Maria di Niscemi (Sicilien), 18. März 1780 — 344.
- Scheibbs (Niederösterreich), 11. Juli 1876 — 41, 387.
- Schemnitz, 1854, 1855 — 217.
- Schottwien (Niederösterreich), 26. Februar 1583, 18. Januar 1783, 8. August 1862, 10. Januar 1870 — 390.
- Schweiz (Westschweiz), 30., 31. December 1879 — 417.
- Schweiz, 4. Juli 1880 — 47, 48, 403, 444.
- Sciacca (Sicilien), 1578, 1652, 1724, 1726, 1740, 1816, 1831, 1840 u. f. — 344.
- Semmering, 8. Juni 1830, 25. März 1869, 18. Januar 1870 — 390.
- Sicilien, 1537 durch 12 Tage von der Eruption des Aetna am 3. Mai — 347.
- Sicilien (Aetna), 13. März 1780 — 347.
- Sicilien, Malta, Calabrien, 20. Februar 1818 — 345.
— — 28. März 1846 — 345 und Taf. I.
- Sillein, 15. Januar 1858 — 41, 59, 385, 386.
- Simmenthal (Schweiz), April bis October 1885 — 397.
- Simoda (Japan), 23. December 1844 — 116, 117.
- Soriano (Calabrien), 7. Februar 1783 — 350.
- St. Domingo, 1770 — 96.
- St. Gallen (Schweiz), 15. Februar 1888 — 401, 402.
- St. Peter und Dornegg bei Illyrisch Feistritz, 21. März 1874, 27. März 1874, 19. Mai 1874 — 424.
- Stassfurt, 14. December 1880, 29. Mai 1883, 12. August 1883, 4. September 1883, 5. September 1883, 6. September 1883, 10. Juli 1884 — 318.
- Süd-Frankreich und Italien, 23. Februar 1887 — 129, 130, 131.
- Summerau bei Freystadt (Oberösterreich), 29. Juni 1873 — 419.
- Tacna u. Arica (Peru), 13. August 1869 — 115, 116, 119, 120.
- Tarasp (Schweiz), 7. Mai 1880 — 402.
- Tauberbischofsheim, 15. Januar 1873 — 423.

- Thiengen, 16. November 1886 — 319.
Tokio, 25. Juli 1880 — 150.
— 15. Januar 1887 — 165, 166, 167 u.
Tafel II.
Tomatico bei Feltre, November u. De-
cember 1871—74, 214, 291, 305, 306, 307.
Trata (bei Bischofslack, Krain), 10. August
1874 — 423.
Troina und Nicosia (Sicilien), April 1822
— 347.
Udine und Cividale, 14. Mai 1872 — 424.
Ullah-bund (Ran of Kachh), Juni 1819
— 104—107.
Urbino, 12. März 1873 — 419.
Val de Ruz (Schweiz, Kanton Neuen-
burg), 16. Juni 1881 — 404.
Val di Noto (Sicilien), 1693, 1727, 1818
— 345.
Valdivia, 7. November 1837 — 84, 85.
Valparaiso, 19. November 1822 — 79, 80.
Vevey, 7. Juni 1891 — 397.
Villach, 15. Januar 1348 — 418, 421, 422.
— 4. December 1690 — 389, 392, 417,
422, 425.
Visp-Thal (Wallis), 15. Juli 1855 — 323,
324.
Vogtländisch-erzgebirgisches Beben, 23.
November 1875 — 216.
Vogtländisch-erzgebirgische Beben, 1878
bis 1884 — 404.
Walachei, 11. (23.) Januar 1838 — 96,
115.
Wallis, 9. December 1755 — 79.
— 25., 26., 28. Juli 1855 — 323.
Westdeutsches Erdbeben, 26. August 1878
— 59, 77, 149.
Weischlitz, 12. December 1880 — 405.
Wien, 15. u. 16. September 1590 — 176.
Wiener Neustadt siehe Neustadt.
Yokohama, 15. Januar 1887 — 138.
Zante, 15.—22. Februar 1874 — 424.
Zara, 13. März 1873 — 424.
Zinnwald, 1620 — 281.

