©Biodiversity Heritage Library, www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Untersuchungen über zwei neuere Erdbeben, das schweizerische vom 7. Januar 1889 und das nordamerikanische vom 31. August 1886.

Von Dr. A. Schmidt, Professor am Realgymnasium in Stuttgart.

Mit Taf. III.

Das letzte Jahresheft unseres Vereins enthält eine Zusammenstellung der von Herrn Prof. Dr. Eck gesammelten Beobachtungen über das schweizerische Erdbeben vom 7. Januar 1889. Herr Prof. Eck gibt seinen Bericht als einen vorläufigen, welcher erst durch die Veröffentlichung der von der schweizerischen und badischen Erdbebenkommission gesammelten Thatsachen ergänzt werden müsse. In der That hat sich das Beobachtungsmaterial nun besonders durch viele und zum Teil gute schweizerische Berichte so gut ergänzt, dass es möglich ist, vom Verlauf dieses Erdbebens ein eingehenderes Bild zu unterwerfen. Herr Dr. C. Hess in Frauenfeld, Mitglied der schweizerischen Erdbebenkommission, hat das gesamte Beobachtungsmaterial bearbeitet und eine Übersicht über die erhaltenen Berichte nebst der kritischen Bearbeitung der Beobachtungen und dem Ergebnis der Forschung, zu welchen er gelangte, in den Mitteilungen der Thurgauischen naturforschenden Gesellschaft veröffentlicht. Einer Besprechung des auch Württemberg betreffenden Erdbebens in unseren Vereinsheften, welche Herr Prof. Eck mir unter freundlichster Beratung überlassen hat, habe ich mich um so lieber unterzogen, weil ich dadurch Gelegenheit bekomme, einer Abhandlung, welche von mir vor zwei Jahren in diesen Jahresheften „über Wellenbewegung und Erdbeben“ erschien, ihre Fortsetzung zu geben und eine damals entwickelte Theorie an neuen Thatsachen zu prüfen. Und weil die Einzelerscheinung für die Theorie erst fruchtbar wird durch Vergleichung mit anderen Einzelerscheinungen, so will ich dem schweizerischen Erdbeben von 1889 das nordamerikanische vom 31. August 1886

©Biodiversity Heritage Library, www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

zur Seite stellen, für welches ein vorläufiger Auszug aus dem gesamten Aktenmaterial in dem American journal of science 1888 Nr. 205 von Prof. Newcomb und Kapitän Dutton veröffentlicht wurde. während allerdings eine eingehendere Gesamtveröffentlichung durch die Geological Survey der Vereinigten Staaten noch in Aussicht steht. Aber auch mein Bericht über das schweizerische Erdbeben gründet sich nicht auf die Originalberichte selbst, sondern auf die erwähnte Bearbeitung von Hess und ausserdem auf eine Zusammenstellung aller „einigermassen brauchbaren" schweizerischen Zeitangaben, welche Herr Dr. Hess auf meinen Wunsch mir als Ergänzung zu seinem Buche auszufertigen die Güte hatte. Hierzu kommen noch die württembergischen Berichte, welche in unserem letzten Jahreshefte enthalten sind. Auf die Einholung der badischen Originalberichte, zu welcher ich Schritte gethan hatte, habe ich verzichtet, als Herr Dr. Hess mir schrieb, die in seinem Buche vorkommenden badischen Zeiten beruhen alle auf seiner Berechnung, die Zeitangaben der badischen Berichte lauten alle auf „ungefähr", „um 12 Uhr herum", „um Mittag" u. s. w., so dass ich von den badischen Berichten keinen grossen Nutzen erwarten konnte. Folgende 83 Zeitberichte bilden daher die Grundlage der Untersuchung:

Liste der Zeitbeobachtungen für das Erdbeben vom 7. Januar 1889.

	Orte	Berner Zeit n. 11^h Min.	Sek.	Bemerkungen
1.	Konstanz	56	—	Bahnhofuhr.
2.	Kreuzlingen . .	55	—	
3.	Egelshofen . . .	55	—	Bahn.
4.	Emmishofen . .	55 ± 1	—	Telegraph.
5.	Ermatingen . . .	56	—	
6.	Sontersweilen . .	50	—	
7.	Berg	53	—	oder etwas mehr, Telegraph im Haus.
8.	„	54	—	ziemlich richtig nach dem Telegraph.
9.	Mattweil	54	—	Telegraph.
10.	Mauren	56	—	
11.	Andweil	56	—	
12.	Engishofen . . .	55	—	Telegraph.
13.	Oberaach . . .	55—56	—	
14.	Amrisweil . . .	55	—	genau nach dem Telegraph.
15.	„ . . .	55	—	circa.
16.	„ . . .	55	—	circa.

©Biodiversity Heritage Library, www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

	Orte	Berner Zeit Min.	Sek.	Bemerkungen
17.	Arbon	56	—	
18.	Sulgen	55	—	circa.
19.	.. . . . .	54	—	Turmuhr und Telegraph.
20.	Weinfelden	55	—	
21.	Oberbussnang	57	—	Bahnhof Weinfelden.
22.	Bischofszell	58	—	circa.
23.	Braunau	55	—	circa.
24.	Mettendorf	55	—	circa.
25.	Frauenfeld	54	—	nach der protest. Turmuhr, welche auf ± 1 Minute mit der Telegraphenuhr übereinstimmt.
26.	,, ...	54—55	—	
27.	,, ...	55	—	
28.	,, ...	56	—	
29.	Matzingen	56 ± 2	—	Bahnhof oder Postuhr.
30.	Gerlikon	55	—	nach Frauenfelder Turmuhr.
31.	Aadorf	54—55	—	
32.	Münchweilen	56 ± 1	—	Telegraph.
33.	,, Oberhofen .	55 ± 1	—	Telegraph.
34.	Wängi	55	—	
35.	Niederuzwyl	53	—	genau nach Telegraph.
36.	Felsegg (Henau) . . .	54—55	—	Telegraph.
37.	Wyl	55	—	Bankhausuhr.
38.	Tuttwyl	53	—	
39.	St. Gallen	54	—	Telegraphenbüreau.
40.	,, Speichergasse	56	—	nach der Bahn.
41.	,, St. Magniberg	56	—	Telegraph.
42.	,, Stadtgasse .	56	—	Telegraph.
43.	,, Engelburg .	55	—	Telegraph.
44.	,, Sitterthal . .	55	—	Bahn.
45.	,, Stadtgasse .	53	30	Telegraph.
46.	,, Straubenzell .	52	30	Telegraph.
47.	Herisau	53	30	genau nach Telegraph.
48.	Appenzell	56 ± 1-2	—	
49.	Lichtensteig	54	—	Telegraphenbüreau.
50.	Ebnat	55	—	
51.	Bauma	55	—	
52.	Bärentsweil	53—54	—	ziemlich genau nach Telegraph.
53.	Degersheim	55	—	Telegraph.
54.	Sargans	54 ± 1½	—	
55.	Winterthur	55	—	

©Biodiversity Heritage Library, www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

	Orte	Berner Zeit Min.	Sek	Bemerkungen
56.	Kemptthal	54—55	—	genau nach Telegraphenbüreau.
57.	Wallisellen	55	—	
58.	Zürich	53	48 ± 10	Sternwarte.
59.	„ Neumünster . .	52	—	Turmuhr.
60.	„ Hottingen . . .	55	—	Telegraph ziemlich genau.
61.	„ Unterstrass . .	54	—	Telegraph.
62.	„ Selnau	53	—	
63.	„ Stadt	53	—	
64.	„ Stadt	52	—	
65.	„ Stadt	55	—	
66.	Rüti	55	—	
67.	„	58	—	Telegraphenzeit.
68.	„	50	—	
69.	Stäfa	55	—	
70.	Seon (Kanton Aargau)	55	—	
71.	Airolo	54	± 50	Büreau der Gotthardbahn.
72.	Zug	53	—	nach Vergleichung mit der Bahn.
73.	Altstätten (Rheinthal) .	55—56	—	
74.	Schaffhausen	54	—	
75.	Basel	51—52	—	Postuhr.
76.	„	55	—	
77.	„	55	—	
78.	Wolfegg (Württemberg)	53	40 ± 30	d. h. 12^h 2—3′ Stuttgarter Telegraphenzeit.
79.	Warthausen „	56	10	12^h 3′ nach genauer Taschenuhr.
80.	Oberstadion „	55	10	12^h 2′ ziemlich nach Telegraph.
81.	Stuttgart „	56	40	12^h 3′ 30″, Uhr um 12^h mit der Stadtkirche verglichen.
82.	„ „	55	25	12^h 2′ 15″ ohne sofortigen Vergleich.
83.	„ „	55	40	12^h 2′ 30″ ohne sofortigen Vergleich.

I. Das Erschütterungsgebiet.

Um ein Bild vom ganzen erschütterten Gebiete zu erhalten, dürfen wir auf der von Herrn Prof. Eck im vorigen Jahresheft mitgeteilten Karte nur noch westlich die Orte Olten, Basel und Kandern

©Biodiversity Heritage Library, www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

eintragen und alle Grenzpunkte der Erschütterung durch eine ringsum laufende Linie verbinden, so dass die weiter getrennten Punkte im Alpengebiet wie Glarus, und die noch beizufügenden, Sargans, Chur; Olivone, Airolo ausser der Umschliessung als Isolationspunkte auftreten. Das in sich zusammenhängende Gebiet bildet alsdann eine zweilappige Fläche von 15 000 qkm Inhalt, deren östlicher Lappen in rein nördlicher Richtung sich vom Nordfusse des Säntis bis nach Stuttgart und Burgstall erstreckt in einer Länge von 180 km bei gegen 60 km Breite, deren westlicher in westnordwestlicher Richtung vom Fusse des Säntis bis Todtnau und Kandern im südlichen Schwarzwald bei etwas grösserer Breite etwa 120 km Länge zeigt. Ein etwa 30 km breiter und 60 km langer Strich vom Fusse des Säntisstocks bis zum Untersee ist das stärkst erschütterte Gebiet. Während in nördlicher Richtung der Bodensee keine Spur von Hindernis für die Ausbreitung des Erdbebengebietes bildet, schliesst dieses Gebiet in nordöstlicher Richtung mit der Insel Reichenau und dem Untersee schroff ab. Wie ein Wellenbrecher scheint das Höhgau dazustehen und das Erschütterungsgebiet in zwei Lappen zu teilen. Weniger rätselhaft als dieser scheinbare Einfluss des Höhgaus, welchem das Erschütterungsfeld seine tief konkave Seite zukehrt, erscheint der Einfluss der Alpen auf die Umkränzung des Gebietes. Mit erheblich erhöhter Fortpflanzungsgeschwindigkeit, wie die Vergleichung der Zeiten zu beweisen scheint, und daher mit vermehrter Divergenz der Ausbreitung und verminderter Stärke im einzelnen Punkte durchzieht die Energie der Erdbebenwellen das Alpenmassiv. Den Gesetzen der Refraktion entsprechend hat sie das Bestreben, die Schichten hohen Drucks rasch zu durcheilen und sich gegen die Punkte kleinsten Widerstands zu sammeln und zu entladen. Daher das scheinbare Erlöschen des Erdbebens mit der konvexen Begrenzung des stärkst erschütterten Gebietes am Fusse des Säntis und daher das sporadische Wiederauftreten in den tief eingeschnittenen Thäleren der Linth (Nettstall, Ennenda), des Rheins (Sargans, Chur), des Tessin (Airolo) und des Brenno (Olivone).

