

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 2

PHYSICA - VERLAG · WÜRZBURG

INHALTSVERZEICHNIS

<i>Burkhardt, K.:</i> Mikropulsationen des Erdstroms und der erdmagnetischen Horizontalkomponenten	57
<i>Wiese, H.:</i> Tiefentellurik	74
<i>Meißner, R.:</i> Untersuchungen über die Zusammenhänge zwischen Luftdruck und Brunnenspiegel	81
<i>Joksch, H. G.:</i> Statistische Analyse der hypsometrischen Kurve der Erde . . .	109

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 nummerieren 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, Rotlöwengasse 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 1955.

Mikropulsationen des Erdstroms und der erdmagnetischen Horizontalkomponenten

Von K. Burkhart, Fürstenfeldbruck¹⁾

Zusammenfassung: Die Erdstrombeobachtungen bei großen Elektrodenentfernungen werden denen bei kurzen Abständen gegenüber gestellt. Die Phasenverschiebung zwischen den magnetischen und den Erdstromvariationen wird durch das bekannte Verhältnis von Reaktanz und Resistanz bestimmt. Bei großen Elektrodenentfernungen und kurzen Perioden nimmt erstere stärker zu als letztere.

Auch bei den Pulsationen gilt die gleiche induktive Abhängigkeit des Erdstroms von den magnetischen Schwankungen wie bei den langen Perioden. Daher kann für die Untersuchung der Erdströme von der gleichen Grundformel ausgegangen werden, die zur Bestimmung der Eichwerte der Induktionsapparatur von \dot{H} und \dot{D} herangezogen wird. Bei den großen Dimensionen der von den Erdströmen zurückgelegten Strecken muß die Erhöhung des wirksamen Widerstandes durch den Skineffekt noch berücksichtigt werden.

Während die induktive Umsetzung für beide Komponenten konform verläuft, hat der meridional fließende Erdstrom einen etwa 3 mal so großen Erdwiderstand zu überwinden wie der zonal fließende. Die Eigeninduktivität in nordsüdlicher Richtung ist etwa 2,5 mal so groß wie in ostwestlicher. Diese Anisotropie ist tektonisch und geologisch durch die Alpen begründet.

Die Auszählung der Pulsationen für verschiedene Periodenklassen zeigt ein auffallendes Maximum der Perioden von 10 bis 30 sec über die Mittagstunden. Ein Vergleich mit der EK-Kurve der E- und F₁-Schicht läßt darauf schließen, daß der Ladungsaufbau dieser Schichten mit Pulsationen dieser Perioden in Zusammenhang steht. Die Tagespulsationen (10-40 Sek.) übertreffen an Häufigkeit im ganzen Pulsationsspektrum die von der Partikelstrahlung erzeugten Pulsationen langer Perioden. Letztere zeigen eine 27-tägige Wiederholungstendenz.

Abstract: An observation of earth-currents obtained with electrodes of large distances is compared with that of short distances. The phasedifferences of the magnetic and earth-current-variations are fixed by the proportion of reactance and resistance. The first one increases more than the second one with large distances and short periods.

The same law of induction between magnetism and earth-currents comes true in the case of the pulsations. It is possible to use the same fundamental formula in earth-current-problems as it is done for the calculation of the values of sensitivity of the \dot{H} - and \dot{D} -equipment. But in the case of earth-currents the increasing effective resistance by the influence of skin-effect has to be considered. The phase-difference can be calculated. The agreement with the recordings is very good. The inductive transposition is conform with the two components, but the current running meridional has to subdue a resistance 3 times so strong as the current of

¹⁾ Dr. Kurt Burkhart, Erdmagnetisches Observatorium, Fürstenfeldbruck/Obb.

the other direction. The meridional inductivity is 2,5 times so strong as that in zonal direction. This anisotropy is caused by the tectonic and the geology of the Alps.

The statistic of the pulsations for different classes of periods shows a distinct maximum of periods (10-40 sec) at noon. If the curves are compared with the EC-curve of the E-and F_1 -layer it is possible to conclude a relation between the two effects.

The frequency of pulsations of sunlight-hours surpass that of the long periods produced by particles. The pulsations of long periods show a 27-day recurrence.

Es ist eine altbekannte Erscheinung, daß die Variationen der Horizontalkomponenten und die der senkrecht dazu fließenden Erdströme ähnliche Formen aufweisen. Diese Tatsache läßt zunächst keine Schlußfolgerung über den physikalischen Zusammenhang der magnetischen und elektrischen Größen zu. Der Vergleich der Kurven des Erdstroms und der senkrecht dazu gerichteten magnetischen Komponente ergibt bei schnellen Variationen meist recht gute zeitliche Übereinstimmung; bei den langsamen Schwankungen, wie den langsamen Tagesgängen kann bei großen Elektrodenentfer-

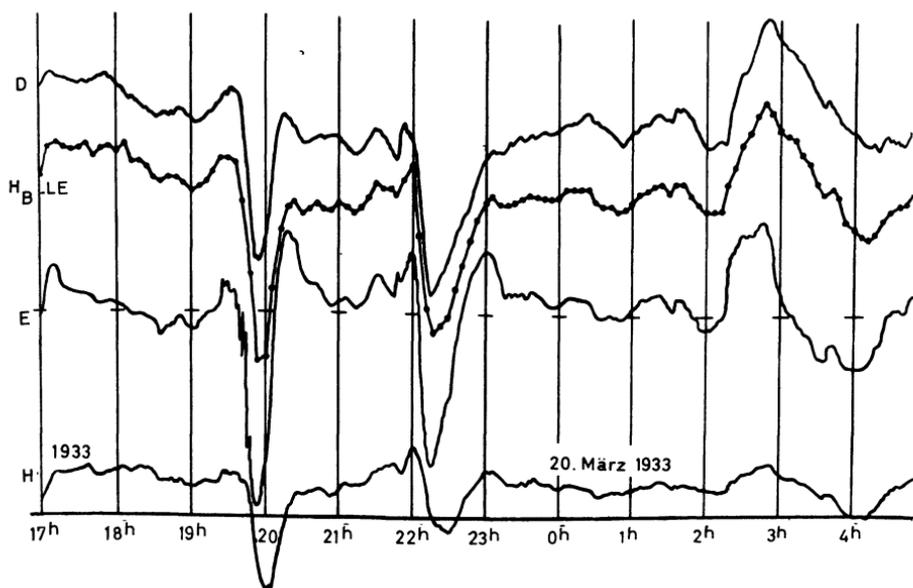


Abb. 1: Erdstrombeobachtungen von R. Bock und F. Moench 1932/33 mit extrem grosser Elektrodenentfernung (Telegraphenkabel Berlin - Breslau). E=Erdstrom, D=Deklination, H=Horizontalintensität (nach Niemeck), H_B senkrecht zu E, berechnet aus H und D.

nungen eine gute Übereinstimmung mit den Derivierten der magnetischen Komponenten festgestellt werden. Insbesondere wiesen *W. J. Rooney* [1] und *O. H. Gish* [2] auf die Diskrepanzen in der Deutung der Beobachtungen hin. Auf Grund neuerer Beobachtungen konnte festgestellt werden, daß neben den Leitfähigkeitsverhältnissen am Beobachtungsort vor allem die Elektrodenentfernungen eine wesentliche Rolle spielen.

Vergleicht man die Kurven der Abbildungen 1 und 2, so sieht man, daß im ersten Fall die magnetischen und elektrischen Schwankungen beinahe synchron auftreten, während im zweiten Fall dagegen eine relativ gute Übereinstimmung mit der ersten Ableitung der magnetischen Komponenten festzustellen ist. Die Beobachtungen der Abb. 1 sind von *R. Bock* [3]

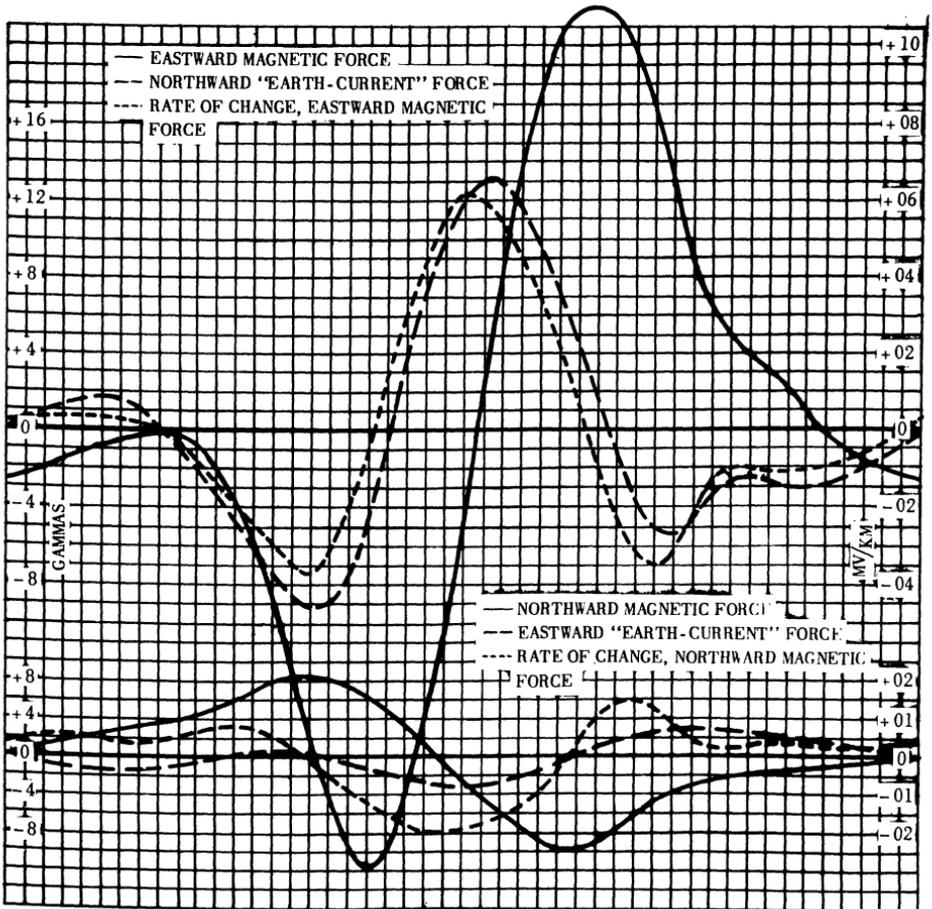


Abb. 2: Vergleich der Erdstrombeobachtungen mit den magnetischen Aufzeichnungen in *Watheroo* (Australien) nach *O. H. Gish*.

