

**ZEITSCHRIFT**  
FÜR  
**GEOPHYSIK**

Herausgegeben im Auftrage der

**Deutschen Geophysikalischen Gesellschaft**

von

**B. Brockamp**, Münster i. W.

unter Mitwirkung von **A. Defant**, Innsbruck — **W. Dieminger**, Lindau b.  
Northeim — **W. Hiller**, Stuttgart — **K. Jung**, Clausthal — **O. Meyer**,  
Hamburg — **F. Möller**, Mainz — **H. Reich**, München.

Jahrgang 21

1955

Heft 4/5

---

**PHYSICA - VERLAG · WÜRZBURG**

## INHALTSVERZEICHNIS

<i>Gutenberg, B.:</i> Untersuchungen zur Bodenunruhe in Südkalifornien . . .	177
<i>Strobach, K.:</i> Zum Studium der mikroseismischen Bodenunruhe in Hamburg . . . . .	190
<i>Bibl, K., u. F. Dolobea:</i> Ionosphärische Beobachtungen während der totalen Sonnenfinsternis vom 30. Juni 1954 . .	215
In Memoriam Dr. Friedrich Trappe . . . . .	229
In Memoriam Dr. phil. Hubert Lückerath . . . . .	233

---

### Die ZEITSCHRIFT FÜR GEOPHYSIK

erscheint in Jahrgängen zu je 4 Heften. Der Bezugspreis beträgt je Jahrgang DM 16.—, Einzelhefte je nach Umfang. Abonnements verlängern sich jeweils um einen Jahrgang, falls keine ausdrückliche Abbestellung zum Ende eines Jahrganges vorliegt.

Die Autoren werden gebeten, die Manuskripte in Maschinenschrift mit handschriftlich eingetragenen Formeln druckfertig einzureichen und gesondert eine „Anweisung für den Setzer“ beizufügen, aus der zu ersehen ist, wie kursiver, gesperrter oder fetter Satz und griechische, gotische oder einander ähnliche Typen und Zeichen kenntlich gemacht sind (z. B. durch farbige Unterstreichung). Die Vorlagen für die Abbildungen sollen reproduktionsfertig (Tuschzeichnung) möglichst im Maßstab 2:1 eingesandt werden. Die Beschriftung der Abbildungen soll auf einem lose vorgeklebten, durchsichtigen Papier erfolgen. Fußnoten sind fortlaufend zu numerieren und am Ende des Manuskriptes zusammenzustellen; bei Zitaten sind Bandnummer, Erscheinungsjahr und Seitenzahl anzugeben. Jeder Arbeit ist eine „Zusammenfassung“ in deutscher und englischer oder französischer Sprache beizufügen.

Der Verfasser liest von der Arbeit in der Regel nur *eine* Korrektur: etwaige Autorenkorrekturen können nur als Fußnoten bzw. am Schluß des Artikels gebracht werden. Umfangreiche Änderungen bedürfen der Zustimmung des Herausgebers und können nur gebracht werden, wenn sich der Autor bereit erklärt, die Korrekturkosten zumindest teilweise zu tragen.

Von seiner Arbeit erhält der Verfasser 50 Sonderdrucke ohne Umschlag kostenlos. Weitere Sonderdrucke liefert der Verlag gegen Erstattung der Selbstkosten. Eine Honorierung der Beiträge erfolgt nicht.

Für die *Zeitschrift für Geophysik* bestimmte Manuskripte und redaktionelle Anfragen bitten wir an den Herausgeber zu richten:

Prof. Dr. Bernhard Brockamp, Münster (Westf.) Pferdegasse 3

Anschrift der *Deutschen Geophysikalischen Gesellschaft*:

Hamburg 13, Rothenbaumchaussee 80

---

Alle Rechte, auch die des auszugsweisen Nachdrucks, der photomechanischen Wiedergabe u. der Übersetzung, vorbehalten. Druck: fotokop, Darmstadt.

Bekanntmachung lt. Bayr. Pressegesetz: Verlag: PHYSICA-VERLAG Rudolf Liebing K.-G., Würzburg, Rotlöwen-gasse 2. Pers. haft. Ges.: Rudolf Liebing, Arnulf Liebing u. Hildgund Holler, sämtl. Buchhändler in Würzburg. Kommanditisten: Friedr. Gäbler, Buchhändler u. Charl. Kuhnert, beide Würzburg. Verantwortl. f. d. Anzeigenteil: Arnulf Liebing.



PHYSICA-VERLAG Würzburg 1956.

**ZEITSCHRIFT**  
FÜR  
**GEOPHYSIK**

Herausgegeben im Auftrage der

**Deutschen Geophysikalischen Gesellschaft**

von

**B. Brockamp**, Münster i. W.

unter Mitwirkung von **A. Defant**, Innsbruck — **W. Dieminger**, Lindau b.  
Northeim — **W. Hiller**, Stuttgart — **K. Jung**, Clausthal — **O. Meyer**,  
Hamburg — **F. Möller**, Mainz — **H. Reich**, München.

Jahrgang 21  
1955

---

**PHYSICA - VERLAG · WÜRZBURG**

Alle Rechte, auch die des auszugsweisen Nachdrucks, der photomechanischen Wiedergabe und der Übersetzung vorbehalten.

Druck: fotokop Darmstadt

©

PHYSICA - VERLAG · WÜRZBURG

1956



## Autorenverzeichnis

<p>Argence, E. 1</p> <p>Belluigi, A. 135</p> <p>Berckhemer, H. u. Oliver, J. 152</p> <p>Bibl, K. u. Delobeaue, F. 215</p> <p>Burkhart, K. 57</p> <p>Cipa, W. 48</p> <p>Delobeaue, F. u. Bibl, K. 215</p>	<p>Dohr, G. 165</p> <p>Geußenhainer, O. 229</p> <p>Gutenberg, B. 177</p> <p>Hellbardt, G. 41</p> <p>Joksch, H. G. 109</p> <p>Korschunow, A. 113</p> <p>Kunetz, G. 10</p> <p>Meißner, R. 81</p>	<p>Oliver, J. u. Berckhemer, H. 152</p> <p>Rühmkorf, H. A. 233</p> <p>Schmidt, H. 53</p> <p>Strobach, K. 190</p> <p>Tams, E. 175</p> <p>Wiese, H. 74</p> <p>Wilckens, F. 25</p>
--	--	---

## Sachverzeichnis

- |   |   |
|---|---|
| <p><b>I. Physik des festen Erdkörpers</b></p> <p>1. Bewegung und Aufbau der Erde, Schwere</p> <p>H. G. Joksch: Statistische Analyse der hypsometrischen Kurve der Erde. 109-112.</p> <p>2. Deformationen, Seismik, Gezeiten</p> <p>G. Hellbardt: Seismische Versuche auf einer Eisplatte. 41-48.</p> <p>A. Korschunow: Tiefherdbeben aus Göttinger Seismogrammen. 113-134.</p> <p>H. Berckhemer u. J. Oliver: Zur Deutung seismischer Einsätze mit parallelen Laufzeitkurven. 152-164.</p> <p>G. Dohr: Perioden der ersten Vorläufer in Göttinger Seismogrammen. 165-174.</p> | <p>B. Gutenberg: Untersuchungen zur Bodenunruhe in Süd-Kalifornien. 177-189.</p> <p>K. Strobach: Zum Studium der mikroseismischen Bodenunruhe in Hamburg. 190-214.</p> <p><b>II. Magnetisches und elektrisches Feld der Erde</b></p> <p>Erdmagnetismus, Polarlicht, Ionosphäre, Erdströme, Durchdringende Strahlung, Luftelektrizität.</p> <p>E. Argence: Kritische Betrachtung der Wellenausbreitung in einem isotropen, absorbierenden Medium. 1-9.</p> <p>G. Kunetz: Einfluß vertikaler Schichten auf elektrische Sondierungen. 10-24.</p> <p>F. Wilckens: Die Grundlage der Eigenpotentialmethode. 25-40.</p> |
|---|---|

W. Cipa: Kurzbericht über einige Erdmagnetische Untersuchungen an Lavaströmen und Tuffschloten in der Vordereifel. 48-52.

H. Schmidt: Untersuchungen zur Photoelektrischen Schwingzeitmessung. 53-55.

K. Burkhardt: Mikropulsationen des Erdstromes und der Erdmagnetischen Horizontalkomponenten. 57-73.

H. Wiese: Tiefentellurik. 74-80.

A. Belluigi: Über ein geoelektrisches inverses Problem. 135-151.

K. Bibl u. F. DelobEAU: Ionosphärische Beobachtungen während der totalen Sonnenfinsternis vom 30. Juni 1954. 215-228.

### III. Physik der Atmosphäre

Statik, Dynamik der Atmosphäre, Strahlungsvorgänge

E. Argence: Kritische Betrachtung der Wellenausbreitung in einem isotropen, absorbierenden Medium. 1-9.

R. Meißner: Untersuchungen über die Zusammenhänge zwischen Luftdruck und Brunnenspiegel. 80-108.

### IV. Physik des Meeres und der Gewässer

R. Meißner: Untersuchungen über die Zusammenhänge zwischen Luftdruck und Brunnenspiegel. 80-108.

### V. Angewandte Geophysik

(Seismische Methoden siehe auch I<sub>2</sub>; magnetische und elektrische Methoden II)

G. KUNETZ: Einfluß vertikaler Schichten auf elektrische Sondierungen. 10-24.

A. HELLHARDT: Seismische Versuche auf einer Eisplatte. 41-48.

F. WILCKENS: Die Grundlage der Eigenpotentialmethode. 25-40.

A. BELLUIGI: Über ein geoelektrisches inverses Problem. 135-151.

H. BERCKHEMER u. J. OLIVER: Zur Deutung seismischer Einsätze mit parallelen Laufzeitkurven. 152-164.

### VI. Instrumentelles

H. Schmidt: Untersuchungen zur photoelektrischen Schwingzeitmessung. 53-55.

### Verschiedenes, Nachrufe, Buchbesprechung

E. TAMM: Die Erdbeben der Karpaten-Becken (455-1918) von Antal Réthly. 175.

O. GEUBENHÄINER: In memoriam Dr. Friedrich Trappe. 229-232.

H. A. RÜHMKORF: In memoriam Dr. phil. Hubert Lückcrath. 233-235.

## Untersuchungen zur Bodenunruhe in Südkalifornien

Von B. Gutenberg, Pasadena, Kalifornien<sup>1)</sup>

**Zusammenfassung:** Meinungsverschiedenheiten über Ursachen von Bodenunruhe sind manchmal dadurch bedingt, daß einige Autoren verschiedene Arten der Bodenunruhe verwechselt haben. In Südkalifornien tritt die verhältnismäßig unregelmäßige Bodenunruhe mit Perioden von 1-4 sec gewöhnlich bei Vorhandensein turbulenter Luftmassen auf, insbesondere nach Passieren einer Kaltluftfront nahe der Küste. Diese Bodenunruhowellen scheinen dann von der Küste her zu kommen und haben Eigenschaften von SV-Transversalwellen mit vorwiegender Vertikalkomponente. Nach theoretischen Ergebnissen von *Ewing*, *Jardetzki* und *Press* haben Ober-schwingungen von Oberflächenwellen Eigenschaften von SV-Wellen. Die Wellenamplituden dieser Bodenunruhe nehmen mit zunehmender Entfernung schnell ab.

Regelmäßige Bodenunruhe mit Perioden von 4-9 sec wird in Palomar vorwiegend von *Rayleigh*wellen gebildet, die aus Richtung Küste kommen, doch werden auch Oberflächenscherungswellen aufgezeichnet. Diese Art der Bodenunruhe pflanzt sich in tektonisch ungestörten Gebieten über ganze Kontinente fort, jedoch nicht durch den Tiefseeboden, und die Amplituden nehmen oft beim Passieren von Gebirgen, z. B. der Sierra Nevada in Kalifornien, schnell ab. Anscheinend pflanzen sich diese Wellen wie die Lg- und Rg-Wellen in einem Kanal mit geringerer Wellengeschwindigkeit über der *Conrad*-Diskontinuität fort. In Kalifornien besteht eine viel bessere Korrelation zwischen den Amplituden dieser Bodenunruhe und der Höhe von Ozeanwellen an nahen Küsten als mit meteorologischen Faktoren, doch ändern sich die Perioden der Bodenunruhe und die der Ozeanwellen nicht immer gleichsinnig.

**Abstract:** Apparent differences in opinion concerning microseisms are sometimes a consequence of the fact that a few authors still confuse the various types. In Southern California, somewhat irregular microseisms with periods of 1-4 sec usually increase with increasing turbulence of the air, especially after passage of cold fronts. These waves seem to arrive from the coast and show great attenuation. They have the character of SV waves with prevailing vertical component. According to *Ewing*, *Jardetzki* and *Press* such motion is to be expected in surface waves of second and higher modes.

Regular microseisms with periods of 4-9 sec show prevailing properties of *Rayleigh* waves, but surface shear waves occur, too. At Palomar, all such waves arrive from the direction of the coast. Contrasting with the microseisms with pe-

<sup>1)</sup> B. Gutenberg, Seismological Laboratory, 220 N. San Rafael Avenue, Pasadena 2. California Institute of Technology, Division of the Geological Sciences, Contribution 766.

riods of 1-4 sec, they travel with little loss of energy across continental regions which are tectonically undisturbed. However, they decrease rapidly in crossing some mountain chains with deep roots, e.g. the Sierra Nevada in California. These waves seem to travel in the same low-velocity layer as  $L_g$  and  $R_g$ . Near the coast of California their amplitudes show better correlation with heights of ocean waves than with meteorological conditions; however, the corresponding periods may change in opposite sense.

## I. Einleitung

Die ältesten Untersuchungen über seismische Bodenunruhe sind nun bald 100 Jahre alt, doch bestehen immer noch Zweifel, wie die verschiedenen Arten der Bodenunruhe entstehen. Sich scheinbar widersprechende Ergebnisse sind manchmal nur eine Folge davon, daß Autoren zwei völlig verschiedene Arten der Bodenunruhe als eine einzige Art betrachtet haben. Insbesondere sind mehrfach die regelmäßige Art der Bodenunruhe mit Perioden von 4-9 sec, die meist in Veröffentlichungen behandelt wurde, und die mehr unregelmäßigen Wellen mit Perioden von 1-4 sec verwechselt worden.

## II. Instrumente zur Untersuchung der Bodenunruhe in Palomar

Zur Klärung der Frage nach der Ursache und dem Mechanismus der Fortpflanzung der verschiedenen Arten der Bodenunruhe im Periodenbereich von 1-10 sec hat das Seismological Laboratory in Pasadena unter wesentlicher finanzieller Beihilfe des Air Force Cambridge Research Center in Bedford (Massachusetts) auf dem Gelände des zum California Institute of Technology gehörigen Palomar Observatoriums zu Untersuchungen über Bodenunruhe besondere Instrumente aufgestellt, die im wesentlichen von *H. Benioff* entworfen wurden. Der Vektorseismograph wurde von *F. Lehner* hergestellt, während *N. Motta* die allgemeine Aufstellung und Instandhaltung der Instrumente des Projektes überwachte. Einzelheiten über die Ergebnisse für die Bodenunruhe mit Perioden von 4-9 sec sind in einem Abschlußbericht [11] über das Projekt zu finden, während diejenigen über die kurzperiodische Bodenunruhe erst nach Abschluß des Projektes gefunden worden sind. Die Untersuchungen werden vom Seismological Laboratory weitergeführt.

Abbildung 1 zeigt die Aufstellung der Instrumente in Palomar. An den Punkten A, B und C befindet sich je ein *Benioff-Variable-Reluctance-Seismograph* mit einer Periode von 1 sec. Die drei entsprechenden *Galvanometer* mit Perioden von 10 sec registrieren direkt nebeneinander auf

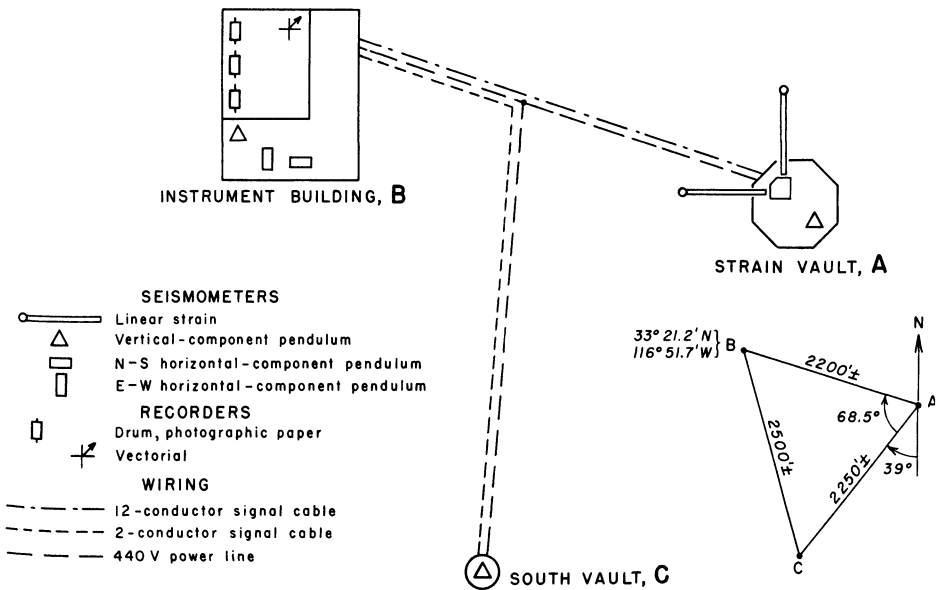


Abb. 1: Lageplan der Instrumente für Untersuchung der Bodenruhe in Palomar. Entfernung der Dreieckspunkte von einander etwa 700m.

einer Registriertrommel im Gebäude B. Zwei etwa 45 m lange *Strain*-Seismographen liegen senkrecht zu einander in A in 1-2 m Tiefe. Sie registrieren Spannungsänderungen (Verdichtungen, Verdünnungen) in der Nord-Süd- und Ost-West-Richtung mit Galvanometern von 3,8 sec Periode auf einer zweiten Trommel in B. Eine dritte Leitung von A nach B führt zu einem dritten gleichen Galvanometer, das die halbe Summe der in den beiden *Strain*-Seismographen erzeugten Ströme aufzeichnet. In B registrieren ausserdem auf einer dritten Trommel zwei dort aufgestellte *Benioff*-Moving-Coil-Horizontalpendel (Pendelperiode 2 sec, Galvanometerperiode 10 sec).

Alle diese besonderen Instrumente registrieren jede Stunde fünf Minuten lang mit einem Vorschub von 3 mm/sec. Schließlich befindet sich in B ein Vektorseismograph (Beschreibung z. B. in [8]), der mit verschiedenen Kombinationen registrierte. Eine allgemeine Beschreibung der wesentlichen Instrumente wurde von *Benioff* [3] gegeben; für eine kurze Zusammenfassung, siehe *Gutenberg* [8]. Außer diesen speziellen Instrumenten registrieren die folgenden Stationsinstrumente im Gebäude B: Ein kurzperiodisches *Benioff*-Vertikalpendel (Galvanometerperiode 0,2 sec), zwei kurzperiodische Horizontalpendel (auf Film) und ein Mikrobarograph.

### III. Bodenunruhe mit Perioden von 1-4 Sekunden

Die etwas unregelmäßige Bodenunruhe mit Perioden von 1-4 sec wird in Südkalifornien weniger häufig aufgezeichnet als die regelmäßige Bodenunruhe mit Perioden von 4-10 sec, und im Innern der Kontinente scheint sie im allgemeinen noch weniger beobachtet zu werden. Anscheinend herrscht diese kurzperiodische Art der Bodenunruhe in weiter nördlich gelegenen Küstengebieten der Vereinigten Staaten vor, wo Tiefdruckgebiete und Kaltluftfronten kräftiger entwickelt sind und häufiger durchziehen als in Südkalifornien. Es ist noch nicht sicher, ob es sich bei der kurzperiodischen Bodenunruhe (Abb. 2 und 3) um eine oder mehrere Arten der Bodenunruhe handelt. Ihre Amplituden scheinen mit zunehmender Turbulenz der Luft über der Küste anzuwachsen und insbesondere bei Durchgang einer Kaltluftfront über der Küste stark zuzunehmen. Völlig verschieden von diesen Bewegungen sind Wellen mit Perioden von  $\frac{1}{2}$ -1 sec, die häufig während örtlich starker Winde von *Strain*seismographen aufgezeichnet werden und wohl eine Folge von Winddruckschwankungen sind.

Die Amplituden der in Abb. 2 wiedergegebenen Bodenunruhe gehören zu den größten die in Palomar während der letzten Jahre aufgezeichnet worden sind. Die Wellen kamen aus Südsüdwest bis Südwest, d. h. aus der

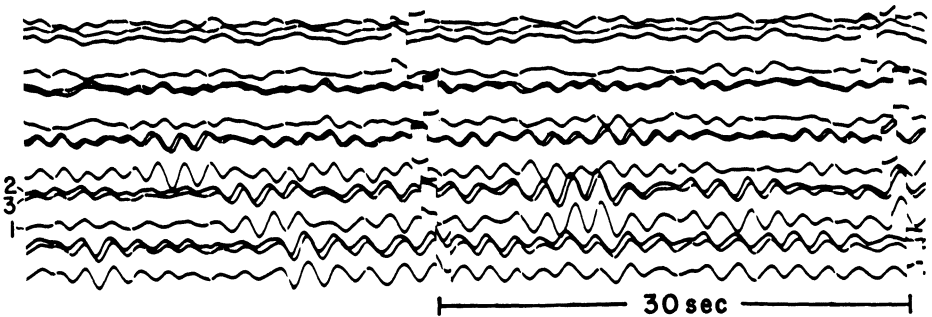


Abb. 2: Aufzeichnungen von Bodenunruhewellen mit Perioden von etwa 2 sec durch drei Vertikalseismometer in Palomar am 1/2 Februar 1956. Die 2., 3. und 4. Linie wurden um 7<sup>h</sup> 15<sup>m</sup> p.m. Pacific Standard Time (PST) am 1. Februar aufgezeichnet, jede folgende Gruppe eine Stunde später als die vorangehende. Linien ohne Lücken zwischen den Zeitmarken ("2") rühren von C (Abb. 1) her, solche mit 2 aufeinanderfolgenden Lücken ("3") von A, und solche mit jedesmal einer Lücke ("1") von B.

Richtung von der Küste, und die Vertikalkomponente war beträchtlich größer als die Horizontalkomponenten. Die Wellengeschwindigkeit im Dreieck ABC der Abb. 1 war etwa  $3\frac{1}{2}$ /km/sec. Während der ersten zwei Stunden, in denen die Vertikalkomponenten (Abb. 2) besonders starke Bewegung auf-

zeichneten, lassen die Aufzeichnungen der *Strainseismographen*, die später von Windunruhe gestört waren, kaum Bodenunruhewellen erkennen. Alle diese Tatsachen lassen auf vorwiegend vertikale Scherungswellen vom SV-Typ schließen. Die außergewöhnlich schnelle Abnahme der Amplituden (Beispiele in Abb. 3) mit zunehmender Entfernung (vg. Abb. 4) ist bemerkenswert; nach Durchlaufen von 20 oder 30 Wellenlängen war keine Spur der Bewegung mehr zu finden. Es handelt sich bei der in Abb. 2 wiedergegebenen Bodenunruhe möglicherweise um die von *Ewing, Jardetzki und Press* [5] theoretisch gefundenen Oberschwingungen von Oberflächenwellen mit SV-Charakter.

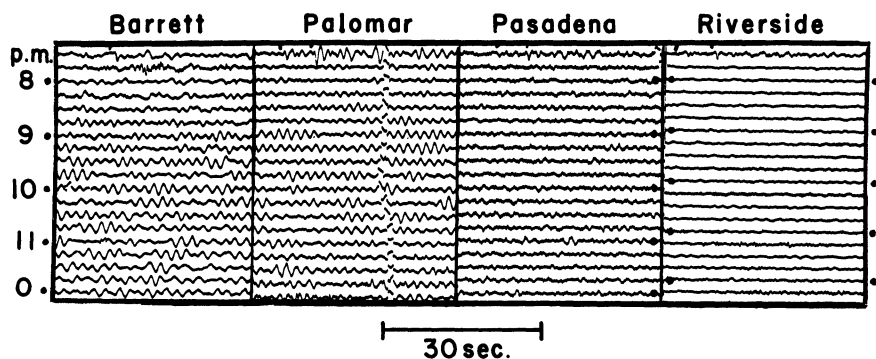


Abb. 3: Aufzeichnungen von Bodenunruhe mit Perioden von 2 sec am 1/2 Februar 1956 durch kurzperiodische Benioff Vertikalpendel. In den obersten Kurven sind Longitudinalwellen eines etwa 7400 km weiten Erdbebens aufgezeichnet und ermöglichen die relative Vergrößerung der Instrumente abzuschätzen. Beginn etwa 7<sup>h</sup> 32<sup>m</sup> p. m. PST am 1. Februar. Zeitintervall zwischen aufeinander folgenden Linien 15 Minuten.

