

Über die Erdbeben des Wallis und der Schweiz und ihre seismographische Erforschung

Autor(en): **Quervain, Alfred de**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Verhandlungen der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft = Actes de la Société Helvétique des Sciences Naturelles = Atti della Società Elvetica di Scienze Naturali**

Band (Jahr): **104 (1923)**

PDF erstellt am: **05.08.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-90335>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Über die Erdbeben des Wallis und der Schweiz und ihre seismographische Erforschung

Prof. Dr. ALFRED DE QUERVAIN (Zürich)

Es ist mir von den Veranstaltern dieser Jahresversammlung die ehrende Aufforderung zu Teil geworden, vor Ihnen über die Erdbeben des Wallis und der Schweiz und über ihre seismographische Erforschung einiges mitzuteilen.

Wenn wir von schweizerischen Erdbeben sprechen wollen, stehen wir hier auf *klassischem* Boden. Denn dieses Tal war vor einer Zeitspanne, die noch von der Erinnerung lebender Menschen erfasst wird, Schauplatz einer Erdbebenkatastrophe, die wohl die heftigste der im Lauf eines Jahrhunderts in den Alpen vorgekommenen darstellt.

Es war am 25. Juli 1855, als in die ahnungslose Stille dieser Talschaft sich ein Dröhnen aus den Gründen der Erde erhob, das jeder Vergleichung spottete. Und gleich darauf fing unter den Füßen der vor Schreck erstarrten Bewohner der Boden zu wogen an, die Dächer zu ihren Häuptionen zu stürzen. Vor den Augen der ins Freie sich Flüchtenden öffnete sich der Boden in Rissen, aus denen das Wasser empor sprang. Und als sie alle instinktiv auf der Flucht den Berghöhen sich zuwandten, den Symbolen des Unerschütterlichen, da war auch dort keine Zuflucht mehr; denn mit Donnern kamen von allen Seiten die Felsblöcke die Hänge herabgestürzt, die kaum Geretteten aufs neue bedrohend. Ja ganze Abhänge mit Bäumen und Grund setzten sich in Bewegung, und Wege verschwanden, während immer aufs neue der Boden erbebt. „Dies iræ!“ Das war aller Gedanke.

St. Niklaus war eine Trümmerstätte geworden, auch Stalden, Grächen, Visperterbinen; und in Visp selber waren die beiden Kirchen eingestürzt. Der Abend traf die Bewohner im Freien irrend, unter Bäumen Zuflucht suchend. Ja nicht wenige liefen in stummem Schrecken viele Stunden weit das Tal hinaus — wohin, das wussten sie nicht!

Noch tage-, ja wochenlang hindurch wiederholten sich die Stösse, wenn auch mit abnehmender Kraft, und vollendeten das Zerstörungswerk, und lange wohnten die aus ihren Häusern Vertriebenen in Zelten.

Die Erschütterung hatte sich weit hinaus bis über die Grenze der Schweiz fühlbar gemacht, Schrecken und da und dort noch Zerstörungen bringend. Ja bis Turin und Mailand im Süden, bis Paris und über Mainz hinaus im Westen und Norden war sie noch wahrgenommen worden. Noch bei Lyon hatte der Schrecken einer Stummen die Sprache wieder gegeben — eine glückliche Erdbebenkur.

Es war allen Augenzeugen dieser Katastrophe ein reines Wunder geblieben, dass dieselbe nicht mehr als nur zwei Opfer gefordert hatte.

Der Mensch baut sein Heim wieder auf — und vergisst. Doch weiss ich durch persönliche Nachfrage, wie stark in diesem Tal bei einigen noch lebenden Zeugen die Erinnerung an jenen Schreckenstag noch geblieben ist, wo nur ein Gedanke alle beherrschte: Der jüngste Tag ist gekommen!

Die offizielle Geologie jener Zeit kannte und vertrat die Erklärung der Erdbeben allein durch vulkanische Kräfte, die man aber in den Alpen nicht erwartete. So musste man sich mit den behaupteten Schwefelgerüchen begnügen, die allerdings, wie wir wissen, bei stürzenden und aufeinander prallenden Blöcken auch ohne Vulkane auftreten. Im Gegensatz zu dieser Meinung stand ein origineller Outsider, der in der Schweiz niedergelassene Deutsche OTTO VOLGER; er vertrat die Ansicht, dass das Niederbrechen grosser Aushöhlungen, entstanden durch die Auslaugung von Gips und Kalk, als Ursache anzunehmen sei; eine Erklärung, die ja für manche andere Fälle zutrifft — wenn auch nicht hier.

Was aber für unsere schweizerische Erdbebenforschung besonders wertvoll war: OTTO VOLGER wurde durch dieses Ereignis angeregt zur Zusammenstellung aller hier erreichbaren Erdbebennachrichten früherer Zeiten aus der Schweiz, die er in einem zweibändigen Werk niedergelegt und zu einer ersten kartographischen Darstellung der Erdbebengebiete der Alpen verwendet hat. VOLGER, welcher den geforderten Ton der Unterwürfigkeit gegenüber den offiziellen Verwaltern der wissenschaftlichen Erkenntnis nicht gefunden zu haben scheint, sondern eigene Wege

zu gehen wagte, ist anscheinend mit seinen Arbeiten totgeschwiegen worden. Auch ist von den Schweizern selbst damals die weitere Erforschung schweizerischer Erdbeben noch nicht an die Hand genommen worden; dies geschah erst 20 Jahre später, nachdem die neuen Gesichtspunkte tektonischer Gebirgsbildung aufgekommen waren, nach denen auch die Erdbebenercheinungen in dem neuen Licht aktueller tektonischer Bewegungen betrachtet werden konnten.

Es war die 1878 neugegründete Erdbebenkommission der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft, von deren ersten Mitgliedern Prof. A. HEIM und Prof. A. FORSTER noch unter uns sind, und in der auch F. A. FOREL schon mitgewirkt hat.

Als erste und dauernde Aufgabe stellte sie sich die systematische Sammlung und Publikation aller Nachrichten über neu sich ereignende Erdbeben in der Schweiz; darin ist sie vorangegangen, und ihrer Initiative und allen späteren Fortsetzern derselben verdanken wir jetzt eine 42 jährige, wohl recht vollständige Beobachtungsreihe, wie nur sehr wenige Erdbebengebiete sie besitzen. Einiges Zusammenfassende über diese Statistik ist schon von Prof. FRÜH mitgeteilt worden.

Natürlich bestand dabei die Hoffnung, dass Hand in Hand mit der Statistik die Bearbeitung Resultate zeitigen würde, die im Sinne der neuen tektonischen Vorstellung von Faltung und Bewegung grosser Erdschollen verwendbar sein sollten. Die Ausmasse solcher einzelner Bewegungen dachte man sich nicht ganz unbedeutend, mindestens nach Zentimetern oder Dezimetern — und an der Erdoberfläche erkennbar. Ausserordentliche, in neuerer Zeit derart wirklich beobachtete Verschiebungen, wie die beim Erdbeben von San Francisco, haben ja solchen Anschauungen grundsätzlich recht gegeben. Aus den Alpen aber kennen wir solche Fälle sichtbar bleibender Verschiebungen nicht. Nicht einmal bei dem gewaltigen Beben von Visp waren wirkliche Verwerfungen oder Verschiebungen im Fels irgendwo zu finden. Denn alle die Spalten, die sich geöffnet hatten, und alle die zahlreichen Quellveränderungen waren auf oberflächliche Rutschungen oder höchstens etwa Erscheinungen des „balancement“ im Sinne von LUGÉON zurückzuführen, nicht auf primäre aktive Dislokationen.

