

Die Erdbebenflut im pacifischen Ocean

vom 13. bis 16 August 1868.

Von Prof. Dr. Ferd. v. Hochstetter.

In den Tagen vom 13. bis 16. August vorigen Jahres sind die Gesteine der Südsee von Valdivia südlich bis San Francisco nördlich einerseits und andererseits von Neuseeland und Australien bis zu den japanischen Inseln von Flutphänomenen heimgesucht worden, wie man sie in solch kolossaler Ausdehnung und mit so verheerender Wirkung kaum je beobachtet hat. Nur nach und nach laufen die Nachrichten darüber aus dem weiten Raumgebiete des großen Oceans ein, und erst eine Sammlung aller hieher gehörigen Thatsachen wird es ermöglichen, einen vollständigen Ueberblick zu gewinnen über das großartige Phänomen einer über das ganze ungeheure Gebiet des pacifischen Oceans stattgehabten Störung im Gleichgewichtszustande des Meeresniveau's, die mehrere Tage lang andauerte, und wie sich jetzt auf das bestimmteste nachweisen lässt, durch das gewaltige Erdbeben veranlasst wurde, welches am Abend des 13. August die Küste von Peru erschüttert und daselbst die furchtbarsten Zerstörungen angerichtet hat.

Nach den Daten, wie ich dieselben aus verschiedenen Berichten in Zeitungen und wissenschaftlichen Journalen gesammelt habe, erstreckte sich der Erschütterungskreis dieses Erdbebens, das nicht verwechselt werden darf mit dem Erdbeben in Ecuador am 10. August, am Lande von Callao nördlich bis Copiapo im nördlichen Chili südlich und hatte somit einen Längendurchmesser von ungefähr 14 Breitegraden oder 210 geographischen Meilen. Der Durchmesser der Breite nach ist unbekannt. Jedoch scheint gegen Ost die Wasserscheide der Anden die Gränze der Erschütterung gebildet zu haben, während in westlicher Richtung von der Küste weg wahrscheinlich noch eine bedeutende Strecke des Meeresgrundes mit an der Erschütterung Theil genommen hat. Mit der größten Intensität wirkten die Stöße im Gebiet der unglücklichen Städte Islay, Arequipa, Mioquegua, Tacna, Arica und Iquique, welche in Schutthaufen verwandelt wurden, und es unterliegt keinem Zweifel, dass das Gebiet dieser Städte das Centrum der Erschütterung, das eigentliche Stoßgebiet bildet. Leider sind die Zeitangaben für den Eintritt des ersten starken Stoßes schwankend und ungenau, sie variieren von 4 Uhr 45 Minuten nachmittags bis 5 Uhr 40 Minuten nachmittags. Am meisten Wahrscheinlichkeit scheint mir nach den zahlreichen Berichten, die ich verglichen, die Angabe zu haben, dass in Arica (70°16' w. L. v. Gr., 18°28' S. Br.) also im Mittelpunct jenes Stoßgebietes die ersten mehrere Minuten fortdauernden Stöße, welche die ungeheuren Zerstörungen zur Folge hatten, um 5 Uhr 15 Min. nachm. eingetreten sind. Im ganzen Stoßgebiete scheinen die Stöße in verticaler Richtung gekommen zu sein, und haben sich in der Nacht vom 13. auf den 14. August oftmals, wenn gleich schwächer, wiederholt. Die Wirkung, welche diese Erschütterung des peruanischen Küsten-