II. Intensität des Erdbebens.

Was die Stärke der Erschütterung betrifft, so war dieselbe nirgends von dem Masse, dass Einsturz von Gebäudeteilen erfolgt wäre, höchstens im Schloss Wolfegg ein Plafond, das kann aber auch ohne Erdbeben vorkommen. Hess legt der Abschätzung der Intensität eine von Herrn M. de Rossi in Rom und der schweizerischen

©Biodiversity Heritage Library, www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Erdbebenkommission vereinbarte Intensitätsskala zu Grunde. Die Nummer 5 dieser 10stufigen Skala: „Erschütterung allgemein von der ganzen Bevölkerung bemerkt, Erschütterung grosser Gegenstände, der Möbel, Betten, Anschlagen der Hausglocken", diese Nummer 5 wird am meisten überschritten in Orten des oberen Thurthales, besonders in Niederuzwyl, im Lauchethal (Zezikon) und in einem Teile von St. Gallen. Diesen Punkten erteilt Hess den Grad 8, zwischen diese hinein liegen aber auch Orte kleinerer Intensitäten bis 3 herab, so dass ein eigentliches Intensitätszentrum nicht angegeben werden kann. Als Beispiele, die ein Bild der Taxation geben können, führe ich an: Wolfegg Grad 6—7, Warthausen 4—5. Den Grad 4 bekommen: Biberach, Oberstadion, Laupheim, Tübingen, Esslingen, Hohenheim, Stuttgart, Burgstall; denselben Grad 4 auch die meisten schweizer Orte über das ganze Gebiet zerstreut, wie Winterthur, Frauenfeld, Zürich, Zug, Schaffhausen, Waldshut, Basel, Aarau. Die Intensität 2 zeigen die Isolationspunkte in den Alpenthälern, auch Ulm und Friedrichshafen und manche höher gelegene Punkte des ganzen Gebiets. Es scheint mir, dass auch Stuttgart besser 2, statt 4 erhalten hätte. Wenn von 120000 Einwohnern höchstens vielleicht 30, also von 4000 nur einer ein Erdbeben verspürt, so passt darauf die Bezeichnung 2: „konstatiert von einer kleinen Anzahl im Zustande der Ruhe befindlicher Beobachter." Aber freilich wurde in Stuttgart auch die „Erschütterung beweglicher Objekte und Krachen der Dielen" bemerkt, womit es unter 4 fällt. Es ist eben schwer, eine Intensitätsskala aufzustellen und noch schwerer, nach einer solchen einzuschätzen. Hess zieht aus der Vergleichung der Intensitäten folgende 3 Folgerungen: 1) dass der Streifen grösster Dichte auch gleichzeitig ein Streifen grösster Intensität ist; 2) dass unser Erdbebengebiet kein eigentliches Epizentrum besitzt und 3) dass die Orte maximaler Intensität in Thälern von äquatorialer Achsenrichtung liegen.. In betreff der zweiten dieser Folgerungen werde ich im weiteren eine gegenteilige Ansicht entwickeln.

III. Richtung und Dauer der Bewegung.

Eine besondere Sorgfalt verwendet Hess auf die Unterscheidung der verschiedenen Stossrichtungen. Er kommt hierbei zu dem sehr bemerkenswerten Resultate, dass die auf Molasse stehenden Orte der Schweiz Bewegungsrichtungen angeben, welche auf eine Bewegung der Molasse in einer Richtung NNW.—SSO. schliessen lassen, die auf derjenigen Richtung senkrecht ist, in welcher die Molasse

©Biodiversity Heritage Library, www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

am Fuss der Alpen gefaltet ist. Diese letztere Richtung ist genau durch die Richtung der nördlichsten Antiklinale gekennzeichnet, welche sich von St. Margarethen in südwestlicher Richtung bis über den Thuner See verfolgen lässt. Dagegen weist der grösste Teil der Ortschaften auf quartär geschichtetem oder erratischem Grunde, sowie auf den lockeren Geschieben der neuesten Zeit andere Richtungen auf und zwar vorherrschend äquatoreale, d. h. Parallelrichtungen zu den ostwestlichen Thalachsen. Freilich ist die Einzelangabe über die Stossrichtung meist zweifelhafter Natur, z. B. aus einem Berichte von einer Frau, die in der Küche am Zurichtgestell stehend, Gesicht gegen W., zuerst ein Heben des rechten und hierauf des linken Beines verspürte, kann man doch nur schliessen, dass dieselbe zuerst sich mehr auf das rechte Bein stützte als auf das linke, nicht aber, dass die Erdbebenwelle von Süden hergerückt sei. Aber selbst Irrtümer und Abweichungen entsprechend der Orientierung der Hausmauern zugegeben, scheint mir doch die Unterscheidung der Orte mit Molasseuntergrund und nordwestlicher Stossrichtung von den Orten mit quartärem Untergrund und einer der Thalachse parallelen Stossrichtung und vorauseilendem Geräusch im ganzen wohl begründet, besonders wenn sich eine annehmbare Erklärung des Unterschiedes auffinden liesse. Weiter unten wird sich bei dem Erdbeben von Charleston eine Erscheinung zeigen, welche uns vielleicht den Schlüssel der Erklärung liefern dürfte. Einige Punkte aber möchte ich schon hier in betreff der Stossrichtung und der Fortpflanzungsrichtung zur Sprache bringen. Die gewöhnliche Anschauung, als ob die Stossrichtung über die Richtung Aufschluss gäbe, von welcher ein Beben herkommt, scheint mir unhaltbar. Die vielgestaltigen Kurven, welche die kunstvollen Seismographen bei den japanesischen Beobachtungen zeigen, scheinen mir zu beweisen, dass in einer Erdbebenwelle ebensogut longitudinale als transversale Schwingungen des Bodens auftreten können. Wenn auch auf dem ganzen Gebiete der Molasse bei dem schweizerischen Erdbeben die horizontale Komponente der Stösse dieselbe Richtung gehabt haben sollte, so läge in diesem Parallelismus der Richtungen gar kein Grund zum Ausschluss eines Erdbebenzentrums, eines verhältnismässig kleinen Gebietes, von welchem die Erschütterung ausging. Selbst dann, wenn sich beweisen liesse, dass die Bildung einer viele Meilen langen Spalte oder Bruchlinie oder Verwerfung die Ursache eines Erdbebens sei, muss doch die Kohäsionsstörung an einem bestimmten Punkte begonnen haben. Von diesem Punkte aus pflanzte sie sich

©Biodiversity Heritage Library, www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

allseitig fort mit derjenigen Geschwindigkeit, mit welcher sich Störungen des elastischen Gleichgewichts in dem betreffenden Gestein und in der betreffenden Richtung fortpflanzen. In der einen Richtung erzeugte sich eine bleibende Kohäsionsstörung, in den anderen Richtungen fanden nur elastische Schwingungen statt, beziehungsweise in weicherem Material mit enger Elastizitätsgrenze mehr und mehr gedämpfte Schwingungen. Aber ein solcher langgestreckter Erdbebenherd müsste zudem ein ganz eigenartiges Erdbeben erzeugen, selbst wenn die Kohäsionsstörung in allen Punkten zumal erfolgte. Ich könnte mich auf den Unterschied der Zeitdauer von Blitz und Donner berufen, ich will lieber ein anderes Bild gebrauchen. Denken wir uns eine meilenlange Schützenlinie über Berg und Thal hin aufgestellt, alle Schützen, schussbereit, drücken auf ein elektrisches Signal im gleichen Momente los. Kommen nun zu irgend einem Beobachter alle Lufterschütterungen zu gleicher Zeit? Nein, sondern wo sich auch ein Beobachter befinden mag, so hört er ein lang gezogenes Geknatter, beginnend mit dem Augenblick, wo die Schallwelle von dem ihm nächsten Schützen zu ihm kommt, schliessend mit der vom fernsten Schützen kommenden Schallwelle. Gerade so müsste jeder Ort des Erschütterungsgebietes eines Erdbebens eine um so länger andauernde Erschütterung erfahren, je länger die Linie wäre, über welche der Erdbebenherd sich ausdehnte. Für das schweizerische Erdbeben liegen nun nach Hess vor:

6	Angaben zu	$\frac{1}{2}$ Sekunde,		Ruck oder Stoss,
7	„ „	1	„	Ruck mit Zittern, Rütteln, Knacken,
18	„ „	1—2 u. 2	Sekunden,	Ruck, Zittern, Schwanken,
22	„ „	2—3 u. 3	„	Zittern, wellenförm. Schwanken,
14	„ „	3—4 u. 4	„	„ „ „
7	„ „	4—5 u. 5	„	Zittern, Schwankung., Geräusch.
7	„ „	5—10	„	Rollen, zu- und abnehmend.

Da sich hieraus eine mittlere Dauer der Erschütterung mit Einrechnung der Schwankungen von nur 2,6 Sekunden ergibt, so lässt sich aus dieser kurzen Zeit auf eine nur kleine Ausdehnung des Erdbebenherdes schliessen. Insbesondere wenn man mit Hess eine Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Bebens in der Molasse von ungefähr gleichem Betrag wie die des Schalles in der Luft annimmt, so könnte der Erdbebenherd wohl kaum 1 km Längenausdehnung haben.

Diese Überlegungen waren es, welche mich veranlassten, nach einem Erdbebenzentrum und einem Epizentrum zu suchen, obgleich

©Biodiversity Heritage Library, www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Dr. Hess die Frage nach einem Epizentrum auf Grund reiflicher Prüfung verneint hatte. Auch der Mangel eines Intensitätszentrums schreckte mich nicht ab, denn Erfahrungen bei anderen Erdbeben zeigen, dass die Stärke der Erschütterung am einzelnen Orte ausser von der Nähe des Zentrums auch von der Beschaffenheit des Untergrundes und von anderen Umständen abhängt.

IV. Die Zeitbeobachtungen.

Die 83 Zeitangaben obiger Liste lassen sich zunächst je nach der Zeitnorm, auf welche sie sich beziehen, in mehrere Gruppen bringen. I. Die astronomisch bestimmte Zeit des Erdbebens in Zürich $11^h\ 53^m\ 48 \pm 10''$ Berner Zeit; II. die auf die schweizer Telegraphenzeit bezogenen Angaben: III. die auf Bahnhofuhren und Ortsuhren bezogenen Angaben und IV. die übrigen schweizer Zeitangaben; V. die württemberger Zeiten, welche sich mehr oder weniger direkt auf die württemberger Telegraphenzeit beziehen. Diese (Stuttgarter Zeit) soll normal 6′ 50″ der schweizer Telegraphenzeit (Berner Zeit) vorgehen. Auch die Uhr der Stuttgarter Stadtkirche stimmt mit der Telegraphenzeit bis auf wenige Sekunden, wenn man die Vorsicht gebraucht, den Viertelschlag als normalen Zeitpunkt zu nehmen und nicht den Stundenschlag oder die unzuverlässige Zeigerstellung auf 12 Uhr. An einer Übereinstimmung der württembergischen oder schweizer Telegraphenzeiten mit der astronomischen Zeit zu zweifeln, liegt kein Grund vor. Besonders die schweizer Telegraphenzeit stammt von der astronomischen Uhr des Observatoriums in Neuchâtel, die durch ihre unerreichte Präzision in ihrer Art ein ebenso grosses Wunder im Gebiet der Technik sein dürfte, als der Pariser Eiffelturm in seiner Art. Unser Landsmann Dr. Hipp, unter dessen Oberleitung sie gebaut wurde, hat mir davon vor einem Jahre eine eingehende Schilderung gemacht. Von Neuchâtel geht die schweizer Zeit täglich telegraphisch nach Bern und wird von hier morgens 2 Minuten vor 8 Uhr (sommers 7 Uhr) an alle Haupttelegraphenstationen verteilt, welche sofort die Unterverteilung an die Nebenstationen vornehmen. Auf diesem Wege der Verteilung geht nun vielleicht die Präzision auf die Sekunde verloren, denn für die Zwecke der Telegraphie genügt vollkommen eine Richtigkeit auf die halbe Minute. Dazu kommt, dass die Telegraphenuhren — vorausgesetzt, dass sie täglich richtig gestellt werden, was von der Persönlichkeit des betreffenden Beamten abhängt — nur morgens 8 Uhr richtig sind und bei ungleichem Gang leicht 4 Stunden später eine halbe