Die Energiequelle für die in Abb. 2 wiedergegebene Bodenunruhe ist nicht sicher. Nach Wetterkarten und brieflicher Mitteilung von *G.W. Karlstrom*, Meteorologist in Charge am Forecast Center, Los Angeles International Airport, war in der Nähe der Küste keine meteorologische Störung vorhanden, die eine offensichtliche Erklärung für die verhältnismäßig starke Unruhe bietet. Ein verhältnismäßig flaches Tiefdruckgebiet mit einem Minimum von rund 1010 Millibar lag etwa 700 km östlich von Palomar und erstreckte sich von der Grenze zwischen Arizona und Texas südwärts nach Mexiko. Eine schwach entwickelte Kaltluftfront hat nach den spärlichen Beobachtungen in diesem Gebiet anscheinend nicht die Gegend südlich von Barrett (vgl. Abb. 4) erreicht. Der südlichste Teil von Kalifornien lag im Bereich von föhnartigen "Santa Ana" Winden, die oft recht turbulent sind und während der Nacht stellenweise Geschwindigkeiten von über

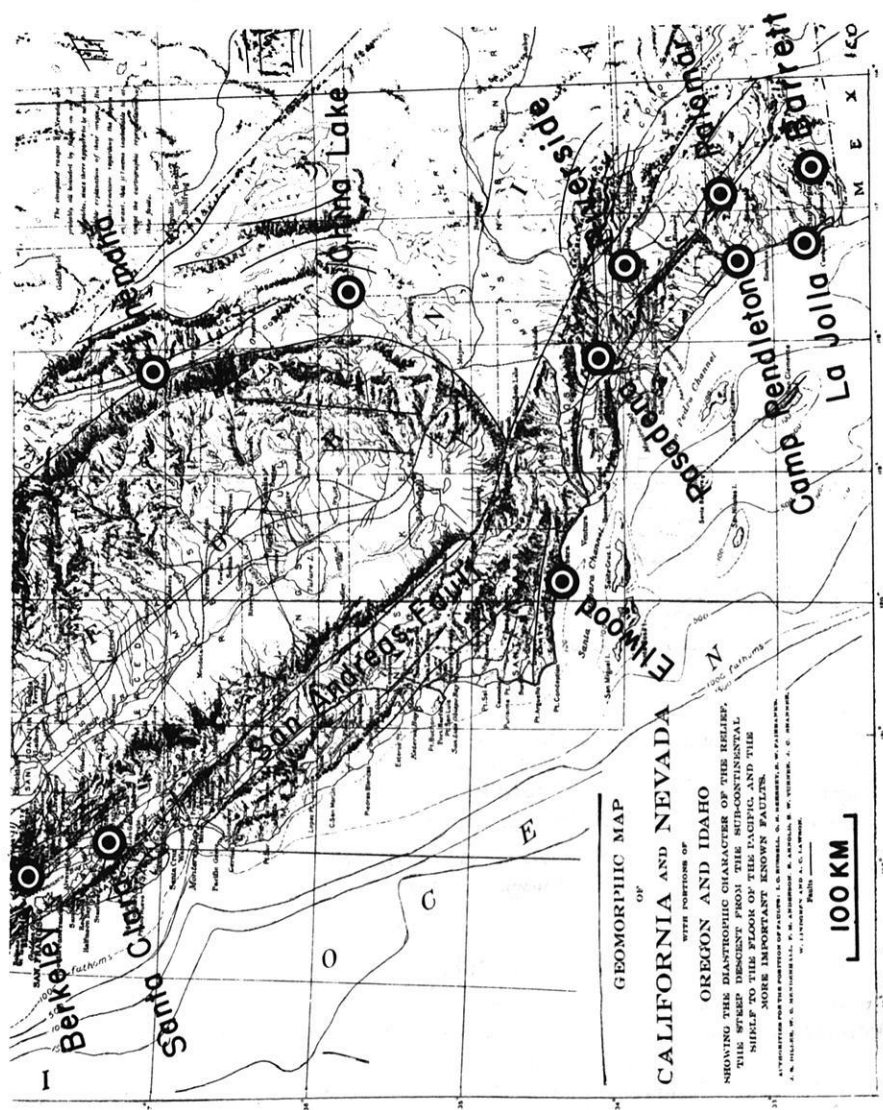


Abb. 4: Karte mit Angabe von Erdbebenwarten und Stationen zur Messung der Höhen von Ozeanwellen; als Grundkarte wurde Karte 1 in "Publication 87" der Carnegie Institution of Washington (Lawson et al., 1908) mit deren Genehmigung benutzt.

20 m/sec, in Böen vielleicht sogar über 30 m/sec, erreichten. An der Küste wurden ähnliche Windgeschwindigkeiten beobachtet.



Weitere Bewegungen dieser Art wurden in Palomar später im Februar 1956 aufgezeichnet, insbesondere in der Nacht vom 22. zum 23. Februar. In diesem Falle waren die Bewegungen auch in Pasadena verhältnismäßig stark, nahmen jedoch gegen Osten und Norden schnell ab; auf den Registrierungen in Riverside sind sie noch deutlich zu erkennen, sie sind jedoch nicht auf den Aufzeichnungen in Tinemaha zu finden, und höchstens sehr schwach in den Aufzeichnungen der anderen Stationen im Norden des süd-kalifornischen Netzes. In Pasadena war die Bewegung ziemlich unregelmäßig mit Perioden von 2-4 sec, und die Amplituden der Horizontalkomponenten waren kleiner als die der Vertikalkomponenten, jedoch im Verhältnis größer als in Palomar, wo die Wellen wieder aus Südwest kamen. In dieser Nacht lag zur Zeit des Bodenunruhemaximums eine von Nordost nach Südwest verlaufende Kaltluftfront etwa südöstlich von Palomar, wo nach den erheblichen Windstörungen in den Aufzeichnungen der *Strainseismographen* starker Wind geherrscht haben muß.

#### IV. Regelmäßige Bodenunruhe mit Perioden von 4-9 Sekunden

Völlig verschieden von den vorstehend betrachteten kurzperiodischen Arten der Bodenunruhe ist die weltweit beobachtete und untersuchte regelmäßige Bodenunruhe mit Perioden von 4-9 Sekunden, die vielfach einfach als "die" Bodenunruhe bezeichnet wird und die im folgenden allein betrachtet werden soll. In ihr herrschen *Rayleighwellen* vor, doch werden in Palomar auch Oberflächenscherungswellen aufgezeichnet. In *Rayleighwellen* (Abb. 5, links) zeigen die drei *Strain*aufzeichnungen gleichzeitig Maxima, deren relative Amplituden von den Winkeln abhängen, den die Fortpflanzungsrichtung der Wellen mit den Richtungen der Instrumente bildet. Vertikalpendel (unterste Kurven in Abb. 5) müssen theoretisch [4] Kurven mit etwa den gleichen Zeiten für Maxima und Minima wie die *Strainseismo-*

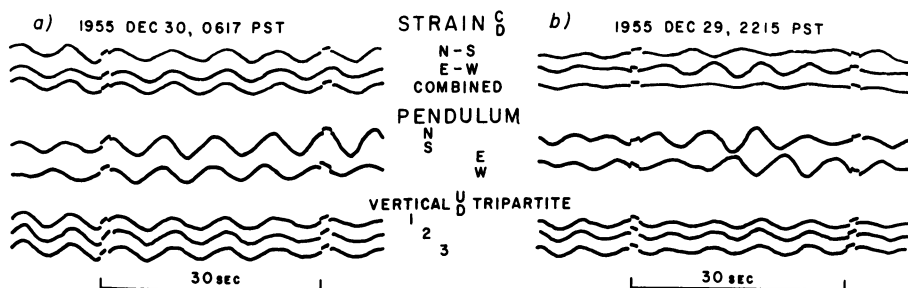


Abb. 5: Aufzeichnungen von Bodenunruhe mit Perioden von 7 sec in Palomar. Vertikalpendel 1 ist in Punkt B der Abb. 1, Pendel 2 in C, und 3 in A. Links: Vorwiegend *Rayleighwellen*. Rechts: Vorwiegende Oberflächenscherungswellen.

graphen aufzeichnen (entsprechend Aufwärtsbewegung des Bodens beziehungsweise Verdichtung), falls die in Frage kommenden Instrument- und Galvanometerperioden gewisse Bedingungen erfüllen. Maxima oder Minima der Horizontalpendelregistrierungen (Kurven in der Mitte der Abb. 5) müssen den Maxima der Vertikalkomponente nach etwa  $\frac{1}{4}$  Wellenlänge folgen, und die Horizontalbewegung muß dann gegen die Quelle der Bodenunruhe gerichtet sein (in Abb. 5 gegen SW). In reinen Oberflächenscherungswellen müssen zwei zu einander senkrechte *Strain*komponenten theoretisch immer umgekehrt gleich sein, und ihre Summe (Abb. 5, rechts, dritte Linie) sowie die Amplitude der Vertikalkomponente immer gleich Null. Im Falle der Abb. 5, rechts, waren offenbar auch kleinere *Rayleigh*wellen vorhanden. Die Richtung der Bewegung in den Oberflächenscherungswellen ist horizontal und senkrecht zur Richtung der Wellenfortpflanzung. Aufzeichnungen des Vektorseismographen haben weitere Anhaltspunkte für die Wellenbewegungen in der Bodenunruhe gegeben.

Die Richtung der ankommenden Bodenunruhewellen kann in Palomar nur für *Rayleigh*wellen gefunden werden, da die an den Dreieckspunkten A, B, C in Abb. 1 aufgestellten Instrumente Vertikalpendel sind, die keine Scherungsoberflächenwellen aufzeichnen. Es ergab sich, daß die Wellen nahezu immer aus Richtungen zwischen Süd und Westnordwest kamen, d. h. von der Küste her. Die Geschwindigkeit dieser *Rayleigh*wellen war im Mittel  $3,3 \pm 0,1 \text{ km/sec}$ , was etwa der aus Erdbebenaufzeichnungen abgeleiteten mittleren Geschwindigkeit von  $3,6 \text{ km/sec}$  für Transversalwellen in der obersten Krustenschicht über der *Conrad*-Diskontinuität in Südkalifornien entspricht.

Schon frühzeitig wurde festgestellt, daß sich die Wellen der Bodenunruhe mit Perioden von 4-9 sec von Norwegen ostwärts bis nach Zentralasien mit geringer Abnahme der Amplituden fortpflanzen, daß jedoch die Amplituden beim Passieren der Gebirge in Mittel- und Südeuropa erheblich abnehmen. Der Verfasser kam 1914 zu dem Ergebnis, daß die Bewegung beim Durchlaufen von Gebieten mit tektonischen Störungen erheblich abnimmt. Er fand 1931, daß ähnliches für Nordamerika gilt, wo starke Bodenunruhe, die an der Ostküste ihren Ursprung hat, praktisch gleichzeitig eine Zunahme der Amplituden an nahezu allen Stationen bis zur Westküste in Kalifornien und Alaska bewirkt. Andererseits nimmt die Bodenunruhe, die in der Nähe der Großen Antillen entsteht, sehr schnell ab und wird oft nicht in Florida registriert. Fortpflanzung von Bodenunruhe durch ganz Amerika wurde später für Bewegungen festgestellt, die ihren Ursprung in Alaska haben. Jedoch pflanzen sich diese Wellen nicht gut durch den Ozeanboden nach Bermuda fort, worauf *Carder* sowie *Ewing* und *Press* hingewiesen haben.

In Südkalifornien ist die Fortpflanzung der Bodenunruhe außerhalb der Gebiete mit höheren Gebirgen verhältnismäßig wenig gestört (Abb. 6, vgl.

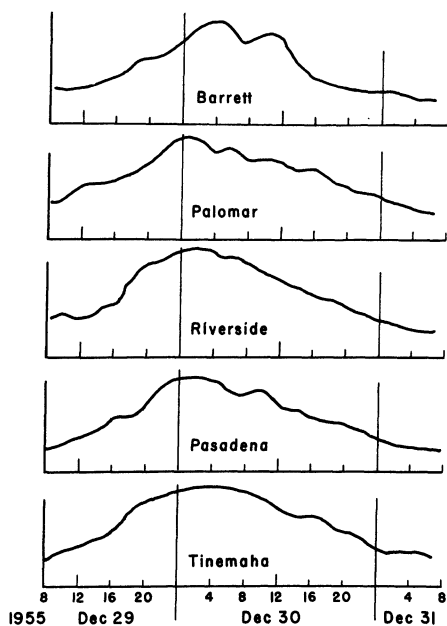


Abb. 6: Gleichzeitige Amplituden von Bodenunruhe mit Perioden von 6-7 sec nach Aufzeichnungen von langperiodischen *Benioff*-Vertikalseismographen an Erdbebenwarten in Südkalifornien.

Karte Abb. 4), dagegen nimmt die Bewegung dort schnell ab, wenn tektonisch stark gestörte Gebiete in der Wellenbahn liegen. Insbesondere ist es nicht selten, daß die Bodenunruheamplituden in Nordkalifornien groß sind, während in Südkalifornien nur geringe Bewegung aufgezeichnet wird, oder daß große Bodenunruheamplituden in Südkalifornien registriert werden, jedoch weder in Nordkalifornien noch in Mexiko. Zum Beispiel bewirkte ein Hurrikan über dem Pazifik südwestlich von Zentralmexiko am 27. November 1951 starke Bodenunruhe in Tacubaya (Mexiko), die sich jedoch nicht nach Südkalifornien fortpflanzte (Abb. 7). Erst am 29. November, als der Hurrikan unter Verflachung sich der Südspitze von Baja California (Niederkalifornien, Mexiko) näherte, begann die Bodenunruhe in Tucson (Arizona) in etwas über 1000 km Entfernung, und dann in Südkalifornien zuzunehmen. Die Bewegung pflanzte sich jedoch nicht wesentlich entlang der Küste nach Mittelkalifornien und weiter nördlich fort (Abb. 7, oberer Teil). Umgekehrt verursachten Stürme über dem Grenzgebiet zwischen Westkanada und den Vereinigten Staaten an den folgenden Tagen starke Bodenunruhe bis nach Berkeley (Abb. 7, vgl. Karte, Fig. 4), jedoch änderten sich die Bodenunruheamplituden weiter südlich verhältnismäßig wenig.

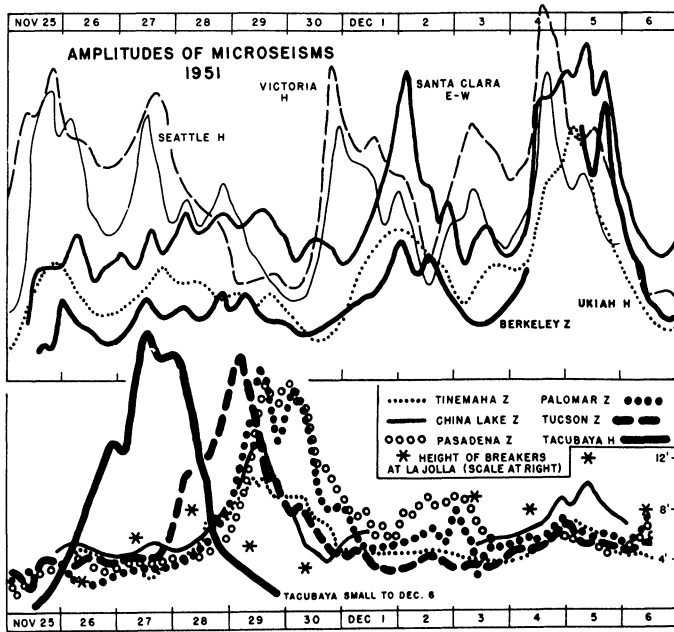


Abb. 7: Relative Amplituden von Bodenunruhe mit Perioden von 5-9 sec an Erdbebenwarten nahe der pazifischen Küste von Nordamerika. Unten: Amplituden in Mexiko, Arizona und Südkalifornien sowie Höhen von Brandungswellen in La Jolla in Fuss (0,305 m). Oben: Amplituden zwischen Mittelkalifornien und British Columbia (Kanada).

Im allgemeinen besteht keine gute Korrelation zwischen der Bodenunruhe in Südkalifornien und Wetterelementen oder der Wetterlage. Vielfach erreicht dort die Bodenunruhe ein Maximum mehrere Tage nachdem ein kräftiges Tiefdruckgebiet die Küste weiter nördlich überschritten hat und bereits über 1000 km weit östlich von den Erdbebenwarten liegt. Weit bessere Korrelationen bestehen zwischen der Höhe der Meereswellen an der Küste und den Amplituden der Bodenunruhe an nicht zu weit entfernten Erdbebenwarten. Eine besonders enge Korrelation wurde zwischen den Amplituden der Bodenunruhe in Santa Clara und der Höhe der in Ellwood (vgl. Karte, Abb. 4) registrierten Höhe der Meereswellen gefunden (Abb. 8, oberer Teil). Weiter südlich entsprechen sich im allgemeinen große Bodenunruheamplituden in Südkalifornien und hohe Ozeanwellen in Camp Pendleton und in La Jolla, doch ist die Übereinstimmung von Einzelheiten nicht so gut wie im vorigen Falle. Dies liegt wohl zum Teil daran, daß die Meereswellen an den beiden Beobachtungsstellen mehr von lokalen Umständen beeinflußt werden als in Ellwood.

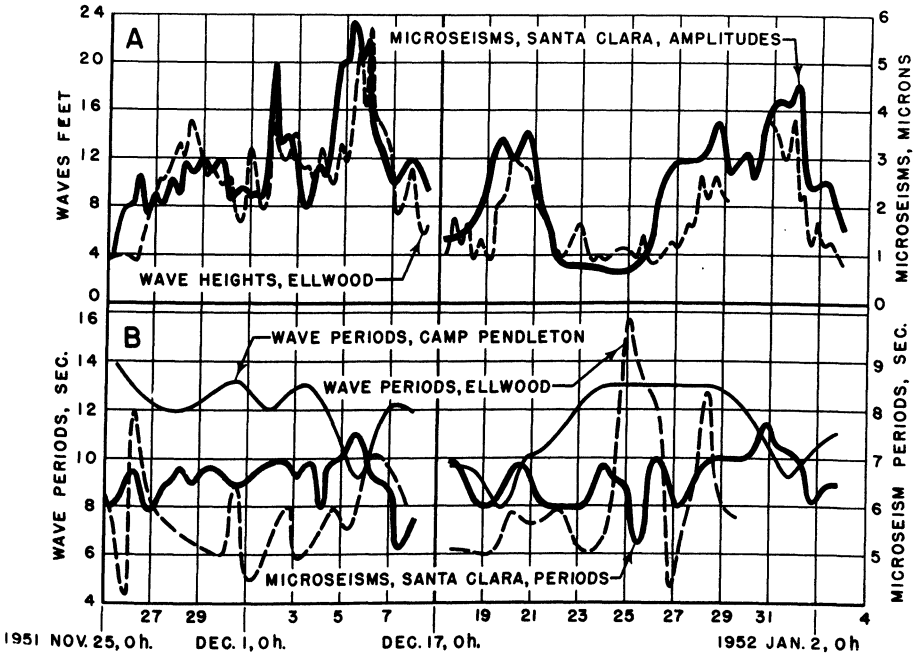


Abb. 8: A. Amplituden von Bodenunruhe mit Perioden von 5-8 sec in Santa Clara (University of Santa Clara, Kalifornien) und Höhe von Meereswellen in Fuss (0,305 m) in Ellwood nach Registrierungen eines Mark IX Wellenregistrierapparates des Wave Research Laboratory der University of California in Berkeley.

B. Entsprechende Wellenperioden sowie Perioden von Meereswellen nach Registrierungen eines Mark IX Wellenregistrierapparates der Surf and Weather Station, U.S. Marine Corps, Camp Pendleton. Die Lage der genannten Stationen ist in Abb. 4 eingetragen.

An Tagen mit verhältnismäßig kleinen Ozeanwellen und mäßiger Bodenunruhe ist das Verhältnis der entsprechenden Perioden im Mittel etwa 2:1. Jedoch nehmen die Perioden der Ozeanwellen meist ab, wenn das Sturmzentrum näher kommt, während die der Bodenunruhe meist zunehmen, wenn die Amplituden anwachsen, sodaß bei starker Bodenunruhe deren Perioden und die der Ozeanwellen gelegentlich etwa gleich sind (siehe z. B. Abb. 8, unterer Teil).

Die meisten Autoren nehmen nunmehr an, daß hohe Ozeanwellen über Meeresgebieten mit geringer Tiefe nahe den Küsten, insbesondere über Schelfen, die Energie für die Bodenunruhe liefern. Wie die Energie in den Meeresboden gelangt, ist jedoch noch eine offene Frage. Berechnungen auf theoretischer Grundlage zeigen, daß der wechselnde Druck der Meereswellen elastische Wellen im Wasser verursacht, die den Meeresboden mit Amplituden erreichen, welche groß genug sein können für die Erzeugung der beobachteten Bodenunruhe. Andererseits ist die Erschütterung der Küsten

durch von antandigen Winden getriebene Brandungswellen (*Wiecherts* Theorie) kräftig genug um Bodenunruhe mit den beobachteten Amplituden zu erzeugen (Literaturhinweise z. B. in [7]).

Die Bodenunruhewellen pflanzen sich wahrscheinlich ähnlich den von Erdbeben erzeugten  $I_g$ - und  $R_g$ -Wellen in einem Kanal mit geringerer Wellengeschwindigkeit als in den darüber und darunter liegenden Schichten in der Kontinentalkruste fort, wie dies unabhängig von *Ewing* und *Press* [6], *Båth* [1] und *Gutenberg* [9; 10] vermutet wurde. Dies würde die beobachtete schnelle Abnahme der Bodenunruhewellen sowohl unter Ozeangebieten mit größerer Meerestiefe erklären, wo dieser Kanal fehlt, wie unter jungen Gebirgen, wo er gestört ist. Andererseits ist die vorherrschende Wellenperiode in all diesen Wellen etwa 6 sec; sie ist wohl wesentlich durch die vertikale Ausdehnung dieses Kanals und die Wellengeschwindigkeiten bedingt. Nach den Ergebnissen über die beiden Arten der Bodenunruhe, die hier besprochen wurden, ist es demnach möglich, daß die Bodenunruhe mit Perioden von 4-9 sec Bewegungen der Erdoberfläche einer Grundschiwingung von Oberflächenwellen in der Erdkruste über der *Mohorovičić*-Diskontinuität entspricht, die durch den erwähnten Kanal wesentlich beeinflußt wird, während die Bodenunruhe mit Perioden von 1-4 sec von den einfachsten entsprechenden Oberschwingungen verursacht wird. Alle über beide Arten bekannten Beobachtungstatsachen wären mit der Theorie [5] vereinbar. Es würde wohl von der Energiequelle abhängen, welche dieser Schwingungen angeregt wird.

Die vielfach beobachtete Zunahme der Wellenperioden mit der Entfernung von der Energiequelle hängt möglicherweise nicht nur von der allgemein beobachteten Zunahme von Wellenperioden als Folge von nicht-elastischen Vorgängen ab, sondern auch von der meist mit der Entfernung von der Küste zunehmenden Dicke der kontinentalen Krustenschichten und der entsprechenden größeren vertikalen Ausdehnung des Kanals mit geringerer Geschwindigkeit über der *Conrad*-Diskontinuität.

Die in den verflossenen sieben Jahren unter wesentlicher finanzieller Beihilfe des Air Force Cambridge Research Center in Palomar und Pasadena angestellten Untersuchungen haben nicht nur eine Reihe von wesentlichen Einzelheiten über die verschiedenen Arten der Bodenunruhe aufgeklärt, sondern auch wertvolle Ergebnisse über Bewegungen der Erdoberfläche in Erdbebenwellen geliefert. Sie haben jedoch keine endgültige Antwort zur Frage gegeben, wie die Bodenunruhe entsteht.

## Literatur

- [ 1] *Båth, M.*: Comparison of microseisms in Greenland, Iceland, and Scandinavia. Tellus, Bd. 5, S. 109-134, 1953.
- [ 2] *Benioff, H.*: A linear strain seismograph. Bull. Seismol. Soc. Amer., Bd. 25, S. 283-309, 1935.
- [ 3] *Benioff, H.*: Earthquake seismographs and associated instruments. Advances in geophysics, vol. 2, S. 219-275. New York 1955.
- [ 4] *Benioff, H. and Gutenberg, B.*: The response of strain and pendulum seismographs to surface waves. Bull. Seismol. Soc. Amer., Bd. 43, S. 229-237, 1952.
- [ 5] *Ewing, M., Jardetzki, W. and Press, F.*: Elastic waves in layered media, Chapter 4. Mc Graw-Hill Co., 1956. (Im Druck)
- [ 6] *Ewing, M. and Press, F.*: Propagation of elastic waves in the ocean with reference to microseisms. Pontif. Acad., Scripta Varia, Bd. 12, S. 121-127, 1952.
- [ 7] *Gutenberg, B.*: Observations and theory of microseisms. Compendium of meteorology, Amer. Meteorol. Soc., S. 1303-1311, 1951.
- [ 8] *Gutenberg, B.*: Seismische Bodenunruhe und Wetter. Die Umschau, Heft 21/1952.
- [ 9] *Gutenberg, B.*: Effects of low-velocity layers. Geofisica Pura e Applicata, Bd. 28, S. 1-10, 1954.
- [10] *Gutenberg, B.*: Channel waves in the earth's crust. Geophysics, Bd. 20, S. 283-294, 1955.
- [11] *Gutenberg, B. und Benioff, H.*: An investigation of microseisms. Final report under contract no. AF 19(122)436. Seismological Laboratory, Pasadena, 1956.

## Zum Studium der mikroseismischen Bodenunruhe in Hamburg <sup>1)</sup>

Von Klaus Strobach, Hamburg - Harburg <sup>2)</sup>

**Zusammenfassung:** Die in dieser Arbeit dargestellte Methode zur Untersuchung der mikroseismischen Bodenunruhe soll der Tatsache gerecht werden, daß die Bodenunruhe zwar durch eine Kette physikalischer Vorgänge zustandekommt, in ihrem Erscheinungsbild aber *statistische* Züge trägt. Es wird der Versuch gemacht, die Grundzüge zu einer statistischen Theorie der Überlagerungen von Schwingungen verschiedener Herkunftsrichtungen und mit zeitlich schwankenden Amplituden zu geben. Dadurch wird ein Verfahren gerechtfertigt, das aus einer Statistik der horizontalen Schwingungsrichtungen der Bodenteilchen Fragen der Wellennatur und der Herkunftsrichtungen der Wellen klären helfen soll. Ein Vektorseismograph zur direkten Registrierung der horizontalen Bewegungsfiguren (Lissajous-Figuren) wird beschrieben. Die Bearbeitungsmethode der Registrierungen besteht in der Bildung von Amplitudensummen in Abhängigkeit von den Schwingungsrichtungen der Bodenteilchen. Vergleiche einiger Ergebnisse mit den Wetterlagen zeigen, daß die Bodenelemente überwiegend parallel zu den Ausbreitungsrichtungen der Wellen schwingen müssen, und daß ein deutlich ausgeprägter Anteil von Lovewellen bisher nicht beobachtet wurde.

**Abstract:** A special method is given to investigate the mikroseismic disturbances under the fact, that mikroseismic motion is of *statistical* appearance, but caused by series of physical occurrences. The attempt is made of a statistical theory of superposed oscillations caused by waves travelling from different directions and with varying amplitudes. In this way it is shown, that the problems of character of waves and its directions of approach can be studied by means of a statistical investigation of the horizontal directions of oscillations. A vector seismograph is described, by means of which the horizontal movements of particles (Lissajous figures) are recorded. The method of treating the records is characterized by forming the sums of amplitudes corresponding to the horizontal directions of ground oscillations. Comparisons of some results with the weather conditions show that the ground particles are chiefly moving *parallel* to the direction of approach of waves. Till now a noticeable rate of Love waves was not observed.

---

<sup>1)</sup> Herrn Prof. Dr. P. Raethjen zum 60. Geburtstag gewidmet.

<sup>2)</sup> Dr. Klaus Strobach, Observatorium des Geophysikalischen Instituts der Universität Hamburg, Hamburg - Harburg, An der Schießbahn 30f.



Die große Zahl der bisher über die mikroseismische Bodenunruhe erschienenen Arbeiten ist einerseits dadurch bedingt, daß diese Erscheinung an jedem Ort der Erde ein individuelles Gepräge hat, das durch mannigfaltige Faktoren wie Lage der Stationen zu den Meeren, geologische Verhältnisse u. a. bewirkt wird. Andererseits aber stößt die Untersuchung der mikroseismischen Phänomene auf viele Schwierigkeiten, die in der Natur dieses Forschungsgegenstandes liegen, und darum ist es verständlich, daß seit Beginn der instrumentellen Beobachtungen auf seismischem Gebiet immer wieder Versuche unternommen wurden, die Fülle der Fragen, die sich beim Studium der Bodenunruhe stellen, aufzugreifen und beantworten zu helfen. Neuere Arbeiten über Fragen der Entstehung der mikroseismischen Wellen von *Longuet-Higgins* [1] und *Press und Ewing* [2], über die Natur der Wellen von *Gutenberg* [3], über Untersuchungen mit Tripartite stations (z. B. *Ramirez* [4]) oder über geologische Einflüsse auf die Wellenausbreitung von *Lee* [5] zeigen deutlich, wie kompliziert die Erscheinung der mikroseismischen Bodenunruhe vorgestellt werden muß, und welche Fülle von Problemen noch einer Klärung harren.