II. Autoren-Register.

- Abbot, H. L. 65, 68, 183.
Arago 128.
Babbage 252.
Baglivi, G. 19.
Baldazzi, L. 262, 265, 275.
Baltzer, A. 330.
Barrois, Ch. 405.
Bauermann 409.
Baumgartner 300.
Beaumont, E. de 244
Belcher 80
Bertrand 79, 324.
Berti 206.
Beyrich 368.
Bischof, G. 283, 284, 285, 286.
Bittner, A. 24, 72, 73, 170, 188, 204, 205,
206, 211, 215, 216, 330, 331, 359, 360,
361, 363, 367, 393—396, 419.
Blanckenhorn, 413.
Blanford, H. 442—444.
Boegner, J. 17, 18.
Bosanquet 440, 441.
Bossi 300, 301.
Boué, A. 212, 287, 418.
Boussingault 14, 85.
Bracchini 238.
Branco, W. 430, 436, 441.
Breislak 74, 265, 292, 301, 302, 304.
Brocchi 246.
Bruchhausen, W. v. 252.
Buch, Leop. v. 15, 213, 242, 243, 244,
245, 304, 410.
Burnes, Al. 104, 105, 106.
Cacciatore 155.
Calcott 80.
Caldcleugh, A. 83.
Canaval, R. 396, 397.
Capaccio, G. C. 264.
Carless 107.
Catullo, T. A. 306.
Christomanos 132.
Concha i Toro, E. 81.
Configliachi 300, 301.
Coste 83, 84.
Cotta 231.
Coulter 155.
Covelli 126.
Credner, H. 24, 215, 404, 405.
Cuming 80.
Dana, J. D. 20.
Darwin, Ch. 22, 79, 82, 83, 85, 121, 122,
132, 135, 216,
Darwin, G. H. 112, 113, 225.
Daubrée 227.
Deffner, C. 332.
de la Bèche 154.
Delaunay 339.
Dewalque 142.
Diener 413.
Dillmann, A. 440.
Dolomieu 71, 351.
Doughty 409.
Douville, H. 411.
Drygalski 252.

