

Separatabdruck aus den Annalen der Schweizerischen Meteorologischen Zentralanstalt. (Jahrgang 1912).

Die Erdbeben der Schweiz im Jahre 1912.

Nach den von der schweizerischen Erdbebenkommission gesammelten Berichten bearbeitet und ergänzt,
nebst einem Anhang:

**Die im Jahre 1912 auf der Erdbebenwarte bei Zürich registrierten Nahebeben
und
Ueber Herdtiefenbestimmungen aus herdnahen Stationen und die dabei
erforderliche und erreichbare Zeitgenauigkeit.**

Von P. D. Dr. **A. de Quervain** in Zürich.

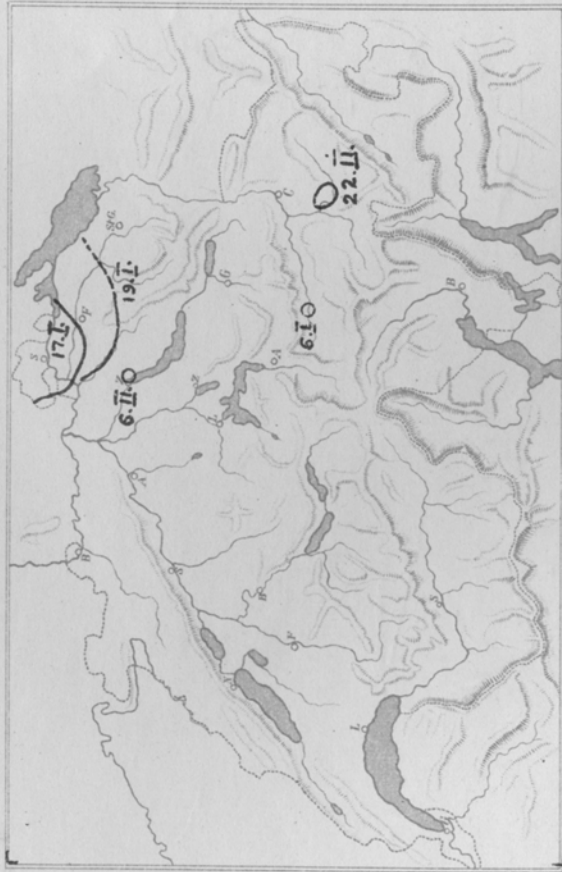
(Mit einer Tafel.)



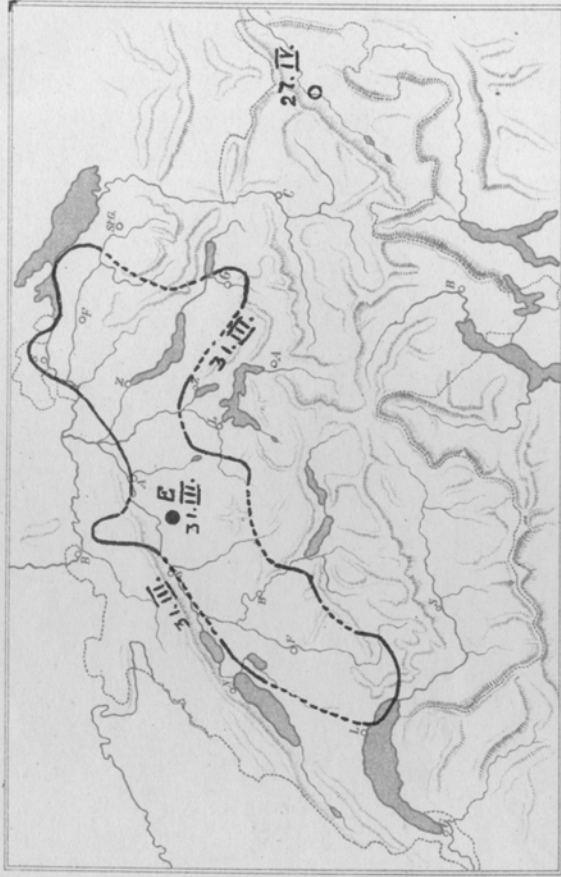
ZÜRICH
Druck von Zürcher & Furrer
1913.

Erdbeben der Schweiz im Jahre 1912.

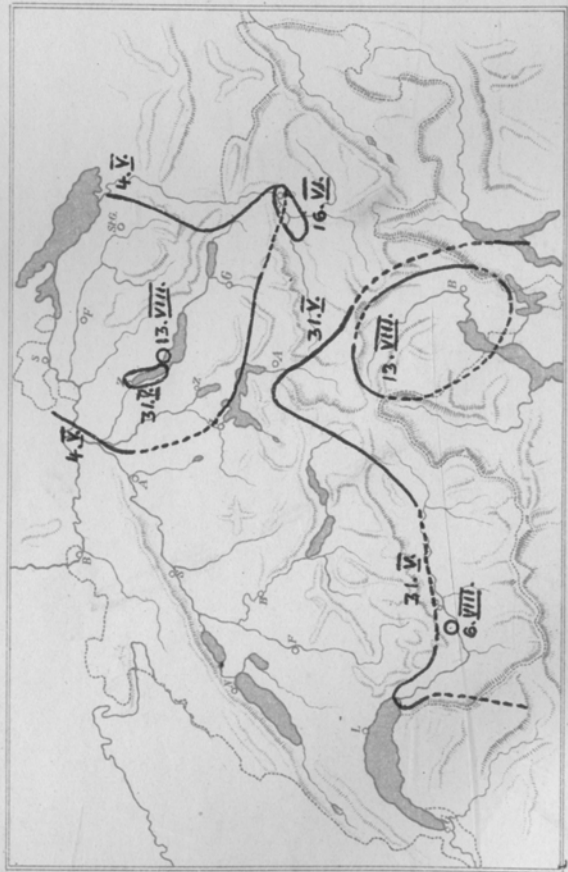
Januar - Februar.



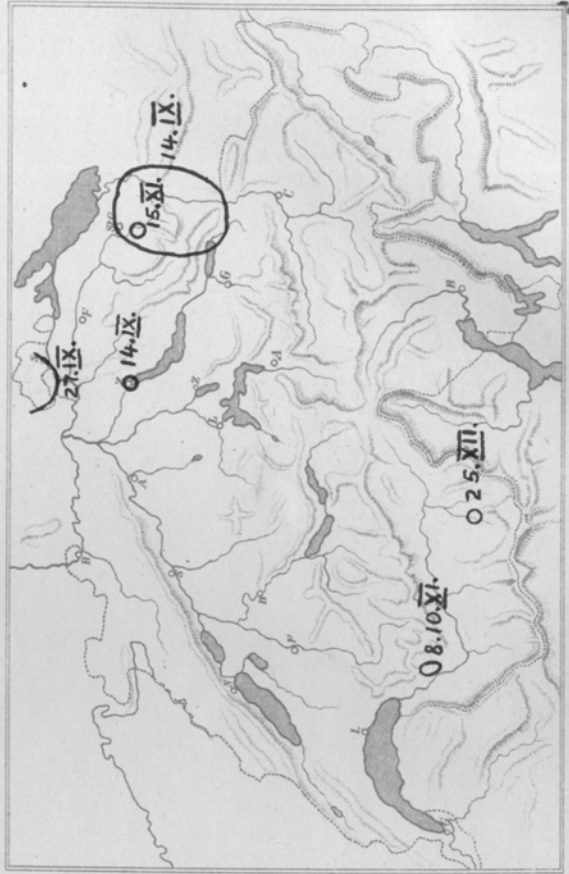
März - April.



Mai - Oktober.



September - Dezember.



Die Erdbeben der Schweiz im Jahre 1912.

Nach den von der schweizerischen Erdbebenkommission gesammelten Berichten bearbeitet und ergänzt,
nebst einem Anhang:

Die im Jahre 1912 auf der Erdbebenwarte bei Zürich registrierten Nahebeben und Ueber Herdtiefenbestimmungen aus herdnahen Stationen und die dabei erforderliche und erreichbare Zeitgenauigkeit.

Von P. D. Dr. A. de Quervain in Zürich.

(Mit einer Tafel.)

Mitglieder der schweiz. Erdbebenkommission pro 1912.

(1-4 zugleich Ortsausschuss.)