über einen extrem großen Elektrodenabstand erhalten worden (> 100 km), wogegen die langsamen Tagesschwankungen (Abb. 2) in Watheroo (Australien) über eine mittellange Elektrodenentfernung (3-5 km) registriert wurden. Abbildung 3 zeigt nun die Registrierung einer kurzdauernden Störung,

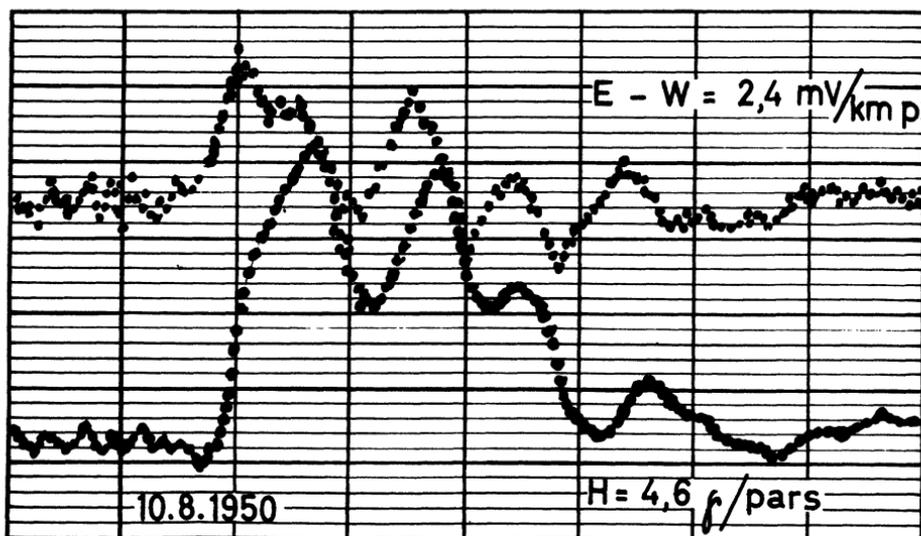


Abb. 3: Kopie einer Punktregistrierung des Obs. Fürstenfeldbruck. Die Elektroden hatten hier nur einen Abstand von 150 m. Ähnlich wie in Abb. 2 und entgegengesetzt wie in Abb. 1 besteht hier zwischen Erdstrom- und den magnetischen Variationen eine deutliche Verschiebung.

erhalten über eine extrem kurze E.-Entfernung in Fürstenfeldbruck (150 m), die wie im zweiten Fall eine deutliche Phasenverschiebung zur magnetischen Kurve zeigt. Um Beobachtungsfehler der Phasenverschiebung auszuschalten, erfolgte die Registrierung beider Kurven auf einem Gerät.

Von der Tatsache ausgehend, daß die magnetischen Variationen primär von den ionosphärischen Flächenströmen erzeugt werden können die Phasenverschiebungen nur durch die Abhängigkeit der Erdströme von Resistanz und Reaktanz in der Erdrinde erklärt werden. Wie der Verfasser in einer früheren Arbeit [4] zeigen konnte, nimmt der Blindwiderstand mit zunehmender Entfernung stärker zu als der Wirkwiderstand. Dadurch wird bei kurzen Perioden, also hoher Kreisfrequenz der Phasenwinkel so groß, daß die Erdstromkurve zeitlich beinahe mit der normalen (nicht mit der derivierten) magnetischen Kurve übereinzustimmen scheint. Während bei den extrem kurzen Abständen der Elektroden die langsamen Tagesschwankungen wegen des geringen Spannungsabfalls nicht mehr aufgezeichnet werden können, sind diese bei mittelgroßen Entfernungen wie im Falle Watheroo zu be-

obachten, wobei dann wegen der kleinen Kreisfrequenz die Verschiebung wie bei den höheren Kreisfrequenzen und kurzen Abständen (F'bruck) zu sehen ist. Da die Derivierte zur Normalkurve der magnetischen Komponenten um 90° verschoben ist, folgt analog für die Erdstromvariation zu der der Normalkurve ein Phasenwinkel von $90^\circ - \phi$.

Noch ungeklärt war bis vor einigen Jahren der Zusammenhang bei den extrem kurzen Variationen, den Pulsationen. Dazu waren Registrieranlagen mit besonders großer Auflösung nötig. Derartige Versuche sind in den letzten Jahren vor allem in Japan durchgeführt worden. In Fürstentfeldbruck wurden eine Zeitlang die H-Pulsationen (H) und der Ostweststrom (abgekürzt: zo) bei einem Transport von 1.5 mm/min getrennt registriert. Um einen genaueren Phasenvergleich durchführen zu können, wurde ein Registriergerät mit einer Zeitauflösung von 3 mm/min gebaut, das gleichzeitig die vier Elemente: (H), (D), (zo) und (m) aufzuzeichnen in der Lage ist. Die Derivierten der magnetischen Horizontalkomponenten werden nach dem Induktionsverfahren (Spulen mit Mumetallkernen) erhalten. Für die Wiedergabe werden zwei empfindliche und hochohmige Galvanometer verwendet, wobei hier wie bei den Erdstromgalvanometern für eine streng aperiodische Anzeige Sorge getragen wurde. Der hochohmige Spulenkreis erwies sich vorteilhafter als der niederohmige, weil nicht nur Temperatur- und Feuchtigkeitseinflüsse auf die Stromkreise schwächer sind, sondern vor allem die Phasendifferenzen wegen der hohen Induktivität zum Erdstrom kleiner sind.

Die Skalenwerte der Induktionsanlage wurden nicht unmittelbar aus der bekannten Formel:

$$1) \quad J = w \omega \mu \Phi / R (1 + \operatorname{tg}^2 \phi)^{1/2} = w \omega \mu \Phi \cos \phi / R \quad 2)$$

$$\text{mit } \operatorname{tg} \phi = \omega L / R \quad \text{und} \quad \mu = 2\pi / N$$

erhalten, wo J den Strom, w die Windungszahl, ω die Kreisfrequenz, μ die Permeabilität unter Berücksichtigung des Entmagnetisierungsfaktors N, Φ den Fluß, R den Gesamtwiderstand von Galvanometer und Spule und L die Eigeninduktivität bedeuten, sondern durch Eichung mit Hilfe eines rotierenden Magneten, dessen Magnetmoment bekannt ist. Dieser, in einer Entfernung von 4 m in Verlängerung der Spulen aufgestellt, kann mit verschiedenen Drehgeschwindigkeiten rotieren. Aus 1) läßt sich dann ziemlich genau das Verhältnis L/R bestimmen, wenn bei verschiedenen Perioden die Amplituden in Proportion gesetzt werden. Wenn Λ_1 und Λ_2 sowie τ_1 und τ_2 die Amplituden und entsprechenden Perioden in Sekunden bedeuten, lautet die Formel für L/R :

2) Maximalamplituden von J und ϕ .

$$2) \quad L/R = \frac{1}{2\pi} \left[\frac{(A_1 r_1)^2 - (A_2 r_2)^2}{A_2^2 - A_1^2} \right]^{1/2}$$

L/R beträgt bei der H-Anlage: 4.70, bei der von D: 4.48.

Ebenso läßt sich der von jeder Periode abhängige Skalenwert berechnen, wenn aus der Eichung für eine bestimmte Periode der entsprechende Wert entnommen wird.

$$3) \quad \epsilon_2 = \epsilon_1 \left[\frac{r_2^2 + \operatorname{tg}^2 \phi}{r_1^2 + \operatorname{tg}^2 \phi} \right]^{1/2}$$

In der Tabelle 1 sind die Skalenwerte aus Eichung und Berechnung sowie die Phasenwinkel der beiden Systeme für die Perioden von 5 bis 400 Sekunden angegeben.

r_{sec}	H			D		
	ϵ_E^y	ϵ_B^y	ϕ°	ϵ_E^y	ϵ_B^y	ϕ°
5	0.18	0.20	80.4	0.19	0.22	79.9
10	0.19	0.20	71.3	0.20	0.22	70.4
20	0.21	0.23	55.8	0.23	0.26	54.5
50	0.34	0.37	30.6	0.40	0.43	29.2
80	0.55	0.54	20.3	0.65	0.63	19.3
100	0.67	0.67	16.2	0.78	0.78	15.6
150	0.98	0.98	11.3	1.13	1.14	10.8
200	1.29	1.30	8.4	1.58	1.51	8.0
250	1.60	1.62	6.6	1.95	1.88	6.5
300	1.90	1.94	5.7	2.30	2.27	5.1
350	—	2.26	4.6	—	2.63	4.6
400	—	2.37	4.0	—	3.00	4.0

Bei der Erdstromanlage wurden die Elektrodenabstände gegenüber den früheren Entfernungen auf 188.8 m (zonal) und 247.1 m (meridional) vergrößert. Hierbei kamen neuartige depolarisierbare Elektroden zur Anwendung, die eine sehr geringe Ruhespannung haben und nur geringe Wartung erfordern. Die Eichung, die jeden Tag vorgenommen wird, erfolgt über einen sehr genauen Spannungsabgriff, der in die Erdstromleitung geschaltet wird. Die Skalenwerte betragen in der zo-Richtung rund 1.0 mV/Km, in der m-Richtung 0.5 mV/Km. Tägliche Schwankungen der Skalenwerte betragen nicht mehr als 10%.



Abb. 4: Tagespulsationen bei den Erdströmen: E - W (z₀) und N - S (m) sowie bei den Derivierten der magnetische Komponenten H und D.