©Biodiversity Heritage Library, www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

oder gar ganze Minute differieren können, besonders auf den Nebenstationen, wo man nicht immer die besten Uhrwerke hat. In der ganzen Liste findet sich daher keine Zeitangabe der Telegrapenuhren bis auf Sekunden genau, höchstens halbe Minuten sind unterschieden. Es wird daher bei den allerbesten Angaben der Hauptstationen ein Fehler von einer Viertelminute und bei den Nebenstationen werden Fehler bis zu 1 Minute und darüber zu erwarten sein. Sehr zu bedauern ist es aber, dass der Bestimmer der Zeit auf astronomischem Wege in Zürich sich nicht über die Übereinstimmung seiner Zeit mit der Züricher Telegraphenzeit, beziehungsweise über die Grösse der Abweichung unterrichtet zu haben scheint, denn zwischen der besten Telegraphenzeitangabe in Zürich (Hottingen) und dieser astronomischen Zeit besteht eine Differenz von 1 Minute 12 Sekunden. Um beiden Zeitangaben gerecht zu werden, gibt es nur ein Mittel, wir werden es unten anwenden. Zunächst aber müssen wir leider diese astronomische Zeit ausser Rechnung lassen, zur Ermittelung des Epizentrums können wir nur Zeiten eines Systems brauchen. Auch die dritte Klasse von Zeitangaben, welche sich auf Bahnhofuhren und Ortsuhren beziehen, steht in direkter Beziehung zu den Telegraphenuhren. Gutbediente Uhren dieser Klasse werden bessere Angaben liefern als kleinere Telegraphenstationen. Im Durchschnitt aber werden die Zeitangaben dieser Klasse weniger zuverlässig sein. als die der Klasse II. Eine Bahnhofuhr wird im Interesse des Dienstes und des Publikums nie nachgehen dürfen, lieber eine und zwei Minuten vor, als eine halbe nach. Und gar die Ortsuhren richtet man häufig lieber gleich 5 Minuten vor, damit niemand zu spät auf den Zug kommt. Zur Ermittelung des Epizentrums kommen daher in erster Linie nur die besten Telegraphenzeiten in Betracht. Fügen sich dann unter den Zeitangaben der Klassen III—V die besten ebenfalls dem gewonnenen System zentraler Ausbreitung, so bestärken sie die Richtigkeit der Feststellung. Von mehreren Zeitangaben am selben Ort ist wohl das arithmetische Mittel im allgemeinen unrichtig, besser nimmt man die beste und stellt die anderen zurück. In Stuttgart beruht eine Beobachtung auf fast gleichzeitiger Vergleichung mit der Zeit der Stadtkirche, zwei oder drei andere beziehen sich auf Zimmer- und Taschenuhren, nur ganz mittelbar auf Stadtkirche oder Telegraphenuhr, da aber die erstere Angabe allein steht mit 12 Uhr $3\frac{1}{2}$ Minuten, die andern für 12 Uhr 2 bis $2\frac{1}{2}$ Minuten harmonieren, so ist die Wahl zunächst erschwert, die Übereinstimmung mit dem ganzen System der Beobachtungszeiten

©Biodiversity Heritage Library, www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

muss den Entscheid geben. Derselbe fällt zu gunsten von 12 Uhr $3\frac{1}{2}$ Minuten. Von Friedrichshafen haben wir zwei Zeitangaben, beide sehr unbestimmt, die eine 12 Uhr ohne Zusatz, ob auf die Minute oder nur auf 5 Minuten genau, die andere 12 Uhr 5 Minuten. Das System ergibt hier 12^h 1′ 32″, das arithmetische Mittel läge hier der Wahrheit allerdings näher, als jede der beiden Beobachtungen. Jedenfalls sind zunächst von weiterer Berücksichtigung auszuschliessen alle Zeitangaben, welche niedriger sind als die niedrigste der gut bestätigten (Niederuzwyl mit 11 Uhr 53′) und höher als die späteste der Stuttgarter Zeiten (11 Uhr 56′ 40″). Für die Ermittelung des Epizentrums können wir auch die Stationen im Alpengebiet nicht brauchen, die physikalischen Bedingungen für die Fortpflanzung der Erdbebenwelle durch die Alpen hindurch sind zu verschieden von denen nördlich der Alpen. Damit erhalten wir zunächst sechs Telegraphenzeiten als die brauchbarsten, indem wir von zehn als beste bezeichneten Zeitangaben, welche Hess aufzählt, die astronomische Zeit von Zürich und die Zeit von Airolo aus den angegebenen Gründen, und die Zeiten von Zug und Frauenfeld als zu Gruppe III gehörig ausser Betracht lassen. Auch für Berg mit 11^h 53′, für welches ein plus zugegeben wird, setzen wir die zweite telegraphische Zeitangabe von dort, nämlich 11^h 54′ ein, weil diese mit dem ganz benachbarten Mattwyl harmoniert. Diese sechs Zeitangaben, Niederuzwyl 53′, Herisau 53′ 30″, Lichtensteig 54′, St. Gallen 54′, Berg 54′ und Kemptthal mit 54—55 Minuten lassen das Epizentrum in der Nähe von Niederuzwyl vermuten, drei weitere telegraphische Berichte, welche den Entfernungen von Niederuzwyl entsprechende Zeiten aufweisen, reihen sich diesen an: Mattwyl 54, Sulgen 54 und Zürich-Hottingen 55. Dagegen erweisen sich als wenig genau aus Klasse II die Zeitangaben zweier Paare von Schwesterstationen, nämlich der benachbarten Amriswyl und Engishofen, welche ihrer Entfernung von Niederuzwyl nach besser mit 54′ statt 55′ stimmen würden, ebenso die Nachbarn Münchwylen und Münchwylen-Oberhofen, welche allerdings übereinstimmend ± 1 Minute Spielraum zugeben, aber auch mit den Zahlen 55 und 56 um 1 und 2 Minuten zu hoch sind.

V. Epizentrum und Hodograph. (s. Taf. III.)

Abgesehen von allen theoretischen Voraussetzungen lässt sich erwarten, dass die Reihenfolge der richtigen Zeitangaben eine nahezu stetig verlaufende Linie ergeben müsse, eine gerade oder gekrümmte,

©Biodiversity Heritage Library, www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

wenn man auf einem Netz von Millimeterpapier die Entfernungen der einzelnen Orte vom Epizentrum als Abscissen horizontal nach rechts abträgt und Strecken, welche den Zeiten proportional sind, in den Endpunkten der Abscissen als Ordinaten senkrecht errichtet. Bei unrichtig gewähltem Epizentrum wird dies nicht der Fall sein können, alle Punkte behalten zwar ihre Ordinaten, aber die Abscissen derjenigen, denen das falsche Epizentrum zu nahe liegt, fallen zu weit links, die zu entfernten zu weit rechts. Ein Versuch nun, den man mit den 9 oben bezeichneten besten telegraphischen Zeiten für ein Epizentrum Niederuzwyl macht, stimmt nicht übel, Herisau aber würde einen Zeitfehler von 20 Sekunden aufweisen, seine Abscisse wird um 6 km zu gross, wenn man durch eine stetige Kurve den andern Punkten gerecht werden will. Rückt man aber mit dem Epizentrum näher gegen Herisau um die Hälfte des Fehlers von 6 km, so kommt das Epizentrum nach Niederglatt und man erhält jetzt ein überraschend befriedigendes Resultat. Von Herisau an, durchaus nach unten konkav verläuft eine Kurve ganz ähnlich einem Parabelast, welche durch folgende den 24 besten Zeitbestimmungen entsprechende Punkte hindurch oder bis auf $\frac{1}{2}$ Minute nahe daran vorbeigeht. Auf der Nebenfigur auf Taf. III sind die Abscissen 4fach vergrössert gegen die Hauptfigur.

Liste der günstigen Beobachtungen.

Nr.	Orte	Entfernung von Niederglatt	Zeit nach Berner Uhr beobachtet	Zeit nach Berner Uhr gefunden	Abweichung
35.	Niederuzwyl ● .	3 km	11^h 53′	11^h 53′	0
47.	Herisau ● . . .	9 „	53′ 30″	53′ 30″	0
19.	Sulgen ●	13 „	54′ 00″	53′ 48″	+ 12″
49.	Lichtensteig ● .	13 „	54′ 00″	53′ 48″	+ 12″
8.	Berg ●	16 „	54′ 00″	54′ 00″	0
9.	Mattwyl •	16 „	54′ 00″	54′ 00″	0
39.	St. Gallen ● . .	16 „	54′ 00″	54′ 00″	0
45.	„ ○ . .	16 „	53′ 30″	54′ 00″	— 30″
31.	Aadorf •	22 „	54—55′	54′ 16″	0—44″
4.	Emmishofen • . . .	23 „	55 ± 1′	54′ 19″	0—1′ 41″
30.	Gerlikon •	25 „	55 ± 1′	54′ 23″	+ 10″ im Mittel
25.	Frauenfeld • . . .	25 „	54 ± 1′	54′ 23″	
26.	„ ○ . . .	25 „	54—55′	54′ 23″	
27.	„ • . . .	25 „	55 ± 1′	54′ 23″	
66.	Rüti •	30 „	55′	54′ 32″	+ 28″
55.	Winterthur • . . .	32 „	55′	54′ 36″	+ 24″
56.	Kemptthal ● . .	35 „	54—55′	54′ 42″	0
69.	Stäfa •	39 „	55′	54′ 49″	+ 11″

©Biodiversity Heritage Library, www.biodiversitylibrary.org; www.zobodat.at

Nr.	Orte	Entfernung von Niederglatt	Zeit nach Berner Uhr beobachtet	gefunden	Abweichung
57.	Wallisellen •	44 km	55′	54′ 57″	+ 3″
60.	Zürich, Hottingen ○	47 „	55′	55′ 00″	0
65.	„ Stadt • . . .	47 „	55′	55′ 00″	0
78.	Wolfegg •	66 „	55′ 40″ ± 30″	55′ 26″	0—14″
79.	Warthausen •	86 „	56′ 10″	55′ 48″	+ 22″
81.	Stuttgart ○	148 „	56′ 40″	56′ 45″	— 5″

Die Unterschiede der beobachteten und der durch die Kurve bestimmten Zeiten liegen hier durchaus unter der Fehlergrenze, für eine etwas grössere Anzahl von Zeitangaben (30) dürfte der Fehler im Betrag von ½ bis ungefähr 1 Minute die zu erwartende Fehlergrenze nicht wesentlich überschreiten.

Liste der nicht ungünstigen Beobachtungen.

Nr.	Orte	Entfernung	Zeit beobachtet	Zeit gefunden	Abweichung
36.	Felsegg	5 km	54—55′	53′ 10″	+ 50″ bis 1′ 50″
12.	Engishofen . . .	15 „	55′	53′ 56″	+ 1′ 04″
33.	Münchwylen, Oberhofen	15 „	55′ ± 1′	53′ 56″	+ 4″ bis 2′ 4″
43.	St. Gallen, Engelburg	14 „	55′	53′ 53″	+ 1′ 07″
44.	St. Gallen, Sitterthal	16 „	55′	54′ 00″	+ 1′
7.	Berg	16 „	53′	54′	— 1′
20.	Weinfelden . . .	16 „	55′	54′	+ 1′
14.	Amriswyl . . .	17 „	55′	54′ 03″	+ 57″
15.	„ . . .	17 „	55′	54′ 03″	+ 57″
16.	„ . . .	17 „	55′	54′ 03″	+ 57″
34.	Wängi	18 „	55′	54′ 06″	+ 54″
38.	Tuttwyl	18 „	53′	54′ 06″	— 1′ 06″
50.	Ebnat	19 „	55′	54′ 08″	+ 52″
48.	Appenzell . . .	20 „	56′ ± (1—2)′	54′ 11″	0 bis 3′ 49″
29.	Matzingen . . .	21 „	56′ ± 2′	54′ 14″	0 bis 3′ 46″
24.	Mettendorf . . .	22 „	55′	54′ 16″	+ 44″
3.	Egelshofen . . .	23 „	55′	54′ 18″	+ 42″
51.	Bauma	23 „	55′	54′ 18″	+ 42″
2.	Kreuzlingen . .	24 „	55′	54′ 20″	+ 40″
28.	Frauenfeld . . .	25 „	56′ ± 1′	54′ 23″	+ 37″ bis 2′ 37″
52.	Bärentswyl . . .	25 „	53—54′	54′ 22″	— 1′ 22″ bis — 22″
73.	Altstätten . . .	28 „	55—56′	54′ 30″	+ 30″ bis 1′ 30″