- | | |
|--|---|
| 1. Hr. Prof. Dr. J. Früh in Zürich, Präsident. | 8. Hr. Prof. Dr. A. Riggenbach in Basel. |
| 2. » Prof. Dr. A. Heim in Zürich, Vizepräsident. | 9. » Apotheker C. Bühler in Clarens. |
| 3. » Dr. J. Maurer, Direktor der meteorol. Zentralanstalt in Zürich. | 10. » Prof. Dr. H. Schardt in Neuchâtel. |
| 4. » Privatdoz. Dr. A. de Quervain in Zürich, Schriftführer. | 11. » Prof. Dr. Ch. Tarnuzzer in Chur. |
| 5. » Prof. Dr. A. Forster in Bern. | 12. » Prof. Dr. Ch. Sarasin in Genf. |
| 6. » Forstinspektor Ad. de Werra in Siders. | 13. » Prof. Dr. F. A. Forel in Morges († Aug. 12.). |
| 7. » Prof. Dr. Cl. Hess in Frauenfeld. | 14. » Prof. J. Meister in Schaffhausen. |
| | 15. » Prof. Dr. Raym. de Girard in Freiburg. |

Vorbemerkung. Zur Ergänzung des oben genannten Materials wurde benützt: 1. Die Erdbebenbeobachtungen der schweiz. meteorologischen Stationen, exzerpiert aus den Tabellen durch die Herren Mettler und Weber. 2. Der mikroseismische Erdbebenbericht der Hauptstation für Erdbebenforschung zu Strassburg (der makroseismische nicht vorliegend); ferner Berichte und direkte Mitteilungen der Erdbebenwarten Neuchâtel, Hohenheim (b. Stuttgart), München und Moncalieri (b. Turin). 3. Auskünfte des Herrn Prof. J. Schorn in Innsbruck, ebenso die Erdbebenangaben des italien. meteorolog. Bulletins. 4. Eine Anzahl nachträglich durch den Berichterstatter bei den Beobachtern eingezogener Auskünfte. 5. Einige im Text genannte Publikationen.

Die Zeitangaben beziehen sich überall auf mitteleuropäische Zeit.

Intensitätsskala. Für die Beurteilung der Stärke der Erdstösse wurde wie früher die Rossi-Forel'sche oder italienisch-schweizerische Intensitätsskala zu Grunde gelegt. Sie lautet:

- Nr. 1. Mikroseismische Bewegung, notiert von einem Seismographen oder von mehreren Instrumenten derselben Art, aber nicht imstande, Seismographen verschiedener Konstruktion in Funktion zu versetzen. Konstatiert von einem geübten Beobachter.
- » 2. Stoss, registriert von Seismographen verschiedenen Systems, konstatiert von einer kleinen Anzahl im Zustande der Ruhe befindlicher Beobachter.
- » 3. Erschütterung, beobachtet von mehreren Personen in der Ruhe; stark genug, dass Dauer oder Richtung geschätzt werden können.
- » 4. Erschütterung, beobachtet von Personen in Tätigkeit; Erschütterung beweglicher Objekte, der Fenster, Türen; Krachen der Dielen.
- » 5. Erschütterung allgemein von der ganzen Bevölkerung bemerkt; Erschütterung grösserer Gegenstände, der Möbel, Betten; Anschläge einzelner Hausglocken.
- » 6. Allgemeines Erwachen der Schlafenden; allgemeines Anschläge der Hausglocken, Schwanken der Kronleuchter, Stillstehen von Uhren, sichtbares Schwanken der Bäume und Gesträucher. Einzelne Personen verlassen erschreckt die Häuser.
- » 7. Umstürzen von beweglichen Gegenständen, Ablösen von Gipsstücken aus der Decke und von den Wänden, Anschläge von Kirchenglocken, allgemeiner Schrecken, noch keine Beschädigung der Bauwerke.
- » 8. Herabstürzen von Kaminen, Risse in den Mauern von Gebäuden.
- » 9. Teilweise oder gänzliche Zerstörung einzelner Gebäude.
- » 10. Grosses Unglück. Ruinen, Umsturz von Erdschichten, Entstehen von Spalten in der Erdrinde, Bergstürze.

NB. Die neuerdings auch verwendete zwölfstufige Skala von Mercalli-Cancani unterscheidet sich in den vier ersten Stufen nicht wesentlich von der obigen; die über V hinausgehenden Grade stimmen nicht mehr überein. V bei Mercalli-Cancani ist bei Forel-Rossi schon nahezu VI. Die gleiche Differenz bleibt bis Forel IX. Forel X ist gleich IX bis XII Mercalli.

Allgemeines.

Der Erdbebenbericht des Jahres 1912 erfährt eine *Erweiterung*, insofern er zum erstenmal die *Zusammenstellung der an der Erdbebenwarte bei Zürich registrierten Nahebeben* und ferner, in Anknüpfung an einige schon im Bericht von 1911 eingeflochtene Ueberlegungen, eine kleine, durch die Bearbeitung dieser Aufzeichnungen angeregte Untersuchung über einige Punkte, welche die makroseismische und mikroseismische Beobachtung der Nahebeben angehen, bringt.

Ein näheres Eingehen auf die Einrichtung der Erdbebenwarte dagegen muss auch in diesem Bericht noch unterbleiben, da der Uebergangszustand immer noch andauert, wonach die Verarbeitung des makroseismischen Materials wie die Ueberwachung und Verwertung der Apparataufzeichnungen der freiwilligen Tätigkeit zweier Beamter der Zentralanstalt anheim gestellt bleibt. In dieser Hinsicht habe ich zu bemerken, dass mein Kollege Dr. Billwiller mich in dankenswerter Weise während meiner Abwesenheit als Leiter der schweizerischen Grönlandexpedition 1912 auch im Erdbebedienst vertrat und mich auch seither darin unterstützt.

a) In der Schweiz gefühlte Erdbeben im Jahre 1912.

Im Jahre 1912 wurden im Gebiet der Schweiz 21 Erdstösse gespürt. Dieselben verteilen sich folgendermassen auf die Monate:

Jan.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	August	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.
4	1	2	1	2	1	—	3	3	—	3	1

Davon fielen 12 in die Zeit der Ruhe (8 p bis 8 a) und 9 in die Zeit der Tätigkeit. Sechs von diesen Beben hatten ihren Herd ausserhalb der Schweiz; fünf unter ihnen waren Nahbeben der schwäbischen Alb, eins hatte seinen Sitz am Südfuss der Alpen, im Piemont. Am bemerkenswertesten war wohl das Beben vom 31. März im schweizer. Mittelland.

1. Am 6. Januar 2^h 29^m früh wurde in Disentis (Graubünden) ein „starker“ (Zeitungsmeldung!) Erdstoss gespürt. Die Bewegung der Gebäude und Gegenstände dauerte nicht lange, aber das dabei entstandene Geräusch sei stärker gewesen als das vom November letzten Jahres. Grad 4?

2. u. 3. Am 17. Januar wurden morgens 5^h 40^m und 6^h 13^m in Unterhallau und in Andelfingen (Schaffhausen) leichtere Erdstösse von verschiedenen Personen verspürt. Nach der Angabe der Hohenheimer Erdbebenwarte handelte es sich um ein Nachbeben des Herdes vom 16. November 1911 in der schwäbischen Alb. Die beiden Erschütterungen wurden auch von unserer Erdbebenwarte in Zürich aufgezeichnet. Grad 2.

4. Am 19. Januar wurden um 6^h 48^{1/2}^m früh an verschiedenen vereinzelt Orten der Nordostschweiz wiederum die Ausläufer eines württembergischen Bebens gespürt. Ausdrückliche Bestätigungen liegen vor aus Müllheim, Frauenfeld (wo einzelne Personen aus dem Schlaf geweckt wurden und Schwankungen in W-E-Richtung empfanden) und dem benachbarten Langdorf; ferner aus Winterthur, wo Dr. E. Hess den Zeitpunkt zu 6^h 48^m 31–37^s kontrollierte. Angeblich soll die Erschütterung auch „am Zürichsee“ gespürt worden sein; sichere Angaben fehlen. Dagegen wurde der Stoss auf der Erdbebenwarte bei Zürich registriert. Grad 2.

5. Am 6. Februar um 6^h 28^m abends wurde in der Stadt Zürich an der Bahnhofstrasse von zwei Personen (im 4. Stock) eine erdbebenähnliche Erschütterung verspürt, die Gläser zum Erklirren brachte. Grad 2.

6. Am 22. März um 4^h 52^m früh wurde in Alvaschein und Scharans (Graubünden; untere Albula) ein „wellenartiges“ Erdbeben gespürt, von unterirdischem Geräusch begleitet; am ersten Ort mit der Richtung N-S, am zweiten mit SE-NW. Grad 3.

7. Am 31. März um 4^h 52^{1/2}^m früh (Zeit reduziert nach Erdbebenwarte Zürich) wurde im ganzen nördlichen Alpenvorland zwischen Genfersee, Jura, Rhein und Bodensee ein Erdbeben verspürt, dessen Ausgangspunkt in der Gegend zwischen Herzogenbuchsee und Zofingen (Aargau) zu suchen ist; auf dieses Epizentrum weisen sowohl die Verteilung der makroseismischen Angaben wie die Registrierung der Erdbebenwarte bei Zürich.

Die Ausdehnung des fühlbar erschütterten Gebiets ist ganz merkwürdig gross im Verhältnis zu der geringen Intensität im vermutlichen Epizentrum. Aus der Gegend von Zofingen wird gemeldet, dass Zuglampen klirrten und Möbelstücke sich bewegten. Eine Zeitungs(!)-Meldung aus Herzogenbuchsee spricht sogar davon, dass sich in einigen Häusern Mauerrisse zeigten; diese Angabe ist aber wohl mit der gleichen Kritik entgegenzunehmen wie die begleitende, die Erschütterung habe zwei Minuten gedauert. — Im Epizentrum Grad 5?

