

Jahresbericht

des

Schweizerischen Erdbebendienstes 1914.

1. Allgemeines.
 2. Die 1914 in der Schweiz gespürten Erdbeben.
 3. Die 1914 auf der Schweizerischen Erdbebenwarte bei Zürich aufgezeichneten Nahebeben.
- Anhang: 1. Ueber die Herdtiefe des Graubündner Erdbebenschwarms 1913/1914.
2. Die Ausbreitung des Kanonendonners aus dem Sundgau an Weihnachten 1914.

Von Prof. Dr. **A. de Quervain.**

(Mit zwei Tafeln.)

GEOPHYSICS LIBRARY

Jahresbericht 1914 des Erdbebendienstes

der Schweizerischen Meteorologischen Zentralanstalt.

1. Allgemeines.
2. Die 1914 in der Schweiz gespürten Erdbeben.
3. Die 1914 auf der Schweizerischen Erdbebenwarte bei Zürich aufgezeichneten Nahebeben.

- Anhang: 1. Ueber die Herdtiefe des Graubündner Erdbebenschwarms 1913/1914.
2. Die Ausbreitung des Kanonendonners aus dem Sundgau an Weihnachten 1914.

Von Prof. Dr. A. de Quervain.

(Mit zwei Tafeln.)

1. Allgemeines.

Vom 1. April 1914 an trat das Gesetz in Kraft, das der Meteorologischen Zentralanstalt Erdbebenbeobachtungen überbindet.

In der Durchführung der Erdbebenbeobachtungen trat dadurch keine wesentliche Aenderung ein, indem die schon im Vorjahr von uns selbst versuchsweise eingeführte neue Organisation der makroseismischen Beobachtungen, die sich bewährte, beibehalten wurde. Der betreffende Dienst wurde weiterhin vorläufig vom Berichterstatter versehen, unterstützt durch Herrn Dr. Billwiller und Frl. Steiner. Der Ausbruch des Krieges bedingte eine Störung durch die Abwesenheit der beiden Erstgenannten im Militärdienst, im August und September, und insofern die Direktion der Anstalt von sich aus auf die Besetzung der schon ausgeschriebenen Stelle des Erdbebenassistenten vorläufig verzichtete. Der dann im folgenden Jahr gewählte Assistent, Herr Dr. Alphonse de Weck, ist hingegen an der Bearbeitung der Beobachtungen von 1914 schon beteiligt.

Die Antenne der drahtlosen Empfangsstation, die im August aus militärischen Gründen entfernt worden war, konnte vom Oktober an wieder verwendet werden. Das Zeitsignal des Eiffelturms wurde von da an zu stetiger Kontrolle des Bordchronometers P. Ditisheim 36 130 benützt. Dieser wurde in diesem Jahr angeschafft zur Bestimmung der Uhrkorrekturen bei genauen Erdbebenzeit-Beobachtungen im Publikum. Wir kamen öfters in den Fall davon Gebrauch zu machen, mit gutem Erfolg, allerdings nur bei sorgfältiger und sachgemässer Durchführung. Einer solchen Zeitvergleichung verdanken wir (s. unten) den ersten zahlenmässigen Anhaltspunkt zur Bestimmung einer Herdtiefe der Graubündnerbeben.

Der Krieg brachte uns die traurige Gelegenheit, die aërologisch wichtige Untersuchung der Ausbreitung von starken Schallwellen, die wir mit Erfolg bei Anlass der Jungfraubahnexplosion 1908 an dieser Stelle vorgenommen hatten, wieder aufzunehmen, bei Anlass von starken Kanonaden im Sundgau. Das Ergebnis ist unten kurz zusammengestellt.

* * *

In der Form der Wiedergabe der makroseismischen Beobachtungen haben wir eine Aenderung eintreten lassen, insofern wir im Interesse besserer Uebersichtlichkeit zu tabellarischer Darstellung übergegangen sind. Dabei hat es die Meinung, dass auf interessante Fälle im Text noch besonders eingegangen werden soll, wie es z. B. hier in einem besonderen Anhang für die Graubündnerbeben geschieht. Es ist auch die Zahl der Kärtchen auf Tafel I vermehrt worden, was erlaubt, für eine Anzahl stärkerer Erdbeben auch die Isoseiste V einzuzeichnen.

Hier ist noch eine Bemerkung über die Zählung der Erdstösse zu machen. Der von frühern Berichterstattern geübten (mir bei Abfassung meiner Berichte nicht gegenwärtigen) Praxis, solche Erdbebenfälle, bei denen nicht mindestens Angaben von zwei unabhängigen Beobachtern vorliegen, bei der Zählung auszuschliessen, konnte ich mich nicht ganz anschliessen. Das käme darauf hinaus, den reellen Bereich der Forel'schen Skala erst bei Grad II beginnen zu lassen. Wo also ein einzelner geübter Beobachter mit Bestimmtheit ein Erdbeben meldet, unter Umständen, die ein Nichtwahrnehmen durch andere begreiflich machen, wurde das Erdbeben doch gezählt. Ebenso geschah es, wenn die

begründete, aber nachträglich nicht mehr zu prüfende Vermutung bestand, dass einer einzelnen Meldung die Wahrnehmungen verschiedener Beobachtungen zugrunde liegen, so auch bei gewissen Zeitungsmeldungen, von denen wir aber nur sehr selten mehr ausschliesslich abhängig sind.

Es erscheint angebracht, die von uns auf Grund bisheriger Erfahrung angenommene Beziehung zwischen der Forel'schen Skala und den Fragen unserer Karte anzugeben, welche ja z. T. nur auf die verhältnismässige Zahl der Beobachter abstellen muss.

Für Grad II entsprechen sich die Angaben: „kleine Zahl, in Ruhe befindlicher Beobachter“ (Forel) und „ganz vereinzelt“ (Karte).

Für Grad III „mehrere Personen, in Ruhe, Dauer und Richtung schätzbar“ (F.) „von wenigen“ [= bis ca. 20 %] (Karte); ebenso: Richtung und Dauer (wenn diese Angabe gemacht wird, ist nicht weniger als Grad III anzunehmen); fehlt sie, so ist hingegen der entgegengesetzte Schluss noch nicht erlaubt).

Für Grad IV „... Personen in Tätigkeit (und Nachts?) ... Erschütterung beweglicher Objekte, Fenster, Türen; Krachen der Dielen“ (F.). Dementsprechend: „von vielen“ (Karte), worunter bis zu 50 % zu verstehen sein dürften.

Für Grad V „... allgemein bemerkt“ (F.), wobei aber nach dem Kriterium für VI Schlafende nicht inbegriffen sein können! „Erschütterung grösserer Gegenstände“ (Möbel, Betten). „Einzelne Hausglocken tönen“ (F.). Dem entspricht die Angabe der Karte: „Allgemein“ (d. h. über 50—60 %) und ihr geht sehr gut parallel die Bestätigung: auch im Freien gespürt (auch nur positiv zu verwenden, S. 9).

Für Grad VI, der bei unsern Beben schon recht selten ist, gelten die Kriterien der Forel'schen Skala, die aber oft im Stich lassen: „Allgemeines Erwachen“ (und tags?). „Allgemeines Anschlagen der Hausglocken“ (die aber immer seltener werden). „Schwanken der Kronleuchter“ (die für ein allgemeines Kriterium etwas zu feudal exklusiv sind; die Bewegung von Hängelampen scheint leichter einzutreten). „Stillstehen von Uhren“, „Schwanken der Bäume und Gesträucher“ (Angaben darüber kamen mir kaum jemals vor). „Einzelne Personen verlassen erschreckt die Häuser“. (Temperamentssache: Erfahrungsgemäss sind z. B. Frauen italienischer Arbeiter dazu wesentlich schneller bereit als unsere Emmentaler oder Züribieter). Man wird sich auch hüten müssen, auf Grund von Zeitungsmeldungen allein Grad VI (statt V) anzunehmen.

2. Die im Jahre 1914 in der Schweiz gefühlten Erdbeben.

Zusammenfassung.

Im Jahre 1914 wurden im Gebiet der Schweiz 46 Erdstösse verspürt. Dieselben verteilen sich folgendermassen auf die Monate:

Jan.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	August	Sept.	Ökt.	Nov.	Dez.
12	3	3	10	4	—	—	4	3	3	3	1

Davon fielen 29 in die Zeit der Ruhe (8 p—8 a) und 17 in die Zeit der Tätigkeit. Zehn hatten ihren Herd ausserhalb der Schweiz; drei davon gehörten stärkern oberitalienischen Erdbeben an, welche auch das Gebiet der Schweiz ganz oder teilweise erschütterten. Unter den autochthonen Beben bietet besonderes Interesse der Graubündner Erdbebenschwarm, der schon 1913 begonnen hatte. Eine besondere Untersuchung darüber findet sich im Anhang. Für die 7 stärksten Stösse dieser ganzen Erschütterungsreihe sind die Begrenzungen und die Gebiete mit Intensität V in Tafel I besonders nebeneinandergestellt. — Im ganzen wurden 570 Erdbeben-Meldungen verarbeitet.

Ausser den in der folgenden Tabelle angeführten Fällen sollen noch einige Nachrichten erwähnt werden, bei denen die Realität des Erdbebens zweifelhaft scheint:

2. Januar ca. 10¹/₄ p. Einsiedeln. Einzelne Beobachterin. Die nach Zeitungsmeldungen zu vermutende Koinzidenz mit Erdbeben in den Ostalpen (Tuxer Tonschiefergebiet) besteht nicht; dieses trat um 9^h 37 p ein.

Am **6. Januar** 6¹/₂ a wird von Crasta Mora (Engadin), Ausgang des Albulatunnels, von einer Person ein Erdstoss gemeldet. („Die Flaschen im Bahnhofbuffet hätten zusammengeschlagen“). Frühere lokale Erschütterungen aus der Gegend des Albulatunnels sind nachgewiesen.

Am **26. März** ca. 4^h 10 früh wurden von der meteorologischen Beobachterin bei La Brévine 3 kurze, aufeinanderfolgende Stösse gespürt. Ihre Nachfragen bei andern ergaben keine Bestätigung. Damit ist die zeitlich nicht zusammenfallende Meldung aus derselben Nacht von Neuveville zu vergleichen (Nr. 18 der Tabelle), die sich auf die Angaben mehrerer Personen stützt. In jener Nacht herrschte heftiger Südweststurm (Zürich bis 55 km Stundenmittel), dessen Einwirkung auf gewisse Gebäude zu scheinbaren Erdbebenwahrnehmungen führen konnte. Es ist aber auch ein ursächlicher Zusammenhang zwischen Sturm (resp. barometr. Gradient) und Erdbebenauslösung möglich. Für die gleiche Nacht liegt auch von Lyss die gleichzeitige Angabe von Sturm und „Erschütterung“ vor.

Vom **25. April** 7^h 54 p wird aus Lyss (Kt. Bern) von einem einzelnen Beobachter „Gekläff“ an der Innenwand des Hauses (an festgeschraubtem Schrank) gemeldet, und als Erdbeben gedeutet; eine ähnliche Meldung von demselben Beobachter liegt auch vom **4. Juni** 10^h 34 a vor; irgendwelche Bestätigung von anderer Seite war nicht zu erlangen.

Am **5. Juni** um 3^h 50^m 10^s a wurde in Champ-Fahy (ob Neuveville) von der meteorologischen Beobachterin eine deutliche Erschütterung (réveillé par un fort balancement) gespürt, 2 Sekunden dauernd, W-E gerichtet, mit 4 einzelnen Wellen. — Die präzisen Angaben sprechen für die Realität der Erscheinung. Unsere Anfrage bei den Behörden in Neuveville ergaben negativen Bescheid.

Im Gefolge des Erdbebens im Vorarlberg vom **30. August** (s. Tabelle I Nr. 36) wurden in den Zeitungen nachfolgende Angaben gemacht, die nicht weiter kontrolliert werden konnten, und den Umständen nach fraglich erscheinen. **31. August** 4 p. Erschütterung „im Glarnerland“. — 7 p. St. Gallen leichter Stoss. (Zu diesen Zeiten keine Erschütterung im Epizentrum). — Aber schon 4 Stunden vor dem ersten Stoss, am 30. August 8 a wollen Bergwanderer am Kamor „ein unheimliches unterirdisches Rollen vernommen haben, als ob viele Steine über einen grossen Hang rutschten“.

Am **31. Oktober** um 11^h 51 p wurde in Russo-Chiesa (Val Onsernone bei Locarno) durch einen wissenschaftlichen Beobachter ein scheinbar SE-NW gerichteter Stoss gespürt.

Am **17. November** zwischen 1–2 Uhr morgens wollen in Arveyes, unterhalb von Les Plans zwei Bewohnerinnen eines Chalets öftere Erschütterungen gespürt haben, von Wind begleitet, aber nicht von diesem herrührend.

Am **1. Dezember** 11^h 28 a wurde in Basel, ohne hinlängliche Erklärung, das Seismoskop ausgelöst. Andere Bestätigungen fehlen.

Tabelle I. In der Schweiz gespürte Erdbeben.

