

39 550, 2-1 8

68

196

35330

Überreicht vom Verfasser.

Die Beziehungen zwischen Erdbeben und
atmosphärischen Bewegungen.

Von

Ferd. Seidl.

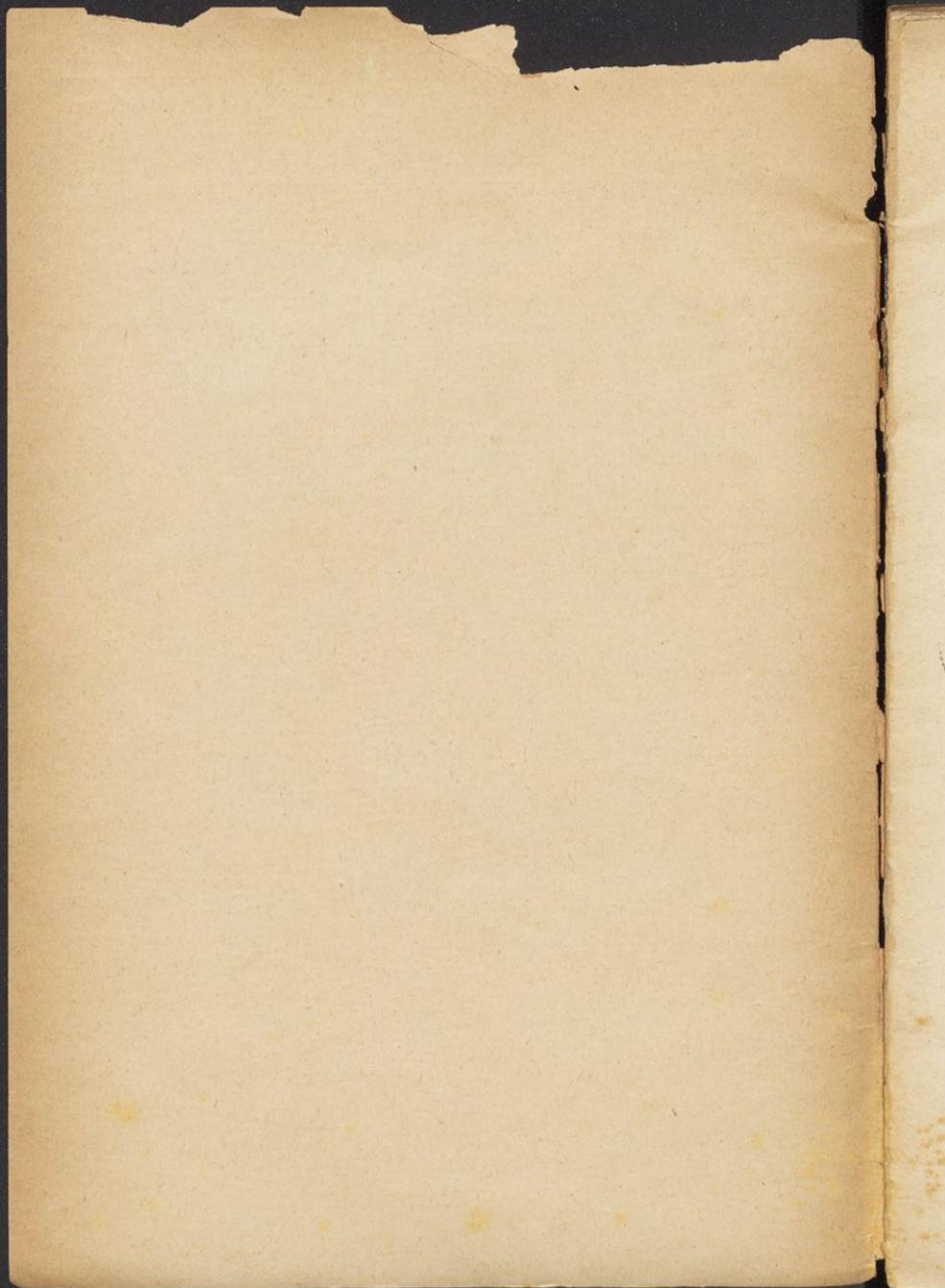
Separatabdruck aus den Mittheilungen des Musealvereines für Krain.



Laibach 1895.

Buchdruckerei Ig. v. Kleinmayr & Fed. Bamberg.

Im Selbstverlage des Verfassers.



Überreicht vom Verfasser.

Die Beziehungen zwischen Erdbeben und atmosphärischen Bewegungen.

Von

Ferd. Seidl.



Separatabdruck aus den Mittheilungen des Musealvereines für Krain.

Laibach 1895.

Buchdruckerei Ig. v. Kleinmayr & Fed. Bamberg.

Im Selbstverlage des Verfassers.

030055622

Die Erdbebenkunde ist zwar der jüngste Zweig der geologischen Wissenschaft, doch sind ihre Aufgaben bereits scharf gefasst und mit bestimmten Erfolgen in Angriff genommen worden. Die bedeutsamsten Untersuchungen, welche den eigentlichen Fortschritt in der Erkenntnis des Phänomens bezeichnen, sind jene, welche den Zusammenhang zwischen dem geologischen Baue der Erdrinde einer Gegend einerseits und der Richtung sowie Natur der Erschütterungen anderseits zum Gegenstande haben. Eine zweite Aufgabe ist bestrebt, den physikalischen Charakter der Erscheinung aufzuhellen, eine dritte sucht einen Einfluss anderer Himmelskörper auf die seismischen Ereignisse unseres Planeten zu erkennen, eine vierte endlich beschäftigt sich damit, die Beziehungen zwischen den Bewegungen des Bodens und der Atmosphäre zu erfassen.

Einen Beitrag in dieser letztgenannten Richtung zu bringen, soll die Absicht der nachfolgenden Untersuchung sein, soweit er sich dormalen aus den Erscheinungen vornehmlich in den Alpen und im dinarischen Gebirgssystem¹ gewinnen lässt.

¹ Wir verstehen darunter das Gebirgssystem, welches am Abbruche der Julischen Alpen auf der Linie Tolmein-Krainburg beginnt und weit nach Südosten hinstreicht entlang der adriatischen Küste Kroatiens und Dalmatiens, hiebei an Breite gewinnend.

Zu einer solchen Untersuchung ladet ein einerseits das Vorherrschen einer bestimmten und intensiven Luftströmung, welche das dinarische Gebirgsland bestreicht und als Bora im weiteren Sinne des Wortes allgemein bekannt ist und in unserer Zeit von Meteorologen ihrem Wesen nach erforscht wurde, vor allem durch den berühmten Director der meteorologischen Centralanstalt in Wien, J. Hann, dann von Mazelle und anderen. Andererseits aber liegen uns ausgezeichnete Untersuchungen über die Erdbeben und deren Beziehungen zum geologischen Baue des erschütterten Territoriums gerade aus dem dinarischen und dem nördlich angrenzenden alpinen Gebiete vor. Wir meinen vor allem die Abhandlung H. Hoefers: «Die Erdbeben Kärntens und deren Stosslinien» (Denkschriften der Akademie der Wissenschaften in Wien 1880), dann diejenige von M. Kišpatić: «Potresi u Hrvatskoj» (Rad jugoslavenske akademije znanosti i umjetnosti 1891, 1892, 1895).

In ähnlicher Weise sind uns die seismischen, geologischen und meteorologischen Verhältnisse der Alpen der Hauptsache nach bekannt. Um die Untersuchung zu vertiefen, sollen noch andere benachbarte Erdbebengebiete verglichen werden.

Angesichts der Neuheit des Gegenstandes unserer Darlegungen ist es angezeigt nachzusehen, inwieweit der Zusammenhang zwischen Erderschütterungen und Bewegungen in der Atmosphäre überhaupt bereits Gegenstand wissenschaftlicher Erörterung war. Es mag gestattet sein, die darauf bezüglichen Ergebnisse übersichtlich zusammenzustellen. Wir entnehmen dieselben theils der ausgezeichneten «Erdbebenkunde» R. Hoernes', theils Neumayers Erdgeschichte, theils Referaten der «Meteorologischen Zeitschrift» sowie Petermanns «Mittheilungen» und einer Abhandlung Wonnenskijs.

Ein sehr auffallendes Beispiel führt Darwin aus Südamerika an; in manchen Gegenden dieses Erdtheiles werden

sogar die Erdbeben geradezu als Regenboten betrachtet, und da dort selbst starke Stösse keinen grossen Schaden anrichten, sondern nur die leichten Rohrhütten der Eingebornen umwerfen, während das Ausbleiben des Regens Hungersnoth bedeutet, so gelten die Erschütterungen als ein frohes, reiche Ernte versprechendes Ereignis. (Neumayer.)

Die in den letzten Jahrzehnten in Italien und Japan mittelst empfindlicher Instrumente durchgeführten Beobachtungen der sehr häufigen schwachen Erzitterungen des Bodens (Earth-Tremors im Gegensatze zu Earthquakes) haben dazu geführt, die grösste Zahl derselben durch Bewegungen in der Atmosphäre zu erklären. Noch klarer als die italienischen durch de Rossi durchgeführten Untersuchungen haben dies die japanischen erwiesen, über deren Resultate John Milne berichtet (1887). Es zeigt sich, dass, abgesehen von einer geringen Zahl solcher feiner Erzitterungen, welche wahrscheinlich auf subterrane Ursachen zurückzuführen und nur als schwache Erdbeben zu betrachten sind, diese Erschütterungen durch die Bewegung der Luft hervorgerufen werden, dass also für sie nicht der tiefe Barometerstand an sich, sondern der Gradient entscheidend sein muss. Dort, wo die Luftdruckdifferenz zwischen benachbarten Orten am bedeutendsten, wo demzufolge die Isobaren, die Linien gleichen Luftdruckes, sich am dichtesten aneinanderdrängen, dort ist die Windstärke am grössten. Die Luftdruckdifferenz, gemessen in der Richtung senkrecht zu den Isobaren und bezogen auf eine Einheit der Entfernung nennt man den barometrischen Gradienten. Dieser Gradient ist das Mass für die Störung des atmosphärischen Gleichgewichtes, er bedingt die Stärke der Luftbewegung, wie das Gefälle die Stromgeschwindigkeit. John Milne hat gezeigt, dass im Gegensatze zu anderweitigen Ansichten de Rossi's auch die italienischen Beobachtungen die Abhängigkeit der feinen Erzitterungen von den barometrischen Gradienten, nicht aber von höherem oder tieferem Stande des Barometers ergaben. Die Beobachtung der mikroseismischen Bewegungen

erfolgte in Japan mit sehr genauen, selbstregistrierenden Instrumenten, und die erhaltenen Resultate wurden aufs sorgfältigste mit den Barometerständen und mit der Geschwindigkeit des Windes verglichen. Die Ergebnisse dieser Vergleichung lassen den Schluss zu, dass die meisten mikroseismischen Erschütterungen durch den Wind verursachte Bewegungen sind, welche sich oft in entfernte Gegenden fortpflanzen, die selbst nicht vom Winde betroffen werden.