Folgendes sind die Orte, im Südwesten beginnend, von denen irgendwelche ausdrücklichen Nachrichten vorliegen: Vom nordöstlichen Genferseeufer aus Vevey, Montreux und Veytaux. Ein kleiner Gegenstand wurde verschoben; ein Geräusch soll die Erschütterung begleitet haben; eine vermutliche N-S-Richtung wird angegeben. Auch Château-d'Oex meldet Erdbeben 4^h 45 a. Weiter liegen Angaben erst wieder vor aus Montet bei Cudrefin (zwischen Neuenburger- und Murtensee) und Schmittlen (zwischen Freiburg und Bern), beide die Bewegung als schwach und kurz bezeichnend, am erstern Ort N-S, am zweiten von unten. Es folgen nun von NW nach SE dem Aarelauf: Aarberg (aus WSW; das ganze Haus zitterte, Gebälk ächzte; derber Stoss, Bettstelle merklich gehoben); Bern (nur eine Zeitungsnotiz ohne Angaben); Worb (NW-SE ein Stoss mit nachfolgenden Wellen); Kirchdorf (nur in obern Stockwerken gespürt; E-W?).

Weiterhin fehlen ausdrückliche Angaben bis Solothurn, Herzogenbuchsee, Langenthal. Murgenthal („leichteres“ Erdbeben; wie Windstoss oder Rollen in der Decke; einige Minuten früher schon ein Stoss?). Aarburg, Zofingen (Stoss scheinbar vertikal!, weckte viele Leute) mit den benachbarten Ortschaften: Oftringen, Strengelbach, Vordemwald, Brittnau, Mühlethal.

Nördlich im Jura ist die Bewegung gespürt worden in Herbetswil (b. Balsthal), Langenbruck, Waldenburg, Laufen (b. Liestal) und Pratteln. Basel selbst wurde nicht erreicht; auch das Seismoskop blieb ruhig.

Weiter nach E und NE liegen Meldungen vor aus: Aarau, Gränichen (NW-SE), Windisch, Unterkulm, Triengen, Sursee (drei Stösse aufeinanderfolgend, Dauer ca. 6 Sekunden, Geräusch wie starke Detonation), Beinwil. Weiter nach Luzern zu fehlen merkwürdigerweise die Angaben. Doch liegt eine Meldung von Entlebuch vor.

Noch weiter nach E sind Beobachtungen von der Zürichseelinie vorhanden, und zwar von einer ganzen Anzahl Personen aus Kilchberg (b. Zürich), ausserdem aber nur noch von Lachen und merkwürdigerweise selbst noch von Glarus („schwach“). Ebenso merkwürdig sind die positiven Meldungen des Kantons Schaffhausen, von Schleithelm, Hallau (die letzte Meldung des seither verstorbenen, sehr zuverlässigen Beobachters J. Gasser) und Schaffhausen selbst; ebenso aus Oftershausen (bei Konstanz).

Die Zahl der Meldungen ist gerade genügend, um zu zeigen, wie interessant das Resultat der Untersuchung hätte werden können, wenn das Zehn- oder Fünfzigfache an Nachrichten eingegangen oder systematisch gesammelt worden wäre.

Das Erdbeben wurde aufgezeichnet von dem Horizontalapparat Mainka-Bosch unserer Erdbebenwarte bei Zürich, und zwar von beiden Komponenten. Eintritt des ersten Vorläufers um 4^h 53^m 33^s, Dauer ca. 7.0 Sekunden. Hieraus berechnet sich eine Epizentralentfernung von 62 km und, da der Vorläufer auf der W-Ekomponente viel deutlicher ist, die Lage vorwiegend in W-Erichtung, was beides gut zu dem angenommenen Epizentrum Zofingen stimmt. Der Einsatz der zweiten Phase ist sehr scharf. Die maximale Bodenbewegung beträgt (von der Nullage gerechnet) 0,002 $\frac{m}{m}$ die Periode der Wellen 0,5 Sekunden, die gesamte Dauer der registrierten Erschütterung 70 Sekunden (siehe unten).

8. Am 27. April um 4^h 45^{1/2}^m abends wurde in Süs (Unter-Engadin) ein kurzer, starker Erdbebenstoss in der Richtung W-E gespürt. Aufgehängte Gegenstände gerieten in Bewegung. Die Leute liefen ins Freie; der Stoss wurde auch im Freien verspürt. Grad 4-5?

9. Am 4. Mai 5^h 49^m abends wurde in der Nordostschweiz ein ziemlich starkes Erdbeben gespürt, das seinen Herd in der schwäbischen Alp hatte, und als eines der Nachbeben (das stärkste bis dorthin) desjenigen vom 16. November 1911 aufzufassen ist. Wo die Beobachter einen Vergleich mit letzterm ziehen, nennen sie es entschieden schwächer und vergleichen z. B. das Maximum der Bewegung mit dem Anfang des Novemberbebens (nach den Aufzeichnungen des Seismographen in Zürich war selbst die erste Phase des Novemberbebens wesentlich heftiger als das Maximum des Bebens vom 4. Mai 1912). — In der Schweiz im Maximum Grad 5.

Die äussersten Grenzen der Wahrnehmung, von W über S nach E, sind nach den vorhandenen Meldungen gegeben durch die Orte Brugg, Weggis (Luzern), Schwyz, Rickenbach (b. Schwyz), Hätzingen (Glarus), Chur. Sonst fehlen Nachrichten aus dem Rheintal. Die Erschütterung scheint sich im Zug des Alpsteingebirgs verloren zu haben; die Grenze der Angaben bilden dort die Orte Alt St. Johann (Toggenburg), Urnäsch, Teufen, Trogen, St. Gallen, Arbon (wo, wie an den vorhergenannten Orten, die Erschütterung offenbar gar nicht allgemein bemerkt wurde).

Innerhalb des so umgrenzten Gebietes sind ausdrückliche Meldungen bekannt aus Aegeri, dann vom Zürichsee, und zwar eine Anzahl aus Zürich selbst, ferner von Zollikon, Herrliberg, Meilen, Wädenswil, Lachen, Oberkirch b. Uznach. Ferner von Uster und Greifensee, und aus den Orten des Zürcher Oberlandes: Hittnau, Hinwil, Rüti, Wald, Gibswil, Steg; dann, nach einer gewissen Lücke, wiederum von Winterthur, Oberwinterthur; ferner aus der Thurgegend von: Ober-Neunforn, Frauenfeld (eine Anzahl genauerer Angaben durch Prof. Hess), Matzingen, Münchwilen, Sirnach, Braunau, Bischofszell, Weinfelden, Märstetten, Amlikon, Hüttlingen. Schliesslich längs der Bodensee-Rheinlinie in Amriswil, Kreuzlingen, Arenaberg, Berlingen, Stein, Schaffhausen, Unter-Hallau.

Die Grenzen der Erschütterung über die Schweiz hinaus zu verfolgen, ist mangels ausländischer, diesem Bericht entsprechender genauer Zusammenstellungen nicht möglich. Der Bericht von Hohenheim (1911) gibt an: „Gefühlt im grössern Teil von Württemberg, sowie an einzelnen Orten in Baden (Heidelberg, Freiburg, Konstanz). Epizentrum zwischen Ebingen, Reutlingen und Rottenburg. Zwei Hauptstösse an vielen Orten unterschieden (in Hohenheim 16^h 48^m 36^s und 40^s Gr.-Z.). In Reutlingen flog ein Gummiball mehrere Zentimeter in die Höhe.“

10. Am 31. Mai wurde um 9^h 38^m abends in einem grossen Teil des schweizerischen Alpengebiets, hauptsächlich im Süden und Westen ein Erdbeben gespürt, welches durch die grosse Ausdehnung des Gebiets im Verhältnis zu der geringen Intensität und den entsprechend spärlichen Nachrichten bemerkenswert ist. Grad bis 5.

Nachrichten liegen vor aus der Südschweiz von Brissago (légère secousse), Lugano (leicht, wellenförmig), Bellinzona („es hat mich ganz gehörig auf dem Stuhl gerüttelt“), Stresa (ziemlich stark, so dass Wände und Balken krachten; nicht wellenförmig). Von letztem Ort wird auch gemeldet, das Beben sei in Biella (Piemont) sehr stark gewesen; dorthin weisen auch die Seismometeraufzeichnungen. Im Wallis wurde die Erschütterung gemeldet aus Reckingen (ziemlich heftig), aus Brig (vom grössern Teil der Bevölkerung gespürt, drei bis vier Sekunden dauernd; nicht deutliche Stösse, sondern „sorte de grelottement continu“); ferner aus Sidiers, Martigny, (drei Sekunden, leicht); stärker wiederum im Val d'Entremont, dann in Bex (2–3 Sekunden, schwach; doch kleinere Gegenstände bewegend), Montreux, Aigle (Dauer 4–5 Sekunden; Krachen des Gebälks).

Aus der Zentral- und Ostschweiz gingen Meldungen ein von Göschenen (unterirdisches Rollen; „ein Stoss, der mein kleines Landhaus [E. Z.] in allen Grundfesten erzittern machte“), Engelberg (2 Sek., nicht stark, aber deutlich), Wädenswil (3 schnell aufeinanderfolgende Stösse), Zürich (2–3 Sekunden dauerndes Zittern).