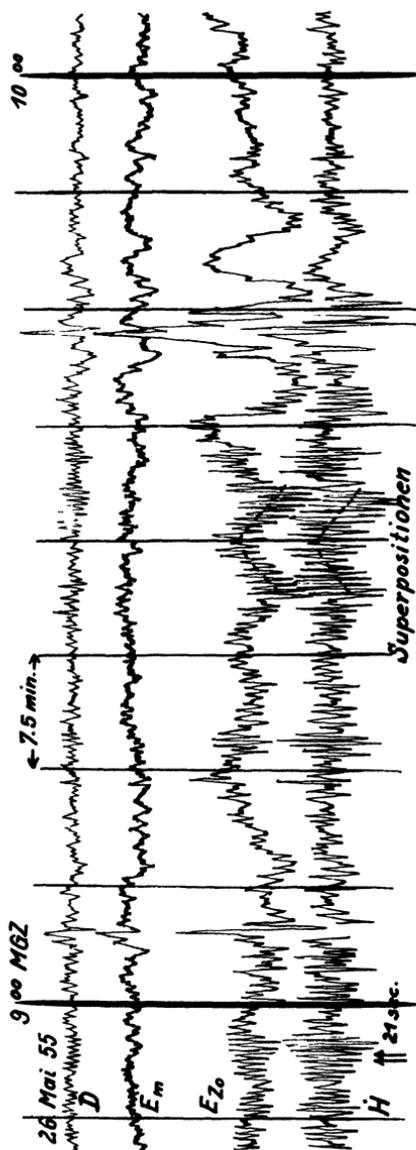


Abb. 5: Pulsationen wie in Abb. 4, hier teilweise mit Superpositionen.

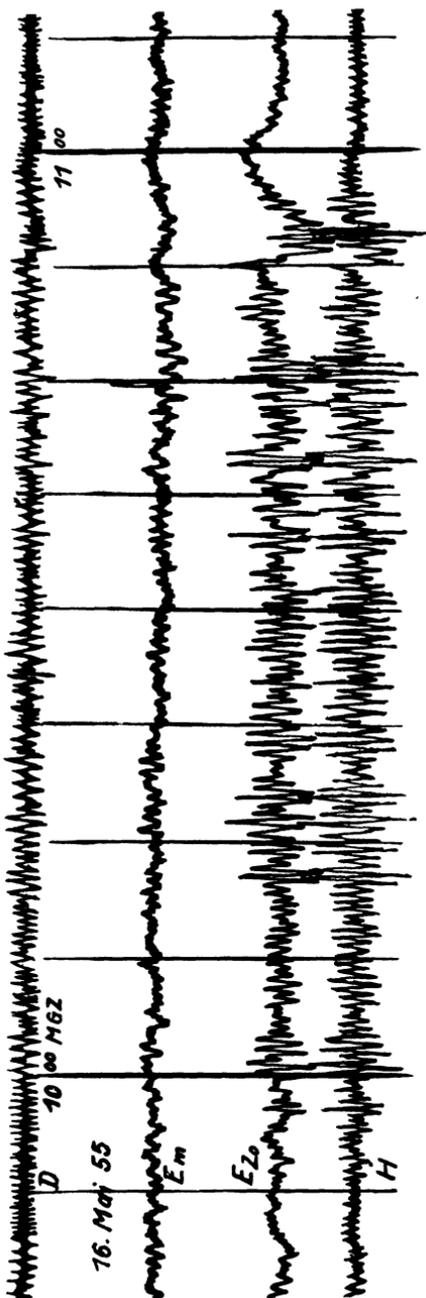


Abb. 6: Bei \dot{H} und E_{z_0} sind Schwebungsformen erkennbar. Auffallend ist die gute Phasenübereinstimmung bei den kurzen Perioden.

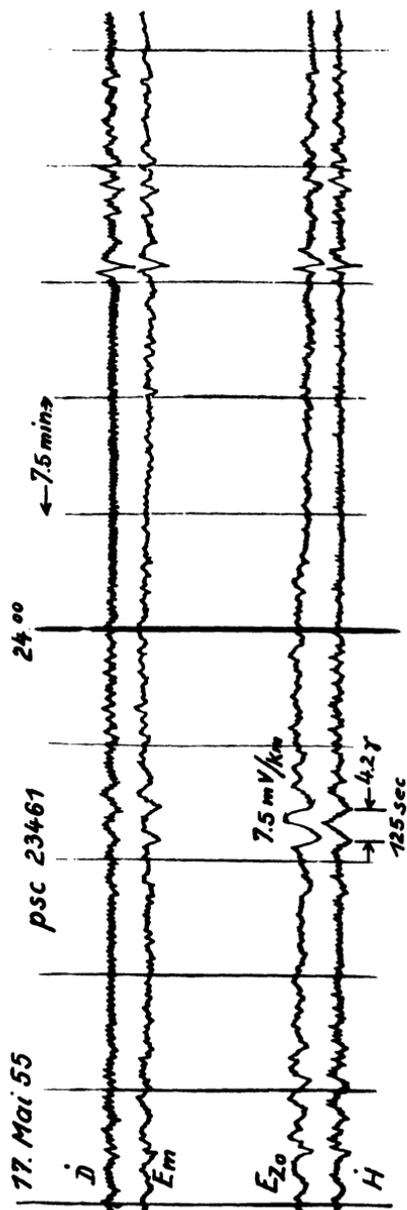


Abb. 7: Pulsationen zu Beginn eines "PSC".

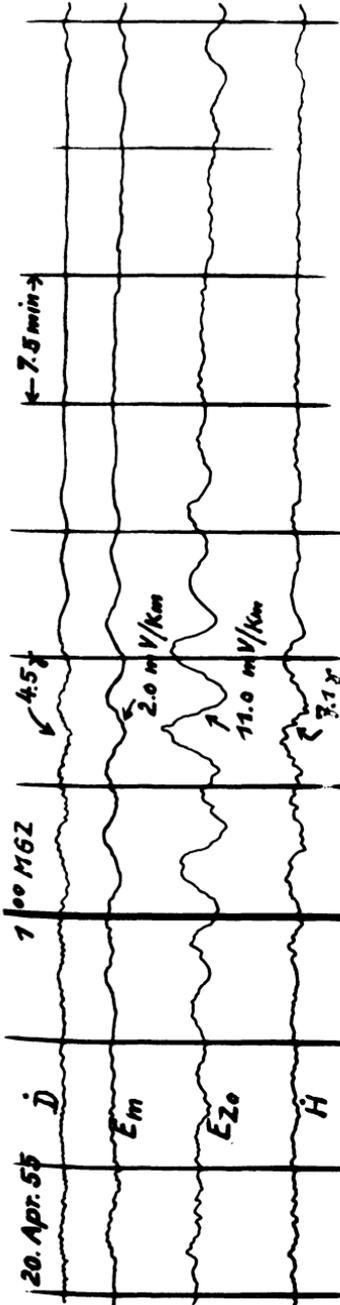


Abb. 8: Langperiodische Schwingungen, die um 1^h morgens aufgezeichnet wurden. Deutliche Phasenverschiebung bei Erdstrom und Magnetik.

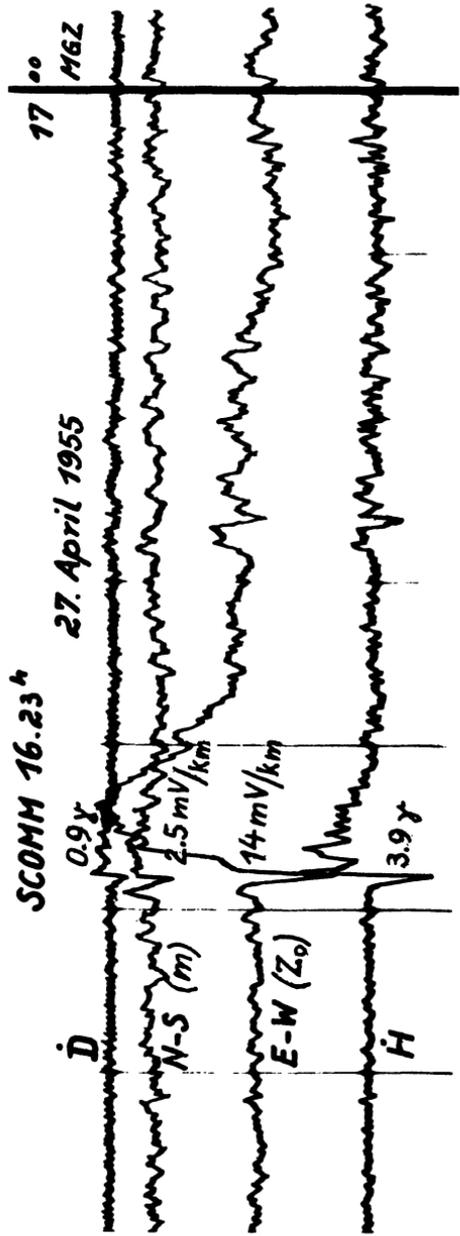


Abb. 9: Der "SCOMM" vom 27. 4. 55

Aus einer großen Anzahl von Registrierungen wurden die besten für die Abbildungen 4 bis 9 ausgewählt. Die drei ersten Bilder zeigen typische Tagespulsationen, zweimal mit interessanten Schwebungsformen. Die drei anderen Fällen zeigen die typischen langperiodischen Pulsationen der Abend- und Nachtstunden. In allen Beispielen kommt die deutliche und zwangsweise aus früheren Überlegungen folgende Übereinstimmung der Erdströme (besser gesagt der elektrischen Feldstärken an der Erdoberfläche) mit den Derivierten der entsprechenden magnetischen Komponente zum Ausdruck. Damit ist experimentell erwiesen, daß auch die Pulsationen der Erdströme sekundärer Natur sind und durch Induktion entstehen. Auf Grund der schon erwähnten hohen Induktivität des

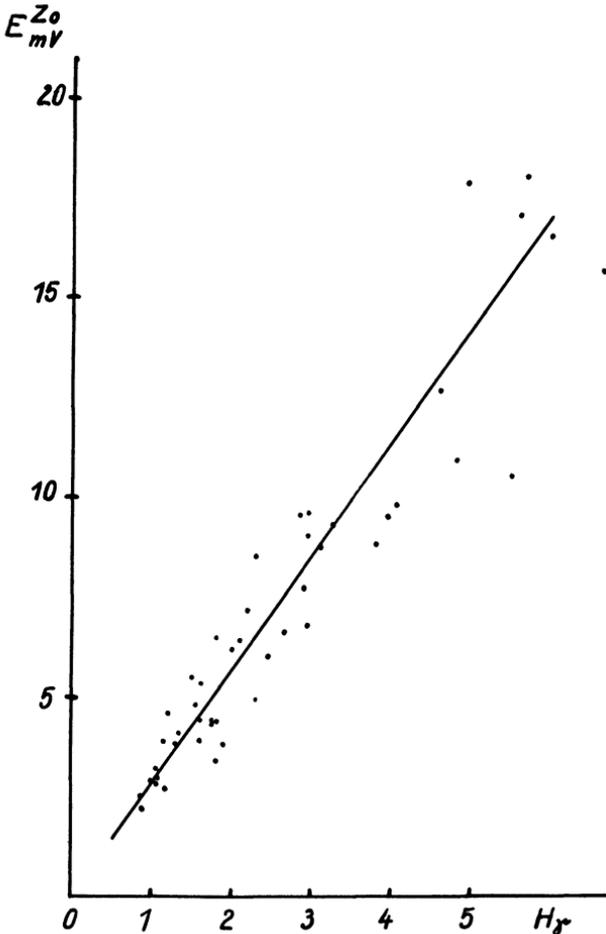


Abb. 10: Die relativ gute Amplitudenproportionalität zwischen H (γ) und E_{zo} (mV).

