

Werk

Jahr: 1924

Kollektion: fid.geo

Signatur: 8 GEOGR PHYS 203:1

Digitalisiert: Niedersächsische Staats- und Universitätsbibliothek Göttingen

Werk Id: PPN101433392X_0001

PURL: http://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?PPN101433392X_0001

LOG Id: LOG_0073

LOG Titel: Ein Beitrag zum Studium der Bodenbewegungen nicht seismischen Ursprungs

LOG Typ: article

Übergeordnetes Werk

Werk Id: PPN101433392X

PURL: <http://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?PPN101433392X>

OPAC: <http://opac.sub.uni-goettingen.de/DB=1/PPN?PPN=101433392X>

Terms and Conditions

The Goettingen State and University Library provides access to digitized documents strictly for noncommercial educational, research and private purposes and makes no warranty with regard to their use for other purposes. Some of our collections are protected by copyright. Publication and/or broadcast in any form (including electronic) requires prior written permission from the Goettingen State- and University Library.

Each copy of any part of this document must contain these Terms and Conditions. With the usage of the library's online system to access or download a digitized document you accept the Terms and Conditions.

Reproductions of material on the web site may not be made for or donated to other repositories, nor may be further reproduced without written permission from the Goettingen State- and University Library.

For reproduction requests and permissions, please contact us. If citing materials, please give proper attribution of the source.

Contact

Niedersächsische Staats- und Universitätsbibliothek Göttingen
Georg-August-Universität Göttingen
Platz der Göttinger Sieben 1
37073 Göttingen
Germany
Email: gdz@sub.uni-goettingen.de

Ein Beitrag zum Studium der Bodenbewegungen nicht seismischen Ursprungs.

(Auszug aus der Inaugural-Dissertation, Göttingen 1925.)

Von **Johann Brand**. — (Mit siebzehn Abbildungen.)

Mit einem Wiechertschen Horizontalseismometer von 150 000 facher Vergrößerung wurde die natürliche und die durch fahrende Züge hervorgerufene Bodenunruhe untersucht. Die Bodenunruhe stellt im wesentlichen Eigenschwingung des Untergrundes dar und ist unabhängig vom Azimut. Fahrende Züge geben hauptsächlich nur Vergrößerung der Amplituden. Eigenschwingungen der Nachbarschollen können merkbar werden

I. Registrierungen der immerwährenden Bodenunruhe ohne erkennbare Ursache. Die Untersuchung wurde mit einem von E. Wiechert konstruierten Horizontalseismographen mit photographischer Registrierung durchgeführt. Die optischen Einrichtungen wurden vom Verfasser so umgebaut, daß die Vergrößerung etwa verdoppelt wurde.

Eine nach den üblichen Methoden durchgeführte Konstantenbestimmung ergab für V : etwa 150 000; T_0 : 0.62 sec; ϵ : 1:3.5 — 4.

a) Bodenunruhe auf dem Hainberg bei Göttingen. Der Seismograph stand auf dem freigelegten Felsboden des Erdbebenhauses des Geophysikalischen



Fig. 1. Bodenunruhe Hainberg NS. Tag.



Fig. 2. Bodenunruhe Hainberg Nacht.



Fig. 3. Bodenunruhe Hainberg. $\overline{\quad\quad\quad}$ 2 sec

Instituts. Es wurde zu verschiedenen Tageszeiten und in verschiedenen Azimuten beobachtet. Die Fig. 1 bis 3 geben typische Diagramme wieder. Die Bodenunruhe tritt in allen Azimuten ungefähr gleich stark auf, auch die Perioden sind innerhalb der Fehlergrenze dieselben. In der Hauptsache kommen Perioden von 0.59 und 0.29 sec vor. Die Schwingungen mit der letztgenannten Periode tragen fast sinusförmigen Charakter. Das Diagramm 3 zeichnet sich durch eigenartige Regelmäßigkeit im Rhythmus aus, offenbar liegen Schwebungen vor. Unter der Annahme, daß es sich hier um Überlagerung nur zweier Wellen handelt, deren Perioden sich nur wenig voneinander unterscheiden, und daß die Periode des einen Wellenzuges 0.29 sec beträgt, berechnet sich die Periode des zweiten Wellenzuges aus der Schwebungsperiode zu etwa 0.31 bzw. 0.27 sec.

b) Bodenunruhe im Leinetal. Beobachtet wurde in den Kellerräumen der Pergamentfabrik Rube & Co. in Weende, etwa 3.5 km nördlich von Göttingen.

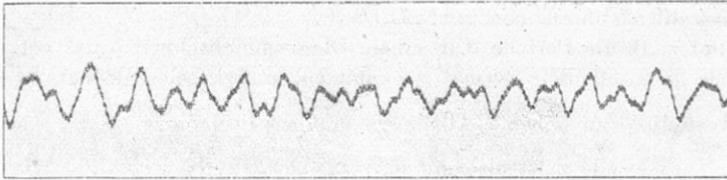


Fig. 4. Bodenunruhe Weende NS.