Diese mikroseismischen, durch Wind verursachten Bewegungen sind jedoch keine Erdbeben im gewöhnlichen Sinne des Wortes, da ihre Ursache eben keine subterrane ist. Ihre Existenz beweist aber, dass der Einfluss des Windes auf die Erdoberfläche nicht unterschätzt werden darf. Auch grosse, zu Katastrophen führende Erdbeben mögen zwar nicht durch Stürme verursacht, wohl aber in ihrem früheren Eintritt durch solche befördert werden. Bei den Wirbelstürmen der Tropen bildet sich ein barometrisches Depressionscentrum, dessen Luftdruckerniedrigung meist viel grösser ist, als in gemässigten Breiten, von welchem aus der Druck nach allen Richtungen viel schneller zunimmt. Während der Gradient bei den heftigsten Stürmen der gemässigten Zone auf etwa 0·2—0·3 mm pro geographische Meile (3·0—4·5 mm auf den Äquatorgrad, d. i. 111 km) beträgt, steigt er bei den tropischen Wirbelstürmen auf 0·8—1·0 mm (d. i. 12—15 mm pro Äquatorgrad).¹ Das Zusammenfallen von Cyklonen und Erdbeben ist schon vielfach erörtert worden, so beispielsweise von Kluge (1861), welcher unter anderem darauf hinweist, dass, wie Moreau de Jonnes berichtet, von 64 Orkanen auf den Antillen sieben mit Erdbeben zusammenfallen. Ein ähnliches

¹ In einem Aufsätze «Ueber das Klima des Karstes» (Mittheil. des Musealvereines, Laibach 1890) habe ich gezeigt, dass der Gradient zwischen Laibach und Triest an Boratagen des Winters durchschnittlich 3·9 mm beträgt, bei vehementen Stürmen aber steigert er sich bis auf 8 mm und darüber. Nach R. v. Jedina (Met. Ztsch. 1891) erreichte der Gradient bei 37 Borastürmen in Pola im Mittel 3·1, in Triest bei 16 Stürmen sogar 5·4 mm durchschnittlich.

Zusammenfallen einer grossen Cyklone und eines Erdbebens hat E. Suess zur Erklärung jenes am unteren Euphrat eingetretenen Ereignisses angenommen, welches den Namen der Sintflut trägt. «Im Jahre 1737,» sagt Suess, «zu Calcutta und im Jahre 1800 an den Mündungen des Kistna sind Cyklone und Erdbeben vereint aufgetreten. Obwohl beide Erscheinungen ihren Ursachen nach einander fremd sind und obwohl die übergrosse Anzahl von Cyklonen ohne bemerkbare Erderschütterung und ebenso die übergrosse Anzahl von Erdbeben ohne Wirbelsturm eintritt, wiederholt sich doch das zeitliche Zusammentreffen von Erderschütterungen und niedrigem Barometer so oft, dass die Aufmerksamkeit der Forscher auf diesen Umstand gelenkt werden musste.» Suess verweist dann auf die von Jul. Schmidt angestellte Vergleichung griechischer Erdbeben mit den gleichzeitigen Barometerständen, auf ähnliche Studien Rossi's über italienische Erdbeben und endlich auf den Versuch G. Darwins, den mechanischen Effect der barometrischen Entlastung der Erdoberfläche der Rechnung zu unterziehen (1882), schliesst aber seine Betrachtung (1883) über den Gegenstand mit den Worten: «Man kann nicht behaupten, dass die directen Beobachtungen auf diesem Gebiete bereits zu irgend einem festen Ergebnisse geführt hätten, aber die z. B. in Griechenland und Italien in Vergleich gezogenen Verminderungen des Luftdruckes sind weit geringer als jene, welche bei Wirbelstürmen vorkommen. So dürfte bei dem heutigen Stande der Erfahrungen angenommen werden, dass, wenn in einer Gegend, welche sich in einer Phase seismischer Beunruhigung befindet oder in welcher sonst die Vorbedingungen für eine Erderschütterung gegeben sind, jene wesentliche Entlastung von dem Luftdrucke eintritt, welche die Grundbedingung des Wirbelsturmes ist, diese selbe Entlastung zwar die Erderschütterung nicht erzeugt, wohl aber ihr Auftreten beschleunigt oder den Grad der Heftigkeit erhöht.» (Nach Hoernes, Erdbebenkunde.)

Seit der berühmte, bahnbrechende österreichische Geologe den Stand der Erfahrungen in der uns beschäftigenden Frage in die vorstehenden Worte zusammengefasst hat, wurde durch eingehende Untersuchungen die empirische Grundlage erweitert und die Auffassung Suess' wesentlich gekräftigt.

Vor allem kommt eine Arbeit in Betracht, welche wir der seismologischen Gesellschaft in Japan verdanken. Diese ist eine Vereinigung von Männern der Wissenschaft, welche sich bemüht, in einem von Erdbeben oft und hart heimgesuchten Lande die genaueste Beobachtung der seismischen Erscheinungen durchzuführen. Die Veröffentlichungen dieser Gesellschaft enthalten, wie Hoernes rühmlichst hervorhebt, abgesehen von einer grossen Zahl directer Beobachtungen, wie sie in ähnlicher Weise noch in keinem Lande der Erde gesammelt wurden, überaus wichtige theoretische Erörterungen, welche sich auf einzelne Schüttergebiete oder auf allgemeine Fragen der Erdbebenkunde beziehen, so dass wir diese Veröffentlichungen als eine der wichtigsten Quellen für das Studium der seismischen Erscheinungen bezeichnen müssen. Gerade in den Transactions der Gesellschaft erschien im J. 1886 eine Abhandlung von Knott, welche auf Grund statistischer Zusammenstellungen aus verschiedenen Arealen der Erdoberfläche die secundären Ursachen der Erdbeben zum Gegenstande der Prüfung gewählt hat. Einem Referate Supans in Petermanns «Geogr. Mittheilungen» des Jahres 1887 entnehmen wir, dass Knott einen Einfluss der Anziehung von Sonne und Mond — wie ihn R. Falb behauptet, aber niemals versucht hat, wissenschaftlich zu beweisen — in seinen Zahlen nicht zu erkennen vermag. Von den meteorologischen Erscheinungen können die Temperatur, deren Veränderungen nicht tief in den Erdboden eindringen,¹ und der Regen nicht

¹ Bekanntlich verringern sich die Wärmeunterschiede von Tag und Nacht, ja auch von Sommer und Winter in den oberflächlichen Schichten des Erdbodens sehr rasch, und schon in einer Tiefe von 25 bis 30 m hört der Einfluss der Jahreszeiten völlig auf.

in Betracht kommen; die Schneeanhäufung mag wohl einen Einfluss ausüben, aber er ist jedenfalls sehr gering, weil die jährliche Erdbebenperiode mit dem Maximum im Winter und dem Minimum im Sommer auch in schneelosen Gegenden zum Ausdrucke gelangt. Es bleibt somit als der wichtigste der secundären Factoren der Luftdruck übrig. Wo der barometrische Gradient eine ausgesprochene jährliche Periode besitzt, in den mittleren und höheren geographischen Breiten, folgt auch das seismische Phänomen derselben, indem beide ihr Maximum im Winter erreichen; wo aber, wie in den niederen Breiten, der Gradient im Laufe des Jahres keinen beträchtlichen Veränderungen unterliegt, ist auch die jährliche Periode der Erderschütterungen schwach und undeutlich.

Um die so in Kürze dargestellten Beziehungen zwischen den Bewegungen des Bodens und der Atmosphäre durch Zahlenwerte in Bezug auf unseren Erdtheil zu bekräftigen, führen wir in folgender Tabelle zunächst die etwas ausgeglichenen Häufigkeitszahlen der Erdbeben Europas aus dem Zeitraume der Jahre 306—1842 nach Knott vor. Man erkennt daraus deutlich, dass die grösste Frequenz der Erdbeben im Laufe des Jahres auf den Monat Jänner entfällt (147·7), sie sinkt alsdann ziemlich rasch, um bereits im Mai das Minimum (94·7) zu erreichen. Den ganzen übrigen Theil des Jahres steigt sie hierauf langsam an bis zum winterlichen Höhenpunkt. Die andere Zahlenreihe der Tabelle gibt die Luftdruckunterschiede, welche über Europa in der Richtung des stärksten

I.

Jänn.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.
Häufigkeit der Erdbeben in Europa, 306—1842.											
147·7	138·6	119·4	104·6	94·7 *	95·4	100·4	101·8	110·2	110·9	123·7	136·4
Luftdruckunterschiede in Europa, Richtung SE-NW; 2820 km.											
Millimeter											
12·6	8·0	4·2	1·6	-0·2 *	0·6	0·4	1·5	5·3	9·2	6·0	9·3

allgemeinen Gefälles bestehen, ebenfalls für die aufeinander folgenden Monate an. Sie ist dem in seiner Art einzig dastehenden, überaus sorgfältigen, durch allseitige Sicherung des Zahlenmaterialies ganz besonders ausgezeichneten Werke J. Hann's: «Die Vertheilung des Luftdruckes über Mittel- und Südeuropa, Wien 1887» entnommen worden. Die Zahlen bedeuten die Luftdruckunterschiede in der bezeichneten Haupt- richtung in Millimetern, bezogen auf die Strecke von 2820 Kilo- metern. Sie besagen, dass fast das ganze Jahr hindurch ein Luftdruckgefälle vom Continent gegen den Nordatlantischen Ocean besteht. Es ist am grössten im Jänner, sinkt dann, um im Monat Mai zu Gunsten eines unbedeutenden entgegen- gesetzt gerichteten zu verschwinden, und wächst hierauf wieder bis zum winterlichen Höhenpunkt. Nur im November sinkt es auf ein secundäres Minimum herab, so dass dem October das zugehörige Maximum zufällt. Man sieht, die Häufigkeit der Erdbeben Europas wächst und sinkt in demselben Sinne, wie die Intensität der Luftbewegung, welche durch den Gra- dienten in der betrachteten Hauptrichtung angeregt und unter- halten wird. Nur der secundäre Wendepunkt ist in der Jahres- periode der Erdbeben-Frequenz nicht zu erkennen; man darf aber nicht übersehen, dass die Zahlenwerte der letzteren ausgeglichen sind, wodurch die entsprechende Wendung ver- wischt werden konnte. In der That hat schon Perrey (1843, cit. Volger) auf die Verminderung der Erdbeben Europas aufmerksam gemacht, welche seine statistischen Zu- sammenstellungen für den Monat November zeigten. Im all- gemeinen also bekräftigt die Uebereinstimmung in über- raschender Weise die harmonisierenden Auffassungen der beiden Forscher, des Seismologen Knott und des Geologen Suess.

Sehr bemerkenswert ist die Untersuchung A. Wos- nessenskij's: «Ueber die Erdbeben in und um Wernyj im Jahre 1887 und ihre Beziehungen zu meteorologischen Vorgängen», Repert. für Meteorol., Bd. XII, Petersburg 1888.

Die Stadt Wernyj (43° 16' N., 76° 53' O.) wurde am 9. Juni 1887 von einem Erdbeben betroffen, welches alle Häuser zerstörte oder wenigstens eingreifend beschädigte. Es folgten dann noch zahlreiche Stöße durch mehrere Monate. Wosnessenskij fand nun, dass von 155 Erdstößen (bis Ende Jänner 1888) ca. 71% bei fallendem Barometer stattfanden, und 29% bei steigendem. Zur Prüfung der für Wernyj erhaltenen Resultate vergleicht der Autor, sich stützend auf eine Abhandlung Seikei-Sekiya's (Transact. Seism. Soc. Japan 1887), noch die Daten über die Erdbeben Japans vom Jahre 1885 und erhält eine Tabelle, welche wir uns erlauben, hier auszugsweise wiederzugeben.