H- und D-Systems ist die Phasendifferenz zwischen den magnetischen und elektrischen Variationen sehr klein. Die ausgezeichnete Parallelität beider Vorgänge rechtfertigt die Anwendung der gleichen Fundamentalformeln, die zur Berechnung der Skalenwerte der Induktionsanlage benutzt wurden.

Auffallend ist, daß die Phasendifferenz immer das gleiche Vorzeichen hat, dh. die Erdstromphase ist in beiden Richtungen immer größer als die Phase von H und D. Der Phasenwinkel wird einfach aus

$$\Delta t_{\text{mm}} / r_{\text{mm}} \times 360^\circ + \text{arctg} \phi_{\dot{H}, \dot{D}} \text{ bestimmt,}$$

wo Δt die Verschiebung entsprechender Knotenpunkte in mm der Registrierung und r die Länge der Periode bedeuten. Bei den kurzen Tagesperioden ist $\Delta t \approx 0$, dh. die Phasenwinkel sind identisch. Bei den abends und

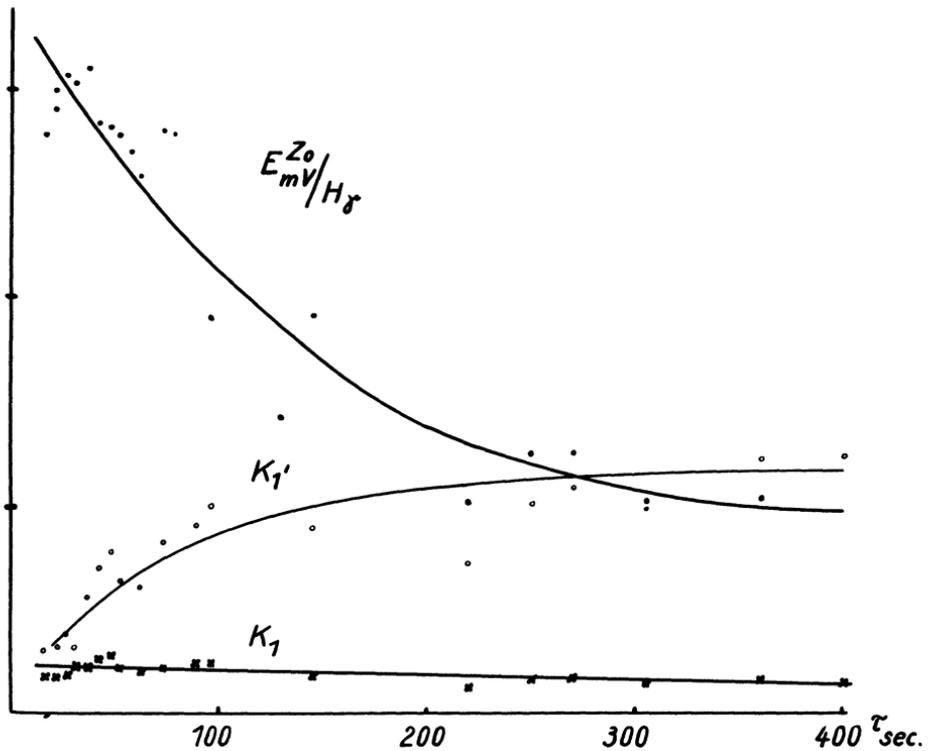


Abb. 11: Der Quotient $E_{z_0}^{mV} : H_{\gamma}$ in Abhängigkeit von der Periode (Punkte). Kurve K_1' nach Berücksichtigung der Kreisfrequenz und des Phasenwinkels und Kurve K_1 nach Berücksichtigung des Skinneffekts (Kreise bzw. Kreuze).

nachts auftretenden langen Perioden ist der Winkel beim Erdstrom durchweg größten. Wie später gezeigt werden kann, ändert sich beim Erdstrom auf Grund der Widerstandserhöhung durch den Skineffekt die Empfindlichkeit weniger stark als bei H und D.

In Abb. 10 sind die elektrischen Feldstärken in mV/Km der zonalen Richtung (Ordinate) zu den magnetischen Feldstärken aufgetragen. Man sieht, daß die Amplituden einigermaßen proportional sind. Die noch vorhandene starke Streuung beruht auf der noch nicht berücksichtigten Abhängigkeit von ω und $\cos \phi$; denn wie Abb. 11 zeigt, nimmt mit abnehmendem r der Quotient E/H hyperbolisch zu. Aus Platzgründen ist in der Abb. 10 u. 11 nur E^z und H betrachtet worden. Die gleiche Betrachtung gilt natürlich auch für E^m und D , nur sind hier die Quotienten im Mittel kleiner. Da, wie oben erwähnt, ähnliche Überlegungen wie bei der Induktion in den Spulen gelten müssen, ist anzunehmen, daß durch Anbringen der von ω und $\cos \phi$ abhängigen Empfindlichkeit die hyperbolische Kurvenform in Abb. 11 zu einer einigermaßen linearen Kurve korrigiert werden kann. Dazu geht man wieder von Formel 1 aus, die jetzt nur mit anderen Indizes geschrieben wird.

Bedeutet J_e den Erdstrom und R_e den gesamten Wirkwiderstand der unbekanntem Induktionsstrecke, so ist wegen $w = 1$ und $\mu \approx 1$

$$4) \quad J_e = \omega \phi \cos \phi_e / R_e \quad \text{und} \quad \phi_e = \arctg \omega L_e / R_e$$

An den Elektroden wird ein Spannungsgefälle abgegriffen, das in mV/Km geeicht wird. Bezeichnet man nun mit R_k den Widerstand, den der Erdstrom innerhalb von 1 km am Beobachtungsort zu überwinden hat, so ist $E_k^m V = J^m R_k \Omega / \text{km}$. Widerstandserhöhung durch den induktiven Anteil spielt für eine Strecke von 1 km keine Rolle, sie tritt aber bei großen Elektrodenentfernungen – wie anfangs erwähnt – sehr in Erscheinung. Bei allen Erdstromleitungen kann der Spannungsabfall über die Galvanometer auf Grund des viel höheren Widerstandes vernachlässigt werden.

Da, wie Abb. 10 zeigt, eine strenge Proportionalität zwischen den Amplituden der elektrischen und magnetischen Feldstärke in der zonalen und meridionalen Richtung besteht, darf in Gl. 4) als Mittel für den Fluß Φ , $F \times H$ gesetzt werden, wo F die Fläche normal zu den Kraftlinien bedeutet. Man kann für $F = l \times h$ schreiben, wo l die Länge der Induktionsstrecke ist, die dem Gesamtwiderstand R_e entspricht, und h die mittlere Höhe der für die Variationen verantwortlichen Stromschicht in der Ionosphäre bedeutet. Der Induktionsvorgang gleicht hier stark der Gegeninduktion koaxialer Kabel. Dem Stromband in der Höhe liegt ein, um 180° verdrehtes Stromband in der Erdrinde gegenüber. Wie die Eichungen täglich beweisen, ist die Stromrichtung in der Erde bei Variationen umgekehrt wie die in der Ionosphäre; letztere kann bekanntlich nach der H- und D-Aus-

schlagrichtung analysiert werden.

Wird in Gl. 4) E in mV/Km , H in Γ und die Längen in Km ausgedrückt, so fällt der Faktor $10^{-8} \times 10^{-5} = 10^{-13}$, der Volt mit $1 \Gamma = 10^{-5}$ cgs in Beziehung setzt, fort.

$$5) \quad E \sec \phi / \omega H = R_k l h / R_e = K_1'$$

Setzt man links die bekannten Werte ein, so stellt man fest, daß sowohl für die zonale als auch meridionale Richtung K_1' noch stark periodenabhängig ist. Berücksichtigt man aber, daß R_e auf den großen Erdstromstrecken mit der Kreisfrequenz in der Weise zunimmt, daß der wirksame Widerstand $R_w = c \sqrt{\omega} R_e$ ist, wo c noch die Leitfähigkeit und weitere Konstanten enthält³⁾, so resultiert für 5):

$$6) \quad E \sec \phi / \sqrt{\omega} H = R_k l h / c R_e = K_1$$

In Abb. 11 sind die K_1 für alle hier vorkommenden Perioden eingezeichnet (Kreuze). Im Gegensatz zu den Induktionsspulen von H und D ist der Skineffekt beim Erdstrom nicht zu vernachlässigen. Auf diesen Effekt weisen viele andere Bearbeiter [6, 7, 8] des Problems hin, doch reicht er hier nicht über den Rahmen einer Korrekturgröße hinaus.

K_1 beträgt für die z_0 -Richtung rund 10.44, für die m -Richtung 3.50.

Da R_k für beide Richtungen am Beobachtungsort (Fürstenfeldbruck) für eine Strecke von 1 km als gleich groß angesehen werden kann und die Induktionshöhe für beide Richtungen identisch ist, folgt aus der Proportion von

$$K_1^{z_0} \text{ und } K_1^m, \text{ wenn noch } l_{z_0} \approx l_m \text{ und } c_{z_0} \approx c_m:$$

$$R_e^m \approx 3 R_e^{z_0}.$$

Da die Verhältnisse von Fürstenfeldbruck wahrscheinlich für das ganze Alpenvorland gelten, kann auf Grund der Struktur dieses Gebietes gefolgert werden, daß der Nordsüderstrom einen dreimal so großen Widerstand zu überwinden hat als der Strom in der Ostwestrichtung.