Nr.	Monat und Tag	M. E. Zeit 0–24 ^h	Erschütterte Gegend u. Epizentralgebiet	Grad Forel-Rossi	Grösste Ausdehnung	Zahl d. + -Meldungen	Zahl d. neg. Meldungen	Registriert in Zürich	Bemerkungen (Charakter, Zahl der Stösse, Dauer, bes. Wirkung)
1	Jan. 2.	3, 25	Domleschg (Graubünden) [Chur: 1 ^h , v. 1 Pers.]	II	—	Zeitg.	—	—	„Schwach“; kurzes, donnerartiges Geräusch.
2	„ 4.	3, 30	Chur (gleiche Meldung für 3. Jan.)	II	—	1	—	—	3 schwache Stösse. Von 1 Person beobachtet.
3	„ 5.	19, 40	Domleschg	?	—	Zeitg.	—	—	Dumpfes Rollen.
4	„ 8.	0, 15	Chur	III	—	Zeitg.	—	—	Von anderer Seite bestätigt.
5	„ 15.	10, 56	Graubünden: Rheintal von Ragaz bis Ilanz, Domleschg, Hinter-Rheintal, unt. Albultal, Oberhalbstein, Saviental, St. Petertal	V-VI	74	64	44	R	2 Stösse; Dauer 2–3 Sek. Gleichzeitig und folgend unterirdischer Donner.
6	„ 15.	21, 32	Tomils, Bonaduz	—	—	Zeitg.	—	—	Schwach.
7	„ 18.	22, 14	Chur, Malix, Klosters	III	28	1	—	—	1 Stoss. Dumpfes Rollen folg. Von mehr. beobachtet.
8	„ 19.	20, 48	Chur	II	—	1	—	—	Von 2 Personen beobachtet.
9	„ 23.	1, 41	Chur	II	—	1	—	—	Von 1 Person beobachtet.
10	„ 23.	9, 50	Chur	III	—	1	—	—	Von mehreren beobachtet.
11	„ 29.	13, 50	Münstertal*: Santa-Maria, Münster, Cierfs	IV	9	4	1	—	1 Stoss; Dauer 2–3 Sek. Rollen d. Stosse folg.
12	„ 30.	1, 20	Ennenda (Glarus)	—	—	1	—	—	* auch im Vintschgau (Oesterr.) gespürt.
13	Febr. 2.	16, 30	Kt. Schaffhausen; Winterthur; St. Gallen [Herd in der Schwäb. Alb]	III	—	11	5	—	2 Stösse; Dauer 2 Sek.
14	„ 4.	19, 10	Klöntal (Glarus)	—	—	1	—	—	Erschütterung.
15	„ 4.	23, 40	Klöntal	—	—	1	—	—	1 Stoss.
16	März 20.	geg. 5	St. Moritz und Célerina	IV	3	2	—	—	2 Stösse.
17	„ 20.	12, 56	Chur und Zizers	II	10	2	—	—	Blosses Zittern.
18	„ 25.	geg. 24	Neuveville (Bern)	III	—	1	—	—	Stösse.
19	April 7.	21, 15	Chur, Domleschg (Tomils!, Paspels!), Reichenau	V	15	4	—	—	1 Stoss; Dauer 2 Sek. Unterirdischer Donner.
20	„ 7.	24, —	Chur	—	—	Zeitg.	—	—	
21	„ 8.	3, 45	Horgen	II	—	1	—	—	
22	„ 8.	4, 34	Domleschg (Thusis, Tomils), Chur, Splügen, Arosa, Tschierschen, Vättis, Ilanz, Kästris	V	46	9	3	R	„2 Stösse“; Dauer 2 Sek. [Am 8. April ca. 8 ^h dumpfes Brausen ohne Erschütterung in Tomils.]
23	„ 9.	nach 0	Sitten (Sion)	II	—	1	—	—	
24	„ 9.	2, 25	Sitten, Montana, Orsières	IV	13	3	—	—	„secousses courtes et simples“.
25	„ 9.	3, 45	Sitten	III	—	2	—	—	
26	„ 9.	15, 17	Chur, Tomils	III	15	1	—	—	
27	„ 9.	15, 41	Sils i. D.	III	—	1	—	—	
28	„ 9.	22, 04	Sitten	III	—	1	—	—	„du S au N“.
29	Mai 4.	5, 25	Sitten	III	—	—	—	—	Von mehreren. Auch Zermatt: 5 ¹ / ₄ a Erdstoss W-E.
30	„ 22.	14, 37	Graubünden: Domleschg, Rheintal von Chur bis Tamins, Saviental, Landquart, Vättis, Avers-Cresta	V	58	25	56	R	1 Stoss, Dauer 2–3 Sek. Gleichzeitiges Rollen.
31	„ 23.	6, 37	Graubünden: Domleschg, Rheintal von Chur bis Trins; Hinter-Rheintal von Cazis bis Splügen, Saviental, San-Bernardino, Avers-Cresta, Vättis, Untervaz, Kunkels	V	60	28	43	R	„2 Stösse“. Dauer ca. 3 Sek. Rollen. In Kunkels wurden auch von einer einzigen Person Erschütterungen um 2 ^h a und 10 ^h 16 a verspürt.
32	„ 27.	geg. 16	Frauenfeld	II	—	1	—	—	Von 2 Personen.
33	Aug. 7.	0, 40	Chur, Vättis	III	10	2	4	—	
34	„ 17.	12, 34 ¹ / ₂	Chur	II	—	1	—	—	
35	„ 20.	3, 30	Brissago	III	—	1	—	—	Stoss von unten, Dauer „2–5 Sek.“.
36	„ 30.	12, 23	Herd im Vorarlberg. (Gegend v. Götzis). Gespürt grösstenteils im Kt. Appenzell, teilw. Kt. St. Gallen, Maienfeld, Landquart.	IV	58	31	—	R	2 Stösse. Ein 3. Stoss 5 Min. später nach Meldung u. Registrierung. Intensität V nur am Rheinufer, sonst IV. Unterird. Rollen.

Tabelle I (Fortsetzung).

Nr.	Monat und Tag	M. E. Zeit 0—24 ^h	Erschütterte Gegend u. Epizentralgebiet	Grad Forel-Rossi	Grösste Ausdehnung km	Zahl d. + - Meldungen	Zahl d. neg. Meldungen	Registriert in Zürich	Bemerkungen (Charakter, Zahl der Stösse, Dauer, bes. Wirkung)
37	Sept. 8.	21, 48	Heiden und St. Gallen (aus d. Vorarlberg?)	III	13	1u.Ztg.	—	R	Ein 2. Stoss wurde noch 6 Min. später registr.
38	" 19.	18, 37	Oberriet und St. Gallen (auch Vorarlberg)	IV	19	Zeitg.	—	R	Unterirdisches Rollen.
39	" 20.	0, 26	Oberriet und St. Gallen (aus d. Vorarlberg?)	IV	19	Zeitg.	—	R	Unterirdisches Rollen.
40	Okt. 23.	23, 40	Chur	—	—	1	—	—	
41	" 26.	4, 45	Nahebeben Turin. Gespürt im westl. Teil von Wallis, Kt. Waadt, Berner Jura, Basel, Kt. Tessin, Glarus	V	—	34	1	R	Ca. 5 Stösse. Dauer ca. 5 Sek. Dumpfes Rollen.
42	" 27.	10, 23	Nahebeben Norditalien. Gespürt in der ganzen Schweiz, besonders im Kt. Tessin	V	—	143	15	R	2-3 Stösse. Dauer 3-4 Sek.
43	Nov. 14.	6, 51	Nahebeben in den Bergamaskeralpen. Gespürt im Südgraubünden (Vicosoprano, Brusio)	IV	—	2	—	R	
44	" 25.	18, 52	Gespürt in Basel	III	—	2	—	R	
45	" 29.	4, 21	Martigny	V?	—	1	—	—	Ressenti „par tout le monde“ (?) Craquements bruits. Durée 1 sec.
46	Dez. 23.	4, 40	Gespürt in Heiden u. in Altstätten (St. Gallen)	III	9	2	—	R	Herd im Vorarlberger Rheintal.

3. Die 1914 auf der Erdbebenwarte bei Zürich registrierten Nahebeben.

Entsprechend den Grundsätzen, welche die damalige Erdbebenkommission bei der Zweckbestimmung und Einrichtung unserer Erdbebenwarte leiteten, und welche in dieser Hinsicht auch für uns massgebend bleiben, sollen die Aufzeichnungen und deren Bearbeitung in erster Linie der Untersuchung der schweizerischen Nahebeben dienen. Es wurden also, in einer etwas weiteren Fassung der Grenzen, wie bisher alle Erdbeben in unsere Tabelle aufgenommen, welche innerhalb jenes Radius von 1000 km lagen, der nach internationaler Definition die „Nahebeben“ umfasst. Vor allem kommen da ausser den schweizerischen in Betracht süddeutsche, österreichische und norditalienische Erdbeben, für welche unsere makroseismischen wie mikroseismischen Beobachtungen mehr oder weniger wesentliche Ergänzungen bringen können, wie auch wir wiederum die Veröffentlichungen dieser Länder beigezogen haben, besonders von Hohenheim, ausserdem auch die schriftlichen Mitteilungen von Herrn Prof. Schorn in Innsbruck.

Aber über diese eigentliche Aufgabe hinaus müssen wir, gerade im Interesse der Möglichkeit, für unsere Nahebeben die oft unentbehrliche Mitarbeit unseres Publikums in Anspruch nehmen zu können, auch dessen Auskunft- und Stationsbedürfnis betreffend Fernbeben berücksichtigen. Dies geschieht in der Weise, dass bei stärkern Fernbeben wie bei allen Nahebeben der Presse prinzipiell eine kurze Mitteilung gemacht wird über Zeit des Eintretens, womöglich auch Entfernung, und, wenn eine genügende Azimutbestimmung möglich ist, auch über die ungefähre Epizentralgegend.

In letzterer Beziehung hatten wir z. B. den im seismischen Auskunftsdienst bisher noch recht vereinzelt dastehenden Erfolg, ein zerstörendes Erdbeben in Kleinasien mitzuteilen, vierundzwanzig Stunden bevor der Telegraph wirklich die Zerstörung der kleinasiatischen Städte Isparta und Burdur meldete, welche 2000 Opfer gefordert hatte. Die drastische Bestätigung der „Voraussage“ führte zu einer Aufforderung an den Berichterstatter, in den „Archives des sciences physiques et naturelles“ über die Seismometrie in der Schweiz Auskunft zu geben, was denn auch im Interesse einer Interessierung des Publikums geschehen ist.

Die Diagramme der Fernbeben stehen zur Verfügung der ausländischen Erdbebenbearbeiter. Für das Jahr 1914 liegen solche vor von folgenden Daten:

30. Januar 5^{1/2}^h. M. E. Z. 30. Januar Chile 12000 km. 14. März 21^h Nordjapan. 18. März 8^h 8500 km?
30. März 2^h. 11. April 17^{3/4}^h. 26. Mai 15^{3/4}^h (ca. 18000 km) und 21^{1/2}^h südl. Karpaten. 28. Mai 4^{1/2}^h 9000,
12^{1/2}^h 2300?, 18^{3/4}^h 10300 km? 29. Mai 6^h. 20. Juni 8^{3/4}^h. 25. Juni 20^{1/4}^h ca. 11000 km, Sumatra. 6. Juli 7^{3/4}^h.
4. August 23^{3/4}^h. 17. September 14^h. 3. Oktober 18^{1/2}^h und 23^{1/4}^h (2200 km Kleinasien; Diagramm reproduziert in
„Archives des sciences physiques et naturelles“ 1915). 11. Oktober 17^{1/2}^h. 17. Oktober 7^{1/2}^h und 12^{1/4}^h (Griechenland).
23. Oktober 7^{1/2}^h. 24. November 13^h. 27. November 15^{1/2}^h. Diese Registrierungen sind alle mit den Strassburger Aufzeichnungen zu identifizieren. Die wahrscheinlichen Entfernungen sind meist die des Strassburger Berichts.

* * *

Die Bearbeitung der Erdbebenregistrierungen geschah zum Teil durch den Berichterstatter, gemeinschaftlich mit Dr. Billwiller, zum Teil durch Dr. A. de Weck.

Die Apparatkonstanten für 1914 im Mittel mehrerer genügend übereinstimmender Beobachtungen betragen

	Bosch-Mainka 450 kg-Pendel		Spindler & Hoyer-Wiechert'scher
	Nord-Süd-Komp.	Ost-West-Komp.	Vertikalapparat 80 kg
Vergrößerung	140	180	105
Eigenperiode	4.9	4.8	3.6
Dämpfung	2.6	1.8	3.5
Reibung	0.7	0.9	1.1
Registriereschwindigkeit pro Minute	25—30 $\frac{m}{m}$	25—30 $\frac{m}{m}$	30 $\frac{m}{m}$

Der Berichterstatter besuchte die Erdbebenwarte 40mal, Dr. Billwiller 7mal. Am 24. Mai wurde sie von Nationalrat J. Guyer in amtlicher Eigenschaft besucht, nachdem sie im Beisein des bisherigen Präsidenten und Vizepräsidenten der Erdbebenkommission und zweier Vertreter der Zentralanstalt und des eidg. Bauinspektors der Eidgenossenschaft am 28. März übergeben worden war. Nennenswerte Unterbrechungen oder Störungen kamen nicht vor. Vom 18. September an wurden die Fenster des Instrumentenraums dauernd geschlossen gehalten, was zwar für die Ventilation von Nachteil war, aber die störenden Nullpunktschwankungen beim Vertikalapparat verschwinden und den Gang der Kontaktuhr wesentlich regelmässiger werden liess. Die täglichen Gangvariationen bleiben nun im Mittel unter 0.1 Sekunde. Die täglichen telephonisch chronographischen Zeitvergleichen wurden in sehr dankenswerter Weise durch die Sternwarte in Zürich regelmässig weitergeführt. Ausnahmsweise wurde auch das Pariser Zeitsignal berücksichtigt, namentlich für vorläufige Zeitangaben.

* * *

Was die Frage eines empfindlicheren Seismographen betrifft, wurden vom Berichterstatter im Frühjahr 1914 zum Zweck der Orientierung die Erdbebenwarten in Göttingen, Iugenheim und Strassburg besucht, wo die betreffenden Leiter, die Herren Wiechert, Zeissig, Hecker und Mainka sich sehr entgegenkommend zeigten. Die Anregungen dieser Reise führten mich zu der Idee eines mechanisch registrierenden Universalseismographen für alle drei Komponenten, die ich im Juli der Meteorologischen Kommission vorlegte, worauf ich dann gemeinschaftlich mit Herrn Dr. Ing. A. Piccard vom Herbst an mit einer ersten generellen Durchrechnung eines solchen Instrumentes mich befasste.

Tabelle II. In Zürich registrierte Nahebeben.