striches und die des benachbarten Meeresbodens gerade in der Ecke des Winkels, welchen die Westküste von Südamerica unter 18° südlicher Breite macht, auf das Meer hatte, war eine furchtbare. Die ganze Wassermasse längs des erschütterten Küstenstriches von den größten Tiefen bis zur Oberfläche kam in Folge dessen in Aufregung, sie wurde in ihrem Gleichgewichtszustand gestört und geriet in eine schwingende Bewegung, welche sich dem pacifischen Ocean mittheilte und gegen 60 Stunden lang andauerte. Wie ein Stein, den man in den ruhigen Wasserspiegel eines Sees wirft, Wellen hervorruft, die sich in concentrischen Ringen vom Mittelpunct der Störung nach allen Richtungen zu dem Ufer fortpflanzen, so gaben auch die Erdstöße bei Arica Veranlassung zur Bildung von concentrischen Wellenkreisen, die sich nach allen Richtungen gegen Süd und Nord, und ebenso gegen Westen bis zu den Gestaden von Neuseeland, Australien und Japan, also über das ganze ungeheure fast $\frac{1}{3}$ der Erdoberfläche einnehmende Gebiet des pacifischen Oceans fortgepflanzt und noch an den entferntesten Gestaden die verheerendsten Wirkungen geäußert haben. Ich habe in zwei Abhandlungen, die ich am 12. Nov. und 21. Januar der kais. Academie der Wissenschaften vorgelegt, alle mir bis jetzt über dieses Ereignis bekannt gewordenen Berichte zusammengestellt und daraus einige Resultate abgeleitet, die ich hier in Kürze wieder zu geben mir erlaube.

Die Berichte von den Küstenpuncten Islay, Arica und Iquique, von welchen das großartige Flutphänomen ausgieng, schildern die Erscheinungen an diesen Puncten in folgender Weise: bei Arica und Iquique war die erste und unmittelbare Wirkung des Stoßes eine Emporhebung des Meeresniveaus über die Hochwasserlinie, die bei Arica 8 Fuß, bei Iquique 4 Fuß betragen haben soll; dann erst zog sich das Meer vom Lande zurück, so dass breite Uferstrecken völlig trocken gelegt wurden, und kehrte nach einem längeren Zeitintervall in einer Reihenfolge von furchtbaren Wogen zurück, welche die Ufer weithin überfluteten, so dass die Zeugen dieser furchtbaren Scene den Eindruck hatten, als ob die ganze Küste ins Meer gesunken wäre.

Bei Arica soll die erste große Flutwoge nicht früher als 20 Minuten nach dem ersten Stoße hereingebrochen sein und die Küste bis zu einer Höhe von 56 Fuß über die Hochwasserlinie überschwemmt haben. Diese Flutwoge wiederholte sich dann in Zwischenräumen von ungefähr $\frac{1}{3}$ Stunde noch zweimal in gleicher Stärke. Bei Iquique sah man, während die See ausfloss, von Südwest eine große Woge kommen, wie eine dunkelblaue Wassermasse 40 Fuß hoch, die mit großer Geschwindigkeit herbeirollte und dann die Küste überschwemmte. Aehnlich waren die Erscheinungen bei Chala und bei Islay. Am letzteren Orte kehrte das Meer 5mal nach einander wieder und stieg $1\frac{1}{2}$ Stunden nach dem ersten Stoße noch 40 Fuß über das gewöhnliche Niveau. — Dürfen wir die erste Emporhebung des Meeres gleichzeitig oder unmittelbar nach dem Stoße als die directe Wirkung des Stoßes, und nach Russels Wellentheorie als eine „forcierte positive Welle“ auffassen, so sind die später in größerer Anzahl und in bestimmten Zeitintervallen nach einander hereinbrechenden Flutwogen als

oscillatorische Wellen zu betrachten, die am Rande des unterseeischen Stoßgebietes zur Ausbildung gelangten, und deren Schwingungen sich nun mit außerordentlicher Geschwindigkeit in Form von concentrischen Wellenbergen und Wellenthälern nach allen Richtungen des pacifischen Oceans fortpflanzen. Wir können nach den vorliegenden Berichten die Reise dieser Wellen nach Süden, Norden und Westen verfolgen.

Auch alle heftigeren nach dem ersten Stoße erfolgten Stöße scheinen einen neuen Impuls zur Bildung von Wellen gegeben zu haben, und aus der Interferenz der durch die verschiedenen Anstöße gebildeten Wellensysteme erklärt es sich vielleicht am besten, dass nicht überall die erste Welle die höchste war, sondern dass vielfach spätere Wellen die früheren an Größe weitaus übertrafen.