Wie sich die Amplituden auf Skineffekt korrigieren lassen, so besteht dieselbe Möglichkeit auch für den Phasenwinkel. Dieser berechnet sich nach

$$7) \quad L_e / c R_e = (\operatorname{tg} \Delta \phi + \operatorname{tg} \phi_{sp}) / (1 - \operatorname{tg} \Delta \phi \cdot \operatorname{tg} \phi_{sp}) \sqrt{\omega} = K_2,$$

wo $\Delta \phi = \Delta t / \tau \cdot 360^\circ$ und ϕ_{sp} den Phasenwinkel der Spulenanlage bedeuten.

³⁾ Nach Zenneck [5] besteht eine Annäherungsformel für den wirksamen Widerstand eines Drahtes mit dem Radius ρ und der Leitfähigkeit σ $R_w = R(0.35 \sqrt{m\rho} + 0.277)$ mit $m = 4\pi\mu\sigma\omega$. Faßt man sämtliche Größen außer ω in c zusammen, so resultiert eine ähnliche Formel wie oben.

$$K_2^{z^0} = 5.27 \pm 1.6, K_2^m = 4.36 \pm 1.7.$$

Somit ändern sich die Tangenten der Phasenwinkel in der z^o-Richtung wie $5.27 \sqrt{\omega}$, in der m-Richtung wie $4.36 \sqrt{\omega}$. Mit größer werdender Periode nehmen sie danach bei den Erdströmen langsamer ab als bei \dot{A} und \dot{D} , deren Tangenten sich wie 4.70ω und 4.48ω ändern. Das bedeutet bei dieser Anlage, daß erst bei Perioden über 30 Sekunden eine Phasendifferenz zu sehen ist. Man kann nun umgekehrt für jede Periode die Differenz in mm auf dem Registrierbogen berechnen. Die Werte, die ganz den Beobachtungen entsprechen, sind für beide Richtungen in Tab. 2 angegeben.

τ sec	E^{z^0}/\dot{H} Δt_{mm}	E^m/\dot{D} Δt_{mm}
5	—	—
20	—	—
30	0.093	0.08
40	0.15	0.14
50	0.21	0.19
60	0.27	0.24
80	0.38	0.33
100	0.50	0.43
120	0.51	0.52
160	0.77	0.66
200	0.93	0.81
300	1.26	1.07
400	1.57	1.32
500	1.82	1.51

Während in K_1 fünf unbekannte Größen enthalten sind, enthält K_2 drei davon. Setzt man sie in Proportion, so lassen sich zwei Unbekannte eliminieren. $K_1/K_2 = C$ beträgt für den Strom in der z^o-Richtung ~ 2.0 in der m-Richtung ~ 0.8 . Stellt man nun wieder ähnliche Betrachtungen wie oben an, indem man gleiche R_k , h und l annimmt, so ergibt sich eine ähnliche Relation für L_e wie oben. Danach ist $L_e^m \approx 2.5 L_e^{z^0}$.

Während der Widerstand in zentraler Richtung nur 33.3% von dem der meridionalen Richtung beträgt, ist die Eigeninduktivität in der ersteren Richtung etwa 40% von der in der zweiten. Da man dieses Ergebnis sehr wahrscheinlich auf das ganze Alpenvorland ausdehnen kann, läßt sich auf Grund der geologischen und tektonischen Eigenschaften der Alpen folgern, daß sie die Ursache dieser Anisotropie sind. Sicherlich ist der an der äußersten Oberfläche gemessene Erdstrom im großen und ganzen an die Oberfläche gebunden. Weitere Schlüsse, vor allem auf den tieferen Untergrund zu ziehen, dürfte trotz des umfangreichen Beobachtungsmaterials vorerst noch nicht möglich sein.

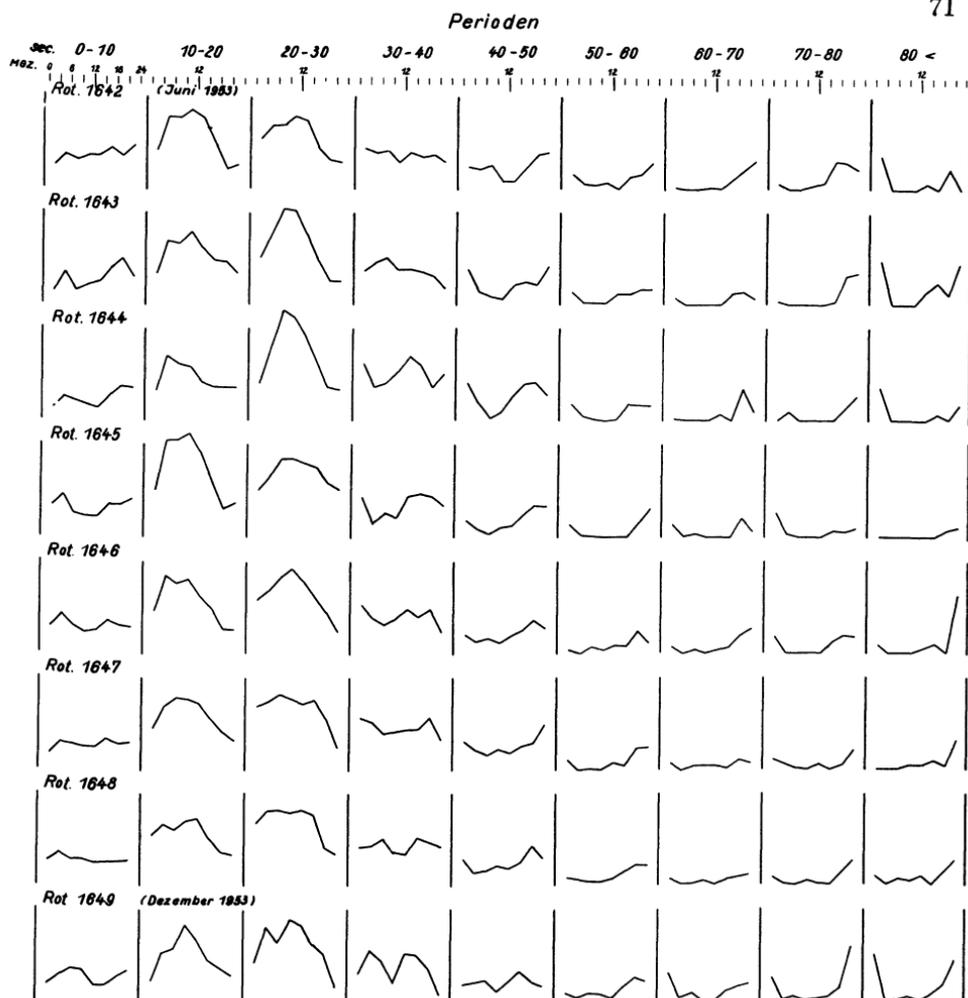


Abb. 12: Häufigkeit der Pulsationen nach Periodenklassen von 10 zu 10 Sekunden für 7 Sonnenrotationen (Juni-Dezember 1953). Mittägliches Maximum bei den Perioden zwischen 10 und 30 Sekunden.

Pulsationsstatistik

Da die Pulsationen des Erdstroms und der Magnetik so konform verlaufen, genügt für die Statistik die Auszählung mit einer der Aufzeichnungen. Sie erfolgte in der Weise, daß für jede Klasse von Perioden (10-Sekundenintervalle) die Amplituden abgelesen wurden. Nach Zusammenfassung in 3-Stundenintervalle konnten die Werte für die gleiche Tageszeit nebeneinander graphisch aufgetragen werden (Abb. 12).

Die Pulsationsklassen von 10-20 und von 20-30 Sekunden haben ein ausgeprägtes Maximum über die Mittagsstunden. Das darüber liegende Inter-

vall von 30-40 Sekunden deutet zum Teil schon ein Doppelmaximum an, das bei höheren Intervallen noch deutlicher hervortritt. Die langen Perioden sind tagsüber kaum zu finden. Die charakteristische Häufigkeitsverteilung der Perioden zwischen 10-30 Sekunden gleicht in ihrem Verlauf der bekannten Tageskurve der Elektronenkonzentration der E- und F_1 -Schicht. Die ähnliche Kurvenform läßt somit die zweifache Schlußfolgerung zu, daß erstens der Herkunftsort der Tagspulsationen in der E- oder F_1 -Schicht zu suchen ist, und zweitens, daß der Aufbau der Ladungen anscheinend mit Schwingungsvorgängen in Beziehung steht. Wie bekannt, stehen die langen Perioden mit abend- und nächtlichen Maximum mit dem Einfall von Partikelstrahlung in Beziehung. Die Wellenstrahlung fällt für diese Zeiten als Ionisator aus.

Die zweite Art der Pulsationen steht häufig in Beziehung mit den bekannten Baistörungen; dabei kann der von *Y. Kato* [9] und anderen Beobachtern immer wieder zu bestätigende Effekt beobachtet werden, daß die Pulsationen vorwiegend im aufsteigenden Ast des Bai auftreten, sozusagen also Initialeffekte der Bais sind. Bemerkenswert ist ihr synchrones Erscheinen an allen Stationen, die den Bai registrieren.

Noch völlig unbekannt ist die Ursache dieser Partikelpulsationen. Werden die Orbitalbahnen der Korpuskel im Erdfeld (Nach *Störmer*) herangezogen, so müßten die Pulsationen den ganzen Bai über andauern und ihre Amplitude gegen das Maximum des Bai, wo die Stromdichte in der Ionosphäre die größte Intensität erreicht, dauernd anwachsen. Eher scheint der Initialeffekt ein Ausgleichsvorgang zu sein, der auftritt, wenn ein Beharrungszustand plötzlich in einen anderen übergeführt wird und dabei sogenannte Wanderwellen entstehen.