Zürich 1914. 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 nach S-P	Bemerkungen
				N	E	V		
Jan. 15.	eP N	10 ^h 56 ^m 15.6 ^s	s	μ	μ	μ	km*)	Epizentrum 12km südwestl. von Chur (Graub.), im Domleschg 93 km von Zürich entfernt. Epizentralzeit: 10 ^h 56 ^m 5 ^s . Hohenheim gibt: e 57 ^m 0 ^s , da die Entfernung 217 km ist, kann dies nicht der erste Einsatz von P sein (124 km : 41 ^s = 3,0), sondern ein späterer Einsatz; für „S“ ca. 5 Sek. zu spät. — S. makroseism. Bericht Nr. 5 und Anhang Nr. 1.
	E	56 15.6				0.2		
	v	56 15.6						
	iP N	17.9	0.4	0.9				
	E	18.0	0.3		0.7			
	v	17.9				2.8		
	e	19.6						
	iS N	27.1	0.9	1.4				
	S? E	27.4	0.5		2.1			
	M N	31.6	0.4	2.5				
	E	30.9	0.5		1.7			
	v	33.2	0.3			1.6		
	F	ca. 58 ^m						
Febr. 2.	?P v	16 ^h 35 ^m 49.9 ^s					125?	Herd in der schwäb. Alb. Hohenheim gibt: eP 35 ^m 39 ^s , d = 45 km. Diagramme N-S und E-W nicht vorhanden. — S. makroseism. Bericht Nr. 13.
	?S v	36 3.2						
	F	ca. 38 ^m						
April 8.	?P N	4 ^h 34 ^m 28.5 ^s						Herd im Domleschg (Graubünden), wie 15. I. S. makroseism. Bericht Nr. 22. Aufzeichnung sehr schwach.
	Spur N	38.3						
	Spur E	37.4						
	?S N	42.5		5.4				
	Max. ?E	46.5	1.8		4.2			
	F	ca. 36 ^m						
April 18.	e? N	6 ^h 17 ^m 9.2 ^s					650	Herd in den kleinen Karpathen, bei Pressburg, Entfernung 650 km. Hohenheim gibt: iP 17 ^m 34 ^s ; S? 18 ^m 38 ^s , was die richtige Entfernung 580 km gibt; doch muss nach Zürich das erste P fehlen.
	e? N	27.7						
	e! N	34.9						
	e? E	14.9						
	e E	26.9						
	e! E	33.7						
	e v	38.2						

(Fortsetzung der **Tabelle II** folgende Seiten 6, 7, 8, 9.)

*) Entfernungen aus „S“-P, nach Wiechert-Zeissig'scher Tabelle. „S“ ist zweiter scharfer Einsatz, von andern als iM bezeichnet.

Zürich 1914. Mitteleurop. Zeit; Mitternacht = 0^h; H = 604.2 m; Länge: 8° 34' 49.5" E; Breite: 47° 22' 7.2" N; Untergrund: Molasse.

Datum	Phase	M. E. Zeit	Periode	Amplitude			Epizentral- entfernung nach 8-7	Bemerkungen
				N	E	V		
April 18.	S? N S? E M N E V F	6 ^h 18 ^m 19.8* 18 19.7 31.3 32.5 29.4 33.1 ca. 21 ^m	1.5 u. 0.9 2.0 2.3	1.8	2.2	1.0		
Mai 7.	eP N iP E S N E	4 ^h 40 ^m 41.1* 41.1 41 18.3 20.3	0.7 u. 2.9 0.9	1.8	1.7		ca. 340 Herd in Ostalpen oder Venetien? Italien. Bulletin hat nichts. Hohenheim hat: iP 40° 53' (was, verglichen mit Z., den Herd nach Süden weist), d = 400 km?	
Mai 22.	e E S? E F	14 ^h 37 ^m 15.0* 19.0 ca. 38 ^m	0.5 0.6		0.3 0.4		Herd im Domleschg, wie 15./I. S. makros. Bericht Nr. 30.	
Mai 23.	eP? N E i E S? N i N iS E M N M E F	6 ^h 36 ^m 36.7* 36.7 38.2 45.8 50.2 45.9 56.3 49.5 ca. 38 ^m	0.5 0.5 1.7 0.5	0.7 1.4 1.4	0.3 0.8 0.8		Herd im Domleschg, wie 15./I. S. makros. Bericht Nr. 31. Aufzeichnung sehr undeutlich.	
Aug. 20.	eP N E V iP N iS N E M N E V F	4 ^h 36 ^m 24.2* 26.4 25.9 25.7 46.5 47.0 47.6 49.0 49.1 ca. 39 ^m	0.5 1.3 0.4 0.5 0.5 0.4 1.3	0.4 1.4 6.4	1.1 5.0	6.4	ca. 200 Gespürt in Oberitalien, am stärksten um den Comersee; Herd nach Zeitungsmeldung aus Mailand bei Como und Lecco; starke Stöße, Bevölkerung sehr beunruhigt, stürzte auf die Strasse. (= Zeitungsgrad VI, normal V.) Entfernung = 180 km. Hohenheim gibt: iP 36° 46'; die Distanz ist 325 km. Differenz der Einsätze H-Z gibt: v = 6.6 km.	
Aug. 20.	i N S N E V M N E V F	4 ^h 39 ^m 28.2* 40.6 41.7 42.9 50.1 49.3 50.4 ca. 42 ^m	0.6 0.6 0.8 0.5	1.8 2.1	0.6 1.4		Nachbeben des Vorhergehenden?	
Aug. 30.	iP N E V eS V iS N E V M N E V M ₁ V F	12 ^h 22 ^m 38.8* 39.4 38.7 49.1 49.7 49.8 50.2 57.0 51.4 54.2 23 4.8 ca. 38 ^m	0.5 1.1 1.0 2.7 6.7 1.3 1.5	10.5 28.5	12.8 34.7	4.8 6.7	94 Herd im Vorarlberg, an der rechten Flanke des Rheintals bei Götzis, Entfernung 81 km. S. makros. Bericht Nr. 36. Hohenheim (in 190 km Entfernung) gibt: iP 22° 51', was für v der P-Wellen 5.7 km ergibt. Ueberlagerung von zwei Wellen verschiedener Perioden.	
Aug. 30.	e E e V iS? N E V iM N E V F	12 ^h 28 ^m 31.4* 29.3 37.6 37.8 37.7 41.5 41.8 41.7 ca. 31 ^m	0.5 0.8 0.4	0.7 2.3	1.1	0.7	Nachbeben zum Vorhergehenden. P fehlt? Sichtbarer Einsatz in Z. gegen Hohenheim 4 Sek. zu spät. Hohenheim gibt: iP 28° 38', i(S) 28° 57'. Ueberlagerung zweier Perioden.	

Zürich 1914. Mitteleurop. Zeit; Mitternacht = 0^h; H = 604.2 m; Länge: 8° 34' 49.5" E; Breite: 47° 22' 7.2" N; Untergrund: Molassegebirge.

Datum	Phase	M. E. Zeit	Periode	Amplitude			Epizentral- entfernung nach S-P	Bemerkungen			
				N	E	V					
Aug. 31.	eP	N	14 ^h 26 ^m 13.7 ^s	0.8	Spur	0.4	220	Gespürt im Karwendel- und nördl. Tuxergebirge, Gegend von Innsbruck. Entfernung 215 km. Hohenheim gibt: eP 26 ^m 07 ^s , iS 26 ^m 37 ^s , $d = \text{ca. } 270 \text{ km}$ angegeben. Mit Berücksichtigung der richtigen Distanz, ca. 230 km, und der Lage ist P bei Hohenheim vielleicht ca. 6 Sek. zu früh?			
		E	12.0								
		V	11.3								
	iP	N	21.5	0.7	0.3						
		iS	37.5	3.2	3.2						
		E	36.8	2.6	1.7						
	S	N		0.5 u. 1.6							
		E		1.0 u. 3.1							
	S?	V		1.5		1.2					
	M	N	27 ^m 0.7 ^s	1.6	5.7						
E		26 57.1	2.6	4.9							
V		59.4	1.8	1.9							
F		ca. 32 ^m									
Sept. 8.	eP?	E	21 ^h 48 ^m 38.3 ^s	0.5	Spur	0.7	ca. 70?	Herd unbekannt. Italien. Bulletin hat für diese Stunde nichts. Hohenheim hat: eP 49 ^m 04 ^s . Darnach müsste der Herd südlich von Zürich liegen; wahrscheinlich ist aber der Anfang der P nicht aufgezeichnet.			
		N	48 ^m 45.8 ^s								
	S	E	46.0	0.8	0.8						
		V	46.5			Spuren					
	S	V	50.2								
	F		ca. 51 ^m								
		22 ^h 0 ^m 45.6 ^s	2. Stoss								
Sept. 19.	e	N	18 ^h 36 ^m 54.6 ^s	0.6	Spur	0.3	ca. 65?	Gespürt im Rheintal (Epizentrum wohl wie am 30. Aug.). S. makros. Bericht Nr. 38. P fehlt? Hohenheim gibt: eP 36 ^m 06 ^s , wohl eine Minute zu früh.			
		E	55.0								
		V	53.9								
	S	N	37 2.1	0.9	1.1						
		E	2.2								
F		ca. 39 ^m									
Sept. 20.	e?	N	0 ^h 25 ^m 48.5 ^s	0.7	Spur	0.5		Herd wie Vorhergehendes; makros. Bericht Nr. 39.			
		S?	N						0 ^h 26 ^m 1.1 ^s		
	E	25 59.3									
F		ca. 27 ^m									
Okt. 1.	eP	N	18 ^h 26 ^m 28.8 ^s	0.7	2.1	1.7	ca. 255	Nach Mitteilung der Erdbebenwarte Nördlingen haben die drei Beben vom 1. Oktober ihren Herd im Fränkischen Jura, in dem Dreieck Eichstätt-Weissenburg-Dietfurt (nördlich von Ingolstadt). Entf. 250 km. Hohenheim in Entfernung von 13,4 km gibt: iP 26 ^m 09 ^s . Differenz 20.5 Sek. gibt $v = 5.67$.			
		E	30.2								
		V	29.1								
	S	N	26 59.7	0.7	0.5						
		E	58.7	0.6							
F		ca. 29 ^m									
Okt. 1.	eP	N	18 ^h 33 ^m 0.6 ^s	0.6	0.7	0.5	ca. 255	Hohenheim gibt: iP 32 ^m 40 ^s . Differenz 20.5 Sek., $v = 5.67$.			
		S	29.5								
	?	E	28.1								
		V	31.5								
F		ca. 36 ^m									
Okt. 1.	eP	N	21 ^h 22 ^m 16.4 ^s	0.6	0.7	0.5	ca. 255	Hohenheim gibt: iP 21 ^m 58 ^s . Differenz 18.4 Sek. gibt 6.3.			
		V	16.1								
	iP	E	16.8								
		S	46.3								
	S	N	45.0								
		V	47.7								
F		ca. 26 ^m									
Okt. 26.	M	N	ca. 4 ^h 45 ^m	139	93	73	ca. 300	Herd 30–40 km westlich von Turin, am Fuss der Alpen (Entfernung 270 km). Zeitkontakt setzte kurz vorher aus! Verspürt im Norden und Westen des Piemont, dann in Ligurien, in der Riviera di Ponente bei Savona bis nach Frankreich. Auch in der Schweiz verspürt, siehe makros. Bericht Nr. 41. Hohenheim gibt: iP 44 ^m 15 ^s ; S 44 ^m 59 ^s , $d = 400 \text{ km}$; wirklich eher 440 km. Moncalieri hat iP 43 ^m 22 ^s , MNE 43 ^m 29 ^s . Diese Zeiten stimmen mit Laufzeiten von Mohorovicic, wenn für Hohenheim $d = 400 \text{ km}$ ist.			
		E									
		V									

Zürich 1914. Mitteleurop. Zeit; Mitternacht = 0^h; H = 604.2 m; Länge: 8° 34' 49.5" E; Breite: 47° 22' 7.2" N; Untergrund: Molasse sein.

Datum	Phase	M. E. Zeit	Periode	Amplitude			Epizentral- entfernung nach S-P	Bemerkungen
				N	E	V		
			s	μ	μ	μ	km	
Okt. 26.	eP	N	17 ^h 22 ^m 57.8 ^s				ca. 280	Nachbeben des vorgehenden Bebens. Moncalieri hat: iP 22 ^m 16 ^s , MN, E 22 ^m 23 ^s . Die Zeiten von Moncalieri und Z. stimmen mit Laufzeiten von M., wenn $d = 290$ km ist. $iP = \bar{P}$?
		E	22 56.8					
		V	56.9					
	iP	N	59.4	0.6	0.3			
		S	23 28.2					
		E	27.9					
	M	N	30.3	1.6		0.9		
		E	31.3	1.9	5.7	2.8		
		V	31.5	1.1		1.9		
	F	ca. 27 ^m	1.8					
Okt. 27.	iP	N	2 ^h 12 ^m 45.2 ^s	0.7	0.7		ca. 280	Nachbeben. Hohenheim hat: eP 13 ^m 07 ^s , S 13 ^m 51 ^s , $d = 400$ km. Moncalieri hat: iP 12 ^m 5 ^s , MN 12 ^m 11 ^s , ME 12 ^m 14 ^s . Hier stimmen alle beobachteten P (bezogen auf die Tafel von M.) genau zu den wirklichen Distanzen.
		E	45.1			0.5		
		V	45.0			0.9		
	S	N	13 17.2	1.8	1.8			
		E	16.1	2.2	2.8			
		V	17.2	1.1		0.9		
	M	N	19.2	1.8	10.7			
		E	19.9	1.1	8.3			
		V	19.6	1.8		5.7		
	F	ca. 19 ^m						
Okt. 27.	eP	N	10 ^h 23 ^m 16.9 ^s	0.9	0.7		400	Im ganzen Nord-Italien und fast in der ganzen Schweiz verspürt; am stärksten in der Gegend der apuanischen Alpen (Lucca), W. von Florenz, nördlich von Pisa. Entfernung 385 km. Bei PN Superposition zweier Wellenarten. Bei N-S allmählicher Uebergang von P zu S. Hohenheim (Entfernung 550 km) hat: iP 23 ^m 27 ^s gegen Z. etwas früh, gäbe $v = 16.5$ km. Moncalieri (Entfernung ca. 230 km) hat iP 23 ^m 6 ^s , S 23 ^m 26 ^s . Sv unsicher. Bei Sv Superposition zweier Wellenarten.
		E	17.5	0.7	0.4			
	iP	V	17.2	1.5		1.9		
		S	24 0.8					
	M ₁	N	23 56.5					
		E	24 0.2					
		V	24 0.2					
	M ₂	N	24 0.8		117			
		E	24 0.6		106			
		V	3.3		53			
F	N	23 46.8		108				
	E	47.4		76				
	V	24 21.4		53				
F	ca. 41 ^m							
Nov. 2.	eP	N	4 ^h 27 ^m 9.9 ^s				ca. 235?	Herd unbekannt. Unsicher. Zwei Wellenarten. " "
		E						
		V	11.8					
	S	N	36.4					
		E	36.8					
		V	34.8					
F	ca. 32 ^m							
Nov. 14.	P	N	6 ^h 50 ^m 56.7 ^s				ca. 255?	Anfang in der Minutenlücke. Gespürt im Bergell; makros. Bericht Nr. 43. Herd in den Bergamaskeralpen? Entfernung ca. 180 km. Hohenheim (Entfernung ca. 315 km) hat iP 51 ^m 18 ^s ; stimmt zu Z., gibt: $v = 6.4$ km.
		E	56.7					
		V	56.7					
	?S	N	51 23.5					
		E	25.0					
		V	27.0					
F	ca. 55 ^m							
Nov. 25.	eP	N	17 ^h 13 ^m 24.7 ^s					Zwei Wellenarten.
		E	12 48.0					
	iP	E	13 28.4	0.7		0.5		
		V	13 1.3					
	S?	N	14 11.5	2.1	0.3			
		E	17.5					
F	ca. 19 ^m							
Nov. 25.	S	N	18 ^h 52 ^m 27.2 ^s				ca. 56 ^m	Verspürt in Basel um 18 ^h 52 ^m 11 ^s . (Korrig. Zeitbeobachtung von Prof. Riggerbach.) Herd vermutlich im Wiesental (Schwarzwald), ca. 30 km v. Basel, 70 km v. Zürich. (Nach Basel, Hohenheim u. Zürich.) Hohenheim hat: eP 52 ^m 47 ^s , M 52 ^m 53 ^s , $d = 50$ km?, was als e 52 ^m 47 ^s u. S 52 ^m 53 ^s zu deuten ist? Der Anfang von P ist in H. wohl nicht aufgezeichnet, das M dürfte annähernd dem S = M in Zürich entsprechen.
		E	26.5	0.6		0.5		
		V	27.7					
	M	N	27.9	0.5	0.3			
		F	ca. 56 ^m					