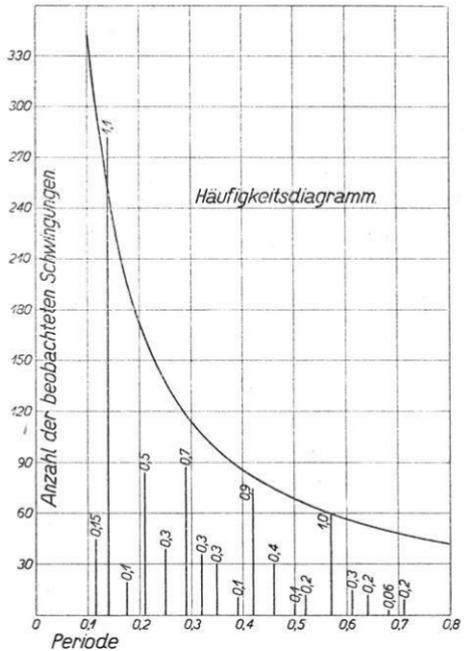


Fig. 5. Bodenunruhe Weende EW.

Es wurde in verschiedenen Azimuten und zu verschiedenen Zeiten beobachtet, hauptsächlich zur Nachtzeit, während der Fabrikbetrieb still lag. Störungen durch Maschinen kommen also nicht in Frage. Typische Diagramme sind in Fig. 4 und 5 zusammengestellt.

Ein Vergleich läßt erkennen, daß die Bodenbewegung im Leinetal sehr viel komplizierter ist als auf dem Hainberg. Der Kurvencharakter wechselt sehr. Eine Abhängigkeit der Bodenunruhe vom Azimut scheint nicht zu bestehen.

Die Auswertung der Diagramme geschah in der Weise, daß Welle für Welle ausgemessen wurde; die Resultate der Messungen sind in dem folgenden Häufigkeitsdiagramm niedergelegt. Die Abszisse dieses Diagramms gibt die Wellenperiode an, die zugehörige Ordinate, wie oft die betreffende Periode gemessen wurde. Es ist aber stets zu berücksichtigen, daß die Häufigkeitszahlen für Bodenunrubewellen nur relativ genommen werden dürfen,



denn eine große Zahl von Schwingungen wird der Ausmessung entzogen. Außerdem ist noch folgender Umstand zu bedenken. Die Registrierungen geben nur Aufschluß über die Bodenbewegung während eines kurzen Zeitabschnittes. In einem abgegrenzten Zeitraum kann eine kleine Periode natürlich häufiger vorkommen als eine größere. Die gewöhnliche Darstellung der Häufigkeit gilt darum

streng nur für zeitlich unbegrenzte Diagramme, wo jede Periode gleichberechtigt ist. In zeitlich begrenzten Diagrammen sind die Häufigkeitszahlen großer und kleiner Perioden nicht schlechthin vergleichbar; man muß auf „gleichwertige Häufigkeitszahlen“ umrechnen.

Kommt z. B. die Periode a in einem Diagrammabschnitt b mal vor, so muß die Periode $a/2$ offenbar $2b$ mal vorkommen, um dieselbe Bedeutung für die Periodenverteilung zu haben. Allgemein muß die Periode $x = \frac{a \cdot b}{x} = y$ mal vorkommen. Die Periode x ist also mit der zugehörigen gleichwertigen Häufigkeitszahl y hinsichtlich der Häufigkeitszahl einer als Bezugsmaß gewählten Periode graphisch durch eine Hyperbel verknüpft. Das beigegebene Häufigkeitsdiagramm gibt für jede Periode die tatsächlich beobachtete Häufigkeit (Ordinate) und die zugehörige gleichwertige Häufigkeit (Hyperbel) an, außerdem ist noch für jede Periode die „relative Häufigkeit“, der Quotient tatsächlicher Häufigkeitszahl durch gleichwertige Häufigkeitszahl berechnet. Um eine geeignete Darstellung zu bekommen, wurde als Bezugsmaß die häufig gemessene Periode von 0.57 sec gewählt. Die gemessenen Perioden wurden auf $1/2$ mm abgerundet und dann auf Sekunden umgerechnet. Die dadurch entstehenden Fehler ändern nichts an der Gruppierung der Perioden um die Häufigkeitsstellen.

Das Häufigkeitsdiagramm zeigt, daß die Perioden 0.14, 0.29, 0.43 und 0.57 sec relativ am häufigsten vorkommen. Die anderen treten relativ dagegen zurück, wenn auch die Periode 0.21 der von 0.29 numerisch gleichkommt und die 0.57 Sek.-Periode sogar zahlenmäßig übertrifft. Die Periode 0.29 sec erreicht nicht ganz den gleichwertigen Häufigkeitswert. Es ist aber zu bedenken, daß sie ungefähr das Doppelte der Periode 0.14 ausmacht. Bei geeignetem Amplitudenverhältnis ist dann ein Übersehen der größeren Periode leicht möglich. Außerdem tritt noch eine Periode von nahezu 0.029 sec auf. Sie scheint stets vorhanden zu sein, in manchen Teilen des Diagramms ist sie ohne weiteres zu erkennen, an anderen Stellen nur mit Hilfe einer Lupe. In das Häufigkeitsdiagramm wurde sie nicht eingetragen, weil ihre Häufigkeitszahl doch nur schätzungsweise angegeben werden könnte.