Aber es schien doch möglich, auf gleichzeitige Verschiebungen grosser Gebiete, wie z. B. des ganzen alpinen Vorlandes auf anderm Wege zu schliessen; nämlich einerseits aus übereinstimmenden

Stossrichtungen und andererseits aus der Gleichzeitigkeit der Zeitangaben an sehr entfernten Punkten.

Die wiederholten Versuche, mit diesen beiden Betrachtungsweisen zu Resultaten zu kommen, befriedigten aber wenig — und sie konnten nicht befriedigen, weil sie von zwei Voraussetzungen ausgingen, die, wie wir jetzt erkannt haben, unzutreffend waren:

Erstens hat sich bekanntlich die *Geschwindigkeit*, mit der sich die Erschütterung fortpflanzt, als etwa zehnmal grösser erwiesen, als früher angenommen wurde — und damit fallen frühere Nachweise vermeintlicher Gleichzeitigkeit dahin. Wenn damals dieser Nachweis geleistet schien, wenn z. B. zwischen Zürich und Bern der Zeitunterschied nicht mehr als 20 Sekunden betrug, so wissen wir jetzt, dass diese Fortpflanzung der Erdbebenwellen gar nicht mehr als diese 20 Sekunden beansprucht. Aus dem Gebiet der Minuten und ihrer Bruchteile wird die Frage in das Gebiet der Sekunden gerückt. Es ist ja auch die Vorstellung zu korrigieren, dass eine Scholle sich als starres Ganzes „gleichzeitig“ verschieben könnte. Eine Druckwirkung von einer Seite her könnte sich bis ans andere Ende doch nicht schneller geltend machen, als entsprechend der elastischen Fortpflanzung einer Spannung. Um mich drastisch auszudrücken: Wer mit einem 100 km langen Stahlstab von hier aus den Jungfraugipfel anstossen wollte, könnte dies unter keinen Umständen „sofort“ bewirken, sondern müsste jedenfalls die 20 Sekunden warten, bis die Druckwelle des Impulses sich so weit fortgepflanzt hätte.

Was *zweitens* die Ableitung von Verschiebungen eines Erdgebietes aus den beobachteten *Stossrichtungen* betrifft, so wurde natürlich von Anfang an mehr oder weniger kritisch der Vorbehalt erhoben, dass die subjektiv beobachteten, ja sogar die anscheinend objektiv festgestellten Bewegungen im Gebäude in vielen Fällen der Richtung der Bodenbewegung noch nicht sicher entsprechen — von der Unzuverlässigkeit der Schätzung eines Verschiebungsbetrages ganz zu schweigen, den man immer weit überschätzt hat. Es kam aber neuerdings dazu die auf Grund instrumenteller Messungen gewonnene Einsicht, dass die Bewegungen im Boden gar nicht notwendig in der Richtung von einem primären Bewegungszentrum her zu geschehen brauchten, sondern auch quer dazu erfolgen konnten. Und endlich das Wesentliche: dass die beobachteten Bewegungen jedenfalls in einiger Entfernung vom Aus-

gangspunkt der Erschütterungen nur elastische Schwingungen des Bodens darstellen, die mit der primären Bewegung gar nichts zu tun haben und nichts über deren Sinn aussagen können.

Ich möchte das letztere anschaulich machen durch eine Analogie mit den im Krieg ausgebildeten Zeitbestimmungen der Ankunft eines Geschützknalles an verschiedenen Beobachtungspunkten. Aus solchen Messungen kann man sehr wohl den sonst unbekanntem Aufstellungspunkt des Geschützes berechnen. Aber ob das Geschütz beim Abfeuern zurückgewichen sei und nach welcher Richtung es geschossen habe — das ist natürlich aus diesen Messungen nicht zu ermitteln.

Was bleibt denn da für uns noch übrig, mochten die Geologen fragen, die durch ihre gegenwärtigen Erfolge in der Deutung verwickeltster tektonischer Zusammenhänge ja wohl verwöhnt sein dürfen. Ihre Enttäuschung ist verständlich und wohl nicht zu verkennen; sie ist vielleicht am bedeutsamsten aus der Stellung der monumentalen „Geologie der Schweiz“ von A. HEIM ersichtlich, welche erklärt, dass jetzt, nach der seismologischen Sammelarbeit von mehr als 40 Jahren, die Zeit immer noch nicht gekommen sei, um sich über die geologischen Konsequenzen dieses Materials auszusprechen, und welche infolgedessen von den Einzelarbeiten des (vor 10 Jahren von der Naturforschenden Gesellschaft an den Bund übergegangenen) Erdbebendienstes, die solche Hinweise versuchen, noch keine Notiz nimmt.

Es gibt nun in der Tat Grenzen in der Forschung, innerhalb derer jede sachgemässe Anstrengung eines ansehnlichen Erfolges sicher ist, während jenseits dieser Grenzen jeder einzelne unscheinbare Schritt überhaupt nur mit grossen Anstrengungen möglich ist. Ob eine solche Arbeit sich noch lohnt, hängt wohl davon ab, wie hoch man diese tastende Erweiterung der Einsichten in ein sonst verschlossenes Gebiet hinein einschätzen will.

So mag es sich auch mit unserer seismologischen Arbeit verhalten; selbst kleine Schritte vorwärts werden grosse Anstrengungen kosten. Und dass die Anstrengung da ist, beweist noch nicht, dass der Schritt gelingt.

Aber jedenfalls ist es nötig, dass wir, auch wenn wir auf die Zukunft bauen, mit bestimmten Arbeitshypothesen in die Zukunft gehen.

So möchte ich Ihnen denn im folgenden darlegen, so gut es nach meiner Einsicht und nach den Umständen der Zeit und des Ortes möglich ist, welches die uns möglichen Arbeitsmethoden sind, und welche Ergebnisse sie schon gezeitigt haben und vielleicht noch zeitigen können.

An den Anfang stelle ich immer noch die sorgfältige Sammlung und Bearbeitung der Beobachtungen, die vom Menschen direkt gemacht worden sind — die sogenannte *makroseismische Methode*. Sie bot ja bisher die einzige Möglichkeit, die Häufigkeit und geographische Verbreitung und die Beziehung zum Untergrund zu studieren. Sie wird auch in Zukunft gepflegt werden müssen.

Die sorgfältige Berücksichtigung der Intensitätsverteilung, etwa nach der von FOREL aufgestellten Skala, ermöglicht auch ein gewisses Urteil über die wichtigste, aber noch sehr wenig geklärte Frage der Erdbebenkunde, *die Tiefe des Sitzes* der primären Bewegung, des sogenannten *Erdbebenherdes*. Man bemerkt, dass dieser Ausdruck, unter den Anschauungen einer bestimmten Zeit geprägt, stark nach Feuer und Schwefel riecht; man kann ihn aber auch ohne diese Nebengerüche anwenden. Man wird sich auch die Vorstellung über die räumliche Ausdehnung dieses primären Ausgangsortes in der Tiefe vorbehalten. Allzu schematisch hat man gelegentlich von einem Ausgangspunkt gesprochen, während die Tektoniker an ausgedehnte Ausgangslinien oder Flächen denken möchten. Aber auch dann wird an dem Ort stärkster Spannung die Auslösung zuerst erfolgen, und dieser Ort tritt dann für die Fernleitung als Ausgangsort auf, und auf ihn würden die Registrierungen hinweisen. Aber wir wollen, bevor wir von der Erdbebenregistrierung durch Apparate sprechen, uns zuerst noch mit den Schlussfolgerungen beschäftigen, die aus der direkten Beobachtung an der Erdoberfläche zu gewinnen sind.