Wenn vom Verfasser der Versuch unternommen wurde, die mikroseismische Bodenunruhe in Hamburg mit einer speziell entwickelten Methode zu studieren, so aus folgenden Gründen:

1.) Ergebnisse anderer Autoren lassen sich nicht immer auf die individuellen Verhältnisse einer Station – in diesem Falle Hamburg – übertragen.

2.) Den Arbeiten von *Menzel* [6] und *Westerhausen* [7] in Hamburg über die mikroseismische Bodenunruhe in Europa liegt die Voraussetzung zu grunde, daß der Hauptbestandteil der mikroseismischen Wellen Rayleighwellen seien. Eine Untersuchung über die Natur der Wellen im Hamburger Raum erschien daher wünschenswert.

3.) Die große Intensität der Mikroseismik im Hamburger Raum und die Fülle der im Herbst, Winter und Frühjahr auftretenden mikroseismischen Stürme liefert ein Material, dessen Bearbeitung nicht versäumt werden darf.

4.) Endlich ergaben Vorversuche und hieran anknüpfende grundsätzliche Überlegungen, daß es möglich sein mußte, mit einem Spezialinstrument und besonderen Bearbeitungsmethoden der damit gewonnenen Registrierungen bisher nur unvollkommen untersuchte Eigenschaften der mikroseismischen Wellen an einem größeren Material zu studieren und auf diese Weise noch offene Fragen einer Klärung näherzubringen.

Wenn man beachtet, daß die mikroseismische Bodenunruhe in ihrer Erscheinungsform ein statistischer Vorgang ist, wird man in statistischen Untersuchungsmethoden die natürlichen und angemessenen sehen müssen. Andererseits liegt aber der Mikroseismik ein streng kausal ablaufendes physikalisches Geschehen zu grunde, so daß sich nur solche statistischen

Methoden mit Aussicht auf Erfolg verwenden lassen, die zur eindeutigen Entscheidung über vorher konzipierte physikalische Vorstellungen der zu untersuchenden Zusammenhänge geeignet sind.

Sieht man vom Problem der Entstehung der Mikroseismik zunächst ab, so stellen sich die wichtigen Fragen, welcher Art die Wellen sind, die die Energie transportieren, und aus welchen Richtungen die Wellen in der Station eintreffen. Beide Fragen sind in sehr vielen Untersuchungen bereits behandelt worden, ohne daß aber heute schon Einmütigkeit über die Natur der Wellen bestünde, oder daß es Verfahren gibt, die es erlauben würden, in jedem Falle die Herkunftsrichtungen sämtlicher Wellen nur mit Hilfe einer einzigen Station bestimmen zu können.

Die Methode zur Bestimmung der Herkunftsrichtungen von *Bungers* [8] benutzt einzelne, besonders markante Schwingungsbilder der Registrierungen, die aber nicht für die gesamten Bewegungen repräsentativ zu sein brauchen. Außerdem setzt sie *zwei* Herkunftsrichtungen voraus – wegen der oft zu beobachtenden schwebungsartigen Schwingungsbilder – und gilt daher nur für Spezialfälle.

Die Peilmethode von *Menzel* [6] ist von *Westerhausen* [7] für zahlreiche Stürme angewandt worden und liefert gute Ergebnisse, wenn es sich um ein einzelnes Erregungsgebiet handelt und die Amplituden außerdem im Laufe der Zeit zu- oder abnehmen.

Verschiedentlich wurden Versuche unternommen, aus den Registrierungen der Horizontalkomponenten die Bewegungen der Bodenteilchen zu konstruieren (Lissajous-Figuren), z. B. von *Krug* [9] und *Trommsdorff* [10], *Ikegami* und *Kishinouye* [11] und *Blaik* und *Donn* [12]. Dadurch ließen sich unter der Annahme von Rayleighwellen nicht nur die Herkunftsrichtungen der betrachteten Wellengruppen ableiten, sondern unter Zuhilfenahme der Vertikalbewegung in vielen Fällen auch die für Rayleighwellen typischen Schwingungsformen nachweisen. Doch wenn *Ikegami* und *Kishinouye* glauben, auf diese Weise auch Lovewellen nachgewiesen zu haben, wird deutlich, daß auch dieses Verfahren bisher nicht zu allgemein anerkannten Vorstellungen über die Natur der mikroseismischen Wellen und zu sicheren Bestimmungen der Herkunftsrichtungen geführt hat. Registrierungen der Lissajous-Figuren mit dem Vektorseismographen von *Lehner* [13] in Pasadena haben bezüglich der mikroseismischen Wellen nur zu dem Ergebnis führen können, daß die Wellen offenbar aus einem weit geöffneten Sektor einfallen, d. h. richtungsmäßig stark streuen. Ähnliche Resultate folgen auch aus den Untersuchungen mit Tripartitestations. Da die Vektorregistrierungen als Originalregistrierungen der Bewegungsfiguren eines Bodenteilchens für Fragen der Wellennatur und der Ausbreitungsrichtungen der Wellen doch offenbar sehr geeignete Daten liefern müßten, wird man sich fragen müssen, weshalb diese Methode bisher nicht die daran geknüpften Erwartungen erfüllt hat.

Die bisher auf diese Weise vorgenommenen Untersuchungen bezogen sich – mit Ausnahme der Originalregistrierungen mit dem Vektorseismographen von *Lehner* – stets auf eine gewisse Auswahl von einzelnen Schwingungsfiguren, die mühsam aus den gewöhnlichen Registrierungen der Komponenten konstruiert werden mußten. Da das Erscheinungsbild der mikroseismischen Bewegungen ein statistisches ist, darf man jedoch nicht erwarten, aus dem Studium einer relativ geringen Zahl von Einzelbildern der Bewegungen bündige Aussagen über die statistische Masse aller Schwingungsbilder machen zu können. Andererseits ist es infolge des nicht zu bewältigenden Arbeitsaufwandes nicht möglich, das konstruktive Verfahren auf das gesamte Material auszudehnen. Daher ist die Registrierung der Lissajous-Figuren mit einem Vektorseismographen ein naheliegender Weg, der aber nur dann zu schlüssigen Ergebnissen führen kann, wenn die Registrierungen auch mit *statistischen Methoden* bearbeitet werden.

Wie diese Methoden auszubilden sind, und unter welchen Voraussetzungen sie überhaupt anwendbar sind, kann nur durch wahrscheinlichkeitstheoretische Überlegungen entschieden werden. Im folgenden soll daher zunächst der Versuch unternommen werden, das Problem der Statistik der Überlagerungen von Wellen verschiedener Herkunftsrichtung zu behandeln. Dabei muß betont werden, daß diese Überlegungen als ein erster Versuch zu werten sind.

Nimmt man an, daß nur eine Punktquelle vorhanden ist, von der die mikroseismischen Bewegungen ausgehen, und daß ferner eine Ausbreitung gemäß den klassischen Theorien der Wellenausbreitung in einem zwar geschichteten, aber horizontal homogenen Medium vor sich geht, dann lägen sehr einfache Verhältnisse vor. Bei Rayleighwellen würden wir z. B. in der Horizontalebene eine konstante Schwingungsrichtung beobachten, die zur Quelle weist.

Die Verhältnisse werden sofort außerordentlich kompliziert, wenn

- 1.) Rayleigh- und Love-Wellen gemeinsam auftreten,
- 2.) wenn zwei oder mehrere Quellen vorhanden sind.

Wir wollen zwei punktförmige Quellen der Bodenumruhe annehmen, die in Bezug auf die Beobachtungsstation die Azimute  $\alpha_1$  und  $\alpha_2$  haben mögen. Ferner sei angenommen, daß nur Rayleighwellen erzeugt werden. Dann ist für die horizontale Komponente der jeweilige Ort des Bodenteilchens bestimmt durch

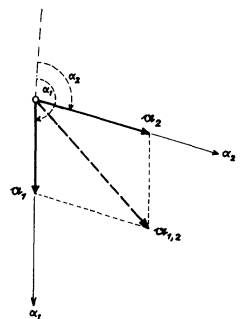


Abb. 1: Superposition zweier Teilschwingungen

$$\mathbf{a}_{1,2} = \mathbf{a}_1 + \mathbf{a}_2. \quad (\text{siehe Abb. 1}).$$

Wir fragen uns nun, welche Kurven der Endpunkt des Vektors  $\mathbf{a}_{1,2}$  in der Horizontalebene beschreibt. Dazu soll zunächst folgende Annahme gemacht werden: Die Teilschwingungen sollen die Form haben

$$(1) \quad \mathbf{a}_1 = \mathbf{a}_1^0 e^{i\omega_1 t}; \quad \mathbf{a}_2 = \mathbf{a}_2^0 e^{i(\omega_1 + \Delta\omega)t}$$

d.h. sinusförmig sein und sich in ihren Frequenzen nur um die gegen  $\omega$  kleine Größe  $\Delta\omega$  unterscheiden. Da im Laufe der Zeit alle Phasenbeziehungen gleich oft vorkommen, wird die durch Überlagerung beider Teilschwingungen sich ergebende Schwingung so geartet sein, daß sowohl linear polarisierte Bewegungen in zwei ausgezeichneten Richtungen als auch eine kontinuierliche Schar von Ellipsen beschrieben werden, deren einhüllende Figur die in Abb. 2 dargestellte Form hat. Würde man eine Häufigkeitsstatistik der Hauptachsenrichtungen (große Achsen) der Ellipsen vornehmen, so erhielte man zwei ausgezeichnete Schwingungsrichtungen  $\gamma_1$  und  $\gamma_2$  (Diagonalen des Parallelogramms), die natürlich nicht mit den Herkunftsrichtungen  $\alpha_1$  und  $\alpha_2$  zusammenfallen. Die Lagen der Hauptachsen sind auch von *Bungers* [8] untersucht worden. *Bungers* fand, daß die Hauptachsenrichtungen langsam mit der Zeit schwanken, und zwar mit der Periode der Schwebungen.

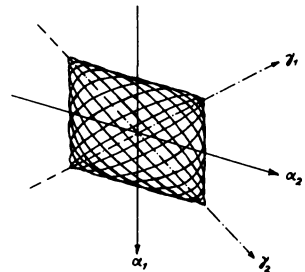


Abb. 2: Lissajous-Figuren als Folge der Superposition von zwei Teilschwingungen mit nahezu der gleichen Periode und konstanten Amplituden.

Für den Fall, daß die Amplituden beider Teilschwingungen gleich groß sind, treten als Richtungen der großen Achsen der Schwingungsellipsen überhaupt nur die beiden Richtungen  $\gamma_1$  und  $\gamma_2$  auf. Der analytische Beweis ist leicht zu führen:

Wir betrachten die Realteile von (1):

$$(1a) \quad \mathbf{a}_1 = \mathbf{a}_1^0 \cos \omega t; \quad \mathbf{a}_2 = \mathbf{a}_2^0 \cos (\omega t + \Delta\omega t),$$

wobei  $\Delta\omega \ll \omega$  angenommen ist. Ohne Beschränkung der Allgemeinheit läßt sich dies auch in die Form

$$a_1 = a_1^0 \cos(\omega t - \frac{\Delta\omega}{2} t); \quad a_2 = a_2^0 \cos(\omega t + \frac{\Delta\omega}{2} t)$$

bringen.

Anwendung der Additionstheoreme und Addition dieser Gleichungen führt auf den Ausdruck

$$(2) \ a_{1,2} = a_1 + a_2 = (a_1^0 + a_2^0) \cos \omega t \cos \frac{\Delta\omega}{2} t + (a_1^0 - a_2^0) \sin \omega t \sin \frac{\Delta\omega}{2} t.$$

Wenn man die wegen  $\Delta\omega \ll \omega$  sehr langsam veränderliche Größe  $\frac{\Delta\omega}{2} t$  für die Dauer einer Schwingung konstant setzt, haben wir in (2) die Parameterdarstellung der Schwingungsellipse. Man sieht sofort, daß als große Achse einer solchen Ellipse nur die Richtung  $a_1^0 + a_2^0$  oder  $a_1^0 - a_2^0$  auftritt. Dies sind aber die Richtungen  $\gamma_2$  und  $\gamma_1$ <sup>3)</sup>.

Die Annahme, daß die Amplituden der Teilschwingungen konstant =  $a_i^0$  seien, ist in der Natur nicht realisiert. Wir setzen jetzt voraus, daß wir ein Instrument haben, das uns die horizontalen Schwingungsellipsen der Bodenteilchen registriert. Es sollen wieder zwei Quellen von Rayleighwellen in den Azimuten  $\alpha_1$  und  $\alpha_2$  vorhanden sein. Wir messen auf den Registrierungen die Richtungen der großen Achsen der Schwingungsellipsen aus und ermitteln die Häufigkeiten, mit der diese Achsenrichtungen in jedem Richtungsintervall der Windrose vorkommen. Unser Wunsch ist, mit Hilfe einer solchen Statistik die Herkunftsrichtungen  $\alpha_1$  und  $\alpha_2$  zu erhalten, angezeigt durch *Häufigkeitsmaxima* in diesen Richtungen.

Es entsteht jetzt die Frage, ob und wann es geschehen kann, daß sich die gemessenen Schwingungsrichtungen (= große Achsen der Ellipsen) in den *Herkunftsrichtungen häufen*.

Wir haben oben gesehen, daß dies für Schwingungen mit konstanter Amplitude der Teilschwingungen nicht der Fall ist. Hier waren nur die Richtungen  $\gamma_1$  und  $\gamma_2$  ausgezeichnet. Die Frage lautet nun: Welche statistischen Verteilungen der Schwingungsrichtungen sind zu erwarten, wenn die Amplituden der Teilschwingungen *nicht* konstant sind?

Um dieser Fragestellung weiter nachgehen zu können, müssen wir zuerst untersuchen, von welchen statistischen Parametern die Richtungen der großen Achsen der Schwingungsellipsen abhängig sind.

3) Auf die mathematische Behandlung des allgemeinen Falles (Amplituden und Herkunftsrichtungen beliebig) kann hier nicht eingegangen werden. Es läßt sich zeigen, daß dann die großen Achsen zwischen den Richtungen  $\gamma_1$  und  $\gamma_2$  pendeln, wobei sie sich aber in diesen Richtungen dicht häufen, d. h. dort für eine gewisse Zeit fast stationär werden.

In Abb. 2 haben wir die beiden Richtungen  $\gamma_1$  und  $\gamma_2$  eingezeichnet. Es wurde gezeigt, daß – bei konstant gehaltenen Amplituden der Teilschwingungen – nur diese beiden  $\gamma$ -Richtungen statistisch ausgezeichnet sind. Wovon sind nun diese beiden Richtungen selbst abhängig? Wenn die Herkunftsrichtungen  $\alpha_1$  und  $\alpha_2$  festgehalten werden, läßt sich aus der Abb. 2 unmittelbar ablesen, daß die  $\gamma$ -Richtungen in ihrer Eigenschaft als Diagonalen des einhüllenden Parallelogramms nur vom *Verhältnis* der beiden Amplituden  $a_1^0$  und  $a_2^0$  der Teilschwingungen abhängig sind.

Wir nehmen jetzt für die Amplituden der Teilschwingungen an, daß sie nicht konstant seien, sondern eine zunächst beliebig angenommene Häufigkeitsverteilung besitzen mögen. Der Einfachheit der Darstellung wegen setzen wir für beide Teilschwingungen die *gleichen* Häufigkeitsverteilungen ihrer Amplituden voraus. Das bedeutet keine Einschränkung der Ergebnisse unserer Betrachtungen.

Nach dem speziellen Multiplikationssatz der Wahrscheinlichkeitsrechnung ist die Wahrscheinlichkeit für das *gleichzeitige* Auftreten zweier Amplituden der Teilschwingungen  $a_1^0$  und  $a_2^0$  gegeben durch die Beziehung

$$(3) \quad w(a_1^0, a_2^0) = w(a_1^0) \cdot w(a_2^0),$$

wobei die  $w(a_i^0)$  durch die angenommenen Häufigkeitsverteilungen der Amplituden der Teilschwingungen gegeben sind.

Allen Wertepaaren  $(a_1^0, a_2^0)$ , deren Quotient  $a_1^0/a_2^0 = C$ , d. h. konstant ist, sind zwei feste Richtungen  $\gamma_1$  und  $\gamma_2$  zugeordnet (als Diagonalrichtungen aller ähnlicher Parallelogramme, deren Seitenlängen das konstante Verhältnis  $C$  besitzen).

Mit Hilfe der Beziehung (3) läßt sich jetzt die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten aller dieser Wertepaare  $(a_1^0, a_2^0)$  berechnen, für die  $a_1^0/a_2^0 = C$  ist, und damit die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten zweier zugeordneter Richtungen  $\gamma_1$  und  $\gamma_2$ . Wir wollen diese Berechnung an Hand der Abb. 3 erläutern.

Die 2-parametrigere Wahrscheinlichkeitsverteilung, wie sie aus der Relation (3) berechnet werden kann, ist hier als "Gebirge" dargestellt worden. Nun bedeutet  $a_1^0/a_2^0 = C$  in der  $a_1^0, a_2^0$ -Ebene eine Gerade durch den

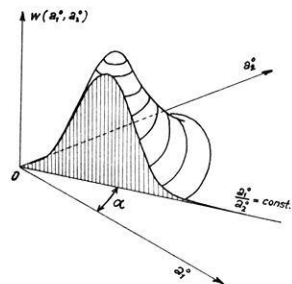


Abb. 3: Die Wahrscheinlichkeit für das gleichzeitige Auftreten der Amplituden  $a_1^0$  und  $a_2^0$ .

Ursprung des Koordinatensystems, die übrigens mit einer der  $\gamma$ -Richtungen identisch ist. Alle Wertepaare  $(a_1^0, a_2^0)$ , die auf der Geraden liegen, treten mit der Wahrscheinlichkeit  $w(a_1^0, a_2^0)$  auf, gegeben durch die entsprechenden Höhen des Gebirges über diesen Punkten der  $a_1^0, a_2^0$ -Ebene.

Wir definieren jetzt die Gerade C durch den Winkel  $\alpha$ , den sie mit der  $a_1^0$ -Achse einschließt. Außerdem ist es für die weiter unten auszuführende Integration notwendig, daß wir in der  $a_1^0, a_2^0$ -Ebene ein kleines Segment durch die Richtungswinkel  $\alpha - \frac{\Delta\alpha}{2}$  und  $\alpha + \frac{\Delta\alpha}{2}$  festlegen, wobei  $\Delta\alpha$  ein infinitesimaler, aber konstanter Winkel sein soll, der z. B. durch die Meßgenauigkeit der Richtungsbestimmung definiert sein kann. Das bedeutet dann, daß wir alle  $\gamma$ -Richtungen, die innerhalb dieses Segmentes liegen, als *eine*  $\gamma$ -Richtung zählen und ihr den Richtungswinkel  $\alpha$  zuordnen wollen.

Ferner definieren wir in diesem Segment Flächenelemente  $df = r \Delta\alpha dr$ , wobei  $r$  die Entfernung vom Koordinatennullpunkt ist, d. h.  $r = \sqrt{a_1^{02} + a_2^{02}}$ . Wir nehmen ferner an, daß die  $a_i^0$ -Werte *kontinuierlich* verteilt sein mögen.

Die Wahrscheinlichkeit des Auftretens aller Wertepaare  $(a_1^0, a_2^0)$ , die in dem Sektor  $\alpha + \frac{\Delta\alpha}{2}, \alpha - \frac{\Delta\alpha}{2}$  liegen, ergibt sich jetzt durch Integration über den gesamten Sektor:

$$(4) \quad w\left(\frac{\alpha_1^0}{\alpha_2^0} = C\right) = \frac{\Delta\alpha}{C} \int_0^\infty w(a_1^0, a_2^0) r dr,$$

wobei das Integral über den zur Geraden C gehörigen Sektor zu erstrecken ist. Damit ist die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten der Richtung  $\gamma = \alpha \pm \frac{\Delta\alpha}{2}$  bestimmt.

Dem Integral in (4) kommt eine anschauliche Bedeutung zu, wenn man die Abb. 3 betrachtet: Da hier die Wahrscheinlichkeit  $w(a_1^0, a_2^0)$  nach oben aufgetragen ist, und zwar senkrecht zur  $a_1^0, a_2^0$ -Ebene, stellt sich das Integral hier als das Volumen eines sehr spitzen Raumsegmentes dar, das in der Figur schraffiert dargestellt ist, wobei seine kleine Ausdehnung in der  $\alpha$ -Richtung nur durch die Strichdicke der Zeichnung angedeutet sein mag. Das schraffierte Raumsegment-Scheibchen vermittelt also eine anschauliche Beurteilung für die Wahrscheinlichkeit, mit der die zugehörige Richtung  $\alpha$  als Schwingungsrichtung der superponierten Teilschwingungen auftreten wird.

Da wir den Wunsch haben, auf Grund einer Richtungsstatistik gemessener Schwingungsrichtungen (d. h. Richtungen der großen Achsen der Schwingungsellipsen) die *Herkunftsrichtungen* zu finden, und zwar als Häufigkeitsmaxima, so ist damit folgendes Problem gestellt: Es gilt zu untersuchen, ob das Integral der Beziehung (4) jeweils dann einen maximalen Wert annehmen kann, wenn der zur Geraden C gehörige Sektor  $\alpha + \frac{\Delta \alpha}{2}$ ,  $\alpha - \frac{\Delta \alpha}{2}$  jeweils eine der Herkunftsrichtungen überdeckt. In diesem Falle müßten folgende Beziehungen erfüllt sein:

$$(5) \quad \Delta \alpha \int_0^\infty w(0, a_2^0) a_2^0 da_2^0 = \Delta \alpha \int_0^\infty w(a_1^0, 0) a_1^0 da_1^0 = \text{Max.} = M$$

und

$$(6) \quad \Delta \alpha_C \int_0^\infty w(a_1^0, a_2^0) r dr < M \quad \text{für } a_1^0, a_2^0 \text{ beide } \neq 0.$$

Diese Bedingungen genügen, gegebene Wahrscheinlichkeitsverteilungen der Amplituden der Teilschwingungen  $w(a_i^0)$  daraufhin zu prüfen, ob eine Richtungsstatistik die Herkunftsrichtungen als Häufigkeitsmaxima liefern wird.

Wir wissen bisher noch nicht, ob sich derartige Wahrscheinlichkeitsverteilungen überhaupt angeben lassen. Dies ist aber in der Tat der Fall. Etwa die Verteilung  $w(a_i^0) = e^{-a_i^0}$  genügt den Beziehungen (5) und (6), wie man leicht nachrechnen kann. Bei dieser Amplitudenverteilung können die Herkunftsrichtungen mittels zweier Häufigkeitsmaxima gefunden werden, die das Minimum der statistischen Verteilung um das Doppelte übertreffen.

Wir haben nun zu prüfen, ob solche geeigneten Verteilungen der Amplituden der Teilschwingungen in der Natur vorkommen.

Die Betrachtung der Abb. 3 lehrt auf anschaulichem Wege, daß z. B. für eine Gauß'sche Verteilung *keine* Möglichkeit zur statistischen Bestimmung der Herkunftsrichtungen besteht, was von großer Wichtigkeit ist.

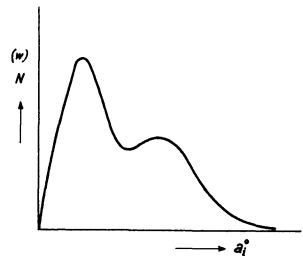


Abb. 4: Angenommene Wahrscheinlichkeitsverteilung für das Auftreten einer Amplitude  $a_i^0$  bezüglich einer Teilschwingung.



In der Abb. 4 ist eine bestimmte Häufigkeitsverteilung angenommen worden, und zwar nach folgendem plausiblen Gesichtspunkt: Kleinste Amplituden sollen die größte Häufigkeit haben und den allgemeinen Störpegel repräsentieren, bei dem Wellen aus den verschiedensten Richtungen, die ja fast immer vorhanden sind, auch in unserer zu betrachtenden Verteilung gewisse Anteile stellen. Auf diesen Anteil wird weiter unten noch zurückzukommen sein. Das zweite – schwächere – Häufigkeitsmaximum bei wesentlich größeren Amplitudenwerten soll durch die Wellengruppen der eigentlichen Sturm-Mikroseismik verursacht sein. Diese sind zwar mit wesentlich größeren Amplituden behaftet, aber nicht sehr langlebig und werden getrennt durch längere Pausen, wodurch die absolute Häufigkeit stark reduziert wird. Diese Annahmen werden durch das Studium der Seismogramme von mikroseismischen Stürmen gerechtfertigt, vor allem in den Fällen, wo im wesentlichen nur eine Quelle vorhanden war. So wurde für den Sturm vom 16. 2. 55 eine Häufigkeitsverteilung aus Wiechert-Registrierungen bestimmt, die alle aufeinanderfolgenden Schwingungen des Zeitabschnitts von 10<sup>h</sup> – 12<sup>h</sup> umfaßt (Abb. 5). Die Verteilung ist ausgesprochen schief.

#### Anmerkung:

Das Vorliegen einer Verteilung, die an eine Normalverteilung 2. Art erinnert, erweckt einen Gedanken, der vielleicht für Untersuchungen über den Erzeugungsmechanismus der mikroseismischen Bodenunruhe von Bedeutung sein kann. Während das Zustandekommen einer Gaußschen Normalverteilung an eine additive Verknüpfung der die betrachtete Größe konstituierenden bzw. störenden Elemente gebunden ist, werden Normalverteilungen 2. Art durch multiplikative Verknüpfungen dieser Elemente bewirkt. Denkt man daran, daß nach Longuet-Higgins [1] die Erzeugung der Mikroseismik über stehende Wellen des Seegangs angenommen wird, so liegt darin bereits ein multiplikatives Prinzip ausgesprochen. Wir haben nämlich 1.) den Seegang selbst, der ohne den hinzukommenden 2. Faktor noch keine Mikroseismik erzeugen kann, und 2.) die Überlagerungen von Wellensystemen, die u. U. zu stehenden Wellen führen können. Man hat sich also den Seegang mit einem Faktor multipliziert zu denken, der ein Maß für die jeweilig vorhandene stehende Komponente ist. Als weiterer Faktor käme die Fläche hinzu, über die sich die stehende Komponente ausdehnt. Die entstehenden mikroseismischen Erregungen verdanken also ihr Zustandekommen der multiplikativen Verknüpfung verschiedener Faktoren, so daß die beobachtete Verteilung zunächst wenigstens qualitativ verstanden werden könnte.