II.

Inseln Japans 1885.

	Jänn.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.
Anzahl der Erdstöße	33	44	37	37	51	43	32	29	45	41	51	40
Erschütterte km ²	154	262	113	73	160	245	141	94	225	329	64	180
Cyclonen-Beobacht.	17	27	28	19	34	34	20	13	33	36	25	28

Man sieht, dass die Zahl der Erdbebenstöße ebenso wie die Ausdehnung der von den Erschütterungen jeweilen in den einzelnen Monaten heimgesuchten Gebiete (gemessen nach Quadrat-Kilometern) von Monat zu Monat ebenso zu- und abnimmt, wie die Anzahl derjenigen Beobachtungstermine, während welcher auf dem Territorium von Japan oder in einem Abstände von nicht mehr als 150 Kilometern von den Ufern desselben Cyclonencentra beobachtet wurden.

Wosnessenskij erscheint es daher als «nicht allzu gewagt», folgenden Schluss auszusprechen: «Die Variationen der seismischen Erscheinungen stehen in engem Zusammenhange mit den Schwankungen des Luftdruckes, indem während eines Erdbebens je eine Verstärkung der seismischen Thätigkeit bei Verminderung des atmosphärischen Druckes eintreten pflegt.»

Da dieser Schluss seine breitere Basis in den verglichenen Ereignissen Japans hat, so ist — wie wir hinzuzufügen uns erlauben — als Verminderung des atmosphärischen Druckes wohl vor allem jene zu verstehen, welche über einen grösseren Raum der Erdoberfläche eine Cyklone erzeugt und damit Gradientkräfte hervorruft.

Noch einer Untersuchung müssen wir gedenken, welche die Beziehungen zwischen beiden uns beschäftigenden Erscheinungen zum Gegenstande hat, indem sie den Vorzug besitzt, ein kleines, in sich einheitliches Stück Europas zu behandeln. Es ist die Untersuchung T. Ch. Thomassens in Bergens «Museums Aarbog for 1893», über welche J. Hann in dem Juni-Heft der «Meteorolog. Zeitschrift» 1895 berichtet. Der Verfasser kommt auf Grund seiner mehrjährigen Untersuchungen und Studien der norwegischen Erdbeben zu dem Resultat, dass die Vertheilung des Luftdruckes und die Erdbeben unzweifelhaft miteinander in Beziehung stehen. Von entscheidender Bedeutung dabei ist nicht der locale Luftdruck zur Zeit des Auftretens einer Erschütterung, sondern vielmehr die Grösse des Gradienten am Orte selber oder in der Nähe des Erdbebenstriches. Das Auslösen eines Spannungszustandes der Erdkruste kann auch durch die Luftdruckverhältnisse in grösserer Entfernung von dem Erdbebenorte selbst hervorgerufen werden. Aus dem Studium der Luftdruckverhältnisse der norwegischen Erdbeben 1887—1893 geht hervor, dass die Erdbeben weder an hohen noch an niedrigen Barometerstand gebunden sind, und dass das Barometer in den meisten Fällen constant oder steigend, sehr selten dagegen fallend gewesen ist. In 53 Fällen von 86 hat die Verbindungslinie vom Maximum zum Minimum die Richtung Nordwest zu Südost gehabt; dies schien in einem bestimmten Verhältnisse zur Hauptrichtung der Erdbeben gestanden zu sein. Diese Erdbeben scheinen Dislocations-Erdbeben zu sein. Sobald der Unterschied des Luftdruckes auf beiden Seiten einer Bruchlinie einen bedeutenden Grad erreicht, kann das ein Auslösen

des Spannungsverhältnisses verursachen, und es tritt ein Erdbeben ein. Es wird dies nicht mehr so unwahrscheinlich klingen, wenn man bedenkt, dass ein Steigen des Barometers um 1 mm einer Druckzunahme von circa 13·6 Millionen Kilogramm pro Quadratkilometer entspricht. Die untersuchten Erdbeben waren auch weit mehr an das Maximum als an das Minimum des Barometerstandes geknüpft.

Indem wir mit diesem Berichte die Darstellung des Standes unserer Erfahrungen beschliessen, müssen wir, das Vorgeführte überblickend, zugeben, dass durch die Luftbewegung eine Bodenbewegung in zweierlei Weise verursacht werden kann: erstens ein leichtes Erzittern des Erdbodens, eine sogenannte mikroseismische Erschütterung, welche kein Erdbeben im gewöhnlichen Sinne des Wortes ist, da ihre Ursache eben keine subterrane ist; zweitens die Auslösung oder doch die Beförderung der Auslösung oder auch Verstärkung eines wirklichen Erdbebens, für welches in der Erdrinde bereits die Vorbedingungen gegeben sind.

Nach diesen orientierenden Betrachtungen können wir uns der Untersuchung unserer heimatlichen Verhältnisse zuwenden.

In den «Uebersichten der Witterung in Oesterreich etc. im Jahre 1859» findet sich ein kurzer Aufsatz des Dr. Pogačnik: «Ueber die Bora des Wippacher Thales» vor. Der Verfasser war als Arzt und meteorologischer Beobachter in Haidenschaft, einer Ortschaft des Wippacher Thales, welche vom Borastrome in heftigster Weise bestrichen wird, thätig. Er schreibt: «Wenn die Bora in ihrer vollen Mächtigkeit und mit donnerähnlichem Brausen über die Häuser hinstürmt, so werden diese derartig gerüttelt, fast wie bei einem Erdbeben, so dass selbst Mauerstücke von der Zimmerdecke herabfallen und die mit ausgehöhlten Ziegeln bedeckten Dächer nur durch Belastung mittelst grosser Steine vor Beschädigungen gesichert werden können. Die Häuser werden infolge dessen sehr bald baufällig . . . »

Bewohner des Karstes versichern mir, dass die eben angeführte Schlussfolgerung insofern etwas übertrieben zu sein scheint, als sie, gewohnt, einen harten Kampf ums Dasein zu kämpfen, es erlernt haben, ihre Häuser sehr widerstandskräftig aus Steinen aufzubauen und mit niedrigen Dächern zu versehen, so dass das Gemäuer durch die Ersitterungen infolge der Borastösse nicht merklich zu leiden habe.

Professor E. Mazelle in Triest hat die kolossale Intensität der heftigsten Borastösse, welche 4—10 Secunden dauern, worauf die Sturmeskraft eine Zeitlang (40—50 Secunden) nachlässt, zu berechnen versucht und fand für einige stärkste Stösse einen Winddruck von ca. 206 kg auf das Quadratmeter (Meteor. Zeitschr. 1893). Dieser verdiente und eifrige Erforscher der meteorologischen Verhältnisse von Triest theilt mir freundlichst brieflich mit, dass in Triest «bei den stärksten Borastürmen nur ein leichtes Vibrieren an besonders exponierten Häusern beobachtet wird», und fügt bei: «Nach Erkundigungen, die ich beim Leuchthurmwächter eingezogen habe, lässt sich im obersten Theile des Leuchthurmes bei sehr starker Bora ziemliche Vibration bemerken. Im obern geschlossenen Raume wird bei heftigster Bora eine kleine Hängelampe in Schwingungen versetzt.»

Als am heurigen Ostersonntage der unterirdische Dämon die österreichischen Alpenländer sowie deren Nachbarschaft in weitem Umkreise durch ein gewaltiges Erdbeben erschütterte, welches seinen Hauptherd in der Südhälfte des Laibacher Beckens wählte und die blühende Hauptstadt Krains grässlich beschädigte, da meinten die Bewohner von Triest im ersten Augenblicke, es sei nur ein besonders kraftvolles Experiment der Bora.

Unter solchen Umständen ist es kaum zu bezweifeln, dass — wie es in Italien und Japan mit Hilfe empfindlicher Instrumente nachgewiesen wurde — auch in unseren Gegenden durch heftige Luftbewegung mikroseismische Ersitterungen des Erdbodens hervorgerufen werden. In Krain sowie in dem

istrischen, kroatischen und dalmatinischen Küstengebiete werden dieselben hauptsächlich durch die herrschende, nicht selten bis zu den höchsten Graden gesteigerte Strömung der Bora, in zweiter Linie auch durch den Scirocco ausgelöst.

Was dann die Beziehung zu den wirklichen Erdbeben anbelangt, so haben wir die Untersuchung in zwei Theile zu gliedern. Es ist zunächst die Jahresperiode der seismischen Erscheinungen zu vergleichen mit jener des barometrischen Gradienten der zu untersuchenden Gebiete — ähnlich wie wir es oben für Europa im allgemeinen gethan haben —, alsdann aber sind die Beziehungen zwischen der Richtung des Gradienten und der Richtung jener tektonischen Linien in Betracht zu ziehen, längs welcher die Erdbeben unseres Territoriums seit Jahrhunderten und Jahrtausenden ausgelöst zu werden pflegen.

Um die Jahresperiode der Erderschütterungen abzuleiten, wurden die Bebenentage aus den Bebenverzeichnissen folgender Werke ausgehoben und nach Monaten gruppiert:

H. Hoefler, Die Erdbeben Kärntens und deren Stosslinien l. c. Die in dieser Abhandlung enthaltene Chronik ist eine vieljährige, durch sorgfältige Kritik gesicherte Arbeit.

H. Mitteis, «Über Erderschütterungen in Krain». Jahresheft des Vereines des Krainischen Landesmuseums, Bd. III, Laibach 1862. Das Verzeichnis enthält eine Lücke von 1691—1799 und liesse sich ohne Zweifel namhaft vervollständigen.

Dimitz, Geschichte Krains.

K. Deschmann, Handschriftliche Aufzeichnungen, vornehmlich die Beben Laibachs aus den Jahren 1855 bis 1885 betreffend.

C. W. C. Fuchs, Statistik der Erdbeben von 1865 bis 1884. Sitzungsber. d. Akademie d. Wissensch., Wien 1886.

M. Kišpatić, Potresi u Hrvatskoj l. c. Der Verfasser sammelte durch 14 Jahre das Materiale zu einem Katalog der Beben Kroatiens und Dalmatiens. In den jüngstverflossenen Jahren sind auch Erschütterungen von Bosnien und

der Hercegovina hinzugekommen. Das sehr sorgfältige Verzeichnis enthält die Berichte über nahezu 1000 Erdbebenstage.

Die Thatsachen, welche in allen diesen Sammlungen überliefert werden, sind sehr mannigfaltig. Es gibt darunter Erdbeben, welche sich kaum als leise Erzitterung des Bodens wahrnehmen liessen, und andere, welche den festen Erdboden gleich einer Wasserfläche in furchtbar wogende Bewegung versetzten, dass die Menschen taumelten, die Wälder wie ein Getreidefeld im Sturme wallten, die Berge sichtbar wankten, Felsen und Bergestheile sich ablösten und in die Niederung herabdonnerten und dass die Wohnstätten der Menschen in Trümmer zusammensanken, hiebei mehr oder weniger von ihren Bewohnern begrabend. Ebenso sind durch zahlreiche Uebergänge mit einander verknüpft Erdbeben, welche nur eine kleine Oertlichkeit erschütterten, und andere, welche ausgedehnte Länder, Gebirge und Meere durchschritten, um erst in weiter Entfernung von der Ausgangsstelle auszukreisen. Es sind uns Berichte über Erdbeben, welche im vorigen Jahrtausend stattfanden, erhalten geblieben, sie werden selbstverständlich umso zahlreicher, je neueren Datums sie sind.