Zürich 1914. 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 nach S-P	Bemerkungen
				N	E	V		
			s	μ	μ	μ	km	
Nov. 30.	eP	N	20 ^h 43 ^m 9.7 ^s				230	Gefühlt in den Nordtirolkalkalpen: Karwendelgebiet, Tuxertonschiefergebirge, Stubai und Oetztaler Alpen, Hauptschüttergebiet Gegend von Innsbruck. Entfernung ca. 215 km. Hohenheim (Entf. 230 km) gibt: eP 43 ^m 09 ^s , i 43 ^m 37 ^s , M 43 ^m 45 ^s , d = 240 km.
		E	9.1					
		V	9.4					
	iS	N	34.7	0.6	2.1			
E		35.3	0.7		2.2			
V		35.8	0.5		1.0			
	F	ca. 48 ^m						
Dez. 22.	P?	N	12 ^h 32 ^m 21.6 ^s	1.0	0.6		265	Gespürt in Salo (Brescia), nach ital. Bulletin. Entf. 250 km.
		E	21.4					
		V	21.4					
	S	N	32 51.1	0.7	2.1			
E		51.1	0.6		2.2			
	F	ca. 38 ^m						
Dez. 23.	S?	N	4 ^h 39 ^m 50.9 ^s	0.7		0.3		Gespürt in Heiden und Altstätten (St. Gallen). Makros. Bericht Nr. 46. Herd wieder im Vorarlberg: Rheintal (Götzis, Hohenems, Klaus).
		E	47.4					
		E	50.9					

Anhang.

1. Ueber die Herdtiefe des Graubündner Erdbebenschwarms 1913/14.

Bei dem Graubündner Erdbebenschwarm 1913/14 handelt es sich um 26 Erdbeben, von denen 9 einen grösseren Teil des Kantons erschütterten, während die übrigen 17 nur lokal waren. Sie verteilen sich über die Zeit vom 10. Dezember 1913 bis zum Oktober 1914, und zwar derart, dass zwei deutliche Gruppen zu unterscheiden sind; die erste besonders geschlossene vom 10. Dezember 1913 bis zum 23. Januar 1914 mit insgesamt 17 Stössen; unter diesen 4 Hauptstösse in je 1—2 Wochen Zwischenraum (10., 22., 30. Dezember, 15. Januar). Die zweite Gruppe umfasst März, April und Mai, mit mässig ausgebreiteten Erschütterungen am 7. und 8. April, und zwei stärkern am 22. und 23. Mai.

Für die in das Jahr 1913 fallenden Stösse finden sich nähere Angaben und Uebersichtskärtchen und eine besondere Karte mit Intensitätsabstufungen für den 10. Dezember im Jahresbericht 1913 enthalten. Für 1914 sind in der beigegebenen Tafel alle 7 stärkeren Beben des Schwarms nochmals nebeneinandergestellt, so dass ausser der üblichen Schüttergrenze auch noch das Gebiet eingetragen ist, in welchem die Intensität überwiegend V („allgemein gespürt“) erreichte.

Diese Erdbeben besitzen, abgesehen von ihrem an sich beachtenswerten schwarmweisen Auftreten, noch ein ganz besonderes Interesse: teils infolge eines glücklichen Geschicks, teils infolge unserer in letzter Zeit mit Ueberlegung auf ein solches Resultat gerichteten Bemühungen, sind die verschiedenen gleichzeitig geforderten Bedingungen hier, vielleicht überhaupt zum ersten Male mit der Genauigkeit verwirklicht, die erforderlich ist, um an eine annähernde Herdtiefenberechnung, oder wenigstens an die Bestimmung der Grössenordnung dieser Tiefe heranzutreten. Diese Bedingungen sind vor allem eine genaue Epizentralzeit, ferner die genaue Registrierung der Ankunftszeit der ersten und zweiten

Erschütterungsphase an einer nicht zu weit entfernten Station, das Verhältnis der Geschwindigkeit dieser Phasen und endlich die verhältnismässig genaue Kenntnis der Entfernung vom Epizentrum bis zur Station, ebenso wie angenäherte Kenntnis der Geschwindigkeit der Wellen und ihrer Zunahme mit der Tiefe.

Für die Berechnung wollen wir vorläufig von einer Zunahme der Geschwindigkeit mit der Tiefe absehen und ausgehen von zwei einfachen Formeln, die ich schon früher abgeleitet habe. (S. Jahresbericht 1912 und Beitrag zur Geophys. XIII 1913, S. 148.) Die eine geht aus von dem

Eintreffen von P in zwei herdnahen Stationen und lautet, wenn die eine Epizentraldistanz gleich null gesetzt wird, und T die Zeitdifferenz des Eintreffens von P am Epizentrum E und an der äussern Station Z bedeutet, und v die wahre Geschwindigkeit der P, und d die Epizentraldistanz von der Station ist: (Siehe obenstehende Figur 1, wo M resp. N die

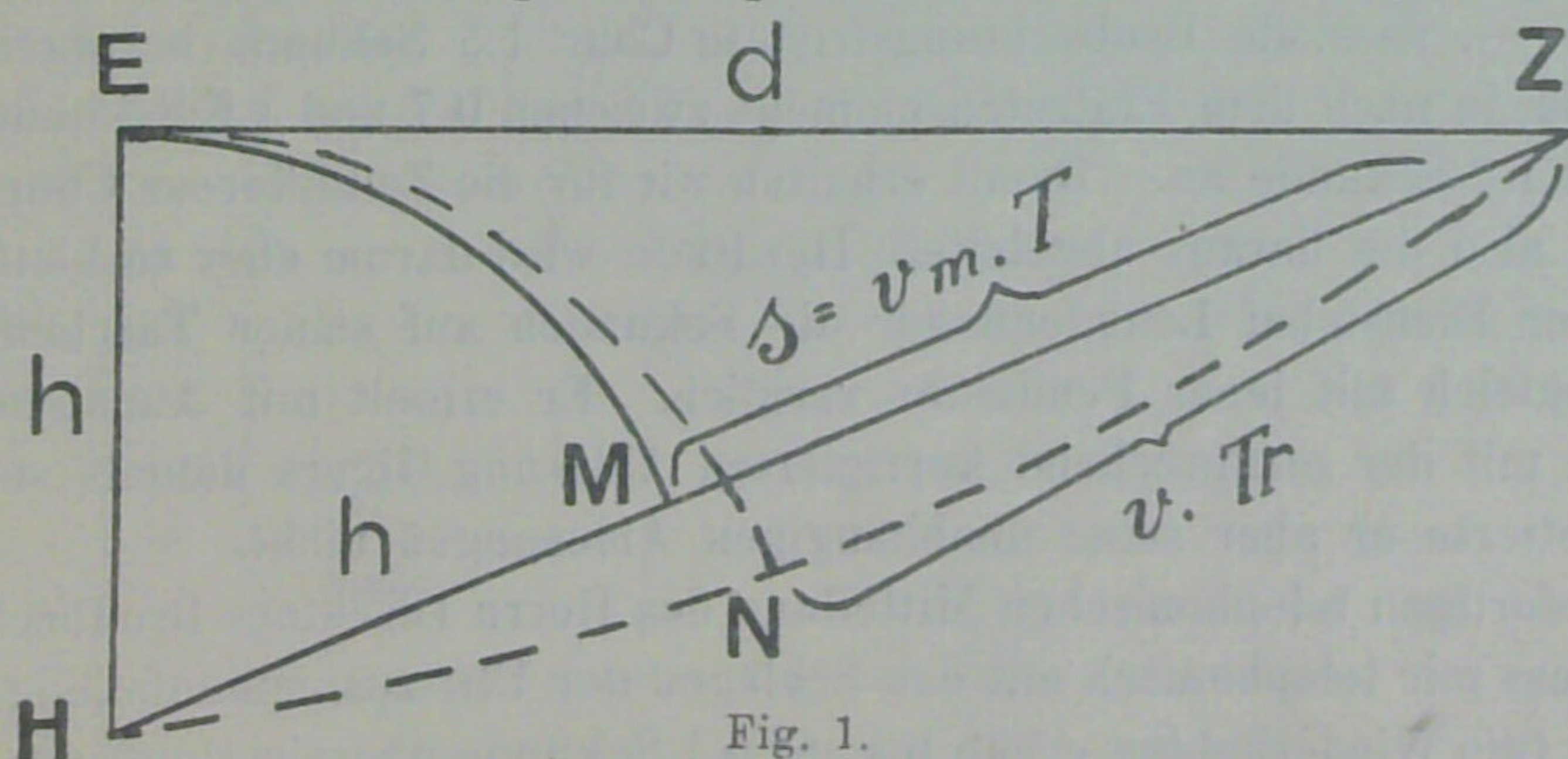


Fig. 1.

Lage der von H aus nach Z gehenden P -Welle in dem Moment darstellt, wo dieselbe Wellenoberfläche das Epizentrum E erreicht; MZ ist der Weg für konstante, NZ für mit der Tiefe wachsende Geschwindigkeit).

$$\text{Herdtiefe } h = \frac{d^2 - v^2 T^2}{2vT}. \quad (1)$$

Die andere Formel geht aus von der Zeitdifferenz $S-P$ des Eintreffens der ersten und zweiten Phase in der äusseren Station Z . Wenn das Verhältnis der Geschwindigkeiten v_1 und v_2 dieser beiden Wellen (die wir vorläufig als Longitudinal- und Transversalwellen deuten) nur konstant und bekannt ist, so ergibt sich ebenfalls eine Beziehung zur Herdtiefe, nämlich:

$$h = \sqrt{\frac{v_2^2 \cdot (S-P)^2}{\left(1 - \frac{v_2}{v_1}\right)^2} - d^2}. \quad (2)$$

Anstatt in Formel (1) plausible Werte für das direkt nicht gegebene v einzusetzen (z. B. den von Mohorovicic wahrscheinlich gemachten von 5,55 km), können wir diesen Wert, wenn entsprechende Beobachtungen vorliegen, auch aus der Gleichsetzung von (1) und (2) bestimmen; es ergibt sich eine homogene Gleichung des vierten Grades, welche lautet:

$$x^4 (T^4 - 4AT^2) + x^2 2d^2 T^2 + d^4 = 0.$$

$$\text{Die Lösung lautet } x = v_1 = d \sqrt{\frac{-T \pm 2\sqrt{A}}{T(T^2 - 4A)}}, \quad (3) \quad \text{wobei } A = \left(\frac{v_2}{v_1} (S-P)\right)^2.$$

Dieser Wert ist für die Berechnung von h wiederum in (1) einzusetzen. — Da nun das Resultat nur dann einen Wert hat, wenn für die in die Rechnung eingehenden Grössen in unserm Fall eine ungewöhnliche Genauigkeit nachgewiesen werden kann, so müssen wir uns zunächst ausführlich mit diesem Nachweis beschäftigen.