Es ist leicht zu verstehen, inwiefern die Intensitätsverteilung an der Oberfläche etwas über die Tiefe des Ausgangspunktes aussagt: Ist diese Intensität von einem ganz beschränkten Oberflächenstück aus allseitig sehr schnell abnehmend, so wird man auf eine nicht tief liegende Ursache schliessen können. Ist diese Intensität aber über viele Kilometer hin anscheinend dieselbe, so wird man schliessen, dass die erregende Ursache in einer Tiefe von entsprechender Grössenordnung liegt. Es fehlt nicht an Versuchen,

die Abhängigkeit der Herdtiefe von der Intensitätsverteilung an der Oberfläche in gesetzmässige Beziehungen zu fassen. Aber bei der Unsicherheit in der Ermittlung aller in Betracht kommenden Grössen wird man sich im besten Fall mit der Angabe der ungefähren Grössenordnung begnügen müssen.

Nicht selten werden solche sorgfältigen Feststellungen auch charakteristische Unregelmässigkeiten der Intensitätsverteilung an der Oberfläche erkennen lassen. Diese lassen auf entsprechende Gestaltung der leitenden Schichten schliessen. Im Mittellande haben wir solche Fälle von objektivem Wert. Aber in den Alpen verhindert das unbewohnte Gebirge sehr oft, ja meistens, eine genaue Ermittlung der Gegend mit der stärksten Erschütterung. Da die Nachrichten aus den bewohnten Tälern naturgemäss ganz überwiegen, sieht es dann aus, als ob die Epizentren an solche Talfurchen gebunden seien. Man hat Mühe, sich von diesem Eindruck loszumachen, und wird dann verleitet, weiter die Talfurche unwillkürlich tektonisch zu deuten und etwa aus dem anscheinend an das Tal geknüpften Erdbeben eine Verwerfung zu postulieren. Nur die Kenntnis der Ergebnisse der Tektonik oder eine anderweitige Epizentralbestimmung kann solche irreführenden Eindrücke, die man gelegentlich zu Tatsachen gemünzt antrifft, berichtigen.

Die Beobachtungen durch den Menschen behalten ihr Interesse und gewinnen es noch mehr, insofern bei sorgfältiger Beobachtung doch manchmal eine interessante Parallele zwischen den Angaben der Apparate und der Beobachter möglich ist, namentlich was den zeitlichen Verlauf der Erschütterungen betrifft.

In einem mit Uhren und Zeitkontrolleinrichtungen so gesegneten Land bleibt es wertvoll, bei einem Erdbeben immer in erster Linie an den Sekundenzeiger und an das Sekundenzählen zu denken. Inwiefern dieses Interesse auch neben den Seismographen bestehen bleibt, werden wir kennen lernen, wenn wir nun zur Frage der *seismographischen Erdbebenuntersuchung* übergehen.

Die erste Frage heisst hier: Wie können die Registrierungen die mangelhaften Ortsbestimmungen verbessern?

Natürlich müssen wir dabei an einiges erinnern, was nicht unbekannt ist, andererseits auch alles weglassen, was nicht auf unser besonderes Ziel hinweist.

Sie erinnern sich, dass das Prinzip der Erdbebenapparate darin besteht, einen schweren Körper so frei aufzuhängen, dass er als träge Masse bei den Erschütterungen des Bodens unbeweglich bleibt; die Eigenperiode dieser pendelnden Aufhängung muss mit Rücksicht auf die vorwiegenden Schwingungsperioden des Erdbebens selbst gewählt werden; diese Perioden sind bekanntlich bei Erschütterungen, die aus grossen Erddistanzen kommen, viel langsamer: 3—20 Sekunden, als bei nahen Erdbebenherden, wo sie 0,2—2 Sekunden betragen. Es ist auch bekannt, dass die Bewegungen des Bodens, wenn die Aufzeichnungen vollständig sein sollen, in drei Richtungen des Raums gemessen werden müssen, wofür man gewöhnlich drei besondere Apparate hat: einen, der die N-S-Richtung, einen, der die E-W-Richtung und einen, der die Bewegung in der Vertikale zeitlich genau fixiert, mit einer sehr starken Vergrösserung des eigentlichen Betrages.

Fragen wir uns nun: Was lässt sich aus den Angaben einer einzigen so ausgerüsteten Station gewinnen? Zunächst wäre zu erwarten, dass aus den Beträgen der Ausschläge der Ost-West- und Nord-Süd-Komponente sich eine Resultante ableiten liesse, diese müsste den Betrag der wahren Bodenbewegung ergeben, und die Richtung auf den Erdbebenherd hin.

Aber gerade bei unsern alpinen Beben werden die longitudinalen Erschütterungswellen unterwegs so sehr abgeschwächt, dass man in 100—200 km Entfernung schon froh sein muss, überhaupt ihren Ankunftszeitpunkt mit den allerempfindlichsten Apparaten zeitlich sicherstellen zu können, während eine quantitative Messung für den ersten Einsatz selten möglich sein wird. Mit dieser alleinigen Ankunftszeit auf einer Station lässt sich aber an und für sich noch nichts Bestimmtes anfangen.

Anders ist es, wenn man zwei verschieden gelegene Stationen hat.

Man ist dann in dem schon erwähnten Fall der Bestimmung der Lage eines Geschützes aus dem Vergleich der Ankunftszeiten des Schalles an zwei Beobachtungsposten. Kommt der Schall genau gleichzeitig an, so liegt das Geschütz im Zentrum eines Kreises, dessen Peripherie durch die beiden Beobachtungsorte geht, also auf einer Halbierungsgeraden, die senkrecht auf der Verbindungslinie beider Punkte steht. Ist der Zeitunterschied gerade so gross, dass der Schall in dieser Zeit den Weg zwischen den beiden Be-

obachtungsposten zurücklegen kann, so liegt das Geschütz auf einer Geraden, die durch beide Stationen geht. Ist aber der Unterschied zwischen diesem letzten Wert und Null, so liegt der gesuchte Ort irgendwo auf einer bestimmten Hyperbel.

Es ist also immer nur eine Linie angebbar, auf der das Geschütz steht, aber nicht der Punkt selbst. Um diesen zu bestimmen, muss noch die Zeitbeobachtung einer dritten Station hinzutreten. Der Schnittpunkt der Linien ergibt dann den gesuchten Ort.

Was hier für die Methode der Geschützortbestimmung gefunden wird, gilt auch für die Bestimmung des Ausgangsortes eines Erdbebens. An die Stelle der elastischen Schallwellen in der Luft treten einfach die 10—20mal schnelleren elastischen Erschütterungswellen der Erdrinde.