Drei Stunden nach der Katastrophe bei Arica um 8 Uhr abends überschwemmte die erste Woge den Hafen von Coquimbo in Chili (720 Seemeilen von Arica); um 9 Uhr wurde die Stadt Constitucion südlich von Valparaiso (1120 Seemeilen südlich von Arica) durch das Austreten des Meeres in Schrecken gesetzt, und um 10 Uhr hatte die erste Woge schon Corral bei Valdivia (1420 Seemeilen südlich von Arica) erreicht; die Schwankungen dauerten am 14. und 15. August fort, und erst am 16. August kam das Meer hier wieder ganz zur Ruhe. An allen diesen Punkten war das Erdbeben selbst nicht verspürt worden.

In nördlicher Richtung sind die Zeitangaben über die Ankunft der ersten Welle weniger genau. Pisco und die gegenüberliegenden Chíncha-Inseln (die Guanoinselfn, 450 Seemeilen von Arica), wo der Stoß gegen 5 Uhr abends noch deutlich verspürt wurde, wurden erst gegen 10 Uhr in der Nacht von einer kolossalen Flutwoge, die jedoch wahrscheinlich nicht die erste war, überflutet, und in Callao brach nach vielen kleineren Wogen um Mitternacht die See 50 Fuß weit über den Hafendamm herein. Erst am 14. August erreichten die Wellen die Küste des südlichen Californiens, überschwemmten aber bei San Pedro (4320 Seemeilen von Arica) die Ufer bis zu einer Höhe von 63 Fuß über dem gewöhnlichen Niveau.

In der Nacht vom 13. auf den 14. August um Mitternacht war es auch, dass die Erdbebenwellen bereits die Gruppe der Sandwich-Inseln (5500 Seemeilen von Arica) erreicht hatten. Die Flutbewegung war über alle Inseln verbreitet und dauerte bis zum 16. August. Die Beobachter sagen, dass es aussah, als ob die Inseln mehrere Tage lang abwechselnd sich allmählich gehoben hätten und dann wieder gesunken wären, statt dass die Bewegung in der See war. Die höchsten Fluten waren bei Honolulu am 14. August 7 Uhr, 11 Uhr morgens und 2 1/2 Uhr nachmittags. — An demselben Vormittag, jedoch am 15. August, da jenseits des 180. Längengrades westlich von Greenwich die Datumveränderung eintritt, wurde sogar der Hafen von Yokohama in Japan (9200 Seemeilen von Arica) durch eine ungeheure Flutwelle überschwemmt, leider aber fehlt bis jetzt die genaue Zeitangabe.

Reichlicher und genauer sind die Berichte aus dem südpacifischen Ocean. Die Niedrigen Inseln (Tuamotu-Gruppe) und die Marquesas-

Inseln müssen noch vor Mitternacht von den ersten Wellen heimgesucht und zum Theil gänzlich überflutet worden sein. Auf dem vereinsamten Opara (oder richtiger Rapa), der Kohlenstation für die Dampfer zwischen Panama und Neuseeland, kam die erste Welle schon am 13. August um 11 Uhr, 30 Minuten abends an und schwemmte einen Theil des Kohlendammes hinweg. Neun Wellen kamen hier nach einander in Zeitintervallen von ungefähr 20 Minuten.

Auf der Samoa-Gruppe im Hafen von Apia auf der Insel Upolu wurden die Bewohner um halb drei Uhr morgens (am 14. August) vom Wächter durch den Ruf aufgeschreckt, dass das Meer austrete. Es war 5 Fuß über den höchsten Wasserstand gestiegen. Es fiel dann wieder und stieg und fiel von nun an in Zwischenräumen von 15 Minuten (10 Minuten fallen und 5 Minuten steigen) den ganzen Tag über, und desgleichen am 15. und 16. August. Zwanzig Breitengrade südlicher als die Samoa-Inseln, und wenig westlicher liegen die Chatam-Inseln. Dahin scheinen die Wellen einen freieren Weg gehabt zu haben und daher früher gekommen zu sein. Denn schon zwischen 1 und 2 Uhr morgens (am 15. August, da hier wegen des Verkehrs mit Neu-Seeland schon mit dem Datum östlich v. Greenwich gerechnet wird), wurden diese Inseln von drei großen Wellen heimgesucht, welche die Niederlassung Tupunga in's Meer schwemmen. Zwei bis drei Stunden später hatten die Wellen die Fidschi-Inseln (und Neu-Seeland erreicht).