Das Erdbeben gelangte an allen Apparaten der Erdbebenwarte bei Zürich zur Aufzeichnung.

11. Am 16. Juni um 12^h 46^m mittags wurde im Rheintal zwischen Chur und Flims ein leichteres Erdbeben gespürt. Berichte liegen vor aus Chur (vielfach beobachtet, 2–3 Sekunden dauernd), Felsberg (4 Sek., E–W), Ems (in der Kirche beobachtet), Flims (1 Sekunde; unterirdisches Rauschen, NW–SE), Laax. Grad 3.

12. Am 6. August, abends 10^h 12^m, wurde von einem einzelnen Beobachter in Mayens de Leytron (Wallis) eine „mittelmässig starke“ Erderschütterung gespürt von ca. 3–4 Sekunden Dauer, wellenförmigem Charakter und von unterirdischem Rollen begleitet. Grad 3.

13. Am 13. August um 7^h 15^p wurde in Stäfa eine leichtere Erderschütterung beobachtet, bestehend aus zwei senkrechten Stössen. Grad 2.

14. Am 13. August um 11^h 51^m nachts wurde im Tessin ein Erdbeben verspürt, und zwar wohl ziemlich allgemein, wie aus den Umständen der allerdings spärlichen Meldungen hervorgeht. Solche liegen vor aus dem obersten Bedrettetal, am Nufenenpass, ferner aus Olivone (leichtes Schwanken), Braggio (NW–SE, 5 Sekunden); hier wurde in der gleichen Nacht (14. August) um 2^h 55 früh ein schwächerer Stoss beobachtet; Grono (ein Stoss, dann Zittern 3 Sekunden, keine weitem Wirkungen; nicht so stark wie „das letzte“ [dasjenige vom 31. Mai?]), Bellinzona (etwa 5 Sekunden lang einige heftige Stösse), Locarno (ziemlich stark, so dass man davon erwachte. „In der Nachbarschaft blieb alles ruhig, ausser Frau S., die um Hilfe schrie“. Es war diesmal ganz anders als das letztmal [31. Mai?], kein Schwanken, sondern ein Rutschen mit donnerähnlichem Rollen.). — Registriert in Zürich, doch für eine Entfernungsbestimmung zu schwach. Grad 4–5.

15. Am 14. September um 9^h 19^m vormittags wurde in Zürich im Hause Mythenquai 2 in verschiedenen Räumen ein Schwanken leicht beweglicher Gegenstände beobachtet, das wohl auf eine lokale Bodenbewegung zurückgeführt werden muss.

16. Am 14. September um 4^h 31^p wurde in Herisau, St. Gallen, Walenstadt und im Werdenberg ein ziemlich „starkes Erdbeben“ gespürt. Erst auf Grund der Registrierung der Erdbebenwarte und der daraus berechneten wahrscheinlichen Herddistanz von 78 km konnten Zeitungsangaben über die direkte Wahrnehmung nachträglich ermittelt werden. Direkte Meldungen sind merkwürdigerweise nicht eingelaufen. Grad 4?

17. Am 27. September wurde um 7^h 08^m abends in Unterhallau ein schwaches Erdbeben beobachtet (Herd in der schwäbischen Alb). Grad 2.

18. Am 8. November um 8^h 39^m morgens wurde in Bex und in Villy (b. Ollon) ein ziemlich starker anscheinend vertikaler Erdstoss gespürt, der zunächst als Explosion, als Zerspringen eines Fasses im Keller usw. gedeutet wurde. Auch im Freien wurde er wahrgenommen; man hörte die Scheiben der Häuser klirren. Grad 3–4.

19. Am 10. November um 3^h morgens wurde in Ollon und Villy wiederum ein Erdstoss von gleicher Stärke und gleichem Charakter gespürt. Grad 3–4.

20. Am 15. November um 11^h nachts wurde in Herisau ein „ziemlich starker Erdstoss“ verspürt. Es liegt nur eine Zeitungsmeldung vor. Dagegen ging von einem zuverlässigen Beobachter aus Cham die Mitteilung ein, dass er gleichen Abends um 10^h 09^m dort zwei schwache Stösse mit scheinbarer Ost–Westrichtung beobachtet habe; andere Beobachter in Cham konnte er nicht ausfindig machen. Grad 2–3.

21. Am 25. Dezember um 3 Uhr und 6¹/₂ Uhr früh sind in Zermatt leichte Erdbebenstösse gespürt worden.

b) Die auf der Erdbebenwarte bei Zürich 1912 registrierten Nahebeben.

Obschon eine Verarbeitung dieser Aufzeichnungen zur Drucklegung bisher keine uns zufallende Aufgabe, sondern lediglich eine Vermehrung der in Ermangelung anderer Bereitwilliger von uns wiederum übernommenen Arbeit darstellt, konnten wir es nicht verantworten, diese Registrierungen sich unveröffentlicht aufhäufen zu lassen.

Entsprechend der von jeher vorwaltenden Absicht, die Erdbebenwarte speziell der Erforschung der alpinen Nahebeben dienen zu lassen, sollen auch nur die Nahebeben veröffentlicht werden, für deren Aufzeichnung ja auch die Apparate durch die Wahl einer kurzen Eigenperiode besonders eingestellt sind.

Es sei hier hervorgehoben, dass diese Apparate, namentlich das Horizontalpendel Bosch-Mainka sich durchaus bewährt und meine zunächst mit Grund etwas skeptischen Erwartungen betreffend die Aufzeichnung kleinerer Erdbeben übertroffen haben.

Doch zeigt sich, dass diese Aufzeichnungen infolge ihrer verschwindenden Kleinheit auch bei der sorgfältigsten Ausmessung oft an der Grenze des Verwendbaren blieben; namentlich betrifft dies die Feststellung des besonders wichtigen ersten Einsatzes.

Es erweist sich schon jetzt als nötig und ist bestimmt ins Auge zu fassen die Aufstellung eines Apparates, dessen Vergrößerung mindestens das Dreifache der jetzigen, also 500–600, betragen müsste. Für die Herstellung eines solchen Apparates, dessen Kosten nicht übermässig gross wären, hat die Hauptstation für Erdbebenforschung uns vorläufig schon ihre wertvolle Hilfe zugesichert.

Die Apparatkonstanten für 1912 waren folgende (Mittel verschiedener im Lauf des Jahres angestellter Bestimmungen):

	Bosch-Mainka 450 kg-Pendel		Wiechert-Spindler-Hoyerscher
	Nord-Süd-Komp.	West-Ost-Komp.	Vertikalapparat 80 kg Vertikal-Komponente
Vergrößerung	183	208	50
Eigenperiode	4.9	5.3	5.1
Dämpfung	5.5	1.8	3.0
Reibung	0.04	0.08	0.01
Registriereschwindigkeit pro Minute	30 $\frac{m}{m}$	30 $\frac{m}{m}$	30 $\frac{m}{m}$

Ganz ohne Störung konnten die Apparate nicht im Gang erhalten werden. Sehr viel Mühe machte das häufige Aussetzen des Zeitkontaktes; schuld daran war wohl z. T. die sehr hohe Feuchtigkeit, die schwer zu bekämpfen war. Im August war die Kontaktuhr eine Zeitlang fort zur Reparatur und wurde dann in den Apparatenraum versetzt; der Aufhängungsort konnte nicht durch uns bestimmt werden. Während längerer Zeit war das Vertikalpendel in seiner Funktion gestört, ohne dass nachträglich der tatsächliche Grund zu ermitteln war. Am Ende des Jahres wurde versucht, den von Anfang an bestehenden starken Unterschied in der Dämpfung und in der freien (von der Dämpfung losgekoppelten) Eigenperiode (ca. 10 Sek. und 25 Sek.!) der beiden Horizontalkomponenten auszugleichen durch Regulierung der Dämpferkasten und Abschleifen der Dämpfungslamellen. Der Erfolg war trotz aller aufgewendeten Mühe nicht befriedigend.

Die Minutenkontaktuhr, ein Präzisionspendel von Rosat (Quecksilberkompensation), mit recht regelmässigem Gang, wurde mindestens einmal wöchentlich chronographisch durch die Sternwarte kontrolliert. Die Zeitunsicherheit in den Intervallen dürfte jeweilen auf etwa $\pm 0.5^s$ ansteigen. (Bei 6tägigen Vergleichsintervallen stieg die Abweichung nach 3 Tagen nach einer Anzahl von Stichproben ¹⁾ im Mittel auf $\pm 0.20^s$, im Maximum 0.42^s .) Erst seither sind tägliche Zeitvergleiche eingeführt worden. Doch habe ich schon jetzt in den folgenden Tabellen die Zeiten mit den Bruchteilen der Sekunde angegeben, was auch dadurch gerechtfertigt ist, dass die Ablesungen auf dem Diagramm jeweilen auf $0.1 \frac{m}{m}$ geschah, wobei die Genauigkeit der Ablesung eines scharfen Einsatzes an sich $\pm 0.1^s$ betragen dürfte. Was die Ungleichmässigkeit des Triebwerks in den Minutenintervallen betrifft, haben später noch genauer anzuführende Versuche bewiesen, dass der davon herrührende Fehler für solche Uhrwerke im Mittel $\pm 0.2^s$ beträgt. Zur Beurteilung in der Uebereinstimmung von Phaseneinsätzen auf den verschiedenen Komponenten hat die Angabe der Sekundenbruchteile jedenfalls schon jetzt ihren vollen Wert, ebenso für die bei unsern Nahebeben sowieso sehr kurzen Perioden. Die Zeitangaben wurden in mitteleuropäischer Zeit gemacht, in der Tabelle mit Durchzählung von Mitternacht zu Mitternacht.