©Biodiversity Heritage Library, www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Nr.	Orte	Entfernung	Zeit beobachtet	Zeit gefunden	Abweichung
54.	(Sargans) . .	46 km	54′ ± 1½′	55′	+ 30″ bis — 2′ 30″
58.	(Zürich) . . .	47 „	53′ 48″ ± 10″	55′	— 1′ 02″ bis — 1′ 22″
61.	„ . . .	47 „	54′	55′	— 1′
74.	Schaffhausen .	50 „	54′	55′ 04″	— 1′ 04″
70.	Seon	77 „	55′	55′ 38″	— 38″
80.	Oberstadion .	92 „	55′ 10″	55′ 52″	— 42″
83.	Stuttgart . .	148 „	55′ 40″	56′ 40″	— 1′
82.	„ . .	148 „	55′ 25″	56′ 40″	— 1′ 15″

In diese Liste sind auch Sargans und Zürich 1 aufgenommen, obgleich wir sie nicht als Stützen für die Richtigkeit des aufgestellten Erdbebenhodographs gebrauchen wollen. Dass die meisten Abweichungen positiv sind, also vorgehende Uhren bedeuten, war besonders von den Bahnhofuhren zu erwarten. Die Zeitangaben, welche noch stärkere Abweichungen zeigen, als diese 30, sind als unvereinbar mit unserem Erdbeben zu behandeln. Weil wir ein Vorgehen der Uhren in Anssicht nahmen, erscheint es mir nicht angezeigt, zur Erklärung der positiven Abweichungen ein besonderes sekundäres Beben zu Hilfe zu nehmen, wie Hess dies thut. Nur für die Zeitangaben der westlichen Schweiz, welche ausnahmslos negative Abweichungen ergeben, wird eine besondere Erklärung notwendig werden. Zunächst sehen wir, was für weitere Aufschlüsse uns der Hodograph ergibt: Vor allem ist hervorzuheben, dass selbst dann, wenn wir die Fehlergrenze der 6 besten Telegraphenzeiten nicht grösser als ¼ Minute annehmen, für die Wahl des Epizentrums doch noch ein Spielraum in einem Umkreis um Niederglatt bleibt, dessen Radius beinahe 3 km erreichen dürfte. Je nach dieser Wahl des Epizentrums ergeben sich verschiedene Werte der Anfangsgeschwindigkeit, mit welcher die Erschütterung an der Erdoberfläche fortschritt. Bei der von uns getroffenen Wahl wissen wir über diese Geschwindigkeit innerhalb der ersten 3 km nichts, erst vom 3. bis 9. km Entfernung vom Epizentrum deutet der Hodograph eine oberflächliche Geschwindigkeit von 11 km in der Minute oder von 180 m in der Sekunde an, diese Geschwindigkeit wächst allmählich, sie beträgt in 20 km Abstand vom Epizentrum schon etwa 380 m, in 40 km 620 m, bei 60 km 780 m u. s. f., im Abstand von 150 km bei Stuttgart hat sie den Betrag von 1300 m erreicht. Durch tangentiales Anlegen

©Biodiversity Heritage Library, www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

eines Lineals an die ausgezogene Kurve lassen sich diese Zahlen ablesen, indem man den Zuwachs der Abscisse zählt, welchen die Linealrichtung für 10 oder 100 Sekunden Zuwachs der Ordinate angibt. Der Wendepunkt des Hodographs fällt in unserer Zeichnung nach Herisau, bei keiner andern Wahl des Epizentrums wird derselbe darüber hinaus, wohl aber kann er weiter nach innen fallen. Der Leser, welcher Versuche mit anderer Wahl des Epizentrums machen will, kann sich zur Ermittlung der Entfernungen, wenn ihm keine Dufour-Karte zur Verfügung steht, des Bädeker'schen Reisehandbuchs bedienen, wo sich Niederglatt auf 3 Spezialkärtchen findet.

VI. Herdtiefe und Ursache des Erdbebens.

Bis daher haben wir den Boden der Thatsachen nirgends verlassen. Über die Form des Hodographen aber innerhalb des nächsten Gebietes um das Epizentrum und über die Tiefe des Herdes unter der Oberfläche muss uns an der Hand der Thatsachen die Theorie Aufschluss geben. Das Erdbeben kennzeichnet sich als zum selben Typus gehörig, wie dasjenige von Herzogenrath vom 22. Oktober 1873. Es stimmt mit demselben überein in der Beschränkung des innern Gebietes auf einen Kreis von nicht näher angebbarem kleinem Radius und in Beziehung auf den kleinsten Betrag der Oberflächengeschwindigkeit, dort 100—200 m pro Sekunde, hier 170 m (im Wendepunkt). Dort wurden die ersten 20 km vom Epizentrum weg zurückgelegt in ungefähr 1′ 20″, hier ebenso. Im weiteren Verlauf aber wächst hier die Geschwindigkeit zu einem viel grösseren Betrage als dort, in 9—12 Meilen Abstand ist sie dort 400 m, hier im gleichen Abstande 1000 m. Es mag sein, dass die im ganzen viel grössere Unvollkommenheit der Zeitangaben beim Herzogenrather Erdbeben einen Teil dieses Unterschiedes bewirkt, aber der Hauptgrund muss doch ein anderer sein, vielleicht der, dass unser Erdbebenherd dem gut leitenden krystallinischen Gestein der Tiefe näher liegt, als der des Herzogenrather, obwohl er hier wie dort der Erdoberfläche nahe war. Zur Ermittelung einer unteren Grenze für den Betrag der Herdtiefe in Meter bedienen wir uns des Verfahrens von früher (Jahrg. 1888 S. 269). Wir erhalten mittels der Wendepunkttangente die Zeit von über 10″, welche mit der Geschwindigkeit von 170 m multipliziert eine minimale Grenze der Herdtiefe von 1700 m ergibt. Auch Versuche mit anderer Lage des Epizentrums und der Wendepunkte dürften das Minimum nicht unter 1000 m herabdrücken, weil ein Intensitätszentrum fehlt, während man für ein Maximum bis zu 6 km gehen kann. Die nach unten konvexen

©Biodiversity Heritage Library, www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Strahlen oder Wellenorthogonalen erreichten bei unserem Beben die gut leitenden Schichten früher als beim Herzogenrather. Sehr weit entfernt sich vom Hodograph die Zeit von Airolo, 54′ ± 50″, statt 56′ 12″. Wenn wir diese Zeit auf das Niederglatter Erdbeben beziehen müssen, so wurde durch die Alpen hindurch ein Weg von 110 km statt in 3′ 18″ schon in 1′ 6″ ± 50″ zurückgelegt. Doch darüber später mehr. Einen Beweis dafür, dass die wahre Fortpflanzung der Erschütterung nördlich der Alpen nicht in den oberen Schichten der Molasse in horizontaler Richtung erfolgte, sondern in nach unten konvexen Strahlen, mag der Bodensee liefern, welcher trotz seiner grossen Tiefe nicht verhinderte, dass das Erdbeben sich in Wolfegg in voller Stärke äusserte, wenn auch vielleicht Friedrichshafen dem vorliegenden See eine kleine Abschwächung zu verdanken hatte.

Was lässt sich nun aber als Ursache des Erdbebens vermuten? Da ziemlich übereinstimmend die Schwingungen des Molassegesteins eine Richtung von NW. nach SO. hatten, so liegt es nahe, die erste das Erdbeben verursachende Kohäsionsstörung als eine in derselben Richtung verlaufende Bewegung anzusehen, wie sie stattfinden muss bei der Bildung oder Vergrösserung einer von NO. nach SW. laufenden Falte oder Spalte durch Zerreissung, Zerdrückung, Verwerfung. Ein Blick auf die geognostische Karte der Schweiz zeigt südlich von Niederglatt in 9 km Entfernung einen Strich Meeresmolasse sich hinziehen, der von Rorschach bis Herisau, ja vielleicht bis Rapperswyl am Züricher See sich in westsüdwestlicher Richtung mit Unterbrechung verfolgen lässt. Diesem parallel verläuft weiter südlich die schon erwähnte nördlichste Antiklinale. Parallel diesen Richtungen hätte die Kohäsionsstörung stattgefunden. Niederglatt fällt in das Gebiet, wo die Molasse, welche in der nördlichen Schweiz fast horizontal gelagert ist, in die gefaltete Lagerung überzugehen beginnt. Hess sagt unter Berufung auf Gutswiller und Schalch „Geolog. Beschreibung der Kantone St. Gallen, Thurgau und Schaffhausen“, das Säntisvorland sei von Norden her bis in die Nachbarschaft der Linie Engelburg-Degersheim-Dietfurt horizontal geschichtet, von hier aus gegen die Säntiskette gefaltet. Von dieser Linie Engelburg-Degersheim hat Niederglatt eine nordwestliche Entfernung von 5 km, fällt also in deren Nachbarschaft. So liegt es nahe, das Erdbeben mit dem fortschreitenden Faltungsprozess der Erdkruste in Verbindung zu bringen. Einem solchen langsam fortschreitenden Prozess wird weicheres Gebirge keinen dauernden Widerstand entgegensetzen. Herr Prof. C. Miller belehrt mich, dass in der ganzen

©Biodiversity Heritage Library, www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Molasse sich nur ein Glied finde, welches sich wegen seiner besonderen Festigkeit dazu eigne, Druckkräfte oder Zugkräfte anzusammeln unter allmälichem Wachsen der Spannung bis zum Eintritt einer Katastrophe. Dies ist die Meeresmolasse. Es ist nicht aussichtslos, dass die Geologen der Schweiz vielleicht im stande sind, aus ihren Erfahrungen über die Neigung der Molasseschichten die Tiefe der Meeresmolasse in der Nähe ihres Lagerungswechsels zu berechnen, da dieselbe in 9 km Entfernung von Niederglatt in etwa 400 m höherer Lage sich findet. Damit liesse sich die Tiefe des Erdbebenherdes mit einiger Sicherheit feststellen, falls derselbe in der Molasse zu suchen ist.

Nicht bloss aber eine der Gebirgsfaltung parallele Linie ist es, eine Art halbseitiger Synklinale, welche dem Erdbebenherd eine besondere Bedeutung zu verleihen und eine bestimmtere Annahme über die Ursache des Bebens zu rechtfertigen scheint, auch eine dazu senkrechte Richtung, welche ebenfalls den Erdbebenherd durchschneidet, entbehrt nicht einer gewissen Klassizität. Es ist die Linie vom Hohentwiel zum Säntisgipfel, eine klassische Linie, nicht etwa, weil ich an Scheffel's Eggehard dächte, sondern weil diese Linie einen Teil einer grossen Störungslinie bildet, welche zu dem Gebirgsnetze gehört, mit welchem Elie de Beaumont die Erde umspannte, aber einer Linie, deren Berechtigung nicht an den künstlichen Bau des Pentagonalsystems gebunden ist. Verfolgt man nämlich die Linie vorwärts und rückwärts auf Landkarte und Globus, so führt sie im Süden zu Vesuv und Ätna, nördlich über Hardt und Siebengebirge und die Shetlandsinseln bis zum Mouna Roa auf San Mayen. Diese Linie ist unter den 3 aufeinander senkrechten grössten Kugelkreisbögen, den 3 jüngsten Systemen vulkanischer Natur, Alpes, Ténare und Andes, das erste (système des montagnes pg. 772). Weit entfernt, unserm Erdbeben einen vulkanischen Ursprung zuzuschreiben, wollte ich doch nicht unterlassen, auf eine Beziehung aufmerksam zu machen, in welcher man vielleicht eine Stütze für die Annahme vulkanischer Ursache finden könnte. Und auch für Annahme eines sekundären Bebens in den Quartärablagerungen, wie sich dieselbe bei Hess findet, der nahezu derselben Richtung entlang dieses sekundäre Leben entstehen lässt, ohne die klassische Bedeutung dieser Linie zu ahnen, könnte man vielleicht in der erwähnten Beziehung eine Stütze finden. Soviel steht jedenfalls fest, dass entlang dieser Richtung und in einer Breite von gegen 30 km der Strich liegt, in welchem unser Erdbeben am stärksten getobt und auffallend schnell sich ausgetobt hat.