Ein wichtiger Unterschied aber muss jetzt hervorgehoben werden: Beim Geschütz weiss man, dass es auf der Erdoberfläche sich befindet; beim Erdbeben ist dies nicht der Fall; sein Ausgangspunkt ist in einer unbekanntem Tiefe. So können nun die Beobachtungen der drei Stationen das Problem nicht mehr lösen, ohne dass wir eine Annahme über die Tiefe des Erdbebenherdes machen. Aber gerade diese Tiefe wüssten wir womöglich auch noch aus den Registrierungen zu berechnen, weil dies ja das wichtigste Endresultat sein soll.

So würden eben drei Stationen nicht mehr genügen zur geometrischen Lösung; sobald wir in die Tiefe der Erde hinabtauchen, kommt ja noch hinzu die Notwendigkeit, genau zu wissen, nicht nur wie schnell die Erschütterung (d. h. nichts anderes als die Schallgeschwindigkeit im Boden) sich fortpflanzt, sondern welche Änderung dieser Wert in zunehmender Erdtiefe erleidet; denn eine Zunahme dieser Geschwindigkeit in tiefen, starren Schichten muss unbedingt erwartet werden.

Nun kommt uns aber glücklicherweise eine sehr wichtige physikalische Tatsache zu Hilfe: Es ergibt sich theoretisch und lässt sich experimentell nachweisen, dass in einem festen Körper sich elastische Wellen (also Schallwellen) von zwei verschiedenen Arten bilden: Erstens die uns von der Luft her geläufigen *longitudinalen* Schwingungen, wo die einzelnen Teilchen in der Richtung der Fortpflanzung vibrieren. Zweitens aber die (in Gasen und Flüssigkeiten unmöglichen) *transversalen Wellen*, die quer zu der Fortpflanzungsrichtung schwingen und die wesentlich langsamer laufen, und zwar

um einen theoretisch sich ergebenden Betrag von $\sqrt{3} = 1,73$ mal langsamer. Solche zwei Arten von Wellen sollen sich eigentlich nur in einem isotropen, d. h. nach allen Seiten elastisch sich gleich verhaltenden Körper bilden. Zweifellos treten sie bei der Registrierung von Fernbeben deutlich auf; für Nahebeben, deren Wellen ja nur die obersten Schichten der Erdoberfläche durchlaufen, musste dies zunächst zweifelhaft sein, weil man hier Isotropie kaum postulieren durfte, sondern viel kompliziertere Erscheinungen erwarten musste. Die tatsächlich beobachtete, zeitlich entsprechende Welle konnte auch als „Oberflächenwelle“ gedeutet werden. Versuche in tiefen Schächten oder Tunnels könnten Aufklärung bringen.

Nun sprechen aber doch gute Gründe für direkt vom „Herd“ kommende Transversalwellen; es dürfte — zum Teil durch unsere schweizerischen Registrierungen — ihr Auftreten anzunehmen sein, und zwar ein Auftreten in einer sehr deutlichen, scharf einsetzenden Form. Diese Schärfe des Auftretens erhält sich bis zu Entfernungen von ca. 200—300 km vom Epizentrum, wie sie für unsere schweizerischen Untersuchungen in Betracht kommen. Diese sogenannten „zweiten Wellen“ wiederholen also in der Registrierung das Erdbeben noch einmal in einem langsamern Tempo, und übrigens mit sehr viel stärkern Ausschlägen; sie geben bei gefühlten Beben den Hauptstoss. Es lässt sich nun mit ihrer Hilfe dieselbe Feststellung, die für die Ankunftszeit der ersten Wellen gemacht werden kann, getrennt noch einmal durchführen. Das Wichtigste liegt aber darin, dass ihre Geschwindigkeit mit derjenigen der longitudinalen Wellen in einem bestimmten Verhältnis steht, das sich aus den Erdbeben-Aufzeichnungen ebenfalls zu 1,7 ergibt.

Schon die Beobachtungen an einer einzigen Station werden dadurch viel wertvoller; wir beobachten einen bestimmten Zeitunterschied zwischen der Ankunft der beiden Wellen; wir wissen, dass sie beide zur selben Zeit den Erdbebenherd verlassen haben, aber dass die zweite Welle langsamer läuft — wie ein Kind hinter einem Mann zurückbleibt, mit dem es zugleich ein Haus verlassen hat. Aus der Zeit des Zurückbleibens der einen Welle gegen die andere lässt sich nun leicht berechnen, eine wie grosse Strecke sie schon unterwegs sind. Für 100 km macht es etwa 12 Sekunden aus, für 10,000 km schon etwa 12 Minuten.

So lässt sich von einer Station aus die Entfernung berechnen, von einer andern aus eine zweite, und der Schnittpunkt der Kreise,

die mit diesen Abständen als Radius gezogen werden, gibt den Ort des Erdbebens, wenn man von der Herdtiefe absieht. Allerdings geben sich so zwei Schnittpunkte, von denen der eine aber aus allerhand Gründen weniger wahrscheinlich sein wird.

Benützen wir ausserdem noch die früher erwähnte Feststellung, dass wir auch die Differenzen der Ankunftszeit an beiden Stationen kennen, wovon vorher die Rede war, so können wir — wie ich seinerzeit gezeigt habe und wie Prof. A. KREIS in Chur neuerdings in genauere Formeln gebracht hat — aus allen diesen Angaben von zwei Stationen, die dem Herd relativ nahe, d. h. nicht über ca. 100 km entfernt sein müssen, nicht nur die Lage auf der Erdoberfläche berechnen, sondern auch die angenäherte Herdtiefe. Dafür muss man allerdings den Betrag der Wellengeschwindigkeit an der Erdoberfläche und auch seine Tiefenzunahme als bekannt voraussetzen. Der erste Wert, so wichtig er erscheint, war bisher noch sehr wenig sicher und ist wohl auch nicht allgemein gültig genau anzugeben. Wir haben uns bemüht, ihn aus Explosionen und Sprengungen zum Teil durch eigene Messungen zu bestimmen, und haben ihn aus den Sprengungen bei Alpnach zu 4,7, aus dem Tunnelbeben von Grenchen zu 5,2 km in der Sekunde gefunden; ein Betrag, der von anderer Seite vorläufig als etwas zu niedrig betrachtet wird, aber der Wirklichkeit wohl viel näher kommt, als die früher angenommenen Werte.

Will man nun diese Berechnung des Erdbebenortes und besonders einer genäherten Herdtiefe mit noch weniger Willkürlichkeit durchführen, und zugleich eine unentbehrliche Kontrolle besitzen, so müssen *drei Stationen* mit den genannten vollständigen Aufzeichnungen zu Gebote stehen, die aber nicht mehr als 50 bis 120 km vom Erdbebenort entfernt sein sollen. — Am besten wäre es, wenn eine von ihnen direkt in der Mitte des Erdbebengebietes läge; aber das lässt sich nicht nach Wunsch einrichten.

Zwei Fragen verschiedener Art mögen Ihnen im Verlauf dieser Überlegungen aufgestiegen sein; die eine nach *Messungsgenauigkeiten*, die erforderlich sind, um brauchbare Resultate zu erreichen, die andere, die wir zunächst besprechen wollen: Ob der *Mensch* selber bei seinen gelegentlichen Erdbebenbeobachtungen auch etwas von diesen verschiedenen Wellenarten merke, oder ob das alles nur auf dem Papier der Erdbebenapparate zu finden sei?