c) Die Bodenunruhe in Langwedel bei Verden. Das Instrument stand im Keller eines Wohnhauses auf Betonuntergrund. Typische Diagramme sind in Fig. 6 bis 8 zusammengestellt. Ein Vergleich dieser Diagramme mit den Aufzeichnungen der Bodenunruhe in Weende zeigt, daß die Bodenschwingung vollständig veränderten Charakter trägt. Während in den Diagrammen Fig. 4 und 5 die kleinen Perioden hinsichtlich der Amplitude in den Hintergrund treten, überwiegen sie hier ganz erheblich und geben dem Ganzen das Gepräge. Die Amplituden sind vergleichbar, weil die Perioden nur wenig voneinander verschieden sind. In Weende klingen die Schwingungen einer Periode rasch ab, hier dauern sie längere Zeit hindurch an. Sieht man von den überlagerten Schwingungen kurzer Periode ab, so haben wir mitunter einen fast sinusförmigen Kurvenzug mit wenig schwankender Amplitude. Die Diagramme sind teilweise so regelmäßig, daß die Annahme nicht fern lag, es mit durch Maschinen erregten erzwungenen Bodenschwingungen zu tun zu haben. Diese Ansicht mußte

aber aufgegeben werden, denn die Messungen wurden zu Zeiten vorgenommen, wo im Orte sicher keine Maschinen im Betrieb waren, außerdem zeigt die Bodenschwingung nicht immer diesen ruhigen und regelmäßigen Verlauf bei gleichbleibender Periode. Nach der Mintropschen Arbeit müßte man, wenn

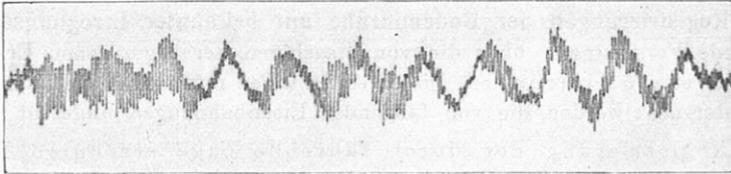


Fig. 6. Bodenunruhe Langwedel EW.

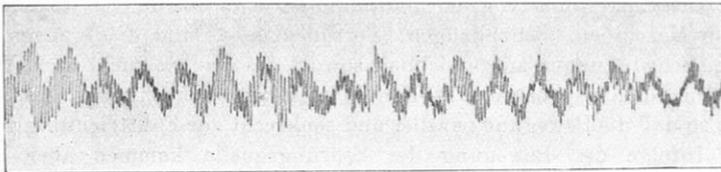


Fig. 7. Bodenunruhe Langwedel EW.

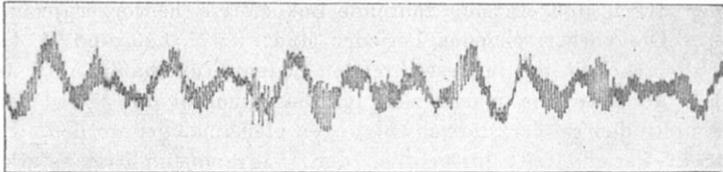


Fig. 8. Bodenunruhe Langwedel NS.

Maschinen die Bewegung verursachten, auch eine Abhängigkeit vom Azimut erwarten, auch dies konnte nicht nachgewiesen werden.

Relativ am häufigsten kommen die Perioden 0.52, 0.22 sec vor. Die 0.31 Sek.-Periode ist die vorherrschende. Stets vorhanden, zeitweilig mit großer Amplitude ist die Periode von 0.026 sec.



Fig. 9. Bodenunruhe Daverden.

d) Bodenunruhe in Daverden bei Langwedel. Das Instrument stand im Keller der Schule auf Betonuntergrund. Fig.9 gibt ein Diagramm wieder. Obwohl die Stationen Langwedel und Daverden etwa nur 1 km auseinanderliegen, haben wir hier wieder ein ganz anderes Schwingungsbild. Die kurzen Schwingungen, die für Langwedel so charakteristisch waren, fehlen hier fast vollständig. Typisch für die Bodenunruhe in Daverden ist das Auftreten von

Schwebungen. Die vorherrschende Periode beträgt etwa 0.33 sec, daneben tritt noch eine Periode von 0.18 sec auf, wenn auch nicht so häufig und weniger schön ausgebildet. Die Schwebungsperiode ist nicht stark definiert. Die Periode des zugehörigen zweiten Wellenzuges liegt aber selbstverständlich in der Nähe von 0.33 sec.

II. Registrierungen der Bodenunruhe mit bekannter Erregungsursache.

Eingehende Forschungen über die von Maschinen hervorgerufenen Erschütterungen rühren von Mintrop her. Im folgenden sollen nun die Bodenschwingungen näher untersucht werden, die von fahrenden Eisenbahnzügen angeregt werden.

a) Registrierung der durch fahrende Züge erzeugten Bodenunruhen in Weende. Das Wiechertsche Seismometer wurde in der Nähe der Eisenbahnlinie Gottingen—Hannover in der Rubeschen Fabrik in Weende aufgestellt. Die Entfernung von der Bahnlinie ist etwa 300 m. Es wurden die von einzelnen Maschinen, Schnellzügen, Personenzügen und Guterzügen hervorgerufenen Schwingungen aufgezeichnet, sowohl die NS- als auch die EW-Komponente. Die NS-Komponente fällt nahezu mit der Richtung der Bahnlinie zusammen, so daß die Bewegung parallel und senkrecht zur Fahrtrichtung registriert wurde. Infolge der Bewegung der Störungsquelle kommen aber auch die zwischenliegenden Azimute in Frage, allerdings mit anderer Störungsintensität.