Was die in Mikron (μ = ein Tausendstel Millimeter) ausgedrückten Amplituden der Bodenbewegung betrifft (die von der Ruhelage aus gerechnet sind), konnte meist ohne weiteres die Vergrößerung für schnelle Schwingungen angewendet werden; nur in wenigen Fällen war die Periode und die Dämpfung zu berücksichtigen, wobei eine nach W. Schmidts nomographischen Diagrammen angefertigte Tafel benützt wurde. Die Beträge für μ wurden auf Zehntel angegeben, wenn auch die Ablesegenauigkeit von $\pm 0.05 \frac{m}{m}$ höchstens nur Beträge von 0.2 zu 0.2μ zu unterscheiden gestattet.

Die Entfernungen wurden nach V. Conrad auf Grund der empirischen Beziehung: $d = 8.1 (S-P) + 6$ km berechnet. ²⁾ Folgende Symbole wurden verwendet:

P = Primae (undae): Einsatz der ersten Vorläufer	}	L = Longae (undae): Einsatz der langen Wellen
S = Secundae " " " zweiten " "		F = Finis: Ende der registrierten Bewegung.
M = Maximae " " " Maximalwellen		

Ferner als Charakteristik der Art des Einsatzes:

i = impetus: scharfer Einsatz; e = emersio: wellenartiges Auftauchen.

Wo der Beginn nicht mit völliger Schärfe anzugeben oder überhaupt etwas zweifelhaft ist, wird dies, namentlich für P mit der Bemerkung „Spur“ oder einem Fragezeichen angedeutet. Alle Messungen wurden von mir mit einer starken Lupe vorgenommen, die Einsätze meistens auch von einem zweiten Beobachter (Dr. Billwiller) kontrolliert.

¹⁾ Allerdings aus jüngerer Zeit, wo der Gang regelmässiger ist als früher.

²⁾ Beiträge zur Geophysik Bd. X, Kl. Mitteilungen Seite 145. Genaue Fassung: $d = 5.8 + 8.09 t - 0.009 t^2$.

Bemerkungen zu den Registrierungen.

Unter den 14 registrierten Nahebeben befanden sich 8 Nachbeben des Herdes der schwäbischen Alb. Es war wichtig, die in Zürich gefundenen Einsatzzeiten mit den von den nächsten Erdbebenwarten Hohenheim und Strassburg angegebenen zu vergleichen.

Zunächst ist dabei festzuhalten, dass nach der Lage des Epizentrums, das sich nie wesentlich verschoben hat, und nach dem, was die Vergleichung bei den beiden stärksten Beben ergab, die ersten (und auch zweiten) Einsätze in Strassburg und Zürich bis auf eine Sekunde identisch sein sollten, während Hohenheim die ersten Wellen 8–10 Sekunden früher erhalten soll. (Bei dem genauen Betrag spielt die unter Umständen veränderte Herdtiefe eine Rolle!)

1. Beginn des ersten Erdbebens vom 17. Januar:

	Strassburg	Zürich	Hohenheim
Beginn:	iP 40 ^m 5 ^s	iP 39 ^m 41.4 ^s	eP 39 ^m 47 ^s
Gegen Zürich ungefähr:	25 Sek. zu spät	—	16 Sek. zu spät

2. Zweites Erdbeben vom 17. Januar:

	Strassburg	Zürich	Hohenheim
Beginn:	iP 12 ^m 20 ^s	iP 12 ^m 8.5 ^s	iP 12 ^m 09 ^s
Gegen Zürich ungefähr:	12 Sek. zu spät	—	10 Sek. zu spät

Ein Zeitversehen in Zürich kann nach genauer Revision weder bei der Beurteilung der Diagramme, deren Einsätze von geradezu idealer Schärfe sind, noch bei der Uhrkorrektur, deren Gang normal ist, gefunden werden. Man beachte übrigens, dass die beiden in halbstündigem Intervall aufeinanderfolgenden Erdbeben z. B. für Strassburg, das auch Pi notiert, schon ganz verschiedene Differenzen geben!

3. Für das Beben vom 19. Januar ist bei Zürich wegen fehlenden Zeitkontakts kein Vergleich möglich. Strassburg und Stuttgart würden stimmen, wenn für ersteres ein Minutenfehler angenommen wird.

4. Am 4. Mai, wo das Beben heftig war, stimmen die drei Stationen für iP überein!

Strassburg	Zürich	Hohenheim
16 ^h 48 ^m 39 ^s	48 ^m 40.3 ^s	48 ^m 31 ^s

5. Am 16. September stimmen die Angaben von Hohenheim (19^m 40^s) und Zürich (47.7^s) überein. Strassburg notiert keine Registrierung.

6. Am 27. September stimmen die Angaben aller drei Stationen überein (Strassburg hat unterdessen, seit Juni, ein 2000 kg Mainkapendel aufgestellt!).

Strassburg	Zürich	Hohenheim
18 ^h 09 ^m 30 ^s	09 ^m 30.3 ^s	09 ^m 23 ^s

Die Differenz zwischen Zürich und Hohenheim ist allerdings etwas klein.

7. Am 31. Dezember stimmen die Angaben aller drei Stationen wiederum gut überein; es ist nicht ausgeschlossen, dass Zürich wegen unsicherer Uhrkorrektur bis 1 Sekunde zu spät ist.

Strassburg	Zürich	Hohenheim
17 ^h 44 ^m 11 ^s	44 ^m 12.6 ^s	44 ^m 1 ^s

Es ergibt sich also in den meisten Fällen eine befriedigende Uebereinstimmung; in einigen scheint in Strassburg wie in Hohenheim der erste Vorläufer tatsächlich nicht mehr aufgezeichnet worden zu sein, so dass dann das als P bezeichnet worden ist, was in Wirklichkeit S oder M war. Das Uebersehen, besser gesagt das scheinbare Fehlen der P ist bei diesen leichtern Beben sehr wohl erklärlich namentlich an Stationen, die der Ortsruhe und der mikroseismischen Unruhe stärker ausgesetzt sind. Wir in Zürich sind in beiden Hinsichten in sehr begünstigter Lage, die wir hier aufs neue schätzen lernen, und haben doch oft nur mit grosser Mühe den Anfang der P feststellen oder ahnen können. Dass unsere Vermutung richtig sein dürfte, scheint sich aus den Angaben jener Stationen für einige andere von uns auch registrierte Beben zu ergeben:

a) Am 31. März notiert Hohenheim 49 Sekunden, nachdem Zürich die P des mittelschweizerischen Bebens anzeigt, ebenfalls eine Erschütterung, die dort auf eine wohl etwas unsichere Meldung nicht aus den gewöhnlich erschütterten Orten, sondern aus Wehingen bezogen wird. Nimmt man an, dass in Hohenheim die ersten Vorläufer nicht aufgezeichnet wurden, sondern erst die Hauptwellen, so stimmt die Zeit zum mittelschweizerischen Beben. Das Auftreten eines Relaisbebens im Schwäbischen ist damit ja nicht ausgeschlossen.

b) Am 10. Mai 0^h (M. E. Z.) notieren alle drei Stationen den Anfang eines Nahebebens, das vom Hohenheimer Bericht in Beziehung zu den Beben der schwäbischen Alb gesetzt wird, dessen Epizentrum aber nach Strassburg im Tirol lag; nach Mitteilung von Prof. Schorn und der Erdbebenwarte München genauer in Nordtirol im Karwendelgebirge, in der Gegend von Innsbruck (dort mit Stärke 5–6 gespürt).

Auch hier lassen sich unter dieser Voraussetzung die Anfangszeiten Zürich eP-Spur 03^m 52^s, Hohenheim iP: 04^m 16^s und Strassburg 4^m 46^s nur dann in Einklang bringen, wenn in Zürich wirklich P, in Hohenheim und Strassburg aber erst S oder M als Anfang beobachtet wurde.

c) Am 31. Mai 21^h (M. E. Z.) registrieren alle drei Stationen ein Erdbeben, dessen Herd nach Kombination von S-P für Zürich und Moncalieri b. Biella*) am Alpensüdfuss lag. Strassburg (vielleicht schon nach dem 2000 kg-Pendel?) gibt an P 37^m 51^s; Zürich: i P 38^m 28.9^s; Hohenheim, mit Betonung des unsichern Anfangs, als erstes i 39^m 20^s. Nimmt man für Strassburg wieder einen Minutenfehler an, so stimmte es mit Zürich für P sehr gut. In Hohenheim hingegen gingen etwa die ersten 25 Sekunden der Aufzeichnung, als zu schwach, der Registrierung verloren.

d) Am 14. September 16^h 31^m wurde im Säntisgebiet und Werdenberg ein Erdbeben gespürt, dessen erste Vorläufer 31^m 33.3^s in Zürich ankamen. In Strassburg ebenfalls registriert mit: P? 32^m 20^s, also 46 Sekunden später als in Zürich; dies entspricht der Ankunftszeit der S oder M in Strassburg; für die P sollte die Differenz nur ca. 20 Sek. sein. Die ganze erste Phase fehlt also auf dem Strassburger Diagramm.