a) Die Genauigkeit der Epizentralzeit. Die betreffende Zeitbeobachtung ist im Telegraphenbureau Chur durch Telegraphist Giger an einer dort befindlichen Pendeluhr mit Sekundenzeiger gemacht worden. Sehr wichtig ist der Umstand, dass die Beamten — abgesehen von der Aufmerksamkeit, welche durch die verschiedenen kurz vorhergegangenen Erdbeben neu geweckt worden war — auf die Wichtigkeit genauer und schneller Ablesung der Sekunden kurz vorher ausdrücklich aufmerksam gemacht worden waren infolge von verschiedenen Korrespondenzen wegen einer schon am 22. Dezember 1914 im selben Bureau gemachten Zeitablesung, infolge wovon seither dort auch tägliche Zeitvergleiche mit dem Berner Zeitsignal gemacht und notiert wurden. Noch unterm 13. Januar, nur zwei Tage vorher, hatte ich Herrn Telegrapheninspektor Brodbeck, dessen freundliches Interesse für die Sache mir bekannt war, nochmals zuhause den Beamten ganz ausführlich über die Wichtigkeit solcher ganz genauer Beobachtungen wegen ihrer eventuellen Bedeutung für die Herdtiefenbestimmung geschrieben. Die psychologischen Vorbedingungen für eine schnelle und sichere Ablesung waren also die denkbar günstigsten. Der Beobachter bestätigt wiederholt: Empfinden des ersten Stosses und Ablesen des Sekundenzeigers „den ich beim Aufblicken direkt sehen konnte und dessen Ablesung mir geläufig war“, war sozusagen ein Gedanke! Das Lokal befindet sich im zweiten Stock; bei der allgemeinen Intensität des Stosses ist also nicht zu befürchten, dass sein Beginn übersehen worden sei; er wurde vom ganzen Personal gespürt. Das Eintreten wird übrigens als ganz plötzlich angegeben. Vom Beginn des Stosses bis zum Augenblick, wo der Beobachter den Stand des Sekundenzeigers fixieren konnte ($10^h 56^m 02^s$ a), sollen nach übereinstimmenden Aussagen höchstens $1-1\frac{1}{2}$ Sekunden verfließen sein. Eine Anzahl Versuche, die nachträglich mit verschiedenen disponierten Beobachtern unter ähnlichen Voraussetzungen seelischer Vorbereitung von mir durchgeführt worden sind, ergab für Ablesungen an einer entsprechenden Pendeluhr mit springendem Sekundenzeiger folgendes: Die vom vorher anderswie beschäftigten, den Erschütterungsmoment nicht voraussehenden Beobachter beanspruchte Frist schwankte zwischen 0.6 und 1 Sekunden; nimmt man letztern Wert als benötigte Frist an, so ergibt sich eine mittlere Korrektur von -0.7 Sekunde, schwankend zwischen -0.2 und -1.1 Sekunden. Nimmt man aber für den wirklichen Fall an — der doch etwas weniger vorbereiteten Situation, und der von dem dortigen Beobachter ausdrücklich angegebenen Höchstgrenze Rechnung tragend —, dass die Beobachtungsfrist in Chur 1.5 Sekunde betragen habe, so ergibt sich eine mittlere Korrektur von 1.2 Sekunde, je nach dem Eintretensmoment zwischen 0.7 und 1.6 Sekunde schwankend. Wir nehmen für die Rechnung die Korrektur 1.2 Sekunde an. Damit erhalten wir für die Zeitdifferenz Chur-Erdbebenwarte einen Betrag, der eher etwas zu hoch ist; also die daraus abgeleitete Herdtiefe wird darum eher zu klein als zu gross ausfallen. Es sei hier noch erwähnt, dass der Dienstchef Lenggenhager die Sekunden auf seiner Taschenuhr ebenfalls so schnell als möglich nachsah und diese sogleich mit jener Pendeluhr verglich. Er erhielt mit Annahme der wahrscheinlichsten Verzögerung von 2 Sekunden einen mit der entsprechend korrigierten Ablesung Gigers damals sogleich als übereinstimmend erkannten Moment. Leider notierte er aber seine unabhängigen Ablesungen nicht.

Die Korrektur der Uhr selbst konnte dank der sofortigen telephonischen Mitteilung des Herrn Direktors Brodbeck schon 24 Minuten nach dem Stoss bestimmt werden; ich liess mir telephonisch mit den Schlägen der Uhr zusammenfallende Signale geben, die ich auf meinen Taschenchronometer bezog (die Wiederholung ergab bis auf 0.1 Sekunde übereinstimmendes Resultat). Den Chronometer (dessen Gang in der Stunde, $-0^s 25$, kontrolliert und berücksichtigt ist) verglich ich in den folgenden 20—30 Minuten mit dem Pariser Zeitsignal und der Hauptuhr der Sternwarte, welche ihrerseits gleichzeitig chronographisch mit der Kontaktuhr der Erdbebenwarte verglichen wurde. So ist der Stand der Churer Beobachtungsur

definitiv ($+3^s8$ nach Zürich) mit einer Genauigkeit von 0,1 Sekunde auf die Zeit der Registrierung bezogen. Wie wichtig es in diesem Fall war, es nicht etwa beim Vergleich mit dem Pariser Zeitsignal oder gar dem am selben Morgen in Chur schon ausgeführten Vergleich mit dem Berner Telegraphensignal bewenden zu lassen, zeigt die Tatsache, dass nach Paris (nach Anbringung der von Potsdam bestimmten Korrektur von -0^s1) sich der Stand $+4^s7$, und nach dem Berner Signal von $+3^s$ ergeben hätte. Der Fehler von 1 Sekunde, der dadurch unbewusst in die Zeitdifferenz Chur-Erdbebenwarte hineingetragen worden wäre, hätte das Ergebnis der ganzen Untersuchung stark in Frage gestellt. Auf welche Zeit schliesslich alles bezogen wird, ist an sich gleichgültig; mit Rücksicht auf die hier zwei Wochen lang Zeitbestimmungen verhindernde Witterung und eventuellen Anschluss an andere Erdbebenwarten wurde in diesem besondern Fall damals Paris gewählt. Als Eintrittszeit in Chur folgt nach Anbringung aller Korrekturen $10^h56^m5^s5$. Den wahrscheinlichen Fehler dieser Zeit schätze ich zu $\pm 0^s5$. Nun liegt Chur aber nicht im Epizentrum, sondern nach der folgenden Feststellung ca. 12 km davon entfernt. Mit Berücksichtigung der annähernden Herdtiefe folgt daraus eine Korrektur von -0^s3 auf wirkliche Epizentralzeit; diese wird dann $10^h56^m5^s2$. Die Ankunftszeit in Zürich für *Pe* wird von allen drei Komponenten übereinstimmend um $10^h56^m15^s6$ registriert.

b) *Die Lage des Epizentrums.* Es scheint angebracht, hier zunächst ausdrücklich festzustellen, dass allen diesen Ueberlegungen die stillschweigende Annahme zugrunde liegt, dass der Sitz der primären Bewegung, das Hypozentrum, von relativ geringer Ausdehnung sei (höchstens wenige Kilometer), und dass der Ort des Anfangs der Erschütterung (auf welchen sich die Zeitbeobachtungen beziehen) nicht wesentlich verschieden sei vom Ort der stärksten Erschütterung, die wesentlich die Karte der makroseismischen Intensitäten bestimmt. Dass für ein gegebenes Erdbeben diese Orte nicht praktisch zusammenfallen, sondern wesentlich auseinanderliegen können, sind vielleicht Anhänger der neuerdings wieder in den Vordergrund geschobenen, für gewisse Erdbeben übrigens bewiesenen Auffassung einer primären Bewegung längs ausgedehnten seismotektonischen Linien zu betonen bereit. Der Nachweis einer solchen wesentlichen Verschiedenheit wäre ebenso interessant, wie er schwierig zu leisten wäre; es müsste dies geschehen entweder durch den Vergleich vorzüglicher makroseismischer Beobachtungen mit sehr genauen Zeitregistrierungen mehrerer sehr günstig gelegener Observatorien, oder dann mit Azimutbestimmungen von bisher nicht erreichter Zuverlässigkeit ebenfalls an mehreren nahe gelegenen Observatorien.

Vorläufig haben wir aber keinen Anlass, in unserm Fall den Ort der ersten Auslösung und den Ort der stärksten Erschütterung nicht praktisch zusammenfallen zu lassen. Zur Bestimmung des Epizentrums wurden die makroseismischen Beobachtungen der Erdbeben vom 10., 22. und 30. Dezember 1913 und vom 15. Januar, 22. und 23. Mai verwertet, mit der Voraussetzung, dass das Epizentrum sich nicht wesentlich und nicht erheblich einseitig verschoben habe, jedenfalls erheblich weniger, als der Fehler einer Epizentralbestimmung aus einem der Erdbeben betragen muss.

Dieser Fehler dürfte übrigens so klein sein, als es bei einer solchen Gegend und bei dieser Art von Grundlagen überhaupt möglich ist. Denn die Erkundigungen sind von uns nach der neuen Methode ganz systematisch bei allen politischen Gemeinden des Gebietes eingezogen und ergänzt worden, so dass wir über insgesamt 618 positive und negative, zum grössten Teil jeweilen wiederum die Beobachtungen mehrerer Personen zusammenfassende Berichte verfügen, welche ein Material von einer von uns früher nicht erreichter Homogenität und Vollständigkeit derselben. Von fast allen angefragten Behörden und Privaten des Gebietes (besonders Graubündens) haben wir — was mit Dank hervorgehoben sei — zuverlässige Antwort bekommen (was von Kulturkantonen des schweizerischen Mittellandes in ähnlichen Fällen bis jetzt nur mit mehr Vorbehalten gesagt werden könnte).

Zur Bestimmung des Epizentrums schien es bei der Art der Verteilung der höchsten Intensitätsgrade (5—6) nicht rationell, diese zugrunde zu legen. Vielmehr ging ich aus von den Begrenzungslinien des makroseismischen Gebietes (die auch durch viele negative Berichte garantiert sind), so wie ich sie schon früher, ohne Rücksicht auf diesen besondern Zweck, möglichst plausibel gezogen hatte. Nur einen Fall nahm ich aus, wo die Bewegung infolge der Ausdehnung auf ausländisches Gebiet nicht so sicher bestimmt scheint. Es wurden nun nach geeigneter Methode die Schwerpunkte dieser Gebiete bestimmt. Sie fallen alle in das Domleschg, das sich auch nach den stärksten Graden schon früher als Epizentralgegend empfohlen hatte, und zwar der Reihe nach in der Entfernung von der Erdbebenwarte Zürich: 91,5, 91,0, 92,5, 91,5, 95,5, 95,5 km. Ihr gemeinsamer Schwerpunkt fällt auf das Dorf Tomils, (Koordinaten: $46^{\circ}46' N$, $7^{\circ}6' E$ v. Gr.). Dieser Ort wurde als Epizentrum angenommen, er liegt $S_{45}^{\circ}W$ von Chur, in 12 km Entfernung.

Erst nachdem dies festgelegt war, wurden auch alle zwischen die grossen Erschütterungen fallenden Meldungen kleiner Stösse zusammengestellt, und da ergab sich denn, dass ausser Chur (welches infolge der Bevölkerungsdichte hundertfach zu grosse Chancen hat und deshalb ausscheidet) kein Ort so häufig vorkommt als gerade Tomils: eine wertvolle Bestätigung! Die angenommene Epizentraldistanz unserer Erdbebenwarte (93 km) dürfte auf 2 km zuverlässig sein.

c) *Die Ankunfts-differenz der ersten und zweiten Phase (S—P).* Wir identifizieren diese deutlichsten Phasen von Nahebeben gewöhnlich mit den direkten longitudinalen und den direkten transversalen Wellen. Deutliche Einsätze liefern der 10. und 22. Dezember 1913 und der 15. Januar 1914. Die übrigen lassen keine sichere Feststellungen zu. Die

Graubündner Erdbeben scheinen überhaupt verhältnismässig schwach aufgezeichnet zu werden. In der folgenden Zusammenstellung der $S-P$ sind die eingeklammerten Werte etwas weniger deutlich und deshalb nur halb gezählt; die übrigen deutlich.

Komponente.	10. Dezember			22. Dezember			15. Januar			Mittel
	N.	E.	V.	N.	E.	V.	N.	E.	V.	
$P-S$ Sek.	(11.4)	11.9	(12.3)	11.2	11.6	(12.0)	11.5	11.8	—	11.7 Sek.

Diese Werte sind den früher gemachten, sehr sorgfältigen, aber unbefangenen Ablesungen entnommen. Ihre Ueberinstimmung ist so gut, als es irgend denkbar ist. Sie beweist eine grosse Uebereinstimmung der verschiedenen Stösse bezüglich der Entfernung und Herdtiefe. Das Mittel, 11.7 Sek., dürfte auf $\pm 0^s 2$. zuverlässig sein.

d) *Das Verhältnis der Geschwindigkeiten von P- und S-Phase.* Selbst ohne etwas über die Natur dieser Phasen auszusagen, können wir doch ihr Geschwindigkeitsverhältnis feststellen; denn es sind dieselben Phasen, für welche wir beim Grencher Tunnelbeben einwandfrei den Wert $V_P:V_S = 1.70$ gefunden haben. (S. Bericht für 1913.) Diesen Wert wenden wir jetzt an. Es ist genau derselbe, welchen, wie ich seither sah, auch Mohorovicic für Nahebeben gefunden hat.

e) *Berücksichtigung der Geschwindigkeitszunahme mit der Tiefe.* Eine vorläufige Rechnung auf Grund der im Vorhergehenden ermittelten Werte führt zu einer mittleren Geschwindigkeit von ca. 6 km/Sek. und einer Herdtiefe der Grössenordnung von 30—40 km. Da uns nun die Untersuchung der Grencher Tunnelbeben gezeigt hat, dass die Geschwindigkeit in den obersten 1—3 Kilometern zu etwa 5,25 km/Sek. anzusetzen ist, so ergibt sich eine erhebliche (vorläufig linear anzunehmende) Zunahme der Geschwindigkeit mit der Tiefe mit einem Gradienten der Grössenordnung $a = 0,04$ pro Kilometer, und einem Krümmungsradius der seismischen Strahlen von ca. 150 km ($r = \frac{vm}{a} \cdot \frac{1}{\sin i}$, wo i der mittlere Winkel des Strahls mit der Vertikalen ist). Dadurch verlieren die Formeln (1) und (2) ihre strenge Gültigkeit, welche auf der Annahme konstanter Geschwindigkeiten beruht, während die wirklich beobachteten Werte T_r und $(S-P)_r$ gekrümmten, in der Tiefe schneller laufenden Strahlen entsprechen. (Fig. 1.) Man kann aber doch an jenen einfachen Formeln festhalten, wenn man für die beobachteten Werte T_r und $(S-P)_r$ solche Korrekturen berechnet, welche daraus die fiktiven Werte machen, die beobachtet worden wären, wenn die Voraussetzung der Formel erfüllt, d. h. wenn die mittlere Geschwindigkeit in der ganzen Schicht konstant gewesen wäre. Diese korrigierten, fiktiven Werte werden statt der beobachteten in die Rechnung eingeführt. Für die vorliegenden Bedingungen setzt sich die Korrektur für T aus zwei Beträgen zusammen, dem einen $+ 0^s 21$, welcher angibt, um wie viel schneller die Welle auf dem gekrümmten Weg in Zürich ankommt als auf geradem Weg bei konstanter Geschwindigkeit; den andern ($- 0^s 05$), welcher angibt, um wie viel später die Welle im Epizentrum ankommt, wenn die gegebene mittlere Geschwindigkeit nach oben linear abnimmt, als wenn sie konstant wäre. Die gesamte Korrektur beträgt also $+ 0^s 16$. Der Betrag, um welchen die fiktive Differenz $S-P$ für konstante Geschwindigkeit grösser wird als das beobachtete $S-P$, ist $(n-1) 0^s 21 = + 0^s 14$. Diese Korrekturwerte sind gerechnet für eine Herdtiefe von 36 km, eine mittlere Geschwindigkeit von 6,08 km und einen Gradienten von 0,046 km/Sek. Dies gibt einen Krümmungsradius von 138 km; die endgültigen Werte geben eine kleinere Krümmung, also eine Verminderung der Korrekturwerte, die aber nicht mehr in Betracht kommt.