Am meisten heimgesucht wurde die an der Ostküste der Südinsel von Neu-Seeland weitvorspringende Bankshalbinsel, deren Häfen gegen die Meeresseite offen sind, sich nach innen verengen und dabei sehr seicht sind. Die Hafensbucht von Lyttelton wurde zwischen 3 und 4 Uhr morgens (am 15. August) durch den Rückzug des Meeres gänzlich trocken gelegt. Ungefähr um 4 $\frac{1}{2}$ Uhr kehrte das Wasser mit fürchterlichem Getöse zurück und bildete einen schäumenden Wall von 10 Fuß Höhe, der das Ufer bis 3 Fuß über die höchste Springflut überschwemmte. Gegen 5 Uhr zog sich das Wasser wieder zurück und war um 6 Uhr auf seinem niedersten Punkt. Eine zweite große Woge überschwemmte den Hafen um 7 Uhr 15 Minuten morgens, eine dritte um 9 Uhr 30 Minuten und eine vierte um 11 Uhr vormittags. Mit dieser vierten Welle hatten die Hauptstörungen ihr Ende erreicht, wiewol das Wasser noch bis zum 18. August in bemerkbaren Schwingungen war und erst am 19. Ebbe und Flut wieder ihren regelmäßigen Verlauf nehmen. Auch in der Faveauxstraße (Bluff) südlich und in der Cooksstraße (Wellington) nördlich wurden die auffallendsten Flutphänomene beobachtet, ebenso in Napier und in Nelson.

Die australischen Gestade von der Moreton-Bai nördlich bis Hobarttown auf Tasmanien südlich kamen erst am 15. August mit Tagesanbruch in den Bereich der Erdbebenflut. An der Moretonbai trat an diesem Tag fünfmal Ebbe und Flut ein, und bei Newcastle am Hunter River (60 Meilen nördlich von Sydney) begann das Aus- und Einfluten des Meeres morgens um 6 $\frac{1}{2}$ Uhr. Das höchste Steigen und Fallen des Meeresniveaus, fand aber erst gegen 11 Uhr 30 Minuten vormittags statt. Der entfernteste Punkt auf der

Küste Australiens, von wo eine Nachricht noch vorliegt, ist Port Fairy bei Belfast in der Colonie Victoria auf 142° Oest. L. v. Gr., also beinahe in derselben Länge wie Yokohama, d. h. 150 Längengrade von Arica entfernt oder $\frac{1}{7}$ des Erdumfangs. Bei Port Fairy beobachtete man am 15. August 1 Uhr nachmittags ein ungewöhnliches Steigen des Wassers im Strome.

Die Thatsache, dass diese merkwürdige Erdbebenflut sowol an der Westküste von America wie auf den Südseeinseln mitten in der Nacht hereingebrochen ist, macht es wol erklärlich, dass nur wenige Berichte hinlänglich genaue Zeitangaben zumal über den ersten Eintritt des Phänomens enthalten, um darauf Berechnungen über die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Wellen in den verschiedenen Richtungen ihres Weges gründen zu können. Berechnet man nach den Berichten, welche eine Zeitangabe über die Ankunft der ersten Welle enthalten, mit Rücksicht auf die aus den Längenunterschieden sich ergebenden Zeitdifferenzen für die betreffenden Orte, die Zeitdauer der Reise der ersten Welle, von der wir annehmen, dass sie von Arica um 5 Uhr 15 Minuten nachmittags ausgieng, und berechnet man ferner aus dieser Zeitdauer mit Rücksicht auf die Entfernung der Orte die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Wellen, so ergeben sich folgende Resultate, die ich in tabellarischer Form zusammenstelle.