Aus unserer sorgfältigen Bearbeitung der schweizerischen Beobachtungen glauben wir mannigfaltige Belege dafür gefunden zu haben, dass in den subjektiven Beobachtungen diese Tatsachen von jeher zum Ausdruck gekommen sind. Es scheint, dass in einiger Nähe des Hauptschüttergebietes bei uns beide Wellen als zeitlich getrennte und verschiedenartige Stösse oft verspürt werden; auch unmittelbar über dem Ausgangspunkt in der Tiefe scheint diese zeitliche Trennung noch nachweisbar zu sein und jedenfalls 2 bis 3 Sekunden zu betragen. Eine richtige Schätzung dieser Geschwindigkeit ist von allergrösstem Interesse, weil sie unter Umständen einen ganz direkten Masstab für die Herdtiefe abgibt. Es lässt sich die Beziehung angeben: So viel Sekunden in dem eigentlichen oberflächlichen Erschütterungsmittelpunkt — Epizentralgebiet — zwischen dem ersten und zweiten Stoss verstreichen, so viel mal 8 km liegt der Ursprungsort in der Tiefe. Als Beleg für die Art, wie die verschiedenen Wellenarten im Epizentralgebiet wirklich von ruhigen Beobachtern wahrgenommen werden können, führe ich absichtlich eine ganz alte Beobachtung an, diejenige von Pfarrer **STUDER** bei dem grossen Erdbeben von Visp: er schreibt: „Ich konnte klar wahrnehmen, dass die ersten Erschütterungen senkrecht vor sich gingen, die dann aber mit einer unmöglich zu beschreibenden Bewegung in wagrechte übergingen“.

Auch der Bearbeiter **VOLGER** selbst fasst die Beobachtungen über dem Erdbebenherd folgendermassen zusammen: „Es war ein über alle Vergleichung gewaltsamer Schock . . . Nach diesem Schlage erst begann das eigentliche Wogen des Erdbodens“.

Die Deutung des ersten Phänomens auf die ersten, die Longitudinalwellen, deren Bewegung senkrecht sein musste, des zweiten auf die immer viel heftigeren, in diesem Fall quer schwingenden Transversalwellen scheint sich geradezu aufzudrängen. Eine Schätzung der Zwischenzeit fehlt hier leider gänzlich. Wenn sie aber sich der Mehrzahl der Beobachter so bemerkbar gemacht hat, wie **VOLGER** es zusammenfasst, so kann sie kaum unter 2—3 Sekunden betragen haben; dies aber würde den Ursprung des Visper Bebens in mindestens 16—25 km Tiefe versetzen. Man möge aus diesem Beispiel sehen, von wie hohem Interesse eine sorgfältige, direkte Beobachtung noch jederzeit sein kann.

In grösserer Entfernung vom Erdbebenherd mögen 8—10 Sekunden vergehen, zwischen dem ersten schwachen und dem zweiten

stärkern Stoss. Die einen, weniger empfindlichen Menschen spüren dann nur den letztern. Andere, empfindliche Beobachter oder auch Tiere mögen die feinen ersten Wellen noch spüren oder undeutlich ahnen, und als unerklärliche Beunruhigung empfinden. So kann sich manches bisher Widerspruchvolle und Rätselhafte in solchen Beobachtungen erklären. Dem einen fängt das Erdbeben mit einer Bewegung in Nordsüdrichtung an, dem Nachbar schien es mit Ostwestbewegung zu beginnen; sie haben beide recht; nur hat der eine schon die Longitudinalwellen, der andere erst die zweiten Wellen gespürt.

Und nun zu der andern aufgeworfenen Frage: *Welche Genauigkeiten in den registrierenden Messungen sind für die Gewinnung der hier gesuchten Resultate nötig, und welche sind erreichbar?*

Das höchste Ziel eines in der Schweiz aufgestellten Registrierapparates musste sein, alle in der Schweiz sich ereignenden Erdbeben aufzuzeichnen, von denen der Mensch selber in der betroffenen Gegend etwas Deutliches wahrnimmt — und zwar richtig mit den beiden Wellenarten aufzuzeichnen. Das ist sehr schwer zu erreichen. Wir hatten in Zürich bisher Apparate, die zu den empfindlichsten zählten, und die noch $\frac{1}{1000}$ mm Bodenbewegung sicher aufzeichnen. Trotzdem wurden von den ausgesprochen schweizerischen Erdstößen nur etwa $\frac{1}{4}$ bis $\frac{1}{3}$ registriert und auch hierbei war oft die unentbehrliche Anfangsphase ganz undeutlich oder unsichtbar. (Die Apparate in Chur und Neuchâtel sind ziemlich viel weniger empfindlich und lassen deshalb, obschon gut bedient, für unsern Zweck in den allermeisten Fällen im Stich, wenn sie auch im einzelnen allerdings schon interessante Schlüsse ermöglicht haben.)

Wir sahen uns deshalb vor die Aufgabe gestellt, die Konstruktion eines besondern Apparates zu versuchen, der ganz den Erfordernissen der alpinen Seismologie entsprach, und der für Nahebeben zehn mal empfindlicher als die bisherigen sein musste; ein Zehntausendstel eines Millimeters musste noch sicher registriert werden. Es musste eine träge Masse von 21,000 kg verwendet werden. Alle drei Komponenten kommen zur Aufzeichnung. Diese über Jahre sich erstreckende Arbeit ist vor wenigen Monaten beendet worden, wobei ich besonders der Verdienste meines freiwilligen Mitarbeiters, Prof. PICCARD, gedenken möchte. Es scheint, dass das gesteckte Ziel erreicht wird. Wir dürften jetzt wohl mit über

das empfindlichste Instrument für Nahebeben und zugleich einen immer noch ausgezeichneten Apparat für Fernbeben verfügen und müssen jetzt gelegentlich bitten, ob denn niemand unsere registrierten Erdbeben gespürt haben will. Vor einiger Zeit konnten wir, ohne dass eine andere Angabe vorlag, den Zeitungen mitteilen, dass im Oberwallis ein Erdbeben stattgefunden haben müsse, was dann auch nach zwei Tagen bestätigt wurde. —

Unentbehrlich zum Zweck von Herdtiefen-Berechnungen ist eine hohe Zeitgenauigkeit der Registrierung. Für den Vergleich zwischen zwei Stationen wird es nötig sein, die relative Ankunftszeit der Stösse auf wenige Zehntel-Sekunden genau zu registrieren. In Zürich haben wir diese Genauigkeit der Zeit schon lange annähernd erreicht, und möchten das hier, gegenüber gewissen Anzweiflungen, ausdrücklich feststellen — es gehört allerdings eine gewisse astronomisch-chronometrische Schulung dazu, die aber bei den in unserm Erdbebendienst Tätigen vorliegt. Die Einrichtung des neuen Seismographen erlaubt Zeitfeststellungen bis auf ca. $\frac{1}{10}$ Sekunde. Dies betrifft die Regelmässigkeit des Triebwerks und der Kontrolluhr.