Sei der anfängliche Zustand durch $U_1(x,t)$, der neue durch $U_2(x,t)$ gekennzeichnet. Für den Übergang zwischen beiden Zuständen tritt die Ausgleichsfunktion $U_f(x,t)$ in Kraft, die im Augenblick $t = 0$ des beginnenden Ausgleichs die Bedingung $U_2(x,0) = U_1(x,0) + U_f(x,0)$ zu erfüllen hat. Für $t > 0$ muß $U(x,t) = U_2(x,t) - U_f(x,t)$, für $t \rightarrow \infty$ aber $U_f(x,\infty) = 0$. $U_f(x,t)$ stellt die freien Schwingungen des Stromsystems dar, die mit $t \rightarrow \infty$ vermöge der Dämpfung abklingen. Erfolgen die Zustandsänderungen nicht sprunghaft, sondern mehr oder weniger kontinuierlich, so braucht $U_f(x,t)$ nicht in Kraft treten. Beobachtungsmäßig kann man das so deuten, daß die Überlagerung der magnetischen Feldkräfte mit Pulsationen (auch der Tagespulsationen) meist an ruhige Ausgangszustände gebunden ist. Tatsächlich stellt man besonders markante Schwingungen an Tagen fest, wo der allgemeine Verlauf der Kurven als ungestört zu bezeichnen ist. An Tagen mit großer Unruhe sind ausgesprochene Pulsationen selten zu beobachten.

Zwischen den durch Wellenstrahlung indirekt hervorgerufenen Tagespulsationen und den durch einen Partikeleffekt bewirkten Schwingungen ist auch in der Häufigkeit ein Unterschied festzustellen. Gemäß Abb. 13 über-

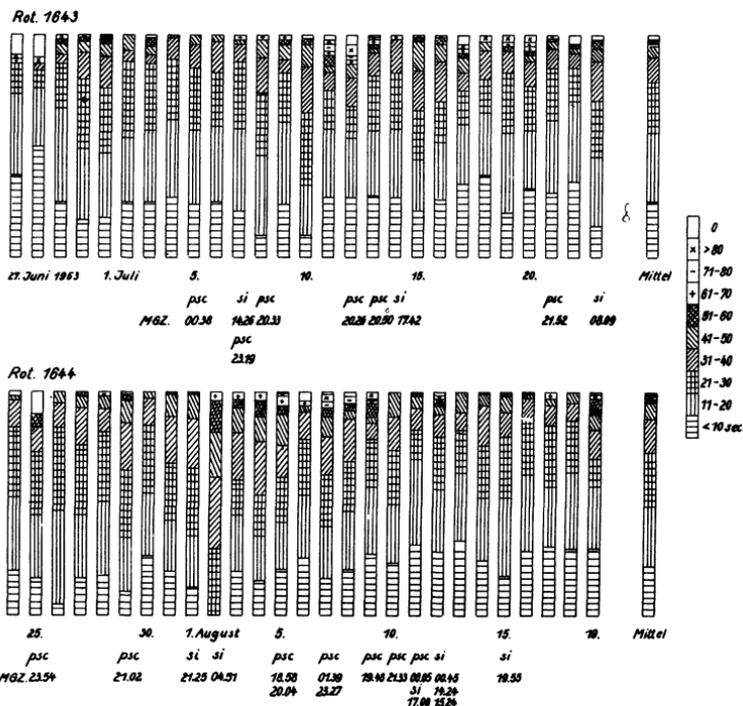


Abb. 13: Anteil der Periodenklassen am gesamten Pulsationsspektrum. Auffallende Wiederholungstendenz (27 Tage) bei den langen Perioden.

wiegen die Pulsationen von 10-30 Sekunden an Häufigkeit bei weitem diejenigen der höheren Perioden. Dagegen ist die bekannte 27-tägige Wiederholungstendenz entsprechend den Sonnenrotationen weniger bei der kurzen als bei den langen Perioden zu finden.

Literatur

- [1] W. J. Rooney, Earth-currents in Physics of the Earth VIII, edited by J. A. Fleming, Dover Publications, New York.
- [2] O. H. Gish, Journals of the Washington Academy of Sciences, vol. 26, Np. 7, 1936.
- [3] R. Bock und F. Moench, Mitteilungen d. Magnet. Obs. d. Univ. Berlin u. d. Reichspost Z. A. 1933.
- [4] K. Burkhart, Geofisica Pura e Applicata - Milano, Vol XIX (1951).
- [5] J. Zenneck, Ann. d. Ann. d. Phys. 11, 1135, 1903.
- [6] Y. Kato and T. Kikuchi, Sc. Reports, Serie 5, Geophysics 2, 138 and 142 Tohoku Univ. 1950.
- [7] L. Cagniard, Geophysics 18, 605, 1953.
- [8] J. G. Scholte and J. Veldkamp, Journal of Atm. a. Terr. Ph., Vol. 6, 1955.
- [9] Y. Kato, G. Grenet usw., Sc. Rep. Serie 5, Vol. 6 No. 1, 1954.

Tiefentellurik

Erforschung der großräumigen elektrischen Leitfähigkeitsstruktur des tiefen Untergrundes durch geomagnetische Variationen

Von H. Wiese, Potsdam-Niemegk¹⁾

(Mitteilung aus dem Geomagnet. Institut und Observatorium Potsdam-Niemegk Nr. 43)

Zusammenfassung: Bei erdmagnetischen Variationen von weniger als 2 Stunden Dauer zeigen sich im europäischen Raum in der Vertikalkomponente auf der einen Seite gleiche Variationen an teilweise weit entfernten Observatorien, auf der anderen Seite entgegengesetzte an benachbarten Observatorien. Das ist die Wirkung einer sich im tiefen Untergrund erstreckenden Zone erhöhter elektrischer Leitfähigkeit, die sich von Spanien über Norddeutschland zum Bospurus und nach Nordafrika zieht. Eine qualitative Erklärung der Z-Variationen wird gegeben. Auch außerhalb Europas machen sich elektrische Leitfähigkeitsstrukturen im Untergrund, z. B. in Japan, Südafrika, China, Nordamerika bemerkbar. Geologisch gesehen liegen alle Strukturen außerhalb der schon im Erdaltertum konsolidierten Kratone. Für diese Methode zur Erforschung des tiefen Untergrundes wird der Name Tiefentellurik vorgeschlagen.

Abstract: Geomagnetic Z-variations of less than 2 hours duration show in Europe on one side similar variations at sometimes far distant observatories on the other side opposite variations at observatories in the neighbourhood. This is the effect of a zone of high electric conductivity in the deep earthcrust, which extends from Spain over North Germany to the Bospours and North Afrika. A qualitative explanation of the Z-variations is given. Besides there appear electrical conductivity-structures in other continents e.g. in Japan, South Afrika, China, North America. Viewed geologically all structures are situated outside the cratons already consolidated in the palaeozoicum. For this method exploring the deep earthcrust the name "deep telluric" is proposed.

Dieses Referat (Vortrag auf der Münchener Tagung der Geophysikalischen Gesellschaft 1955) ist eine kurze Zusammenfassung der in Literat. [1], [2], [3] aufgeführten Arbeiten.

Da die großräumigen elektrischen Stromwirbel in der Ionosphäre in einem elektrisch leitfähigen Erdinnern Ströme induzieren, sind die an der Erdoberfläche aufgezeichneten erdmagnetischen Variationen aus zwei Teilen zusammengesetzt. Zur theoretischen Behandlung nahm man an, daß die Leitfähigkeit von einer Tiefe von 200 km ab kräftig ansteigt [4], [5], [6]. Der im Erdinnern induzierte Anteil der tagesperiodischen Variationen ließ

¹⁾ H. Wiese, Niemegk, Kreis Belgiz, Geomagnetisches Observatorium

sich dann befriedigend deuten. Experimentelle Untersuchungen (Coster [7]) bestätigten die Zunahme der elektrischen Leitfähigkeit mit der Tiefe.

Durch einen von Prof. Fanselau 1949 angeregten Kurvenaustausch zwischen den Observatorien Wingst und Niemeck stellte sich sehr bald entgegengesetzter Verlauf der Z-Variationen an beiden Observatorien bei Variationen von weniger als 2 Stunden Dauer heraus, während die Horizontalkomponenten einander stark ähnelten. Dagegen waren bei den tagesperiodischen Variationen auch bei der Vertikalkomponente nur ganz geringe Unterschiede zu bemerken. Meyer[8] wies darauf hin, daß diese Unterschiede durch kräftige Induktionsströme im Untergrund zwischen Wingst und Niemeck hervorgerufen werden müßten. Fleischer[9] untersuchte unter Verdichtung der Beobachtungsstationen auf einen Nord-Süd-Schnitt zwischen Wingst und Göttingen die Stromverteilung näher und fand, daß die Induktionsströme nicht tiefer als 80 km fließen könnten (Kertz[10]). Die kräftigen Induktionsströme müssen durch eine Zone großer elektrischer Leitfähigkeit im Untergrund hervorgerufen sein. Um das Verhalten der Z-Variationen im europäischen Raum näher verfolgen zu können, wurden 6 Baystörungen, zwei plötzliche Sturmausbrüche und ein Sonneneruptionseffekt für alle erreichbaren 33 Observatorien näher untersucht. Es ergaben sich gleichsinnige Z-Variationen, die teilweise bis in kleine Einzelheiten übereinstimmen an unter Umständen weit voneinander entfernten Stationen, auf der anderen Seite entgegengesetzte Z-Variationen an dicht benachbarten Stationen. So waren die Z-Variationen in Manhay (Belgien), Niemeck, Prunonice (CSR), Wien-Auhof (Österreich), Surlari (Rumänien), Istanbul-Kandilli (Türkei), Helwan (Ägypten) einander recht ähnlich. In Hurbanovo (CSR) (s. auch Steiner, [11]) und Ücker münde waren sie kleiner, aber gleichsinnig wie in Niemeck. Entgegengesetzte Z-Variationen zu Niemeck traten in Rude Skov (Dänemark), Wingst, Abinger (England), Ebro (Spanien), Coimbra (Portugal) auf. In Witteveen (Holland), Chambon-la-Forêt. (Frankreich), Trojan (Bulgarien) waren sie wesentlich kleiner, aber gleichsinnig wie in Wingst. An den Stationen mit nur sehr kleinen Z-Variationen müssen entweder die Induktionsverhältnisse im Untergrund sehr einheitlich sein oder aber die Stationen liegen nahezu über den Hauptinduktionsströmen im Untergrund, wodurch hauptsächlich die Horizontalkomponenten beeinflußt werden. (z. B. Witteveen).

