

# Mitteilungen der Erdbeben-Kommission

Neue Folge — Nr. 57

Über die Drehungen beim Ranner Erdbeben  
vom 29. Jänner 1917

Von

Franz Heritsch (Graz) und Robert Schwinner (Graz)

(Mit 8 Textfiguren)

Wien, 1919

Aus der Staatsdruckerei

In Kommission bei Alfred Hölder

Universitätsbuchhändler

Buchhändler der Akademie der Wissenschaften

Die »Mitteilungen der Erdbeben-Kommission« erschienen bisher in den Sitzungsberichten der mathem.-naturw. Klasse, Abteilung I. Von nun an werden sie als besondere Ausgabe veröffentlicht werden.

Bisher sind folgende Nummern der »Mitteilungen« ausgegeben worden:

- I. Bericht über die Organisation der Erdbeben-Beobachtung nebst Mitteilungen über während des J. 1896 erfolgte Erdbeben, zusammengestellt von Ed. v. Mojsisovics (Sitz. Ber., Bd. 106 [1897], Abt. I, Heft II) — K 60 h.
- II. Bericht über das Erdbeben von Brüx am 3. November 1896, von Friedrich Becke (Sitz. Ber., Bd. 106 [1897], Abt. I, Heft II) . . . . . — K 50 h.
- III. Bericht über das Erdbeben vom 5. Jänner 1897 im südlichen Böhmerwalde, von Friedrich Becke (Sitz. Ber., Bd. 106 [1897], Abt. I, Heft III) . . . — K 40 h.
- IV. Bericht über die im Triester Gebiete beobachteten Erdbeben am 15. Juli, 3. August und 21. September 1897, von Eduard Mazelle (Sitz. Ber., Bd. 106 [1897], Abt. I, Heft IX) . . . . . — K 40 h.
- V. Allgemeiner Bericht und Chronik der im Jahre 1897 innerhalb des Beobachtungsgebietes erfolgten Erdbeben, zusammengestellt von Edmund v. Mojsisovics (Sitz. Ber., Bd. 107 [1898], Abt. I, Heft V) . . . . . 3 K 40 h.
- VI. Die Erderschütterungen Laibachs in den Jahren 1851 bis 1886, vorwiegend nach den handschriftlichen Aufzeichnungen K. Deschmanns, von Ferdinand Seidl (Sitz. Ber., Bd. 107 [1898], Abt. I, Heft VI) . . . . . — K 50 h.
- VII. Verhalten der Karlsbader Thermen während des volgtländisch-westböhmisches Erdbebens im Oktober—November 1897, von Josef Knett (Sitz. Ber., Bd. 107 [1898], Abt. I, Heft VI) . . . . . 2 K 60 h.
- VIII. Bericht über das Graslitzer Erdbeben vom 24. Oktober bis 25. November 1897, von Friedrich Becke (Sitz. Ber., Bd. 107 [1898], Abt. I, Heft VII) . . . 5 K 40 h.
- IX. Bericht über die unterirdische Detonation von Melnik in Böhmen vom 8. Apr. 1898, v. J. N. Woldřich (Sitz. Ber., Bd. 107 [1898], Abt. I, Heft X) — K 90 h.
- X. Allgemeiner Bericht und Chronik der im Jahre 1898 innerhalb des Beobachtungsgebietes erfolgten Erdbeben, zusammengestellt von Edmund v. Mojsisovics (Sitz. Ber., Bd. 108 [1899], Abt. I, Heft IV) . . . . . 3 K 20 h.
- XI. Die Einrichtung der seismischen Station in Triest und die vom Horizontalpendel aufgezeichneten Erdbebenstörungen von Ende August 1898 bis Ende Febr. 1899, von Ed. Mazelle (Sitz. Ber., Bd. 108 [1899], Abt. I, Heft V) 1 K — h.
- XII. Übersicht der Laibacher Osterbebenperiode für die Zeit vom 16. April 1895 bis Ende Dez. 1898, v. F. Seidl (Sitz. Ber., Bd. 108 [1899], Abt. I, Heft V) — K 70 h.
- XIII. Bericht über das obersteierische Beben vom 27. November 1898, von Rudolf Hoernes (Sitz. Ber., Bd. 108 [1899], Abt. I, Heft V) . . . . . 1 K 10 h.
- XIV. Bericht über die obersteierischen Beben des ersten Halbjahres 1899 (zumal über die Erschütterungen vom 1., 7. und 29. April), von Rudolf Hoernes (Sitz. Ber., Bd. 108 [1899], Abt. I, Heft VIII) . . . . . 2 K 10 h.
- XV. Bericht über Erdbebenbeobachtungen in Kremsmünster, von Franz Schwa b (Sitz. Ber., Bd. 109 [1900], Abt. I, Heft II) . . . . . 1 K 10 h.
- XVI. Bericht über das niederösterreichische Beben vom 11. Juni 1899, von F. Noë (Sitz. Ber., Bd. 109 [1900], Abt. I, Heft II) . . . . . — K 60 h.
- XVII. Erdbebenstörungen zu Triest, beobachtet am Rebeur-Ehlerťsches Horizontalpendel vom 1. März bis Ende Dezember 1899, von Eduard Mazelle (Sitz. Ber., Bd. 109 [1900], Abt. I, Heft II) . . . . . — K 90 h.
- XVIII. Allgemeiner Bericht und Chronik der im Jahre 1899 innerhalb des Beobachtungsgebietes erfolgten Erdbeben, zusammengestellt von Edmund v. Mojsisovics (Sitz. Ber., Bd. 109 [1900], Abt. I, Heft III) . . . . . 3 K 30 h.
- XIX. Die tägliche periodische Schwankung des Erdbodens nach den Aufzeichnungen eines dreifachen Horizontalpendels zu Triest, von Eduard Mazelle (Sitz. Ber., Bd. 109 [1900], Abt. I, Heft VII) . . . . . 3 K 20 h.
- XX. Über die Beziehungen zwischen Erdbeben und Detonationen, von Josef Knett (Sitz. Ber., Bd. 109 [1900], Abt. I, Heft IX) . . . . . — K 80 h.
- XXI. Bericht über das Detonationsphänomen im Duppauer Gebirge am 14. August 1899, von Josef Knett (Sitz. Ber., Bd. 109 [1900], Abt. I, Heft IX) . . 1 K — h.

## Neue Folge.

- I. Bericht über die Erdbebenbeobachtungen in Lemberg, von W. Lásk a 1 K 90 h.
- II. Allgemeiner Bericht und Chronik der im Jahre 1900 im Beobachtungsgebiete eingetretenen Erdbeben, von Edmund v. Mojsisovics . . . . . 2 K 30 h.
- III. Bericht über die seismischen Ereignisse des Jahres 1900 in den deutschen Gebieten Böhmens, von V. Uhlig . . . . . 3 K — h.
- IV. Bericht über die Erdbebenbeobachtungen in Kremsmünster im Jahre 1900, von P. Franz Schwab . . . . . — K 60 h.
- V. Erdbebenstörungen zu Triest, beobachtet am Rebeur-Ehlerťschen Horizontalpendel im Jahre 1900, von Eduard Mazelle . . . . . 1 K — h.
- VI. Das nordostböh. Erdbeben vom 10. Ján. 1901, von J. N. Wold Fich 1 K 60 h.
- VII. Erdbeben und Stoßlinien Steiermarks, von R. Hoernes . . . . . 2 K 10 h.
- VIII. Die Erdbeben Polens. Des historischen Teiles I. Abt., v. W. Lásk a — K 80 h.
- IX. Bericht über die Erdbeben-Beobachtungen in Lemberg während des Jahres 1901, von Prof. Dr. W. Lásk a . . . . . 1 K 10 h.
- X. Allgemeiner Bericht und Chronik der im Jahre 1901 im Beobachtungsgebiete eingetretenen Erdbeben, von Edmund v. Mojsisovics . . . . . 3 K 30 h.
- XI. Erdbebenstörungen zu Triest, beobachtet am Rebeur-Ehlerťschen Horizontalpendel im Jahre 1901, nebst einem Anhang über die Aufstellung des Vicentini'schen Mikroseismographen, von Eduard Mazelle . . . . . 1 K 20 h.
- XII. Bericht über die Erdbebenbeobachtungen in Kremsmünster im Jahre 1901, von Prof. P. Franz Schwab . . . . . — K 40 h.
- XIII. Das Erdbeben von Saloniki am 5. Juli 1902 und der Zusammenhang der makedonischen Beben mit den tektonischen Vorgängen in der Rhodopemasse, von R. Hoernes . . . . . 2 K — h.
- XIV. Über die Berechnung der Fernbeben, von Prof. Dr. W. Lásk a . . . — K 30 h.
- XV. Die mikroseismische Pendelunruhe und ihr Zusammenhang mit Wind und Luftdruck, von Eduard Mazelle . . . . . 2 K 60 h.
- XVI. Vorläufiger Bericht über das erzgebirgische Schwarmbeben vom 13. Februar bis 25. März 1903, mit einem Anhang über die Nacherschütterungen bis Anfang Mai, von J. Knett . . . . . — K 80 h.
- XVII. Das Erdbeben von Sinj am 2. Juli 1898, von A. Faidiga . . . . . 2 K 90 h.
- XVIII. Das Erdbeben am Böhm. Pfahl am 26. Nov. 1902, von J. Knett. — K 80 h.
- XIX. Allgemeiner Bericht und Chronik der im J. 1902 im Beobachtungsgebiete eingetretenen Erdbeben, v. Ed. v. Mojsisovics. (Mit einem Anhang: Bericht über die Aufstellung zweier Seismographen in Píbram, v. Dr. H. Benndorf.) 2 K 60 h.
- XX. Erdbebenstörungen zu Triest, beobachtet am Rebeur-Ehlerťschen Horizontalpendel im Jahre 1902, von Eduard Mazelle . . . . . 1 K 40 h.
- XXI. Bericht über die Erdbebenbeobachtungen in Kremsmünster im Jahre 1902, von Prof. P. Franz Schwab . . . . . — K 50 h.
- XXII. Bericht über die seismologischen Aufzeichnungen des Jahres 1902 in Lemberg, von Prof. Dr. W. Lásk a . . . . . — K 70 h.
- XXIII. Über die Verwendung der Erdbebenbeobachtungen zur Erforschung des Erdinnern, von Prof. Dr. W. Lásk a . . . . . — K 40 h.
- XXIV. Berichte über das makedonische Erdbeben vom 4. April 1904, von Prof. R. Hoernes . . . . . 1 K — h.
- XXV. Allgemeiner Bericht und Chronik der im Jahre 1903 im Beobachtungsgebiete eingetretenen Erdbeben, von Edmund v. Mojsisovics . . . . . 3 K 40 h.
- XXVI. Bericht über die Erdbebenbeobachtungen in Kremsmünster im Jahre 1903, von Prof. P. Franz Schwab . . . . . — K 40 h.
- XXVII. Bericht über das Erdbeben in Untersteiermark und Krain am 31. März 1904, von Prof. Dr. R. Hoernes und Prof. F. Seidl . . . . . 1 K — h.
- XXVIII. Jahresbericht des Geodynamischen Observatoriums zu Lemberg für das Jahr 1903, nebst Nachträgen zum Katalog der polnischen Erdbeben, von Prof. Dr. W. Lásk a . . . . . — K 60 h.
- XXIX. Über die Art der Fortpflanzung der Erdbebenwellen im Erdinneren (I. Mitteilung), von Dr. Hans Benndorf . . . . . — K 80 h.