Eine Erdbebenstatistik, welche die wissenschaftlichen Anforderungen befriedigte, zusammenzustellen, ist eine schwierige Aufgabe. Nicht allein die Ueberlieferungen aus den frühern Jahrhunderten sind sehr unvollkommen, ja geradezu fragmentarisch, auch aus den letztverflossenen Decennien lassen sie, was Vollständigkeit anbelangt, vieles zu wünschen übrig. Ein störendes Element bilden insbesondere auch die Erdbebenschwärme, jene Fälle, in welchen einem starken Hauptstosse im Verlaufe der nächsten Wochen und Monate zahlreiche Erschütterungen folgen. In der statistischen Zusammenstellung kann dadurch einem kurzen Abschnitt des Jahres eine so hohe Zahl zufallen, dass sie erst durch die Ereignisse vieler Jahre ausgeglichen wird und bishin eine Erhebung der Jahrescurve vortäuscht, welche in Wirklichkeit vielleicht nicht besteht. Unter solchen Umständen ist es geboten, um

möglichst grosse, durch einzelne Anomalien der erwähnten Art weniger beirrte Zahlen zu erlangen, die seismischen Erscheinungen eines umfangreichen Flächenraumes und eines langen Zeitraumes zu vereinigen. Daher wurden für die nachstehende Tabelle III die in den obigen Quellen vermeldeten Tage mit Erdbeben in Kärnten, Krain, den südlichsten Theilen der Steiermark, Görz und Triest in die Gruppe «Krain etc.» zusammengefasst, diejenigen von Dalmatien, Kroatien, Bosnien und der Hercegovina aber in die Gruppe «Dalmatien etc.» genommen. Aus der ersteren Ländergruppe konnten die Berichte von 396 Erdbebentagen aus den Jahren 1348 bis 1885 erlangt werden, für die Gruppe Dalmatien aber von 992 Beben aus den Jahren 1187—1884.¹ Um bessere Einsicht in das seismische Verhalten der uns zunächst interessierenden Länder zu gewinnen, haben wir in die Tabelle auch noch andere Areale Europas zum Vergleiche herangezogen (soweit uns eben statistisches Materiale zur Verfügung stand). Die Daten für Skandinavien beziehen sich auf 818 Beben; über 214 derselben berichtet Perrey (1845, citirt bei Volger), über 328, welche seit 1834 in Norwegen sich ereigneten, dagegen Thomassen (Bergens Museums Aarsberetning 1888, Referat in Met. Ztschr. 1890). Perrey hat desgleichen die Vertheilung von 656 Erdbeben Frankreichs über die Monate des Jahres angegeben; hinzugefügt haben wir noch 161 seismische Ereignisse aus der Statistik C. W. C. Fuchs'. Die Angaben für die Schweiz basieren auf 1230 Beben, welche Volger in seinem sehr verdienstlichen Werke «Untersuchungen über das Phänomen der Erdbeben in der Schweiz», 1857, I. Theil, pag. 12, zusammengestellt hat. Für Niederösterreich haben wir die vorgeführten Zahlen aus dem Verzeichnisse abgeleitet, welches E. Suess in seiner bahnbrechenden Abhandlung «Die Erdbeben Niederösterreichs»

¹ Das Detonations-Phänomen auf der Insel Meleda aus den Jahren 1822—25 wurde hiebei von der Zählung ausgeschlossen.

(Denkschr. d. Akad. d. Wissensch., Wien 1873) niedergelegt hat; es umfasst die Erschütterungen Niederösterreichs und der angrenzenden Ländertheile, insbesondere Obersteiermarks, aus den Jahren 1267—1872; ich habe aus C. W. C. Fuchs' Chronik noch die Reihe 1873—1884 hinzugefügt, so dass im ganzen 148 Bebenstage für die Tabelle herangezogen erscheinen. Für die Halbinsel Italien hat schon Perrey die Zusammenstellung von 984 Erderschütterungen ausgeführt, ich habe es vorgezogen, mich auf Fuchs' Statistik zu beschränken, indem ich die Erschütterungen im Vesuvgebiete unberücksichtigt lassen konnte; durch diesen Vorgang wird die Vergleichbarkeit mit den anderen hier betrachteten Ländern, welchen vulkanische Beben fremd sind, gefördert. Es waren somit für Italien nur die Erdbebenstage der Jahre 1865—1884 auszuheben; ihre Anzahl beträgt 1158. Derselben Quelle entnahm ich schliesslich die Berichte über 626 Bebenstage des gleichen Zeitraumes, welche aus der Türkei (südlich vom Breitenkreis der Balkankette), Griechenland, den Aegaeischen Inseln und der Westküste Kleinasiens gemeldet werden. Hiebei wurde das vulkanische Gebiet der Insel Santorin von der Zählung ausgeschlossen.

Um zunächst die Hauptzüge in der Jahresperiode der Erderschütterungen kennen zu lernen, berechnet man am vortheilhaftesten, wie viel Procente der Gesamtsumme der Beben einer jeden Jahreszeit zufallen. In dieser Absicht wurde die hier folgende Tabelle III abgeleitet.

Sie lässt sehr deutlich erkennen, dass auf dem gesammten betrachteten Areale – wie nach Knott überhaupt in Europa – die Häufigkeit der Erdbeben im Laufe des Jahres am geringsten im Sommer ist; es ereignen sich während desselben 12—21% der jährlichen Erschütterungen. Die Ausnahmstellung Niederösterreichs dürfte nur eine scheinbare sein und wird wohl verschwinden, sobald der Vorrath zu vergleichender Geschehnisse ein vollständigerer und reichlicherer sein wird. Den jahreszeitlichen Höchstbetrag erreicht die Erdbebenfrequenz in Skandinavien, in West- und Mitteleuropa, sowie auch noch

III.

Jahreszeitliche Vertheilung der Erdbeben.

	Anzahl	Procente der Jahressumme				Verhältnis Winter : Sommer
		Winter	Frühling	Sommer	Herbst	
Skandinavien . .	542	<u>32</u>	24	20 *	25	1·6 : 1
Frankreich . . .	818	<u>33</u>	23	18 *	26	1·8 : 1
Schweiz	1230	<u>38</u>	26	12 *	25	3·3 : 1
Niederösterreich	148	<u>37</u>	20 *	21	21	1·8 : 1
Krain etc.	396	<u>40</u>	23	14 *	23	2·8 : 1
Dalmatien etc. .	992	<u>30</u>	26	19 *	26	1·6 : 1
Italien	1158	24 *	<u>26</u>	21 *	<u>29</u>	1·1 : 1
Griechenland und Türkei . .	626	26 *	<u>29</u>	20 *	<u>26</u>	1·3 : 1

IV.

Jahreszeitlicher Gang der Intensität des Windes.

		Winter	Frühling	Sommer	Herbst
Küste Norwegens, mittl. Windgeschw.*		<u>9·6</u>	8·2	7·6 *	8·6
Obirgipfel, mittl. Windstärke		<u>2·9</u>	2·6	2·1 *	2·8
Triest, mittl. Windgeschw.*		<u>19·1</u>	12·3	10·2 *	14·2
Lesina, » »		17·2	<u>23·0</u>	16·0 *	<u>20·3</u>
Rom, » »		8·2	<u>8·8</u>	8·2	7·9 *
Montpellier, » »*		4·6	<u>4·8</u>	4·3	4·0 *
Constantinopel, » »**		<u>193</u>	141	113 *	136

* Kilometer pro Stunde. — ** Miles pro Tag.

in Kroatien und Dalmatien im Winter. Anders scheint sich Südeuropa zu verhalten. In Italien, desgleichen in der Umgebung des Aegaeischen Meeres, sind die Erderschütterungen im Winter zwar gleichfalls häufiger als im Sommer, doch gelangen daselbst andere Einflüsse zur überwiegenden Geltung und schaffen zwei nahezu gleich starke, dominierende Maxiam im Herbste und Frühlinge. Hiebei behält der Winter immer noch eine etwas höhere Erdbebenhäufigkeit, als sie dem Sommer zugemessen bleibt.

Der Gegensatz der extremen Jahreszeiten ist auf dem Bereiche unserer Tabelle nicht überall in gleichem Masse ausgebildet. Während der unterirdische Dämon in den Alpen die Bewohner etwa dreimal so oft in der kalten Jahreszeit erschreckt, als in der warmen, beträgt diese Verhältniszahl in dem mildern Klima der betrachteten Theile Nord-, West- und Südeuropas nur mehr 1·8—1·1. In Italien und Griechenland ist, wie vorerwähnt, der stärkste Gegensatz auf andere Jahreszeiten verlegt, und wird der Herbst oder der Frühling — eine bestimmte Entscheidung lässt der zu geringe Thatsachenvorrath unserer Tabellen nicht zu — etwa $1\frac{1}{2}$ mal so häufig von Erderschütterungen heimgesucht, als der Sommer.

Falls nun die Häufigkeit der Erschütterungen des Erdbodens namhaft beeinflusst wird durch die Bewegungen der darüber lagernden Atmosphäre, so muss die Jahresperiode der ersteren als eine Widerspiegelung des jährlichen Verlaufes der Intensität der Luftbewegung erscheinen. Letzteren Verlauf darzustellen ist daher jetzt unsere Aufgabe. An Stelle des Gradienten wählen wir als Mass des Bewegungszustandes der Luft die durch den Gradienten bewirkte Windgeschwindigkeit oder noch vortheilhafter die Dauer starker (d. i. stürmischer) Winde. Die Tabelle IV stellt die in den Vergleich genommenen Grössen dar. Für die norwegische Küste haben wir die Daten aus Bebbers Lehrbuch der Meteorologie geschöpft. Den Bewegungszustand der Luft in dem Gebiete der

Ostalpen lassen wir eine Gipfelstation vorführen, da die Atmosphäre in den Thalbecken durch die Gebirgsumwallung mehr oder weniger behindert ist, dem Gradienten zu folgen. Als eine unsern Zwecken vorzüglich dienende Station bietet sich die Warte auf dem Obirgipfel dar. Die Mittel für die Windstärke sind aus zehnjährigen Beobachtungen von Hann abgeleitet worden (Met. Ztschr. 1893). Für Triest nehmen wir die Angaben E. Mazelles auf (Met. Ztschr. 1892), für Lesina jene von Hann (Met. Ztschr. 1884) und für Rom jene einer Abhandlung von Ferrari (Referat in Met. Ztschr. 1879). Die Aufstellung des Anemometers in Rom dürfte nicht ganz günstig gewesen sein, gemäss Bemerkung in diesem Referat). Ueber Montpellier berichtet Houdaille (sechsjähr. Mittel, Ref. in Met. Zeitschr. 1892); über Constantinopel H. Lyne (20jähriges Mittel, Ref. in Met. Ztschr. 1887).