Typische Diagramme geben die Fig. 10 bis 13. Fig. 10 gibt ein Diagramm der durch eine einzelne fahrende Lokomotive hervorgerufenen Bodenbewegung. Die vorherrschenden Perioden sind: 0.57, 0.43 und 0.14 sec, also Perioden, die schon in der immerwährenden Bodenunruhe häufig auftraten. Das Herannahen der Maschine macht sich im Diagramm in der Weise bemerkbar, daß die Amplituden größer, die Schwingungen gleichmäßiger werden. Besonders die 0.14 Sek.-Periode tritt hinsichtlich der Diagrammamplitude stark in den Vordergrund und verleiht dem Diagramm den sinusförmigen Charakter. Die Hauptbewegung klingt bald wieder ab, die übrigen Perioden treten wieder deutlicher hervor, das Diagramm bekommt wieder ein unregelmäßiges Aussehen. Manchmal zeigt es für einige Sekunden durchaus wieder den Typ der allgemeinen Bodenunruhe. Kurz darauf wird wieder die 0.14 Sek.-Periode stark angeregt, im Diagramm treten wieder glatte harmonische Wellenzüge auf. Das Anschwellen und Abflauen der Bewegung wiederholt sich einige Male, bis dann die Bodenschwingung allmählich wieder das allgemeine Gepräge annimmt. Die Fig. 11 bis 13 zeigen, daß auch in der Bodenbewegung, die durch verschiedene Zugarten verursacht wird, die 0.14 Sek.-Periode stark hervortritt. In einigen Diagrammen tritt außerdem noch eine neue Periode von 0.08 sec auf, die für unseren Erklärungsversuch von Wichtigkeit ist. Sie kommt bei weitem nicht so häufig vor, wie die 0.14 Sek.-Periode, ist auch nicht so gut ausgebildet.

b) Registrierung der durch fahrende Züge erzeugten Bodenbewegungen in Langwedel. Das Instrument stand am selben Orte, wo schon die immerwährende Bodenunruhe beobachtet wurde. Typische Diagramme sind in Fig. 14 und 15 zusammengestellt. Der Kurvencharakter ist von den Zug-

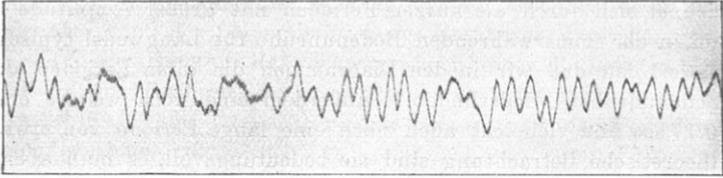


Fig. 10. Einzelne Maschine. Weende EW.

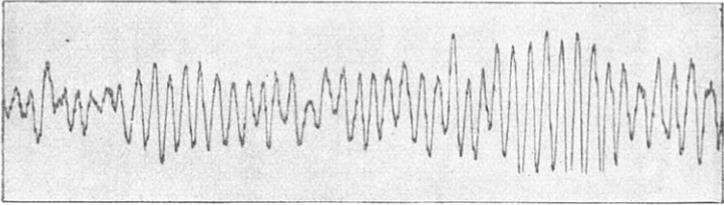


Fig. 11. Schnellzug. Weende NS.

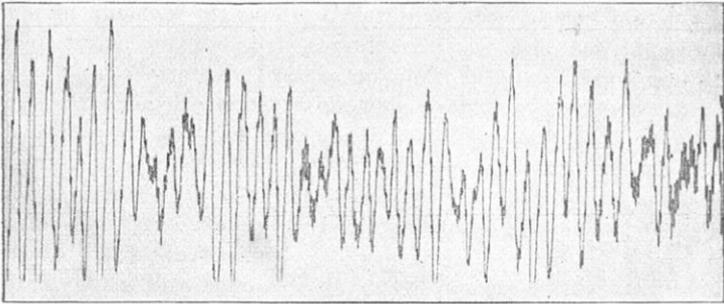


Fig. 12. Güterzug. Weende EW.