- XXX. Erdbebenstörungen zu Triest, beobachtet am Rebeur-Ehlerst'schen Horizontalpendel im Jahre 1903, nebst einer Übersicht der bisherigen fünfjährigen Beobachtungsreihe, von Eduard Mazelle . . . . . — K 90 h.
- XXXI. Über die Art der Fortpflanzung der Erdbebenwellen im Erdinnern (II. Mitteilung), von Dr. Hans Benndorf . . . . . 1 K 50 h.
- XXXII. Über das Mürtzaler Erdbeben v. 1. Mai 1885, v. Dr. F. Heritsch . 2 K 40 h.
- XXXIII. Beschreibung des seismischen Observatoriums der k. k. Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik in Wien, von Dr. Viktor Conrad 1 K — h.
- XXXIV. Bericht über das Erdbeben vom 19. Februar 1908, von Dr. Franz Noë 1 K — h.
- XXXV. Über die pulsatorischen Oszillationen (mikroseismische Unruhe) des Erdbodens im Winter 1907/1908 in Wien, von Dr. Rudolf Schneider. 1 K 50 h.
- XXXVI. Die zeitliche Verteilung der in den österreichischen Alpen- und Karstländern gefühlten Erdbeben in den J. 1897—1907, v. Dr. V. Conrad 1 K — h.
- XXXVII. Die Geschwindigkeit der Erdbebenwellen in verschiedenen Tiefen, von Prof. W. Trabert . . . . . — K 30 h.
- XXXVIII. Seismische Laufzeitkurven, von Prof. W. Láská . . . . . — K 40 h.
- XXXIX. Seismische Registrierungen in Wien, k. k. Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, im Jahre 1909 (mit einigen Hilfstabellen zur Analyse von Bebediagrammen), von Dr. V. Conrad . . . . . 1 K 30 h.
- XL. Das Scheibser Erdbeben vom 17. Juli 1876, von A. Kowatsch . 1 K 70 h.
- XLI. Seismische Registrierungen in Wien, k. k. Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, im Jahre 1910, von Dr. Rudolf Schneider . . 1 K 20 h.
- XLII. Bericht über das Erdbeben in den Alpen vom 13. Juli 1910, von Dr. Josef Schorn . . . . . 2 K — h.
- XLIII. Das mittelsteirische Erdbeben v. 22. Jän. 1912, v. Dr. F. Heritsch — K 80 h.
- XLIV. Die zeitliche Verteilung der in den Jahren 1897 bis 1907 in den österreichischen Alpen- und Karstländern gefühlten Erdbeben (ein Beitrag zum Studium der sekundär auslösenden Ursachen der Erdbeben) (II. Mitteilung), von Prof. V. Conrad . . . . . — K 80 h.
- XLV. Seismische Registrierungen in Wien, k. k. Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, im Jahre 1911, von Dr. Rudolf Schneider . . 1 K 30 h.
- XLVI. Über die Bestimmung von Azimut und scheinbarem Emergenzwinkel longitudinaler Erdbebenwellen, von H. Benndorf . . . . . — K 60 h.
- XLVII. Seismische Registrierungen in Wien, k. k. Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, im Jahre 1912, von Dr. Rudolf Schneider . . . 1 K 30 h.
- XLVIII. Seismische Aufzeichnungen in Laibach, gewonnen an der Erdbebenwarte im Jahre 1913, von Prof. A. Achitsch . . . . . — K 80 h.
- XLIX. Das Judenburger Erdbeben am 1. Mai 1916, von Dr. F. Heritsch — K 50 h.
- L. Vorrichtung zum mechanischen Auswerten von Bebenkurven, von Wilhelm Schmidt . . . . . — K 50 h.
51. Das Oberburger Erdbeben vom 28. Oktober 1916 und seine Nachbeben, von Franz Heritsch und Norbert Stücker . . . . . 1 K 30 h.
52. Das Erdbeben von Rann an der Save vom 29. Jänner 1917, von Dr. A. Tornquist . . . . . 5 K — h.
53. Transversalbeben in den nordöstlichen Alpen, von F. Heritsch . 2 K 20 h.
54. Das Judenburger Erdbeben vom 1. Mai 1916, von N. Stücker . . — K 60 h.
55. Das Erdbeben von Rann an der Save vom 29. Jänner 1917. Zweiter Teil. Die Tektonik der Bucht von Landstraß und ihre Beziehungen zu den Erderschütterungen, von F. Heritsch und F. Seidl . . . . . 40 K — h.
56. Über Brontidi in der Ranner Erbebenserie des Jahres 1917 nebst Bemerkungen über Erdbebengeräusche, von F. Heritsch . . . . . 4 K 80 h.

# Über die Drehungen beim Ranner Erdbeben vom 29. Jänner 1917

Von

Franz Heritsch (Graz) und Robert Schwinner (Graz)

(Mit 8 Textfiguren)

(Vorgelegt in der Sitzung am 9. Oktober 1919)

Die Untersuchung des Erdbebens von Rann, mit welcher Aufgabe der eine von den Verfassern durch die Erdbeben-Kommission der Akademie der Wissenschaften in Wien beauftragt wurde, hat als besonders interessantes Studienobjekt die auffallenden Drehungen gehabt. Wir hoffen, in den folgenden Zeilen einen Beitrag zur Kenntnis dieser bei starken Erdbeben so überaus häufigen Erscheinung zu geben.

## I. Darlegung des Beobachtungsmaterials.

Von F. Heritsch.

Die Drehungen von Rauchfängen, Grabsteinen und anderer aufragender, überhaupt beweglicher Gegenstände hat Tornquist bereits dargestellt.<sup>1</sup> Hinsichtlich des Beobachtungsmaterials und dessen Anordnung, die in Tornquist's Darstellung eine wichtige Rolle spielt, bin ich zu abweichenden Anschauungen gekommen. Bei Sammlung des Beobachtungsmaterials unterstützten mich Baurat Serneć und Ing. Kolenz, denen hiermit herzlich gedankt sei.

---

<sup>1</sup> Mitteilungen der Erdbeben-Kommission der Akad. der Wissensch. in Wien. N. F. Nr. 52.

### a) Beobachtungen am Alten Friedhof in Rann.

Der Alte Friedhof<sup>1</sup> liegt an der Hauptstraße zum Bahnhof. In der Nähe des Einganges in diesen nicht mehr in Verwendung stehenden Friedhof stehen die Grabsteine von Thomas und Therese Zelzer, voneinander 1·5 *m* entfernt; beide Grabsteine stehen mit ihrer Längsseite auf einer genau in Ost—West verlaufenden Linie. Der des Thomas Zelzer ist i. S.<sup>2</sup> gedreht und etwas gegen Westen verschoben. Der Grabstein der Therese Zelzer ist e. S. gedreht und um einen kleinen Betrag gegen Norden vorgerückt.

Von diesem Grabstein um 5·3 *m* gegen Westen und um 1 *m* gegen Norden abstehend, befindet sich der Grabstein der Elise Sotscheg, der e. S. gedreht und stark gegen Süden verschoben ist.

An der Außenmauer der Friedhofkapelle waren mehrere Grabsteine aus der Mauer herausgerissen (Grabsteine und Kirchenmauer sind Pendel von verschiedener Länge). Bei einigen dieser an der Mauer stehenden Grabsteinen scheint eine Drehung e. S. stattgefunden zu haben (z. B. Grabstein des Michael Lepschina).

Östlich und südlich der Friedhofkapelle waren bemerkenswerte Beobachtungen zu machen:

1. Grabstein Zechner. Seine Größe ergibt sich aus der Fig. 1. Er ist auf der Basisplatte ziemlich stark i. S.; die am weitesten gedrehte Ecke weicht um 5·5 *cm* zurück. Die Längsseite des Grabsteines steht genau in Nord—Süd-Richtung.

2. 10 *m* östlich davon steht der Grabstein des Kalb; auch dessen Längsachse ist Nord—Süd gerichtet. Dieser Grabstein war um einen kleinen Betrag i. S. gedreht und um etwa 10 *cm* gegen Süden verschoben. Mit Beziehung auf den Grabstein Kalb sagt Tornquist, daß in vielen Fällen Verschiebungen entstanden seien, die nur durch die nicht mehr

---

<sup>1</sup> Er ist auf der Spezialkarte fast 1000 Schritte nördlich von der Pfarrkirche eingezeichnet.

<sup>2</sup> i. S. = gedreht im Sinne des Uhrzeigers.

e. S. = gedreht entgegengesetzt dem Sinne des Uhrzeigers.

völlig horizontal liegende Grabplatte verursacht wären; die Grabsteine seien dann in der Richtung der Neigung der Grabplatte verschoben worden. Gerade diese Grabplatte lag unbedingt horizontal.

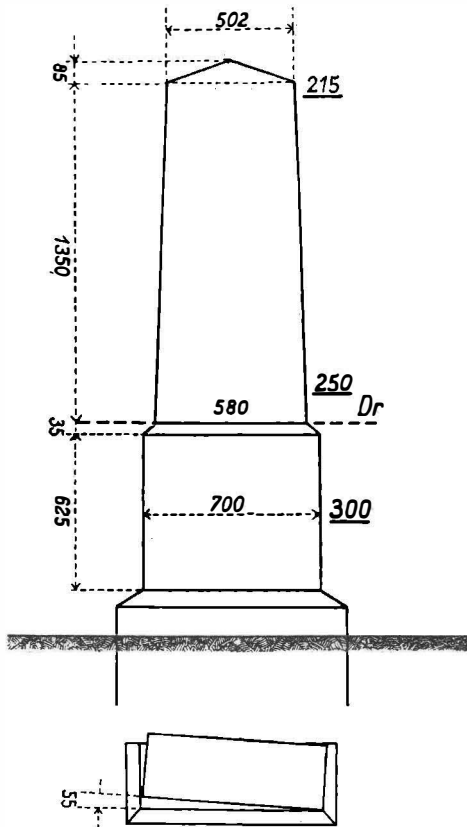


Fig. 1.

Rann. Alter Friedhof. Grabstein des Baltasar Zechner, aus grauem Marmor bestehend. Vorderansicht: *Dr* — Fuge der Drehung. Die Zahlen geben die Maße in Millimeter. Die unterstrichenen Zahlen geben die Maße des Querschnittes an.

Grundriß: Verdrehung des oberen Teiles um 55 mm gegen die Basis.

Zwischen den Grabsteinen Kalb und Zechner ist ein hoher Grabstein vorhanden, der gar nicht gedreht war; auch dessen längere Seite ist in Nord—Süd-Richtung aufgestellt.

3. Nur 4 *m* 62 *cm* südlich vom Grabstein Zechner stehen die Grabsteine Vislarini. Ihre Größenverhältnisse zeigen die Figuren 2. Die längere Seite der Grabsteine steht genau in Nord—Süd-Richtung.

Der Grabstein der Erna von Vislarini ist zweimal gedreht. Unmittelbar über dem Sockel ist der untere Teil des Grabsteines e. S. gedreht (Drehung in Fuge *A* der Fig. 2). Der obere, hohe Teil des Grabsteines ist unmittelbar über diesem e. S. gedrehten in der Fuge *B* der Fig. 2 i. S. gedreht. In der Fuge *B* beträgt das Maximum der Abweichung von der normalen Lage 17 *mm*, in der Fuge *A* nur 15 *mm*.

Daneben steht der Grabstein Arno von Vislarini; er ist in der Fuge *a* der Fig. 2 um 10 *mm* maximale Abweichung e. S. gedreht.

4. Ein Grabstein, der etwa 10 *m* südlich vom Grabstein Kalb steht, war heftig i. S. gedreht. Seine längere Seite ist in Nord—Süd-Richtung orientiert.

5. Südöstlich der kleinen Kirche des Friedhofes liegt eine mit einem Eisengitter eingezäunte Grabstätte mit vier Grabstellen. Das östlichste Grabkreuz (Therese Hübschmann) war sehr schön gedreht. Der Sockel steht in Nord—Süd-Richtung; das Kreuz, aus Marmor bestehend und allerdings auf einem Stifte ziemlich leicht drehbar, war in Nord 55° West orientiert. Es ist das eine ganz evidente Drehung i. S. Das unmittelbar daneben stehende Marmorkreuz (Kellner) ist etwas e. S. gedreht, wobei der ganze Sockel mitbewegt wurde. Die beiden westlichen Kreuze in der Einfriedung sind ganz wenig e. S. gedreht.

4 *m* südlich davon ist der Grabstein J. Cvirn e. S. gedreht.

Die in der Friedhofkapelle unter dem Altar liegende Christusgestalt war stark e. S. gedreht.

Tornquist hat mit Namen 13 Grabsteine angeführt, welche e. S. gedreht sind. Ich rechne nun die vier oben von mir angeführten Grabsteine mit dieser Drehung dazu. Dann ist das Zählenverhältnis der e. S. gedrehten zu den i. S.