Rechnet man mit den oben angegebenen Werten $d = 93$ km, fiktives $T = 10^s 4 + 0^s 16$, fiktives $S-P = 11^s 7 + 0^s 14$, so folgt eine Herdtiefe von 37,8 km, eine mittlere Geschwindigkeit von 5,93 km und ein linearer Gradient (bei 5,25 km Grenz-Geschwindigkeit) von 0,036 km — was eher der Annahme von Benndorf als von Mohorovicic entspricht.

Verändert man obige drei Grössen um den Betrag des wahrscheinlichen Fehlers, und zwar alle in dem Sinne, dass die Herdtiefe kleiner wird (also $d = 91$ km, $T = 11^s 1$, $S-P = 11^s 6$), so folgt für die Herdtiefe 31,5 km, für die mittlere Geschwindigkeit 5,82 km. Vergrössert man in diesem letztern Fall den Wert für T um weitere 0.5 Sekunde, was auf die sicher extreme Annahme einer Beobachtungsfrist von 2.5 Sekunden für Chur hinauskommt, so folgt immer noch eine Herdtiefe von 28,6 km, was als kleinster mit den vorliegenden Daten und Einsichten zu vereinigender Wert zu betrachten ist.

Als Bestätigung muss hier eine frühere Zeitbeobachtung in Chur, auf demselben Telegraphenbureau, herangezogen werden, auf Grund welcher ich Herrn Direktor Brodbeck schon am 13. Januar 1914 schrieb, es ergebe sich eine Herdtiefe der Grössenordnung von 20 km. Der Umstand, dass nur eine Vergleichung mit dem Bernersignal stattfand, und dass auch andere Bestimmungsstücke dieser Erdbeben damals noch weniger sicher schienen, als es seither der Fall ist, und auch der Zeitmangel liess mich damals den Versuch einer genauern Durchrechnung zurückstellen. Jetzt muss aber darauf zurückgegriffen werden. Die Daten sind folgende: Uhrablesung $12^h 38^m 30^s p$; Schätzung der Verzögerung durch den Beobachter: „nicht mehr als 1 Sekunde“. Angenommene Frist um $0^s 5$ grösser als am 15. Januar, da es das erste beobachtete Erdbeben war, Korrektur 1.7 Sekunde. Uhrkorrektur nach Bernersignal an diesem und folgenden Tagen: $- 7$ Sekunden. Gibt reduzierte Zeit für Chur $12^h 38^m 21^s 3$, und Epizentralzeit $12^h 38^m 21^s 0$. Ankunft der P in Zürich $12^h 38^m 31^s 5$. Zeitdifferenz $T = 10.5$ Sekunden (mit einem wahrscheinlichen Fehler von ca. ± 1 Sekunde), womit der Betrag für 15. Januar (10,4 Sekunden) zufällig fast absolut genau stimmt. Jedenfalls hat das einzige Bestimmungsstück das nur auf einer einzelnen, nachträglich doch nicht mehr mit aller Schärfe kontrollierbaren Feststellung beruhte,

durch die vorzügliche Uebereinstimmung mit der Beobachtung vom 22. Dezember 1913 an Wahrscheinlichkeit noch erheblich gewonnen. Eine Herdtiefe von weniger als 30 km erscheint schon unwahrscheinlich, ebenso wie eine solche über 45 km.

Als wahrscheinlichsten Wert haben wir zu betrachten eine Tiefe von 37 km mit einem wahrscheinlichen Fehler von ± 6 km. Diese Zahlen sind aber vorsichtigerweise doch nur im Sinn einer Grössenordnung zu nehmen.

Kontrolle der Herdtiefe aus Doppelstoss-Beobachtungen. Bei Gelegenheit des Bebens der schwäbischen Alb vom 20. Juli 1913, konnte ich in Zürich selbst so deutlich die beiden Phasen beobachten, dass ich sie sofort als P und S notierte und die vermutliche Epizentraldistanz dazu schrieb; die Registrierung bestätigte auf die Sekunde meine Phasenauffassung.

Es lässt sich nun erwarten, dass diese beiden im Seismogramm wie für die Wahrnehmung an der Peripherie so deutlichen Phasen auch im Epizentralgebiet selbst auftreten und dem Beobachter auch dort auffallen müssen. Wenn dieser also eine Trennung der Erschütterung in Abschnitte feststellen kann, so müssten es deren vorwiegend zwei sein, und die Zeitdifferenz zwischen dem Anfang der beiden müsste gleich $S-P$ sein; diese Zeitdifferenz müsste dann ein vorzügliches Mittel zur Schätzung der Herdtiefe abgeben, nach der Formel $h = \frac{v_1(S-P)}{0.7}$. In Voraussetzung einer solchen

Möglichkeit habe ich in die neuen Fragekarten von Anfang an zwei bezügliche Fragen aufgenommen, und es zeigte sich bei den Graubündnerbeben, dass, wenn mehrere deutlich getrennte Stösse unterschieden werden, es deren fast immer zwei sind, und dass die geschätzte Zwischenzeit durchaus von der hier in Frage kommenden Grössenordnung ist. Nur würden bei unmittelbarer Verwendung die Herdtiefen um ca. $\frac{1}{3}$ kleiner werden. Es haben mir aber zahlreiche mit Personen verschiedener Vorbildung und verschiedenen Temperaments angestellte Versuche gezeigt, dass bei überraschend eintretenden Doppelschlägen oder Stössen in Betracht kommendem Intervall diese Zwischenzeit ausnahmslos merklich unterschätzt wurde, und zwar gewöhnlich um 1—2 Sekunden, im Mittel um 1.5 Sekunde. Wir werden also der Wirklichkeit wesentlich näher kommen, wenn wir diese Korrektur an diese Beobachtungen anbringen. Solche Epizentralbeobachtungen eines Doppelstosses liegen vor für den 22. Dezember von Versam, Parpan, Zillis (Tomils „rasch aufeinander“ ebenso Thusis); das Mittel ergibt direkt 2—3 Sekunden, korrigiert 3.8 Sekunden. Herdtiefe: 32,5 km. Für den 15. Januar liegen solche zahlenmässige Angaben vor von Thusis, Cazis, Bonaduz, Ems (ausserdem Angabe von Doppelschlägen, nur mit Erwähnung „kurzer“ Zwischenzeit, von Zizers und Reichenau). Das direkte Zeitmittel ist 2.4 Sekunden, das korrigierte 3.9 Sekunden, die Herdtiefe 33,4 km. Die Uebereinstimmung der beiden Werte unter sich ist zufällig vollständig, und auch mit dem oben ermittelten Wert 37 ± 6 km ist sie völlig befriedigend.

Schlussbemerkungen. Eine zweite Herdtiefenbestimmung, die sich auf ähnlich genau gemessene, in sich übereinstimmende Unterlagen gründet, ist uns nicht bekannt; diese hier dürfte also von Wert sein. Es ist uns selbst auch fraglich, ob sich in unserm eigenen, zukünftigen Material so bald die Bestimmungsstücke wieder zusammenfinden werden. Unter diesen dürfte, wenn einmal das Graubündner Gebiet wieder aktiv wird, der demnächst in Chur an der Kantonsschule in Tätigkeit tretende Seismograph (eine etwas modifizierte Komponente des 100 kg-Pendels) eine wichtige Rolle spielen.

Verschiedene Fragen drängen sich hier angesichts unseres Wertes für die Herdtiefe auf; vor allem die nach der Beziehung zur Tektonik; darauf einzutreten würde hier zu weit führen. Nur das scheint sich ohne weiteres zu ergeben, dass eine Beziehung zum oberflächlichen Detail ausgeschlossen ist; und dass man, will man überhaupt eine Beziehung zum Alpenbau annehmen, erkennt, *wie tief hinab mindestens die durch die Alpenbildung bedingten Störungen reichen müssen.* Man erkennt, wie gewisse Versuche (Niethammer, Heim) die von der Oberfläche aus erkennbaren tektonischen Verhältnisse in Beziehung setzen zu wollen zu den Schwerestörungen, und daraus auf die Tiefentektonik zu schliessen, vielleicht auch Ergebnisse wie die unsrigen werden beiziehen können, sobald solche durch wiederholte Fälle sicherer gestellt sind.

Es sei hier noch kurz auf den Typus der Zwillingsbeben aufmerksam gemacht, auf den Ch. Davison für die von ihm ungemein sorgfältig bearbeiteten Erdstösse in England als eine recht häufige Erscheinung hingewiesen hat. Es handelt sich um das dort sehr oft beobachtete Auftreten von Doppelschlägen mit wenigen Sekunden Intervall; Davison deutet sie als mehr oder weniger gleichzeitig ausgehend von zwei auf derselben (oft hypothetischen) Verwerfung liegenden Erregungsstellen („Herden“), die aber 10—20 km voneinander getrennt wären. Diese Hypothese dürfte nun wohl zu revidieren sein vom Standpunkte unserer Anschauung, dass im Epizentralgebiet die häufige Wahrnehmung zweier Stösse auch dann direkt zu postulieren ist, wenn die Erregung eine einheitliche war. Was diese letztere Anschauung betrifft, wäre in Zukunft Wert zu legen auf eventuelle Feststellungen von Beobachtern, ob die beiden Stösse einen verschiedenen Charakter haben, wie man es erwarten sollte und wofür schon einige Angaben vorliegen.¹⁾ Klare Feststellungen darüber werden übrigens nur ausnahmsweise erhältlich sein.

Schliesslich darf nicht unerwähnt bleiben der bei allen drei deutlich registrierten Graubündner Beben aufgetretene Einsatz in dem ersten Vorläufer, 2—2.5 Sekunden nach P . Nach der Anschauung von Davison wäre dies gerade eine Stütze für die Annahme eines Zwillingsbebens oder doch eines primären Doppelstosses; dann wären auch die Beobachtungen im Epizentralgebiet entsprechend zu deuten, und ihre Verwertung für eine Tiefenbestimmung würde dahin-

¹⁾ Dies wird mir von dem Vulkanologen J. Friedländer für süditalienische Beben bestätigt.

fallen. Aber es kann in diesem Einsatz — und sein regelmässiges Auftreten scheint uns das nahe zu legen — auch eine in einer geringen Tiefe reflektierte Welle im Sinne Mohorovicics gesehen werden (eine Tiefe von ca. 55 km würde der Zeitdifferenz Genüge tun). Dieser spätere Einsatz wäre dann, da er in dieser Herdnähe (in welcher man ihn allerdings bisher noch nie festgestellt hat) nach den direkten Wellen \bar{P} ankommen muss, als P zu bezeichnen, welches sonst bei Distanzen über 160 km den Anfang des Bebens bildet. Man kann diesen Einsatz aber auch als einen auf die Anisotropie der obern Erdschichten zurückzuführenden Wellenzug ansehen; in diesem Fall müsste seine Bezeichnung \bar{P} bleiben. Bei der Annahme der Anisotropie dürfen, wie Hecker betont, die Bezeichnungen P und S zwar nicht mehr als reine Longitudinal- und Transversalwellen gedeutet werden; sie können aber sehr wohl einfach als gewisse Phasenbezeichnungen weiter gebraucht werden. Da man ihr Geschwindigkeitsverhältnis (welches übrigens eben doch sehr nahe dem für reine P - und S -Wellen geforderten ist) als konstant und empirisch festgestellt bezeichnen darf, wird an der Verwendbarkeit für die Herdtiefenbestimmung durch diesen Vorbehalt nichts Wesentliches geändert.

Schliesslich sei noch berührt eine *Beziehung, welche bestehen muss zwischen der Herdtiefe und der Verteilung der Intensität an der Oberfläche*. Für eine Berechnung dieser Beziehung müsste bekannt sein das Verhältnis der Beschleunigungswerte, die bestimmten Graden unserer Forel'schen Intensitätsskala entsprechen; ferner müssten Anhaltspunkte über den Betrag und die Art der Absorption der Erdbebenwellen vorliegen. Für den ersten Punkt lässt sich für zwei aufeinanderfolgende Gradwerte (in der Region III, IV, V, VI) der Wert 0.7 ableiten aus einer Tabelle bei Knott¹⁾, der sich auf empirische Aufstellungen von Omori und Holden stützt. (Für die Mercalli-Cancani'sche Skala nimmt Kövesligethy entsprechend nur das Verhältnis 0.5 an!).

Die Absorption sei zunächst vernachlässigt; dann folgt, dass für diejenige Epizentraldistanz, die gleich der Herdtiefe ist, die Beschleunigung Gr in jener Zone ($\sqrt{2}:2$) mal kleiner als diejenige Ge am Epizentrum sein muss, d. h. gerade um den Betrag eines Skalengrades geringer. In unserem Fall wäre diese Distanz ca. 20 km. Nimmt man ohne Rücksicht auf verschiedene Wellenarten einen Transmissionskoeffizienten q an, so folgt entsprechend die Beziehung $Gr = \frac{\sqrt{2}}{2} \cdot q^{0.41} \cdot Ge$. Setzt man q willkürlich für eine Schichtdicke gleich der Herdtiefe gleich 0.5, so wird $Gr = 0.52 Ge$, was zwei Skalengraden entspricht; diese Abnahme wird in unserm Fall in 20—25 km, bei andern Stössen desselben Schwarms in 25—30 km vom Epizentrum angetroffen, welche letztere Zahl also die Grössenordnung der Herdtiefe angeben würde. Doch soll auf diese Zahlen kein Gewicht gelegt werden; denn abgesehen von der sonstigen Unsicherheit der Rechnungs-Unterlagen nimmt die aus den Beobachtungen sich ergebende Intensität von dem Grad IV nach auswärts so schnell ab, dass für eine Herdtiefe der oben angenommenen Grössenordnung eine noch viel stärkere Absorption, als oben eingesetzt, folgen würde. Dies steht möglicherweise im Zusammenhang damit, dass eine selektive Absorption stattfindet, da tatsächlich die Wellen der P -Phase ja sehr viel schneller abklingen als die der S -Phase, weshalb denn auch spürbare Doppelstösse bei schwächern Erdbeben an der Peripherie nicht mehr zu erwarten sind.