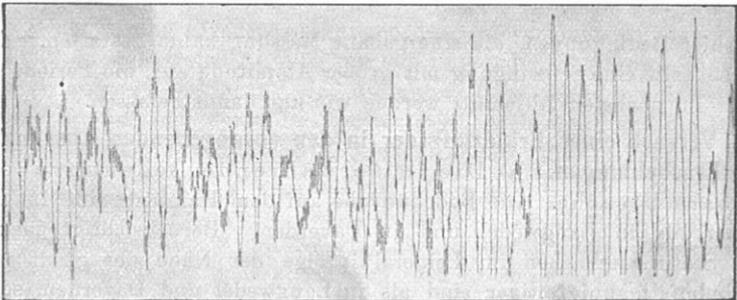


Fig. 13. Schnellzug und Personenzug. Weende NS.

diagrammen, die in Weende aufgenommen wurden, völlig verschieden. Die Kurve zeichnet sich durch die kurzen Perioden mit großer Amplitude aus, die auch schon in der immerwährenden Bodenunruhe für Langwedel typisch waren. Bemerkenswert ist, daß wir in den Diagrammen die alten Perioden der allgemeinen Bodenunruhen wiederfinden. Außerdem sind noch weitere erkennbar, nämlich 0.17 sec und vielleicht auch noch eine lange Periode von etwa 1.6 sec. Für die theoretische Betrachtung sind sie bedeutungsvoll, es muß aber hervorgehoben werden, daß die Auswertung sehr unsicher ist, die Überlagerungen

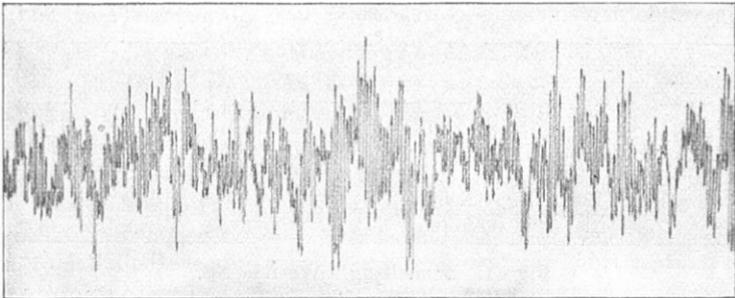


Fig. 14. Zug. Langwedel EW.

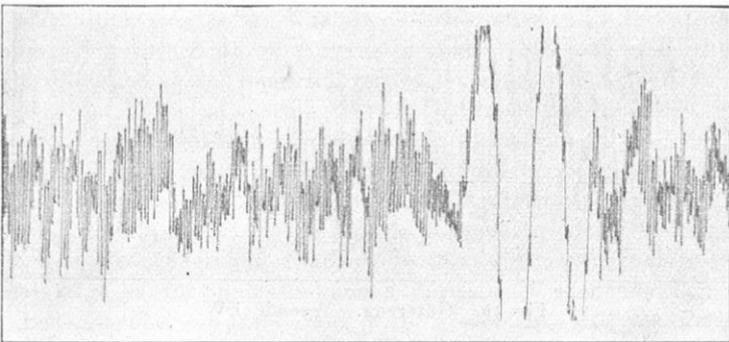


Fig. 15. Zug. Langwedel NS.

schaffen hier Bedingungen, die eine genaue Messung kaum gestatten. Im Diagramm 15 fällt eine Schwingung mit großer Amplitude auf, die Periode beträgt 0.52 sec. Im nächsten Abschnitt werden wir uns damit befassen.

III. Versuch einer Erklärung der in den vorangehenden Abschnitten erörterten Erscheinungen. a) Die immerwährende Bodenunruhe ohne erkennbare Ursache. Die Bodenunruhe auf dem Hainberg und im Leinetal ist kleiner als in Langwedel und in Daverden. Berücksichtigt man noch, daß die Störungsursachen im Leinetal infolge der Nähe der Stadt und des Güterbahnhofs mannigfaltiger sind als in Langwedel und Daverden, so ergibt sich daraus die Tatsache, daß wir es in dem Moor- und Sanduntergrund von

Langwedel und Daverden mit einem schwingungsfähigeren Gebilde zu tun haben, als der Felsuntergrund des Leinetals und des Hainbergs darstellt. So erklärt sich auch die Wahrnehmung, daß Schwingungen einer Periode in Langwedel längere Zeit andauern, während sie im Leinetal bald wieder abklingen. Wichtigere und sichere Schlüsse läßt die vergleichende Betrachtung der Perioden an den verschiedenen Stationen zu.

Das Auftreten ungleicher Perioden an den verschiedenen Stationen kann seine Begründung in einer Änderung der Erregungsursache oder aber auch in der Verschiedenheit des Untergrundes haben. Für die letzte Ansicht spricht die Tatsache, daß die immerwährende Bodenunruhe in Daverden ein grundverschiedenes Bild von der in Langwedel zeigt, auch hinsichtlich der Perioden.

Tabelle 1.

Station	Untergrund	Relativ häufige Perioden	Größenordnung der wahren Bodenampl.
Hainberg	Felsboden	0.59, 0.29, 0.31 bzw. 0.27*)	0.01 μ
Leinetal bei Weende	{ Kalkstein, Tone, } { Buntsandsteine }	0.57, 0.43, 0.29, 0.14, 0.029	0.04 μ
Langwedel	Moor, Sand	0.52, 0.31, 0.22, 0.026	0.05 μ
Daverden	Düne	0.33, 0.18	0.03 μ

Die beiden Stationen sind benachbart, die Summe der Störungen für beide Orte ist darum wohl ungefähr gleich, der Untergrund aber ist verschieden. Man darf darum wohl annehmen, daß das charakteristische Bild der immerwährenden Bodenunruhe ohne erkennbare Ursache an einem Orte im wesentlichen durch den Bau des Untergrundes bestimmt wird und unabhängig von der Art der Erregung ist, sofern diese selbst nur unregelmäßig erfolgt, oder, wie die weitere Untersuchung zeigen wird, vorwiegend stoßartigen Charakter trägt. Diese letzte Einschränkung fordern die Ergebnisse der Mintropschen Arbeit, die gezeigt hat, daß die Periode der durch Maschinen hervorgerufenen Bodenunruhe eine Funktion der Tourenzahl der Maschine ist.