Es ergibt sich aus diesen Zusammenstellungen, dass für die vollständige Aufzeichnung kleinerer alpiner Beben, im Umkreis von 200-300 km, wie es die Aufgabe unserer Station ist, die mit unsern Apparaten möglichen Vergrößerungen zwar als untere Grenze zu betrachten sind, dass aber innerhalb dieser Grenzen unsere Angaben an Zuverlässigkeit hinter den benachbarten Stationen zum mindesten nicht zurückstehen und dieselben in manchen Fällen in nützlicher Weise ergänzen.

Zürich 1912. Mitteleurop. Zeit; Mitternacht = 0^h; H = 604.2 m; Länge: 8° 34' 49.5" E; Breite: 47° 22' 7.2" N; Untergrund: Molassesandstein.

Datum	Phase	M. E. Zeit	Periode	Amplitude			Epizentral- entfernung berechnet	Bemerkungen
				N	E	V		
			s	μ	μ	μ	km	
Jan. 17.	i P N e P ? E	5 ^h 39 ^m 41.4 ^s 42.8	0.6	+ 0.9			101	Epizentrum in der schwäb. Alb; gespürt in Unterhallau und Andelfingen (Schaffh.).
	S N S E	53.1 53.3	0.4		0.2			
	M ₁ N E	54.9 54.8	0.4 0.5	1.9		0.7		
	M ₂ N E	56.9 55.4		1.9		1.9		
	M ₃ N E	58.3 57.7		2.2		2.4		
	F	41 ^m 0						
Jan. 17.	i P N E	6 ^h 12 ^m 8.5 ^s 9.0	0.5	+ 1.6			110	Epizentrum in der schwäb. Alb; gespürt in Unterhallau und Andelfingen.
	i S N E	21.5 21.9						
	M ₁ N E	22.5 22.2	0.5 0.5	4.5		1.7		
	M ₂ N E	23.7 25.3		3.8		4.5		
	M ₃ N E	27.4 27.1		3.0		2.6		
	F N E	14.5 14.0						
Jan. 19.	P N E	ca. 6 ^h 46.0 ?		+ 1.8			ca. 100	Kein Zeitkontakt. Anfangszeit wie Hohenheim angenommen; Zeitdifferenz der Phasen wegen fehlender Minutenlänge etwas ungenau. Epizentrum in der schwäb. Alb, gespürt an verschiedenen Orten der Nordostschweiz.
	S N E	12.3 10.5		1.2		0.5		
	M ₁ N E	14.2 11.9	0.4	3.7		5.2		
	M ₂ N	15.8		2.6				
	M ₃ N	17.4		2.6				
	F N E	ca. 6 ^h 47.9 47.6						

*) Mit diesem Epizentrum erscheint allerdings die Ankunftszeit der P (die sehr scharf einsetzen) im Vergleich mit Moncalieri um ca. 6^s verspätet. Vielleicht ist die Geschwindigkeit der P durch die Alpen hindurch kleiner, was als Folge der Dichtestörungen zu erklären wäre. Es würde auch die Epizentralformel im Sinn eines Wegrückens des Epizentrums beeinflussen. Diese Frage muss verfolgt werden!

Zürich 1912. Mitteleurop. Zeit; Mitternacht = 0^h; H = 604.2 m; Länge: 8° 34' 49.5" E; Breite: 47° 22' 7.2" N; Untergrund: Molassesandstein.

Datum	Phase	M. E. Zeit	Periode	Amplitude			Epizentral- entfernung berechnet	Bemerkungen
				N	E	V		
März 31.	e P ? N	4 ^h 53 ^m 34.9 ^s	s	"	"	"	62	Gespürt im ganzen nördl. Alpenvorland zwischen Genfer- und Bodensee. Epizentrum nach makroseism. Berichten zwischen Herzogenbuchsee und Zofingen; nach Entfernungen aus den Seismogrammen von Zürich und Neuchâtel (P 53 ^m 33.0 ^s , d = 68 km) zwischen Herzogenbuchsee und Langenthal.
	e P E	32.8		Spur				
	i S N	39.7		1.6				
	S E	39.8			0.7			
	M ₁ N	42.2		1.9				
	E	41.4			1.4			
	M ₂ N	—				1.4		
E	44.2							
F	54.7							
Mai 4.	e P N ₁ V	17 ^h 48 ^m 40.3 ^s		-0.9	0	+2?	111	e P würde bei kleinerer Vergrößerung oder geringerer Intensität des Bebens ohne Zweifel unbemerkt bleiben, und der Beginn auf i P gesetzt werden. Ebenso würde der erste Ausschlag im Sinn einer Stosswelle unbeachtet bleiben, und als erste Bewegung der grösste Ausschlag der Saugwelle angenommen werden. Starkes Nachbeben des Herdes in der schwäb. Alp. Epizentrum zwischen Ebingen, Reutlingen und Rottenburg (d =). Gespürt in der Nordostschweiz.
	i P N	41.0	0.4					
	E	41.0	0.4					
	V	40.8						
	i P			+2.5	+0.5	-4		
	S N	53.8	0.7					
	E	53.0						
	V	53.0						
	M ₁ N	57.2	0.6	23				
	E	55.1	0.6		39.5			
M ₂ N	0.6		20					
E	58.9			48.5	7?			
M ₃ N	49 1.6				45.5			
E								
F	51 3.0							
Mai 10.	P N	?					198	Nach Zeitungsangaben gespürt in Ulm und Augsburg. Epizentrum aber in Nordtirol, im Karwendelgebirge bei Innsbruck. Zu letzterem Ort als Epizentrum passt die Distanz aus unserer Registrierung.
	e P E	0 ^h 03 ^m 32.0 ^s			Spur?			
	e E	04 ^m 00.5						
	e N	04 ^m 11.3						
	i S N	15.7		+1.4				
	S E	15.9						
	M ₁ N	17.0	0.5	1.9				
E	16.7	0.6		1.9				
M ₂ N	—				1.7			
E	18.0							
Mai 31.	i P N	21 ^h 38 ^m 28.9 ^s	1.0	-0.9			208	Beginnt mit Saugungswelle nach ca. S 13° W. Gespürt in der Zentral- und Südschweiz. Herd ausserhalb der Schweiz, in Privatbericht wird Biella genannt; dazu stimmt genau die Distanz von 208 km aus unserer Registrierung, und 77 km nach der Registrierung von Moncalieri (Turin). Keinesfalls kann der im italien. Bulletin genannte Ort Domodossola auch nur annähernd als Epizentrum gelten.
	E	29.0			-0.2			
	V	28.6				-0.4		
	i N	32.3		2.2				
	E	32.2	0.7		0.7			
	V	31.9				2		
	S N	53.7						
	E	54.0						
	M N	56.0	0.5	17.2				
	E	55.2			13.2			
V	56.4				5			
F N	42.5							
August 5.	P ? N	11 ^h 34 ^m 11.6 ^s					ca. 310?	Herd?
	i P ? E	10.7			+0.7			
	S N	49.1	0.6	0.5				
	E	47.1	0.6		1.0			
	M N	56.7		1.6				
	E	57.5			1.9			
F	38	2.5						

Zürich 1912. Mitteleurop. Zeit; Mitternacht = 0^h; H = 604.2 m; Länge: 8° 34' 49.5" E; Breite: 47° 22' 7.2" N; Untergrund: Molassesandstein.

Datum	Phase	M. E. Zeit	Periode	Amplitude			Epizentral- entfernung berechnet	Bemerkungen
				N	E	V		
Aug. 13.	—	23 ^h 51 ^m —	s	μ	μ	μ	km	Kein Zeitkontakt (Uhr in Reparatur. Anfangszeit annähernd nach makroseismischen Angaben. Phasenzeiten auf S? bezogen. Gespürt im Tessin.
	P	fehlt						
	S? N	0.0 ^s						
	E	0.0						
	M N	4.3	0.7	0.5				
	E	3.2	0.4					
	F N	36						
	E	43						
Aug. 14.	—	ca. 18 ^h 41.4 ^m						Kein Zeitkontakt. Anfang nach Hohenheim. Phasenzeiten auf S bezogen. Gespürt in der schwäbischen Alb. (Nachbeben.)
	P	fehlt						
	S N	—						
	E	0.0						
	M N	—	0.6	0.3				
	E	1.5						
	M ₂ E	5.2						
	F	25						
Sept. 14.	P N	16 ^h 31 ^m 33.7 ^s		0.3			78	Gespürt in Herisau (Zeitungsnote, einzige Nachricht!); St. Gallen und Werdenberg. — Auch in Strassburg registriert.
	E	33.0	0.5		1.0			
	S N	42.1		4.1				
	E	42.5			5.8			
	M ₁ N	48.3		11.5				
	E	48.1			7.7			
	M ₂ E	50.3	0.5 u. 1.3		7.7			
	M ₃ E	54.2			7.0			
	L E	{ 32 05.5 } — 26 }	1.1		2.2			Die „L“ sehr regelmässig.
	F	34.5						
Sept. 16.	P N	fehlt					? mindestens 90	Gespürt in der schwäbischen Alb (Tübingen, Ebingen).
	e P? E	16 ^h 19 ^m 47.7 ^s			Spur			
	S N	57.4						
	E	57.0						
	M N	58.3	0.6	1.4		1.7		
	E							
	F	20.5						
Sept. 27.	P N	19 ^h 09 ^m 30.1 ^s		0.5?			103	Beginnt scheinbar mit Saugwelle. Epizentrum in der schwäbischen Alb. Gespürt auch in Unterhallau. S nicht ganz sicher, weil wahrscheinlich in die Minutenlücke fallend.
	i P E	30.7	0.5		+ 0.5			
	S N	41.9				1.0		
	E	43.0						
	M ₁ N	43.9		3.3		6.0		
	E	45.2						
	M ₂ N	48.1		4.4		6.5		
	E	48.3	0.6					
	M ₃ N	55.2		2.9		6.0		
	E	52.2						
	F	11.4						