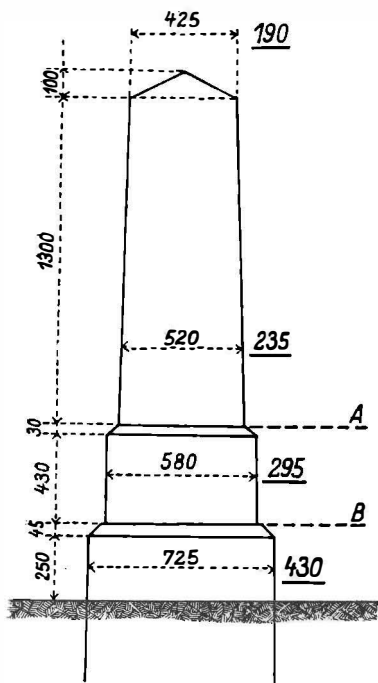


Fig. 2a

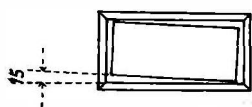


Fig. 2b

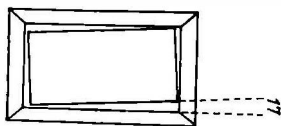


Fig. 2c

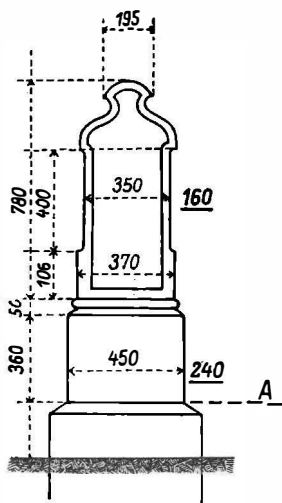


Fig. 2d

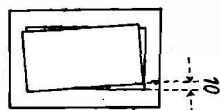


Fig. 2e

Rann. Alter Friedhof. Grabsteine Vislarini, beide aus weißem Marmor bestehend. Maße in Millimetern; die unterstrichenen Zahlen geben die Maße des Querprofils.

a—c Grabstein Erna v. Vislarini. a: In Fuge A und B fanden die Drehungen statt. b: Drehung in Fuge A im Grundriß. Maß der Verdrehung 15 mm. c: Drehung in Fuge B im Grundriß. Maß der Verdrehung 17 mm.

d und e. Grabstein Arno v. Vislarini. d: In Fuge A erfolgte die Drehung. e: Grundriß der Fuge A mit der Drehung. Maß der Verdrehung 10 mm.

gedrehten Grabsteinen so wie 17:7. Ich stelle daher fest, daß die Drehung der Grabsteine am Alten Friedhof zu Rann i. S. und e. S. eingetreten ist.

### b) Beobachtungen am Neuen Friedhof in Rann.

Im Neuen Friedhof, der in der Nähe der Save liegt, waren die Drehungen im allgemeinen geringer und seltener als am Alten Friedhof. Es mögen im folgenden nur wenige Beobachtungen angeführt werden:

1. Der Grabstein der Neza Janeziz, dessen Längsseite in Nord—Süd-Richtung steht, war um 16 *cm* gegen Westen auf seinem Sockel vorgeschoben.

2. An der Ostseite des Friedhofes (östlich vom mittleren Hauptgang) waren folgende, mit der Längsseite in Nord—Süd-Richtung stehende Grabsteine i. S. gedreht: Umek, Knöfl (schon bei Tornquist verzeichnet, als Kröfel), Gereg (bei Tornquist als Gerce), Polschag und Savnik (beide bei Tornquist erwähnt). Die Grabsteine Umek und Kröfl sind schwach gedreht, der Grabstein Gereg war um zirka 20° und auch der Grabstein des Polschag war nicht unbedeutend gedreht.

Daneben gibt es aber auch in diesem Teil des Neuen Friedhofes einige Grabsteine, welche e. S. gedreht sind; doch treten sie an Zahl gegen die anderen zurück; es sind die Grabsteine Vouk, Wimpolšek und Savnik. Tornquist nennt noch dazu Mikole, Leiter und Kene. Die von mir genannten Grabsteine stehen mitten unter solchen, die i. S. gedreht sind.

Ferner sind i. S. gedreht die Grabsteine Pustak, Stergar und Chiggo.

3. Auf der Westseite des Hauptganges des Neuen Friedhofes war der Grabstein J. Petrišič um zirka  $\frac{1}{2}$  *cm* gegen Osten auf seinem Sockel bewegt worden. Die Grabsteine Stergar und Gabritsch sind i. S. gedreht; e. S. ist auf diesem Teil des Friedhofes nur ein Grabstein gedreht.

Auf dem Neuen Friedhofe verhält sich die Zahl der i. S. zu den e. S. gedrehten so wie 10:6. Ich schließe daraus, daß

auch hier nicht jene Gesetzmäßigkeit in der Drehung vorhanden ist, wie sie von Tornquist (l. c., p. 27) angenommen worden ist.

### c) Sonstige Beobachtungen in Rann.

In seiner zitierten Abhandlung gibt Prof. Tornquist eine Reihe von Beispielen über die Drehung in der Stadt Rann und sagt ganz allgemein (p. 17), daß die Drehung der Rauchfänge in der Stadt immer e. S. geschehen sei. Ich habe der Sache nur geringe Aufmerksamkeit geschenkt, stelle aber fest, daß der Rauchfang des Schweinestalles des Franziskanerklosters i. S. verdreht war.

Ich führe aber auch ein paar schöne Beispiele von Drehungen e. S. an. Pfeiler im Franziskanerkloster zu Rann zeigten eine sehr hübsche Drehung e. S.; die Bahn, auf der die Drehung stattfand, ist eine raue Mörtelfläche auf Ziegeln. In der Sparkasse wurde die über 2 m hohe und sehr schwere eiserne Kasse derart e. S. bewegt, daß im westlichen Teile der Abstand der Kasse von ihrem Postament 5·2 cm, am Ostende aber 3·7 cm beträgt.

An der Straße vom Deutschen Hause zum Spital befindet sich nach dem Eichamt ein hölzerner Gartenzaun, der eine Reihe von Ziegelpfeilern hat, die auf einer unten durchlaufenden Sockelmauer aufsetzen. Die Pfeiler sind im unteren Teile abgerissen und verschoben (Fig. 3). Die Fläche der Zerreißung steigt im fast Süd—Nord liegenden Teile des Zaunes langsam gegen Norden an. Die Entfernung der Pfeiler voneinander beträgt im Durchschnitte 3·6 m, die Dicke der Pfeiler 45 cm. Folgendes wurde beobachtet:

1. Pfeiler, an ein Haus angebaut — keine Verschiebung.
2. Pfeiler, in der Mitte gerissen und der obere Teil e. S. gedreht.
3. Pfeiler, in der Mitte zerrissen; der obere Teil e. S. gedreht. Die den aus Ziegeln erbauten Pfeiler oben abschließende Kalkplatte (Abdeckplatte) auch noch gegenüber der schon gedrehten Unterlage e. S. gedreht.

4. Pfeiler, in der Mitte gerissen; der obere Teil i. S. gedreht; auch die Abdeckplatte neuerlich i. S. gedreht, so daß sie die stärkste Drehung mitgemacht hat.

5. Pfeiler — wie der 3. Pfeiler.

6. Pfeiler, an zwei Stellen durchgerissen. Der untere abgerissene Teil e. S. gedreht; der obere, durch den zweiten

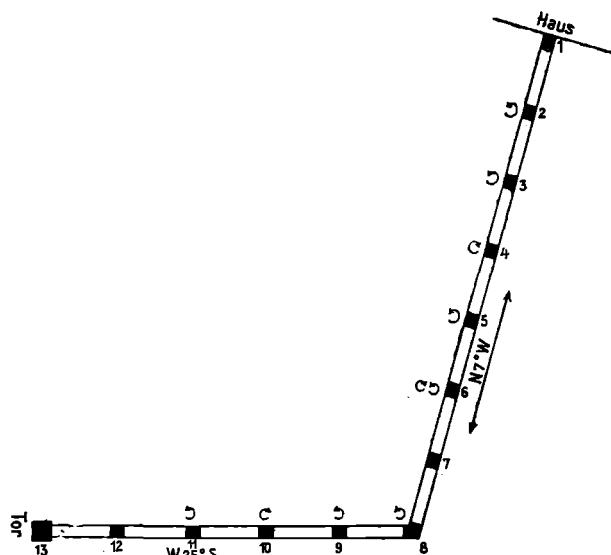


Fig. 3.

Planskizze des Zaunes am Weg von der Ranner Hauptstraße zum Spital. Die schwarzen Vierecke bedeuten die Pfeiler des Zaunes, die weißen Stücke sind die Grundmauer. Die Angaben W 25° S und N 7° W zeigen in der Anführung als geologisches Streichen die Orientierung der Mauer. Die gekrümmten Pfeile innerhalb der Mauer geben den Sinn der Drehung an (im oder entgegengesetzt dem Sinne des Uhrzeigers).

Riß unten begrenzt, i. S. gedreht. Die Abdeckplatte ist mit dem oberen Teil gleichmäßig mitbewegt.

7. Pfeiler, leicht gerissen, ohne daß eine deutliche Drehung zu sehen wäre.

8. Pfeiler, ziemlich tief unten gerissen und e. S. gedreht.

9. Pfeiler, unten gerissen und etwas e. S. gedreht.

10. Pfeiler, unten gerissen, aber nicht gedreht; auch oben (2 Ziegel hoch) gerissen und i. S. gedreht; die Abdeckplatte nochmals i. S. gedreht.

11. Pfeiler, unten stark gerissen, der gesamte darüberliegende Teil des Pfeilers ist e. S. gedreht.

12. Pfeiler, mit schwachem Riß unten, ohne Drehung.

Die hier gegebene Beobachtungsreihe zeigt, daß auch in der Stadt Rann die Drehung in beiderlei Sinn erfolgt ist.

#### **d) Beobachtung in der östlichen Umgebung von Rann.**

In Ternje bei Rann beobachtete ich ein Haus mit Rauchfängen, die e. S. gedreht waren.

In Dobova bei Rann bemerkte ich in dem bei der Kirche liegenden Friedhof einige Grabsteine, die leicht i. S. gedreht waren. In dem jenseits der Bahn liegenden Neuen Friedhof war kein einziger Grabstein gedreht.

#### **e) Beobachtungen in Tschatesch bei Rann.**

Im Friedhof zu Tschatesch sind viele Grabkreuze und Grabsteine umgeworfen. Das Postament des Grabsteines des Zitko Kruhar ist i. S. gedreht, der Grabstein selbst ist umgeworfen. Der Grabstein Zadnik ist mit dem Postament i. S. gedreht worden. Der Grabstein Tersilič ist samt dem Sockel i. S. gedreht. Das Grabmonument Zevnik ist in geringem Ausmaße e. S. gedreht; dieser Grabstein hat dieselbe Orientierung wie die i. S. bewegten. Beim Grabmonument Svoboda ist die große Aufschriftplatte durch einen horizontalen Sprung zerrissen.

Viele eiserne Grabkreuze waren gegen Nordosten gebogen. Bei vielen sind die steinernen Sockel gedreht, und zwar sowohl i. S. als auch e. S., also ganz wahllos durcheinander. Ich habe keinen steinernen Sockel eines Eisenkreuzes gesehen, der nicht gedreht war. In dem Friedhof in Tschatesch sind Drehungen in beiderlei Sinne erfolgt. Die großen Grabsteine sind fast ausnahmslos i. S. gedreht.

Tornquist (p. 30) fand in der Wohnung des Dr. Jokits zu Tschatesch zwei Kachelöfen, von denen der eine i. S., der andere e. S. gedreht ist. Diese Beobachtung fügt sich gut in das allgemeine Bild ein.

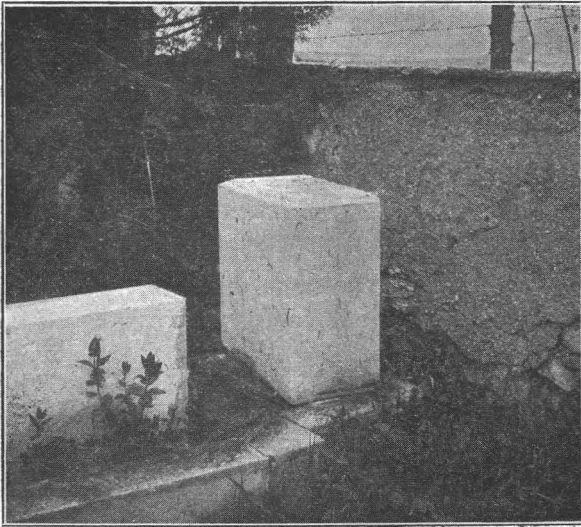


Fig. 4.