Man erkennt auf den ersten Blick den Gleichlauf der Erdbebenfrequenz und der Intensität der Luftströmung in Norwegen, in den Ostalpen sowie in dem an diese grenzenden Stücke des Karstgebietes. Für Dalmatien und Italien sowie die Balkanhalbinsel ist dagegen eine Uebereinstimmung aus unserer Zusammenfassung nicht ersichtlich. Es wird daher nothwendig, den Verlauf der beiden Erscheinungen schärfer zu fassen und ihn nach kürzern Zeitabschnitten, als es die Jahreszeiten sind, zu verfolgen. Zu einer solchen Fortsetzung der Untersuchung wird man ermüthiget durch den Parallelismus der jahreszeitlichen Curve der Erdbeben Italiens mit jener der Windgeschwindigkeit auf Lesina.

Eine bessere Einsicht in den jährlichen Verlauf der beiden betrachteten Erscheinungen verspricht daher Tabelle V, gemäss welcher dieselben in ihrem Gange von Monat zu Monat verfolgt werden können. Ueber die Herkunft des hier niedergelegten Zahlenmaterials wurde bereits Bericht erstattet, sofern die Tabellen III und IV vom Verfasser eigentlich aus der Tab. V abgeleitet wurden. Es ist daher nur mehr nöthig, die Quellenangaben für den Zuschuss zu machen. Die Wind-

V.
A. Jahresperiode der Erdbebenhäufigkeit.

		Procente der Jahressumme										
		Die Monate sind auf die gleiche Länge von 30·44 Tagen reducirt.										
	Decbr.	Jän.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Octbr.	Nov.
Skandinavien	8·5	<u>14·2</u>	9·2	9·6	6·6	7·6	5·4 *	5·9	8·5	<u>9·4</u>	6·8 *	8·3
Frankreich	11·2	<u>11·2</u>	11·0	8·8	8·3	5·7	5·6	6·6	6·1	<u>8·6</u>	7·5 *	9·4
Schweiz	13·7	<u>12·2</u>	11·6	11·2	9·7	4·7	4·3	3·3 *	3·8	9·5	<u>9·0</u>	6·9 *
Niederösterreich	7·4	<u>16·2</u>	14·2	6·1	8·8	4·7	8·1	4·7 *	8·1	<u>9·5</u>	6·8	5·4 *
Krain und Kärnten	12·6	<u>17·7</u>	10·1	8·3	8·6	5·8	5·8	5·1	3·5 *	6·3	7·1	9·1
Dalmatien und Kroatien	9·7	<u>10·4</u>	9·6	9·5	8·6	8·0	5·0 *	5·1 *	8·8	<u>9·3</u>	8·8	7·4 *
Italien	9·9	<u>7·7</u>	6·2 *	<u>9·2</u>	8·6	8·5	6·6	8·6	5·8 *	8·7	<u>11·1</u>	9·0 *
Griechenland und Türkei	6·2 *	8·9	10·5	<u>13·4</u>	7·7	7·7	5·9 *	6·2	7·5	5·8	<u>12·0</u>	8·2 *

B. Jahresperiode der Windverhältnisse.

a) Mittlere Windgeschwindigkeit, Meter pro Secunde.

Norwegens Küste	<u>2·7</u>	2·6	<u>2·7</u>	2·4	2·3	2·1	2·1	2·1	2·1	2·3	2·4	2·5
Wien	5·2	4·8	5·6	<u>5·9</u>	5·3	5·2	5·4	5·4	4·9	4·7	4·6	<u>5·2</u>
Pola	4·9	4·8	4·8	<u>5·4</u>	5·0	4·8	3·8	3·9	4·0	4·4	<u>5·1</u>	4·8
Lesina	6·0	5·8	5·3	6·4	<u>6·5</u>	6·3	4·8	4·5	4·1	4·7	<u>5·8</u>	<u>6·4</u>
Rom	2·4	2·3	2·1	<u>2·7</u>	2·4	2·3	2·2	2·3	2·3	2·1	2·1	2·4
Constantinopel	<u>200</u>	194	185	176	134	112	104	116	119	170	130	108

(Miles pro Tag)

b) Mittlere Zahl der Sturmtage, Procente.

Norwegen	14·2	14·4	<u>15·6</u>	8·8	6·2	3·1	2·3	1·8	4·0	5·3	12·7	11·6
Deutsche Küste	<u>13·1</u>	13·0	8·2	<u>13·6</u>	3·4	5·2	3·2	2·7	6·3	6·5	<u>14·0</u>	10·8
Montpellier	<u>13·3</u>	11·7	6·7	<u>10·0</u>	9·3	11·0	10·7	4·3	4·3	3·0	<u>9·3</u>	6·7

c) Mittlere Dauer der starken Winde, Stunden.

Obirgipfel	104	<u>110</u>	95	<u>115</u>	79	81	41	42	35	52	110	78
Pola	34	42	18	<u>50</u>	25	34	4	7	7	17	30	29
Lesina	50	45	33	63	<u>80</u>	62	25	15	15	22	51	60

geschwindigkeit für Wien wurde von Hann abgeleitet (Sitzber. d. Akad. d. Wissensch., Wien 1893), für Pola von Kneusel-Herdliczka (Met. Ztschr. 1891), die Angaben der mittleren Dauer stürmischer Winde (Windstärke mindestens = 6), wurde für den Obir vom Verfasser berechnet aus den dreimaligen täglichen Beobachtungen der zwölf Jahre 1881 bis 1892 (nach Köppens Formel $\frac{r}{n} \cdot N$, Met. Ztschr. 1880, S. 364); jene für Pola verdanken wir R. H. Scott (Referat in Met. Ztschr. 1888), für Lesina dagegen wieder Hann (Ref. ebenda S. [87]). Als starke Winde wurden hiebei jene betrachtet, welche eine Geschwindigkeit von 50 km pro Stunde oder nahezu 14 m pro Secunde aufweisen konnten. Die Jahresperiode der Sturmtage wurde für Norwegen aus Mohns Tabellen (Met. Ztschr. 1885) nach 12 — 22jährigen Beobachtungen an 13 Orten vom Verfasser abgeleitet, jene für die deutsche Küste einer Abhandlung Bötges (Ref. in Met. Ztschr. 1891) entnommen; sie gründen sich auf die Angaben von 43 Signalstellen aus allerdings nur 10 Jahren.

Vergleichen wir jetzt den jährlichen Verlauf beider uns beschäftigenden Erscheinungen an der Hand obiger Tabelle, so ergeben sich bemerkenswerte Aufschlüsse.

Die Jahresperiode der Beben in Norwegen zeigt ausser dem Hauptminimum im Sommer und dem zugehörigen Maximum im Winter noch secundäre Maxima im Frühling und Herbste an, deren Zeitpunkte allerdings durch die geringe Anzahl der comparierenden Beben wohl nur annähernd bestimmt sind. Es überrascht aber zu sehen, dass die Jahresperiode der Sturmfrequenz in Norwegen ziemlich entsprechend Maxima im Februar und Herbste aufweist und neben dem Hauptminimum im Sommer eine namhafte Vermehrung der Stürme im Winter besteht.

In Mitteleuropa (deutsche Küste, Wien, Obir in der Tabelle) sowie im Gebiete des Mittelmeeres (Pola, Lesina, Montpellier) ist die Jahresperiode der Intensität der Luftströmungen — also des Gradienten — eine ebenso verwickelte. Dem

Sommer-Minimum steht deutlich eine Verstärkung im Winter gegenüber; es tritt aber zu dieser einfachen Schwankung noch eine doppelte hinzu mit Maximis im Frühling und Herbst, und entwickelt sich diese letztere stellenweise so kräftig, dass sie die dominierenden Höhenpunkte der Jahrescurve bildet.¹ Viel schärfer als in der Aenderung der mittleren Windstärke prägen sich diese Verhältnisse aus in der mittleren Dauer der starken Winde. Auf dem Obirgipfel beispielsweise haben der Jänner und dann März und October eine etwa dreimal so starke Frequenz heftiger Winde, als die Sommermonate. In dieser Form bestätigt sich der weitverbreitete populäre Glaube an die Häufigkeit der «Aequinoctialstürme» mit allerdings starker Verspätung im Herbste.

Obwohl nun unsere Jahresperiode der Erderschütterungen Italiens und Griechenlands einer nur 19jährigen Beobachtungszeit entstammt, so wird es wohl kaum ein Zufall sein, dass in denselben ausser dem Winter-Maximum und Sommerminimum mit aller Bestimmtheit auch die Culminationen im Frühling und Herbst ausgebildet erscheinen — ganz conform der jährlichen Aenderung der Wind-Intensität. Da es nun nicht denkbar ist, dass durch Erdbeben ein barometrischer Gradient erzeugt würde, und es ebenso nicht findbar ist, dass beide Erscheinungen durch eine aussenstehende dritte Ursache bewirkt würden, so bleibt nur der Schluss gestattet, dass das barometrische Gefälle einen Einfluss auf das Eintreten der Erderschütterungen besitzt und daher die Häufigkeit dieser letzteren zu- und abnimmt, wenn jenes kräftiger, beziehungsweise

¹ Die Complication kommt auf der österreichischen Küste der Adria in der Weise zustande, dass die Borawinde das Maximum im Winter, das Minimum ihrer Häufigkeit im Sommer erlangen. Die Sciroccowinde aber weisen je ein Maximum im Frühling und im Herbste auf. Auch in Wien erlangen nach Hann die Ost- und die Südcomponente des Windes ihr Maximum im Frühling und im Herbste, im Frühling gleichzeitig die Nordcomponente, und entspricht dieses Resultat der Beobachtung dem Wechsel in der Luftdruckvertheilung über Europa.

schwächer wird. In Dalmatien treffen wir ein herbstliches Maximum der Erderschütterungen deutlich ausgeprägt, aber auch jenes des Frühlings ist durch die langsame Abnahme der Zahlenwerte vom Februar bis Mai, worauf ein rascher Abfall folgt, angedeutet. Ein ähnliches Verhalten finden wir in der Schweiz und in Frankreich. In Krain ist eine Verstärkung der seismischen Thätigkeit im Frühlinge nur schwach, im Herbste gar nicht angezeigt. Niederösterreich kommt wegen der geringen Zahl der verglichenen Bebenstage kaum in Betracht, wenn es gilt, secundäre Wendepunkte festzustellen.

Es hat also den Anschein, dass die Doppelschwankung in der Jahresperiode des seismischen Phänomens, welche in Griechenland und Italien deutlich hervortritt, in Dalmatien und Kroatien theilweise, im Alpengebiete fast völlig unterdrückt ist, und zwar offenbar dadurch, dass daselbst die Erderschütterungen des Winters an Häufigkeit das Uebergewicht über jene des Frühlings und des Herbstes erlangen, so dass die Jahrescurve der Bebenfrequenz nur mehr die Culmination in der kalten Jahreszeit aufweist, welcher das Wellenthal im Sommer gegenübersteht.