Unser Ergebnis wird besonders durch eine nähere Betrachtung der Perioden der Bodenunruhe am selben Orte gestützt.

Zunächst Station Langwedel. Häufungsstellen der Periodenwerte liegen bei 0.52, 0.31 und 0.22 sec. Die Zahlen dieser Reihe verhalten sich nahezu wie 7 : 5 : 3 zueinander. Diese Tatsache läßt darauf schließen, daß die immerwährende Bodenunruhe Eigenschwingungen des Untergrundes mit einer Grundperiode von 1.56 sec darstellt. Weil nur die ungeraden Oberschwingungen auftreten, so verlangt die Erklärung, daß die untere Grenzfläche der schwingenden Schicht eine Knotenfläche darstellt. Daraus ergibt sich dann, daß die Dicke der schwingenden Schicht $\frac{1}{4}$ der Wellenlänge der Grundschwingung beträgt. Schichtdicke und Grundperiode sind durch die Formel $d = \frac{1}{4} T \cdot v$ untereinander verknüpft. Hierin bedeutet d die Schichtdicke, T die Periode der Schwingung, v die Geschwindigkeit der Scherungswelle. Ist v bekannt, so kann d berechnet werden, leider ist mir diese Geschwindigkeit nicht bekannt, ich bin darum nur

*) Aus Schwebungen berechnet.

auf Vermutungen angewiesen. Nehmen wir für den moorigen, wasserhaltigen Untergrund von Langwedel eine Transversalgeschwindigkeit von 200 m/sec an, so ergibt sich für die Schicht eine Mächtigkeit von 78 m. Bohrungen in dieser Gegend sind mir nicht bekannt, so daß das Ergebnis nicht geprüft werden konnte.

Ob auch die für Langwedel so charakteristische Periode von etwa 0.026 sec als Oberschwingung gedeutet werden kann, ist natürlich nicht einwandfrei zu begründen. Es besteht auch die Möglichkeit, daß sie die Eigenschwingung einer oberen Schicht (Humusschicht) darstellt, die von der darunter liegenden Schicht einfach mitgeführt wird.

In Daverden wurden folgende Perioden beobachtet: 0.33 sec und 0.18 sec. Außerdem traten Schwebungen auf, die durch Überlagerung mindestens zweier Wellenzüge mit Perioden in der Größenordnung 0.3 sec entstanden. Die Perioden verhalten sich nahezu wie 5:3. Nach unserem Erklärungsversuch hätten wir es demnach mit einer Eigenschwingung des Untergrundes zu tun, deren Grundperiode 0.99 sec beträgt, und wo die untere Schichtgrenze eine Knotenfläche ist. Die Schwebungen sind wohl so zu erklären, daß die Eigenschwingung des Untergrundes der benachbarten Station Langwedel den Dünenrücken von Daverden in erzwungene Schwingungen versetzt. Der Dünenrücken wird dann besonders auf Schwingungen reagieren, die in der Nähe seiner Eigenperiode oder einer Oberschwingung liegt. In der Tat tritt in Langwedel eine Schwingung von 0.31 sec auf, die im guten Einklang mit den Forderungen unserer Hypothese steht.

Dieser Erklärungsversuch gewinnt um so mehr an Wahrscheinlichkeit, als unter ähnlichen Verhältnissen Ähnliches beobachtet wurde. Wir werden diesen Fall, Leinetal und Hainberg, weiter unten behandeln.

Nun zur Betrachtung der Bodenunruhe im Leinetal.

Wir hatten folgende Häufungswerte: 0.14, 0.29, 0.43 und 0.57 sec; die Werte verhalten sich zufällig ungefähr wie 1:2:3:4. Die Perioden lassen sich nur unter unwahrscheinlichen Annahmen in ein System von Grund- und ungeraden Oberschwingungen hineinzwängen.

Die Perioden 0.14 und 0.43 sec verhalten sich aber ungefähr wie 1:3, lassen sich also unschwer als Grund- und Oberschwingung einer Schicht mit fester unterer Grundfläche erklären. Andererseits beträgt die 0.57 Sek.-Periode ungefähr das Doppelte der 0.29 Sek.-Periode. Schwingungen mit solchen Perioden lassen sich dann als Grund- und Oberschwingung einer Schicht deuten, wenn die untere Grenzfläche frei beweglich ist.

Die oberen Schichten im Leinetal bestehen aus Ton, Kalkstein und Buntsandstein. Für diese Gesteinsarten haben wir nach einer Zusammenstellung, die Sieberg in seiner Erdbebenkunde bringt, eine Transversalgeschwindigkeit von der Größenordnung 2 km/sec zu erwarten. Die Dicke der schwingenden Schicht berechnet sich dann etwa zu 600 m.