Die Abb. 6 zeigt das mittels der Verteilung der Abb. 4 berechnete Wahrscheinlichkeitsgebirge. Dabei ist zu beachten, daß die Koordinatenachsen durch das erste zum Störpegel gehörige Häufigkeitsmaximum der Amplituden gelegt werden mußten. Der Grund dafür ist folgender: Die Amplituden des Störpegels gehören zu Wellen, die quasi richtungslos sind, d. h. aus al-

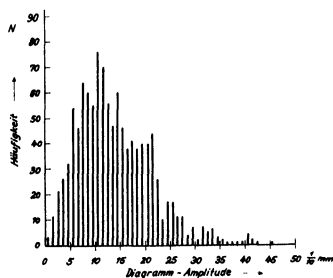


Abb. 5: Gemessene Häufigkeitsverteilung von Diagrammamplituden (Wiechert NS), Sturm v. 16. 2. 1955, 10<sup>h</sup> – 12<sup>h</sup> MGZ.

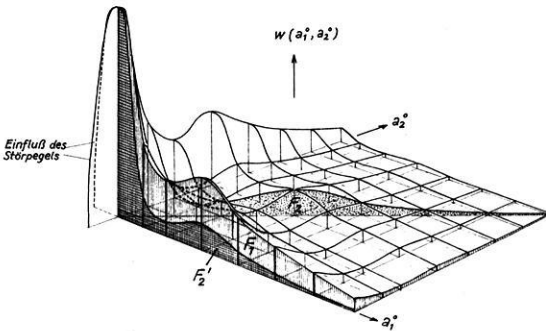


Abb. 6: Zweidimensionale Wahrscheinlichkeitsverteilung für das gleichzeitige Auftreten zweier Amplituden  $a_1^0$  und  $a_2^0$  der zwei Teil-schwingungen. Amplitudenverteilung nach Abb. 4.

len möglichen Richtungen einfallen. Ersichtlich beeinflussen diese die Richtungsstatistik nicht systematisch, sondern bewirken nur eine gewisse Verschmierung des Ergebnisses. In der Abb. 6 sind zwei Raumsegment-Scheibchen  $F_1$  und  $F_2$  eingezeichnet, deren Volumina die Wahrscheinlichkeiten für das Auftreten der zugehörigen Schwingungsrichtungen angeben. Das Scheibchen  $F_2$  gibt die Wahrscheinlichkeit für eine Schwingungsrichtung, die als Winkelhalbierende des Winkels  $(a_1^0, a_2^0)$  angenommen ist, während das Scheibchen  $F_1$  der Wahrscheinlichkeit entspricht, mit der die  $a_1^0$ -Richtung, also eine der Herkunftsrichtungen der Wellen selbst, als Schwingungsrichtung beobachtet werden kann. Der Vergleich der Volumina von  $F_1$  und  $F_2$  zeigt deutlich, daß die Herkunftsrichtungen statistisch ausgezeichnet sind.

Die Einsenkung in der Häufigkeitsdarstellung Abb. 4 bei einem mittleren Amplitudenbereich kann auch ganz fehlen, ohne daß eine statistische Bestimmung der Herkunftsrichtungen unmöglich wird. Das zeigt sowohl unser analytisches Beispiel  $w(a_i^0) = e^{-a_i^0}$  als auch entsprechende nähere Untersuchungen, auf die hier aber nicht eingegangen werden soll.

Ebenso müssen wir uns an dieser Stelle mit dem Fall von zwei Quellen begnügen. Für mehr als zwei Quellen sind die Überlegungen ganz entsprechend auszuführen, wenn man für  $n$  Quellen die Betrachtungen im  $n$ -dimensionalen Raum vornimmt. Es ist jedoch beim Vorliegen einer größeren Zahl von Quellen schon anschaulich klar, daß eine statistische Trennung der einzelnen Herkunftsrichtungen mit dem Wachsen dieser Anzahl zunehmend unsicherer werden wird, da die zu trennenden Richtungen alle in einer Ebene liegen und einander umso näher rücken, je größer ihre Zahl ist.

Somit ist nun gezeigt, daß eine statistische Bearbeitung der gemessenen Schwingungsrichtungen Aussicht auf eine Bestimmung der Herkunfts-

richtungen der Wellen eröffnet, falls es sich hauptsächlich um Wellen handelt, bei denen die Bodenteilchen entweder parallel zur Fortpflanzungsrichtung schwingen, oder aber senkrecht dazu (denn natürlich auch dann gelten unsere Überlegungen). Eine solche Methode hat nun auch den Vorteil, daß sich u. U. eine Trennung verschiedener Wellentypen vornehmen läßt. Denn sind außer Rayleighwellen etwa auch Lovewellen vorhanden, müßten sich z. B. beim Vorliegen eines einzelnen Haupterregergebietes Häufungen der Schwingungsrichtungen in zwei senkrecht zueinander liegenden Richtungen ergeben. Daß Aussicht besteht, diese Richtungen getrennt zu erhalten, erhellt aus dem Umstand, daß sich Rayleigh- und Lovewellen mit verschiedenen Geschwindigkeiten ausbreiten. Sollten Wellengruppen im Erregergebiet erzeugt werden, die beide Wellenanteile enthalten, dann würden sich diese im Laufe der Zeit voneinander trennen und kämen also auch getrennt zur Registrierung. Ein Vergleich des gewonnenen statistischen Ergebnisses mit der Wetterlage wird dann u. U. die notwendige Zuordnung der gefundenen Vorzugsrichtungen und Wellentypen ermöglichen.

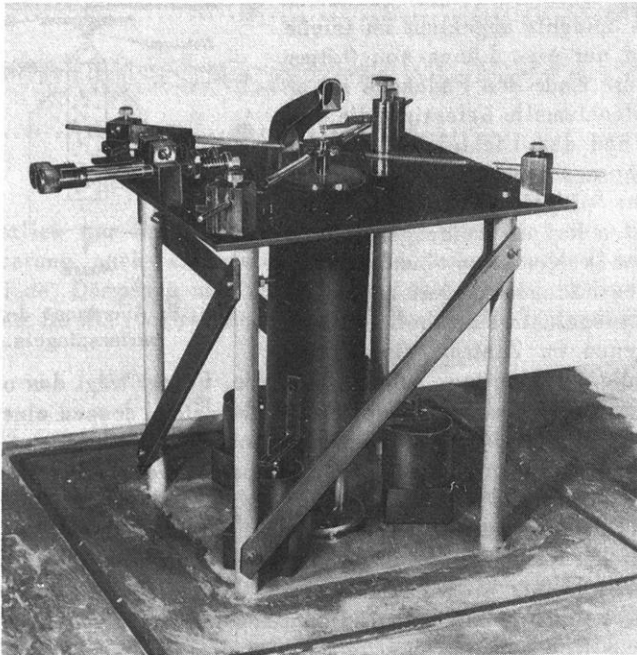


Abb. 7: Vektorseismograph des Verfassers.

Um die horizontalen Bewegungen der Bodenelemente (Lissajous-Figuren) direkt registrieren zu können, wurde ein Vektorseismograph gebaut (Abb. 7). Das Instrument besteht aus einem invertierten Pendel mit einer

Masse von 8450 g. Der unten liegende Drehpunkt der Masse wird von einem Stahldraht gebildet, der auf Zug beansprucht wird. Zur Dämpfung werden drei Öldämpfer benutzt, die in Winkeln von  $120^\circ$  zueinander angeordnet sind. Die rücktreibenden Kräfte werden von vier in Winkeln von  $90^\circ$  zueinander angeordneten Schraubenfedern geliefert, die am oberen Ende der Masse angreifen und in einer horizontalen Ebene liegen. Zwei der Federn sind so eingespannt, daß mit Hilfe von zwei Justierschrauben ihre Einspannstellen radial in geringen Grenzen verschoben werden können, wodurch die Masse stets in der richtigen Registrierlage gehalten werden kann. Ein mit großer Sorgfalt zu lösendes Problem stellte die Übertragung der Massenbewegungen in Drehungen des Registrierspiegels dar. Reibungen durften dabei nicht auftreten. Die Konstruktion wurde folgendermaßen ausgeführt:

Der Registrierspiegel von 5 mm Durchmesser hängt horizontal an einem sehr dünnen Fädchen ( $\varnothing 8 \mu$ ) aus einem perlonartigen Kunststoff, der genau im Zentrum des Spiegels angeklebt ist (siehe Abb. 8) und nur eine Länge von 0,8 mm hat. Das obere Ende des Fädchens ist an einer Stahlblechlamelle befestigt, die vertikal steht und den Lichteinfall auf den Spiegel nicht nennenswert behindert. Somit hängt der Spiegel horizontal und nach allen Azimuten frei und reibungslos neigbar, wobei der Drehpunkt an einer bestimmten Stelle des Fädchens fixiert zu denken ist. An der Spiegelunterseite befindet sich ebenfalls genau im Zentrum eine kleine

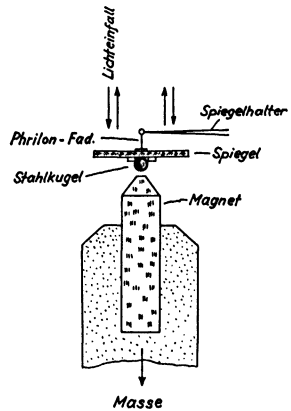


Abb. 8: Anordnung des Registrierspiegels.

Stahlkugel, die mit Schellack aufgeklebt wurde. Ferner trägt das obere Ansatzstück der Masse einen kleinen Oerstit-Magneten, dessen einer Pol der Spiegelunterseite zugekehrt ist, wobei aber zwischen der kleinen Stahlkugel am Spiegel und dem Magneten noch ein Luftspalt von ca 1 mm verbleibt. Bewegt sich die Masse und mit ihr der Magnet, so wird der Spiegel in den entsprechenden Richtungen mitgenommen und dabei geneigt. Das System arbeitet frei von jeglicher Reibung und ist völlig symmetrisch, was für die Vektorregistrierung von größter Wichtigkeit ist. Über dem Spiegel befindet sich ein  $90^\circ$ -Prisma, um den Strahlengang horizontal zu richten. Zur Registrierung wird eine Punktlichtquelle benutzt, wobei die gerade Wendel einer Taschenlampenbirne in ihrer Längsachse unter Einschaltung einer kurzbrennweitigen Sammellinse abgebildet wird. Der Lichtschreiber arbeitet mit 60 mm breitem Bromsilberpapier, das von einem Synchronmotor alle 9 sec um einen einstellbaren Betrag weiterschoben wird. Eine Registrierprobe gibt Abb. 9.

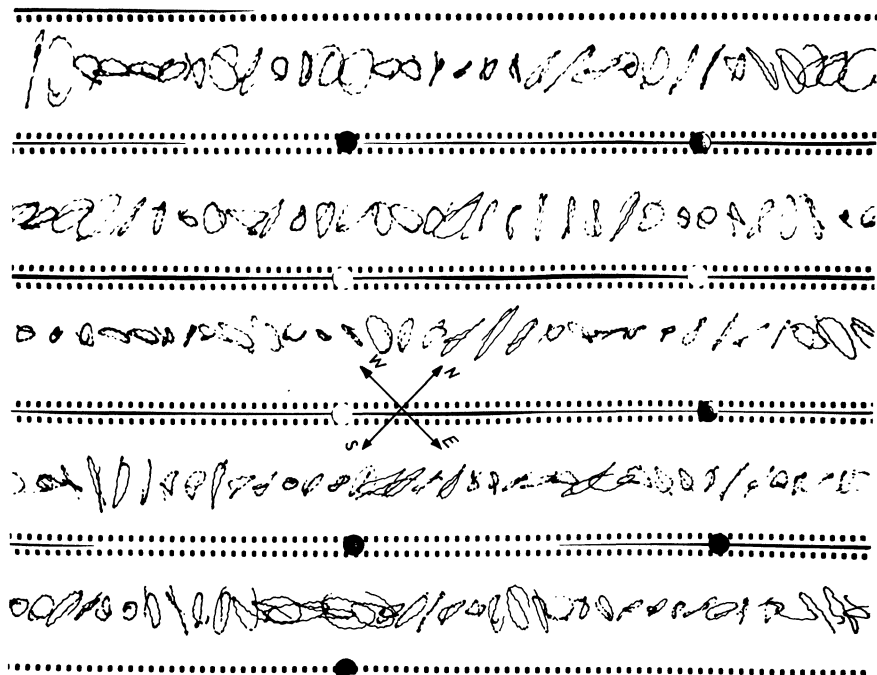


Abb. 9: Beispiel aus einer Vektorregistrierung vom 23.11.55.

Wesentlich war für die Konstruktion des Seismographen die Erfüllung der Forderung nach azimuthaler Invarianz der Apparatekonstanten, wie Eigenperiode, Dämpfung und Vergrößerung. Die Theorie dieses Seismographen liefert für die rücktreibende Kraft  $\mathfrak{F}$  der Federn folgenden Ausdruck:

$$(7) \quad \mathfrak{F} = K \cdot \mathfrak{z} \cdot \left(1 - \frac{r^0}{2r}\right),$$

wobei  $K$  die Summe aller (gleichen) Federkonstanten der vier Federn,  $\mathfrak{z}$  der Vektor der Auslenkung der Masse,  $r^0$  die Länge der Federn im spannungsfreien Zustand (d. h. vor dem Einbau) und  $r$  die Länge der Federn in der Ruhelage der Masse bedeuten. Die Beziehung (7) ergibt sich, wenn man quadratische und Glieder höherer Ordnung in  $\mathfrak{z}$  vernachlässigt und zeigt, daß die rücktreibende Kraft der Federn vom Azimut unabhängig und der Auslenkung  $\mathfrak{z}$  parallel und proportional ist. Alle übrigen die Eigenperiode noch bestimmenden Größen wie die astasierend wirkende Schwere, das Biegemoment des Suspensionsdrahtes und die magnetischen Kräfte zwischen Spiegel und Magnet sind wegen der Zylindersymmetrie vom Azimut unabhängig. Die Federn wurden völlig gleich hergestellt, so daß die

Gültigkeit von (7) angenommen werden darf. Die Eigenperiode des Instruments ergibt sich zu

$$(8) \quad T_0 = 2\pi \sqrt{\frac{\Theta}{[K(1 - \frac{r^0}{2r}) - G] \cdot s}}$$

wobei  $\Theta$  das Trägheitsmoment des Systems,  $s$  der Abstand von Massendrehpunkt und Angriffspunkt der Federn und  $G$  eine Größe ist, die alle erwähnten übrigen astasierend oder stabilisierend wirkenden Kräfte enthält. Dabei liefert die astasierend wirkende Schwere den ausschlaggebenden Anteil, weshalb vor  $G$  das negative Vorzeichen steht. Man erkennt aus (8), daß durch Verändern der Federlängen  $r$  die Eigenperiode in gewissen Grenzen verändert werden kann. Von dieser Möglichkeit wurde bei der Justierung des Instruments Gebrauch gemacht. Der Seismograph wurde auf folgende Konstanten gebracht:  $T_0 = 5,8 \text{ sec}$ ,  $V = 1140$ ,  $\epsilon$  nahezu kritisch.

Die Registrierergebnisse dieses Instruments sind sehr befriedigend. Es zeigte sich, daß es ein großer Vorteil ist, Originalregistrierungen der zu untersuchenden Vorgänge zu besitzen; und ganz abgesehen vom eigentlichen Zweck, der mit diesen Registrierungen beabsichtigt war, kann das Studium der Registrierungen noch in mancher Richtung Anregungen und Untersuchungsmöglichkeiten eröffnen. Nur eine Beobachtung mag an dieser Stelle erwähnt sein. So ist es auffällig, daß eine große Zahl der Schwingungen linear oder nahezu linear polarisiert ist, was für die Richtigkeit der oben hinsichtlich der Ortungsmöglichkeit mitgeteilten wahrscheinlichkeitstheoretischen Überlegungen sprechen mag. In Abb. 10 ist die Häufigkeitsverteilung der Achsenverhältnisse aller Schwingungsfiguren der Vektorregistrierungen v. 24. I. 1955, 09<sup>h</sup> 45<sup>m</sup> - 10<sup>h</sup> 20<sup>m</sup> als Beispiel hierfür dargestellt worden. 62% aller registrierten Schwingungsellipsen haben ein Achsenverhältnis von  $\leq 0,3$ .

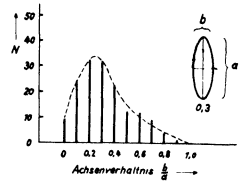


Abb. 10: Häufigkeitsverteilung der Achsenverhältnisse der horizontalen Schwingungsellipsen der Bodenteilchen. Sturm v. 24. I. 1955, 09<sup>h</sup> 45<sup>m</sup> - 10<sup>h</sup> 20<sup>m</sup> MGZ.

Für die statistische Bearbeitung der Vektorregistrierungen waren zwei Faktoren zu berücksichtigen: 1.) Die Richtungen der grossen Achsen der horizontalen Schwingungsellipsen, und 2.) die Amplituden in der Richtung der großen Achsen. Da in den Registrierungen ein umfangreiches Material vorliegt, war es möglich, den Umkreis in Richtungsintervalle von  $5^\circ$  zu  $5^\circ$  aufzuteilen. In jedes Intervall fallen eine gewisse Anzahl der Schwingungsellipsen bezüglich der Richtung ihrer großen Achsen. Aber es sind nicht

nur die Häufigkeiten zu studieren, mit denen die Schwingungen in den einzelnen Richtungsintervallen vorkommen, sondern jedem Element der Häufigkeitsverteilung muß ein Gewicht zuerkannt werden, das am sinnvollsten der Größe der jeweiligen Amplitude proportional ist. Daraus ergab sich die Methode des Verfassers, für die Elemente jedes Richtungsintervalls die *Amplitudensummen* zu berechnen und diese Summen direkt in ein Polardiagramm einzutragen. Da die Richtungen der Schwingungselipsen nur auf  $\pm 180^\circ$  bestimmt sind, wurden die Azimute der Schwingungsfiguren für den halben Kreis von NW über N, E bis SE gemessen und die Amplitudensummen bei der graphischen Darstellung jeweils in zwei diametralen Richtungen aufgetragen, so daß die Polardiagramme zentralsymmetrisch sind. Es wurden natürlich nur solche Schwingungsfiguren berücksichtigt, die deutlich eine bestimmte Richtung erkennen ließen.

Im folgenden sollen die Ergebnisse der Bearbeitung einiger Stürme gegeben werden, wobei jeweils Vergleiche mit der Wetterlage vorzunehmen sind. Da in dieser Arbeit nicht beabsichtigt ist, Zusammenhänge von Mikroseismik und meteorologisch-ozeanographischen Faktoren zu klären, sondern nur festgestellt werden soll, ob die sich ausprägenden Richtungen maximaler Amplitudensummen zu Gebieten weisen, wo nach bisherigen Erfahrungen die genannten Faktoren mikroseismisch wirksam sein könnten, genügte es zunächst, die Wetterlage durch Angabe der Tiefdruckzentren in mb, der Kaltfronten und der Windpfeile symbolisch darzustellen.

Der sich über drei Tage erstreckende Sturm vom 24. 1. 1955 bis 26. 1. 1955 wurde zu 10 Terminen registriert, wobei sich die Registrierungen jeweils über ungefähr eine Stunde erstreckten. Die Zeiten sind auf den Abbildungen angegeben. Die Figur 1 der Abb. 11 zeigt das Ergebnis der statistischen Bearbeitung der ersten Registrierung von  $9^h 45^m - 10^h 20^m$ . Um einen Vergleich mit der Wetterlage zu erleichtern, sind die Amplitudensummen direkt in Karten vom Zentrum Hamburg aus in den entsprechenden Azimuten aufgetragen. Die Figur 1 der Abb. 11 zeigt zunächst, daß eine ausgesprochene Abhängigkeit der Amplitudensummen von der Schwingungsrichtung besteht. Es sind drei ausgezeichnete Richtungen erkennbar, die nahezu zu einem Tiefdruckzentrum südlich Island, zu einem zweiten Tiefdruckzentrum vor der Norwegischen Küste und in eine Richtung weisen, die zwischen beiden Tiefdruckzentren liegt. Bemerkenswert ist ferner, daß senkrecht zu diesen Richtungen kaum nennenswerte Bewegungen des Bodens stattfanden. Ob auch die Kaltfront wirksam war, kann zwar nicht entschieden werden, muß aber als Möglichkeit – vor allem auch im Hinblick auf die folgenden Figuren – im Auge behalten werden.

Es könnte gegen die Deutung der markanten Richtungseffekte der Figuren als tatsächlich vorhandene Vorzugsrichtungen des Energietransportes der mikroseismischen Wellen folgendes eingewendet werden: Ist es gesichert, daß die mit dem Azimut stark schwankenden Amplitudensummen kei-

ne zufälligen Streuungen darstellen, oder liegen bei einer Verteilung von einigen hundert Schwingungen über 36 Richtungsintervalle die auftretenden Schwankungen noch innerhalb des Zufallbereichs? Um diesen Zweifel zu beseitigen, wurde die statistische Prüfgröße  $t$  herangezogen und für die meisten Figuren berechnet. Die daraus abzuleitende statistische Sicherheit  $S$  gibt an, wie groß die Sicherheit dafür ist, daß sich die Mittelwerte zweier je in sich zusammenhängender Stichproben *nicht zufällig* unterscheiden. Die Sicherheiten  $S$  wurden für die meisten Figuren berechnet und sind in den Darstellungen angegeben. (Zum Teil wurde auch der  $\chi^2$ -Test benutzt und die entsprechenden daraus abgeleiteten Sicherheiten  $\bar{S}$  angeführt). So ist z.B. die deutliche Bevorzugung des Sektors von NW bis N bzw. SE bis S gegenüber benachbarten Sektoren (Abb. 11, Fig. 1) mit einer Sicherheit  $S > 99\%$  belegt.

Amplitudensummen als Funktion der Schwingungsrichtung

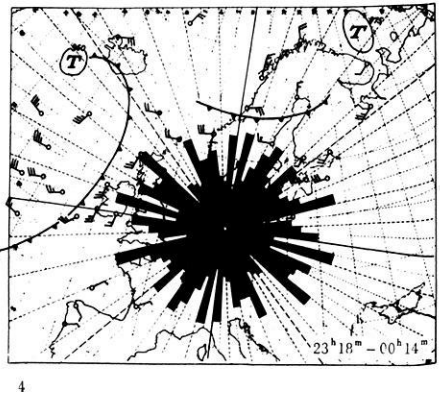
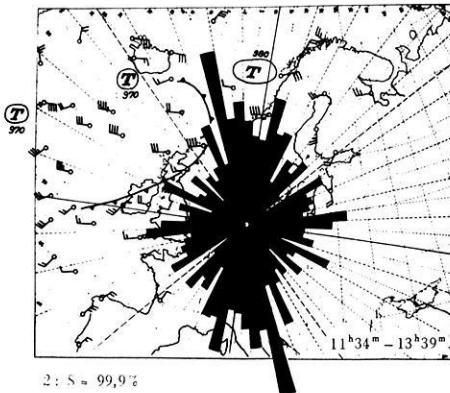
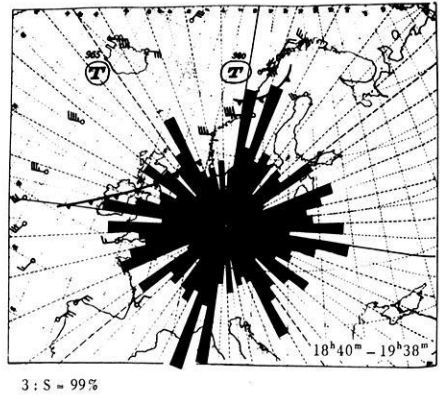
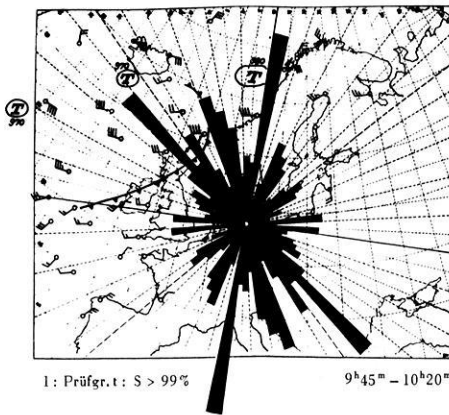


Abb. 11: Sturm vom 24.1.55

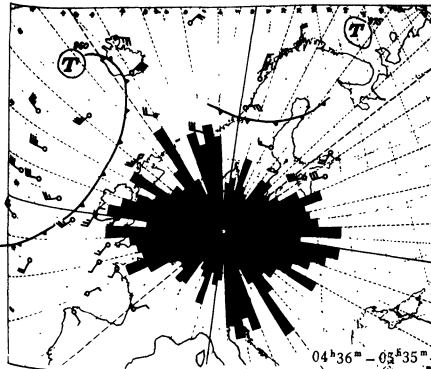
Abb. 12: Sturm vom 24./25.1.55



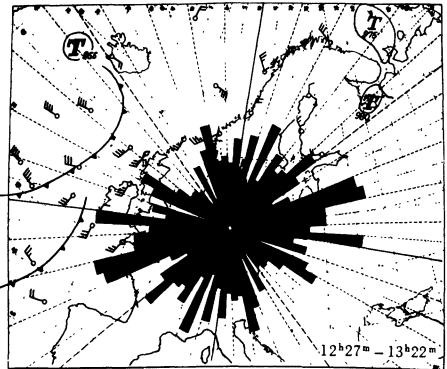
Die Figur 2 der Abb. 11 ist die Auswertung der Registrierung von  $11^{\text{h}} 34^{\text{m}} - 13^{\text{h}} 39^{\text{m}}$ , enthält also die Amplitudensummen über einen Zeitraum von ca 2 Stunden. Man erkennt sofort, daß sich die mittlere Vorzugsrichtung kaum geändert hat. Dagegen prägt sich aber die Richtung zum Tiefdruckzentrum südlich Island nicht mehr aus. Ferner beginnen sich offenbar Einflüsse aus westlicher Richtung geltend zu machen. Die Richtungscharakteristik der Figur ist nach der Prüfgröße  $t$  zu mehr als 99,9% gesichert.

Abb. 12, Figur 3 stellt die Verhältnisse für die Zeit von  $18^{\text{h}} 40^{\text{m}} - 19^{\text{h}} 38^{\text{m}}$  dar. Eine weiter fortschreitende Bevorzugung westlicher Richtungen ist deutlich erkennbar. Bemerkenswert ist auch ein Einfluß aus der Richtung zur Küste von Nord-Norwegen, wo eine Kaltfront die Küste gerade überschritten hat (über Kaltfronteffekte siehe *Båth* [14]).