Von Wichtigkeit ist es ebensosehr, wie scharf zeitlich die Differenz zwischen den beiden Wellenarten aus den Registrierungen überhaupt abgelesen werden kann, was natürlich eine Frage für sich ist. Glücklicherweise sind diese Einsätze oft so scharf, dass wiederum nur wenige Zehntel-Sekunden Unsicherheit übrig bleiben. Das ist für die daraus zu ziehenden Schlussfolgerungen von der allergrössten Bedeutung. Es heisst, in Distanz übertragen, eine Unsicherheit von einigen Kilometern in der darauf sich aufbauenden Rechnung. Die Ortsbestimmungen können also eine dementsprechende Genauigkeit erlangen; so wären wir imstande, den schon besprochenen fatalen Einfluss der unbewohnten Gebiete wirklich einigermaßen zu beseitigen und dann könnten neue, sichere Grundlagen für die Beziehungen der Erdbebenorte zur Tektonik gewonnen werden. Für die Herdtiefenbestimmung wird allerdings auch in den denkbar günstigsten Fällen die Angabe einzelner Kilometer illusorisch bleiben; die Genauigkeit auf einige Kilometer ist da noch als Ideal zu betrachten.

Nun wollen wir zum Schluss eine Antwort versuchen auf die Frage, was denn *bis jetzt schon sich ergeben hat mit Bezug auf*

die Lokalisierung und Deutung der Erdbebenphänomene unseres Landes. Eine 40 jährige systematisch angelegte Beobachtungsreihe gibt uns dazu die Möglichkeit.

Unser Land ist keineswegs arm an Erdbeben; eine Zahl von jährlich 20—30 deutlichen Stössen entfällt auf unser Gebiet; ähnlich wie übrigens auch auf die Ostalpen.

Sie werden vielleicht mit Erstaunen bei genauerer Betrachtung sehen, wie diese Schweizerkarte¹ mit Punkten, Sternen und Kreisen übersät ist. Es sind hier in einer vorläufigen Weise alle seit 1881, dem Anfang regelmässiger Sammlung, in der Schweiz bekannt gewordenen Stösse eingetragen, und zwar derart, dass ein Punkt einen nur lokalen in einer Ortschaft gespürten schwachen Stoss bedeutet, ein kleiner Kreis einen schwachen Stoss an zwei benachbart liegenden Punkten gespürt, ein grosser Kreis das oft nur angenähert bekannte ungefähre Ausgangsgebiet eines wichtigeren, der auf einem grössern Gebiet wahrgenommen worden ist; ein Stern ein entsprechendes Ausgangsgebiet, das aber etwas genauer bekannt ist. Die Karte hat den Zweck, die allgemeine regionale Verteilung beurteilen zu lassen; da oft von nahezu derselben Gegend zahlreiche Stösse ausgegangen sind, mussten die Kreise in die betreffenden Gegenden gruppiert werden, ohne dass jeder Kreislage eine ganz individuelle Bedeutung zukäme. Tatsächlich wird das Resultat, das wir aus der Karte ableiten wollen, davon nicht berührt.

Es ist naheliegend, bei der Besprechung auszugehen von den Gesichtspunkten, unter denen die Geologen selbst die jetzt noch anzunehmenden Bewegungen zunächst im *Alpenkörper* betrachten; diesem letztern wenden wir uns zuerst zu.

Wir sind schon ausserordentlich weit entfernt von der Zeit der tektonischen Paroxysmen, wo sich eine Faltendecke nach der andern zwischen den Schraubstockbacken festerer Erdrindenteile herausgepresst und nach Norden übergelegt hat, wie Sie nach mir von dem Hauptforscher dieser Architektur für das Wallis, Prof. ARGAND hören werden, und wie diese Profile entsprechend ausdrücken. Das meiste so herausgepresste Material ist längst wieder weg erodiert; die meisten Zusammenhänge sind entfernt worden.

¹ Leider konnte die Karte, die nur in einer vorläufigen, zur Reproduktion nicht geeigneten Ausführung vorlag, hier nicht wiedergegeben werden.

An einen aktiven Schub in diesen oberflächlichen Teilen ist nicht mehr zu denken.

Der letzte, von den Geologen anscheinend für nachgewiesen gehaltene tektonische Vorgang ist die Alpenrücksenkung im mittlern Diluvium, welche zum Teil in der Tatsache der Randseen zum Ausdruck kommen soll. Es ist das Einsinken des Alpenkörpers unter seinem eigenen Gewicht in die tiefern Erdschichten, die sich zwar den Erdbebenwellen gegenüber verhalten so starr wie Stahl, aber doch im Lauf von Jahrtausenden einem Druck nachgeben, bis das isostatische Gleichgewicht eines schwimmenden Körpers erreicht ist. Man darf finden, dass der Zeitpunkt, welchen die Alpen zu dieser Rücksenkung gewählt haben, etwas spät ist, nachdem ja die ungeheuren Deckenaufhäufungen viel früher stattgefunden hatten und zum grössten Teil schon wieder weggetragen sind. Da dürfte man jetzt eher ein stetiges Auftauchen annehmen.¹

Jedenfalls darf man ausgehen von der Aussage der Geologen, dass längs des Alpenrandes selbst die Zone der Verbiegung zu suchen sei. Ist dieselbe gegenwärtig in Minus oder Plus noch irgendwie aktiv, so haben wir auch in diesen Zonen Erdbebenercheinungen zu suchen. Es gibt nun tatsächlich Beobachtungen, welche dem entsprechen, — so zwischen dem obern Zürichsee und Zugersee, so am obern Ufer des Lac Léman.

Aber im allgemeinen Bild der Erdbebenverteilung ist dies gewiss nicht der charakteristische Zug. Diesen finden wir, immer im Gedankengang der Beziehungen zur isostatischen Bewegung, wenn wir mit der Erdbebenkarte vergleichen die Karte der Massendefekte, die von der Schweiz. Geodätischen Kommission, durch Prof. NIETHAMMER hergestellt worden ist.

Wenn wir vergleichen die *Orte der grössten Massendefekte* mit den *Gegenden grösster Erdbebentätigkeit*, so frappiert uns der auffallende Parallelismus: hier ein grösster Massendefekt im Wallis — und hier auch eine Gegend grösster Erdbebenhäufigkeit. — Und wiederum in Graubünden ein zweites Maximum des Massen-

¹ Übrigens hätte offenbar die isostatische Anpassung während der ganzen Faltungszeit gewirkt, je nachdem in verschiedenem Sinn, aber sicher niemals in frei oszillierender Weise — wie zur Erklärung der wiederholten Eiszeiten auch schon angenommen worden ist. So etwas wie ein Weiterpendeln auch nur um einen Meter über die Gleichgewichtslage zeigt sich durch die Rechnung als ausgeschlossen.

defektes — und ebenfalls ein zweites Maximum der Erdbebenhäufigkeit!

Man könnte vielleicht zunächst auf eine unmittelbare Beziehung zwischen grösstem Massendefekt und Erdbebenhäufigkeit schliessen und annehmen, dass das isostatische Gleichgewicht hier nicht ganz vollzogen sei, sodass Ausgleichbewegungen lokal noch stattfänden.