- Dücker, von 218.
 Dufrenoy 244, 245.
 Du Moulin 84.
 Dutton 254, 334.
- E**
 Emin Pascha 413.
 Erman 128.
 Escher v. d. Linth, 329, 331.
 Ewing, 158, 164, 165.
- F**
 Facen 306.
 Falb, R. 20, 78, 204, 205, 214, 427.
 Falconi, M. delli 244, 247, 248, 249.
 Fazio, E. 262, 269, 270.
 Ferrara, 345, 348.
 Féruillac 258.
 Fitzroy, R. 82, 83, 121.
 Forel, F. A. 181, 182, 187, 397.
 Forster, D. A. 396.
 Fouqué, F. 65, 66, 67, 68, 183, 196.
 Fraas, O. 325, 409, 410.
 Früh, J. 396, 398, 403.
 Fuchs, C. W. C. 28, 85, 225, 240, 263, 264, 273, 308, 309, 318.
 Fuchs, Karl 10.
 Futterer, K. 366, 367, 368,
- G**
 Gatta, L. 262, 265.
 Geinitz, E. 24, 117.
 Ghetaldi, G. B. de 295.
 Gilbert, G. K. 253, 329.
 Goethe 246.
 Graham, Maria 79, 80.
 Gray, Th. 158.
 Gray 211.
 Griesbach, C. L. 28, 97, 115.
 Grimaldi 93, 126.
 Gümbel 321.
 Günther, S. 325, 840, 341.
 Guiscardi 261.
- H**
 Haidinger, W. 305, 307.
 Hall, J. 121.
 Hallaschka 126.
 Hamilton 95.
 Hann, J. 119, 131.
 Hauer, F. von 382.
 Haupt, P. 429, 435, 436, 438.
 Heim 20, 24, 25, 48, 86, 87, 141, 171, 172, 179, 181, 218, 286, 321, 324, 329, 330, 336, 337, 341, 397—402, 417, 420, 425.
 Helmont, van 12.
 Hitchcock 409.
 Hochstetter, F. von 24, 85, 117, 287.
 Hofer, H. 24, 72, 73, 211, 396, 397, 419, 421, 422, 424, 425.
 Höhnel, von 411.
 Hoernes, R. 20, 30, 73, 89, 205, 206, 206, 214, 215, 308, 359, 366, 368, 369, 384, 420.
- Hoff, K. E. A. von 29, 125, 240, 257, 258,
 Hoffmann, Fr. 34, 37, 109, 110, 155.
 Holmes 253.
 Hopkins 339.
 Humboldt, A. von 1, 15, 16, 20, 74, 76, 108, 109, 127, 128, 132, 213, 304, 336, 337.
- J**
 Jannetaz 69.
 Jarosch, E. 305, 306.
 Jeitteles, L. H. 386.
 Jensen, P. 531, 436, 438.
 Jervis 265.
 Judd 231.
 Junghuhn 252.
- K**
 Kauffmann 329, 331.
 King, Cl. 254, 328.
 Kircher, Athan. 352.
 Kluge, E. 18, 112, 115, 141, 207, 415, 416.
 Knipping, E. 151.
 Knop, A. 274, 275, 276, 277, 278.
 Knott 160, 161.
 Kornhuber, A. 386.
 Krapotkin 229.
 Kraskovich 300, 303.
 Kreil 156.
 Kries 108.
- L**
 Lartet 409.
 Lasaulx, A. von 5, 25, 33, 37—39, 41, 59, 60, 61, 63, 69, 70, 72, 73, 75—78, 124, 148, 149, 157, 158, 211, 219—224, 259, 260, 279, 286, 287, 308, 316—319, 325, 416, 427.
 Latro, H. 352.
 Laube, G. C. 25.
 Lavis, J. 261, 271.
 Lenormant, F. 432.
 Lersch, B. M. 3, 4, 13.
 Lévy, M. 65, 66, 67, 68, 183.
 Littrow 300.
 Löwl, F. 254.
 Lotti 329.
 Lyell, Ch. 83, 84, 104, 127, 244, 245, 429.
- M**
 Mallet, R. 25, 42, 44, 45, 57, 59, 65, 66, 122, 157, 171, 176, 271.
 Mallet, J. W. and R. 29.
 Marenzi, Fr., Graf 20, 286.
 Margules 252.
 Menis 300.
 Mercalli, G. 25, 261—264, 266, 268—274.
 Merian 109.
 Milne, E. 65, 66, 68, 110.
 Milne, J. 132, 134, 135, 136, 151, 152, 154, 158, 159, 160, 161, 162.
 Milovich, St. 294.
 Moesch 330.
 Mohr, F. 285.
 Mojsisovics, E. von 287, 288, 289, 308, 382.
 Moreau de Jonnes 112.