Wenn nun einerseits in Italien die Jahresperiode der Tage mit starkem Luftgefälle (welche wohl kaum verschieden sein dürfte von jener in Montpellier, Lesina und Pola), völlig parallel ist mit jener der seismischen Frequenz, so dass eine Beeinflussung letzterer durch die erstere offenkundig erscheint, im Alpengebiete dagegen andererseits dieselbe Jahresperiode der Tage mit starkem Luftgefälle herrscht, so ist es in hohem Grade erwünscht, ja von geradezu entscheidender Bedeutung, nachzuweisen, dass auch im Alpengebiete ein Gleichlauf beider Erscheinungen besteht und nur verdeckt ist durch einen mächtigeren Factor — jenen, welcher die seismische Thätigkeit während des Winters auf das Höchste anspornt.

Die Beweisführung hätte offenbar von der Auffassung auszugehen, dass die Jahresperiode der Bebenhäufigkeit durch

das Zusammenwirken zweier Curven zustande komme: einer einfachen Welle, welche ihren Gipfel im Winter, ihre tiefste Stelle im Sommer hat, und einer Doppelwelle, welche je ein Maximum im Frühling und im Herbst besitzt mit zwischenliegenden Minimis.

Die Mathematik stellt uns in der That einen Rechnungsvorgang zur Verfügung von überdies höchst einfacher Art, welcher gestattet, periodische Erscheinungen von noch so verwickelter Form in ihre Theilperioden zu zerlegen. Die Methode dieser Zerlegung rührt in ihrer allgemeinen, für die theoretische Physik höchst wichtigen Form von dem berühmten Physiker *F o u r i e r* her; einen eleganten Rechenmechanismus hat für diese Zerlegung in gewissen einfacheren Fällen der berühmte Astronom *B e s s e l* gegeben, daher man auch namentlich in Deutschland von der «Bessel'schen Formel» spricht; die englischen Physiker nennen eine derartige Darstellung periodischer Erscheinungen durch ihre Theilperioden die «harmonische Analyse» derselben. In der Meteorologie wird sie schon lange verwendet, in neuester Zeit wurde sie für diese Wissenschaft durch niemand Geringeren als *J. H a n n* wieder zu Ehren gebracht. Diesmal soll sie nun in einer Frage der Erdbebenkunde Aufhellung verschaffen.

Es versteht sich von selbst, dass man nur an ausreichend breit fundiertem, gesichertem statistischen Material die harmonische Analyse mit Erfolg durchführen kann. Da die Angaben unserer Tabelle V. in Bezug auf einige Territorien eine zu enge Beobachtungsgrundlage haben, so wurden die Bessel'schen Formeln nur für die übrigen abgeleitet.¹ Es muss auch im Auge behalten werden, dass unsere Zahlenwerte für Italien und Griechenland, trotz der hohen Anzahl der vorgefallenen Beben, doch nur einem 19jährigen Zeitraume entstammen; daher dürften die Eintrittszeiten und die

¹ Sie werden im Anhang zu vorliegendem Aufsätze, begleitet von einigen Bemerkungen, wiedergegeben.

Amplitude der Extreme durch ein umfassenderes Material einige Verschiebung erfahren. Wir begnügen uns, die Hauptzüge der Erscheinung zu erkennen.

Die harmonische Analyse zerlegt nun in der That beispielsweise die Jahresperiode der Erdbebenhäufigkeit sowohl der Schweiz als Dalmatiens und Italiens in je zwei Curven *a* und *b*, deren Bestimmungsstücke durch die nachstehende Tabelle VI wiedergegeben werden. Die hier vorgeführten Zahlenwerte sind in ihrer Bedeutung leicht zu

VI.

Zerlegung der Jahresperiode der Bebenfrequenz in *a*) eine einfache und *b*) eine doppelte Welle.

		Abweichungen von der Mittellinie in ‰ der Jahressumme											
		Dec.	Jänn.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Oct.	Nov.
Schweiz	<i>a</i>)	3·8	<u>4·3</u>	3·7	2·1	-1·1	-2·2	-3·8	-4·3	-3·7	-2·1	1·1	2·2
	<i>b</i>)	-1·1	-0·5	0·6	<u>1·1</u>	0·5	-0·6	-1·1	-0·5	0·6	<u>1·1</u>	0·5	-0·6
Dalma- tien	<i>a</i>)	1·5	<u>1·6</u>	1·3	0·6	-0·2	-1·0	-1·5	-1·6	-1·3	-0·6	0·2	1·0
	<i>b</i>)	-1·1	-0·4	0·7	<u>1·1</u>	0·4	-0·7	-1·1	-0·4	0·7	<u>1·1</u>	4·1	-0·7
Italien	<i>a</i>)	<u>1·0</u>	0·9	0·4	-0·1	-0·6	-1·0	-1·0	-0·9	-0·4	0·1	0·6	1·0
	<i>b</i>)	-0·4	-1·5	-1·2	0·4	<u>1·5</u>	1·2	-0·4	-1·5	-1·2	0·4	<u>1·5</u>	1·2

erfassen. Bei gleichmässiger Vertheilung der Erderschütterungen würden jedem Monate $100 : 12 = 8\frac{1}{3}\%$ der Jahressumme angehören, zufolge der Herrschaft eines bestimmten periodischen Gesetzes aber erhält beispielsweise in der Schweiz laut Tabelle V der December $11\cdot0\%$, das ist $2\cdot7\%$ über das Gleichmass, der Jänner $12\cdot1$, das ist $3\cdot8\%$ der Erschütterungen mehr, als das Mittel allein zuweisen würde. Der Ueberschuss, welcher einigen Monaten zufällt, wird ins Gleichgewicht gesetzt durch den Minderbetrag, welcher auf andere Monate kommt; so steht in unserem Beispiele die

Bebenhäufigkeit des Juni in der Schweiz $8.3 - 3.5 = 4.8\%$ unter dem Mittel. Diese Ueberschüsse und Fehlbeträge oder die Abweichungen vom Mittel im positiven und im negativen Sinne erzeugen eben die Oscillation der betrachteten Naturerscheinung im Laufe des Jahres. Die harmonische Analyse zerlegt nun jede dieser Abweichungen in zwei Posten, und man findet diese in Tab. VI in die zusammengehörigen Reihen *a* und *b* gestellt. So ist der Ueberschuss des December in diesem Beispiel zusammengesetzt aus $+ 3.8$ und $- 1.1$ usw. Die Posten der Reihe *a* variieren nun übereinstimmend in der Schweiz, in Dalmatien und Italien in der Weise, dass sie eine einfache Wellenlinie herstellen. Wenn man sich nämlich das Jahr mit seinen Monaten durch eine gerade, in 12 gleich lange Stücke getheilte Linie veranschaulicht und in den Endpunkten der Theilstücke Senkrechte errichtet von einer Länge, welche proportional gemacht wird den Grössen der Reihen unter *a* der in Discussion stehenden Tabelle, wobei die positiven Zahlen oberhalb, die negativen unterhalb der Jahreslinie aufgetragen werden, und verbindet man schliesslich die Endpunkte der abgemessenen Senkrechten durch einen gleichmässigen Curvenzug, so erscheint dieser als eine einfache Welle mit dem Maximum im Winter (Jänner oder December) und dem Minimum im Sommer (Juli oder Juni), und zwar bis auf eine unbedeutende Zeitdifferenz übereinstimmend in den drei betrachteten Territorien. Die Jahresperiode der Erdbebenhäufigkeit enthält aber, wie die harmonische Analyse durch die Zahlenreihen *b* es offenbart, noch eine zweite Theilperiode mit zwei Maximis, und zwar im Frühlinge und im Herbste, und zwischenliegenden Minimis, und liegen die Wendepunkte in der Schweiz sowie in Dalmatien und Kroatien übereinstimmend in den gleichen Monaten, in Italien erscheinen sie nur wenig verschoben.

Unsere oben vorgebrachte Vermuthung, dass die Jahresperiode der Bebenhäufigkeit durch das Zusammenwirken zweier Curven zustande komme: einer einfachen Welle, welche

ihren Gipfel im Winter, ihre tiefste Stelle im Sommer hat, und einer Doppelschwankung, welche je ein Maximum im Frühling und Herbst besitzt — wird somit durch die harmonische Analyse glänzend bestätigt. Wie in dem Gebiete der Apenninen den beiden (kaum zu bezweifelnden) Maximis der Windgeschwindigkeit Maxima der Erdbebenfrequenz entsprechen, so auch im Gebiete der Alpen und der Dinaren. Diese Thatsache spricht deutlich zu Gunsten einer causalen Beziehung zwischen der Intensität des Luftgefälles und der seismischen Thätigkeit.

Ueberrascht wird man noch durch den sicherlich nicht bedeutungslosen Umstand, dass die Doppelwelle in den Alpen wie in den Dinaren die gleiche Schwankungsweite hat: ihre Wendepunkte entfernen sich übereinstimmend um je 1.1% von der Mittellinie. Ein nicht viel grösserer Betrag, nämlich 1.5% , stellt sich als Amplitude für Italien heraus.

Die einfache Oscillation verhält sich in dieser Beziehung in ganz kennzeichnender Weise verschieden. Sie hat die kleinste Amplitude in den Apenninen (1.0%), eine grössere (1.6) in den Dinaren und eine noch viel beträchtlichere (4.3) in den Alpen. So kommt es, dass in der Jahresperiode der Erdbebenhäufigkeit Italiens die Doppelwelle nebst der einfachen schon in den unmittelbar durch die Beobachtung gegebenen Zahlen deutlich hervortritt, in Dalmatien dagegen, und noch mehr in den Alpen, verdeckt die scharf ausgeprägte einfache Schwankung die schwächere doppelte.

Es entsteht nun die Frage: Durch welche Ursache wird die einfache Schwankung der seismischen Thätigkeit in den Alpen im Vergleiche zu dem unmittelbar benachbarten Italien so sehr verschärft? In der Jahresperiode der Intensität der Luftströmungen scheint sich dieser Gegensatz nicht wiederzuspiegeln, wenn wir die allerdings spärlichen, darauf bezüglichen Angaben unserer Tabelle V zu Rathe ziehen. Dagegen zeigen die Karten der mittleren Luftdruckvertheilung, welche wir der unermüdlichen Thätigkeit H a n n s verdanken, dass zu

keiner anderen Jahreszeit ein so grosser Druckunterschied besteht, als im Winter, wo über den Alpen hoher Luftdruck herrscht, welcher allseitig gegen die Umgebung hin abdacht, besonders rasch gegen Süden und ähnlich gegen Norden.¹ G. Darwin hat — wie Hoernes in seiner «Erdbebenkunde» meldet — berechnet, dass eine Vermehrung des Luftdruckes, welche über einem ganzen Continent ein Steigen des Quecksilbers um 30 mm bewirkt, die Erdkruste um 60—90 mm deprimiert und umgekehrt. — Auch wird man zu prüfen haben, ob hier nicht noch ein anderer mechanischer Einfluss im Spiele ist, welcher in den Alpen besteht, in viel geringerer Masse in Kroatien und Dalmatien, nicht aber in Italien; wir meinen einen ebenfalls klimatischen Factor: die Belastung des Erdbodens durch die winterliche Schneedecke.

Wir verlassen die Betrachtung der Beziehungen zwischen dem jährlichen Rhythmus der Häufigkeit der Erderschütterungen und jenem der Intensität der Luftströmungen, welche über den erzitternden Erdboden hinwehen, und wenden uns der zweiten vorgesteckten Aufgabe zu: Es sind die Relationen ins Auge zu fassen, welche etwa zwischen den bevorzugten Richtungen des Luftdruckgefälles und den Linien, auf welchen die seismische Thätigkeit wirkt, bestehen. Wir beschränken uns hiebei auf das Gebiet zwischen den Karawanken und Montenegro.