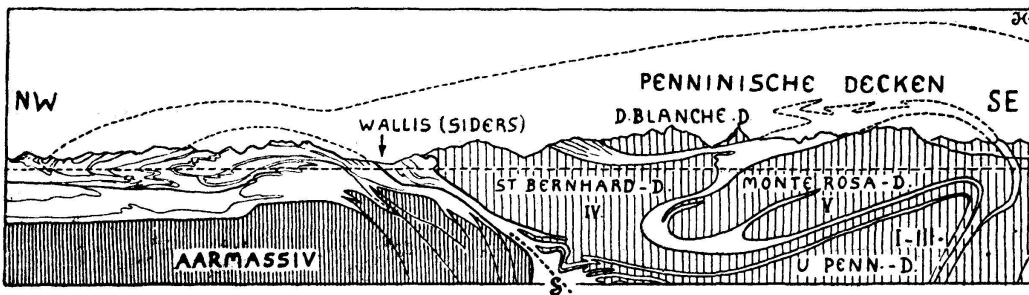
Da der wirkliche Ausgleich sich nicht von Punkt zu Punkt, sondern nur auf grössern Flächen machen soll, so müssen in der Tat auf begrenzten Gebieten mit stark abweichenden, extremen Verhältnissen auch lokale Auftriebs- oder Abtriebsspannungen eintreten, die sich durch Erdbeben manifestieren könnten.

Aber vielleicht ist der grosse Schweredefekt nur indirekt mit der Bebenhäufigkeit verknüpft, und zwar in folgendem Sinn: Hier gehen — wie durch die neuen geologischen Arbeiten bekannt — die penninischen Decken, die den Massendefekt bewirken, am tiefsten nach unten, und sind eben aus diesem Grunde noch zum grossen Teil erhalten. Da schien es mir denkbar, dass wenigstens hier noch ein gewisser Rest von tektonischer Spannung vorhanden sei, freilich nicht mehr genug, um durch tektonische Aenderungen grössern Stils sich noch zu erkennen zu geben, aber doch genug, um Erdbeben dieser Intensität zu erzeugen. So viel ich in der Unterhaltung mit verschiedenen Geologen erkennen konnte, würden sie diese Möglichkeit nicht ablehnen, auf welche, mir unbekannt, Herr ARGAND auch schon hingewiesen hat.

(Übrigens würde es unter den jetzigen Umständen wohl nicht leicht sein, geringfügige tektonische Deformationen im Innern des Alpenkörpers nachzuweisen, entsprechend rückläufigen oder übersteilen Terrassengefällen.)

Es würde also z. B. im Wallis noch eine gewisse horizontal wirksame Spannung bestehen zwischen dem autochthonen Aarmassiv und der in die Tiefe versenkten Stirn eines Teils der penninischen Decken — wie es etwa das hier wiedergegebene Profil von ARGAND veranschaulicht.

Es fragt sich nur, ob nicht der Herd dieser Erschütterungen noch tiefer liegt, als es diese Betrachtung voraussetzt, ganz an der untern Begrenzung der in die Tiefe versenkten gefalteten Massen, und alsdann vielleicht durch Ursachen bedingt, wie Zustandsänderungen der Materie, wobei die Mineralogen mitzureden



Profil durch das autochthone Aarmassiv und die penninischen Decken nach ARGAND (1911). Bei S ist nach unserer Auffassung die seismogene Klemmzone zwischen dem immer noch bestehenden schwachen Tiefenschub der penninischen Decken und dem widerstrebenden Aarmassiv zu suchen.

hätten. — Die letzten Ursachen der Kraftwirkungen, die in der Alpenfaltung sich äussern, sind von SIEBERG in den gewaltigen tertiären Einbrucherscheinungen des Mittelmeers gesucht worden.

Unsere bisherigen in der Schweiz gewonnenen seismologischen Anhaltspunkte weisen auf eine Tiefe, die über 10 km hinausgeht, etwa von der Grössenordnung von 20—40 km; darauf führte ein Fall in Graubünden, der eine gewisse Berechnung erlaubte. Nun haben aber die Walliser Erdbeben, nach dem Charakter der Seismogramme zu schliessen, einen jedenfalls nicht weniger tiefen Herd, als die Graubündner Beben; eher möchte man aus den verhältnismässig sehr deutlichen Einsätzen der P.-Wellen, die gelegentlich mit dem neuen Apparat sogar eine Azimutbestimmung erlaubt haben, auf noch grössere Tiefe schliessen. Es dürfte dies ein Wert sein, der ganz unabhängig in die ungefähre Tiefe weist, bis zu welcher die Deckenstörungen hinabreichen müssen. Ich möchte glauben, dass die Wellen der Walliserbeben auf ihrem Wege nach Zürich verhältnismässig sehr wenig störende und gestörte Schichten antreffen. Sie scheinen übrigens gelegentlich durch die Andeutung einer doppelten P.-Phase das Auftreten jener schneller leitenden Schicht in ca. 55 km Tiefe zu bestätigen, welche MONOROVICIO aus dieser Doppelphase der Nahebeben abgeleitet hat. Andererseits scheint es — es mag in diesem Zusammenhang die Bemerkung von Interesse sein — nach unsern immer wieder sich bestätigenden Beobachtungen, dass die Anfangswellen der Appenninenbeben auf ihrem Weg durch die Alpen bis zu uns sehr stark durch die Alpenwurzeln absorbiert werden, eine Erscheinung, die inzwischen von dem Geologen REICH auch für andere junge Gebirge gefunden worden ist, und die geologisch-diagnostisch verwendet werden kann.

Bevor wir die Besprechung der seismischen Erscheinungen des eigentlichen Alpenkörpers verlassen, möchte ich noch einige besondere Punkte hervorheben. Zunächst ist beachtenswert, wie die Gegend des Vispertals, die 1855 so energisch manifestiert hat, seither im wesentlichen verschont geblieben ist; die Erschütterungen halten sich mehr an westliche Gebiete des Wallis. Diese Ruhepausen, die man als temporäre Entspannung deuten kann, finden sich auch anderswo angedeutet; wenn man die Erdbebenerscheinungen etwa in Dekaden zusammenfasst, findet man in dem einen Jahrzehnt eine ziemliche Tätigkeit für ein bestimmtes Gebiet, in einem darauffolgenden keine mehr — so am westlichen Lémansee, so in Savoyen, so auch im Unterengadin. Es geben also 10 Jahre Beobachtung ein gewisses, aber nicht genügendes Bild von der Seismizität unserer Landesgegenden. Was die Seismizität des Wallis angeht, verlegt SIEBERG in seinem soeben erschienenen Buch über Erdbeben dieselbe speziell in die „Narbenzone“ des Wallis (wie C. SCHMIDT sich ausdrückt); sie liegt (s. Fig.), auf die Wurzelzone bezogen, nördlich letzterer im Gebiet der noch erhaltenen penninischen Decken; so auch für Graubünden, wo die penninischen Decken in der Tiefe liegen. Merkwürdig wird es wohl den Alpengeologen erscheinen, wenn SIEBERG neuerdings die heftigen Walliserbeben, speziell das Visperbeben, auf den „Querbruch“ des Vispertals zurückführt. Meines Wissens ist ein solcher Querbruch nie gefunden worden, und entspricht nicht der ganzen, jetzt bekannten Tektonik des Wallis.