©Biodiversity Heritage Library, www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

VII. Das Beben im südwestlichen Teil des Gebietes.

Wir befinden uns nun in der Lage eines Chemikers, der bei der Analyse eines Minerals den grössten Teil in Salzsäure zu lösen und zu bestimmen im stande war. Sollte der ungelöste Rückstand ganz auf Rechnung zufälliger Verunreinigungen kommen? Von den 83 Zeitbestimmungen fügten sich 24 gut, weitere 30 ohne allzugrossen Fehler dem System, eine 55., Airolo, bildet mit Recht eine Ausnahme. Weitere 8 bis 9, nämlich die Nummern 6, 21, 22, 46. 59, 64, 67, 68 und wohl auch 75 können wir unbedingt als allzuweit abweichend zurückstellen. Es verbleiben noch 19 mit grösseren Abweichungen, ihr Gewicht wird durch einen Teil derjenigen vermehrt, welche ½ bis 1 Minute Abweichung zeigen. Unter diesen 19 Zeitbestimmungen dürfen uns die mit positiven Abweichungen nicht beirren, es sind deren 14, ihr Vorkommen, besonders bei den Bahnhofs- und Ortsuhren, stand zu erwarten. Dass auch telegraphische Zeiten solche Fehler im positiven Sinn haben dürfen, darüber belehrt uns St. Gallen, dort gibt das Telegraphenbüreau selbst 54′ und zwei als Telegraphenzeit ausgegebene Berichte, Nr. 41 und 42. geben 56′. Übrigens sind es ausser diesen 2 Berichten aus St. Gallen nur noch 3 Telegraphenzeiten, die entschieden zu hoch sind, nämlich das eine Münchwylen Nr. 32, welches um 1′ 08″ bis 2′ 08″ abweicht und Nr. 53 Degersheim, mit 1′ 44″ Abweichung, sowie Nr. 67 Rüti, das wir den 9 ganz verdächtigen Berichten beizählten, weil es um 3½ Minuten abweicht. Wenn auch selbstverständlich sekundäre Erschütterungen als Folge von Reflexionen an Verwerfungsspalten und beim horizontalen Schichtenwechsel in der weitesten Ausdehnung anzunehmen sind, so lassen sich diese doch nicht benutzen, um Verspätungen von mehreren Minuten zu erklären, sie können uns nur erklären, wie ein ursprünglich einheitlicher Hauptstoss sich in eine Reihe von Wellen verschiedener Intensität, an verschiedenen Orten in verschiedener Weise, zerlegen kann, wie insbesondere im Verlauf des Bebens sich, wieder lokal verschieden, auch Elastizitätsschwingungen von kleiner Schwingungsamplitude ausbilden, welche vom Menschen nicht mehr als mechanische Bewegungen empfunden werden, für deren Wahrnehmung sein Gehörsinn durch Vermittelung der Luft das geeignete Organ ist. Die Fortpflanzung dieser Art von Schwingungen im Boden hat natürlich mit der Geschwindigkeit des Schalls in der Luft nichts zu schaffen.

Von grösserer Bedeutung, als die 15 positiven Abweichungen sind die 5 negativen, welche zusammen mit 4 weiteren negativen der

©Biodiversity Heritage Library, www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Liste der nicht ungünstigen Beobachtungen eine dem westlichen Teil des Erdbebengebietes übereinstimmend zukommende Eigentümlichkeit darstellen. Es ergibt sich folgende Zusammenstellung:

Orte des westlichen Gebietes mit bloss negativer Abweichung.

Nr.	Orte	Entfernung	Zeit beobachtet	Zeit gefunden	Abweichung
58.	Zürich, Sternwarte	47 km	53′ 48″ ± 10″	55′	— 1′ 12″
61.	„ Telegraph	47 „	54′	55′	— 1′
62.	„ Selnau . .	47 „	53′	55′	— 2′
63.	„ Stadt . .	47 „	53′	55′	— 2′
72.	Zug	56 „	53′	55′ 12″	— 2′ 12″
74.	Schaffhausen . .	50 „	54′	55′ 04″	— 1′ 04″
70.	Seon	77 „	55′	55′ 38″	— 38″
76.	Basel	121 „	55′	56′ 20″	— 1′ 20″
77.	„	121 „	55′	56′ 20″	— 1′ 20″

Das Gewicht dieser Liste wird noch verstärkt durch die zurückgestellten Zeiten Nr. 75 und Nr. 64.

Sollen wir annehmen, es habe bei der Verteilung der telegraphischen Zeit ein Unterschied zwischen östlicher und westlicher Schweiz in der Art stattgefunden, dass die östliche um über 1 Minute früher ihren Zeitstrom erhielt als die westliche? Ich halte eine solche Ungleichheit nicht für möglich, gegen dieselbe sprechen auch unsere oberschwäbischen Zeiten, welche mit der Zeit der Ostschweiz harmonieren. Bei einem gemeinsamen Fehler der Telegraphenzeit der Ostschweiz um eine Minute (1′ 12″ entsprechend der Züricher astronomischen Zeit) würden von den württembergischen Zeiten Nr. 78 Wolfegg, 79 Warthausen und 81 Stuttgart unbrauchbar, Stuttgart Nr. 82 und Stuttgart 83 würden zum Ersatz gut und Oberstadion Nr. 80 würde etwas besser stimmen, der Verlust würde aber den Gewinn überwiegen.

Für Hess war diese Besonderheit der Westschweiz mit ein Grund, ein Zentrum des Erdbebens überhaupt für unmöglich zu halten, er nimmt eine in der Linie Zug-Niederuzwyl beginnende, stetig beiderseits fortschreitende Rutschung der ganzen Molasseplatte auf ihrer Unterlage an. Abgesehen von allen anderen mechanischen Einwänden, welche sich mir gegen diese Vorstellung erheben, glaube ich, spricht, wie oben hervorgehoben wurde, die thatsächliche kurze Dauer hin und her gehender Elastizitätsschwingungen an den einzelnen Orten gegen die Annahme sowohl einer langgestreckten Linie als Herd, als noch mehr gegen eine solche horizontale Ausdehnung

©Biodiversity Heritage Library, www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

der Kohäsionsstörungen über das ganze Molassegebiet, also einen Erdbebenherd von Tausenden von Quadratkilometern Ausdehnung.

Muss es denn durchaus ein Erdbeben gewesen sein? Ist es denn nicht viel wahrscheinlicher, dass jedes Erdbeben in seinem ganzen Erschütterungsgebiet überall da neue Erdbebenherde erzeugt, wo sich Spannungen angehäuft haben, welche ihrer Auslösung harren? Berichtet doch Hess, dass unserem Erdbeben noch Nachbeben gefolgt sind bis zur Stärke vom 4. Grad, es werden deren (S. 62) vom 7. bis 26. Januar acht aufgezählt. Auch noch in Entfernungen, wo die menschliche Empfindung das auslösende Beben nicht mehr wahrnimmt, kann das ausgelöste empfunden und mit dem auslösenden verwechselt werden, wenn es demselben in der Zeit nahe steht. Wenn Zürich 2 Erdbeben gehabt hätte, das eine zur astronomisch bestimmten Zeit 53′ 48″, das andere zur Hottinger Telegraphenzeit 55′, so wäre es im höchsten Grade unwahrscheinlich, dass ein Mensch in Zürich beide verspürt haben würde. Zürich hatte ungefähr wie Stuttgart die Intensität III bis IV (Wallisellen ganz in der Nähe II). Wenn die Erschütterung derart ist, dass von vielleicht 100 der feinstbesaiteten Menschen (ich zähle von 4000 nur die 100, welche das zarteste Nervensystem haben) nur einer sie bemerkt, also die Wahrscheinlichkeit der Wahrnehmung für den einzelnen $\frac{1}{100}$ beträgt, so beträgt die Wahrscheinlichkeit dafür, dass einer beide Beben bemerkt, für den einzelnen $\frac{1}{10000}$, es wird nur der hundertste Teil derjenigen, welche das erste Beben wahrnahmen, auch das zweite bemerken. Wir werden allerdings nicht ohne andere zwingende Gründe lieber an das Zusammentreffen zweier Erdbeben mit 1′ 12″ Zwischenzeit, als viel mehr an die Fehlerhaftigkeit menschlicher Beobachtungen glauben. Solche andere Gründe liegen nun z. B. für Stuttgart mit seinen zweierlei Zeiten vorerst nicht vor, aber für Zürich.

Der sonderbaren geographischen Zweiteilung des Erdbebengebietes in einen westlichen und östlichen Flügel und der Zweiteilung der Beobachtungszeiten in eine grosse Gruppe, Zeiten des mittleren und östlichen Gebietsteiles und eine kleine Gruppe des westlichen Gebietsteiles muss auch eine Zweiteilung der Ursache, des Erdbebenherdes, entsprechen. Bei der sehr verschiedenen Beschaffenheit der wenigen Zeitbeobachtungen wird es zwar schwer sein, auf eine ganz bestimmte Annahme mit Sicherheit zu kommen, man muss sich mit mehr oder weniger grosser Wahrscheinlichkeit begnügen.

Wenn die Zeit von Zug nicht im Wege zu stehen schiene, so würde ebensowohl die Intensitätshäufung zwischen Waldshut und

©Biodiversity Heritage Library, www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Hauenstein, als die ungefähre Übereinstimmung mit den Zeitberichten: 58 Zürich, 61 Zürich, 76 Basel, 77 Basel, 74 Schaffhausen und 70 Seon für ein Erdbeben sprechen, welches seinen Herd in der Gegend von Waldshut hätte, oder im Klettgau, einer ohnedies nicht erdbebenreinen Gegend. Als Zeitpunkt für den Beginn dieses Bebens würde sich am passendsten etwas mehr als 53′ ergeben, so dass es freilich mit dem Niederglatter nicht in direkten kausalen Zusammenhang gebracht werden könnte, weder als Ursache noch als Folge, wir müssten für beide vielleicht eine gemeinschaftliche höhere Ursache aufsuchen. Damit gewänne folgende Hypothese einen gewissen Grad von Berechtigung: Infolge der fortschreitenden Faltung der Erdkruste hatten sich an mehreren Punkten der festesten Teile der Schweizer Molasse, besonders der Meeresmolasse, Spannungen angehäuft, welche sich am 7. Januar 1889 etwa um 9^h 52′ Berner Zeit infolge eines gemeinsamen Anstosses auszulösen begannen, zuerst in zwei bis drei nahezu gleichzeitigen Beben, einem ersten in Niederglatt um 11^h 52′ 56″, einem zweiten bei Waldshut kurz nach 11^h 53′ und vielleicht einem dritten in der Gegend von Zug oder zwischen Zug und Zürich, auch eher vor als nach 11^h 53′. In Zürich kamen zwei oder alle drei zur Beobachtung, aber von verschiedenen Personen, das erste, unter den dreien das letztgenannte, um 11^h 53′, das zweite von Waldshut her um 11^h 53′ 48″ und das dritte von Niederglatt her um 11^h 55′. Auch in der Gegend zwischen Zug und Niederglatt gehen die Zeitberichte durcheinander, wie die Vergleichung von Bärentswyl, Rüti, Stäfa beweist. Als gemeinsame Ursache können wir etwa an eine aus grosser Tiefe stammende Erschütterung denken, eine solche müsste sich auch an weitgetrennten Punkten fast gleichzeitig einstellen.

Damit wären wir nun glücklich bei vier Erdbeben angelangt und wollen uns bei diesen vieren einstweilen beruhigen, bis wir zum Schlusse unserer Untersuchungen Mittel finden, zwei derselben wieder zu eliminieren.

Die Intensität der Erschütterung der einzelnen Orte wechselt, je nach der Entfernung vom Herde, je nach der Befähigung des Untergrundes, die elastischen Schwingungen zu dämpfen, je nach Richtung der Schichtenfolge und Verwerfungen, welche der fortschreitenden Energie sich in den Weg stellen, sie durch Refraktionen und Reflexionen ablenken.

So erscheint insbesondere als natürlichste Erklärung für den Schutz, welchen das Höhgau genoss, die mannigfache Ablenkung

©Biodiversity Heritage Library, www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

der Energie entlang einer verborgenen breiten Störungslinie zwischen Höhgau und Säntis, deren nächste Fortsetzung südlich durch das Durchbruchthal des Rheines unterhalb Chur und nördlich durch das Höhgau selbst und durch die Formationsscheide zwischen Alb und Schwarzwald gekennzeichnet ist. Der ganze Verlauf des Hauptbebens ist ein Beleg für die Richtigkeit derjenigen Vorstellung von der Ausbreitung der Erdbebenwellen, welche mit wachsender Tiefe eine zunehmende Fortpflanzungsgeschwindigkeit annimmt, und zwar ist neben den früher behandelten Beispielen: Mitteldeutsches Erdbeben vom 6. März 1872, und Herzogenrather vom 22. Oktober 1873, dieses dritte dasjenige, welches die sicherste Probe bildet für einen, dem Gesetze von Hopkins-Seebach entgegengesetzte, Zunahme der Oberflächengeschwindigkeit schon ausserhalb eines kleinen Umkreises um das Epizentrum.