Tschatesch, Friedhof, Grabstein des Zitko Krugar an der Südmauer des Friedhofes, gegenüber der Kirche. Der aus Hippuritenkalk bestehende Grabstein ist derart betroffen worden, daß sein Sockel im Sinne des Uhrzeigers gedreht wurde, während der darauf sitzende Grabstein herabgeschleudert wurde.

#### f) Das gedrehte Haus zu Dobenu im östlichen Uskokengebirge.

In Dobenu ( $3\frac{1}{2}$  km von der Ranner Savebrücke in südlicher Richtung entfernt) wurde ein ganzes Haus gedreht; Prof. F. Seidl, der mit mir das Haus besuchte, verzeichnete folgendes:

»Das Haus (Nr. 2, Pangerčič) ist eine Holzhütte, welche auf einem Steinsöckel ruht (12·9 m lang, 5·4 m breit, 3·0 m hoch). Es wurde auf dem Sockel drehend verschoben wie der Obelisk eines Grabsteines auf seinem Postament. Die Drehung

um die Nordkante des Hauses beträgt  $5^\circ$  i. S. Die größte Verschiebung der Westhälfte des Hauses an der Westkante beträgt  $28\text{ cm}$ ; hier mußte die Westsüdwestwand stark gepölzt werden. Ebenso wurde die Nordnordwestwand gestützt.

Der Mörtelbewurf des steinernen Unterbaues ist abgefallen; die Steine sind rüttelnd verschoben. Das Haus steht auf einem nach Nordwesten geneigten Boden; in der Vorderfront (d. i. an der Südseite des Hauses) steht die Basis des Oberbaues bei  $b$  der Fig. 5 fast im Niveau des Erdbodens,

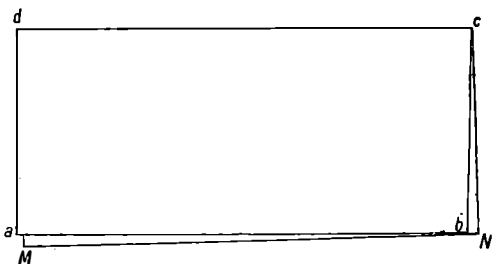


Fig. 5.

Grundriß des gedrehten Hauses in Dobenu bei Rann. Maßstab:  $5\text{ mm} = 1\text{ m}$ .

$M-N-c$  ist der Sockel des gedrehten Hauses; die vierte Ecke ist durch den Oberbau verdeckt.

$a-b-c-d$  ist der verdrehte Oberbau.

Die Linie  $M-N$  streicht W 27 S.

Die Linie  $a-b$  streicht W 22 S.

bei  $M$  derselben Figur liegt sie etwa  $\frac{3}{4}\text{ m}$  über ihm. Die rückwärtige Front zeigt den Steinsockel in ganzer Höhe mit Türen in die Kellerräume. Der Fußboden der Westhälfte des Hauses hat sich gesenkt. Zwei Backöfen wurden vollständig zerstört. Ein Kleiderkasten im Wohnzimmer ist umgefallen. Die Türstöcke wurden verzogen, so daß die Türen nicht mehr geschlossen werden konnten. Auf der Nordnordwestflanke des Daches ist die Hälfte der Falzziegel abgeschleudert worden, während von der Südsüdostflanke keine herabfielen.«

Tornquist, der ebenfalls das gedrehte Haus erwähnt, führt die Drehung i. S. auf das Durchstreichen der Malenzelinie zurück (p. 30).

**g) Drehungen auf dem Friedhof zu Zirkle bei Landstraß.**

Über die Drehungen von Grabsteinen auf dem Friedhof in Zirkle, die ich (gemeinsam mit Herrn Prof. Seidl) beob-

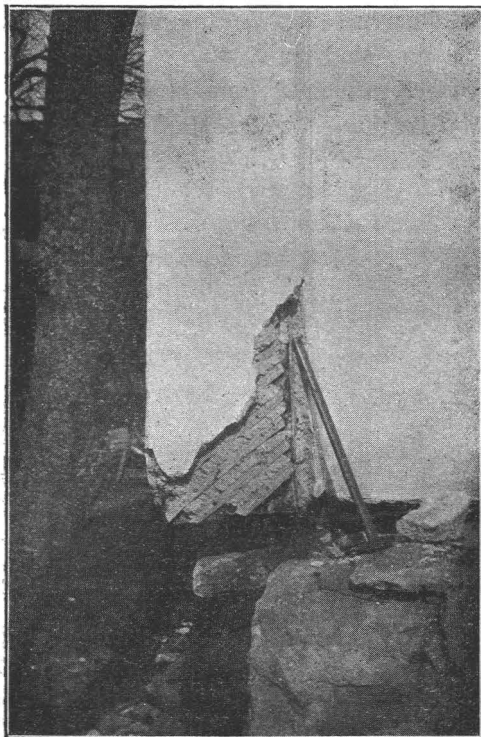


Fig. 6.

Dobenu, das gedrehte Haus. Blick auf die Ecken *a* und *M* des Hauses (siehe Fig. 5). Der Standpunkt des fast horizontal stehenden photographischen Apparates befand sich südsüdöstlich von *M*. Man sieht, um welchen Betrag der Oberbau im Sinne des Uhrzeigers gegen den Sockel verschoben wurde. Der an den Oberbau gelehnt und dem Sockel aufliegende geologische Hammer Nr. 5 gibt einen Größenmaßstab.

achtete, stellte der Genannte mir folgende Zeilen in dankenswerter Weise zur Verfügung:

»Auf dem Friedhof in Zirkle wurde der Grabstein des Jankovič (fast 3 m hoch) i. S. gedreht; die Längsachse seines Querschnittes kam daher aus ihrer Nord—Süd-Lage in die Richtung N 5° O—S 5° W zu stehen, die größte Ver-



drehung betrug 10 *cm*. Der Grabstein des J. Skvarč ist i. S. und um denselben Betrag aus der Nord—Süd-Richtung verdreht. Der Grabstein Marinek ist i. S. bewegt worden. Ein



Fig. 7.

Fig. 7. Dobenu, das gedrehte Haus. Die Ecken *a* und *M* des Hauses (siehe Fig. 5). Der Standpunkt des nur wenig geneigten photographischen Apparates lag östlich von *M*. Man sieht, wie stark der Oberbau des Hauses dem Sockel gegenüber gedreht wurde, aus dem Umstand, daß der erstere weit über den letzteren frei hinausragt. Auf dem Sockel liegt ein Maßstab, auf 30 *cm* Länge ausgezogen.

Eisenkreuz wurde aus seiner Zementfassung herausgerissen und fiel zu Boden. Einige durch das Beben verstellte Grabsteine waren zur Zeit der Erhebungen bereits wieder in die ihnen zukommende Stellung zurückgebracht worden.

### **h) Allgemeine Bemerkungen über die Drehungen.**

Wo ich genaue Beobachtungen angestellt habe (d. i. in den beiden Friedhöfen zu Rann und in Tschatesch), erfolgte die Drehung in beiderlei Sinne. Gerade bezüglich der beiden Friedhöfe zu Rann ist das Ergebnis wichtig im Hinblick auf die Auseinandersetzungen Tornquist's (l. c., p. 27). Prof. Tornquist meint, daß an den beiden Flanken seiner von St. Rochus gegen Südsüdosten ziehenden Erdbebenzone eine Drehung e. S. eingetreten sei. Östlich dieser Zone sei die Drehung i. S., westlich davon aber e. S. erfolgt. Ich verweise auf die Kartenskizze bei Tornquist (p. 25) und meine, daß da ein Irrtum unterlaufen ist. Die Erdbebenzone ist da derart eingezeichnet, daß der Alte Friedhof nicht westlich, sondern östlich von ihr liegt; dort müßte also nach Tornquist's Auseinandersetzungen die Drehung i. S. gegangen sein. Der Neue Friedhof dagegen liegt derart, daß er sich westlich von der Erdbebenzone Tornquist's befindet; daher müßte dort mit Tornquist Drehung e. S. vorhanden sein. Tatsächlich aber sehen wir in beiden Friedhöfen die Drehungen in beiderlei Sinn und gerade auf dem Neuen Friedhof ist die vorwiegende Drehung nicht so, wie sie nach Tornquist sein sollte.

Östlich der Erdbebenzone soll nach Tornquist die Drehung i. S. gehen. Aber gerade dort, wo in der bereits genannten Kartenskizze der Pfeil mit der Drehung i. S. steht, d. i. in Ternje, beobachtete ich die umgekehrte Drehung (p. 9). Dagegen stimmt die in Dobova, das allerdings ziemlich weit abliegt, die Drehung mit der Annahme Tornquist's.

In Tschatesch hat Tornquist selbst (p. 30) die Drehung in beiderlei Sinne beobachtet.

Wenn ich zusammenfassend das Ergebnis der Beobachtungen feststelle, so muß ich sagen, daß im Epizentralgebiet von Rann-Tschatesch Drehungen in beiderlei Sinne ohne Wahl nebeneinander vorkommen.

## II. Zur Erklärung des mechanischen Vorganges.

Von R. Schwinner.

Drehungen freistehender Objekte, wie Grabsteine, Denkmäler usw., sind bei Erdbeben häufig beobachtet worden; man kann sagen, daß sie bei Beben von gewissen Stärkegraden an geradezu zu den regelmäßigen Erscheinungen zu zählen sind. Seiner Natur nach schon ziemlich auffällig, hat dieses Phänomen die Aufmerksamkeit der Beobachter durch den Gegensatz auf sich gezogen, in dem es zu den anderen Erdbebenwirkungen zu stehen scheint, einmal im Bewegungssinn, Drehung um eine vertikale Achse an Stelle von Umstürzen, Fortschleudern u. a. m., und dann die merkwürdige Tatsache, daß so bedeutende Kräfte, wie in der stattgefundenen Drehung ihren Ausdruck finden, derart leicht umstürzbare hochaufragende Gegenstände nicht umgeworfen haben.

Die erste Nachricht betrifft die Drehungen,<sup>1</sup> welche die Obelisken, mit denen die Fassade der Certosa di S. Bruno (bei S. Stefano di Bosco, Calabrien) beim Beben 1783 erlitten haben (Abbildung davon in Lyell's Principles of Geology,<sup>2</sup> auch sonst viel in Lehrbüchern<sup>3</sup>). Schon hier wird hervorgehoben, daß von zwei benachbarten Obelisken der eine nach rechts, der andere nach links verdreht worden ist. Alexander v. Humboldt<sup>4</sup> brachte dann neuerlich ähnliche Berichte aus den erdbebenreichen Gegenden des äquatorialen Südamerika, Charles Darwin<sup>5</sup> beobachtete derartiges als Wirkung des Erdbebens von Concepcion (20. Februar 1835). Aus der Unmenge der späteren Berichte greife ich hier nur einige der auffallendsten Vorkommnisse heraus, den Engel auf dem Kirchturm von Belluno,<sup>6</sup> 40 m hoch, der beim Erdbeben vom

<sup>1</sup> Sarconi Michele, *Istoria de Fenomeni del Tremoto avvenuti nelle Calabrie e Valdemone nell'anno 1783*; posta in luce dalla R. Acad. d. Sc. e d. belle Lettere, Napoli, Folio Napoli 1784 (zitiert nach Oldham).

<sup>2</sup> 9. Auflage, London 1853, Chaptre XXVIII, p. 476, Fig. 75.

<sup>3</sup> Hobbs, Hoernes, Kayser u. a.

<sup>4</sup> Humboldt Al., Kosmos, Bd. 1, p. 145; Bd. 4, p. 157.

<sup>5</sup> Darwin Ch., *Gesammelte Werke*, 1. Bd., *Reise eines Naturforschers*, deutsch von Carus, Stuttgart 1879, p. 353.

<sup>6</sup> Hoernes R., *Erdbebenkunde*, Leipzig 1893, p. 37.