Weg der Welle	Entfernung in Seemeilen	Zeit der Ankunft der Welle	Zeitdauer der Reise der Welle	Geschwindigkeit der Welle in der Stunde in Seemeilen
Arica — Valdivia	1420	13. Aug. X. p. m.	5h 0m	284
— Chatam-Ins.	5520	15. I. 30 a. m.	15h 19m	360
„ — Lyttelton				
„ — (N.-Seeland)	6120	15. „ IV 45 a. m.	19h 18m	316
„ — Rapa	4057	13. „ XI. 30 p. m.	11h 11m	362
„ — Newcastle (Australien)	7380	15. VI. 30 a. m.	22h 28m	319
— Apia (Samoa)	5760	15. II. 30 a.	16h 2m	358
— Hilo (Sandw.- Inseln)	5400	14. II. a. m.	14h 25m	329
— Honolulu (Sandw.-Ins.)	5580	13. „ XII. p. m.	12h 37m	442
„ — Sandw.-Ins. (Mitt.*)		14. „ I a. m.	13h 31m	417

Aus diesen Thatsachen folgt so viel mit aller Sicherheit, dass die Erdbebenwellen, die von Arica im allgemeinen in concentrischen Wellenkreisen ausgiengen, in den verschiedenen Radien eine verschiedene Geschwindigkeit annahmen, und dass somit die Curven, welche die Wellenkämme auf der Oberfläche des Meeres beschrieben haben, je weiter sie sich vom Mittelpunct entfernten, um so unregelmäßigere Gestalten angenommen haben müssen,

*) Da die Berichte von den Sandwich-Inseln nicht in Uebereinstimmung sind, so ist es vielleicht erlaubt ein Mittel zu nehmen.

ganz abgesehen von den Unregelmäßigkeiten, welche durch Inseln, denen die Wellen auf ihrem Wege begegneten, hervorgerufen wurden. Aus der Wellentheorie und aus den Thatsachen, welche die Fortbewegung der „lunisolaren Flutwelle“ an die Hand gibt, geht aber hervor, dass die verschiedene Geschwindigkeit dieser Wellen auf ihren verschiedenen Wegen hauptsächlich abhängig ist von der Tiefe des Wassers, in welcher sie sich bewegen; denn für Wellen, bei welchen die Höhe der Welle klein ist gegen die Tiefe des Wassers, diese Tiefe aber wieder klein gegen die Wellenlänge oder Wellenbreite, gilt die Formel:

$$v^2 = gh \text{ oder } v = \sqrt{gh},$$

wo v die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Welle ist, g die Beschleunigung der Schwere und h die Tiefe des Wassers. Dass aber die Erdbebenwellen zu dieser Kategorie von Wellen gehören, geht aus der Betrachtung hervor, dass die Oscillationsdauer dieser Wellen nach den Berichten von $\frac{1}{4}$ Stunde bis $2\frac{1}{2}$ Stunden (im Hafen von Lyttelton) variierte, was für Wellen mit obiger Fortpflanzungsgeschwindigkeit eine Breite von 1 Million bis 5 Millionen Fuß ergibt, gegen die daun allerdings auch die größte mögliche Tiefe des Oceans klein ist.

Wellen von so riesiger Breite bei verhältnismäßig geringer Höhe sind jedoch, obgleich sie die ganze Wassermasse des Meeres bis auf den tiefsten Grund in Bewegung setzen, im offenen Meere ebensowenig bemerkbar, als die lunare Flutwelle, und dennoch wird die Kraft, mit der sie sich an einer Küste oder in seichtem Wasser brechen, eine ungeheure sein.

Es darf uns daher nicht wundern, dass die während der Erdbebenflut am 13. bis 16. August auf offenem Meere segelnden Schiffe von dem ganzen Phänomen auch nicht das mindeste verspürt haben, während es an den Küsten in der verheerendsten Weise auftrat.