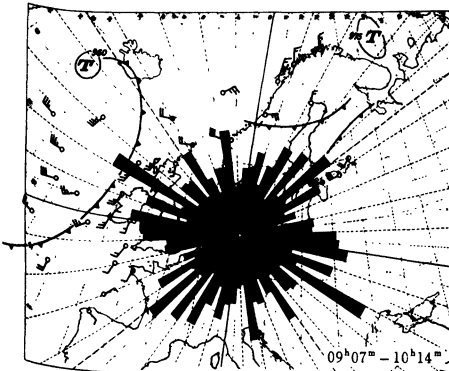
### Amplitudensummen als Funktion der Schwingungsrichtung



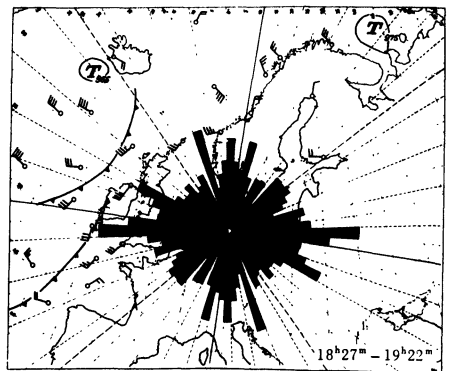
5:  $S > 99,9\%$



7



6



8:  $S > 99\%$

Abb. 13: Sturm vom 25.1.55

Abb. 14: Sturm vom 25.1.55

Die Figur 4 der Abb. 12 zeigt jetzt eine Betonung westlicher Richtungen. Man muß beachten, daß sich im Westen eine neue Kaltfront entwickelt hat und daß ferner das Tief vor der Norwegischen Küste nicht mehr vorhanden ist.

Die Figuren 5 und 6 in Abb. 13 zeigen beide überwiegend westliche Tendenz. Allerdings ist in Figur 5 noch einmal ein deutlicher Einfluß aus nordwestlicher bis nord-nordwestlicher Richtung zu bemerken.

Abb. 14, Figur 7, weist jetzt Vorzugsrichtungen auf, die west-südwestlich liegen. Es ist möglich, daß es sich hierbei um den Einfluß einer weiter gegen den Golf von Biskaya vorgeführten Kaltfront handelt. Die Figur 8 gibt ein ähnliches Bild, nur hat sich die Hauptvorzugsrichtung mehr nach Westen gedreht.

Amplitudensummen als Funktion der Schwingungsrichtung

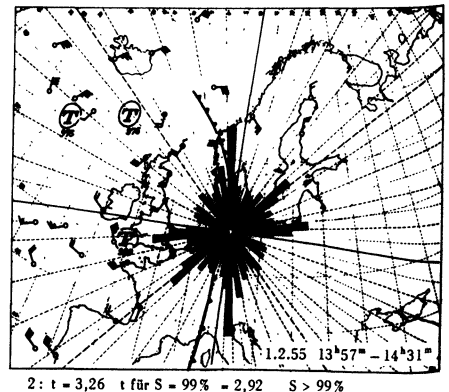
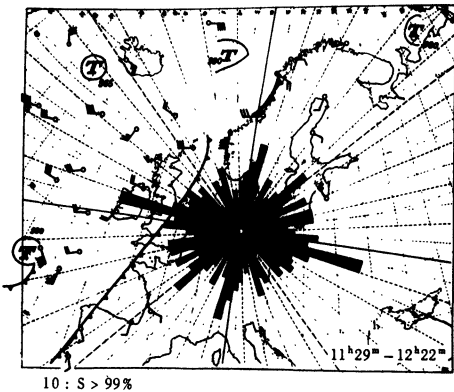
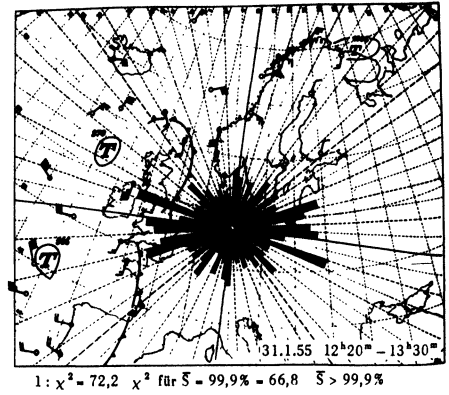
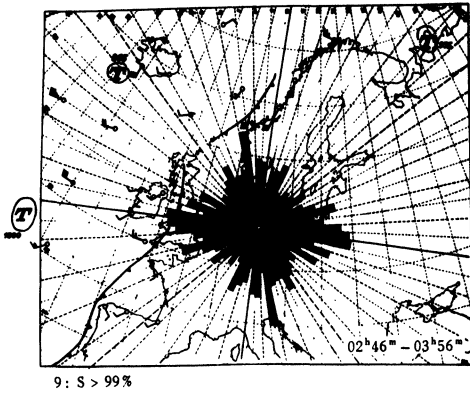


Abb. 15: Sturm vom 26.1.55

Abb. 16: Sturm vom 31.1. - 1.2.55

Endlich ist in Abb. 15, Fig. 9 und 10 das Abflauen des mikroseismischen Sturmes am 26. 1. 1955 untersucht worden. Neben der fortbestehenden Bevorzugung westlicher Richtungen (Kaltfront über England!) sind namentlich in Fig. 9 offenbar Einflüsse vom Gebiet vor der norwegischen Küste vorhanden, was vielleicht mit einer Kaltfront im Zusammenhang steht, die zur Zeit der Fig. 10 gerade die Küste überquert und möglicherweise mit dem in dieser Richtung vorhandenen Nebenmaximum der Figur zusammenhängt.

Sämtliche Figuren (1-10) sind im gleichen Maßstab gezeichnet, indem sämtliche Messungen der einzelnen Termine auf die gleiche Zahl von Meßwerten reduziert wurden. Dadurch ist eine gewisse Beurteilung der Intensität der Bodenunruhe möglich, wenigstens in bezug auf die Diagrammamplituden.

Die Vergleiche mit der Wetterlage lassen es als wahrscheinlich erscheinen, daß die horizontalen Schwingungsrichtungen der Bodenteilchen vorwiegend in die Herkunftsrichtungen fallen. Allerdings ist die Wetterlage so kompliziert und das wirksam zu denkende Wettergeschehen auf derartig weite Gebiete verteilt, daß dieser Sturm zur Beurteilung dieser Frage nicht gerade günstig ist.

Die Figuren 1 und 2 der Abb. 16 zeigen die Bearbeitung von Registrierungen eines Sturms vom 31. 1. - 1. 2. 1955. Offenbar sind die beiden Tiefdruckgebiete am 31. 1. 1955 und u. U. auch die Kaltfronten wirksam gewesen. Eine ausgeprägte Bevorzugung westlicher Richtungen ist hier vorhanden.

Auf diese Figur wurde der  $\chi^2$ -Test angewandt. Als Normalverteilung, die keine Richtung bevorzugt, wurde eine durch Würfeln ermittelte Verteilung benutzt. Die Abweichung der gemessenen von der Normalverteilung wurde untersucht. Es ergibt sich  $\chi^2 = 72,2$ . Für  $\bar{S} = 99,9\%$  ist  $\chi^2 = 66,8$ , und daher ist die statistische Sicherheit  $\bar{S} > 99,9\%$ , d. h. die gemessene Verteilung ist mit 99,9% Sicherheit keine zufällige Verteilung.

Die Figur 2 der Abb. 16 stellt die Verhältnisse für den 1. 2. 1955 dar. Das Bild hat sich völlig verändert. Während die beiden Tiefdruckzentren südlich Island keinen nennenswerten direkten Einfluß erkennen lassen, wirkt offenbar ein Tiefdruckzentrum am Westausgang des Kanals und besonders kräftig ein in nördlicher Richtung gelegenes Störungsgebiet, vielleicht durch den Übergang der Kaltfront auf das südnorwegische Festland verursacht.

Die Abb. 17 gibt die Bearbeitung einer Vektorregistrierung vom Sturm am 16. 2. 1955. Hier lag ein kräftiges Tiefdruckgebiet über dem Skagerrak. Es muß als sicher gelten, daß der kurze mikroseismische Sturm von diesem Tief ausgelöst wurde. Wir erkennen deutlich, daß die Hauptachse der Figur

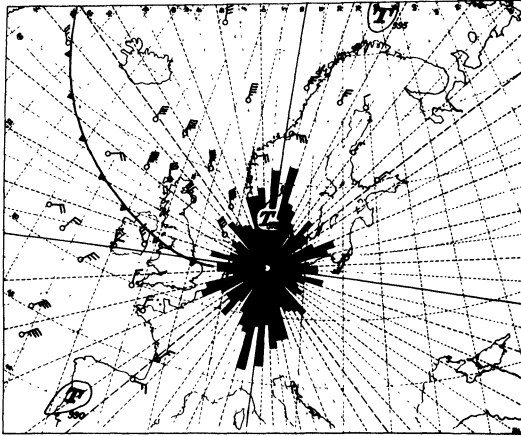


Abb. 17: Amplitudensummen als Funktion der Schwingungsrichtung. Sturm v. 16.2.55. (nach Vektorregistrierung v. 17<sup>h</sup> 11<sup>m</sup> – 18<sup>h</sup> 53<sup>m</sup>)  $\chi^2 = 74,6$ ;  $\chi^2$  für 99,9% = 66,8;  $\bar{S} > 99,9\%$

zum Tiefdruckkern weist. Ein schwächeres Nebenmaximum mag dem Gebiet der Biskaya zugeordnet werden, denn über der spanischen Westküste liegt ein Tiefdruckgebiet. Die sicher auch wirksamen Gebiete nördlich Schottlands (Windstärken bis 9) treten relativ zum Einfluß des Sturmtiefs über dem Skagerrak in den Hintergrund, deuten sich aber in der Figur noch an.

Endlich zeigt die Bearbeitung der Vektorregistrierung vom 18.5.1955 (13<sup>h</sup> 09<sup>m</sup> – 14<sup>h</sup> 35<sup>m</sup>) in Abb. 18 eine ganz ausgeprägte Richtungscharakte-

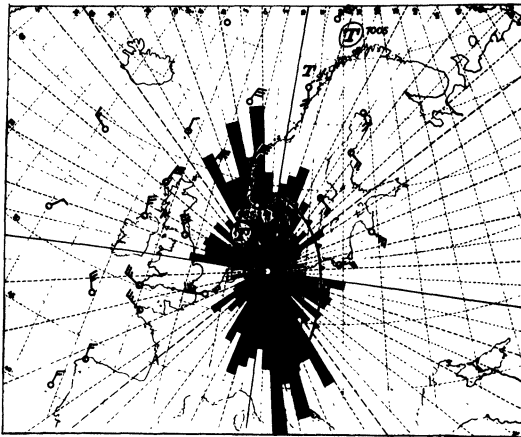


Abb. 18: Amplitudensummen als Funktion der Schwingungsrichtung. Sturm 18.5.55. (nach Vektorregistrierung v. 13<sup>h</sup> 09<sup>m</sup> – 14<sup>h</sup> 35<sup>m</sup>).

ristik. Die Wetterlage wurde durch ein Sturmtief über der Nordsee bestimmt. Da die Wetterkarte für 12<sup>h</sup> gilt, ist eine gute Vergleichsmöglichkeit der Richtungsstatistik mit der Wetterlage gegeben. Die Schwingungsrichtungen mit den größten Amplitudensummen weisen zu den Gebieten vor der Westküste Süd-Norwegens. Längs dieses Küstenstreifens findet eine Winddrehung von ca 90° statt. Ein schwächerer Einfluß scheint sich von den britischen Inseln her bemerkbar zu machen. Ferner könnte auch das Tiefdruckgebiet vor Nord-Norwegen ein Nebenmaximum, das in diese Richtung weist, verursacht haben.

Bemerkenswert ist das Fehlen von Schwingungsrichtungen, die senkrecht auf den Hauptrichtungen stehen. Lovewellen mit merklichen Amplituden sind demnach bei diesem Sturm nicht registriert worden. Die Fortführung der Vektorregistrierungen wird zeigen, ob diese Wellenart stets fehlt, oder ob in anderen Fällen auch Lovewellen beobachtet werden können, und mit welchem Anteil an den Gesamtbewegungen dabei zu rechnen ist.

Im Hinblick auf die vermutlich bestehende Möglichkeit, aus den statistischen Bearbeitungen von gleichzeitigen Vektorregistrierungen zweier oder mehrerer Stationen nicht nur die Herkunftsrichtungen, sondern auch die Lage der Erregergebiete bestimmen zu können, möge noch folgendes bemerkt werden:

Wenn man annimmt, daß etwa für zwei Stationen die gleichen Erregungsvorgänge der Bodenunruhe maßgebend sein mögen, d. h. wenn die vom Erregungszentrum in jedem Augenblick ausgestrahlten Wellengruppen tatsächlich nach den entsprechenden Laufzeiten an jeder der Stationen registriert werden würden, dann müßten schon kurze Ausschnitte aus den Registrierungen zur Lagebestimmung des Erregergebietes genügen. Bei größerer Entfernung der Stationen untereinander müßten allerdings die Laufzeitunterschiede der Wellen bei der Auswahl der Zeitabschnitte berücksichtigt werden. Wenn die Stationen nicht zu weit voneinander entfernt sind, und die Zeitabschnitte aus den Registrierungen nicht zu klein gewählt werden, ließen sich auch gleichzeitige Registrierungen verwenden.

Als Beispiel hierfür wurde ein Vergleich von Hamburg und Kopenhagen durchgeführt, und zwar wurden zwei Zeitabschnitte von je 10 Minuten benutzt.

Abb. 19 zeigt die Gegenüberstellung für den Sturm vom 24. I. 1955. Aus den Hamburger Vektorregistrierungen wurde der Zeitabschnitt von 09<sup>h</sup> 55<sup>m</sup> – 10<sup>h</sup> 05<sup>m</sup> statistisch bearbeitet und dargestellt. Für Kopenhagen wurde die Richtungsstatistik von *Bhatia*<sup>4)</sup> nach Galitzin-Registrierungen des gleichen Zeitabschnitts unter Verwendung eines besonderen Verfahrens berechnet. Man erkennt, daß die Hauptrichtungen der Figuren sehr gut über-

4) R. P. Bhatia, aus einer noch nicht abgeschlossenen Untersuchung, Hamburg 1955.

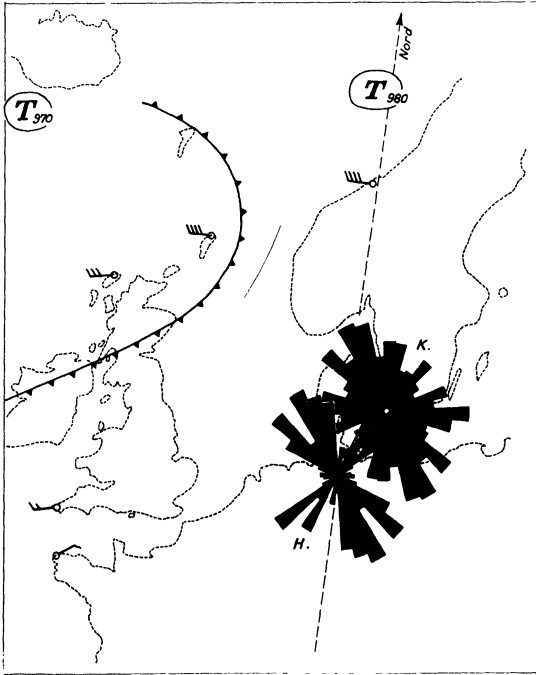


Abb. 19: Amplitudensummen als Funktion der Schwingungsrichtung. Sturm v. 24.1.55, 09<sup>h</sup> 55<sup>m</sup> – 10<sup>h</sup> 05<sup>m</sup>. Gegenüberstellung von Hamburg und Kopenhagen. Hamburg nach Vektorregistrierung, Kopenhagen nach einer Auswertung von *Bhatia* der Galitzin-Registrierungen des gleichen Zeitabschnitts.

einstimmen, woraus der Schluß gezogen werden müßte, daß das Haupterregengebiet von diesem Stationspaar relativ weit entfernt ist.

Abb. 20 gibt die Gegenüberstellung für den anschließenden Zeitabschnitt von 10<sup>h</sup> 05<sup>m</sup> – 10<sup>h</sup> 15<sup>m</sup>. Hierbei wurden für Hamburg wieder die Vektorregistrierung, für Kopenhagen die vom Verfasser aus den Galitzin-Registrierungen konstruierten Vektorbewegungen benutzt. Ein näheres Eingehen auf mögliche Quellen hinsichtlich der angezeigten Richtungen wäre sicher verfrüht und würde diesen Beispielen mehr Gewicht zumessen, als ihnen als Einzelbeobachtungen zukommt (da die Konstruktionen aus den gewöhnlichen Registrierungen sehr mühsam sind, mußte auf weitere Beispiele verzichtet werden). Doch erscheint eine Verwendung von gleichzeitig durchgeführten Vektorregistrierungen zur Lagebestimmung der Erregergebiete sowohl theoretisch, als auch hinsichtlich dieser Beispiele nicht aussichtslos.

Beim Vorhandensein von mehreren Erregergebieten muß bei dieser Ordnung von verschiedenen Stationen aus darauf geachtet werden, daß nur

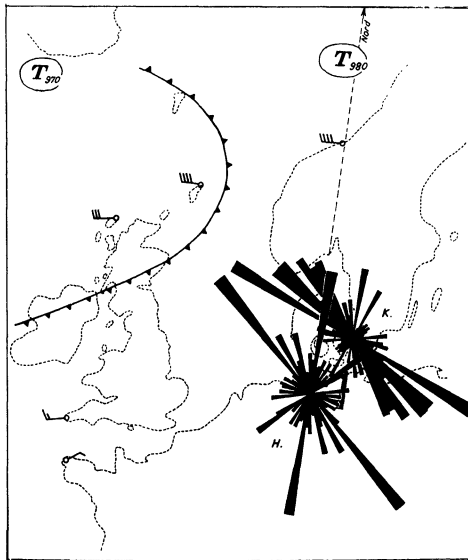


Abb. 20: Amplitudensummen als Funktion der Schwingungsrichtung. Sturm v. 24.1.55,  $10^h 05^m - 10^h 15^m$ . Gegenüberstellung von Hamburg und Kopenhagen. Hamburg nach Vektorregistrierung, Kopenhagen nach Konstruktion der Vektorbewegung aus Galitzin-Registrierungen des gleichen Zeitabschnitts.

gleichzeitige Registrierungen benutzt werden. Denn schon die Betrachtung der beiden Beispiele (Abb. 19 u. 20) läßt erkennen, daß sich in kurz aufeinanderfolgenden Zeitabschnitten (10 Minuten) das Bild bereits ändern kann, weil die Quellen wechseln. Gerade für das Studium der einzelnen Quellen, ihrer Lage und ihres zeitlichen Verhaltens ist die Bearbeitung der Vektorregistrierungen gut geeignet.

Gegenüber anderen Verfahren zur Bestimmung der Herkunftsrichtungen der mikroseismischen Wellen – sofern nur *eine* Beobachtungsstation benutzt wird – hat das geschilderte Verfahren als Peilverfahren neben der Möglichkeit, das *kurzzeitliche* Verhalten der Quellen zu studieren, vor allem den Vorteil, daß es beim Vorliegen mehrerer Quellen alle Herkunftsrichtungen gleichzeitig erfassen kann. Außerdem arbeitet es schnell, denn die Auswertung dauert nur etwa doppelt so lange wie die Registrierung. Ein Nachteil des Verfahrens ist natürlich darin zu sehen, daß es ein Spezialinstrument zur Voraussetzung hat.

Über die Bearbeitung des inzwischen gewonnenen reichhaltigen Registermaterials wird zu gegebener Zeit berichtet werden.

Herrn Prof. Dr. H. Menzel sei an dieser Stelle für sein anregendes Interesse an den Arbeiten und für wertvolle Hinweise herzlichst gedankt.

## Literatur

- [ 1 ] *Longuet-Higgins, M. S.*: A theory of the origin of microseisms. *Phil. Trans. Roy. Soc. London (A)*, **243**, 1-35, 1950.
- [ 2 ] *Press, F. and Ewing, M.*: A theory of microseisms with geologic applications. *Trans. Am. Geophys. Union*, **29**, 163-174, 1948.
- [ 3 ] *Gutenberg, B.*: Channel waves in the earth's crust. *Geophysics*, Vol. XX, Nr. 2, pp. 283-294, 1955.
- [ 4 ] *Ramirez, J. E.*: An experimental investigation of the nature and origin of microseisms at St. Louis Missouri. *Bull. Seism. Soc. Am.* **30**, 35-84, 139-178, 1940.
- [ 5 ] *Lee, A. W.*: The effect of geological structure upon microseismic disturbance. *Monthl. Not. of R. A. S. Geoph. Suppl.* Vol. 3, Nr. 2, 1932.
- [ 6 ] *Menzel, H.*: Über die seismische Bodenunruhe in Norddeutschland. *Pontificiae academiae scientiarum scripta varia* No. 12, 1952. Extrait du volume "La Semaine d'étude sur la problème des Microséismes".
- [ 7 ] *Westerhausen, H.*: Über die Ortung mikroseismischer Unruheherde. *Ann. di Geofisica*, Vol. VII, Nr. 1, 71-124, 1954. — Untersuchungen über die Bodenunruhe mit Perioden von 4 bis 8 Sekunden. *Arch. Met. Geoph. u. Bioklim.* A, **8**, 4. Heft, 465-489, 1955.
- [ 8 ] *Bungers, R.*: Die Überlagerung zweier Wellen verschiedener Herkunftsrichtung. *Z. f. Geophys.*, **15**, 321-332, 1939.
- [ 9 ] *Krug, H. D.*: Ausbreitung der natürlichen Bodenunruhe nach Aufzeichnungen mit transportablen Horizontalseismographen. *Z. f. Geophys.*, **13**, 328-348, 1937.
- [10] *Trommsdorff, F.*: Untersuchungen über die natürliche Bodenunruhe (Mikroseismik) mit transportablen Dreikomponentenstationen. *Z. f. Geophys.*, **15**, 304-320, 1939.
- [11] *Ikegami, R. and Kishinouye, F.*: A study on the propagation of microseismic waves. *Bull. Earthqu. Res. Inst.* **29**, 305-312, 571-576, 1951.
- [12] *Blaik, M. and Donn, W. L.*: Microseismic ground motion at Palisades and Weston. *Pull. Seism. Soc. Am.*, **44**, No. 4, 597-612, 1954.
- [13] *Benioff, H., Gutenberg, B. and Richter, C. F.*: Progress report. *Tans. Am. Geoph. Union*, Vol. 32, Nr. 5, 1951, pp. 750-752.
- [14] *Båth, M.*: The microseismic importance of cold fronts in Scandinavia. *Arkiv för Geofysik*, Bd. 1, Nr. 12, 1951.



## Ionosphärische Beobachtungen während der totalen Sonnenfinsternis vom 30. Juni 1954 <sup>1)</sup>

Von K. Bibl und F. DelobEAU, Neuershausen b. Freiburg<sup>2)</sup>

**Abstract:** The eclipse has been observed under very favourable circumstances with a panoramic ionosonde for recording of critical frequencies and a second ionosonde for absorption work. The diminution of maximum ionisation  $N_m$  was 79% for E and 69% for F1. As to F2 the decrease was about 40% (fig. 2). The recombination law has been studied by comparison with the median variation of the control days (equ. (2) and (3)). The recombination term in the continuity equation was written  $\alpha_r \cdot N_m^n$ , the parameter  $n$  has been found by comparison with the minimum value of  $N_m$ . For E and F1 we thus found  $n = 3$ , but the conventional exponent  $n = 2$  may be right, if the effective radius of the solar disk was larger than the optical one by 2%. The recombination coefficient was appointed with different hypotheses for  $n$  by three methods: a) from the time lag  $\Delta t$  (equ. (5), b) from a comparison of a calculated screening with the optical curve, c) from the value of  $\frac{dN}{dt}$  during totality (equ. (6)). With all these methods rather high recombination values have been found. With the conventional exponent  $n=2$  we obtain  $\alpha_2$ -values of  $\geq 1 \cdot 10^{-7} \text{ cm}^3 \text{ s}^{-1}$  for E and  $\approx 3 \cdot 10^{-8} \text{ cm}^3 \text{ s}^{-1}$  for F 1.

### I. Übersicht

Die Sonnenfinsternis vom 30. Juni 1954 war in Süd-Norwegen und in Süd-Schweden total. Wir konnten in der Totalitätszone westlich der norwegischen Küste ionosphärische Messungen durchführen. Die Beobachtungsstelle lag etwas südlich von Bergen [1] (60° 19.2' Nord, 5° 15,2' Ost). Die Messungen wurden an Bord eines Schiffes der französischen Kriegsmarine durchgeführt, auf dem die Geräte eingebaut waren.

Ionogramme  $h'(f)$  wurden mit einer panoramischen Ionosonde [2] aufgenommen, die in 12 Sekunden den Frequenzbereich von 1 bis 20 MHz überstrich. Es wurde fast ohne Unterbrechung vom 26. Juni bis zum 4. Juli registriert. Außerdem wurde die ionosphärische Absorption mit Hilfe einer zweiten, langsameren Ionosonde gemessen [3].

<sup>1)</sup> Vorgetragen 1955 auf der Tagung der D. Geophysikalischen Gesellschaft in München.

<sup>2)</sup> K. Bibl und F. DelobEAU, Ionosphärenstation Neuershausen b. Freiburg i. Br.