VIII. Das Erdbeben von Charleston vom 31. August 1889.

Und nun möchte ich den Leser von den Gestaden des Bodensees weg an das jenseitige Gestade des Atlantischen Ozeans führen, aus den kleinen heimatlichen Verhältnissen heraus in die grossen überseeischen. Auch die Erdbeben verlaufen dort im grossen Stil und die Amerikaner lächeln über die kleinen Fortpflanzungsgeschwindigkeiten, welche wir Europäer für unsere Erdbeben herausrechnen.

Ich habe übrigens in meiner Abhandlung vor zwei Jahren hervorgehoben, dass Julius Schmidt über verschiedene Fälle von Erdbeben sehr grosser Geschwindigkeit der Ausbreitung berichtet, nur freilich sind sie noch nicht so sicher zahlenmässig festgestellt, wie z. B. ein neuester Beleg, der sich im Verlaufe des letzten Jahres eingestellt hat. Das Erdbeben von Wjernoje[1], das in der Nacht vom 11. auf den 12. Juli 1889 auf der Berliner Sternwarte beobachtet wurde, hat sich in 26 Minuten 4600 km weit fortgepflanzt, hat also in der Sekunde im Mittel nahe an 3000 m zurückgelegt. Aber das muss hervorgehoben werden: Seit dem Erdbeben von Lissabon 1. November 1755 übertrifft kein anderes Beispiel das Charlestoner Erdbeben in Beziehung sowohl auf die Ausbreitungsgeschwindigkeit, als die Grösse des Erdbebengebietes als insbesondere die Sorgfalt der Beobachtung und Erforschung. Das Gebiet umfasst zwei Millionen Quadratkilometer, etwa den 250. Teil der Erdoberfläche, mit Einrechnung des Meeres vielleicht noch um die Hälfte mehr (das Erd-

[1] s. Gaea 1889, 10. Heft.

©Biodiversity Heritage Library, www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

beben von Lissabon hatte ein Gebiet gleich dem 13. Teile der Erdoberfläche), nördlich reicht es bis zu den grossen Süsswasserseen der Vereinigten Staaten, südlich bis zur Insel Cuba, westlich bis zum Unterlaufe des Missouri und zur Mississippiebene und östlich bis zu den Bermudasinseln. Die Lage des Herdes entbehrt nicht einer Analogie mit derjenigen unseres schweizerischen Bebens. An der Seite eines langgestreckten Faltengebirges breitet sich eine von mächtigen Tertiärschichten bedeckte Ebene aus, welche Glieder der Kreide und der Juraformation zum Teil als ihre Unterlage erkennen lassen. In diesem Molassegebiet, welches durch grosse Nagelfluhmassen dem der Schweiz nicht unähnlich ist, liegt das Epizentrum des Erdbebens. Im besonderen wird über den Untergrund der dem Herde nahen Stadt Charleston berichtet: Bohrungen auf artesische Quellen zeigen an, dass die tertiären und Kreidebildungen sehr verschieden sind in ihrem Charakter: Sande, Thone, Kalkmergel und lockere Konglomeratschichten, durchzogen von Wasseradern, wechseln miteinander ab. Die Stadt selbst liegt zum grossen Teil auf aufgefülltem Boden (made land). Man vermutet, die Mächtigkeit des Untergrunds der Stadt bis zum krystallinischen Fels werde nicht unter einer Meile (1,61 km) betragen.

Ein wesentlicher Unterschied von den Verhältnissen beim Schweizer Beben liegt aber darin, dass die Apalachen, nur halb so hoch als die Alpen, ein älteres Gebirge sind. Nur die Formationen bis zur Trias nehmen an der Gebirgsfaltung teil, Jura, Kreide und Tertiär sind nicht gestört, sondern in die Falten der verworfenen Unterlage horizontal eingelagert. Ferner liegt der Herd viel weiter ab vom Gebirge in der Nähe des Ozeans, möglicherweise unter demselben, man könnte die doppelte Länge vom Säntis bis Stuttgart quer über den Küstensaum legen von Charleston bis zu den Apalachen. Daher kommt hier weniger (nur in der Richtung gegen Florida) die Ausbreitung des Erdbebens vom Gebirge weg in Betracht, als die entlang Gebirge und Küste gegen Nordost und die gegen das Gebirge, durch dasselbe und darüber hinweg gegen Nord, Nordwest und West, und es mag hier gleich als bezeichnend hervorgehoben werden, dass für diese Hauptrichtungen sich kein merklicher Unterschied der Fortpflanzungsgeschwindigkeit mit Sicherheit ergibt.

Einer Abwägung der Beobachtungen und einer Aufsuchung des Epizentrums sind wir überhoben, das besorgt die Geological Survey der Vereinigten Staaten aufs gründlichste, nach dem ausgesprochenen Grundsatze, dass die Zeitbeobachtungen die weitaus wichtigste Grund-

©Biodiversity Heritage Library, www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

lage der Erdbebenforschung bilden. Die Zahl der gesammelten Zeitberichte beträgt über 400, für das 130mal kleinere Gebiet des schweizerischen Bebens 300, von diesen 400 sind aber 316 einigermassen brauchbare, von den letzteren nur 83, so dass also die Zahl der brauchbaren amerikanischen Berichte, es mag das vielleicht ein gewisser Gradmesser für die Zivilisation sein, bei einem 130mal grösseren Gebiete etwa die vierfache ist. Dementsprechend steht der einen astronomischen Zeitangabe beim europäischen Beben eine Zahl von 5 Beobachtungen gegenüber, welche die Zeit (standard time) auf wenige Sekunden genau angeben.

Die Feststellung des Epizentrums scheint nicht ohne Schwierigkeit erfolgt zu sein, wenigstens finde ich auf einer Karte von Everett Hayden[1], welcher Ende 1886 das System der coseismals und isoseismals vorläufig veröffentlichte, ein Epizentrum in 100 miles Entfernung von Charleston gegen Norden, dagegen in dem späteren Bericht von Newcomb und Dutton ein Epizentrum nur in 20 miles Entfernung von Charleston, auch stimmen die coseismals (Hanoseisten) des ersten Berichtes schlecht mit dem System der im letzteren Berichte zusammengestellten Zeitbeobachtungen. Und es liegt in der Natur der Sache, dass trotz der grossen durchschnittlichen Genauigkeit und trotz der grösseren Zahl der amerikanischen Zeitberichte das Epizentrum sich doch schwerlich auch nur mit dem 20. Teil von Zuverlässigkeit wird feststellen lassen von derjenigen des Schweizer Erdbebens. Denn so gross ist trotz der Gleichheit der Bodenbeschaffenheit der Unterschied der oberflächlichen Ausbreitung der beiden Erdbeben, dass beim Schweizer Beben eine Sekunde Zeit in der Nähe des Epizentrums nur etwa 180 m Länge bedeutet, beim amerikanischen die entsprechende Zahl jedenfalls über 5000 m beträgt. In der Zeit von 5 Minuten hat sich das Ereignis auf der Fläche von 2 Millionen Quadratkilometer abgespielt bis zu einer Entfernung von über 900 miles, von beinahe 1500 km vom Epizentrum, der 10fachen Entfernung von Niederglatt bis Stuttgart. Der Bericht von Newcomb und Dutton gibt als Auszug aus den 316 Zeitbeobachtungen die 173 besten in 4 Gruppen geteilt und mit Gewichten versehen. Gruppe I mit 5 best observations, Gruppe II mit 11 good reports, die nächste Minute oder halbe Minute angebend, Gruppe III mit 125 miscellaneous time reports und Gruppe IV mit 32 stopped clocks. Für die Ermittelung der Form des Hodographen habe ich die mit

[1] Bulletin of the Philos. Soc. of Washington, 290th meeting 1886.

©Biodiversity Heritage Library, www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

den niedersten Gewichten versehenen Zeitangaben der Gruppe III und IV weglassen, auch von der angegebenen Zeit für das Epizentrum abgesehen, weil der Grundsatz, nach welchem diese Zeit berechnet ist, unrichtig, ein geradliniger Hodograph keine voraussetzungslose Annahme ist. Folgendes ist die Liste der benützten Zeitangaben:

Ort	Staat	Gewichte Gruppe I ●	Gruppe II ○	Gruppe III •	Gruppe IV ×	Zeit Min.	Sek.	Entfernung Miles	km
Charleston . .	S. C.	—	—	—	3	51	12	20	32
Statesburg . .	,,	—	—	1	—	51	30	80	129
Columbia . .	,,	—	—	1	—	52	—	89	143
,, . .	,,	—	—	—	2	51	—	89	143
Savannah . .	Ga.	—	—	2	—	51	53	89	143
,, . .	,,	—	—	—	2	51	55	89	143
Augusta . .	,,	—	—	2	—	51	30	111	179
,, . .	,,	—	—	—	1	52	—	111	179
Cochran . .	,,	—	—	—	2	52	—	192	309
Macon . . .	,,	—	—	1	—	52	—	203	327
,, . . .	,,	—	—	—	1	51	30	203	327
Jacksonville .	Fl.	—	—	2	—	52	—	211	340
,, .	,,	—	—	—	1	52	—	211	340
Atlanta . . .	Ga.	—	—	—	3	52	22	252	406
Nashville . .	Tenn.	—	1	—	—	53	30	438	705
,, . .	,,	—	—	1	—	54	30	438	705
,, . .	,,	—	—	—	1	54	12	438	705
Washington .	C. D.	2	—	—	—	53	20	452	728
,, . .	,,	2	—	—	—	53	23	452	728
,, . .	,,	—	—	2	—	53	41	452	728
Baltimore . .	Md.	1	—	—	—	53	20	487	784
Covington . .	Ky.	—	1	—	—	53	41	488	786
Pikesville . .	Md.	—	1	—	—	53	30	490	789
Cincinnati . .	O.	—	—	4	—	53	41	491	791
,, . .	,,	—	—	—	2	54	—	491	791
,, . .	,,	—	—	—	1	54	21	491	791
Lockland . .	,,	—	—	—	3	54	26	505	813
Columbus . .	,,	—	—	2	—	53	41	513	826
Evansville . .	Ind.	—	1	—	—	54	—	545	878
Dyersburg . .	Tenn.	1	—	—	—	54	—	569	914
Indianopolis .	Ind.	—	—	2	—	55	—	584	940
,, . .	,,	—	—	—	1	55	—	584	940
Memphis . .	Tenn.	—	—	—	4	54	50	587	945
Cairo . . .	Ill.	—	—	1	—	53	—	588	947
,, . . .	,,	—	—	—	1	53	—	588	947
Cleveland . .	O.	—		—	—	54	—	604	972
,, . .	,,	—	1	—	—	54	—	604	972

©Biodiversity Heritage Library, www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Ort	Staat	Gewichte Gruppe I ●	Gewichte Gruppe II ○	Gewichte Gruppe III •	Gewichte Gruppe IV ×	Zeit Min.	Zeit Sek.	Entfernung Miles	Entfernung km
Belvidere . .	N. J.	—	1	—	—	54	—	622	1001
Brooklyn . .	N. Y.	—	—	3	—	54	30	643	1035
,, . . .	,,	—	—	—	1	55	—	643	1035
New York . .	,,	2	—	—	—	54	30	645	1039
,, . .	,,	—	1	—	—	54	30	645	1039
,, . .	,,	—	—	6	—	54	12	645	1039
,, . .	,,	—	—	—	1	55	15	645	1039
Detroit . . .	Mich.	—	—	3	—	55	12	675	1087
Newhaven . .	Conn.	—	—	2	—	55	30	711	1145
Hartford . .	,,	—	—	2	—	54	45	747	1203
Stockbridge .	Mass.	—	½	—	—	56	—	765	1232
Albany . . .	N. Y.	—	1	—	—	55	—	770	1240
,, . . .	,,	—	—	1	—	56	40	770	1240
Keokuk . . .	Iowa	—	—	2	—	56	—	810	1304
Boston . . .	Mass.	—	—	1	—	55	30	832	1340
Prairie du Chien	Wis.	—	—	1	—	56	30	924	1488

Damit hat sich die in unserer Tafel III ausgezogene Kurve als Bild des Hodographen mit vollkommener Ungezwungenheit ergeben. Eine schwache Konvexität nach unten im ersten Viertel des Verlaufs ist unverkennbar, alsdann ein geradliniger Verlauf durch eine Reihe der sichersten Punkte und im letzten Viertel ein nicht genau bestimmter Verlauf. Im ganzen das Bild einer nahe konstanten Geschwindigkeit von durchschnittlich 5184 ± 80 m. Zu diesem Betrag wurde die Geschwindigkeit von Dutton und Newcomb nach der Methode der kleinsten Quadrate unter Voraussetzung ganz konstanter Fortpflanzungsgeschwindigkeit festgestellt. Die Zusammenstellung der beiden Erdbebenhodographen auf derselben Tafel im selben Massstab, unter Hinzufügung der Hodographen unserer früher behandelten Erdbeben, ist die beredteste Aufforderung dazu, eine Theorie der Ausbreitung der Erdbebenwellen zu geben, welche sowohl den verschiedenen Geschwindigkeiten im allgemeinen, als auch den besonderen Formen der Hodographen gerecht wird, ein solches Schema des Erdbebenverlaufs aufzustellen, das aus den Abweichungen des einzelnen Falles die Besonderheit der Bedingungen im einzelnen Fall erkennen lässt.