29. Juni 1873 um 20° verdreht wurde, und die Minerva auf dem Aachener Polytechnikum,<sup>1</sup> deren drei Steintrommeln bei dem Erdbeben vom 26. August 1878 jede gegen die anderen verstellt wurden. Beidemal war die Bewegung so brüsk, daß die abstehenden Teile der Statuen (Arme, Flügel etc.) abbrachen. Ferner einige besonders hübsche Abbildungen: bei Omori<sup>2</sup> den Bell Tower of Anjōji Sakata, eine Art Holzpagode, welche sehr schön ungefähr um eine Ecke gedreht ist, bei Hobbs<sup>3</sup> die Statue der Queen Victoria in Kingston (Beben 1907) und besonders bei Oldham,<sup>4</sup> welcher dieser Erscheinung ein ganzes Kapitel in seiner Beschreibung des großen indischen Erdbebens von 1897 gewidmet hat. Ferner möchte ich noch jene Fälle hervorheben, bei denen als Anstoß des Bebens, das die drehenden Bewegungen verursacht hat, ein Bergschlag in einem Bergwerk festgestellt werden konnte. Lasaulx<sup>5</sup> gibt an, daß bei einem durch Einsturz (oder besser Bergschlag, wie Hoernes<sup>6</sup> will) in der Grube des Königsschachtes (Königshütte, Oberschlesien) 1875 hervorgerufenen Lokalbeben »ein Maschinenkessel aus seinen Mauerlagern emporgehoben und um sich selbst drehend verschoben wurde«. Und Rzehak<sup>7</sup> entnehme ich, daß bei einem durch Bergschlag im Kohlenbergwerk in Recklinghausen (bei Dortmund)

<sup>1</sup> Sieberg August, Handbuch der Erdbebenkunde, Leipzig 1904, p. 6

<sup>2</sup> Omori F., On the overturning and Sliding of Columns. Publications of the Earthquake Investigation Committee in Foreign Languages (weiterhin stets mit E. I. C. gekürzt zitiert). Nr. 12, Tokyo 1902, Pl. VII, Fig. 4 und 5.

<sup>3</sup> Hobbs W. H., Erdbeben. Deutsch von Ruska. Leipzig 1910, Taf. XX, p. 161.

<sup>4</sup> Oldham R. D., Report on the Great Earthquake of 12th June 1897. Memoirs of the Geol. Surv. of India, vol. XXIX, Calcutta 1899, p. 207 ff. XIV. The rotation of pillars and monuments. Titelbild, Taf. XXI, XXXII bis XXXVIII.

<sup>5</sup> Lasaulx A. v., Die Erdbeben, p. 295—365, in: Handwörterbuch der Mineralogie, Geologie und Paläontologie, herausgegeben von A. Kennigott. Breslau 1882, p. 301.

<sup>6</sup> Hoernes R., Bergschläge und verwandte Erscheinungen. »Die Erdbebenwarte«. Jahrg. VI, Laibach, April 1907, p. 5.

<sup>7</sup> Rzehak A., Bergschläge und verwandte Erscheinungen. Zeitschr. f. prakt. Geologie, Jahrg. XIV, Nov. 1906, p. 347.

1899 erzeugten Beben »mehrere Kamine drehende Bewegung zeigten.«

Alle Berichte stimmen recht gut überein. In erster Linie sind es Monolithe (oder doch aus wenigen Steintrommeln oder ähnlichen festen Bauelementen bestehende Gegenstände), Grabsteine, Denkmäler, Obelisken u. ähnl., meist nur durch Eigenschwere auf einer wagrechten Grundplatte festgestellt, die sich entweder nur gedreht oder gleichzeitig gedreht und seitlich verschoben haben. Seltener werden Drehungen von zusammengesetzten Bauwerken berichtet. Für einen Holzbau liefert die oben erwähnte Pagode, die Omori abgebildet hat, ein Beispiel, für einen Steinbau gibt es der Bericht von Suess,<sup>1</sup> daß beim Laibacher Beben von 1895 an der neuen Herz-Jesu-Kirche »die Steine eines kleinen gotischen Glockentürmchens vollkommen aufgelockert und der obere Teil des Türmchens, so wie man es oft bei Schornsteinen sehen konnte, gegen den unteren verdreht war«. Hierzu ist zu bemerken, daß die so häufig gemeldeten Verdrehungen von Schornsteinen nur zum Teil hier anzuführen sind. Manchmal ist ja tatsächlich der Ziegelbau verdreht,<sup>2</sup> meistens aber nur die Deckplatte, die als Monolith geradeso wie die ersterwähnte Gruppe bezeichnet werden muß. Suess' Bericht läßt uns auch sogleich begreifen, warum Drehung zusammengesetzter Gebäude von vornherein seltener zur Beobachtung kommen wird als die von Monolithen, nämlich weil das Gemäuer eine solche Beanspruchung meist nicht verträgt. Dem Trümmerhaufen kann man die Bewegungstendenz während des Bebens nicht mehr ansehen. Betreffs des Sinnes der Drehungen wird meistens gemeldet, daß beide Bewegungsrichtungen, Rechts- und Linksdrehung, neben- und durcheinander gemischt vorkommen, systematische Verteilung wird bedeutend seltener angegeben. Der Vergleich mit der Literatur zeigt also, daß beim Ranner Erdbeben die in Frage stehenden Erscheinungen typisch und in guter Ausbildung zu beobachten waren.

<sup>1</sup> Suess Fr. E., Das Erdbeben von Laibach am 14. April 1895. Jahrb. d. k. k. geol. Reichs-Anst., 1896, p. 426.

<sup>2</sup> Suess Fr. E., l. c., p. 495, Bild: Die Schornsteine am Fürstenhof in Laibach, in schiefer Treppe gebrochen und verdreht.

Die Erklärungen kann man in vier Hauptgruppen ordnen:

1. Am nächsten lag, die rotatorische Natur der Bewegung auf die Art des Impulses zu schieben. Dies scheint auch die allgemeine Ansicht des Volkes in den Bebenländern zu sein. So sprechen die Italiener von einem *moto vorticoso*. Humboldt<sup>1</sup> scheint später davon abgekommen zu sein. »Die scheinbar kreisenden (rotatorischen) Erschütterungen, von denen die Obeliskten vor dem Kloster S. Bruno in der kleinen Stadt Stephano del Bosco (Calabrien 1783) ein so viel besprochenes Beispiel dargeboten hatten, hat man versucht, auf geradlinige zu reduzieren.«<sup>2</sup> Doch blieb diese Erklärung auch weiterhin noch verbreitet.<sup>3</sup>

2. Schon Darwin scheint die Unhaltbarkeit dieser Erklärung gefühlt zu haben; denn er sagt:<sup>4</sup> »Diese drehende Verrückung scheint auf den ersten Blick eine wirbelartige Bewegung unterhalb jedes so affizierten Punktes anzudeuten; dies ist aber in hohem Grade unwahrscheinlich. Könnte es nicht durch die jedem Steine innewohnende Neigung verursacht sein, sich in eine besondere, zu der Vibrationsrichtung in Beziehung stehende Lage zu bringen — in ähnlicher Weise wie Stecknadeln auf einem Blatt Papier, wenn dies erschüttert wird?« Dieser etwas unklare Erklärungsversuch geht von der Darwin mitgeteilten Beobachtung eines Mr. Douglas aus, daß während der Erdbebenerschütterung die Nadel eines auf die Erde gestellten Kompasses sich senkrecht zur Richtung des Fortschreitens der Erdbebenwelle zu stellen versucht

---

<sup>1</sup> Kosmos, Bd. 1, p. 145.

<sup>2</sup> Kosmos, Bd. 4, p. 157.

<sup>3</sup> Vgl. Daubeny Ch., A description of active and extinct volcanos, of earthquakes and of thermal springs. London 1848, p. 509. — Platania G., Sul periodo sismico del maggio 1914 nella regione orientale nell'Etna. Pubbl. dell'Ist. d. Geogr. fis. e Vulcanol. della R. Un. di Catania, No. 5, Aureale 1915 (nach dem Referat von E. Friedländer, Zeitschr. f. Vulkanologie, Bd. III, Heft 1, p. 59, 1916). — Tornquist A., Das Erdbeben von Rann an der Save vom 29. Jänner 1917. Mitt. d. Erdbeben-Kommission der Akad. d. Wiss. in Wien, Neue Folge Nr. 52, p. 25 ff.

<sup>4</sup> Ges. Werke, Bd. 1, p. 353/54.

habe. Wenn ich Darwin's Bemerkungen hier und später<sup>1</sup> richtig deute, denkt er an eine Wirkung etwa derart wie bei den bekannten Chladni'schen Klangfiguren, die man durch Bestreuen einer tönenden Platte mit Sand, Eisenfeilspänen u. ähnl. erhält, allerdings ohne sich klar zu werden, daß dies wohl für stehende, nicht aber für fortschreitende Wellen gelten kann. Neuestens scheint Oddone<sup>2</sup> diesen Gedanken wieder aufgenommen zu haben.

3. Die Drehung käme durch Interferenz sich überkreuzender Wellenzüge zustande. Ich fand diese Erklärung z. B. bei Hobbs<sup>3</sup> und recht ausführlich, aber ziemlich unklar bei Oldham,<sup>4</sup> beidemal unter Berufung auf das bekannte Phänomen der Lissajous'schen Figuren.

4. Schon 1845 gab Mallet<sup>5</sup> die Erklärung, die Ursache der Drehung sei, daß der »Reibungsmittelpunkt« in der Unterstützungsfläche nicht mit dem Fußpunkt des durch den Schwerpunkt gezogenen Lotes zusammenfalle, welche Erklärung nachher von den meisten Erdbebenforschern<sup>6</sup> angenommen worden ist. Oldham zitiert noch als besondere Theorien die von Mallet später aufgestellte<sup>7</sup> und die von Gray,<sup>8</sup> aber diese bedeuten nur Ausgestaltungen dieser grund-

<sup>1</sup> Darwin Ch., Geologische Beobachtungen aus Südamerika (1832 bis 1836), übersetzt von Carus. Stuttgart 1878, Anhang, p. 14.

<sup>2</sup> Oddone E., Gli elementi fisici del grande terremoto Marsicano-Fucense del 13 Gennaio 1915. Boll. Soc. sism. It., vol. XIX, no. 3—4, 1915 (nach Referat von Friedländer in Zeitschrift f. Vulkanologie, Bd. III/1, p. 56, Berlin 1916).

<sup>3</sup> Hobbs, Erdbeben, p. 72.

<sup>4</sup> Oldham, l. c., p. 218 ff.

<sup>5</sup> Mallet R., Journ. Geol. Soc. Dublin, III, 1845, p. 138—144, und Dynamics of Earthquakes. Trans. Roy. Irish. Acad., XXI, 1846, p. 51—105 (dies und die nächsten Zitate aus Oldham).

<sup>6</sup> So z. B. Lasaulx, l. c., p. 304; Hoernes, l. c., p. 37; Sieberg, l. c., p. 6.

<sup>7</sup> Mallet R., The great Neapolitane earthquake of 1857. London 1862, vol. I, p. 376.

<sup>8</sup> Gray in J. Milne, The earth quake in Japan of February 22nd 1880. Trans. of Seism. Soc. Japan, I, 1880, Pt. II, 33—35.

sätzlichen »Theorie des exzentrischen Stoßes«, wie man sie nennen könnte.

Vom Standpunkt der theoretischen Mechanik ist zu vorstehenden Theorien folgendes zu bemerken:

Ad 1. »Moto vorticoso«. Wenn eine Scholle der Erdkruste durch endogene Kräfte verschoben wird, wie das bei mehreren Erdbeben festgestellt werden könnte, wird fast immer gleichzeitig mit der Translation eine gewisse Rotation statthaben, einheitlich oder verbunden mit Deformation. Das Ausmaß der Drehung bestimmt sich aus Verschiebung am Rande und Größe der Scholle. Da Verwerfungen von 10 *m* bereits ganz außergewöhnlich sind, die Horizontalausdehnung der bewegten Scholle aber stets mehrere Kilometer beträgt, so wird der Winkel, um welchen sie schließlich gedreht erscheint, stets nur ganz klein sein. S. Francisco 1906 hat die größte Verdrehung kaum eine Bogenminute betragen.<sup>1</sup> Die beobachteten Drehungsbeträge von mehreren Graden (bis 20° oder 30°) können so sicher nicht erklärt werden. In Rann sind Anzeichen einer stattgefundenen Schollenverschiebung nirgends beobachtet worden.

Ferner würde dieser Mechanismus fordern, daß sämtliche Drehungen auf einer und derselben Scholle im gleichen Sinne erfolgen. Tornquist glaubte feststellen zu können, daß dies für je eine Hälfte von Rann zutrifft. Nach den Ergänzungen des Beobachtungsmaterials durch Heritsch wird man das nicht weiter aufrecht halten können.

Kommen Drehungen von verschiedenem Drehungssinn neben- und untereinandergemengt vor, so wäre nach dieser Anschauungsweise die Annahme eines Spezialwirbels unter jedem einzelnen gedrehten Gegenstand unabweisbar. Es ist leicht einzusehen, daß dies ganz unvereinbar mit der Aufrechthaltung der Kontinuität wäre,<sup>2</sup> eine derartige Atomisierung

---

<sup>1</sup> Rudzki M. P., Physik der Erde, Leipzig 1911, p. 178.