2. Die Ausbreitung des Kanonendonners aus dem Sundgau, Weihnachten 1914.

Bei der Untersuchung der Schallausbreitung der Dynamitexplosion an der Jungfrau 1908, die s. Z. an dieser Stelle erschienen ist, hatte ich eine Erklärung gegeben, die beruhte auf der Anschauung von Stokes, die Mohn und Meinardus näher ausgeführt haben. Diese Anschauung ist kurz gesagt folgende:

Im allgemeinen müssen die Schallstrahlen durch die meist vorhandene Temperaturabnahme mit der Höhe von der Erde weg gebrochen werden. Darum hört man meist den Schall nicht so weit, als man erwarten dürfte. Hinwiederum muss eine Zunahme der Windstärke mit der Höhe (welche die Regel bildet) bewirken, dass die Schallfront gewissermassen aus geometrischen Gründen herumgeschwenkt wird, so dass der Schall unter Umständen nach Ueber-springung eines Zwischengebiets (der „Schweigenszone“) mit dem Winde wieder den Erdboden erreicht, und in grosser Entfernung ein Gebiet „abnormaler“ Hörbarkeit bildet.

Ein anderer, 1910 von v. d. Borne unternommener, Erklärungsversuch bestreitet diese Wirkung des Windes, lässt jenes Herumschwenken der Schallstrahlen in ausserordentlich grossen Höhen in einer den Schall viermal schneller leitenden hypothetischen Wasserstoffzone erfolgen, deren Existenz schon von Hann wahrscheinlich gemacht, von A. Wegener noch näher begründet und mit ihrer untern Begrenzung in etwa 70 km Höhe gelegt wird.

Es ist von Interesse, zunächst einmal in der Zeichnung die Wege darzustellen, welche vom Schall nach den beiden Erklärungsweisen zurückgelegt werden; dies erscheint um so eher angebracht, als von solchen, die sich mit der Diskussion dieser Frage befassen, das eigentliche Prinzip der ersten Erklärungsweise zum Teil übersehen oder miss-

¹⁾ The Physics of Earthquake Phenomena, Oxford 1908, pag. 39. Die absoluten Werte der Kolonne 1 (Ratio of the Acceleration...) sind dort übrigens gegenüber Kolonne 2 und 3 (Amplitudes) offenbar 10mal zu gross; diese beiden letztern wiederum sind etwa 10mal grösser als die Werte, die wir selbst bestimmten (für II und III) und die von anderer Seite angegeben werden. — Man findet dort andere rechnerische Ueberlegungen über die Beziehung zwischen Herdtiefe und Oberflächenintensität zusammengestellt, die aber in unserm Fall nicht wohl anwendbar sind, und übrigens in bezug auf die Einführung der Horizontalbeschleunigung nur an der Peripherie gelten.

verstanden zu sein scheint¹⁾, indem nur mit scharfen Reflexionen an Schichten mit Windsprüngen, statt auch mit stetigem Herumbiegen, als Funktion einer ebenfalls stetigen Windzunahme mit der Höhe gerechnet wird.

In den Figuren A, B, C, D der Tafel II habe ich für einige hauptsächliche Fälle die Wege der Schallbahnen im Vertikalschnitt in den wirklichen Verhältnissen dargestellt; diese untere Hälfte der Figur deutet jeweilen in der Horizontalprojektion die Hörbarkeitszonen an. Bei Figur A—C (Masstab 1:1,5 Mill.) ist die Schallquelle erhöht angenommen.

Figur A nimmt Windstille und eine Temperaturabnahme von $0^{\circ}6$ auf hundert Meter an; oberhalb von ca. 11 km bis mindestens 30 km Höhe, d. h. in dem Bereich annähernd konstanter Temperatur müssten die bis dorthin nach oben gekrümmten Schallbahnen in gerade übergehen. Das primäre Schallgebiet ist eng begrenzt, ein abnormales entsteht nicht.

Figur B nimmt dieselbe Temperaturabnahme an wie Figur A, ausserdem aber eine Windströmung in der Richtung des Pfeils mit Geschwindigkeitszunahmen dW von 0,5 m auf 100 m Erhebung (welche natürlich praktisch eine obere Grenze hat). Gegen den Wind ist die Hörbarkeit stark eingeschränkt, mit dem Wind stark vergrössert.

Figur C lässt in den Annahmen von B nur die Aenderung eintreten, dass die Windströmung (deren Geschwindigkeitszunahme dieselbe bleibt) erst in 4,2 km Höhe einsetzt. (Verhältnisse, wie sie für die Explosion an der Jungfrau angenommen werden konnten.) Es tritt dann ein primäres Gebiet auf; dann überspringen die Schallstrahlen eine Strecke von 100 km (Zone des Schweigens) und erreichen erst dann den Boden wieder, nachdem sie zum Teil noch in die Stratosphäre in 10—12 km Höhe eingetaucht sind. (Anormale Hörweite.) Plausible Annahmen genügen also in diesem Fall den Beobachtungstatsachen. Eingezeichnet sind die Schallstrahlen, die unter -10° , 0° , $+10^{\circ}$, $+20^{\circ}$ Neigung die Schallquelle verlassen. Es dürfte lehrreich sein, ihren Verlauf an Hand der Figur im einzelnen zu verfolgen; dieser Hinweis muss hier genügen. Auch nötigen mich die Umstände, eine graphische Darstellung der Schallausbreitung für eine grössere Zahl von in der Atmosphäre wirklich vorkommenden Zuständen für eine spätere Gelegenheit zu versparen.

Figur D zeigt (im Masstab 1:3 Millionen, also gegen A—C auf die Hälfte verkleinert, aber übereinstimmend mit dem Masstab der Karte E) die ungefähren Schallwege nach der Wasserstoffhypothese, von mir konstruiert auf Grund einiger annähernder Angaben von v. d. Borne. (Die Schallquelle ist nicht erhöht, wodurch hier die primäre Schallzone wegfällt, was natürlich in Wirklichkeit ausgeschlossen ist). Es sind die Schallstrahlen eingetragen, die unter 10° , 20° , 30° , 40° , 60° und 70° Neigung von der Schallquelle ausgehen; bis zur Stratosphäre ist eine mittlere Temperaturabnahme angenommen, von 10—40 km Höhe Temperaturkonstanz; von dort an macht sich Wasserstoffgehalt bemerklich. Der strichpunktierte Strahl von 60° (mit Nr. 6 bezeichnet) ist der Grenzstrahl, insofern er die innere Begrenzung des Gebiets abnormaler Hörweite bildet; noch steiler abgehende Strahlen kommen erst wieder in grösserer Entfernung zum Erdboden zurück. Links ist beim Buchstaben W die Höhe angedeutet, in welcher der prozentuale Wasserstoffgehalt, der sich schon oberhalb von 40 km, bei einem Luftdruck von ca. $0,5 \frac{m}{m}$ anfängt leise bemerklich zu machen, sehr schnell überwiegend wird.

Ist die erste Erklärung richtig, so darf das Gebiet abnormaler Hörbarkeit im allgemeinen nur auf einer Seite der Schallquelle auftreten. Der zweiten Erklärung hingegen wird nur bei Annäherung jenes Gebietes an eine Ringform gerecht, welche, wenn sie nachgewiesen werden könnte, geradezu als Beweis für die Existenz jener hypothetischen Wasserstoffatmosphäre angesehen werden müsste.

In den ganz wenigen genauer dargestellten Fällen, darunter eine Untersuchung von Dörr über eine Explosion bei Wien und neustens über den Kanonendonner von Antwerpen durch v. Everdingen²⁾ ist dieser Nachweis bisher aber nicht gelungen.

So wurde ich dazu geführt, auch die Ausbreitung des Kanonendonners aus dem Sundgau zu untersuchen, der gerade in den Weihnachtstagen 1914 weithin, namentlich in der Schweiz, vernommen worden ist.

Die folgenden Zeilen und die beigegebene Karte (Tafel II, Fig. E) sollen eine Uebersicht über die Resultate geben.

Eine besondere Fragekarte wurde den meisten schweizerischen meteorologischen und Regenmessstationen zugesandt. Ebenso konnte ich wertvolle Auskünfte durch das Observatorium von Besançon und durch die meteorologischen Anstalten von Baden, Württemberg und Bayern erhalten. Strassburg war nicht in der Lage zu antworten, dagegen verdanke ich einige Angaben aus dem Elsass Hrn. Prof. Leman. Im ganzen gingen ungefähr 600 Berichte ein, darunter auch manche wertvolle negative.

Es sei zunächst über das Ergebnis der Beobachtungen am Weihnachtstage ein kurzer Ueberblick gegeben.

Die Kanonade selbst hat, soweit die Nachrichten vorliegen, etwa 15—20 km westlich und südwestlich von Mülhausen stattgefunden. Als grösstes Kaliber wurden auf französischer Seite 15,5 cm-Geschütze genannt.

Die Ausdehnung der „anormalen“ Hörbarkeitszone betrug nach Norden und Nordwesten rund 160 km, gegen Nordost bis Ost 210 km, gegen Südost bis Süd 160 km. Vom Sektor Südwest bis West, der Besonderheiten aufweist, soll noch die Rede sein. Vom Sektor West bis Nord, welcher den Kriegsschauplatz einschliesst, fehlen begreiflicherweise Nachrichten.

Die Grenze der positiven Beobachtungen ist gegeben durch die Gegend von Bischweiler, Baden-Baden, Stuttgart, Ravensburg, Hohenstaufen (Bayern), Altstätten (Rheintal), St. Gotthardpass, Oberwald (Oberwallis), Pfyn und Isérables (Unterwallis), Gryon (bei Bex) und vereinzelt Moudon, Cossonay (Waadtland).

¹⁾ So z. B. wohl von W. Brand, in s. Aufsatz über die „Reichweite des Geschützdonners etc.“ in den Sitzungsberichten der Gesch. z. Beförderung der ges. Naturwissenschaften, Juli 1915, S. 44 u. 55.

²⁾ Siehe Sitzungsbericht d. K. Ak. Wien, Bd. CXXII, Okt. 1913; Umschau 1915 Nr. 14 und Nr. 27; in letzterer Nummer der vorliegende Bericht, in erster Fassung.

Die von früheren Fällen bekannte mysteriöse Zone des Schweigens, auf welche in diesem Fall zuerst negative Meldungen aus Basel aufmerksam machten, zeigt sich bei näherer Untersuchung diesmal zwar weniger klar ausgebildet als z. B. bei meiner Untersuchung der Jungfrauexplosion, aber sie ist doch entschieden vorhanden, und zwar schiebt sie sich wie ein Keil von Südwesten (Neuchâtel) her (ungefähr dem Jura entsprechend!), sie berührt gerade noch Basel und Rheinfelden, und scheint auch noch den Rhein zu überschreiten und ein wenig in den Schwarzwald vorzudringen, bis in die Gegend des Feldbergs. Es gibt allerdings speziell im Basler Jura auch innerhalb der Schweigenszone einzelne hochgelegene Orte mit positiven Meldungen.

Auch diesmal, wie in früheren Fällen, scheint eine sehr wichtige Asymmetrie der Erscheinung vorzuliegen. Denn das Observatorium von Besançon, 100 km westlich von der Schallquelle gelegen, glaubte uns aus jener ganzen Gegend keine einzige verbürgte Angabe übermitteln zu können, während in entsprechender Entfernung, auf der Südost- und Ostseite, ja in der ganzen Nordost- und Zentralschweiz der Geschützdonner ganz allgemein mit peinlicher Deutlichkeit wahrgenommen wurde.

Unsere Erhebungen erstreckten sich für das schweizerische Gebiet auch noch bis zum 4. Januar. Für diese Tage erweitert sich stellenweise das Hörbarkeitsgebiet noch ein wenig; es erstreckt sich jetzt bis an den Genfersee (Montreux). Die Schallschattenbezirke bleiben noch wahrscheinlich. An noch späteren Tagen macht das Uebungsschiessen der schweizerischen Truppen eine Verfolgung des Phänomens unmöglich.

Was besondere Wahrnehmungen über den Charakter der Erscheinungen betrifft, sprechen die Beobachtungen gegenüber vielfach im Publikum vorhandenen Meinungen durchaus für Luftleitung, wie auch anzunehmen war. Der Schall hatte, wohl wegen der grossen Wellenlänge, die Eigentümlichkeit, dass er nicht sowohl mit den Ohren, sondern scheinbar am ganzen Körper wahrgenommen wurde. So haben in verschiedenen Fällen auch ganz oder fast ganz taube Personen stark reagiert. — Allgemein wird angegeben, dass der Schall vom Horizont her (nicht aus der Höhe herab) zum Teil durch Lücken in Gebirgszügen gekommen sei. So habe auch ich selbst es wahrgenommen.