- Naumann, C. F. 17, 96, 107, 108, 114,
 122, 126, 127, 128.
 Naumann, Edm. 4.
 Necker, A. 14, 306.
 Nero, Fr. del 244, 247, 252.
 Netoliczka, E. 18, 156.
 Neumayr, M. 46, 57, 92, 108, 133, 205,
 229, 230, 243, 244, 275, 326, 383.
 Newberry 253.
 Niccolini 248.
 Nöggerath 79, 208, 324.
Oldham 98.
 Offret, Alb. 406.
 Orsi, L. d' 353.
Palassou 211.
 Palmer, H. S., 32.
 Palmieri 182, 243, 250, 252, 260, 261, 275.
 Paluskovich, M. 293.
 Partsch, P. 74, 291, 292, 295, 305, 307.
 Penck, A. 252, 318, 319.
 Perrey, A. 19, 127, 418, 427.
 Pexidr, G. 100.
 Pfaff, F. 65, 68, 286, 321.
 Philippi, R. 85.
 Pignataro, Dom. 351.
 Pilar, G. 22, 23, 290, 338, 339, 341.
 Piloni, G. 90.
 Plinius 9, 240, 257.
 Portman, M. V. 4.
 Porzio, S. 244, 247, 248.
 Posepny 217.
 Prevost, C. 245.
Rasch, J. 12.
 Rath, G. vom 38, 72, 98, 133, 201, 258,
 353, 360.
 Rawlinson 431, 433, 440.
 Reyer, E. 20, 227, 228, 230, 231, 253,
 255, 280, 282, 338, 339, 425, 426, 427.
 Richthofen, F. von 329.
 Riepl, Fr. 293.
 Rivaz, Chevalley de 263.
 Rivero Don Mar. 83.
 Röttger R. 137, 138.
 Rogers H. D. 330.
 Romano, de 300.
 Rossi, M. S. de 111, 241, 261, 262,
 271, 272.
 Roth, J. 29.
 Russegger, 217.
Salsano 156.
 Scacchi 265.
 Schaubach, E. 90.
 Scheuchzer, Joh. Jak. 13.
 Schmid, A. 307.
 Schmidt, J. 29, 59, 90, 100, 101, 102,
 110, 112, 114, 123, 137, 142, 147, 193,
 194, 195, 196, 197, 198, 203, 204, 206,
 207, 209, 386, 418.
 Schueler, G. 96.
 Schumacher 59.
 Scrope, G. P. 216, 227, 232, 233, 234,
 235, 238, 256.
 Seebach, K. v. 25, 57, 141, 147, 170.
 Sekiya, S. 159, 165, 166, 167, 168.
 Seneca 240.
 Serpieri 262, 275.
 Seyfart, J. F. 292.
 Siemens 339.
 Silvestri, de 357, 358.
 Smith G., 430, 431.
 Spallanzani 233.
 Stache, G. 379, 380, 382.
 Standfest, F. 123, 124.
 Stapff 321.
 Stoliczka 228.
 Strabo 257.
 Stulli, L. 296, 301.
 Stur, D. 206, 290, 369, 370, 371, 373,
 376, 377, 379, 382.
 Suess, E. 20, 22, 23, 25, 41, 48, 79, 83,
 84, 86, 104, 107, 112, 113, 123, 190,
 191, 211, 216, 217, 246—254, 325,
 328—331, 333—336, 338, 339, 341—
 345, 347—349, 351, 352, 354—357,
 380—393, 395, 408, 409, 411, 417,
 418, 429—431, 433—442, 445, 446.
Tacitus 240.
 Tait 252.
 Taramelli, T. 382.
 Tarnutzer 397.
 Teleki, Graf 412.
 Thomson 252, 339.
 Thomson, Jos. 410.
 Thompson 265.
 Tietze, E. 289, 290, 382, 384.
 Toaldo, G. 19, 20.
 Toula, F. 29, 38, 219.
Vasalli-Eandi 109, 127, 128.
 Verbeek 252.
 Vivencio 95, 350, 351.
 Volger, G. H. Otto 14, 79, 211, 212,
 213, 214, 285, 286, 291, 320, 321, 322,
 323, 324.
Wähner, F. 25, 39, 47, 49, 55, 57, 75,
 98, 99, 126, 143, 144, 145, 168, 169,
 170, 172, 173, 174, 175, 177, 188, 190,
 205, 208, 209, 211, 425.
 Wagener 150, 151, 158.
 Walpole 83.
 Warner, H. D. 139.
 Wettstein 408.
 Whitney, J. D. 48.
 Wynne, A. B. 48, 106.
Zimmern, H. 431.

S - 96

S. 61

WYDZIAŁY POLITECHNICZNE KRAKÓW

BIBLIOTEKA GŁÓWNA



5252

L. inw.

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000294729