Aus den Registrierungen läßt sich nun der Verlauf einer Zone erhöhter elektrischer Leitfähigkeit im Untergrund finden (Abb. 1), die sich von Spanien über Norddeutschland bis zum Bosphorus zieht. Die südliche Verbindung über Nordafrika ist hypothetisch und nur durch die Station Helwan belegt. Ebenso können sich sie Induktionsströme sehr weiträumig im tiefen Untergrund schließen, ohne daß man auf den Registrierungen etwas bemerkt. Durch die Ergebnisse von Surlari muß die Zone erhöhter elektrischer Leitfähigkeit in Abb. 1 bis in den rumänischen Raum ausgebuchtet sein.

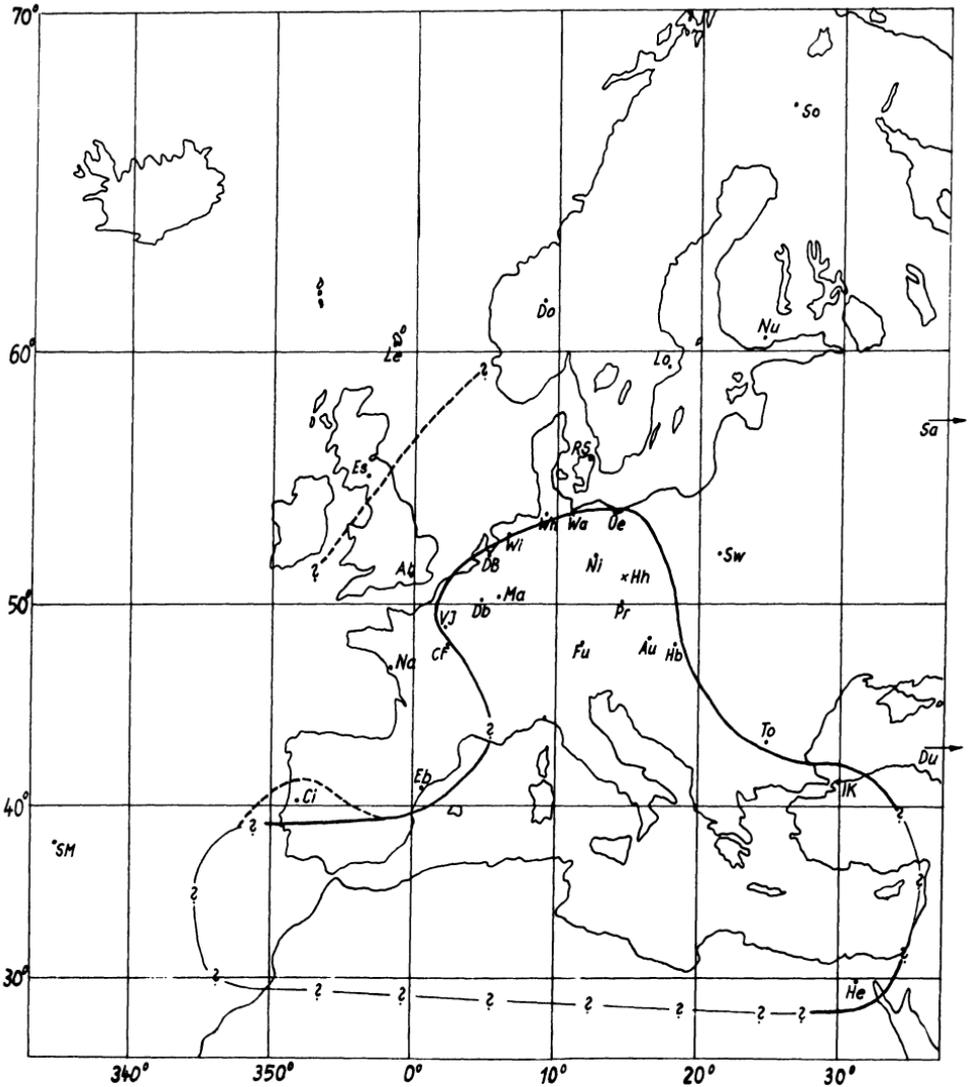


Abb. 1: Verlauf der Zonen erhöhter elektrischer Leitfähigkeit im Untergrund

— Hauptzone

--- Weitere Zone bei schnellen Variationen (plötzliche Sturmsausbrüche, Sonneneruptionseffekte)

Die Zonen muß man sich als breite Bänder vorstellen

Interessante Ergebnisse treten bei Stationsverlegungen auf. Wie sich aus einer großen Anzahl von Störungsreproduktionen ergibt, zeigt die alte Station De Bilt in Holland nur wenig kleinere Z-Variationen in gleicher Ausschlagrichtung wie in Potsdam-Seddin-Niemegk. Die Nachfolgestation Witteveen liegt aber etwas nördlich der Hauptinduktionsströme und zeigt Variationen wie Wingst, Rude Skov, nur kleiner, also entgegengesetzte zu Niemegk. Ähnlich liegen die Verhältnisse bei Val Joyeux in Frankreich, das nach vielen Störungsreproduktionen nach der Arbeit über Baystörungen von Rougerie[12] ähnliche Z-Variationen wie Niemegk zeigt. Dagegen ist der Z-Kurvenverlauf in Chambon-la-Forêt sehr träge und phlegmatisch und zeigt nur geringe Z-Ausschläge, die in ihrer Richtung oft ähnlich, nur wesentlich kleiner, wie in Wingst sind.

Nicht nur anschaulich, sondern auch mathematisch läßt sich der Beweis der aus dem Erdinnern stammenden Ursache der unterschiedlichen Z-Variationen erbringen. Nach der Potentialtheorie trennte Kertz[10] für die Werte von Fleischer[9] (Schnitt Wingst-Göttingen) den inneren und äußeren Anteil der Variationen. In [1] wurde für den gesamten mitteleuropäischen Raum eine Trennung durchgeführt, die recht eindeutig ist.

Rein qualitativ läßt sich unter Berücksichtigung der Aufbau ionosphärischer Stromwirbel von Baystörungen[13] die Zusammensetzung der Z-Variationen aus innerem und äußeren Anteil abschätzen, und es läßt sich zeigen, wie im Laufe der Störungen eine Umkehr des Z-Anomalienbildes auftritt (z. B. Niemegk zu Beginn negative Z-Variation, gegen Ende positive; Wingst, Rude Skov, zu Beginn, positive, gegen Ende negative). Je kurzperiodischer die Variationen sind, desto oberflächennäher werden die hauptsächlichsten Induktionsströme fließen. Das ist eine Wirkung der Leitfähigkeitsverteilung mit der Tiefe und des Skin-Effektes. Nur bei schnellen Variationen, z. B. Sonneneruptionseffekte, plötzliche Sturmasbrüche, tritt daher noch eine weitere Umkehr der Z-Variationen zwischen Nord- und Südeuropa und in Spanien in Erscheinung. Hier muß in der oberflächennahen elektrischen Leitfähigkeitsstruktur eine Anomalie vorhanden sein. Außerdem liegt die bereits für Baystörungen im norddeutschen Flachland gefundene Zone großer elektrischer Leitfähigkeit bei diesen Störungen etwas nördlicher. Witteveen zeigt bei fast allen plötzlichen Sturmasbrüchen gleichsinnige, wenn auch sehr kleine Z-Variationen wie Niemegk. Ganz ähnliche Verhältnisse wie in Witteveen findet man an der Hilfsstation Warnkenhagen in der Lübecker Bucht. Bei den Induktionsströmen schneller Variationen muß man jedoch die große Leitfähigkeit des Meeres berücksichtigen, wie sich aus einer Arbeit von Barber [14] über die Induktionsströme im Englischen Kanal ergibt.

Je langsamer, bzw. je langperiodischer die Variationen sind, desto tiefer werden die hauptsächlichsten Induktionsströme in der Erdkruste bzw. im Mantel fließen. Deshalb sind die Unterschiede an den einzelnen Stationen

bei den tagesperiodischen Variationen nur sehr gering und gar nicht mit obigen Effekten vergleichbar. Die harmonischen Koeffizienten des täglichen Ganges an ruhigen Tagen nach Ortszeit zeigen im Mittel der Jahre 1935 bis 1939 für Abinger (England) und Niemeck folgendes Ergebnis

Nordkomponente X						
	c_1	ϕ_1	c_2	ϕ_2	c_3	ϕ_3
	γ		γ		γ	
Ab	16.0	104°	9.3	276°	1.5	138°
Ni	15.4	103	8.1	284	2.4	171
Ostkomponente Y						
Ab	19.5	16	14.0	220	5.9	52
Ni	20.0	22	15.7	226	6.5	51
Vertikalkomponente Z						
Ab	7.9	102	7.9	274	2.7	93
Ni	7.5	87	6.4	264	2.7	86

Es handelt sich, besonders bei Y und Z um reelle Unterschiede, die zwar klein sind, aber in jedem Jahr in gleicher Weise auftreten. Niemeck und Abinger liegen angenähert in gleicher geographischer Breite. — — —

Auch in anderen Gebieten der Erde machen sich Unterschiede in den Variationen bemerkbar, die auf die heterogene Struktur des Untergrundes hindeuten. So haben Rikitake, Yokoyama, Hishiyama[15] in Japan große Unterschiede der Z-Variationen bei Baystörungen und plötzlichen Sturmsausbrüchen festgestellt. An einer Stelle steigt das Verhältnis von Störungen der Vertikalkomponente zu denen der Horizontalkomponente auf 1,0 an, während es sonst wesentlich kleiner ist. An der gleichen Stelle treffen auch zwei Zonen hoher Erdbebenhäufigkeit aufeinander (z. B. [16]).

Bartels[17] gab einen Überblick über die durch erdmagnetische Variationen gefundenen Inhomogenitäten der elektrischen Leitfähigkeit des Untergrundes und wies auf Zusammenhänge mit Erdstromregistrierungen hin, Vacquier[18] fand Unterschiede der Z-Variationen in Nordamerika. Von Bauer [19] und Van Bemmelen[20] liegt für viele Observatorien der Erde eine statistische Sammlung von plötzlichen Sturmsausbrüchen vor. Ferner werden die plötzlichen Sturmsausbrüche vieler Observatorien laufend in Geophysical Research veröffentlicht. Die Ergebnisse für alle ssc (plötzliche Sturmsausbrüche) 1950-54 wurden gemittelt und das Verhältnis $\frac{\Delta Z}{\Delta H}$ gebildet. Das Gleiche wurde für die Werte von Bauer und Van Bemmelen getan. Daraus ergibt sich ein recht interessanter Überblick. Das größte Ver-

hältnis $\frac{\Delta Z}{\Delta H} = 0.8$ ergibt sich für die Station Hermanus in Südafrika. Hier müssen zweifellos anormale elektrische Leitfähigkeitsverhältnisse im Untergrund vorhanden sein. Ein weiteres überraschendes Ergebnis tritt bei den nur ungefähr 40 km entfernten Observatorien Zô-Sê und der Vorgängerstation Zi-Ka-Wei zutage, während $\frac{\Delta Z}{\Delta H}$ für Zô-Se = + 0.28 ist, beträgt es für Zi-Ka-Wei = - 0.15.