Die meteorologischen Verhältnisse jener Tage sind natürlich für die Erklärung wichtig. An dem näher untersuchten 25. Dezember wehte in den erdnahen Schichten leichter Nordost, der nach den Messungen der Drachenstation am Bodensee von 400—1300 m von 6—13 m p. s. zunahm. Der Säntis (2500), der nicht ganz ungestört ist, gibt am Morgen noch NE-, am Mittag SW-Wind an. Viel wichtiger, ja wohl entscheidend ist die aus zahlreichen früheren Pilotaufstiegen an unserer Zentralanstalt in Zürich von mir abgeleitete Regel, dass unser schweizerischer Nordostwind, die „Bise“, oberhalb dem mittleren Alpenniveau fast ausnahmslos in starken Nord- und schliesslich Nordwestwind übergeht. Diese Windverteilung in der Höhe ist also auch für den Weihnachtstag mit grösster Wahrscheinlichkeit anzunehmen, und dieselbe würde der tatsächlich im Gebiet der Schweiz beobachteten Schallausbreitung Genüge leisten. Für den östlichen Quadranten müsste allerdings über Süddeutschland eine gewisse Modifikation dieser Verhältnisse — mehr westliche als nordwestliche Winde in der Höhe — angenommen werden, die aber wohl möglich ist. Es kommen ja überhaupt manche örtliche Einflüsse in Betracht.¹⁾

Was die Erklärung durch die Wasserstoffhypothese betrifft, so ist die schwache und schmale Ausbildung der Schweigenszone, besonders aber der negative Bericht aus der Gegend von Besançon, sowie die vielen ausschliesslich negativen Angaben aus dem Schweizer Jura von Delsberg bis Genf derselben sehr ungünstig. Denn sie verlangt ja den Beginn der anormalen Hörweite erst in etwa 120 km Entfernung, und anstatt der hier vorhandenen einseitigen Ausbildung eine Ringform des Gebietes anormaler Hörweite, und zwar, da wenigstens v. d. Borne die von uns beigezogene spezifische Wirkung der Windzunahme mit der Höhe überhaupt als nicht vorhanden betrachtet, mit einer gewissen Strenge; und dies um so mehr, als Terrainunebenheiten bei dem ziemlich steilen, vorwiegend 30—60° betragenden Einfallen der von der Wasserstoffatmosphäre herabkommenden Schallstrahlen die Wahrnehmung wenigstens am inneren Rande des anormalen Hörgebietes weniger beeinflussen dürfen, während dies bei der andern Erklärung wohl der Fall sein kann.

Die Herbeiziehung der Wasserstoffzone würde gänzlich dahinfallen müssen, wenn das von W. Schmidt neuerdings dagegen angerufene Prinzip, dass die Schall-Amplituden mit abnehmender Luftdichte nicht zunehmen können, wirklich auf solche Fälle angewendet werden darf; dies letztere erscheint uns aber fraglich.

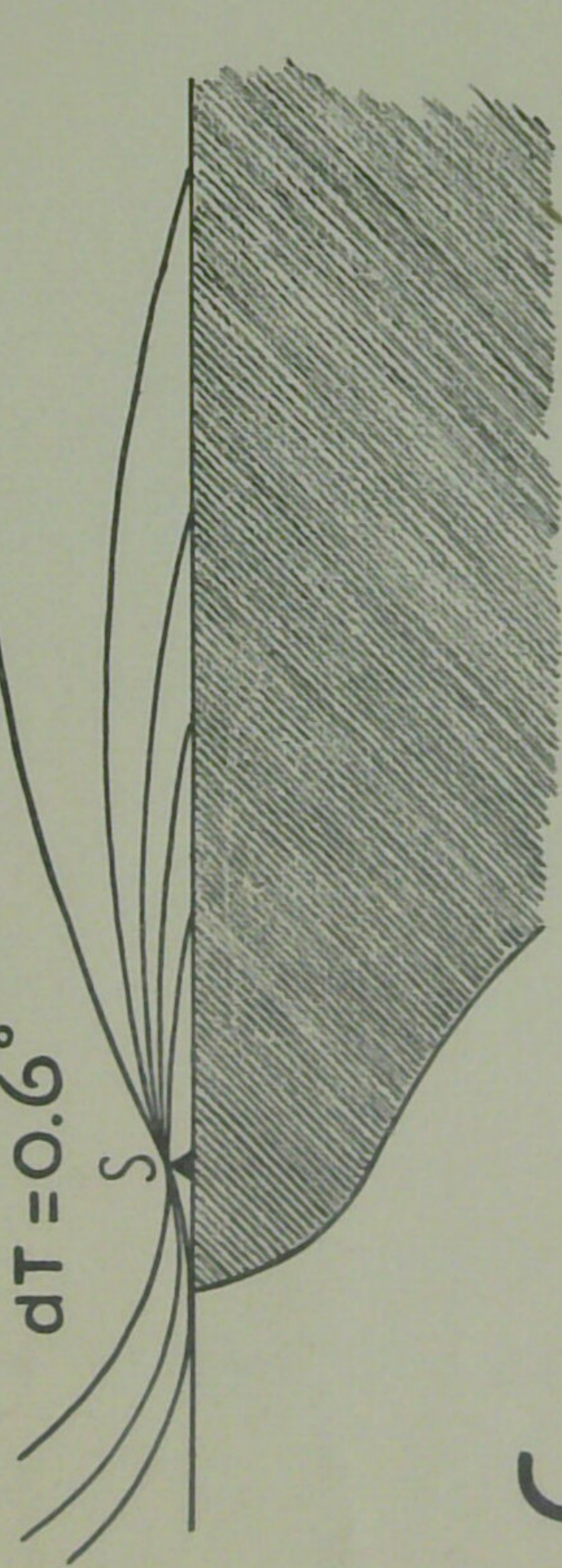
Auf jeden Fall bleibt es von Interesse und wird in geeigneter Zeit anzustreben sein, der Frage durch Experimente nahe zu kommen, die hinsichtlich der Bereitschaft besonderer Beobachter und der Feststellung der aërologischen Verhältnisse wohl vorbereitet sind. Selbst wenn die Erklärung durch die Wasserstoffatmosphäre ausscheiden sollte, bleibt zu erwarten, dass Schlüsse auf Atmosphärengebiete möglich würden, die direkter Beobachtung nicht zugänglich sind. Es ist eine Analyse atmosphärischer Erscheinungen durch den Schall denkbar, nicht ganz unähnlich der Spektralanalyse. Eine solche Schallanalyse wird ja, in der Praxis von den Laien längst zur Wetterprognose verwendet.

¹⁾ Hier ist zu erwähnen, dass der neuerdings (Weihnacht 1915) wieder ungewöhnlich stark hörbare Kanonendonner aus derselben Gegend bei ganz anderen Witterungsverhältnissen (Föhnlage) vernommen worden ist; die im Gang befindliche Untersuchung wird ergeben, ob hier nicht vielleicht mit ganz geringen Ablenkungen der Schallstrahlen auszukommen ist.

Ausbreitung des Kanonendonners aus dem Elsass, Weihnachten 1914.

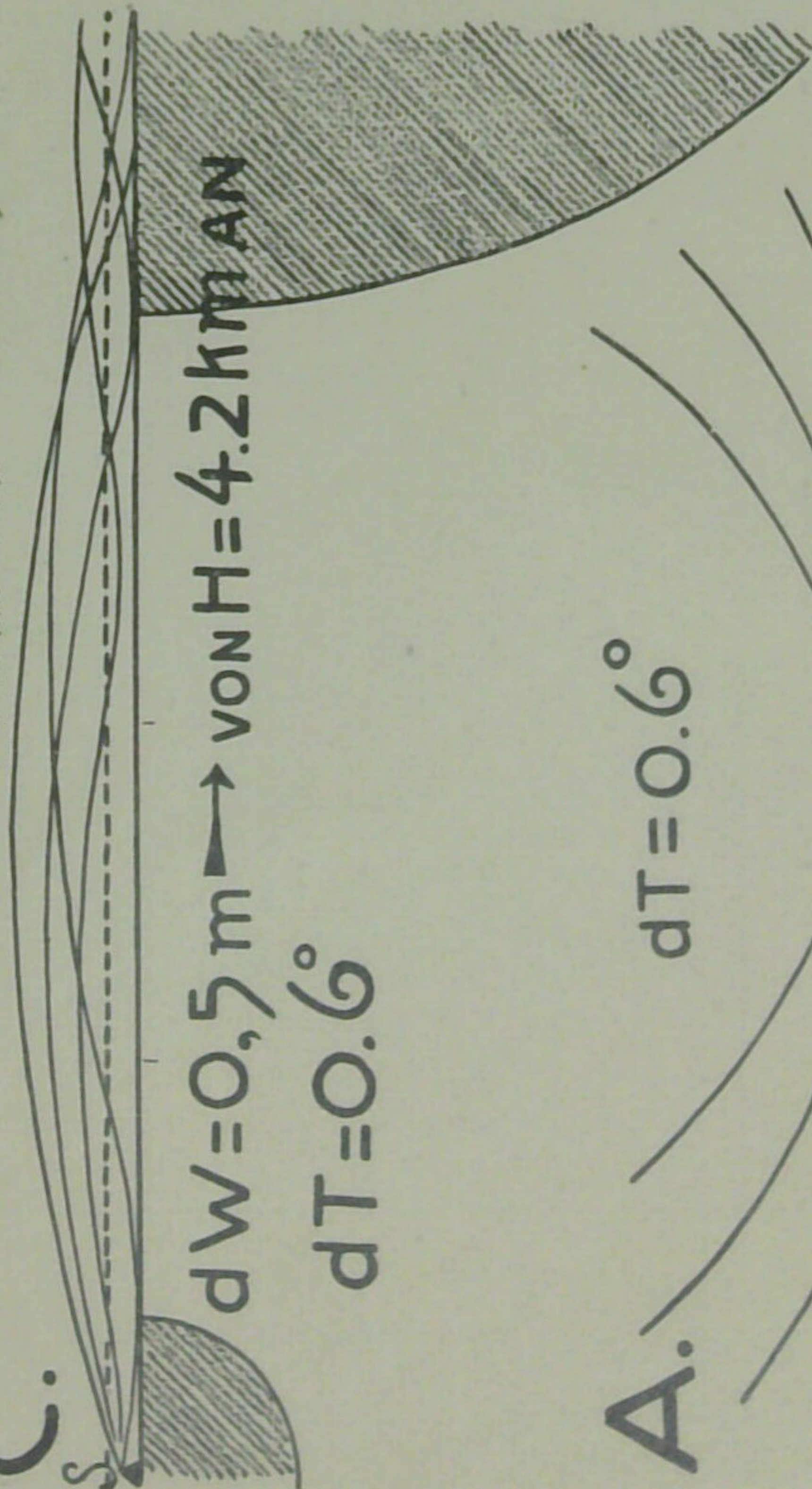
SCHALLBAHNEN

B. $dW = 0,5 \text{ m}$ \rightarrow
 $dT = 0,6^\circ$



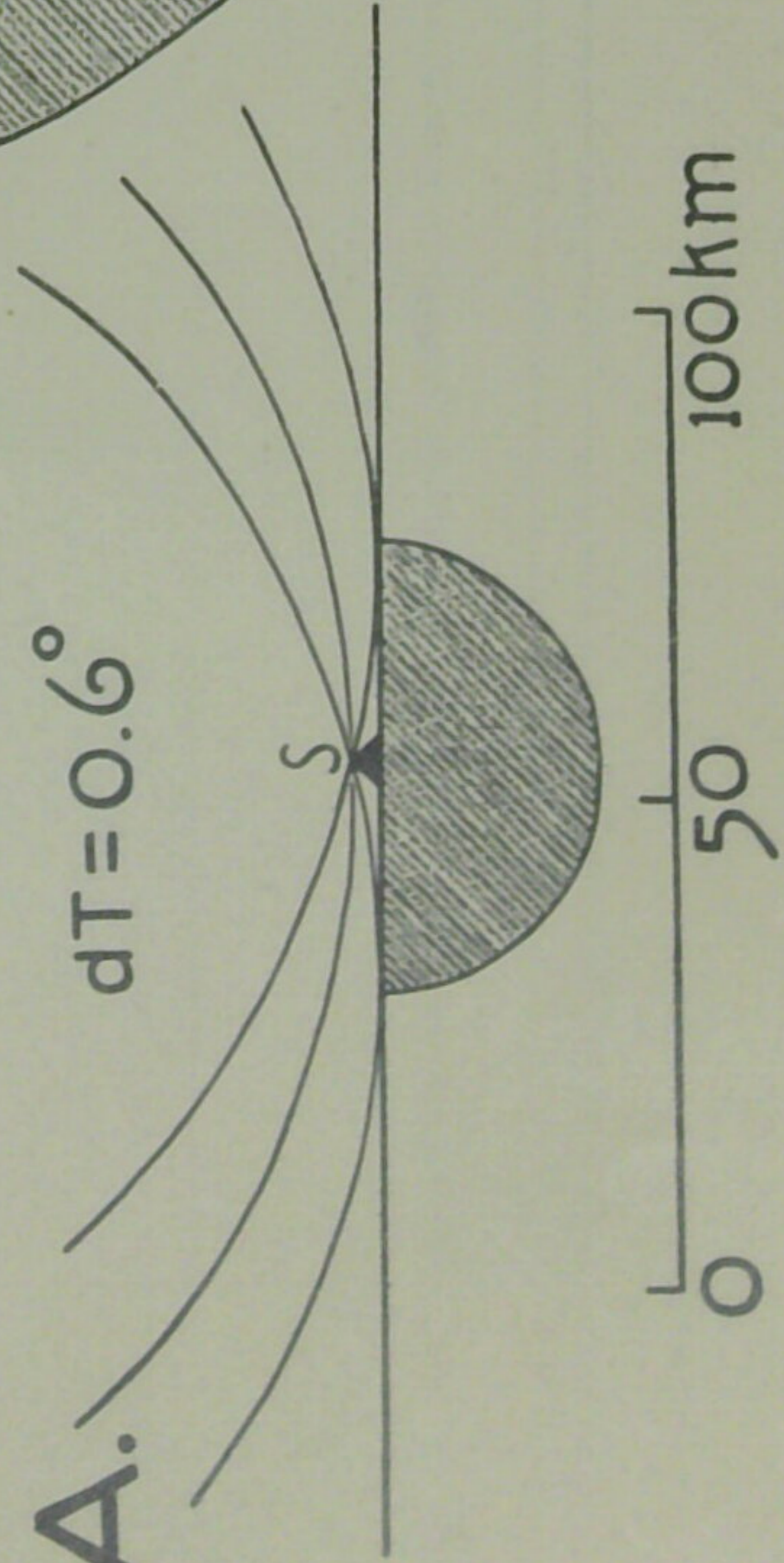
C.

$dW = 0,5 \text{ m}$ \rightarrow von $H = 4,2 \text{ km}$ an
 $dT = 0,6^\circ$



A.

$dT = 0,6^\circ$



ε