IX. Bemerkungen zur Gestalt der Hodographen.

Für sich einzeln betrachtet scheint der Hodograph des Charlestoner Erdbebens eine Bestätigung der Seebach'schen Theorie zu

©Biodiversity Heritage Library, www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

bilden, nach welcher bei gleicher mineralischer Beschaffenheit der Erdkruste die Erdbebenwellen nach allen Richtungen und in allen Tiefen mit gleicher Geschwindigkeit fortschreiten müssten. Die geometrische Konsequenz dieser Annahme ist die Form der Hyperbel für den Hodographen. Die Asymptoten durchschneiden die Erdbebenachse im Zentrum, die Kurve selbst durchschneidet die Achse im Epizentrum. Das Achsenstück zwischen beiden Punkten gibt die Zeit, in welcher die Welle vom ersten zum zweiten Punkt gelangte. Die Richtung der Asymptote gibt die wahre Fortpflanzungsgeschwindigkeit zum Unterschied von der grösseren scheinbaren oder Oberflächengeschwindigkeit, welche in jedem einzelnen Punkte die Tangente an die Hyperbel durch ihre Richtung erkennen lässt. Durch Multiplikation der zwischen Zentrum und Epizentrum liegenden Zeit mit der wahren Fortpflanzungsgeschwindigkeit erhält man die Herdtiefe. Nimmt man das geradlinige Stück des Hodographen zwischen Washington und New York als Asymptote, so dürfte sich als Zeit ergeben $51' \; 10'' - 50' \; 44'' = 26''$ und als Geschwindigkeit 4570 m, also als Herdtiefe ein Betrag von 119 km. Ich möchte dieser Berechnung für unsern Fall durchaus nicht alle Berechtigung absprechen. Wenn auch in Wirklichkeit die Annahme einer in verschiedenen Tiefen gleichen Fortpflanzungsgeschwindigkeit nicht haltbar ist, auch für gleiche mineralische Beschaffenheit nicht, weil mit zunehmendem Druck in der Tiefe, mit zunehmender Temperatur und vielleicht auch noch infolge veränderlichen Feuchtigkeitsgehalts die Wellengeschwindigkeit sich ändern muss, so bleibt uns doch die Theorie das Gesetz dieser Veränderlichkeit schuldig. Es könnte diese Veränderlichkeit nach unten kleiner werden, nach einer mit der Tiefe anfänglich rasch wachsenden Wellengeschwindigkeit könnte in grösserer Tiefe diese konstant werden. Für einen Erdbebenherd weit unter der Grenze der Veränderlichkeit müsste sich dann fast genau die Seebach'sche Hyperbel als Hodograph ergeben. Und so liegt die Versuchung nahe, eben in der sichtbar hyperbolischen Form unseres Hodographen, insbesondere in der Abwesenheit jeder Spur von Wendepunkt, von Übergang aus der Konvexität in die Konkavität, einen thatsächlichen Beweis für diese letztere Annahme von in grosser Tiefe konstanter Wellengeschwindigkeit zu finden. Es wäre kein kleiner wissenschaftlicher Gewinn, zu wissen, im Innern der Erde unterhalb der oder der Tiefe pflanzen sich Elastizitätsschwingungen überall mit 4600 m Geschwindigkeit fort, während diese Geschwindigkeit nach oben abnimmt, um an der Oberfläche ihren kleinsten Be-

©Biodiversity Heritage Library, www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

trag, in den lockersten Bodenschichten den Betrag Null zu erreichen. Aber wenn es auch eine solche Tiefengrenze geben sollte, so sind wir doch von ihrer Feststellung noch weit entfernt.

Einmal entspricht die Hyperbel nur dann der Annahme konstanter Wellengeschwindigkeit, wenn wir die Erdoberfläche als eben betrachten. Bei einem Erdbeben wie das Charlestoner, bei einer Erstreckung über 1500 km oder $13\frac{1}{2}$ Bogengrade vom Zentrum an bis zum äussersten Punkt kann der Einfluss der Krümmung der Erdoberfläche auf die Gestalt des Hodographen nicht mehr vernachlässigt werden. Unsere Figur (auf Taf. III), in wecher EC die Herdtiefe, EA eine sphärische Entfernung vom Epizentrum bedeutet, und in welcher die Teile BA der Stossstrahlen CBA als Ordinaten des Hodographen, als Zeitmasse, benützt wurden, erklärt sich von selbst. Was wir früher als Eigentümlichkeit des Hodographen nur unter Voraussetzung einer mit der Tiefe nach beliebigem Gesetze zunehmenden Wellengeschwindigkeit gefunden haben, gilt wegen der Krümmung der Erdoberfläche allgemein. Der Hodograph zerfällt in zwei Teile, einen inneren nach unten konvexen und einen äusseren nach unten konkaven. Der Wendepunkt B, fällt in diejenige Entfernung (EA,), wo die auf der Erdbebenachse senkrechten Stossstrahlen (Wellennormalen) die Erdoberfläche schneiden. Den letzteren Satz bestätigt die Differentialrechnung, soweit die Herdtiefe ein kleiner Bruchteil des Erdradius ist. Also auch die Zweiteilung eines jeden Erdbebengebietes in einen inneren und äusseren Bezirk, den inneren mit einer vom Zentrum an abnehmenden, den äusseren mit zunehmender Oberflächengeschwindigkeit steht unbedingt als Schema für jedes Erdbeben fest. Dann, wenn der Herd ein ganz oberflächlicher ist, verschwindet der innere Bezirk, diesem Extrem nähern sich die Erdbeben von Herzogenrath und Niederglatt, und dann, wenn die Intensität der Erschütterung nicht gross genug ist, um über den inneren Bezirk hinaus sich fühlbar zu machen, dann nimmt der Hodograph die Form der Hyperbel an. Sollten wir uns mit dem Charlestoner Erdbeben dem letzteren Falle nähern? Möglich, denn eine Herdtiefe von 119 km würde ganz nach Seebach'scher Vorstellung auf eine Wendepunktsentfernung von 1230 km führen, auf einen Hodographen, der sich praktisch zwischen 400 und 1500 km vollkommen als gerade Linie darstellen würde, der erst über 1500 km hinaus eine deutlichere Richtungsänderung erkennen liesse. Viel näher aber müsste der Wendepunkt für 119 km Herdtiefe rücken, wenn innerhalb des grössten Teiles dieser Tiefe die Wellengeschwindig-

©Biodiversity Heritage Library, www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

keit unter Abnahme nach oben veränderlich wäre; ferner müsste er auch viel näher rücken, wenn die Herdtiefe selbst einen kleineren Betrag hätte. In der That sind nun Umstände vorhanden, welche auf eine Wendepunktsentfernung von etwa 200 oder 150—250 km schliessen lassen. Trotz der Güte der Zeitbeobachtungen leidet nämlich unser Hodograph noch an einer grossen Unsicherheit. Eine für Beurteilung der Herdtiefe massgebende Feststellung des Hodographs und des Epizentrums für das Charlestoner Erdbeben ist wegen der grossen Fortpflanzungsgeschwindigkeit erst dann möglich, wenn wir an jeder Zeitbeobachtung, auch an der besten, eine lokale Korrektion anbringen. Da nämlich die Sedimentärschichten eine viel kleinere Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Wellen bewirken, als das krystallinische Gestein, so müssen wir von jeder Zeitbeobachtung einen der Dicke der sedimentären Unterlage des betreffenden Ortes proportionalen Betrag in Abzug bringen, die Zeiten auf eine nackte, der Sedimentärschichten entblösste Erdoberfläche umrechnen. Es müsste also diese Untergrundsdicke für die einzelnen Orte bekannt sein. Die Korrektion der Zeit als Funktion der Dicke könnte dann dadurch ermittelt werden, dass man diejenige Funktion der Unterlagendicke ermittelt, welche die günstigste Einreihung der Punkte in eine stetige Kurve gestattet. Dieses Verfahren müsste mit mehreren angenommenen Epizentren vorgenommen werden und würde dann zu demjenigen Epizentrum als den wahrscheinlichsten und derjenigen Korrektion der Zeit als Funktion der Untergrundsdicke führen, für welche sich die reinste Form eines stetigen Hodographenzugs ergeben würde. Diese Korrektionen würden sehr verschiedene Beträge haben, nicht den kleinsten für den dem Epizentrum nächsten Punkt, für Charleston, und wie es scheint, einen erheblich grösseren für Savannah; für die Städte der Westküste nördlich Charleston einen ihrer Entfernung vom Gebirge ungefähr proportionalen Betrag, aber einen kleineren, als wohl für Florida oder das Gebiet der grossen Seen. Mir scheinen die Abweichungen einiger Punkte vom Hodographen durch solche Korrektionen sich heben oder verbessern zu lassen. Gerade der tiefe Untergrund der dem Zentrum nächsten Orte, wie Charleston und Savannah, auch Statesburg und Augusta, verhüllt diejenige Gestalt des Hodographen in der Nähe des Scheitels, die er annehmen würde, entweder wenn die Untergrundsverhältnisse für alle Orte ungefähr gleich wären, oder wenn bei kleiner Fortpflanzungsgeschwindigkeit die Verzögerung durch den Untergrund einen verschwindenden Teil der Gesamtzeit der Translation aus-

©Biodiversity Heritage Library, www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

machen würde. Die punktierte Linie unserer Figur stellt den Versuch einer Verbesserung des Hodographs vor, dadurch, dass derselbe durch Columbia und Atlanta mit Wendepunkt in 200 km Scheitelabstand geführt wurde. Die Tangente im Wendepunkte schneidet von der Erdbebenachse ein Ordinatenstück von 42″ ab und zeigt eine Geschwindigkeit im Wendepunkt von 2560 m an. Dies führt auf eine Herdtiefe von nicht unter, sondern über 107,5 km, mit merkwürdiger Annäherung an das nach Seebach's Methode ermittelte Resultat. So gering die Genauigkeit solcher Zahlen sein mag, so geben sie doch einen Begriff für die Grössenordnung, von welcher diese Herdtiefen sind. Eine Herdtiefe von 120 km kann nicht mehr überraschen, wenn man sich des Zusammenhangs solch tiefer Erdbeben mit weit entfernten vulkanischen Ausbrüchen bewusst ist, wie ihn z. B. Alexander v. Humboldt in seinen „Ansichten der Natur" für die Erdbeben nachweist, welche in den Jahren 1811—1813 die Antillen, die Ebenen des Ohio und Mississippi und die Küste von Venezuela heimsuchten.