<sup>2</sup> In den Lehrbüchern der analytischen Mechanik ist der Nachweis der Unmöglichkeit infinitesimaler Rotationen gewöhnlich in der Einleitung zur Elastizitätstheorie enthalten. Vgl. Rausenberger, Lehrbuch der analytischen Mechanik, Leipzig 1888, II. Bd., p. 122.



der Erdkruste, eine Zerlegung in lauter kleine, verschieden bewegte Teilchen ist niemals beobachtet worden.

Eine immerhin denkbare Drehungsursache hat merkwürdigerweise gar keine Beachtung gefunden. Nämlich der leicht einzusehende Umstand, daß jede durchlaufende Transversalwelle (nicht ohne Grund auch torsionale genannt) in den einzelnen Elementen eines Kontinuums eine gewisse Oszillation hervorruft. Für Torsionalwellen mit senkrechter Schwingungsebene muß sich das in wechselnder Neigung des Bodens ausdrücken. Bei gewöhnlichen Bebenwellen ist aber die Amplitude dieser Oszillationen wenige Hundertstelsekunden.<sup>1</sup> Da die Erdbebenwellen kaum polarisiert sind, werden wohl stets auch Torsionalschwingungen in der Horizontalebene mitlaufen und damit wäre eine Ursache zu Oszillationen um eine vertikale Achse gegeben; aber eben nur von einer Amplitude der angegebenen Größenordnung, aus welcher die beobachteten Verdrehungen abzuleiten ich für aussichtslos halte.

Ad 2. Erklärung von Darwin. Bei stehenden Neigungswellen des Bodens wird ein länglicher, freiliegender Körper mit seiner längeren Dimension ins Wellental hineingedreht werden. Nehmen wir an, daß der Nachweis stehender Erdbebenwellen durch Oddone (l. c., p. 56) erbracht worden sei, so sind die Dimensionen eines Grabsteines gegen die Wellenlänge nicht groß, ebenso der Unterschied zwischen Länge und Breite nicht beträchtlich, das Drehmoment klein. Die Boden- neigung kann kaum je so groß werden, daß der Stein abrutscht und wenn schon, so wird er eher umfallen als sich drehen; denn für ersteres wirkt das ganze Moment, für letzteres nur ein kleiner Bruchteil. Jedenfalls ergäbe sich ein wesentlicher Unterschied des Verhaltens nach Größe und Gestalt, Gegenstände von isometrischem (quadratischem z. B.) Grundriß wie die meisten Obelisken dürften dann überhaupt nicht gedreht werden. Das stimmt nicht zu den Beobachtungen.

Ad 3. Zu »Interferenz«, Schwingung in Lissajous- schen Figuren (Hobbs, Oldham u. a.) brauchen wir wenig

---

<sup>1</sup> Trabert W., Lehrbuch der kosmischen Physik, Leipzig 1911, p. 350.

zu bemerken. Man mag translatorische Bewegungen zusammensetzen, so viel und mannigfaltig wie man will, die Resultante kann immer nur wieder eine Translation sein, niemals eine Rotation; das folgt aus den Elementen der Bewegungslehre. Die Spekulationen von Hobbs über einen Zusammenhang von Drehungen und durch Kreuzung von »Lineamenten« ausgezeichneten Punkten sind somit gegenstandslos.

Ad 4. Daß die Mallet'sche Erklärung durch »exzentrischen Stoß« im Grundsatz das Richtige trifft, ist kaum zu bezweifeln. Allein hier liegen noch zwei Schwierigkeiten vor, die bisher kaum gespürt, geschweige denn gelöst worden sind.

Erstens: Wenn ein Ingenieur den Auftrag bekäme, durch eine künstliche Bebenvorrichtung, etwa wie die Japaner eine gebaut haben, einen Grabstein oder Obelisk zu drehen, würde er in 90 von 100 Fällen wahrscheinlich das labile Bauwerk eher über den Haufen werfen als drehen. Es fordert eine Erklärung, wieso die Natur dieses Kunststück in den meisten Fällen spielend zuwege bringt.

Die zweite Schwierigkeit wird durch den Sprachgebrauch verschleiert. Man spricht immer von einem »Erdbebenstoß«, aber Wellenberg und Wellental sind untrennbar. Die sonstigen zerstörenden Bebenwirkungen entstehen dadurch, daß in der einen Schwingungsphase die Festigkeitsgrenze oder Gleichgewichtslage derart überschritten wird, daß dies beim Zurückschwingen nicht mehr rückgängig gemacht werden kann. Aber der Grabstein, Obelisk etc. könnten offenbar genau auf die gleiche Weise, wie sie verdreht worden sind, wieder zurückgedreht werden, was beim Hinschwingen nach rechts gedreht worden, sollte beim Zurückschwingen nach links zurückgedreht werden und nach Abklingen der Schwingungen ungefähr in der Anfangslage sich befinden.

Untersuchungen über das Umwerfen freistehender Gegenstände sind vielfach (besonders von den Japanern<sup>1</sup>) angestellt worden.

Wenn ein Parallelepipiped mit der Höhe  $2h$ , Breite  $2b$  und der Masse  $M$  durch die Horizontalbeschleunigung  $p$

<sup>1</sup> Omori F., E. I. C., Nr. 4, 1900; Nr. 12, 1902 und andere.

umgeworfen werden soll, so muß das Drehmoment der Kraft  $p \cdot M$  in bezug auf die Basiskante gleich oder größer als das der Schwerkraft sein. Also

$$Mp \cdot h \geq Mg \cdot b \quad \text{oder} \quad p \geq g \cdot \frac{b}{h}.$$

Um das Parallelepiped auf seiner Basis zu verschieben, ist nötig die Horizontalkraft

$$M \cdot p_1 = \kappa \cdot Mg \quad (\kappa \text{ Reibungskoeffizient}).$$

Wenn  $p_1 > p$  oder  $\kappa > \frac{b}{h}$  ist, so wird ein Stoß, der hinreicht, das Objekt zu verschieben (und damit die Voraussetzung für Mallet's Theorie erst zu schaffen) sicher genügen, es auch umzuwerfen.<sup>1</sup>

Bei den meisten Grabsteinen und Obelisken dürfte das sicher zutreffen. Wenn gleichwohl so viele gedreht und nicht umgeworfen werden, so muß dafür ein anderer Grund gesucht werden und der kann nur sein, daß der Stein nicht Zeit genug hatte, um umzufallen, weil schon vorher der entgegengesetzte Impuls der zurückgehenden Schwingung einsetzte.

Denken wir uns das Prisma auf die Kante gekippt, so daß seine Diagonale  $2d$  mit dem Lot den Winkel  $\alpha$  einschließt, positiv gerechnet, wenn noch innerhalb der Grenzen der Stabilität. Dann ist das Drehmoment der Schwere  $+Mg \cdot d \cdot \sin \alpha$  (positiv für positives  $\alpha$ , weil  $\alpha$  vergrößernd). Bedeutet  $f(t)$  die verkehrt in den Schwerpunkt verlegte horizontale Bebenbeschleunigung des Lagers, so ist ihr Drehmoment  $M \cdot f(t) \cdot d \cdot \cos \alpha$  und somit die Bewegungsgleichung

$$\Omega \cdot \frac{d^2 \alpha}{dt^2} = M \cdot d (g \sin \alpha + f(t) \cdot \cos \alpha).$$

Das Trägheitsmoment des Prismas in bezug auf die Basiskante ist

$$\Omega = \frac{4}{3} M (b^2 + h^2) = \frac{4}{3} M \cdot d^2.$$

<sup>1</sup> Der Reibungskoeffizient von Metall auf Metall wird mit  $\frac{1}{10}$  bis  $\frac{1}{4}$ , von Holz auf Holz mit  $\frac{1}{5}$  bis  $\frac{1}{2}$  angegeben, für Stein auf Stein gibt Omori sogar  $\kappa = 0.71$  (Bull. E. I. C., IV/1, 1910).

Bezeichnen wir die Amplitude mit  $a$ , die Schwingungsdauer mit  $T$  (d. h. im Zeitraum  $T$  bewegt sich ein Punkt von  $+a$  nach  $-a$  und wieder zurück nach  $+a$ ), so ist die Beschleunigung der harmonischen Bewegung (wobei  $\tau$  eine beliebige Phasendifferenz ist)

$$f(t) = \frac{4\pi^2}{T^2} \cdot a \cdot \sin \frac{2\pi}{T} (t + \tau).$$

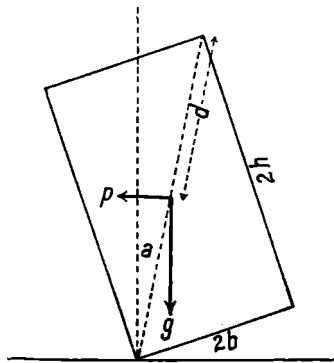


Fig. 8.

Wir beschränken unsere Betrachtung ferner auf kleine Winkel, so daß wir mit zureichender Genauigkeit  $\sin \alpha = \alpha$  setzen dürfen, und setzen

$$r = \sqrt{\frac{4d}{3g}}$$

und

$$\varphi(t) = \frac{3}{4d} \cdot f(t) = \frac{3\pi^2}{T^2} \cdot \frac{a}{d} \sin \frac{2\pi}{T} (t + \tau).$$

Dann wird die Bewegungsgleichung

$$\frac{d^2 \alpha}{dt^2} - \frac{3g}{4d} \cdot \alpha = \frac{3}{4d} f(t).$$

oder einfacher

$$\frac{d^2 \alpha}{dt^2} - \frac{\alpha}{r^2} = \varphi(t).$$

Das Integral dieser linearen Differentialgleichung ist bekanntlich

$$\alpha = \frac{r}{2} \left\{ C_1 e^{\frac{t}{r}} + e^{\frac{t}{r}} \int_0^t \varphi(x) e^{-\frac{x}{r}} dx - C_2 e^{-\frac{t}{r}} - e^{-\frac{t}{r}} \int_0^t \varphi(x) e^{\frac{x}{r}} dx \right\}$$

und

$$\frac{d\alpha}{dt} = \frac{1}{2} \left\{ C_1 e^{\frac{t}{r}} + e^{\frac{t}{r}} \int_0^t \varphi(x) e^{-\frac{x}{r}} dx + C_2 e^{-\frac{t}{r}} + e^{-\frac{t}{r}} \int_0^t \varphi(x) e^{\frac{x}{r}} dx \right\}.$$

Die beiden Integrationskonstanten bestimmen wir aus der Bedingung, daß das Prisma gerade bis zur Kippe kommen, dort aber umkehren soll; also ist für

$$t = 0 \text{ auch } \alpha = 0 \text{ und } \frac{d\alpha}{dt} = 0.$$

Daraus folgt:  $C_1 - C_2 = 0$  und  $C_1 + C_2 = 0$  oder

$$C_1 = C_2 = 0.$$

Wir führen nun die Integrationen durch. Es ist

$$\int e^{mx} \sin nx dx = \frac{e^{mx}}{m^2 + n^2} (m \sin nx - n \cos nx) + C$$

und daher

$$\alpha = \frac{a}{\frac{4}{3}d + \frac{1}{4}\pi^2 g} \left\{ \frac{1}{2} \sin \frac{2\pi}{T} \tau \left( e^{t\sqrt{\frac{3g}{4d}}} + e^{-t\sqrt{\frac{3g}{4d}}} \right) - \sin \frac{2\pi}{T} (t + \tau) + \frac{\pi}{T} \sqrt{\frac{4d}{3g}} \cos \frac{2\pi}{T} \tau \left( e^{t\sqrt{\frac{3g}{4d}}} - e^{-t\sqrt{\frac{3g}{4d}}} \right) \right\}.$$

Zuerst nehmen wir an, daß die Periode der Kippbewegung auch die der Erdbebenschwingung ist. Für diesen Spezialfall setzen wir  $\tau = \frac{T}{4}$  und beachten, daß der Winkel  $\alpha_1$ , der zur Zeit  $t = \frac{T}{4}$  erreicht wird, auch der Winkel zwischen Diagonale und Höhe im Prisma sein muß, wenn es nach Ablauf einer halben Bebenschwungung auf seine Basis aufsetzen und in der folgenden halben Periode eine kongruente Kippung um die andere Basiskante ausführen soll. Also  $\frac{b}{d} = \sin \alpha_1$  und, wie im Ansatz, annähernd  $\frac{b}{d} = \alpha_1$ . Daraus folgt

$$b_1 = \frac{3a}{8 + \frac{1}{2\pi^2} \cdot T^2 \cdot \frac{3g}{d}} \left\{ e^{\frac{T}{8} \sqrt{\frac{3g}{d}}} + e^{-\frac{T}{8} \sqrt{\frac{3g}{d}}} \right\}.$$

Im Gegensatz zu diesem Fall, in dem die Bebenbeschleunigung auf dem ganzen Weg dem Aufkippen entgegenwirkt, nehmen wir jetzt an, daß sie es auf dem ganzen Weg unterstützt und setzen daher  $\tau = 0$ ,  $t = \frac{T}{2}$  und erhalten

$$b_2 = \frac{3a}{4 + \frac{1}{4\pi^2} T^2 \frac{3g}{d}} \cdot \frac{\pi}{T} \cdot \sqrt{\frac{4d}{3g}} \left\{ e^{\frac{T}{4} \sqrt{\frac{3g}{d}}} - e^{-\frac{T}{4} \sqrt{\frac{3g}{d}}} \right\}.$$

Diese beiden Fälle sind offenbar die Extreme und wir können daher sagen: Wenn die Breite der Unterstützungsfläche  $b > b_2$ , bleibt das Prisma sicher stehen, wenn  $b_2 > b > b_1$ , kann es unter günstigen Umständen stehen bleiben, wenn  $b < b_1$ , muß es unbedingt fallen.