Nach einer Mitteilung, die ich der Freundlichkeit des Herrn Privatdozenten Dr. Brinkmann verdanke, liegt in dieser Tiefe eine Salzschrift. An der Grenzfläche dieser Schicht müßten wir dann eine leichtbewegliche Schicht erwarten.

Für die Mächtigkeit der Schicht, deren Grundperiode den Wert 0.43 sec hat (erste ungerade Oberschwingung 0.14 sec), ergibt sich ein ungefährer Wert von

200 m. In etwa 300 m Tiefe liegt nun eine Kalksteinschicht. Die darüberliegenden Schichten bestehen aus Ton und Buntsandsteinen. Es ist demnach die Möglichkeit gegeben, daß die in Frage stehende Bodenbewegung Eigenschwingungen dieser Tonschicht darstellt. Der aus den Beobachtungen berechnete Tiefenwert stimmt nicht mit dem geologisch geschätzten überein, es ist aber zu bedenken, daß die geologische Tiefenschätzung nur einen ungefähren Wert für größere Gebiete angibt, außerdem ist, wie schon erwähnt, die Wellengeschwindigkeit, worauf unsere Berechnung fußt, nur in der Größenordnung richtig. Vielleicht kommt auch eine andere als die angenommene Schicht in Frage. Wir hätten also folgendes Schwingungsbild: eine erste Schicht, die vom Salz bis zur Oberfläche reicht und in ihrer Grund- und ersten geraden Oberschwingung schwingt; eine zweite, die die Buntsandsteinschicht umfaßt und Schwingungen in der Grund- und ersten ungeraden Oberperiode ausführt. Die obere Humusschicht wird mitgeführt, führt aber vielleicht auch noch Eigenschwingungen aus, die dann die beobachtete kleinste Periode deuten.

Es soll durchaus nicht bestritten werden, daß auch noch weitere Schichten Eigenschwingungen ausführen. Die 0.21 Sek.-Periode, die zwar auch oft beobachtet wurde, den gleichwertigen Häufigkeitswert aber nicht erreichte, hatte dann ihre Deutung gefunden. Der komplizierte Bau des Leinetals bedingt nach unserer Hypothese eben ein verwickeltes Schwingungsbild der Bodenunruhe. In Langwedel, wo man wohl einfachere Untergrundsverhältnisse annehmen darf, wenigstens bis zu Tiefen, die hier in Frage kommen, finden wir ja auch einfachere Diagramme.

Die Bodenunruhe auf dem Hainberg ist zwar äußerst regelmäßig, trotzdem können wir aber wohl kaum Schlüsse auf die Mächtigkeit der schwingenden Schicht ziehen, denn einmal sind die Perioden fast die gleichen wie im Leinetal, so daß sehr wohl erzwungene Schwingung in Frage kommen kann; andererseits liegen nicht genügend Perioden vor, um mit einiger Sicherheit die zur Berechnung notwendige Grundperiode zu ermitteln. Immerhin scheinen die Schwingungen im Diagramm 3 darauf hinzudeuten, daß eine Grund- oder Oberschwingungsperiode in der Nähe von 0.29 sec liegt. Gerade diese Periode wird von der ungefähr gleichen des Leinetals besonders stark angeregt, so erklärt sich ihr häufiges Auftreten und die Schwebung.

b) Die durch fahrende Züge hervorgerufene Bodenschwingung. Nebenstehende Tabelle 2 gibt eine Übersicht über die auftretenden Perioden.

Aus der Tatsache, daß die durch Züge verursachte Bodenbewegung unabhängig vom Beobachtungszazimut ist, daß ferner auch verschiedene Zugarten hinsichtlich der Periode gleiche Diagramme zeitigen, ist wohl zu schließen, daß als Erregungsursache weniger die Kolbenbewegung der Maschine in Frage kommt als die sogenannten Schienenstöße. Anderenfalls hätte sich nämlich nach Mintrop wohl eine Abhängigkeit vom Azimut zeigen müssen, wengleich auch die Fortbewegung der Erregungsquelle andere Verhältnisse schafft. Entscheidend ist aber, daß das Seismogramm 13, das durch die gleichzeitige Vorüberfahrt zweier Züge hervorgerufen wurde, keine Abweichungen zeigt. Weil nun, wie die Tabelle 2 zeigt, die bei der Vorüberfahrt auftretenden Bodenbewegungs-

perioden abhängig vom Untergrund sind und auch die Perioden der immerwährenden Bodenunruhe mit verstärkter Amplitude auftreten, so ist zu schließen, daß die unregelmäßig erfolgenden Schienenstöße die Eigenschwingungen des Bodens stark anregen. Die durch fahrende Züge hervorgerufene Bodenbewegung ist also nichts anderes als verstärkte Bodenunruhe. Eine Bestätigung findet diese Behauptung darin, daß zuweilen noch eine Periode 0.08(5)sec in Weende, 0.17 sec in Langwedel auftreten.

Die 0.08(5)Sek.-Periode läßt sich den Eigenschwingungsperioden der Buntsandsteinschicht des Leinetals als dritte ungerade Oberschwingung angliedern. Die 0.17 Sek.-Periode in der Bodenbewegung von Langwedel ist als vierte ungerade Oberschwingungsperiode der vielleicht auch angedeuteten 1.6 Sek.-Grundperiode zu erklären.