Dem bahnbrechenden österreichischen Geologen E. S u e s s haben wir die Kenntnis zu verdanken, dass die häufigsten und ausgedehntesten Erdbeben, die sogenannten tektonischen, dadurch hervorgerufen werden, dass die in Schollen von

¹ Volger (l. c. III. Theil, S. 500) findet nicht weniger als 84 Fälle von Verknüpfung des Föhns mit Erdbeben. Gibt man den Einfluss des Gradienten auf das Eintreten von Erderschütterungen zu, so dürften diese Fälle nicht ein blosses Werk des Zufalls sein. Nach Hann (Sitzungsber. d. Akad. d. Wissensch., Wien 1882) steigt der Gradient bei einzelnen Föhnstürmen zwischen Lugano und Altdorf auf 10—12 mm und wird den stärksten bekannten Gradienten gleich.

grösserem oder kleinerem Umfange zerstückelten Theile der Erdrinde von Zeit zu Zeit ruckweise sich bewegen, indem sie dem schrumpfenden Erdkern zusinken und hiebei wohl auch in horizontaler Richtung sich verschieben. Die Erschütterungen, welche durch solche Bewegungen entstehen, gehen daher von den Bruch- oder Zerreissungslinien aus, welche die Schollen umgrenzen. Jene sind also zugleich Stoss- oder Bebenlinien. Nachdem S u e s s die ersten classischen Beispiele des Zusammenhanges zwischen tektonischen und seismischen Linien festgestellt hat (1873 und 1874), haben sich fast alle Geologen, welche mit Erdbebenforschungen beschäftigt waren, wie Bittner, Hofer, Hoernes, Toula, Muschetoff, Fouqué, Dutton, Davison, Wynne, Issel, Taramelli und andere, der angebahnten neuen Erkenntnis in erfreulicher Uebereinstimmung angeschlossen.

Indem ein ausgezeichnete Forscher, H. Hofer, die Stosslinien Kärntens feststellte (1880), ward er durch die Natur der Erscheinungen vielfach veranlasst, auch diejenigen Krains und des Küstenlandes aufzusuchen, jedoch ohne für diese zwei Länder, die ausserhalb seines eigentlichen Studiengebietes blieben, Endgiltigkeit und Vollständigkeit anzustreben. Daher unterzog sich der Verfasser vorliegender Zeilen der Aufgabe, Hoefers Angaben, wo es angezeigt schien, zu modificieren und wesentlich zu ergänzen.

Die Stosslinien Kroatiens, Dalmatiens, Bosniens und der Hercegovina hat dann der überaus emsige Agramer Forscher M. Kišpatić in seiner genannten bemerkenswerten Abhandlung festgestellt.

Wir erlauben uns hier nur die Bruch- und Bebenspalten Krains und dessen nächster Nachbarschaft aufzuzählen, um die Lücke in der Kenntnis zwischen den genannten zwei Gebieten zu schliessen und da diese Linien für die Leser der «Mittheilungen» als Mitglieder des Musealvereines von Krain vor allem von Interesse sind. Zugleich versuchen wir Anschluss zu gewinnen an die Studiengebiete Hoefers und

Kišpatić, um so den Ueberblick über die hauptsächlichsten tektonischen und seismischen Linien des Areales, welches zwischen den Karawanken und Montenegro sich erstreckt, zu erhalten.

Wir haben zu unterscheiden die Längsbruchlinien, welche in der Längserstreckung des Dinarischen Gebirgssystems parallel der Achse der Adria verlaufen, und die Querlinien, welche vom Meere aus landeinwärts streichen, die ersteren mehr oder weniger rechtwinklig verquerend.

Die Längs-Stosslinien sind:

- 1.) Duino - Triest - Pingente - Cherso,
- 2.) Solkan bei Görz - Wippach - Illir. Feistritz - Buccari Zengg - Gospić - Cattaro,
- 3.) Karfreit - Idria - Zirknitz - Ogulin - Bihač - Prozor,
- 4.) Pontafel - Tarvis - Radmannsdorf - Laibach - Seisenberg - Möttling - Karlstadt; diese Linie findet vielleicht¹ ihre Fortsetzung in der Spalte Ključ - Travnik - Serajevo - Plevlje,
- 5.) Laibach - Auersperg - Reifnitz - Gottschee,
- 6.) die Linie des Temenitzthales in Unterkrain,
- 7.) Sabor (?) - Nassenfuss - St. Barthelmä - Krašić bei Jaska; die Fortsetzung bildet vielleicht die Linie Novi - Banjaluka - Višegrad,
- 8.) Steinbrück - Gurkfeld - Samobor (?) - Sissek - Gradiska - Bjelina,
- 9.) Daruvar - Djakovo - Novisad.

Erwähnen wollen wir noch die Linie, welche durch das Gailthal in Kärnten ostwärts gegen Marburg hinzieht, und die Linie Villach - Klagenfurt - Völkermarkt - Sanct Paul, beide sind für die Alpen Längslinien, wie auch unter den nachstehenden Quer-Stosslinien die Linien 9, 10, 11.

¹ Die Geologie Bosniens und der Hercegovina steht dem Verfasser im Augenblicke leider nicht zur Verfügung.

Die Quer-Stosslinien sind:

- 1.) Venedig - Udine - Pontafel (die Tagliamentolinie),
- 2.) Raibl - Tarvis - Maglern,
- 3.) Flitsch - Weissenfels,
- 4.) das Planizathal, 5.) das Pischenzathal, 6.) das Vrata-thal in den Julischen Alpen,
- 7.) Dobrdob - Görz - Tolmein - das Wocheinerthal - Loibl - Klagenfurt,
- 8.) das Kanker- und das Vellachthal,
- 9.) Karfreit - Stein - Cilli,
- 10.) Bischoflack - Sagor - Planina - Krapina - Kopriv-nica (?) - Fünfkirchen,
- 11.) Laibach - Littai - Steinbrück,
- 12.) Triest - Edelsberg - Laibach,
- 13.) Treffen - Nassenfuss - Krapina,
- 14.) Klana - Gottschee - Töplitz - Gurkfeld - Klanjec,
- 15.) Töplitz (?) - St. Barthelmä - Rann,
- 16.) Möttling - Samobor - Agram,
- 17.) Metković-Sarajevo (die Narentalinie).

Die Zahl der Querbrüche, welche Kispatić nennt, ist auffallend gering.

Überdies kommen für das Festland als Stosslinien in Betracht: der Bruchrand der Alpen und des Dinarensystemes gegen die venezianische Tiefebene und die Adria einerseits und gegen die ungarisch-kroatische Tiefebene andererseits, sowie der Bruchrand des Laibach - Krainburg - Veldeser Senkungsfeldes.

Es ist nicht zu läugnen, dass die Kenntnis unserer tektonischen Linien theilweise lückenhaft und hypothetisch ist und manche Ergänzungen sowie Abänderungen erfahren wird, doch hat als sichergestellt zu gelten, dass das Terrain zwischen den Karawanken und Montenegro, der Adria und Serbien von Bruchlinien durchsetzt ist, welche zum Theil durch mehrere hundert Kilometer weit in ziemlich gerader Richtung fortstreichen. Sie sind vorwiegend entweder parallel der Längs-

achse des adriatischen Senkungsfeldes orientiert, also von Nordwesten nach Südosten, oder sie ziehen quer zu dieser Richtung von Südwesten gegen Nordosten. Die Erdbebenverzeichnisse Kišpatić', Hoefers, Mitteis' und Fuchs' liefern den Beweis, dass von diesen Linien häufige, zum Theil ausgedehnte Erschütterungen ausgehen. Die unmittelbare Ursache der Auslösung des Spannungszustandes zwischen den längs und quer zertheilten Schollen liegt ohne Zweifel in uns verborgenen tektonischen Verhältnissen, allein da die Bedeutung des barometrischen Gefälles als eines untergeordneten, secundären, die Auslösung der Spannungen befördernden Factors für sicher gestellt gelten darf, so mag es ebenso von Einfluss sein, dass eine herrschende, nicht selten recht heftige Luftströmung, welche als Bora einen breiten Küstenstrich auf der Nord- und Ostseite der Adria bestreicht, gerade fast senkrecht zu den bedeutsamsten, weit hinziehenden Längsbruchlinien ihre mechanische Wirksamkeit richtet. Dort, wo die Centren des alpinen Hochdruckgebietes und der adriatischen Luftdruck-Depression einander am nächsten lagern, das ist zwischen dem Kärntner Becken und der nördlichen Adria, erlangt der Bora-Gradient den grössten Wert. Gegen Süden hin gewinnen die Sciroccowinde an Häufigkeit und Stärke. Auf der Insel Lesina sind sie es, die, aus Ostsüdost bis Südsüdost wehend, nach Hann bereits 76 % der Windgeschwindigkeits-Maxima zuwege bringen, wogegen nur mehr 18 % der Bora (Nord bis Ost) angehören. (Für Pola sind die entsprechenden Zahlen nach Kneusel: 70 % Bora, 26 % Scirocco.) Zugleich aber schwenkt im südlichen Theile Dalmatiens das Streichen der grossen Längsbruchlinien, entlang welcher die von Nordwest nach Südost ziehenden dinarischen Gebirgstreifen von ihrem Anfangsstück in Krain an treppenartig gegen das Meer abstürzen,¹ nach Osten um, so dass die sciroccale Windströmung

¹ Die dalmatinischen Inselreihen sind nach der begründeten Ansicht der Geologen die erhöhten Ränder und Gipfel der in die Tiefe versenkten westlichsten Karststufen.

wirksamer gegen die steilen Böschungen des dinarischen Stufenlandes drängt.

Während wir uns in dieser Art eine physikalische Vorstellung machen können darüber, wie die Erregbarkeit dieser oder jener Erdbebenspalten des dinarischen Gebirgssystems durch bestimmte, gerade herrschende Richtungen des Gradienten — abgesehen von dessen Stärke — gereizt wird, würde es Aufgabe einer besondern Untersuchung sein, geradeaus für Einzelfälle Beweise für eine solche Abhängigkeit zu erbringen.

Als vielleicht bedeutsam mag in Bezug auf diese Frage folgende Thatsache berührt werden. Fast das ganze Jahr hindurch besteht über Europa ein Luftdruckgefälle in der Richtung von Südwesten gegen Nordosten. Im Juni und Juli wächst der Druckunterschied, bezogen auf die Entfernung von 2450 km, rasch auf 3·4, bzw. 3·8 mm an, um dann wieder ziemlich schnell abzusinken. Eine daraus entspringende Beeinflussung der seismischen Thätigkeit in der Schweiz ist, wenigstens im allgemeinen, nicht zu erkennen. Es mag dies in Beziehung stehen zu dem Umstande, dass die Alpenketten nahe dieselbe Streichungsrichtung haben, wie der ins Auge gefasste Gradient, und die «Standfestigkeit», wenn man so sagen darf, der Alpenmauer in dieser Richtung wohl grösser sein mag, als in meridionaler.