Aus diesen Formeln lassen sich bereits einige Folgerungen ziehen. Einmal, daß mit größerem  $T$  auch  $b$ , die erforderliche Unterstützungsbreite, rasch wächst. Dann daß höhere Gegenstände weniger leicht umgeworfen werden als niedrige: wenn  $a$ , die Amplitude der Bebenschwungung, und  $b$ , die Unterstützungs-

breite, als konstant festgehalten werden, folgt  $\frac{T^2}{d} = \text{konst}$  oder die noch ertragbare Maximalbeschleunigung wächst proportional mit der Höhe. (Darum zeigen sich z. B. hohe Fabrikschornsteine — soliden Bau vorausgesetzt — überraschend widerstandsfähig.)

Wenn der Exponent klein ist, können wir die Exponentialreihe entwickeln und nach dem zweiten Glied abbrechen. Das gibt die Näherungsformeln

$$b_1 = \frac{3}{4} a \left[ 1 + \frac{T^2}{16} \cdot \frac{3g}{d} \left( \frac{1}{8} - \frac{1}{\pi^2} \right) \right] = \\ = \frac{3}{4} a \left( 1 + 0.0015 \cdot T^2 \cdot \frac{3g}{d} \right)$$

$$b_2 = \frac{3}{4} \cdot \pi \cdot a \left[ 1 + \frac{T^2}{16} \cdot \frac{3g}{d} \left( \frac{1}{6} - \frac{1}{\pi^2} \right) \right] = \\ = \frac{3\pi}{4} \cdot a \left( 1 + 0.0041 \cdot T^2 \cdot \frac{3g}{d} \right) \cdot 1$$

Die Berechnung der Restglieder der Reihen ergibt, daß für  $\frac{T}{4} \sqrt{\frac{3g}{d}} = 3$  der Fehler der Näherungsformeln erst 8% erreicht. Sie dürften hier also in allen Fällen genügen.

Aus diesen Formeln geht deutlich hervor, daß der ausschlaggebende Faktor die Amplitude der Bodenbewegung ( $2a$ ) ist. Die Ableitung der maximalen Beschleunigung aus der

---

<sup>1</sup> Omori hat (E. I. C., Nr. 12, Tokyo 1902, p. 13) für schnelle Bebenschwingungen eine Formel abgeleitet, die auch von anderen übernommen worden ist (z. B. Sieberg, l. c., p. 82, nur ist sie falsch abgedruckt!), die in unserer Bezeichnungsweise lautet:

$$2a = b \frac{(b^2 + 4h^2)}{3h^2} \quad \text{oder gekürzt} \quad b = \frac{3}{2} a.$$

Der Vergleich mit  $b_2$  zeigt, daß dieser Wert für die Standfestigkeit um 50% zu erhöhen ist. Unsere Ableitung ist zwar etwas umständlich, ermöglicht jedoch, Geltungsbereich und Genauigkeit der Näherungsformel zu beurteilen, was die primitive Rechnungsart Omori's nicht leisten kann.

Form der umgeworfenen Grabsteine etc., wie sie häufig durchgeführt worden ist, läßt sich nicht aufrechterhalten.

Nehmen wir als Beispiel einen Grabstein von 1.20 m Höhe, dessen Schwerpunkt also 60 cm über der Basis liegt, so können wir rund setzen  $\frac{3g}{d} = 50$  und weiter

$$b_2 = 2 \cdot 4 \cdot a (1 + 0 \cdot 2 \cdot T^2) \quad T < 1 \cdot 7 \text{ sec.}$$

Nun werden beispielsweise für die horizontale Bodenbewegung angegeben: beim großen Mino-Owaribeben 1891:  $2a = 23 \cdot 3 \text{ cm}$ ,  $T = 1 \cdot 3 \text{ sec}$ ;<sup>1</sup> und beim Tokyobeben 1894:  $2a = 7 \cdot 3 \text{ cm}$ ,  $T = 1 \cdot 8 \text{ sec}$ .<sup>2</sup> Das gibt nach obenstehender Formel das erste-mal:  $2b_2 = 74 \text{ cm}$ ; für das zweite Beben:  $2b_2 = 29 \text{ cm}$ , d. h. beim ersten Beben dürften so ziemlich alle Grabsteine der betrachteten Art und beim zweiten wenigstens ein Teil derselben umgeworfen worden sein. Berechnen wir nun die maximale Bodenbeschleunigung (ebenfalls Horizontalkomponente) nach der bekannten Formel

$$\beta = \frac{4\pi^2}{T^2} \cdot a,$$

so ergibt sich für Mino-Owari  $\beta = 272 \frac{\text{cm}}{\text{sec}^2} = 0 \cdot 28 \cdot g$  und

für Tokio 1894  $\beta = 45 \frac{\text{cm}}{\text{sec}^2} = 0 \cdot 046 \cdot g$ . Da wir nun sicherlich nicht den Reibungskoeffizienten  $\mu \leq 0 \cdot 28$  setzen dürfen, würde sich daraus ergeben, daß keines der beiden Beben genügend stark gewesen wäre, einen durch die Reibung auf seiner Unterlage festgehaltenen Grabstein zu verschieben und daß daher Drehungen auch nicht vorgekommen sein könnten!

Um den hier liegenden offensichtlichen Widerspruch gegen die Erfahrung aufzuklären, greifen wir jene Fälle heraus, in denen die horizontale Maximalbeschleunigung gerade groß genug (oder größer) war, um die Reibung zu überwinden, also

<sup>1</sup> Omori F., Note on the Great Mino-Owari Earthquake of Oct. 28th 1891. E. I. C., No. 4, Tokyo 1900.

<sup>2</sup> Omori F., Horizontal Pendulum Observations ecc. E. I. C., Nr. 21, Tokyo 1905, p. 62.



$$\beta = \frac{4 \pi^2}{T^2} a \geq \kappa \cdot g,$$

somit

$$a \geq \frac{T^2}{4 \pi^2} \cdot \kappa \cdot g.$$

Daraus folgt:

$$b_2 \geq \frac{3}{16 \pi} \cdot \kappa \cdot g \cdot T^2 \left( 1 + 0 \cdot 0041 T^2 \cdot \frac{3 g}{d} \right).$$

Diese Bedingung muß erfüllt sein, wenn ein Beben den Grabstein usw. auf seiner Unterlage zwar verschieben, drehen, aber nicht umwerfen soll. Man sieht, daß die hierzu erforderliche Unterstützungsbreite für größeres  $T$  (langsame Schwingungen) sehr schnell wächst, daß dagegen für schnelle Schwingungen die Bedingung wahrscheinlich meistens erfüllt sein wird. Setzen wir  $\kappa = 0 \cdot 55$  und  $g = 980 \frac{cm}{sec^2}$ , so ist gekürzt

$$2 b_1 \geq 20 \cdot T^2 [cm] \quad 2 b_2 \geq 60 \cdot T^2 [cm].$$

Erdbebenschwingungen mit kurzer Periode (unter  $\frac{1}{2}$  sec etwa) werden das Objekt auf der Unterlage verschieben und drehen können, ohne es umzuwerfen (selbstverständlich, wenn sie die nötige Stärke erreichen), langsamere Schwingungen werden es eher umwerfen, als daß eine Verschiebung oder Drehung zustande käme.

Bei Nahbeben, die uns hier hauptsächlich interessieren, liegt die Periode der Hauptschwingung meist zwischen 1 und 2 Sekunden, jedoch dieser sind stets bedeutend schnellere Schwingungen überlagert, so daß das Diagramm manchmal ganz wie zerfetzt aussieht. Kikuchi nennt diese Häkchen »ripples« und gibt für sie durchschnittlich  $T = 0 \cdot 12$  bis  $0 \cdot 04$  sec (ausnahmsweise  $0 \cdot 02$  sec) und  $2 a = 0 \cdot 74$  cm als maximale Amplitude an.<sup>1</sup> Auf Nachbebendiagrammen von

<sup>1</sup> Kikuchi, E. I. C., Nr. 19, p. 47/48. Leider gibt er keine zusammengehörigen Werte.  $T = 0 \cdot 1$  sec und  $2 a = 0 \cdot 74$  cm gibt  $\beta = 1457 \frac{cm}{sec^2}$ , was wohl etwas zu hoch sein wird.

Omori<sup>1</sup> zählt man beispielsweise auf eine volle Periode der Hauptschwingung durchschnittlich 20 bis 22 derartige Spitzen mit etwa  $\frac{1}{4}$  der Amplitude der ersteren. Das würde bedeuten, daß die Maximalbeschleunigung der »ripples« nicht weniger als das 100fache jener der Hauptschwingung beträgt. Das mag zu hoch gegriffen sein. Jedenfalls aber ist die bei diesen schnellen »Obertönen« des Erdbebens erreichte Maximalbeschleunigung bedeutend größer als die der Hauptschwingung entsprechende. Letztere kann noch weit unter den 400 bis  $500 \frac{cm}{sec^2}$  bleiben, die zum Überwinden der Reibung sicher nötig sind, die aber nach der Skala von Omori<sup>2</sup> schon eine Art katastrophales Erdbeben verursachen würden, während die Ripples diese Grenze schon beträchtlich überschreiten, also Verschiebungen und Drehungen hervorbringen.

Dazu stimmt, daß anscheinend nicht besonders starke Erdbeben manchmal beträchtliche Drehungen hervorbringen. Beispiel: Aachen<sup>3</sup> und besonders die beiden angeführten Fälle von »Bergschlagbeben«. Die kurzperiodischen Wellen treten, je größere Strecken im Erdinnern durchlaufen werden, immer mehr gegenüber den langsameren Schwingungen zurück, in diesen Fällen aber, wo die Wegstrecke nur einige hundert Meter betrug, hatten sie einen beträchtlicheren Anteil am »Bebenspektrum« als gewöhnlich, weswegen trotz der geringen Stärke der Erschütterung im allgemeinen doch merkbare Drehungen hervorgebracht werden konnten.

Wir gehen nun auf die zweite Schwierigkeit ein, daß die Wirkungen einer rein periodischen Schwingung sich nicht von selbst einseitig aufsummieren können. Man könnte die Ursache in dem unperiodischen Anteil suchen. Denken wir uns aus einem Bebandiagramm ein Diagramm der momentanen Beschleunigungen abgeleitet, so wird dies von ganz gleichem Charakter sein wie das der Bodenbewegung (bis auf die Phasendifferenz von  $\frac{1}{4}$  der Schwingungsdauer); hier kommt aber nur der Teil in Betracht, indem die Bodenbeschleunigung

<sup>1</sup> Omori, E. I. C., Nr. 21, Tokyo 1905, Pl. VI.

<sup>2</sup> Omori F., E. I. C., Nr. 4, Toky 1900, p. 69.