Zürich 1912. Mitteleurop. Zeit; Mitternacht = 0^h; H = 604.2 m; Länge: 8° 34' 49.5" E; Breite: 47° 22' 7.2" N; Untergrund: Molassesandstein.

Datum	Phase	M. E. Zeit	Periode	Amplitude			Epizentral- entfernung berechnet	Bemerkungen
				N	E	V		
Dezbr. 31	e P N	18 ^h 44 ^m 12.6 ^s	0.6	0.8	μ	μ	110	Epizentrum in der schwäb. Alp; zweitstärkstes Nachbeben seit dem 16. November 1911.
	P ? E	13.2				Spur		
	S N	25.5						
	E	25.6						
	M N	29.0	0.6	6.3				
	E	27.1	0.6 u. 3.7			19.3		
	P N	45.9						
	S	46.4						

*) Uhrkorrektur wegen Extrapolation um ± 1 Sekunde unsicher.

e) Ueber Herdtiefenbestimmungen aus herdnahen Stationen und die dabei erforderliche und erreichbare Zeitgenauigkeit.

1. Herdtiefenbestimmung auf Grund der Zeitdifferenz S-P an einer Station.

Im Erdbebenbericht des letzten Jahres habe ich anlässlich des Thurgauer Erdbebens vom 21. September 1911 eine Beziehung abgeleitet, die gestattet, die Herdtiefe aus der Registrierung einer einzigen sehr herdnahen Station zu berechnen, und zwar aus der oft bis auf den Bruchteil der Sekunde genau dem Diagramm entnehmbaren Zeitdifferenz zwischen der ersten und zweiten Phase, falls zugleich die Epizentralentfernung durch makroseismische Beobachtung gegeben ist.

Die Formel lautete (mit einiger Aenderung der Bezeichnung)

$$\text{Herdtiefe } h = \frac{1}{2} \left[\frac{d^2}{d \frac{v_1}{v} - tv_1} - \left(d \frac{v_1}{v} - tv_1 \right) \right];$$

hierin bedeutet t die genannte Zeitdifferenz in Sekunden, d die Epizentralentfernung, v_1 die Geschwindigkeit der Longitudinalwellen (Wellen der ersten Phase), v die Geschwindigkeit der Oberflächenwellen.

Meine damals ungenügende Bekanntschaft mit der mir hier oft nicht leicht zugänglichen Literatur liess mich einige z. T. nicht haltbare Annahmen über den Wert von v und v_1 machen, die aber für die prinzipiellen Ueberlegungen nichts ausmachten, und liess mich auch übersehen, dass der spanische Forscher Comas Solá schon etwas früher eine ganz entsprechende Formel aufgestellt hat.¹⁾

An anderer Stelle²⁾ habe ich seither ausgeführt, dass bei der noch herrschenden Unsicherheit über den anzunehmenden Wert von der Geschwindigkeit v_1 der von Comas Solá angenommene Geltungsbereich für Entfernungen bis 500 km unzulässig ist; was hingegen den Einfluss der Krümmung der Stosstrahlen betrifft, auch bei extremen Annahmen bis zu 100-150 km Entfernung ohne Korrektur verwendet werden darf.

Hingegen erscheint es mir jetzt zweifelhaft, ob überhaupt der beobachtete zweite Einsatz dem Eintreffen von Oberflächenwellen entspricht. Ich bin vielmehr geneigt, anzunehmen, dass es sich um die bei entfernten Beben ja gewöhnlich beobachteten, direkt ankommenden (mit S bezeichneten) Transversalwellen handelt. In diesem Fall würde die von Comas Solá und mir angegebene Formel dahinfallen.

Es ergäbe sich dann folgende Beziehung zwischen Epizentraldistanz und Zeitdifferenz S-P der beiden ersten Phasen:

$$d = \sqrt{K^2 (S-P)^2 - h^2}$$

wobei $K = \left(\frac{v_2}{1 - \frac{v_2}{v_1}} \right)$ und wiederum v_1 die Geschwindigkeit der ersten Vorläufer P und v_2 diejenige der zweiten S bezeichnet.

Vernachlässigt man h , so wird $d = K(S-P)$. Nimmt man v_1 bei Nahebeben gleich 6.5 km an, ein Wert, der mit neuern Beobachtungen gut stimmt, so erhält man $d = 8.02(S-P)$, also denselben Koeffizienten wie in der empirischen Formel von Conrad.³⁾

Für die Herdtiefe findet man bei der letztgenannten Deutung des zweiten Einsatzes, $h = \sqrt{K^2 (S-P)^2 - d^2}$, welche Beziehung aber wegen der Ungewissheit des genauen Wertes von K praktisch nur beschränkt anwendbar sein wird.

¹⁾ Comptes rendus de l'Académie des sciences Paris 1909, vol. 149.

²⁾ Beiträge zur Geophysik, Leipzig 1913. Bd. XIII, Seite 148 ff.

³⁾ Vergleiche Seite 5 Fussnote 2.

2. Herdtiefenberechnung aus dem Emergenzwinkel einer herdnahen Station.

Bekanntlich lässt sich die wahre Bodenbewegung am ehesten für den ersten Augenblick der Registrierung angeben, wo das seismische Pendel als in Ruhe befindlich angenommen werden darf.

Wenn also der erste Ausschlag auf allen Komponenten hinreichend sicher zu beobachten ist, so lässt sich der Emergenzwinkel berechnen, unter welchem der erste Stoss scheinbar angekommen ist. Wie namentlich Wiechert nachgewiesen hat, kommt der Stoss, wenn er in Wirklichkeit nahezu horizontal lief, scheinbar sehr viel steiler aus dem Erdboden heraus. In der Nähe von 30° ist das Verhältnis schon umgekehrt, doch der Unterschied nur klein. Auf den Wert der Bestimmung des Emergenzwinkels zu Herdtiefenbestimmungen hat Galitzin gegenüber andern Methoden besonders hingewiesen.

Die Möglichkeit der Bestimmung eines Emergenzwinkels beim schwäbischen Beben vom 20. Juli 1913 (er wurde zu ca. 33° , der wahre zu ca. 31° gefunden) veranlasste mich, zu untersuchen, wie weit man auf Grund der heutigen Annahmen über die Krümmung der Stosstrahlen auf die Herdtiefe schliessen kann.

Geradlinige Stosstrahlen ergäben im genannten Fall die Herdtiefe von ca. 64 km. Nach Extrapolation aus Galitzins Tafeln (denen die Zoeppritz-Geigersche Annahme $v_1 = 7,17$ km für 0 km und 7,60 km für 100 km Tiefe zugrunde liegt, was einen Krümmungsradius von ca. 1600 km bedeutet) ergibt sich die Herdtiefe zu ca. 58 km. Der Unterschied gegen geradlinige Stosstrahlen ist also hier gering.

Es liegen nun auch neuerdings umfangreiche Tabellen¹⁾ von L. Pilgrim vor, denen für die Tiefen von 0 km, 2 km, 50 km, 100 km die wesentlich von den erstgenannten abweichenden Geschwindigkeiten v_1 gleich je 4,0 km, 5,0 km, 6,24 km und 7,3 km zugrunde gelegt sind auf Grund von Beobachtungen der Geschwindigkeit in den obern Erdschichten, deren Bedeutung nicht in Abrede gestellt werden kann. Wegen der daraus folgenden kleinen Krümmungsradien (im Mittel ca. 300 km), namentlich aber wegen der vorausgesetzten, sehr grossen Geschwindigkeitsabnahme folgen aus diesen Tabellen sehr steile Emergenzwinkel, oder für einen gegebenen Emergenzwinkel sehr kleine Herdtiefen. Für unsern Wert ergäbe sich überhaupt keine Herdtiefe. Macht man die etwas vermittelnde Annahme, dass für die Station Zürich, die ja direkt auf Fels steht, der oberste Kilometer weggelassen werden dürfe (eine Annahme, die auch in meiner genannten Mitteilung in den Beiträgen zur Geophysik stillschweigend gemacht war), so folgt nach Pilgrims Tabellen für eine Herdtiefe von 10 km ein Emergenzwinkel von ca. 32° , also ungefähr dem unsrigen entsprechend.²⁾

Das Resultat ist dies, dass auch völlig genau beobachtete Emergenzwinkel je nach den vorläufig noch beliebigen Annahmen des Berechners zu sehr verschiedenen Resultaten führen.