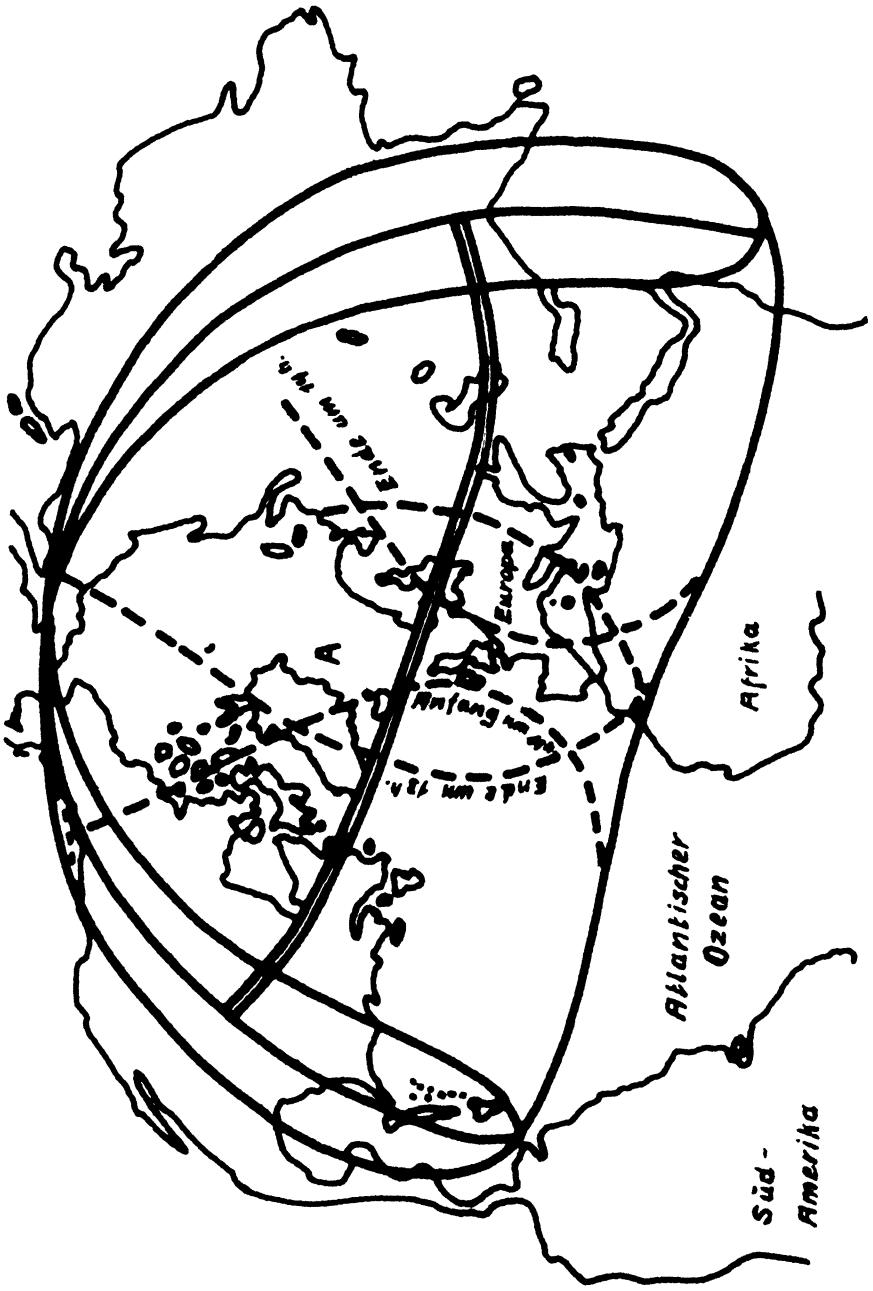


Abb. 1: Geographische Ausdehnung der Sonnenfinsternis

Die geographische Lage der Totalitätszone ist in Fig. 1 angegeben. Die Tabelle 1 gibt die Abdeckung der Sonne durch den Mond für die Höhen 0, 100, 200 und 300 km<sup>3</sup>). Am Beobachtungsort war die Finsternis in der Höhe der Ionosphärenschichten nicht ganz total, der abgedeckte Teil der Sonne betrug aber immerhin 99,9% in der E-Schicht, 98% in der F1- und 96% in der F2-Schicht. Da die Verfinsternung in der Mittagszeit lag, war die Einfall-Richtung der Sonnenstrahlung fast unverändert, die Veränderung des Zenithwinkels betrug nur 6° während der ganzen Dauer der Verfinsternung mit einem Minimum um 11<sup>h</sup>41 TU. Die Beobachtungsbedingungen waren besonders günstig, weil die Aktivität der Sonne recht gering war; tatsächlich befanden wir uns damals im Minimum des Sonnenfleckenzyklus. Die Veränderung des abgedeckten Teils der Sonnenfläche während der Verfinsternung ist in den Abb. 4 und 5 für die Schichten F1 und E angegeben.

Tabelle I

Höhe km	1. Kontakt TU	2. Kontakt TU	Maximum TU	3. Kontakt TU	4. Kontakt TU	Bedeckte Flächen im Maximum
0	11 <sup>h</sup> 19 <sup>m</sup> 3	12 <sup>h</sup> 32 <sup>m</sup> 1	12 <sup>h</sup> 33 <sup>m</sup> 4	12 <sup>h</sup> 34 <sup>m</sup> 7	13 <sup>h</sup> 45 <sup>m</sup> 5	100 %
100	11 <sup>h</sup> 18 <sup>m</sup> 9	--	12 <sup>h</sup> 33 <sup>m</sup> 3	--	13 <sup>h</sup> 45 <sup>m</sup> 7	99.9%
200	11 <sup>h</sup> 18 <sup>m</sup> 5	--	12 <sup>h</sup> 33 <sup>m</sup> 2	--	13 <sup>h</sup> 45 <sup>m</sup> 8	98.1%
300	11 <sup>h</sup> 18 <sup>m</sup> 2	--	12 <sup>h</sup> 33 <sup>m</sup> 2	--	13 <sup>h</sup> 45 <sup>m</sup> 9	95.9%

## II. Veränderung der maximalen Elektronendichte $N_m$ und der minimalen scheinbaren Höhe $h'$ in den Ionosphären-Schichten

Für die verschiedenen Schichten wurden auf den Registrierungen die kritischen Frequenzen abgelesen, aus denen sich ohne weiteres die maximale Elektronendichte  $N_m$  ergibt nach der Formel:

$$(1) \quad N_m / \text{cm}^{-3} = 1.24 \cdot 10^4 (f^\circ / \text{MHz})^2$$

<sup>3)</sup> Die Berechnungen verdanken wir Dr. T. Lederle vom Astronomischen Recheninstitut Heidelberg.

Auch die virtuelle Höhe  $h'$  wurde für alle Schichten ausgewertet.

### a) Elektronendichte

Die Abnahme von  $N_m$ , verglichen mit den Normalwerten der Vergleichs- tage, erreichte einen maximalen Wert von 78,7% für die E-Schicht, 69,1% für die F1-Schicht.

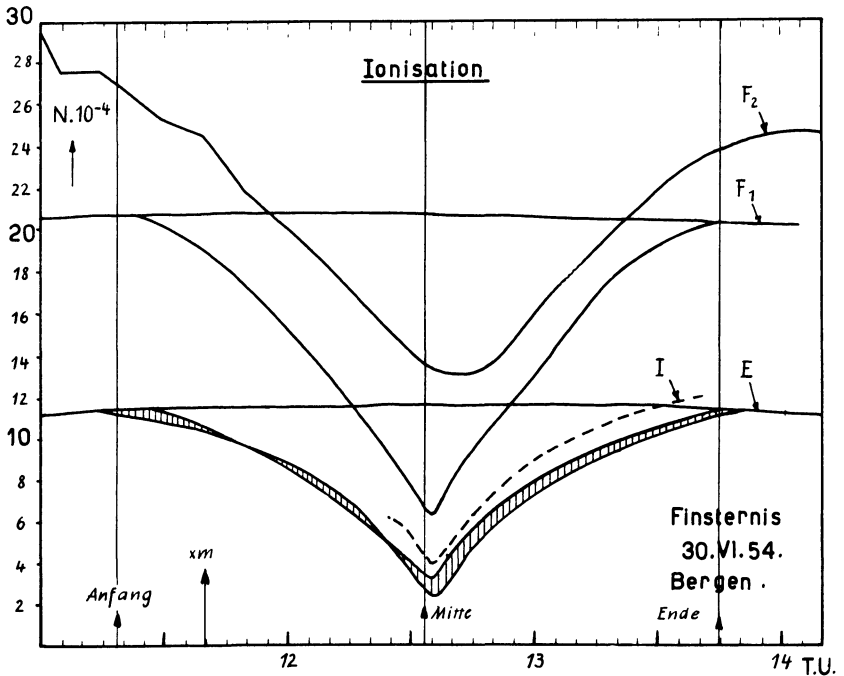


Abb. 2

Für die F 2-Schicht ist es nicht möglich gewesen, sichere Daten aus der Vergleichsperiode zu gewinnen, da die Variationen von einem Tag zum andern dazu zu stark waren. Tatsächlich war die Ionisation der F2-Schicht am 30. Juni wesentlich höher als während der anderen Tage, wenigstens bis 11 Uhr. Nach der Verfinsternung wurden die ursprünglichen Ionisationswerte nicht wieder erreicht. Wenn man als Vergleichswert den  $N_m$ -Wert der F2-Schicht am 30. 6. um 11<sup>35</sup> Uhr, also kurz nach Beginn der Verfinsternung wählt, so beträgt die maximale Abnahme 39,5%. Sie ist deutlich geringer als die für die regelmäßigeren Schichten E und F1.

Der Verlauf von  $N_m$  während der Verfinsternung ist in Abb. 2 wiedergegeben. Eine Zwischenschicht (I) zwischen E- und F1 erscheint um 1227 h.

Das ist aus Abb. 3 zu ersehen, wo die Veränderung der minimalen scheinbaren Höhen wiedergegeben ist. Da wir über sehr viele Einzelaufnahmen verfügen, konnten wir klar feststellen, daß es sich lediglich um eine transitorische Erscheinung handelte; die Höhe, die diesem Nebenmaximum der Ionisation entsprach, sank sehr rasch ab. Da derartige Erscheinungen bei Tag normal sind [4] und auch während der Vergleichstage öfters auftraten, haben wir keinen Anlaß, einen Einfluß der Verfinsternung hierin zu sehen.

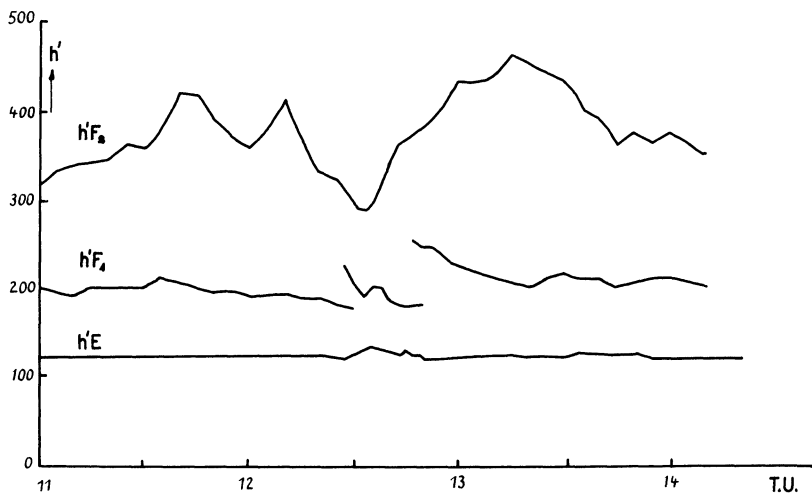


Abb. 3

Die sporadische E-Schicht wurde auch beobachtet. Die Veränderung ihrer Elektronendichte scheint auf den ersten Blick ebenfalls einen Verfinsternungseffekt zu zeigen. Bildet man jedoch die Differenz der Ionisation  $N_{ES} - N_E$ , so sieht man, daß die Zusatzionisation trotz der Sonnenfinsternis konstant bleibt. Es scheint uns wichtig, das festzuhalten.

### b) Scheinbare Höhen

Wie vorausszusehen, steigt die minimale Höhe  $h'_E$ , die der Höhe der Schichtunterseite nahezu entspricht, beim Maximum der Verdunklung der Sonne leicht an. Zum Teil ist dieses Anheben sicherlich der Tatsache zuzuschreiben, daß die kritische Frequenz  $f_oE$  sich im Lauf der Finsternis der Ablesefrequenz wesentlich näherte (unterste Frequenz des Lotungsbereichs 1 MHz). Es dürfte also ein gewisser Verzögerungseinfluß (von etwa 10 km) in den abgelesenen Höhenwerten noch vorliegen.

In der scheinbaren Höhe  $h'F_1$  erscheint eine Unstetigkeit durch die

schon erwähnte transitorische Erscheinung. Die sogenannte scheinbare Höhe der F2-Schicht ist, wie immer, stark durch die Verzögerung der F1-Schicht bestimmt, so daß die Meßwerte stark schwanken; die Verzögerung ist in unserem Fall so erheblich, weil die kritischen Frequenzen von F1- und F2-Schicht nicht weit auseinanderlagen. Gelegentlich trat sogar Abdeckung der F2-Schicht durch die F1-Schicht auf, so von 1410h bis 1450h. Im Ganzen scheint während der Hauptperiode der Verfinsternung sich ein Minimum von  $h'F_2$  einzustellen. Genaueres kann man also über F2 nicht aussagen; diese Schicht scheint in die dickere F1-Schicht eingebettet zu sein.

### III. Die Rekombination in den verschiedenen Schichten

#### a) Differentialgleichung der Ionisation

Gleichgewicht von Erzeugung und Verschwinden der Ionisation kann höchstens in den unteren Schichten E und F1 angenommen werden, die ja im allgemeinen dem Sonnenstand sehr genau folgen. Nehmen wir also die F2-Schicht aus, für die wohl ein Bewegungseinfluß in Betracht gezogen werden müßte, so können wir lokales Ionisationsgleichgewicht voraussetzen.  $N_m$  genügt dann der folgenden Gleichung

$$(2) \quad \frac{d N_m}{dt} = (1 - p) Q_0 \cos \chi - \alpha_n \cdot N_m^n$$

wobei

$1 - p$  den noch sichtbaren Teil der Sonnenfläche bezeichnet,  $\chi$  die Zenith-Distanz,  $n$  einen Exponenten, der empirisch bestimmt werden soll und  $\alpha_n$  den entsprechenden effektiven Rekombinationskoeffizienten;  $Q_0$  ist die volle Ionisierungswirkung der Sonnenstrahlung.

#### b) Bestimmung des Exponenten $n$

$n$  kann abgeschätzt werden durch Vergleich der für die Finsternis gültigen Gleichung (2) mit der Gleichgewichtsbedingung der Ionisation für die normalen Tage:

$$(3) \quad \frac{d N'_m}{dt} = Q_0 \cdot \cos \chi - \alpha_n \cdot N'_m^n$$

Im Augenblick des Ionisationsminimums während der Finsternis haben wir Gl. (2)  $\frac{d N_m}{dt} = 0$ . Andererseits ist  $\frac{d N'_m}{dt}$  in Gl. (3) in der Mittagszeit sehr klein und kann vernachlässigt werden (Abb. 2). Durch Division von (2) und (3) erhält man

$$(4) \quad 1 - p = \left( \frac{N_m}{N'_m} \right)^n$$

$1 - p$  folgt aus der astronomischen Berechnung,  $N_m$  und  $N'_m$  aus den Meßwerten der kritischen Frequenz. Wir finden so

$$n = 2.97 \text{ für die E - Schicht}$$

$$n = 2.98 \text{ für die F1-Schicht.}$$

Diese Werte sind wesentlich größer als 2, welcher Wert bei isothermer Atmosphäre theoretisch erhalten wird. Sie entsprechen nach Nicolet [5], einer nach oben ansteigenden Skalenhöhe  $H = H_0 \left( 1 + \frac{50}{T_0} z/\text{km} \right)$  wie sie sich bei einem Temperaturgradienten ergibt.

### c) Bestimmung des Rekombinationskoeffizienten $\alpha_n$

$\alpha_n$  kann auf mehrere Arten erhalten werden.

1.) Durch Bestimmung der Verzögerung  $\Delta t$  zwischen dem Maximum der optischen und der ionosphärischen Finsternis. Aus Fig. 2 ersehen wir, daß  $\Delta t$  positiv, aber sehr klein war, so daß man so sehr große  $\alpha_n$ -Werte erhalten würde. Diese Zeitdifferenz scheint von einer Finsternis zur andern sehr veränderlich zu sein. Es sind sogar negative Werte von  $\Delta t$  berichtet worden [6], was nur dadurch erklärt werden kann, daß die Verteilung der ionisierenden Strahlung auf der Sonnenscheibe unregelmäßig war. Da in unserem Falle die Sonne ausnehmend ruhig war, glauben wir trotzdem, diese Methode anwenden zu können. Näherungsweise gilt (vergl. [7])

$$(5) \quad \alpha_n = \frac{1}{n \cdot N_m^{n-1} \cdot \Delta t}$$

In unserem Falle war

$$\Delta t = 80 \text{ sec in der E - Schicht,}$$

$$\Delta t = 140 \text{ sec in der F1-Schicht.}$$

In der Tabelle II finden wir bei Annahme verschiedener  $n$ -Werte, die entsprechende  $\alpha_n$ -Werte für die E- und F1-Schicht angegeben.

Tabelle II

Schicht	$n$	$\alpha_n$
E	$5/2$	$5,2 \cdot 10^{-10} \text{ cm}^{+9/2} \text{ s}^{-1}$
	2	$2,6 \cdot 10^{-7} \text{ cm}^{+3} \text{ s}^{-1}$
	$3/2$	$5,2 \cdot 10^{-5} \text{ cm}^{+3/2} \text{ s}^{-1}$
F1	$5/2$	$1,7 \cdot 10^{-10} \text{ cm}^{+9/2} \text{ s}^{-1}$
	2	$5,5 \cdot 10^{-8} \text{ cm}^{+3} \text{ s}^{-1}$
	1	$7 \cdot 10^{-3} \text{ s}^{-1}$

Die von uns gefundenen  $\alpha_n$ -Werte sind alle erheblich höher als die bisher allgemein angenommenen von früheren Finsternis-Beobachtungen oder gar die aus theoretischen Arbeiten erhaltenen.

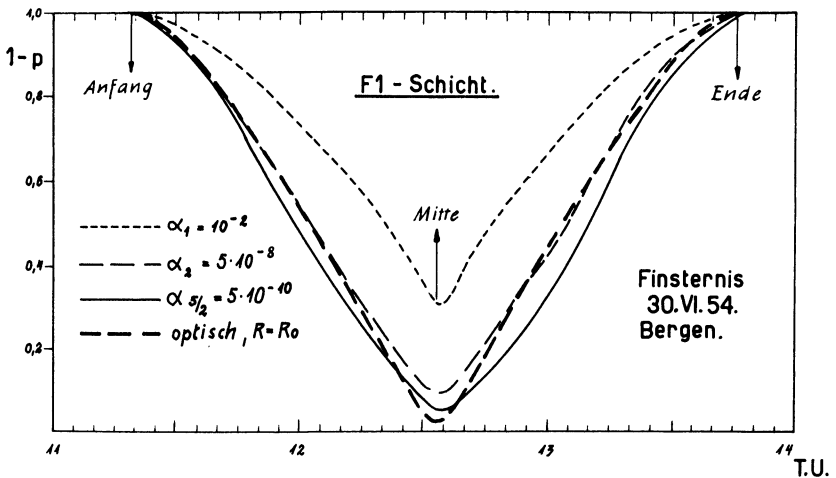


Abb. 4 a



2.) Eine andere Möglichkeit zur Bestimmung geht von Gleichung (2) aus, in der  $(1-p)$  als Unbekannte angesetzt wird; alle anderen Größen sind gemessen oder berechnet, mit Ausnahme des Parameters  $n$ , für den verschiedene Ansätze ausprobiert werden. Vergleicht man die so erhaltene "experimentelle" Funktion  $(1-p)$  mit der optischen Verfinsterungskurve, so kann man durch Parameter-Vergleich  $\alpha_n$  bestimmen;  $\alpha_n$  ergibt sich aus der "experimentellen" Kurve, die der optischen am nächsten kommt. Für  $\alpha_n$  wurden Werte nahe den in Tabelle II angesetzten benutzt, die entsprechenden  $(1-p)$  Kurven finden sich in Abb. 4a und 5. Die aus den Ionosphären Daten berechneten (dünnen) Kurven sind so glatt, daß man die Existenz konzentrierter Strahlungsquellen auf der Sonne ausschließen kann. In dieser Beziehung ist die vorliegende Finsternis wesentlich günstiger, als die meisten früher beobachteten. Eine klare Koinzidenz zwischen einer berechneten und der optischen Kurve besteht nicht. Nimmt man jedoch einen gegen den optischen Fall ( $R_0$ ) leicht vergrößerten effektiven Radius  $R$  der Sonnenscheibe an, so kann man befriedigende Übereinstimmung erhalten. Das ist in Abb. 4b geschehen. Die optische Kurve mit um 2% vergrößertem Radius

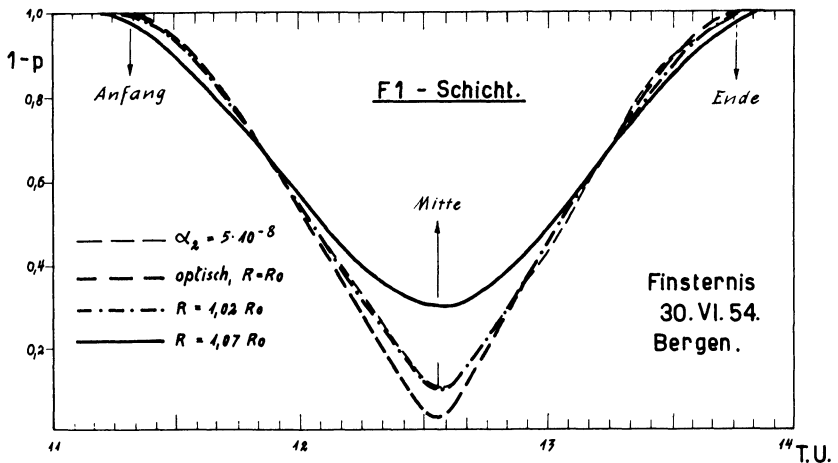


Abb. 4b

stimmt sehr gut mit der experimentellen mit  $n = 2$  überein (vielleicht wurde  $\alpha_2$  ein wenig zu groß gewählt). Die mit  $n = 2$  berechnete Kurve (Abb. 4a), die dem Fall des Verschwindens der Ionisierung durch Anlagerung entspricht, ist sehr weit von der Vergleichskurve entfernt.

Wir erhalten mit dieser Methode eine untere Abschätzung für die  $\alpha_n$ -Werte. Mit kleinerem  $\alpha_n$  würden die berechneten Kurven in der Nähe der größten Verfinsterung stark verformt werden; in diesem Fall würde der Term

der Rekombination  $\alpha_n N_m^n$  von Gleichung (2) zu klein verglichen mit dem Term  $\frac{d N_m}{dt}$ , der in der Nähe der größten Abdeckung sehr rasch variiert.

Wir kommen so zu ähnlichen Schätzwerten für  $\alpha_n$ , wie sie in der Tabelle II angegeben wurden. Aus der Abbildung ergibt sich ferner, daß die wirksame Abdeckung der Sonne augenscheinlich immer geringer war als die optische; dieses Verhalten legt die Vorstellung nahe, daß die aktive Sonnenscheibe entweder größer als die optische ist, oder aber eine Randaufhellung besteht. Eine Vergrößerung der wirksamen Sonnenscheibe müßte sich eigentlich in einem Finsterniseinfluß auswirken, der vor dem ersten Kontakt beginnen und nach dem vierten Kontakt enden würde. Allerdings ist der Beginn eines Verfinstereffektes schwer zu bestimmen. Es müßten dazu die Ablesungen der kritischen Frequenzen genauer durchgeführt werden können, als es unsere Ergebnisse erlaubten, die eine Ablesegenauigkeit von 1 bis 2% haben. Außerdem hängt der Verlauf erheblich vom Rekombinationsgesetz ab. Immerhin könnte man in Abb. 5 eine gewisse Verfrühung des ionosphärischen

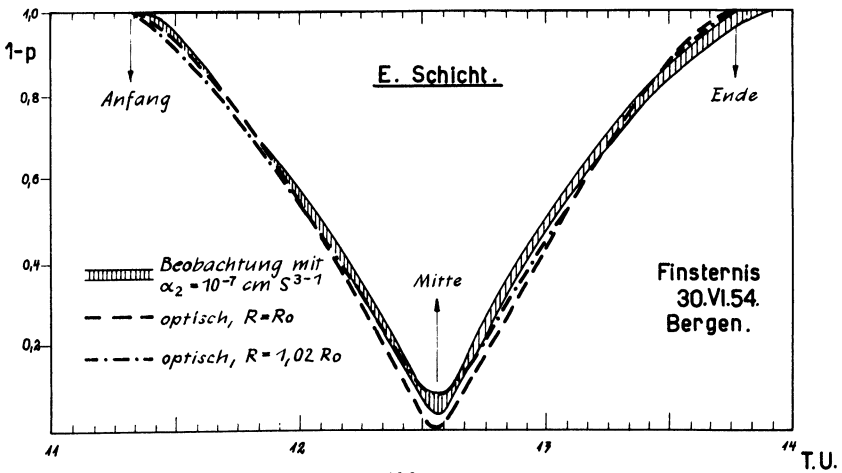


Abb. 5

Effekts im Vergleich zum optischen angedeutet sehen. Leider konnte die kritische Frequenz  $foE$  nicht so genau gemessen werden, wie es bei der F1-Schicht der Fall war, die immer recht deutlich von der F2-Schicht getrennt auftrat. Meist war sporadische Es-Ionisierung da, die gelegentlich sogar abdeckte und dadurch die Ablesung von  $foE$  erschwerte; das war vor allem in der zweiten Hälfte der Verfinstderung der Fall. Ganz klare  $foE$  Messungen während der ganzen Dauer einer Finsternis werden wohl nur in den seltensten Fällen erhalten. Wir haben in Abb. 5 den Streubereich der Meßwerte zweier verschiedener Auswerter eingetragen. Die Ablesungen am Ende

der Verfinsterung sind durch Abdeckung beeinflusst und deshalb unsicherer.

Schließlich muß noch auf die Möglichkeit aufmerksam gemacht werden, daß überhaupt kein einheitliches Rekombinationsgesetz während der Verfinsterung besteht. Es könnte sein, daß mit der Zunahme der Verfinsterung der Rekombinationsmechanismus sich derartig verändert, daß  $n$  effektiv nach der Mitte der Verfinsterung zu ansteigt.

3.) Im Maximum der optischen Finsternis ist der Term  $(1 - p) \cdot Q \cos \chi$  in Gleichung (2) sehr klein. Dann gilt

$$(6) \quad \alpha_n \geq - \frac{dN}{dt} / N_m^n ,$$

woraus wieder eine untere Grenze für  $\alpha_n$  abgeschätzt werden kann. Auch hier sind die in Tabelle III angegebenen Werte relativ hoch.

Tabelle III

Schicht	$n$	$\alpha_n$
E	5/2	$2,7 \cdot 10^{-10} \text{ cm}^{+9/2} \text{ s}^{-1}$
	2	$4,4 \cdot 10^{-8} \text{ cm}^{+3} \text{ s}^{-1}$
	3/2	$0,7 \cdot 10^{-5} \text{ cm}^{+3/2} \text{ s}^{-1}$
F1	5/2	$0,5 \cdot 10^{-10} \text{ cm}^{+9/2} \text{ s}^{-1}$
	2	$1,1 \cdot 10^{-8} \text{ cm}^{+3} \text{ s}^{-1}$
	1	-----

#### IV. Absorption

Zur Messung des Absorptionsdekremets beim Durchdringen der D-Schicht ist nach der üblichen Methode die Echoamplitude in regelmäßigen Zeitabschnitten bestimmt worden. Wir haben auf vier Frequenzen, nämlich

1,43, 2,09, 2,87 und 4,18 MHz beobachtet. Die Ionosonde verblieb auf jeder dieser Frequenzen jeweils 75 Sekunden, was 7 Amplitudenableesungen der gerade vorhandenen Echos erlaubt [8]. Deren Zentralwert wurde dann als repräsentativ für die Meßperiode angesetzt. Auf diese Weise hat man für jede Frequenz alle 5 Minuten einen Meßwert, was knapp ausreichend erscheint.