Unter den alpinen Beben nehmen eine besondere Stellung ein die auffallend zahlreichen Erschütterungen der Glarner Gegend. Die dortigen Decken sind ja ganz ohne Verbindung mit ihren Wurzeln und kommen aktiv in keiner Weise mehr in Betracht, sie tauchen nach den mir zugänglichen Schätzungen von Geologen bis etwa 10—12 km tief ein. Es scheinen aber auch diese Erdbebenherde nicht sehr tief zu liegen, wenn man das Verhältnis der Oberflächenintensität zu der Ausbreitung berücksichtigt; jedenfalls sind sie weniger tief als diejenigen des Wallis; nach der auffallend starken Auslöschung der Longitudinalwellen scheint der Weg nach Zürich zum Teil in weniger dichtem Material zurückgelegt zu werden. Die Tiefe, die immer noch übrig bleibt, scheint Auslaugungen in diesem Kalkgebiet, auf die wir hingewiesen worden sind, auszuschliessen; es müssten sonst starke Thermen die so tiefen Wege des Wassers verraten.

Wo hingegen *Auslaugungsbeben* als sicher anzunehmen und schon früher als solche erkannt worden sind, das ist die Gegend von *Bex*, dessen Bewohner ab und zu stark beunruhigt werden, und nicht vor Langem ein seismologisches Gutachten verlangten — wie denn überhaupt der Erdbebendienst schon verschiedentlich als Beruhigungsinstanz funktionieren konnte, für In- und Ausländer, die sich erschreckt nach Vulkanen erkundigten.

Auch die frühern starken Erdbeben von *Zweisimmen* sind mit Recht auf Auslaugung gedeutet worden. Im übrigen verhält sich das Berner Oberland ganz auffallend ruhig, womit der autochthone Charakter des Aarmassivs und die rein passive Lage der darüber weggeschobenen Decken zusammengereimt werden kann. An dieser relativen Ruhe hat auch Teil eine ganz grosse Zone, die sich vom Vierwaldstättersee über den Gotthard bis ins Tessin und westliche Graubünden erstreckt.

Streifen wir noch kurz die *ausser-alpinen Gebiete* der Schweiz.

Wenn man an die passive starre Rolle des schweizerischen Hochlandes denkt, das ungefaltet wie ein Brett den Alpenschub bis in den Jura leitete, so wird man wohl erstaunt sein, aus der braven Molasse heraus da und dort ganz energische seismische Demonstrationen murren zu hören, die übrigens oft ziemlich scharf lokalisiert werden konnten, auch dank der gleichmässigen Bewohnbarkeit des Gebiets. Ich erinnere an die starken Erdbeben des Thurgaus und namentlich von Bern und Mühleberg.

Bei diesem letztern glaubten wir seinerzeit nach dem Verlauf des Epizentralgebietes eine durch die Molasse hindurch schimmernde Vorfalte des Jura annehmen zu dürfen; vielleicht nehmen die Geologen von diesen Tatsachen Notiz.

Gehen wir über zum Jura, so fällt auf, dass eine grosse Zahl von Erschütterungen weniger im Jura als an dessen Fuss verlaufen, sozusagen in dessen Wurzelregion. Der Jura selbst ist bebenarm, wenn auch nicht bebenfrei; in einem bestimmten Fall schien der grosse, in diesem Fall sehr reelle Querbruch von Pontarlier deutlich eine Rolle zu spielen. Auch ein nicht weit zurückliegendes Beben in der Gegend von Basel, das von dem argentinischen Seismologen Loos sorgfältig bearbeitet wurde, zeigte ihm deutliche Beziehungen zu Ausläufern des Rheingrabens — Verwerfungen, deren Rolle aber vielleicht nur sekundärer Natur war — und erinnerte an die Erdbebenvergangenheit Basels.

Nach dieser kurzen Uebersicht über die Anhaltspunkte, die sich bis jetzt für die Verteilung der schweizerischen Beben und ihre Deutung ergeben haben, mögen noch einige Worte folgen über das, was zu ihrer Erforschung weiter geschehen kann und soll. Es ist die scharfe Lokalisierung der Ausgangspunkte durch Registrierinstrumente. Sie werden nach dem Vorausgegangenen sehr wohl verstehen, wenn ich sage, dass ein solches, wenn auch noch so empfindliches Instrument, wie wir es jetzt in Zürich gebaut haben, nicht genügen kann. Nachdem sich dieses bewährt hat, müssen wir uns nach der Installierung eines zweiten umsehen. Diese Möglichkeit ist uns gegeben zunächst in Chur in dem Erdbeben-Kanton Graubünden, wo wir in der Person des Herrn KREIS, Prof. an der Kantonsschule, einen sehr sachkundigen Mitarbeiter gefunden haben. Vor kurzem hat denn auch auf unsern Antrag die Eidg. Meteorologische Kommission sich einverstanden erklärt, Mittel dazu aus dem „BRUNNER-Legat“ zu gewähren. Möge Nachahmung finden das Beispiel dieses schlichten Kaufmanns, dessen Schenkung nun so oft der Wissenschaft Mittel verschaffte, da wo Mutter Helvetia ihr den Brotkorb republikanisch hochhängt hat.

Sobald dieses Instrument in Chur sich ebenfalls bewährt haben wird, wird eine dritte Station mit einem solchen versehen werden müssen. Dieses Instrument wäre — scheint mir — am richtigsten aufzustellen in dem andern Erdbebenkanton, im Wallis. Und wenn diese Absicht ein Echo fände in dem Anerbieten, sich dieses von uns zu bauenden kostspieligen Dinges dann auch in treuer Fürsorge anzunehmen, so wäre damit ein wichtiger Schritt zur Verwirklichung getan. Der Kanton Wallis müsste natürlich zugleich eine Mindest-Anzahl jährlicher Erdbeben garantieren, selbstverständlich innerhalb der Grenzen der öffentlichen Wohlfahrt. Es ist übrigens klar, dass die Registrierungen im Wallis ebenso wichtig wären auch für alle andern eidgenössischen und alpinen Erdbeben.

Es ist aber auch schon vorgesorgt für den Fall, dass irgendwo in der Schweiz — z. B. auch im Wallis — eine ganze Erdbebenreihe beginnen würde, wie es schon mehrfach der Fall war; dafür haben wir ebenfalls ein besonderes Seismometer gebaut, das transportabel ist — und von einem Tag auf den andern in Kürze irgendwo in der Schweiz aufgestellt werden kann. Es ist dies der Apparat, den wir letztes Jahr in Bern gezeigt haben und der seither, allerdings mehr für technische Messungen, vielfach gedient hat.

Nun danke ich Ihnen für das Interesse, das Sie meinen Ausführungen geschenkt haben; diese waren ja auch zugleich eine Art von Rechenschaft an die Schweizerische Naturforschende Gesellschaft, von welcher seinerzeit die Erdbebenforschung an unser staatliches Institut übergegangen ist — damals nicht ohne Bedenken aus Ihrer Mitte. Ich gestehe offen, dass ich mich in dieser Arbeit, vielleicht nicht zu meinem persönlichen Nutzen, nicht nur der Administration gegenüber verantwortlich gefühlt habe, sondern auch dieser Gesellschaft, welche ihrem Namen nach die Forschung nicht nur duldet, sondern fördern will. Ich möchte nur wünschen, dass diese Rechenschaft Sie einigermaßen befriedigt hat; Ihr fort-dauerndes Interesse wird es sein, von dem auch in Zukunft unserer bescheidenen Mitarbeit an der Erforschung der Natur unseres Landes die nötige Ermutigung zufließen wird.