3. Herdtiefenbestimmung aus der Ankunftszeit der ersten Wellen (P) an zwei herdnahen Stationen.

Die theoretische Möglichkeit der Herdtiefenbestimmung aus den genauen Zeitangaben mehrerer Stationen hat schon 1873 Seebach, und mit Berücksichtigung der Strahlenkrümmung später A. v. Schmidt und andere nachgewiesen.

Je näher am Herd, desto wertvoller hiefür sind die Beobachtungen. Hinwiederum werden manchmal bei unsern kleinen alpinen Beben überhaupt nicht verwendbare Beobachtungen von mehr als zwei Stationen vorliegen.

Deshalb habe ich den Fall für zwei Stationen behandelt. Es ergibt sich die Formel:

$$\text{Herdtiefe } h = \sqrt{\frac{(d_n^2 + d_1^2 - v_1^2 T^2)^2 - 4d_1^2 d_n^2}{4v_1^2 T^2}};$$

hiebei bedeutet d_1 und d_n die Epizentralentfernungen, T die Ankunftszeitdifferenz, v_1 die mittlere Geschwindigkeit der ersten Vorläufer. Die Formel kann auch auf die zweiten Vorläufer angewendet werden, bei sehr scharfem Einsatz der S wegen ihrer kleinern Geschwindigkeit und der entsprechenden grössern Differenz T sogar mit Vorteil. Sie ist bis $d = 100$ km ohne Korrektur für die Krümmung der Strahlen gültig. Untersucht man die Abhängigkeit der Herdtiefe h von der Zeitdifferenz T , so ergibt sich, dass selbst bei sehr günstiger Lage der beiden Stationen (wenn die eine z. B. nur ca. 40 km, die andere ca. 120 km vom Epizentrum abliegt, eine Chance, die nicht oft zutreffen wird) kleine Fehler in der Zeitdifferenz sehr viel ausmachen. Handelt es sich um geringe Herdtiefen von 0 bis 20 km, so macht ein Zeitfehler von 0,1 Sekunde schon einen Herdtiefenfehler von 5 bis 10 km aus. Bei mittleren Herdtiefen von 20 bis 50 km bedingt ein Zeitfehler von 0,4 Sekunden immer noch einen Tiefenfehler von ca. 10 km. Bei der bisher üblichen Zeitgenauigkeit, welche selten genauer als auf eine Sekunde verbürgt wird, könnte der Einfluss der Herdtiefe auf die Ankunftszeit der Erdbeben nur dann mit Sicherheit erkannt werden, wenn die Herdtiefe 40 km übertrifft. Und auch wenn die Zeitdifferenzen bis auf den Zehntel genau feststehen, ist die berechnete Herdtiefe noch in hohem Masse von den vorläufig auch recht stark unter sich abweichenden Annahmen über die Geschwindigkeiten abhängig. Dieselben können allerdings durch eine Bearbeitung der Laufzeiten für ein einzelnes Beben wesentlich eingeschränkt werden. Jedenfalls wird man darauf hingewiesen, die Genauigkeit der Zeitangaben womöglich bis auf Zehntelssekunden zu treiben!

¹⁾ Beiträge zur Geophysik, Band XII, Seite 363 ff.

²⁾ Prof. Pilgrim macht mich brieflich aufmerksam, dass dann für einen Emergenzwinkel von genau 30° eine Herdtiefe von 3,7 km folgt. Aus den Zeitangaben von einer Anzahl Erdbebenstationen hingegen berechnet er selbst eine Herdtiefe von 93 km.

4. Die erreichbare Genauigkeit der Zeitangaben der Registrierapparate.

Diese Genauigkeit hängt ab von der Güte der Signaluhr und der Kenntnis ihres Standes, ferner von der Geschwindigkeit und Regelmässigkeit der Bewegung der Registrierwalze, und endlich nicht zum mindesten von der Art des zu messenden Einsatzes, den wir hier ohne weiteres als völlig scharf annehmen wollen, wie er es häufig ist.

Wenn die Erdbebenwarte eine Kontaktuhr von guter Qualität täglich mit den sorgfältig durch Zeitbestimmungen kontrollierten Pendeln einer Sternwarte telephonisch vergleicht (mit Uebertragung der Sekundenschläge des Mikrophons auf den Chronographen) wie es z. B. bei uns seit Frühjahr 1913 geschieht, so sind die Minutenkontakte in der Zwischenzeit auf 0,1 Sekunden genau bekannt. Dieselbe Genauigkeit wird sich an andern Stationen durch die tägliche Vergleichung mit einem drahtlosen Zeitsignal (z. B. dem Parisersignal) erreichen lassen.

Bei einer Minutengeschwindigkeit des Registrierstreifens von $30 \frac{m}{m}$, wie wir sie mit Rücksicht auf die nur 0,4 bis 1 Sekunde betragenden Perioden der Nahebeben statt der üblichen von $15 \frac{m}{m}$ gewählt haben, kann eine Zeitmarke oder ein scharfer Einsatz auf $0,05 \frac{m}{m}$, d. h. auf 0,1 Sekunde genau abgelesen werden. Die Ungleichmässigkeit der Bewegung des Registrierwerks bedingt aber, nach meiner Untersuchung am Bosch-Mainka und am Spindler-Hoyerschen Apparat, mittlere Zeitfehler von $\pm 0,23$ bis $0,28$ Sekunden. Durch Einführung eines Halbminuten-Kontaktes würden dieselben, unsern weitem Versuchen zufolge, auf $\pm 0,1$ Sekunde herabgemindert werden können; dies auch bei Belassung des Minutenkontaktes, falls man statt der Zentrifugalhemmung eine wesentlich schwerere rotierende Scheibe anbringt, deren Trägheit die kurzperiodischen Störungen besser ausgleicht.

Es ergibt sich also, dass es mit den gegenwärtigen Mitteln erreichbar ist, den mittlern Fehler einer Zeitangabe auf 0,1 Sekunde herabzubringen. Im Einzelfall könnte der Fehler auch 0,2 Sekunden erreichen; ein Ueberschreiten dieses Betrages wäre unwahrscheinlich. Will man der Frage der Herdtiefenbestimmung näher treten, so wird man die Realisierung dieser Genauigkeit nicht umgehen können.

5. Die erreichbare Zeitgenauigkeit bei persönlichen Beobachtungen.

Ich habe schon wiederholt darauf hingewiesen, dass die Zeitbeobachtungen von Beobachtern sehr wohl genau genug gemacht werden können, um durch den Vergleich mit Apparatangaben die Beurteilung zu ermöglichen, ob und in welcher Weise vom Menschen die verschiedenen Phasen unterschieden werden.

Zeitangaben aus dem Epizentralgebiet, die auf eine Sekunde genau wären, könnten überdies zu Herdtiefenbestimmungen recht wohl verwendet werden.

Die Genauigkeit von einer Sekunde kann in manchen Fällen durchaus erreicht werden; die Kontrolle eigener und fremder zum Teil von wissenschaftlich gar nicht besonders vorgebildeter Seite stammender Beobachtungen durch die Erdbebenapparate hat uns das wiederholt bestätigt. Es handelt sich nur darum, über das Interesse und die jedem zugängliche Möglichkeit solcher Feststellungen bei Erdbeben von vorneherein unterrichtet zu sein, eine gute Uhr zu besitzen, sofort nach dem Sekundenzeiger zu sehen, und sobald als möglich, am besten innerhalb der nächsten Stunden eine genaue Kontrolle auf einer Sternwarte oder an einer andern kompetenten Stelle vorzunehmen oder zu veranlassen. Die damit natürlich verbundene Mühe wird jedermann gern auf sich nehmen, der weiss, dass der Wissenschaft damit ein wirklicher Dienst geleistet werden kann. Gewöhnlich zweifelt der Beobachter, ob wegen seines Zögerns infolge der Ueberraschung seine Beobachtung wirklich genau sein kann. Aber die Versuche zeigen, dass das Zögern tatsächlich nicht lange dauert, und von ziemlich konstantem, nachträglich noch kontrollierbaren und in Rechnung zu bringenden Betrag ist, und vom Augenblick der Wahrnehmung bis zum Ziehen der Uhr und ersten Festhalten des Standes des Sekundenzeigers etwa zwei Sekunden beträgt. Dabei bleibt vorausgesetzt, dass der Betreffende sich die moralische Verpflichtung, bei einem Erdbeben als Erstes nach dem Sekundenzeiger zu sehen, früher schon einmal vergegenwärtigt hat.

Es ist zu hoffen, dass durch unablässigen Hinweis auf diese Möglichkeit nach und nach in der Bevölkerung eine Anzahl Beobachter erzogen wird, deren Angaben auch in dieser Hinsicht wirklich verwendbar sein werden.