Mit Hilfe der logarithmischen Empfindlichkeitskurve des Empfängers wurden die Amplituden in Eingangsspannung umgerechnet. Danach kann aus den Amplituden das Absorptions-Dekrement in üblicher Weise bestimmt werden. Man erwartet einen Rückgang der Absorption während der Verfinsternung. Dieser wurde zwar während der stärksten Abdeckung der Sonnenscheibe beobachtet, jedoch folgen die Kurven des Absorptionsdekrements durchaus nicht der optischen Kurve. Das liegt sicher daran, daß auf manchen Frequenzen die selektive Absorption in der E-Schicht während der Finsternis zunächst zunimmt (wenn nämlich dabei  $f_{oE}$  sich der betr. Frequenz nähert) [9]. Dadurch wird die Auswertung und Interpretation der gemessenen Absorptions-Dekremente kompliziert, sie sei einer anderen Veröffentlichung vorbehalten.

## V. Zusammenfassung und Diskussion der Ergebnisse

Die in Bergen beobachtete Sonnenfinsternis vom 30. Juni 1954 war in mehrfacher Hinsicht besonders günstig.

1. Die Sonne hatte keine wesentliche Aktivität.
2. Die F2-Schicht war sehr schwach ionisiert, so daß die kritische Frequenz der F1-Schicht einwandfrei abgelesen werden konnte.
3. Die E-Schicht war nur wenig abgedeckt, so daß bei der raschen Folge der Beobachtungen (5 Bilder in der Minute) die kritische Frequenz und deren Minimum ziemlich genau festgestellt werden konnten.
4. Die Finsternis fand fast genau am örtlichen Mittag statt.

Die wesentlichen Ergebnisse sind:

A) Die geringen Unsymmetrien der Flanken des Ionisationsverlaufs sind nur zu erklären, wenn man für die F1-Schicht ein  $\alpha_2 \approx 3 \cdot 10^{-8}$  [cm<sup>3</sup> sec<sup>-1</sup>] für die E-Schicht ein  $\alpha_2 \geq 1 \cdot 10^{-7}$  [cm<sup>3</sup> sec<sup>-1</sup>] annimmt. Dies ist in Übereinstimmung mit der geringen Verschiebung des Minimums von 1,5 bis 2 min für die F1-Schicht und 1 bis 1,5 min für die E-Schicht.

B) Der hohe Wert der Rest-Ionisation: 31% für die F1-Schicht bei einer nicht abgedeckten Sonnenfläche von nur 3% und 22 bis 26% für die E-Schicht bei einer nicht beschatteten Sonnenfläche von weniger als 1%, kann am

einfachsten dadurch erklärt werden, daß für die ionisierende Strahlung eine Sonnenscheibe angenommen wird, die einen um 2% größeren effektiven Radius hat als der optische ist. Es ist kaum möglich, im Rekombinationsgesetz einen Exponenten wesentlich über 2 anzunehmen, da sonst die Flanken des Ionisationsverlaufs während der Verfinsterung nicht reproduziert werden können. Andererseits scheint es nicht möglich, die wirksame Sonnenfläche so groß anzunehmen, daß eine von manchen Beobachtern behauptete Verbreiterung der Anfangs- und Endphase verifiziert werden konnte.

C) Die in A) und B) herausgestellten Ergebnisse: hohes  $\alpha$  und um 8% vergrößerte wirksame Sonnenfläche erklären zwanglos die meisten Phänomene anderer komplizierterer Sonnenfinsternisse, insbesondere der von *Minnis* [10] und anderen [11] [6] bearbeiteten Sonnenfinsternis vom 25. 2. 1952. Eine gewisse Unsymmetrie dieser Finsternis kann wohl aus einer der Sonnenaktivität erklärt werden; doch die hohe Rest-Ionisation und die geringe Minimumverschiebung sind auch dort dieselben wie im vorliegenden Fall.

D) Es ist kaum möglich, die hohe Rest-Ionisation durch eine wesentliche Variation von  $\alpha$  während der Verfinsterung zu erklären, da z. B. bei halber Abschattung das  $\alpha$  noch dem ungestörten entspricht, wie sich aus dem Vergleich der beiden Flanken des Ionisations-Verlaufs ergibt.

Wir glauben also mit *Piddington* [12], daß der Rekombinationskoeffizient  $\alpha_2$  im quadratischen Rekombinationsgesetz erheblich größer ist, als der von den meisten Autoren verwendete Wert. Wenn auch die Genauigkeit solcher Bestimmungen beschränkt ist, so scheinen uns doch die bisher üblichen Werte um etwa eine Dekade zu niedrig.

## Literatur

- [ 1] *Bibl, K. und Delobeaue, F.:* Comptes Rendus Paris 239 (1954), 1658-1660.
- [ 2] *Bibl, K.:* Ann. de Géophysique 7 (1951), 265-267.
- [ 3] *Harnischmacher, E.:* Ann. de Géophysique 7 (1951), 262-264.
- [ 4] *Bibl, K.:* ZS Geophysik (1953), 136-141.
- [ 5] *Nicolet, M.:* Journ. Atm. Terr. Phys. 1 (1951), 141-146.
- [ 6] *Mériaux, P. und Rawer, K.:* Ann. de Géophysique 10 (1954), 9-18
- [ 7] *Appleton, E. V.:* Journ. Atm. Terr. Phys. 3 (1953), 282.
- [ 8] *Rawer, K.:* Journ. Atm. Terr. Phys. 2 (1951), 38-50.
- [ 9] *Busch, R. und Rawer, K.:* Ann. de Géophysique (1955) (im Druck).
- [10] *Minnis, C. M.:* Journ. Atm. Terr. Phys. 6 (1955), 91-112.
- [11] *Delobeaue, F.:* Ann. de Géophysique 9 (1953), 317-324.  
*Redman, R. O.:* Nature 169 (1952), 686-688.  
*Estrabaud, S.:* Comptes Rendus Paris 235 (1952), 1521-1523; 236 (1953), 833-835.  
*Piggot, W. R.:* Mixed Comm. Ionosphere Brüssel (1952), 42-50.
- [12] *Piddington, J. H.:* Journ. Geophys. Res. 56 (1951), 409-429.



### In Memoriam Dr. Friedrich Trappe

Anläßlich des 3. Mai 1955, seines zehnjährigen Todestages, gedenken wir in den Kreisen der Angewandten Geophysik eines lieben Kollegen, der als Schüler von Geheimrat *Wiechert*, als Mitarbeiter zunächst des Gründers der SEISMOS G.m.b.H., Professor *Mintrop*, und später der PRAKLA Gesellschaft für praktische Lagerstättenforschung G.m.b.H. zu den bedeutendsten praktischen Geophysikern gehört.

Bei den durch den Einmarsch der Russen und Polen in Berlin verursachten Wirren endete das Leben des zu den größten Hoffnungen berechtigenden Wissenschaftlers und Praktikers Dr. *Friedrich Trappe* am 3. Mai 1945 auf eine besonders tragische Weise. Bei einer Beschießung seines Hauses in Falkensee bei Berlin durch polnische Panzer versuchte Dr. *Trappe* die Polen zur Einstellung der Kampfhandlungen zu bewegen. Dabei wurde er durch einen Schuß in die Stirn getötet.

*Trappes* Tod bedeutet einen unersetzlichen Verlust für die Angewandte Geophysik.

Am 30. November 1899 in Bremen geboren, verlebte *Friedrich Trappe* vor dem 1. Weltkrieg seine Jugend in ruhigen, gesicherten Verhältnissen. Schon während seiner Schulzeit lagen seine Interessen auf mathematischem und physikalischem Gebiet.

Als Primaner wurde er im Jahre 1917 zum Heeresdienst eingezogen und geriet noch in demselben Jahre in englische Gefangenschaft. Im Gefangenenlager nutzte er eifrig jede sich bietende Gelegenheit, seine englischen Sprachkenntnisse zu vervollkommen.

Nach Rückkehr aus England wandte sich der nunmehr 20-jährige im Jahre 1919 zunächst dem Studium der Zahnheilkunde in Münster zu. Dieses Studium befriedigte ihn jedoch nicht. Seiner Vorliebe für Mathematik und Physik folgend, widmete sich *Trappe* vom Jahre 1920 ab an der Universität Göttingen dem Studium dieser Fächer.

Während seiner Studienzeit begann der Rundfunk seinen Siegeszug und weckte *Trappes* Interesse an diesem technischen Wissensgebiet in hohem Maße. Er verfaßte mehrere wissenschaftliche Aufsätze, die in einer Radiozeitschrift veröffentlicht wurden.

Als junger Student trat er der Mathematischen Verbindung in Göttingen bei. Hier hatte er Gelegenheit, in den allwöchentlich einmal stattfindenden wissenschaftlichen Vortrags- und Diskussionsabenden seine rednerische Begabung zu schulen. Seine klare Vortragsweise verschaffte ihm viel Beifall.

Von wesentlichem Einfluß auf seine spätere berufliche Tätigkeit war *Trappes* Entschluß, als ein besonderes Studienfach Geophysik bei Geheimrat *Wiechert* zu wählen. Nach seiner Promotion mit einer Dissertation über "Rotationsmagnetismus" trat er zu Beginn des Jahres 1925 in die Firma SEISMOS in Hannover ein, die zu dieser Zeit bereits im In- und Ausland große Erfolge zu verzeichnen hatte. Im Herbst 1925 nahm er an der 2. Übersee-Expedition nach Mexico teil. Der von ihm geführte refraktionsseismische Meßtrupp wurde im Gebiet von Topila im mexikanischen Urwald der "tierra caliente" am Golf von Mexico angesetzt. *Trappes* Untersuchungen lieferten gute Aufschlüsse in diesem Gebiet. Bereits im Jahre 1926 machte er Verbesserungsvorschläge für Apparaturen und Arbeitsmethoden und entwickelte einen Plan, durch den allmählichen Übergang von den mechanisch registrierenden *Mintrop*-Pendeln zu elektrisch registrierenden Geophonen auch Reflexionen einwandfrei zu messen. Damals war jedoch die Zeit noch nicht reif für die Verwirklichung dieser fortschrittlichen Ideen.

Im Jahre 1927 wurde *Trappe* beauftragt, die in Texas und Louisiana arbeitenden Seismos-Trupps bei der Suche nach Salzdomen zu unterstützen. Ein von ihm konstruierter elektrisch registrierender Unterwasser-Seismograph hat sich in dem außerordentlich schwer zugänglichen Sumpfgebiet in Louisiana hervorragend bewährt. *Trappe* besaß ein bewundernswert gutes Organisationstalent, das ihm bei den schwierigen Messungen in den ausgedehnten Salzdomgebieten von Texas und Louisiana und vor allem bei dem aufreibenden Tempo, mit dem die Suche nach neuen Erdölfeldern durchgeführt werden mußte, sehr zustatten kam.

So wurde *Trappe* schon sehr bald zum "Obertruppführer" bestimmt, und es waren ihm in dieser Eigenschaft bis zu 20 seismische Meßtrupps unterstellt. Er ist sehr wesentlich an den Aufsehen erregenden Erfolgen der praktischen Seismik in den Jahren 1927 bis 1930 in den USA beteiligt. Aus diesen Jahren stammen auch viele weitere Verbesserungsvorschläge auf instrumentellem Gebiet.

Außer seinen anerkannten wissenschaftlichen Kenntnissen besaß *Trappe* auch eine erstaunliche Sprachbegabung. Bei den Verhandlungen mit den Auftraggebern und bei der Abfassung der Berichte über die seismischen Meßergebnisse kam *Trappe* die einwandfreie Beherrschung der englischen Sprache, die er sich als Dolmetscher in englischer Kriegsgefangenschaft angeeignet hatte, sehr zustatten. Ebenso bemerkenswert waren die raschen Fortschritte, die er im Spanischen machte, als er gezwungen war, mit seinen mexikanischen Mitarbeitern in dieser Sprache zu verhandeln.

Die mehr und mehr sich durchsetzende amerikanische Konkurrenz in der Angewandten Geophysik hatte zur Folge, daß die deutschen Meßtrupps in wachsendem Maße aus ihren Positionen verdrängt wurden. *Trappe* hatte diese Entwicklung kommen sehen und immer wieder darauf aufmerksam gemacht, daß eine stetige Weiterentwicklung der Methoden und Instrumente unerläßlich sei, wenn nicht die



deutsche Geophysik ihren führenden Platz verlieren sollte. Er hat leider nicht frühzeitig genug die Möglichkeit bekommen, um seine Pläne zu verwirklichen.

So mußte *Trappe* als einer der letzten deutschen Geophysiker etwa Ende 1930 die USA verlassen, und war in den nun folgenden kritischen Zeiten vorübergehend sogar genötigt, sich an der Bergakademie Clausthal in der Angewandten Mathematik für etwa ein Jahr als Assistent zu betätigen.

Diese Zeit der erzwungenen Ruhe benutzte *Trappe*, um neue Pläne für den weiteren Ausbau der Angewandten Geophysik, insbesondere der Seismik, aufzustellen. Er hatte aufgrund eigener Erfahrungen schon sehr frühzeitig erkannt, daß zur Aufzeichnung seismischer Reflexionen, aber auch in der Refraktions-Methode, das bisher immer noch geübte System des magnetisch-optisch registrierenden Einzelseismographen unbedingt verlassen werden mußte, und zwar zu Gunsten der Zentralregistrierung einer größeren Zahl elektrischer Geophone auf einem Filmstreifen.

Dieses Prinzip fand *Trappe* bei einer Studienreise in die USA, zu der ihn die SEISMOS 1934 entsandte, in weitestem Umfange verwirklicht.

Im Anschluß an diese Studienreise gelang es dann *Trappe* endlich, die zum Bau von Reflexions-Apparaturen notwendigen Mittel und Mitarbeiter zu erhalten, und noch im Jahre 1934 erschien die erste Reflexions-Apparatur der SEISMOS auf dem deutschen Markt. Wenn es auch noch manche Schwierigkeiten gegeben hat, bis die Reflexions-Methode sich zuerst im Erdölbergbau, dann aber — auch dieses dank *Trappes* Initiative — auch im Kohlenbergbau durchgesetzt hatte, so ist es doch immer in diesen Pionierzeiten *Friedrich Trappe* gewesen, der guten Rat wußte, und der aus Sachkenntnis und begründetem Selbstvertrauen den ruhigen Optimismus zu schöpfen wußte, um Firmenleitung und Mitarbeiter zum Ausharren zu gewinnen. Wenn es heute eine deutsche Reflexionsseismik gibt, so ist dieses *Friedrich Trappe* zu danken.

Der in den folgenden Jahren sich abzeichnende allgemeine Wirtschaftsaufschwung hatte in Deutschland ein Anwachsen des Bedarfs an geophysikalischen Aufschlußmessungen zur Folge, insbesondere als seit 1937 die geophysikalische Reichsaufnahme eine große Zahl von Meßtrupps für einen langen Zeitraum beanspruchte.

Zur Lösung der anfallenden Aufgaben erwies sich die Gründung einer zweiten deutschen geophysikalischen Meßfirma neben der seit dem 4. April 1921 bestehenden SEISMOS G.m.b.H., Hannover, als notwendig. Am 23. März 1937 wurde daher die PRAKLA Gesellschaft für praktische Lagerstättenforschung G.m.b.H. in Berlin gegründet, und es gelang deren Leiter, *B. Brockamp*, für den Ausbau der seismischen Abteilung und als Geschäftsführer *Friedrich Trappe* zu gewinnen. *Trappe* hat der PRAKLA vom 1.5.1938 bis zu seinem Tode angehört; er hat in diesen 7 Jahren angespannter Arbeit unter schwierigen, zuletzt kriegsmäßigen, Bedingungen seine reiche wissenschaftliche und praktische Erfahrung, seine Kunst der Menschenbehandlung dem jungen Unternehmen zur Verfügung gestellt, und es ist im wesentlichen sein Verdienst, daß nach verhältnismäßig kurzer Zeit schon beide deutschen geophysikalischen Firmen gleichrangig nebeneinander standen.

Wie schon erwähnt, war *Friedrich Trappe* in Kollegen- und Freundeskreisen überaus beliebt und geschätzt wegen seines aufrichtigen und verbindlichen Wesens und seiner humorvollen, geselligen Art, Unterhaltung zu führen. Er und seine Gattin lebten in einer harmonischen, glücklichen Ehe und sorgten in rührender

Weise für ihre drei Kinder. Während die beiden jüngeren Kinder, *Hanna* und *Hans-Joachim*, bereits im Februar 1945 bei Verwandten in Gifhorn in Sicherheit gebracht werden konnten, teilte *Friedrich-Wilhelm* der älteste Sohn, das tragische Schicksal seiner Eltern.

Die Geophysik hat einen ihrer besten und bedeutendsten Forscher verloren, dem es nicht mehr vergönnt war, seine weiteren Pläne zum Nutzen der Erdölindustrie und des Steinkohlenbergbaus zu verwirklichen. Alle, die mit dem Menschen *Friedrich Trappe* zusammen sein und zusammen arbeiten durften, verloren in ihm einen vornehmen, hilfsbereiten und liebenswerten Kollegen und einen guten Freund. Seine Bundesbrüder, seine Mitarbeiter aus der Pionierzeit der SEISMOS, alle Angehörigen der PRAKLA, sowie die Geophysiker des In- und Auslandes, die ihn während seiner Tätigkeit kennengelernt haben, werden ihm stets ein dankbares und ehrenvolles Andenken bewahren.

Otto Geußenhainer

### Verzeichnis der Publikationen von Dr. Friedrich Trappe

- [1] *Trappe, Fr.*: Die Anwendungen des seismischen Reflexionsverfahrens im Kohlenbergbau. Glückauf 71 (1935) S. 577-582
- [2] *Trappe, Fr.*: Neuere Anwendungen des seismischen Verfahrens der Lagerstättenforschung. Öl u. Kohle 32 (1936) S. 384-387
- [3] *Trappe, Fr.*: Die Anwendung der seismischen Reflexionsmethode in Deutschland. Öl u. Kohle 32 (1936) S. 901-904
- [4] *Trappe, Fr.* u. *Zettel, W.*: Elektrischer Seismograph für Schürfzwecke bzw. Bodenuntersuchungen. DRP. Nr. 705 257, Kl. 42c, Gruppe 42-vom 27. 6. 1936
- [5] *Trappe, Fr.*: Beiträge zur Anwendung der Reflexionsmethode in Deutschland. Öl u. Kohle 33 (1937) S. 757-758
- [6] *Trappe, Fr.*: Beiträge zur Kenntnis der Reflexionsmethode in Deutschland. II<sup>e</sup> Congrès Mondial du Pétrole Paris Juni 1937
- [7] *Trappe, Fr.* u. *Ruprecht, L.*: Die Anwendung der seismischen Reflexionsmethode zur Untersuchung von Salzstöcken im Harzvorland. Ztschr. für Geophysik 15 (1939) S. 37-40
- [8] *Trappe, Fr.* u. *Zettel, W.*: Ein neuartiger elektrischer Feldseismograph. Beiträge zur Angewandten Geophysik Bd. 10, Heft 3/4, S. 257-264 (1943)



### In memoriam Dr. phil. Hubert Lückerath

Am 12. April 1954 verschied nach langem, schwerem Leiden der Geschäftsführer der Seismos G.m.b.H., Dr. phil. *Hubert Lückerath*, Mitglied der Deutschen Geophysikalischen Gesellschaft, im Alter von 58 Jahren.

*Hubert Lückerath* wurde am 31. Januar 1896 in Köln geboren und bestand daselbst 1915 die Reifeprüfung am Apostelgymnasium. Nach dem Studium der Physik an den Universitäten Köln und Bonn von 1916 bis 1921 promovierte er bei Professor *Rink* in Bonn zum Dr. phil. Dr. *Lückerath* begann seine praktische Tätigkeit anschließend bei der "Erda" in Göttingen, zu einer Zeit, als die angewandte Geophysik noch in ihren ersten Anfängen stand. Während dieser Jahre arbeitete er auf dem Gebiete der Geoelektrik und der Magnetik in Deutschland, Rumänien und Italien. Mit der Übernahme der "Erda" durch die Seismos G.m.b.H. im Jahre 1925 trat Dr. *Lückerath* in die Dienste dieser Gesellschaft über. Er machte sich schnell mit der von *Mintrop* entwickelten und zu großen Erfolgen geführten seismischen Methode vertraut und nahm an einer Reihe von Explorationsaufträgen in verschiedenen Gebieten der Vereinigten Staaten von Nordamerika teil.

Als die Seismos sich in verstärktem Maße der Reflexionsseismik zuwandte, war Dr. *Lückerath* gemeinsam mit Dr. *Trappe* an der Entwicklung auf diesem Gebiete maßgeblich beteiligt. 1933 wurde ihm die Leitung des ersten deutschen reflexionsseismischen Meßtrupps anvertraut. Die ihm hier gestellte Aufgabe, gestaltend in der apparatetechnischen Entwicklung und in der Vervollkommnung der Feldpraxis mitzuwirken, gab ihm Gelegenheit, seine wissenschaftlich-technischen Fähigkeiten und seine organisatorische Begabung voll zu entfalten. Nachdem *Lückerath* mit gutem Erfolg eine Reihe umfangreicher reflexionsseismischer Untersuchungen in der hannoverschen Ölprovinz durchgeführt hatte, wurde er mit Aufträgen in den Kohlenrevieren Aachens, der Ruhr und in den Niederlanden betraut. Mit diesen Arbeiten, die zum Teil wissenschaftliches Neuland in Angriff nahmen, konnte *Lückerath* durch seine Befähigung und seine Gewissenhaftigkeit das Vertrauen der Auftraggeber in die Geophysik gewinnen.

So war es nur natürlich, daß er 1938 nach dem Ausscheiden Dr. *Trappes* mit der Leitung der reflexionsseismischen Abteilung der Seismos betraut wurde. Von der überlegenen Leistungsfähigkeit der reflexionsseismischen Methode selbst fest überzeugt, widmete Dr. *Lückerath* seine ganze Kraft dem Ausbau seiner Abteilung. Er führte sie mit Zähigkeit durch die Erschwernisse des zweiten Weltkrieges hindurch und erweckte sie nach dem Zusammenbruch unter Hintanstellung privater Bedürfnisse zu neuem Leben. 1949 zum Geschäftsführer der Seismos bestellt, richtete Dr. *Lückerath* eine Entwicklungsabteilung ein, um unter starker persönlicher Einflußnahme die apparative Überlegenheit, die durch die Kriegsumstände in der Neuen Welt erzielt werden konnte, wieder wett zu machen. Dabei richtete er sein besonderes Augenmerk auf die Vervollkommnung der Geophone, Filter und Amplitudenregelung. Der nächste Schritt war dann die stufenweise Verkleinerung der Meßapparaturen, angefangen von den Meßschleifen. Ausgehend von dem Gedanken, daß man nur in Ausnahmefällen eine Meßapparatur im Gelände tragen müsse, schuf er eine leichte, in einem Volkswagentransporter untergebrachte und für den Bedarfsfall schnell herausnehmbare Seismos-Apparatur.

Mit der gleichen Sorgfalt und peinlichen Gründlichkeit widmete sich Dr. *Lückerath* der wissenschaftlichen Berichterstattung.

Anfang 1951 konnte er nach der langen Unterbrechung durch den Krieg den ersten Meßtrupp wieder ins Ausland nach Frankreich schicken, dem weitere folgten. Die seismischen Arbeiten blieben aber nicht auf die Erdölsuche beschränkt, es folgten Aufträge für den Erzbergbau im Siegerland und im Harz, für Kali im Elsaß und Kohle in Belgien.

Obwohl Dr. *Lückerath* den Keim seiner Krankheit schon länger in sich trug, schonte er sich nicht. Bis auf wenige Tage vor seinem Tode hielt er die Leitung der Seismos, der er das Gepräge nach dem Wiederaufbau gegeben hatte, in seiner Hand und trug sich noch mit Plänen für die Zukunft. Leider war es ihm nicht mehr vergönnt, den Neubau des Verwaltungsgebäudes, dessen Gestaltung er noch weitgehend bestimmte, selbst einzuweihen.

Eine große Trauergemeinde auf dem Engesohder Friedhof in Hannover legte Zeugnis ab für den Verlust eines Mannes, der des Vertrauens und der Anhänglichkeit seiner Mitarbeiter sicher sein durfte und der als Pionier der angewandten Geophysik Achtung und Anerkennung in der wissenschaftlichen Welt und der Industrie genoß.

Dr. *Lückerath* war, außer in der Deutschen Geophysikalischen Gesellschaft,

Mitglied der Deutschen Geologischen Gesellschaft, der European Association of Exploration Geophysicists und der Society of Exploration Geophysicists.

Dr. *Hubert Lückcrath* war verheiratet mit Frau *Elisabeth*, geb. *Grimme*, mit der er in sehr glücklicher Ehe gelebt hatte. Er hinterließ drei zum Teil noch unversorgte Kinder. Neben seiner unerschütterlichen Pflichttreue kannte er nur die Liebe zu seiner Familie und der Kunst, insbesondere der Musik. Während seiner Ausbildung trieb er Musikstudien und war ein begeisterter Geigenspieler. Er wirkte nicht nur in Orchestern mit, sondern übernahm auch gelegentlich ihre Leitung. Bis zuletzt war ihm die wohlthuendste Entspannung der Besuch eines guten Konzerts.

In seinem Wesen lag sehr viel Güte und ein weises Verstehen für die kleinen menschlichen Schwächen, worin sein sonst versteckter rheinischer Humor sich widerspiegelte. Dazu die Festigkeit seines Charakters und Willens, sein Fleiß und sein beneidenswert gutes Gedächtnis, gepaart mit einem sicheren Blick für das Wesentliche, verliehen ihm eine natürliche Autorität. In einer klugen Ausgewogenheit zwischen dem *laissez faire* und beharrlichem Verfolgen klarer Ziele lag das Geheimnis seiner Führung.

Ein ehrendes Gedenken dem Wissenschaftler und Menschen *Hubert Lückcrath!*

Hans Albert Rühmkorf



**P**RAKLA HANNOVER verfügt über

**R**EICHE ERFAHRUNGEN MIT MODERNSTEN APPARATUREN -

**A**USWERTUNG NACH NEUESTEN WISSENSCHAFTLICHEN ERKENNTNISSEN und

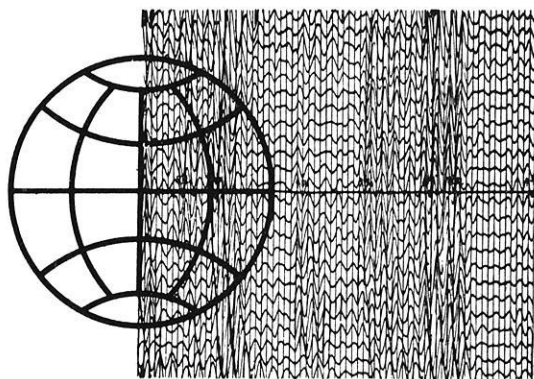
**K**LÄRUNG SCHWIERIGER PROBLEME ermöglicht

**L**OKALISIERUNG VON ÖL, GAS, ERZ UND WASSER durch

**A**LLERLEI GEOPHYSIKALISCHEN METHODEN

30 TRUPPS IN

AMERIKA  
AFRIKA  
ASIEN  
EUROPA

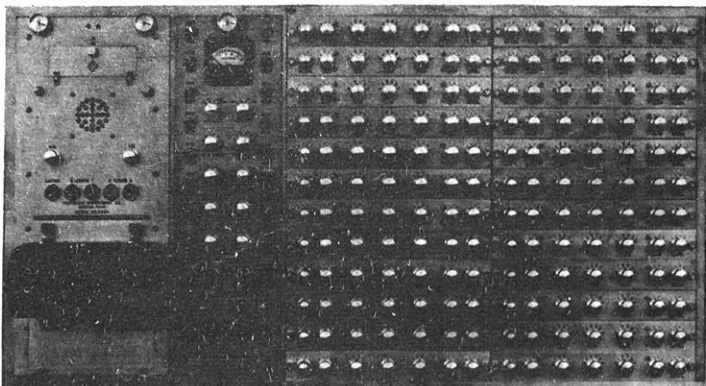


HANNOVER · HAARSTRASSE 5

RUF: 80148 · FERNSCHREIBER: 023 847

DRAHT: PRAKLA

Bitte nehmen Sie bei Anfragen und Bestellungen auf unsere Zeitschrift Bezug.  
Please, mention our review in writing to advisers.