Da obige Formel $v^2 = gh$ auch für die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der lunaren Flutwelle gilt, so darf es uns kaum wundern, dass in Wirklichkeit die Geschwindigkeit der Erdbebenwellen im pacifischen Ocean dieselbe gewesen ist, wie die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der lunaren Flutwelle, wenn gleich die Thatsache selbst dadurch, dass sie sich theoretisch sehr einfach erklärt, ja sich sogar hätte voraussagen lassen, nichts an ihrer überraschenden Merkwürdigkeit verliert. Zählt man nämlich auf der Flutkarte nach Whewell, wie sie z. B. in Berghaus' physicalischem Atlas wieder gegeben ist, die Anzahl der durch die Isorachien (Linien gleicher Flutstunde) bezeichneten Flutstunden, welche zwischen Arica und den in obiger Tabelle angegebenen Endpunkten der Reise der Erdbebenwellen liegen, so findet man beispielsweise von Arica bis zu den Sandwichinseln $13\frac{1}{2}$ Flutstunden, bis Apia in der Samoagruppe 16, bis Newcastle 22, bis Rapa $11\frac{1}{2}$ und bis Banks Peninsula auf Neu-Seeland 19 Flutstunden. Vergleicht man nun diese Zahlen für die Flutstunden mit den in obiger Tabelle für die Zeitdauer der Reise der Erdbebenwellen gefundenen Stundenzahlen, so ist die Uebereinstimmung so vollständig, als man nur bei einem gleichsam von der Natur selbst im großartigsten Maßstabe angestellten Experimente zur Erhärtung der Wellentheorie erwarten kann.

Aus jener Formel lässt sich aber, indem wir die Geschwindigkeit v kennen und g gleichfalls eine gegebene Zahl ist, und zwar = 32. 19 engl.

Fuß, noch ein weiteres Resultat ableiten, indem $h = \frac{v^2}{g}$ ist. Es läßt sich also aus der gefundenen Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Erdbebenwellen die mittlere Tiefe des pacifischen Oceans auf den von den Wellen durchlaufenen Wegen berechnen und wir finden :

Auf dem Wege	Mittlere Breite des Weges	Mittlere Tiefe des Oceans in Faden (1. Fad. = 6 engl. Fuß).
Von Arica nach Valdivia	Längs der Küste.	1,190
„ „ „ Chatam J.	31° 0' Süd	1,912
„ „ „ Lyttelton.	31° 10'	1,473
„ „ „ Rapa.	22° 48'	1,933
„ „ „ Newcastle.	25° 42' „	1,501
„ „ „ Apia.	16° 20' „	1,891
„ „ „ Honolulu.	1° 25' Nord.	2,882
„ „ „ Sandw.-I. (nach obig. Mittel.)	— —	2,565

Eine Seemeile wurde bei diesen Berechnungen zu 6075.6 engl. Fuß gerechnet.

Leider fehlen in den Meeresräumen, die hier in Betracht kommen, noch alle wirklichen Tiefenmessungen; allein um so wichtiger sind diese Resultate und es scheint eines wenigstens aus diesen Zahlen hervorzugehen, dass der pacifische Ocean seine größte Tiefe in den Aequatorialgegenden hat, und dass diese Tiefe gegen Süden allmählich abnimmt. Dasselbe Problem hat der verdienstvolle Redacteur des „Auslandes“ Herr Dr. Peschel bereits im 4. Hefte jener Zeitschrift für 1869 behandelt und Tiefen berechnet, die mit den oben gefundenen nur deshalb nicht völlig übereinstimmen, weil Hr. Peschel bei seinen Berechnungen den 13. August 4 Uhr 45 Minuten nachmittags als den Zeitpunkt annahm, an welchem in Arica der erste Stoß verspürt wurde und die ersten Wellen von dort abgingen *).

Geographische Literatur.

Vergleichende allgemeine Erdkunde in wissenschaftlicher Darstellung. Von Ernst Kapp. Zweite verbesserte Auflage. Braunschweig bei G. Westermann 1869.

Die erste Auflage des Buches unter dem Titel: „Philosophische oder vergleichende allgemeine Erdkunde als wissenschaftliche Darstellung der Erdverhältnisse und des Menschlebens nach deren innerem Zusammenhang“ — reicht in die vierziger Jahre zurück und galt damals trotz der vom Verfasser beliebten rhapsodischen Form — der Ausdruck sucht seine Berechtigung in der Schwung.

*) Ich bedaure, dass durch meine eigene Schuld in das 5. Heft des Auslandes S. 166, das einen Auszug aus einer von mir der kais. Akademie der Wissenschaften vorgelegten Abhandlung über diesen Gegenstand brachten in Folge eines Versehens unrichtige Angaben über die berechneten Tiefen kamen.