Ogleich wir in dieser Angelegenheit zu bestimmten Ergebnissen nicht gelangen können, befriedigen wir uns doch an dem grossen Fortschritt, den die Erdbebenforschung in jüngster Zeit gemacht hat. Vor 25 Jahren war das seismische Phänomen noch in jeder Beziehung völlig ein Räthsel — gegenwärtig sind wir in der Lage, einen untergeordneten Einfluss auf dasselbe, jenen des barometrischen Gradienten auf den jährlichen Rhythmus der Erdbebenhäufigkeit, zwar nur im allgemeinen, jedoch zahlenmässig und in einem bestimmten physikalischen Sinne zu erkennen. Wir können sagen: Sobald in einer Gegend, welche sich — um mit den Worten Suess'

zu reden — in einer Phase seismischer Beunruhigung befindet oder in welcher sonst die Vorbedingungen für eine Erschütterung gegeben sind, die Action der Atmosphäre lebhafter wird und starke Gradienten erzeugt, so wird dadurch die Auslösung der tektonischen Spannungen beschleuniget oder der Grad ihrer Heftigkeit erhöht. Jene Vorbedingungen scheinen in den besprochenen mediterranen Erdbebengebieten verhältnismässig häufig gegeben zu sein, da die Jahresperiode der Bebenfrequenz in inniger Beziehung steht zu jener der verstärkten Gradienten.

Anhang. Man erhält für die Erdbebenhäufigkeit und für die Dauer stürmischer Winde die in Tab. VII zusammengestellten analytischen Gleichungen als eleganten, einfachsten Ausdruck für den jährlichen Gang dieser Erscheinungen.

Setzt man in diese Gleichungen für x nacheinander die Werthe 0, 1, 2, 3, . . . 11 ein, entsprechend den Monaten Jänner, Februar, März, April December, und rechnet dann jedesmal den rechten Theil der Gleichung aus, so erhält man die jedem Monate angehörige procentische Bebenfrequenz, beziehungsweise die mittlere Dauer starker Winde, und für Norwegen die procentische Vertheilung der Sturmtage.

Das erste Glied im rechten Theile der Gleichungen bezeichnet das allgemeine Monatmittel. Die beiden Winkelglieder geben die Jahresperiode der Naturerscheinung an in Form von Abweichungen vom allgemeinen Mittel. Die unregelmässige Gesamtperiode wird durch diese zwei Glieder zerlegt in zwei Theilperioden, welche als regelmässige Sinuscurven erscheinen. Lässt man x die Werthe 0, 1, 2, . . . 11 durchlaufen, so zeigt die erste dieser «harmonischen Constituenten» eine einfache Welle an mit einem Maximum und einem Minimum, die zweite erscheint als Doppelwelle mit zwei Wellenbergen und zwei Wellenthälern. In Bezug auf die Erdbebenfrequenz sind die Ordinaten der einfachen Schwankung in den Columnen a der Tab. V berechnet eingetragen, jene der Doppelwelle unter b .

Häufigkeit der Erdbeben in Procenten.

Skandinavien	$y = 8.33 + 2.03 \sin (98^{\circ} 39' + 30x) + 1.30 \sin (40^{\circ} 12' + 60x)$
Schweiz	$y = 8.33 + 4.30 \sin (91^{\circ} 25' + 30x) + 1.09 \sin (332^{\circ} 17' + 60x)$
Dalmatien etc.	$y = 8.33 + 1.66 \sin (98^{\circ} 24' + 30x) + 1.10 \sin (338^{\circ} 16' + 60x)$
Italien	$y = 8.33 + 1.07 \sin (126^{\circ} 16' + 30x) + 1.60 \sin (252^{\circ} 40' + 60x)$
Griechenland etc.	$y = 8.33 + 1.69 \sin (71^{\circ} 35' + 30x) + 1.78 \sin (318^{\circ} 18' + 60x)$
[Krain etc.	$y = 8.33 + 4.52 \sin (88^{\circ} 45' + 30x) + 1.52 \sin (115^{\circ} 18' + 60x)]$

Mittlere Häufigkeit stürmischer Winde in Stunden.

Obirgipfel	$y = 78.5 + 3.92 \sin (89^{\circ} 29' + 30x) + 14.51 \sin (225^{\circ} 54' + 60x)$
Pola	$y = 24.6 + 17.03 \sin (79^{\circ} 40' + 30x) + 6.75 \sin (259^{\circ} 1' + 60x)$
Lesina ¹ (allgemein)	$y = 43.2 + 17.96 \sin (54^{\circ} 40' + 30x) + 20.89 \sin (244^{\circ} 19' + 60x)$
» Bora	$y = 4.9 + 4.62 \sin (91^{\circ} 4' + 30x) + 0.07 \sin (270^{\circ} 0' + 60x)$
» Schirocco	$y = 35.8 + 13.21 \sin (29^{\circ} 28' + 30x) + 20.72 \sin (248^{\circ} 44' + 60x)$

Mittlere Häufigkeit der Sturmzüge in Procenten.

Norwegen	$y = 8.33 + 6.75 \sin (105^{\circ} 44' + 30x) + 0.39 \sin (23^{\circ} 42' + 60x)$
--------------------	-----------------------------------------------------------------------------------

¹ Nach Hann, Annal. d. Hydrographie u. maritim. Meteorol., 1888.

Es ist übrigens leicht, auf den ersten Blick in den Formeln sowohl die Hauptphasenzeiten der componierenden Wellen als auch deren Amplituden zu erkennen. Letztere werden nämlich durch die Coëfficienten, erstere durch die Winkelgrössen angegeben.

Das erste Sinusglied hat für den Fall, dass dessen constanter Winkel $= 90^{\circ}$ ist, offenbar dann den grössten positiven Wert, wenn $x = 0$ ist; den grössten negativen Wert erreicht es hiebei für $x = 6$. Wenn also der constante Winkel in der ersten harmonischen Constituyente 90° beträgt, so wird dadurch bekundet, dass das Maximum der Wellenlinie, das ist der höchste Punkt des Wellenberges, in den Monat Jänner, das Minimum, das ist der tiefste Punkt des Wellenthales, in den Juli ($x = 6$) fällt. Eine Vergrösserung, beziehungsweise Verminderung des ständigen Winkels um 30° verlegt die Wendepunkte auf December, Juni, beziehungsweise Februar, August. Es versteht sich von selbst, dass der höchste und der tiefste Punkt der Welle um so weiter von der Mittellinie abstehen, je grösser der Coëfficient ist, mit welchem der Sinus zu vervielfachen ist.

Setzt man nun in der zweiten harmonischen Constituyente nacheinander $x = 0, 1, 2, \dots 11$ und berechnet den Wert des Sinus, so erkennt man, dass dieser im Laufe des Jahres zweimal seinen grössten positiven und inzwischen ebenso oft seinen grössten negativen Betrag erhält. Wenn der constante Winkel 330° beträgt, so entfallen die Maxima auf März ($x = 2$) und September ($x = 8$), die Minima auf Juni und December. Eine Vergrösserung, beziehungsweise Verminderung des constanten Winkels um 60° bewirkt, dass die Wendepunkte um einen Monat früher, beziehungsweise später eintreten. Der Coëfficient zeigt wieder die Amplitude der Doppelwelle an.

Nach diesen erläuternden Bemerkungen ist es leicht, die obigen Formeln zu durchblicken und die vielseitige Orientierung über die betrachteten Phänomene zu gewinnen, welche

durch höchst einfache mathematische Ausdrücke gewährt wird. Man erkennt die Uebereinstimmungen sowie die Verschiedenheiten in der Jahresperiode der Erdbebenfrequenz in den betrachteten Gebieten und die Beziehungen derselben zu dem Jahresrhythmus der Sturmfrequenz. Die Gleichungen bieten in übersichtlichster Form die Belege für die oben im Texte vorgeführten Verknüpfungen der beiden Erscheinungsreihen, soweit sie durch das vorhandene und verwendete statistische Materiale aufgedeckt werden.

Unter der Annahme, dass die Jahresperiode der Bebenhäufigkeit durch die erörterte einfache und doppelte Schwankung bestimmt wird, haben wir von der unendlichen convergierenden Bessel'schen Reihe nur die ersten zwei Sinusglieder aufgenommen, welche eben die bezeichneten zwei Schwankungen zum Ausdruck bringen. Falls diese die ausschliesslichen Componenten der beobachteten resultierenden Periode sind, so müssen die nächstfolgenden Glieder der Bessel'schen Gleichungen Null betragen. Sobald aber das dritte und die nächstfolgenden Glieder nicht Null sind oder doch als unbedeutend vernachlässigt werden können, so folgt daraus entweder, dass im Jahreslaufe der seismischen Thätigkeit nicht bloß die einfache und die doppelte Schwankung im Spiele sind, sondern auch andere Einflüsse, oder aber es ist das Beobachtungsmateriale, welches man der harmonischen Analyse unterzieht, ein mangelhaftes, noch nicht geeignet, die verborgenen Gesetzmässigkeiten der Erscheinung hervortreten zu lassen.

Wir machen daher noch auf das dritte Sinusglied obiger Gleichungen der Erdbebenfrequenz aufmerksam.

Es lautet für Dalmatien	1·13	<i>sin</i>	(123°	+ 90 <i>x</i>)
» Italien	0·04	<i>sin</i>	(213°	+ 90 <i>x</i>)
» Krain	1·21	<i>sin</i>	(96° 20'	+ 90 <i>x</i>)
» Griechenland	1·47	<i>sin</i>	(322° 22'	+ 90 <i>x</i>)
» Skandinavien	1·29	<i>sin</i>	(106° 34'	+ 90 <i>x</i>)

Man sieht, dass das statistische Materiale Italiens den theoretischen Voraussetzungen noch am besten entspricht. In einem Lande, welches von Erdbeben sehr häufig heimgesucht wird, kommt also die Gesetzmässigkeit in deren Verlaufe schon in kurzer Zeit deutlich zum Vorschein.

In der Jahresperiode der Erderschütterungen Krains und Dalmatiens ist das dritte Glied der Bessel'schen Reihe nicht zu vernachlässigen, und bringen die ersten zwei harmonischen Constituenten nur eine erste angenäherte Kenntniss von dem untersuchten Phänomen. Die Ausnahmsstellung des constanten Winkels der zweiten harmonischen Constituenten für Krain ist dermalen nicht auf in der Natur des Phänomens gelegene Ursachen zurückführbar. Es dürfte wohl das verwendete empirische Materiale von 396 Beben Tagen ein unzureichendes sein. Es gestattet aber eine befriedigende Bestimmung der ersten Constituenten der harmonischen Reihe.

In Bezug auf die oben für Italien vorgeführte Gleichung muss bemerkt werden, dass sie zunächst mit dem unmittelbar durch die Beobachtung gegebenen, augenscheinlich abnormen Procentsatze der Erderschütterungen des Monates Juli (8.6% laut Tab. V) abgeleitet wurde; der Wert, welchen die erhaltene Gleichung ergab (6.9%), wurde als der correctere angesehen und mit ihm die oben mitgetheilte Gleichung abgeleitet. Es hat diese im Vergleich zu jener einen um 12° kleineren Winkel in der ersten und einen um 6° grösseren in der zweiten harmonischen Constituenten.