Charakteristisch ist die im Diagramm 15 auftretende Periode mit großer Amplitude. Der Periodenwert beträgt etwa 0.52 sec, wir haben demnach die erste ungerade Oberschwingung des Untergrundes vor uns. Wahrscheinlich kommt die eigentümliche Schwingung beim Halten des Zuges in der Station

Tabelle 2.

Station	Untergrund	Periode
Leinetal }	Kalkstein, Tone,	{ 0.57, 0.43
	Buntsandsteine	{ 0 14, 0.085
Langwedel }	Moor-Sand	{ 0.52, 0 31
		{ 0.22, 0.17, 1.6

Langwedel zustande, denn nach dem Auftreten dieser Schwingung ebbt die allgemeine Unruhe wieder ab und tritt erst wieder auf, wenn der Zug sich wieder in Bewegung gesetzt hat, was vom Beobachtungsort gehört werden konnte. Diese Erscheinung findet wohl ihre Erklärung in folgender Überlegung: Freie Schwingungen — um diese handelt es sich ja in unserer Hypothese — treten in einem Körper dann auf, wenn Kräfte plötzlich zu wirken anfangen oder aufhören. Infolge der Beharrung nimmt der Körper nicht unmittelbar den neuen Zustand an, sondern geht über diesen hinaus in einen neuen Zustand über und würde unaufhörlich hin und her pendeln, wenn nicht als neues Moment die Reibung hinzukäme. Die hier als Erregungsursache angeführten Schienenstöße sind solche Kräfte, sie regen den Untergrund zu freien Schwingungen an. Nun tritt aber offenbar beim Halten des Zuges noch eine horizontal gerichtete Kraft auf und gibt Veranlassung zu der fraglichen Bewegung.

Weil die Kraft horizontal gerichtet, erklärt sich die große Amplitude der Schwingung, denn die Eigenschwingung der Schicht erfolgt ebenfalls in dieser Richtung. Obwohl die Erregungsursache also anderer Natur ist, wird doch dieselbe Periode beobachtet, ein Beweis für die Gültigkeit unserer Hypothese.

Nach diesen Ausführungen glaube ich den Satz aufstellen zu können: Die immerwährende Bodenunruhe ohne erkennbare Ursache ist eine Funktion des Untergrundes und stellt im wesentlichen Eigenschwingungen der Untergrundschichten dar. Die Schwingungen scheinen keine Richtung zu bevorzugen.

Stoßen Gebiete verschiedener Eigenschwingungsperioden aneinander, so führen die Schichten außerdem erzwungene Schwingungen mit Perioden der Schwingungen der erzwingenden Nachbarscholle aus. Fällt die Periode einer Grund- oder Oberschwingung einer Schicht in die Nähe der Periode der erzwingenden Kraft, so tritt diese Bewegung in der Bodenunruhe stark hervor, im Seismogramm treten Schwebungen auf.

Die durch Züge hervorgerufene Bodenbewegung ist unabhängig von der erregenden Zugart und unabhängig vom Beobachtungsazimut. Als erregendes Moment kommen hauptsächlich die Schienenstöße in Frage. Die Bewegung ist abhängig vom Bau des Untergrundes und stellt im wesentlichen verstärkte Bodenunruhe dar.

IV. Bemerkungen zu einem Erdbeben vom 17. April 1919. Herr Prof. Angenheister machte mich auf die sehr regelmäßigen Schwingungen im ersten Vorläufer eines submarinen Kermadec-Bebens aufmerksam und stellte mir eine Kopie dieses Bebens zur Verfügung. Das Beben wurde am 17. April



1919 von dem Wiechertschen Seismographen des Samoa-Observatoriums aufgezeichnet. Meiner Ansicht nach spielen auch hier Eigenschwingungen eine wichtige Rolle.

Es treten Schwingungen von etwa 4.3 und 2.1 Sek.-Periode auf, und regen die darüber befindliche Meeressäule zu longitudinalen Eigenschwingungen an. Durch Resonanzwirkung dieser Wassersäule wird die Intensität der in Frage stehenden Schwingung verstärkt. Die Schwingungen werden durch den Meeresgrund übertragen und als erzwungene Bewegungen am Seismometerort aufgezeichnet. Diese Resonanzwirkung tritt für die 4.3 Sek.-Periode bei einer Meerestiefe von 3000 m ein. Nach der von Angenheister berechneten Lage des Herdes ist es nicht unwahrscheinlich, daß der Herd in der geforderten Tiefe liegt.

Literatur.

L. Mintrop Über die Ausbreitung der von den Massendruckten einer Großgasmaschine erzeugten Bodenschwingung. Dissertation Göttingen, 1911.

L. Grunmach. Experimentaluntersuchung zur Messung von Erderschütterung. Verh. Vereins z. Förderung d. Gewerbeleißes.

O Hecker. Seismische Beobachtungen in Potsdam. Veröffentl. d. Kgl. preuß. Geod. Instituts, Bd. 29, 1906.

E. Wiechert. Über Erdbebenwellen.

B. Gutenberg: Die seismische Bodenunruhe. Dissertation Göttingen, 1912.

Sieberg: Erdbebenkunde.