<sup>3</sup> Hoernes R., Erdbebenkunde, p. 37.

einen gewissen Betrag überschreitet (der natürlich für jedes einzelne Objekt verschieden ist). Wir nehmen an, diese zur Überwindung der Reibung nötige Minimalbeschleunigung sei ermittelt, tragen sie ins Diagramm ein und ziehen in diesem Abstand beiderseits der  $t$ -Achse eine Parallele, so sind es offenbar nur die derart abgeschnittenen Spitzen, welche für die Verschiebung und Drehung in Betracht kommen, und zwar bedeutet ihre Fläche die Summe  $\Sigma p t$ , den sogenannten Antrieb der Kraft; und da die Beschleunigung ihre Richtung wechselt, sind die Flächenstücke, die oberhalb der  $t$ -Achse liegen, positiv, die unter ihr negativ zu zählen. Wahrscheinlich geht diese Summierung nicht Null gegen Null auf, sondern auf einer Seite bleibt ein Rest, also ein Antrieb nach einer Seite. Aber nach welcher und wie groß, das läßt sich nicht einmal vermuten. Das Diagramm der Bodenbewegung wird bestimmt durch Art des Impulses und den Einfluß der durchlaufenen Bodenschichten. Beides ändert sich im Verlauf eines Erdbebens. Die einzelnen Bebenstöße sind verschieden stark, schwingen in verschiedenen Ebenen und gehen wohl auch nicht genau vom gleichen Ort aus. Wegen dieser Änderungen ist auch der Einfluß des durchlaufenen Mediums variabel. Die zustande kommende Verschiebung oder Verdrehung ist somit das Resultat von drei Faktoren: Impuls, Leitung, Objekt, welche voneinander unabhängig sind, Ausmaß und Bewegungssinn daher als bedingt von der zufälligen Kombination ihrer verschiedenen Werte selbst rein zufällig.

Die Beobachtung fordert aber eine Summierung zahlreicher kleiner Verrückungen durch kurze starke Impulse in einer und derselben Richtung. Das ist mit einer rein zufälligen Entstehung unvereinbar und fordert einen systematischen Einfluß, der von den entgegengesetzten Impulsen der Schwingung die eine Hälfte aussondert, und zwar immer dieselbe.

Daß die Bodenbewegung bei Erdbeben keine einfache Schwingung vorstellt, ist bekannt, ich brauche bloß an den vielfach abgebildeten gordischen Knoten von Sekiya zu erinnern.<sup>1</sup> Das ist nicht auffallend, wenn man bedenkt, in wie

<sup>1</sup> Siehe z. B. Sieberg, l. c., p. 8, Fig. 4.

tausendfältiger Weise der Wellenzug in der so unregelmäßig gebauten Erdrinde gebeugt, gebrochen und reflektiert werden kann. Jeder Oberflächenpunkt wird nicht von einem einzigen Strahl getroffen, sondern auf recht verschiedenen Wegen erreicht ihn der Impuls. Verschiedenen Wegen entspricht verschiedene Laufzeit (d. i. Phasendifferenz), verschiedene Intensität, verschiedene Schwingungs-, beziehungsweise Fortpflanzungsrichtung. Im allgemeinen ist an jedem Punkte sowohl eine horizontale wie eine vertikale Bewegungskomponente vorhanden.

Welches ist die Rolle der Vertikalkomponente? Wir haben oben die Reibung mit  $Mg\kappa$  angesetzt, als Bruchteil des Gewichtes. Erfährt der Boden eine Vertikalbeschleunigung, so muß dies ebenso wirken, als wenn  $g$ , die Schwerebeschleunigung, variabel wäre und mit ihr natürlich auch die Reibung. Entstammen Horizontal- und Vertikalkomponente der Bewegung dem gleichen Impuls, so sind die Perioden beider gleichlang (das hat die Beobachtung am Seismometer auch meistens ergeben<sup>1</sup>). Die Phasen aber können wegen Interferenz von Strahlen verschiedener Laufzeit gegeneinander verschoben sein. Fallen die Phasen bei beiden zusammen, so wird die eine horizontale Beschleunigungsrichtung stets mit Aufwärtsbeschleunigung des Bodens, größerem  $g$ , größerer Reibung zusammentreffen, die andere Richtung mit kleinerer Reibung. Da somit nach einer Richtung jedesmal kleinerer Widerstand getroffen und daher größere Verschiebung vorgenommen wird, muß diese auch im Gesamtergebn die Oberhand behalten. Sind dagegen die Phasen von Horizontal- und Vertikalkomponente um  $\frac{T}{4}$  voneinander verschieden, so verteilt sich die Begünstigung auf beide Richtungen und es findet keine Verrückung statt. Wesentlich ist also nur die Phasendifferenz der interferierenden Schwingungen und die kann sich für einen bestimmten Punkt während desselben Bebens nur ändern, wenn der Ort des Impulses sich wesentlich verschiebt, was meistens nicht der Fall sein wird. Und

<sup>1</sup> Vgl. Kikuchi, l. c., p. 47.

daher sind die Bedingungen erfüllt, daß im Verlaufe des Bebens viele kleine gleichsinnige Impulse sich summieren können.

Nehmen wir eine kreisrunde Scheibe (oder Säule) vom Radius  $R$  an, die mit überall gleichem Druck auf ihrer Unterlage aufliegt, so ist das Drehungsmoment der Reibungskräfte, das bei einer Drehung um ihren Mittelpunkt zu überwinden ist:  $\frac{2}{3} M g \mu . R$ . Die Kraft, welche nötig ist, um eine translatorische Verschiebung gegen die Reibung zu erzielen, hatten wir mit:  $M g \mu$ . Es müßte also eine gleichgroße Kraft im Abstand  $\frac{2}{3} R$  vom Mittelpunkt die Scheibe angreifen, um eine Rotation zustande zu bringen. Man mag nun die Unregelmäßigkeiten der Auflagefläche noch so hoch einschätzen, der Normalabstand zwischen der Resultierenden der Reibungskräfte und der in die Schwerelinie zu verlegenden bewegenden Kraft wird fast immer geringer sein und daher sollte Translation viel häufiger vorkommen als Drehung, was mit den Beobachtungen nicht übereinstimmt.

Die Verhältnisse der wirklichen Bewegung dürften nicht so einfach liegen. Da mit dem Gleiten gleichzeitig auch eine Kippbewegung einhergeht, ist die Belastung der Auflagefläche variabel, die Reibung somit bald auf der einen, bald auf der anderen Seite größer. Der Widerstand gegen eine translatorische Verschiebung des Ganzen bleibt dabei ungeändert, allein da die Reibungskräfte jetzt auf einen engeren Raum zusammengedrängt werden, ist ihr Drehmoment in bezug auf eine mitten drin angenommene Achse kleiner als im Ruhezustand, dagegen, da der »Reibungsmittelpunkt« dadurch von der Schwerelinie entfernt wird, Hebelarm und Drehmoment der wirkenden Kraft größer geworden, die Drehung kommt also viel leichter zustande, als im oben gemachten Überschlag zu vermuten wäre. (Da der Reibungsmittelpunkt während der Schwingung seinen Platz wechselt, je nachdem Vorder- oder Rückseite stärker belastet ist, muß auch der momentane Drehpunkt mitpendeln. Eine solche abwechselnde Verlegung des Drehpunktes in der Richtung der Horizontal-

schwingung muß ein gewisses seitliches Wandern quer zur Schwingungsebene erzeugen.)

Wenn die einzige Unregelmäßigkeit der Auflagefläche ihre eckige Begrenzung ist, so wird daher als Resultat eine Drehung um einen nicht weit von einer Ecke gelegenen Punkt zu erwarten sein.

Kurz zusammengefaßt: Es sind nicht die Hauptschwingungen der Nachbeben mit Perioden von 2 bis 1 (ausnahmsweise bis 0·5) Sekunden, welche die Drehungen verursachen; denn wenn diese die zur Überwindung der Reibung nötige Maximalbeschleunigung haben, werfen sie die meisten der in Frage stehenden Objekte um; sondern die ihnen übergelagerten schnellen Schwingungen, die »ripples«, mit Perioden von 0·2 Sekunden und weniger. Deren Maximalbeschleunigung ist größer als die der Hauptschwingungen (daher Drehungen auch bei relativ schwachen Beben) und sie kann sehr große Beträge erreichen ohne daß das Objekt Zeit hätte, umzufallen, bevor die Rückschwingung einsetzt.

Daß die periodische Schwingung sich in eine einseitig fortschreitende Verschiebung umsetzen kann, liegt an dem Zusammenwirken von Horizontal- und Vertikalschwingungen gleicher Periode und Phase. Die Vertikalkomponente erzeugt periodische Änderungen des Aufgedruckes, somit auch der Reibung, und dadurch wird die eine Bewegungsrichtung bevorzugt. Der Körper wird beim Hinschwingen mitgerissen, beim Zurückschwingen kann er gleiten. (Weil zeitweise die Vertikaloszillation die Auflagefläche fast ganz entlastet, kann auch auf rauher, frisch aufgerissener Mörtelfläche Drehung erfolgen.)

Die Drehung selbst kommt dadurch zustande, daß die Resultierende der Reibungskräfte nicht in der durch Schwerpunktslot und Schwingungsrichtung bestimmten Ebene liegt, daher mit der verschiebenden Kraft ein drehendes Kräftepaar bildet; entweder infolge einer Art Fixierung (Beispiel das Marmorkreuz von Therese Hübschmann, Alter Friedhof Rann, das sich um den Eisenstift, auf dem es aufgesteckt war, gedreht hat), meistens aber

dadurch, daß die Kippbewegung hauptsächlich die Ränder, abwechselnd den vorderen und den hinteren, belastet, wodurch die Hauptreibung in die Nähe der Ecken gelegt wird. Deswegen sind Drehungen um einen Punkt nahe der Ecke am häufigsten.

Dazu stimmt, daß parallel zu den Kanten der Grundfläche bedeutende Translationen ohne Drehung beobachtet werden konnten (Neza Janeziz, Neuer Friedhof), schief zu ihnen jedoch nicht. Auch das Haus zu Dobenau ist um eine Ecke gedreht (wie übrigens auch die von Omori abgebildete Pagode, die oben erwähnt worden ist; bei einem solchen Kasten ist Reibungswiderstand nur am Umfang anzutreffen). Es können benachbarte gleiche und gleichorientierte Objekte entgegengesetzt gedreht sein.<sup>1</sup> (Grabsteine von Thomas und Therese Zelzer, Alter Friedhof. Daß diese beiden O—W, also senkrecht zu dem vorerwähnten drehungslos verschobenen stehen, mag Zufall sein. Jedenfalls würde aber bei einer Schwingung senkrecht zur Kippkante die Bevorzugung einer Ecke verschwinden. Daß die Horizontalverschiebung bei beiden divergiert, ist nach dem, was über die durch das Hin- und Herkippen erzeugte Querverschiebung gesagt wurde, nur die unmittelbare Folge des verschiedenen Drehungssinnes. Mit der sogenannten »Stoßrichtung« darf man die resultierende Horizontalverschiebung deswegen nicht gleichsetzen.) Auch die Fälle, in denen zwei übereinanderliegende Werkstücke in verschiedenem Sinne gedreht sind (Beispiel Grabstein Vislarini) beweisen, daß nicht bloß die Umrißform der Grundfläche allein entscheidend sein kann. Und dies führt unbedingt zu dem Schlusse, daß die Grundfläche nie völlig frei abgehoben war; denn nur dann können andere Einflüsse als die der Ecken zur Geltung kommen.

Die Drehung freistehender Objekte ist wohl eine der augenfälligsten Wirkungen der »ripples«, aber diese für die Nahbeben so charakteristischen kurzperiodischen Schwingungen dürften auch sonst mehr Beachtung verdienen, als

<sup>1</sup> Entgegen der Ansicht Sieberg's (l. c., p. 6), der die Ursache verschiedenen Drehungssinnes von benachbarten Grabsteinen mit verschiedener Orientierung begründete.

ihnen bisher zuteil geworden ist, nicht zuletzt vom praktisch-ökonomischen Standpunkt aus. Die großen umstürzenden Bewegungen kommen ja ganz aufs Konto der Hauptschwingung, aber die tiefgreifende Zerrüttung vieler Bauwerke ist das Werk der »ripples«, deren kurze, aber äußerst heftige Stöße die Mauern oft sozusagen Ziegel für Ziegel aufgelockert haben. Besonders bei mittleren Beben ist dieser Schaden kaum geringer als die offenkundigen Zerstörungen.

---