X. Gibt es eine Doppelbrechung der Erdbebenwellen?

Von den merkwürdigen Begleiterscheinungen des Charlestoner Erdbebens möchte ich hier eine erwähnen, welche mit den Gesetzen der Wellenbewegung in besonderem Zusammenhang zu stehen scheint. „Die Erschütterung der Stadt Charleston begann als leises Zittern, beständig zunehmend während 10—15 Sekunden; dann plötzlich oder in rascher Vermehrung schwoll sie an zur vollen Stärke des ersten Maximums, alsdann sank sie herab auf ein Minimum und schwoll plötzlich wieder an zu einem zweiten Maximum, worauf sie zuletzt allmählich erstarb. Die Zeit vom ersten zum zweiten Maximum wird auf 35—55 Sekunden geschätzt." „Beim ersten Maximum kamen die Schwingungen von N. 30° W., beim zweiten war die Schwingungsrichtung ungefähr rechtwinkelig zur vorhergehenden, ungefähr N. 60° O." Eine ganz ähnliche Erscheinung wurde bei dem Erdbeben beobachtet, welches im Jahre 1812 die Stadt Caracas in Trümmer legte. Schwingungen des Bodens von Nord nach Süd wurden abgelöst von solchen, welche von Ost nach West gerichtet waren und zuletzt noch von solchen, die von oben nach unten erfolgten. Schon oben haben wir bei Besprechung der Schwingungsrichtung des schweizerischen Erdbebens eine Notwendigkeit der Übereinstimmung dieser Richtung mit der Richtung der Fortpflanzung geleugnet. Ist dieser Schritt aber einmal gethan, so treibt die Theorie unaufhaltsam weiter. Wenn unsere Erdrinde transver-

©Biodiversity Heritage Library, www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

saler Schwingungen fähig ist, so müssen Fälle von Doppelbrechung besonders im geschichteten Teile der Erdkruste häufig, es müssen sogar Fälle von Tripelbrechung (sit venia verbo) möglich sein. Wenn die Molasse und die Kreide unterhalb Charleston einer Pressung unterliegen sollten, etwa infolge Einzwängung in eine in der Faltung begriffene Unterlage, einer Pressung, die senkrecht zur Richtung der Faltung grösser wäre als parallel der Faltung, so müssten alle von unten her in diese Molasseschichten eintretenden Transversalschwingungen der Doppelbrechung verfallen, den Schwingungen in der Richtung des grösseren Drucks würde die grössere Fortpflanzungsgeschwindigkeit zukommen, und auf einem Wege von 2—3 km wäre eine Verspätung des einen Wellenzugs gegen den andern um 40″ nicht undenkbar. Unter ähnlichen Bedingungen, wie wir sie für die Charlestoner Molasse für möglich halten müssen, mögen sich die glazialen Ablagerungen in den Thälern der nördlichen Schweiz befinden. Zwischen den Thalwänden eingepresst erleiden sie in der Richtung senkrecht zur Thalachse einen grösseren Druck, als entlang der Thalachse. Die rascher aus der Tiefe heraufkommenden Wellen mit Schwingungen senkrecht zur Thalachse werden rasch gedämpft, weil in der Richtung der Schwingungen der Druck die Elastizitätsgrenze des lockeren Gesteins erreicht hat, sie werden nur als Geräusche vernommen, welche dem langsamer fortgepflanzten Beben vorauseilen. Gerade das hebt Hess als charakteristische Eigentümlichkeit der Beben auf quartärem Grunde hervor, dass das Geräusch vorausging und die nachfolgende Erschütterung die Richtung des Thales zeigte, während das Beben auf der Molasse im allgemeinen in einer zur Faltung der Alpen senkrechten Richtung erfolgte. Aber auch auf das Beben in der Molasse selbst fällt nun ein neues Licht. In einer in Falten gelegten Gesteinsschicht nehmen die Falten wie die Strebebogen eines Gewölbes den Druck in der Weise auf, dass derselbe in der Richtung senkrecht zur Faltung klein ist, in dieser Richtung ist eine Verbiegung gestattet, dagegen wird dieser Druck gross in der Richtung der Faltung. Eine in solchem Gestein entstehende oder darin sich fortpflanzende Erschütterung wird daher zwei Wellensysteme erzeugen, das eine von grosser Geschwindigkeit der Fortpflanzung mit Schwingungen in der Richtung der Falten, das andere mit kleiner Fortpflanzungsgeschwindigkeit und mit einer zur vorigen senkrechten Schwingungsrichtung. Das letztere System wird wegen seiner langsameren Fortpflanzung mehr lokale Energie äussern, als das erstere, ähnlich wie das Wasser eines Kanals um

©Biodiversity Heritage Library, www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

so tiefer ist, je langsamer es fliesst. Das erstere System dagegen konnte in den lockeren Molasseschichten eine vielleicht vollständige Dämpfung erfahren. Das Erdbeben von Niederglatt entstand in seinem Herde vielleicht etwa um 11^h 51′ 30″, es entsandte in die Molasse zwei Wellensysteme, von denen das eine im Gebiete der Gebirgsfaltung einen Vorsprung von $1\frac{1}{2}$ bis 2 Minuten vor dem andern gewann, den es ausserhalb dieses Gebietes nicht mehr vergrösserte. Die erste Welle wurde in Zug und Zürich und wahrscheinlich auch von einem Beobachter in Berg ziemlich zu gleicher Zeit (11^h 53′) verspürt, zur Zeit als die spätere Welle erst in Niederuzwyl angelangt war. Die erste Welle löste das Waldshuter Erdbeben aus, welches 11^h 53′ 48″ in Zürich beobachtet wurde und erst 11^h 55′ kam die zweite Welle von Niederglatt nach Zürich. Airolo stimmt jetzt wohl besser zur ersten Welle und in Stuttgart bekommen alle Beobachter Recht, nur kommt der Beobachter von 12^h 3′ 30″ in den Verdacht, sich vielleicht um 20 bis 30 Sekunden gestossen zu haben, um so viel ist die Verspätung der zweiten Welle zu klein. In der That brauchte der Schall von der Stiftskirche bis zum Naturalienkabinet einige Sekunden, und bei der Uhrkontrolle nach dem Zwölfuhrschlag kann der Fehler sogar bedeutend werden, wenn man sich nicht an die ersten Schläge hält. Bringen wir demgemäss eine kleine Verbesserung am Hodographen an, so werden die Zeiten von Wolfegg und Warthausen auf wenige Sekunden genau. Auch Friedrichshafen mit 12^h wird jetzt gut, obgleich die dortige Beobachtung nicht genau zu sein schien.

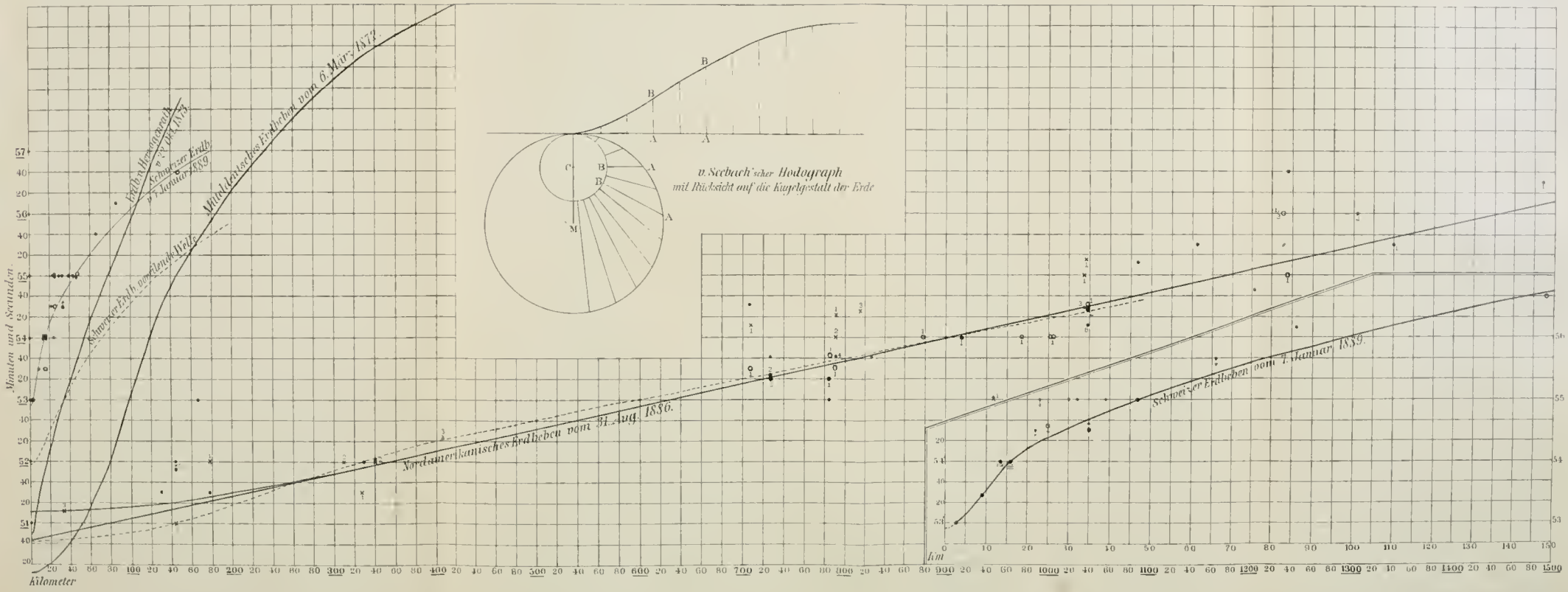
In der Hauptzeichnung ist ein ungefähres Bild des Hodographen dieser voreilenden Welle punktiert eingetragen, sie beginnt in Niederglatt 11^h 52′, muss (trotz gleicher Herdtiefe) einen etwas entfernteren Wendepunkt aufweisen, weil die Geschwindigkeit auch in gleicher Tiefe nicht konstant ist, sondern mit der Entfernung vom Faltungsgebiet abnimmt, für die nachfolgende Welle nimmt diese Geschwindigkeit umgekehrt zu, und deshalb wird diese auf eine kleinere, jene auf eine grössere Wendepunktsentfernung und folglich auch die zweite Welle auf eine zu kleine, die erste Welle auf zu grosse Herdtiefe weisen. Die aufgestellte obere Grenze von 6 km Herdtiefe für die langsame Welle dürfte als untere Grenze für die rasche Welle brauchbar sein, so dass eine Herdtiefe von ungefähr 6 km das Richtige treffen dürfte. Damit verlegen wir den Herd wohl ziemlich unter die Molasse in härteres Gestein. Warum auch nicht? Die Schichtenfaltung wird sich wohl noch tiefer erstrecken.

©Biodiversity Heritage Library, www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Zuletzt soll noch hervorgehoben werden, dass nach Mr. Hayden das Charlestoner Erdbeben mit einer Hochflut zusammenfiel, der Mond war nahe dem Perigäum und drei Tage zuvor hatte eine Sonnenfinsternis stattgefunden, und dass nach Dr. Hess für Anfang Januar 1889 von Falb der 1. und 12. als kritische Tage bezeichnet waren, während das Erdbeben am 7., also gerade in der Mitte zwischen beiden Terminen erfolgte, auch habe nach Palmieri der Vesuv am 7. keine Änderung seiner Thätigkeit erkennen lassen. „Vom 1. Januar an zeigte sich der Krater des Vesuvs lebhafter. Aus dem Innern hörte man ein Geräusch, ein starkes und heftiges Gebrüll. Auch der Seismograph zeigte sich lebhafter. Am 6. kam neue Lava, das Auswerfen glühender Projektile durch den Krater und das Getöse im Innern waren im Zunehmen begriffen. Am 7. hielt die Thätigkeit des Kraters in gesteigertem Grade an; in der Nacht erfolgte ein vertikaler Stoss und die Lava begann wieder zu fliessen. An den folgenden Tagen war die Aktivität eine verminderte.“ Demnach ist das amerikanische Beben der Perrey-Falb'schen Theorie günstig, das schweizerische nicht.

Stuttgart, im März 1890.

©Biodiversity Heritage Library, www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at



ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Jahreshefte des Vereins für vaterländische Naturkunde in Württemberg

Jahr/Year: 1890

Band/Volume: 46

Autor(en)/Author(s): Schmidt Axel (=A.)

Artikel/Article: Untersuchungen über zwei neuere Erdbeben, das schweizerische vom 7. Januar 1889 und das nordamerikanische vom 31. August 1886. 200-232