## TIC 621 AMPLIFIER

The Technical Instrument Company 621 Amplifier features the most modern design in the seismic field. It provides the maximum in selectivity, sensitivity, and range to make possible the mapping of extremely difficult areas with a high degree of accuracy.

Among its features are: Wide band frequency response, total distortion of less than 1%, choice of one or two each five position low cut and high cut filters, AGC range of one-half microvolt to one volt input, independently adjustable attack and release time constants, three types of gain control (AGC, Expander, or both), by-passed first breaks.

The standard 621 Amplifier system, as shown, consists of 24 channels of amplification, control panel, and six-inch camera. The packaging of this system is of fabricated anodized aluminum construction with stainless steel cover. Dimensions are 36¼" width x 13⅞" depth x 19" height. This system is also available with cameras handling paper widths of 6, 8, 10 or 12 inches, or packaged in units for portable operations.

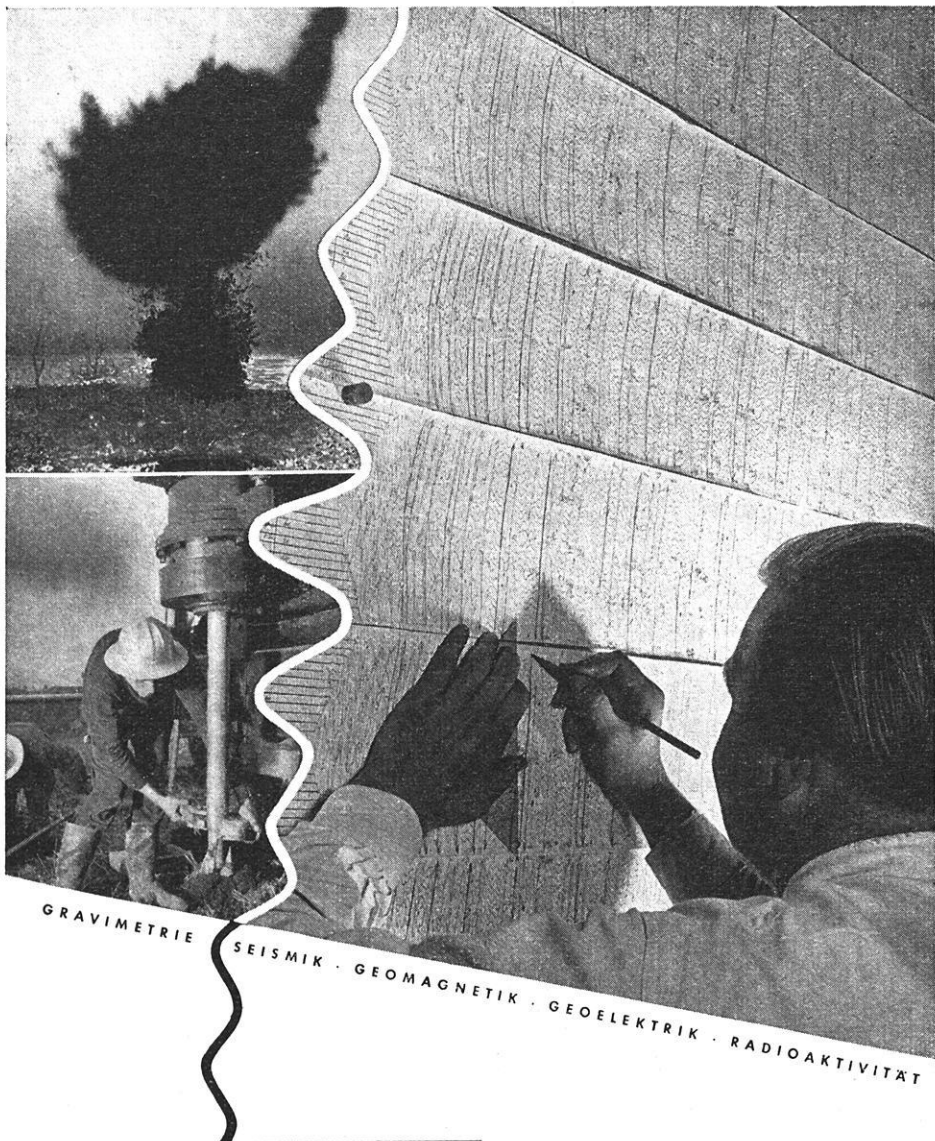


**Technical Instrument Co.**  
*Division of Brush Electronics Co.*

3732 WESTHEIMER

HOUSTON, TEXAS





GRAVIMETRIE

SEISMIK

GEOMAGNETIK

GEOELEKTRIK

RADIOAKTIVITÄT

**SEISMOS**  
G. M. B. H.

**H A N N O V E R**

Fernsch. 023419 · Ruf 70831

*verringert Ihr Risiko*



Bitte nehmen Sie bei Anfragen und Bestellungen auf unsere Zeitschrift Bezug.  
Please, mention our review in writing to advisers.

*Neue Buchreihe!*

## GEOPHYSIKALISCHE MONOGRAPHIEN

*Soeben erschienen:*

**Band 1: Grundzüge der Erschütterungsmessung**

im besonderen Hinblick auf die Belange der angewandten Seismik  
von Doz. Dr. H. Köhler, Stuttgart,

herausgegeben von Prof. Dr. G. Krumbach †

1956. XII, 231 Seiten mit 147 Abbildungen. Gr. 8<sup>o</sup>.

Ganzleinen DM 26. -

Die Herausgabe der weiteren Bände haben übernommen:

Prof. Dr. W. Buchheim, Freiberg/Sa., und

Prof. Dr. W. Hiller, Stuttgart.

Mehrere Bände befinden sich in Vorbereitung, davon sollen als nächste erscheinen

**Band 2: Mikroseismik** von Dr. E. Hardtwig

**Band 3: Schwermessungen in der angewandten Geophysik**

von Prof. Dr. K. Jung



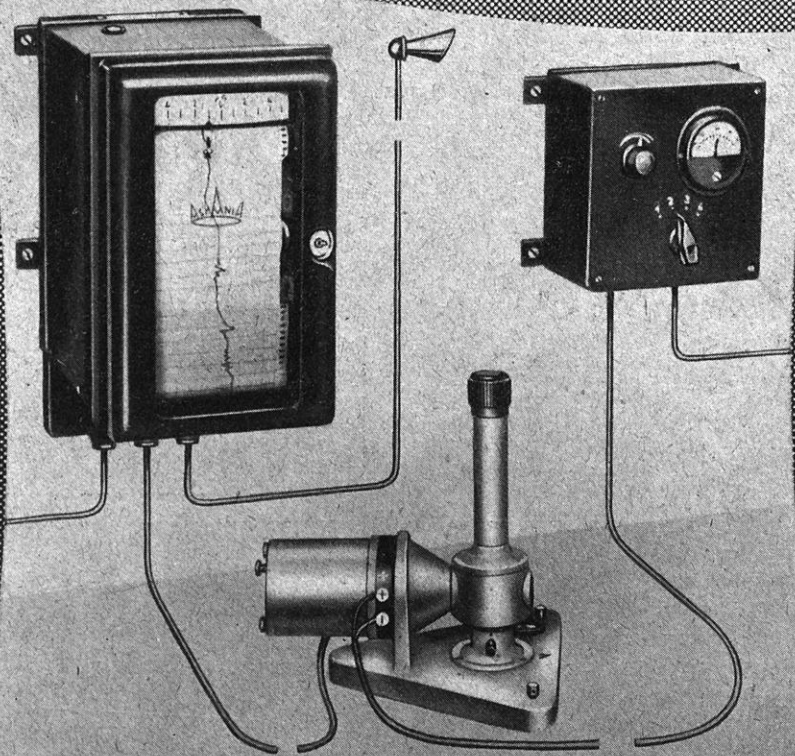
1906 - 1956

AKADEMISCHE VERLAGSGESELLSCHAFT  
GEEST & PORTIG K. G. LEIPZIG

# Alarm

beim Ausbruch

## MAGNETISCHER STÜRME



durch den

### H-MAGNETOGRAPHEN

einem einfachen geomagnetischen  
Variographen mit sichtbarer  
Registrierung.

Einzelheiten in Druckschrift 1526 a



**ASKANIA-WERKE AG. · BERLIN-FRIEDENAU**



Essential tool in any airborne survey for oil or minerals. Complementary to the airborne Magnetometer, Electromagnetic Detector and Scintillation Counter. Used by geologists in the field who — with surveyors, geophysicists and engineers — work in close liaison with Huntings airborne teams. A reminder that Huntings are equipped to undertake your geophysical survey as a whole, from preliminary planning to the presentation of interpreted results.

**HUNTING**

HUNTING GEOPHYSICS LIMITED

*Airborne Geophysical Surveyors*

4 ALBEMARLE STREET · LONDON W. 1

Head Office and Laboratories:

6 ELSTREE WAY, BOREHAM WOOD, HERTS.

Tel.: ELSTREE 2214 · Cables: „HUNT MAG“ LONDON

Höchste Genauigkeit durch  
**PRÄZISIONS-  
SCHLAUCHWAAGEN**



VEB  
**FREIBERGER PRÄZISIONSMECHANIK  
FREIBERG/SA.**

*„Journalfranz“*

**ARNULF LIEBING OHG.**

WISSENSCHAFTLICHES ANTIQUARIAT  
UND HOCHSCHULBUCHHANDLUNG

*Wir liefern und kaufen ständig:*

ZEITSCHRIFTEN-REIHEN  
SAMMELWERKE  
LEXIKA, BIBLIOGRAPHIEN  
und sonstige größere Veröffentlichungen aller Wissensgebiete

■ Ankauf vollständiger Bibliotheken ■

WÜRZBURG 2

Briefanschrift: Postfach 1136

Geschäftsräume: Rotlöwengasse 2

Fernruf: 4020 - Telegr.: Journalfranz

# E I N L A D U N G

zur gemeinsam veranstalteten

**Meteorologen - Geophysiker - Tagung 1956**

vom 25. bis 28. September 1956

in Hamburg

Veranstaltet von

der Deutschen Geophysikalischen Gesellschaft

und

der Deutschen Meteorologischen Gesellschaft

## TAGUNGSPROGRAMM

### Montag 24. September

ab 19 Uhr:

Treffen der Tagungsteilnehmer im Restaurant „Europäischer Hof“, Kirchenallee 45 (am Hauptbahnhof)

### Dienstag 25. September

#### **Fachsitzungen der Meteorologen**

im Museum für Hamburgische Geschichte, Holstenwall 24

vormittags 9 Uhr:

**R a e t h j e n**, Prof. Dr. P., Hamburg:

Über die Entstehung des Jet-Stream

**S i m i l ä**, Dr. A., Stockholm:

Einige Erfahrungen und Ergebnisse mit Gewittertendenzkarten

**D e f a n t**, Prof. Dr. F., Innsbruck:

Zur Dynamik der Polarfrontfläche und des Windfeldes an der Ostseite eines polaren Kälteausbruches (14. Januar 1951 über Nordamerika)

**D u v e d a l**, T., Stockholm:

A two-layer model for advection of pressure-tendencies on surface charts and „advective tendencies“ on thickness charts (Numerical prediction by BESK)

**M a r k g r a f**, Dr. H., Hamburg:

Zyklogenetische Gebiete auf dem Nordatlantischen Ozean

**M e r t i n s**, Dr. O., Hamburg:

Sturmweatherlagen bei Island (mit Farbdias)

**H o f m a n n**, A., Frankfurt/M.:

Stand und Entwicklungsmöglichkeiten von Monatsvorhersagen für Deutschland

**S e i d e l**, G., Frankfurt/M.:

Zur Frage der mittelfristigen Vorhersage von Witterungs-  
umschlägen im Winter

nachmittags 15 Uhr:

Schneider-Carius, Prof. Dr. K., Leipzig:

Der Antipassat als Erscheinungsform der Nullschicht

Frankenberger, Dr. E., Hamburg-Quickborn:

Zur Anisotropie der atmosphärischen Grenzschichtturbulenz

Paetzold, Dr. H. K., Weißenau:

Schwankungen der vertikalen Ozonverteilung und ihr Zusammenhang mit atmosphärischen Transportvorgängen

Zschörner, Dr. H. und Paetzold, Dr. H. K., Weißenau:

Über einige charakteristische Variationen des totalen Ozonbetrages

Kulcke, Dr. W. und Paetzold, Dr. H. K., Weißenau:

Eine für den Routinebetrieb geeignete Ozonradiosonde

Jacobi, Dr. W., Aurand, Dr. K. und Schraub, Dr. A.,

Frankfurt:

Über das Verhalten der natürlich radioaktiven Substanzen in der Atmosphäre

Mühleisen, Dr. P., Weißenau:

Zur Auswertung von Radiosondenmessungen der elektrischen Feldstärke und der Leitfähigkeit in der freien Atmosphäre

abends 20 Uhr:

im Hörsaal A der Universität Hamburg, Edmund-Siemers-Allee

»Das Internationale Geophysikalische Jahr 1957/58«

Offizielle Eröffnung der  
Meteorologen - Geophysiker - Tagung 1956

Begrüßungsansprachen

Prof. Dr. J. B a r t e l s , Göttingen, Vorsitzender des deutschen Landesausschusses für das Internationale Geophysikalische Jahr 1957/58, gibt einen allgemeinen Überblick.

Berichte der Sektionsleiter:

Prof. Dr. W. D i e m i n g e r , Lindau/Harz: Ionosphäre

Prof. Dr. H. S i e d e n t o p f , Tübingen: Polarlicht

Präsident Dr. G. B ö h n e c k e , Hamburg: Ozeanographie

Prof. Dr. F. M ö l l e r , Mainz: Meteorologie

Prof. Dr. B. B r o c k a m p : Glaziologie



**Mittwoch 26. September**

**Gemeinsame Fachsitzungen der Meteorologen  
und Geophysiker**

im Museum für Hamburgische Geschichte, Holstenwall 24

vormittags 9 Uhr:

**Hansen, Dr. W., Hamburg:**

Das Problem der quantitativen Ermittlung von Wasserständen  
und Stromgeschwindigkeiten im Meere

**Charnock, H., Wormley/England:**

Wassernahes Windprofil und Windreibung an der Meeresober-  
fläche

**Weenink, M. P. H., De Bilt:**

Die Sturmfluten vom 20.–24. Dezember 1954. Ein Fall von  
Resonanz

**Krauß, Dr. W., Hamburg:**

Die Wirkung der Klimaverhältnisse auf das ozeanische Massen-  
feld und die daraus resultierenden Gradientenströmungen

**Dietrich, Dr. G., Hamburg:**

Über Schwankungen der Tiefenzirkulation im nördlichen  
Nordatlantischen Ozean

**Postma, Dr. H., Den Helder:**

Die chemischen Untersuchungen der „Snellius“-Expedition

**Lüneburg, Dr. H., Bremerhaven:**

Dynamik und Sinkstofftransport an der Wattoberfläche des  
Weserästuars

nachmittags 15 Uhr:

**Nusser, Dr. F., Hamburg:**

Zusammenhang zwischen Großwetterlagen und Meer-Eis Auf-  
treten

**Palosuo, Dr. E., Helsinki:**

Das Eistreiben im Finnischen Meerbusen und seine Einwirkung  
auf die Vereisung

S a l a , Dr. I., Helsinki:

Einige Messungen der Eisfestigkeit

R o d h e , B., Stockholm:

Eine quantitative Beziehung zwischen Lufttemperatur und See-Eis und ihre Rolle als Hilfsmittel in der Eisevorhersage

U s i t a l o , S., Helsinki:

Chlorinität im See-Eis

G o e d e c k e , Dr. E., Hamburg:

Neuere Untersuchungen über die Vorbereitungs- und Abschmelzzeit des Eises in der Deutschen Bucht und westlichen Ostsee

abends 20 Uhr:

Geselliger Tanzabend

in Sagebiels Etablissement „Zur Erholung“  
Dragonerstall 14-15, nahe Karl-Muck-Platz

**Donnerstag 27. September**

**Fachsitzungen der Meteorologen**

im Hörsaal des Tropeninstituts, Bernhard-Nocht-Straße 74

vormittags 9 Uhr:

W a c h t e r , Dr. H., Frankfurt/M.:

Zum Wirkungsgrad atmosphärischer Wärmeumwandlungen

G a t e s , Dr. D. M., London:

Infrared solar and atmospheric spectrographic measurements from balloons to an altitude of 33 kilometers

S c h u l z e , Prof. Dr. R., Hamburg:

Meßergebnisse zum Strahlungsumsatz an der Erdoberfläche

F l e i s c h e r , Dr. R., Hamburg:

Registrierung der Ultrarotstrahlungsströme der Atmosphäre und des Erdbodens

V o l z , Dr. F., Mainz:

Die spektralen Eigenschaften der Dunstauben:  
UV-Absorption von Niederschlagswasser und Dunsteinfluß auf die langwellige atmosphärische Strahlung

Gräfe, Dr. K., Hamburg:

Strahlungsempfang vertikaler, ebener Flächen

Volochine, Prof. F. E., Paris:

Über einen Apparat zur Messung der Sonnenstrahlung in absoluten Einheiten und über das „Bilanomètre absolue“ (Universal-Pyrometer) mit Demonstrationen

nachmittags 15 Uhr:

Dahler, Dr. H., Leipzig:

Über die prognostische Auswertung der Radarwindmessungen

Steinhäuser, Dr. H., Klagenfurt:

Niederschlags- und Trockenperioden und ihre theoretische Behandlung

Hesse, Prof. Dr. W., Böhlitz/Leipzig:

Über aktuelle Probleme in der Agrarmeteorologie

Schrödter, Dr. H., Aschersleben:

Phänometrisch-statistische Untersuchungen zum Problem „Witterung und Pflanzenwachstum“

Koch, Dr. H. G., Jena:

Jahresringauszählungen an Waldbäumen zum Nachweis witterungsbedingter Zuwachsschwankungen

Michalowsky, J., Mainz:

Strahlungsbilanz und Landesverdunstung

anschließend:

## Geschäftsversammlung

der Meteorologischen Gesellschaft Hamburg

## Fachsitzungen der Geophysiker

im Museum für Hamburgische Geschichte, Holstenwall 24

vormittags 9 Uhr:

Lucke, Dr. O., Potsdam:

Über die säkulare Veränderlichkeit des erdmagnetischen Hauptfeldes und seine Theorien

Fanslau, Prof. G., Potsdam-Niemegk:

Statik und Dynamik von Magnetsystemen bei horizontaler Halterung

Wiese, Dr. H., Niemegk:

Über erdmagnetische Absolut- und Vergleichsmessungen

Schmidt, H., Niemeck:  
Methoden zur Bestimmung räumlicher Gradienten des geomagnetischen Feldes

Burkhardt, Dr. K., Fürstenfeldbruck:  
Der Erdstrom und seine Rückwirkung auf das Magnetfeld

Lauterbach, Prof. Dr. R., Leipzig:  
Mikromagnetische Studien mit Feldwaage und Förstersonde

nachmittags 15 Uhr:

Ehmert, Prof. Dr. A., Weißenau b. Ravensburg:  
Die solare kosmische Strahlung als Sonde für ein interplanetarisches Magnetfeld

Burkard, Prof. Dr. O., Graz:  
Neue Arbeiten über die F<sub>2</sub>-Schicht

Ehmert, Prof. Dr. A. und Revello, Dr. K.,  
Weißenau b. Ravensburg:  
Auslösung von Atmosphericics und von Dämpfung langer Wellen durch kosmische Strahlung  
(vorgetragen von A. Ehmert)

Buchheim, Prof. Dr. Wolfgang, Freiberg i. Sa.:  
Über Anwendung der Methode der induzierten Polarisation bei der geoelektrischen Erzprospektion in Schweden

Matweber, Dr. S., Wetzlar:  
Magnetische Messungen als Grundlage für geologische Kartierungen im Lahn-Dillgebiet

Uhlmann, M., Freiberg i. Sa.:  
Druckakustische Untersuchungen an Pfeilern im Kali- und Steinsalzbergbau

19 Uhr:

Vorstandssitzung  
der Deutschen Geophysikalischen Gesellschaft

**Freitag 28. September**

**Fachsitzungen der Geophysiker**

im Museum für Hamburgische Geschichte, Holstenwall 24

vormittags 9 Uhr:

- R e i c h e n e d e r**, Prof. Dr. K., Potsdam:  
Die Neubestimmung der absoluten Schwere in Potsdam
- S c h u l z e**, Dr.-Ing., R., Berlin-Friedenau:  
Zur Registrierung der Erdzeiten
- G r a f**, Dr. A., Lochham bei München:  
Bisherige Meßergebnisse mit dem Seegravimeter
- R o s e n b a c h**, Dr. O., Mainz:  
Prinzipielle Bemerkungen zu Theorie und Praxis der Methode der zweiten Ableitung bei der Interpretation gravimetrischer Meßergebnisse
- B r a u c h**, Dr. W., Clausthal-Zellerfeld:  
Zur Klassifikation und Dokumentation der Geophysik
- B e r c k h e m e r**, Dr. H., Stuttgart:  
Bericht über geophysikalische Untersuchungen der Columbia-Universität New York im Mittelmeer

nachmittags 15 Uhr:

- M a r t i n**, Prof. Dr. H., Jena:  
Bericht über Arbeiten des Instituts für Bodendynamik und Erdbebenforschung, Jena
- M a a z**, R. und Dr. W. U l l m a n n, Jena:  
Zur Frage der „scheinbaren“ und „wirklichen Neigung“
- S c h u l z**, Hannover:  
Reflexionen aus dem kristallinen Untergrund im Gebiet des Pfälzer Berglandes

17 Uhr:

**Geschäftsversammlung**  
der Deutschen Geophysikalischen Gesellschaft

**Sonnabend 29. September**

### **Besichtigungen**

1. Deutsches Hydrographisches Institut
2. Observatorium des Geophysikalischen Instituts,  
Universität Hamburg
3. Erdmagnetisches Observatorium Wingst des D. H. I.
4. Meteorologisches Observatorium des Deutschen Wetter-  
dienstes
5. Hamburger Sternwarte (insbesondere des Schmidt-Spiegels)

Der Vorsitzende  
der  
Meteorologischen Gesellschaft  
*Prof. Dr. R. Schulze*

Der Vorsitzende  
der  
Geophysikalischen Gesellschaft  
*Prof. Dr. K. Jung*

## Allgemeine Hinweise

1. **Unterkunft, Quartiernachweis:** Die Beschaffung der Quartiere erfolgt über die Geschäftsstelle der Tagung (siehe Punkt 4) durch die Tagungsabteilung des Fremdenverkehrsvereins der Hansestadt Hamburg. Die Anmeldung ist verbindlich, sofern nicht mindestens 48 Stunden vorher eine Abbestellung erfolgt.

Preisklasse:	S	A	B	C	D*
Einbettzimmer (bzw. Bett im Doppelzimmer)	ab 18,—	ab 15,—	ab 10,—	ab 8,—	5,— u. 6,—
Doppelbettzimmer	ab 16,—	ab 12,—	ab 8,—	ab 6,—	

pro Bett und Nacht, ausschließlich Frühstück und Bedienung.

\*) Gruppe D einschließlich Bedienung (Privatquartiere).

Alle Anfragen, Anmeldungen, Bestellungen, Abbestellung sind nur an die Geschäftsstelle der Tagung zu richten.

Die Ausgabe der Quartierscheine erfolgt:

am 24. Sept. 12–23 Uhr im Restaurant „Europäischer Hof“, Kirchenallee 45  
(am Hamburger Hauptbahnhof) Fernruf: 24 81 71;

ab 25. Sept. während der Fachsitzungen im Museum für Hamburgische Geschichte,  
Holstenwall 24;

18–23,30 Uhr im Hotelnachweis des Fremdenverkehrsvereins im  
Hauptbahnhof Hamburg (Ausgang Kirchenallee).

2. **Tagungsbeitrag:** Zur Deckung eines Teiles der Tagungsunkosten wird von den Teilnehmern ein einmaliger Tagungsbeitrag von DM 2,— erhoben. Die dafür ausgegebene Teilnehmerkarte berechtigt zur Teilnahme an allen Fachsitzungen; Fahrtkosten, die durch Teilnahme an den Besichtigungen entstehen, sind selbst zu tragen.
3. **Gemeinsames Mittagessen:** Es wird versucht, für alle auswärtigen Tagungsteilnehmer ein verbilligtes Mittagessen zu beschaffen.
4. **Geschäftsstelle der Meteorologen-Geophysiker-Tagung 1956:** Hamburg 4, Bernhard-Nocht-Straße 76 (Seewetteramt) Fernruf: 31 11 21, Apparat 474.

Während der Tagung befindet sich das Tagungsbüro am 24. September ab 12 Uhr im Restaurant „Europäischer Hof“, Kirchenallee 45, während der Fachsitzungen im Museum für Hamburgische Geschichte, Holstenwall 24.

Die Geschäftsstelle und das Tagungsbüro befassen sich nur mit den organisatorischen Fragen. Sonstige Anfragen bitten wir unmittelbar an die Deutsche Geophysikalische Gesellschaft, z. H. von Herrn Dr. K. Brocks, Hamburg-Bergedorf, Schlebuschweg 9 bzw. an die Meteorologische Gesellschaft in Hamburg, Hamburg 4, Bernhard-Nocht-Straße 76 (Seewetteramt) zu richten.

5. **Vortragssammenfassungen:** Es ist beabsichtigt, den Tagungsteilnehmern, von denen eine Anmeldung vorliegt, noch vor der Tagung eine Zusammenfassung der Vorträge zuzusenden. Daher werden auch diejenigen, die in Hamburg wohnen oder sich privat eine Unterkunft besorgen, gebeten, die beigefügte Anmeldekarte einzusenden. Da in Hamburg vom 23.—26. 9. noch eine andere größere Tagung stattfindet, bitten wir diejenigen, die auf Quartierbeschaffung angewiesen sind, sich rechtzeitig anzumelden. Für die Anmeldung bitten wir nur die beigefügte Anmeldungskarte zu benutzen.