Aus diesen wenigen Ergebnissen sieht man, daß uns in den erdmagnetischen Registrierungen bei entsprechender Verdichtung des Stationsnetzes ein wertvolles Hilfsmittel zur Verfügung steht, die Struktur der tiefen Erdkruste in Bezug auf die elektrischen Leitfähigkeitsverhältnisse zu erforschen. Besonders transportable Registrierstationen (*Fanselau*[21]) werden dabei von großer Bedeutung sein. —

Die sehr schwachen oberflächennahen Induktionsströme bzw. Spannungsunterschiede kann man elektrisch direkt abgreifen. Sie werden schon weitgehend zur geophysikalischen Mutung benutzt, indem man von kurzperiodischen Schwankungen von wenigen sec bis einigen Minuten Dauer Gebrauch macht. Die Methode ist unter dem Namen "Tellurik" bekannt. Da bei obigen Untersuchungen auch Induktionsströme beobachtet werden, die jedoch so tief fließen, daß man nur ihre magnetische Wirkung feststellen kann, soll dafür der Name Tiefentellurik vorgeschlagen werden.

Geologisch läßt sich über die erhaltenen Ergebnisse nur wenig sagen. Auffällig ist, daß sowohl die Leitfähigkeitsanomalien in Europa wie auch in Japan, die Station Hermanus, Zô-Sê, Zi-Ka-Wei und der südliche Teil Nordamerikas außerhalb der alten Kratone (Urkontinente, Urozeane) im Sinne Stilles liegen, in orogenetisch stark differenzierten Räumen, so daß man annehmen kann, daß dramatische Entwicklungen an der Erdoberfläche sich bis in Tiefen von 100 km auswirken. Direkte Beziehungen zu den einzelnen Strukturen hat man bis jetzt nicht finden können. Interessant sind in dieser Beziehung auch die seismischen Ergebnisse *Benioffs*[22], die zeigen, daß sich die Kontinente bis in große Tiefen bemerkbar machen.

Literatur

- [1] *Wiese, H.*, Abhandlungen des Geomagnetischen Instituts und Observatoriums Potsdam-Niemegk, Nr. 16 (im Druck)
- [2] *Wiese, H.*, Zeitschrift für Met., 8, 1954, S. 77-79
- [3] *Wiese, H.*, Geologie, 1955, S. 520-25
- [4] *Chapman, S.*, *Price, A. T.*, Phil. Trans. Roy. Soc. Lond. A 229, 1930, S. 427-60
- [5] *Lahiri, B. M.*, *Price, A. T.*, Phil. Trans. Roy. Soc. Lond., A 237, 1938, S. 509-40
- [6] *Rikitake, T.*, Bull. Earthquake, Res. Inst. Univ. Tokyo 28, 1950, S. 45-98, S. 219-283, Vol. 29, 1951, S. 61-69, S. 539-47
- [7] *Coster*, Mon. Not. Geophys. Suppl. 1948
- [8] *Meyer, O.*, Deutsch. Hydrol. Zeitschr. 4, 1951, S. 61-65
- [9] *Fleischer, U.*, Naturwiss. 41, 1954, S. 114-15
- [9a] *Fleischer, U.*, Zeitschrift für Geophysik. 3, 1954, S. 120-136.
- [10] *Kertz, W.*, Nach. Akad. Wiss. Göttingen, Phys. Math., Kl. Abt. 2a, 1954.
- [11] *Steiner, L.*, Terr. Magn. 26, 1921, S. 1-14
- [12] *Rougerie, P.*, Ann. d. Géophys. 10, 1954, S. 47-58
- [13] *Wiese, H.*, Gerl. Beitr. z. Geophys., 1955 (im Druck)
- [14] *Barber, N. F.*, Monthly Not. Roy. Astron. Soc., Geophys. Suppl. 5, 1948, S. 258-69
- [15] *Rikitake, T.*, *Yokoyama, I.*, *Hishiyama, Y.*, Bull. Earthqu. Res. Inst. Tokyo, 30, 1952, S. 207; 31, 1953, S. 19; S. 89; S. 101; S. 119 u. Naturwiss.41, 1954, S. 420-21
- [16] *Gutenberg, B.*, *Richter, C. F.*, Seismicity of the Earth, Pinc. Univ. Press, 1954
- [17] *Bartels, J.*, Nachr. Akad. Wiss. Göttingen, Phys. math.Kl.Abt. 2a, 1954
- [18] *Vacquier, V.*, Terr. Mag. 42, 1937 S. 17-28
- [19] *Bauer, L. A.*, Terr. Mag. 15, 1910, S. 9-20, 219-32, 16, 1911, S. 85-108, 163-188.
- [20] *Van Bemmelen*, Proc. Amsterdam, Akad. 1908, S. 773-82
- [21] *Fanslau, G.*, Zeitschr. f. Met., 5, 1951, S. 364-373
- [22] *Benioff, H.*, Bull. Geolog. Soc. America 65, 1954, S. 385-400. Übersetzung: Bergakademie 1954, S. 488-95, 542-46, Heft 11-12

Untersuchungen über die Zusammenhänge zwischen Luftdruck und Brunnenpiegel. ¹⁾

Von R. Meißner, Hannover ²⁾

Zusammenfassung: Aufgrund von Durchströmversuchen durch Sande der verschiedensten Durchfeuchtung und Korngröße wird ein Durchflußgesetz für Luft (ähnlich dem *Darcy'schen* Gesetz für Wasserdurchfluß) gefunden. Es dient als Grundlage zur Berechnung des Eindringens von Luftdruckschwankungen in den Erdboden. Durch Druckdifferenzen zwischen dieser in den Erdboden eindringenden Luft und dem gerade am Brunnenpiegel herrschenden äußeren Luftdruck können bei sehr feinen Böden und größeren Grundwassertiefen dem Luftdruckverlauf ähnliche Brunnenpiegelschwankungen hervorgerufen werden. Weitere Versuche mit einem künstlichem Grundwasserspiegel zeigten jedoch, daß es besonders die im Saugsaum aller feinen Sande (auch Tone, Lehme u. dergl.) enthaltenen großen eingeschlossenen Luftvolumina (in Form von Luftbläschen sind, die für die vielerorts auftretenden luftdruckähnlichen Brunnenpiegelschwankungen verantwortlich sind. Registrierungen vom künstlichen Brunnen, von vielen natürlichen Brunnen sowie von 2 Quellen weisen die verschiedensten, z. T. bis zu 10 cm groß werdenden, rein luftdruckbedingten Schwankungen auf.

Abstract: After many experiments in the laboratory a formula for the flow of air through sands of different size and different moisture has been found. (Similar to *Darcy's* Law for the flow of water). With aid of this formula it has been calculated, in what kind the natural fluctuation of the airpressure get into the upper stratum of the earth untill to the ground-water-level. The materials above being of small size and the ground-water-level being at least 4-6 meter deep there occur *pressure-differences* between the slowly invading air pressure and the alternating air pressure outside being in the well too. As the result of these horizontal pressure-differences ground-water will flow in the direction of the well and cause fluctuations quite similar to those of the air-pressure.

By further experiments with an artificial well and an artificial ground-water level another more important factor has been found: Many inflated pores existing in all fine materials in the zone of capillarity cause the most fluctuations of the levels in the wells by compriming and expanding when air-pressure alternate. Registrations of the artificial well, of many natural wells, of two springs show the different fluctuations being in maximum 10 cm, only caused by the natural variations of the air-pressure.

¹⁾ Auszug aus einer im Frankfurter Institut f. Geophysik u. Meteorologie (Leitung Prof. Dr. Mügge) fertiggestellten Dissertation.

²⁾ Dr. R. Meißner, PRAKLA, Gesellschaft für praktische Lagerstättenforschung, Hannover, Haarstr. 5

Teil I: Versuche im Labor

In einer früheren Arbeit [1] wurden die Zusammenhänge zwischen Luftdruckschwankungen und Grundwasserstand sowie die Ursachen der so bedingten Brunnenpiegelschwankungen behandelt. Laufende Feinregistrierungen von Brunnenpiegel und Luftdruck hatten eine weitgehende Übereinstimmung ergeben. Als Ursache hierfür wurden *Druckdifferenzen* angesehen, die sich durch ein Nachhinken des auf dem Grundwasser im Boden lastenden Luftdrucks gegenüber dem äußeren Luftdruck (der auch am Brunnenpiegel herrscht) ausbilden. Vorausgesetzt also, daß sich der Luftdruck im Boden über dem Grundwasserspiegel von dem sich schneller ändernden Ausendruck unterscheidet, setzt die so entstehende horizontale Druckdifferenz Grundwasser zum Brunnen hin bzw. von ihm weg in Bewegung. Dies bewirkt ein Steigen des Brunnenpiegels bei Luftdruckfall und Fallen des Brunnenpiegels bei Luftdruckanstieg.

Neben dieser Deutung des Effekts, die im wesentlichen auf einer Theorie von *v. Eimern* [2] aufbaute, wurde in [1] noch der Versuch unternommen, das Eindringen von Luftdruckschwankungen in den Erdboden bis zum Grundwasserspiegel hin theoretisch zu berechnen, da von der Geschwindigkeit dieses Vorgangs die Größe der entstehenden Druckdifferenz und damit die Größe der Brunnenpiegeländerung abhängig ist. Zweifel in der Richtigkeit des früher zugrundegelegten Durchströmgesetzes von *Muskat* und *Botset* [3] gaben Anregungen zu eigenen experimentellen Versuchen über die Luftdurchlässigkeit von trockenen und feuchten Sandböden sowie über die Natur der Brunnenpiegelschwankungen selbst. Gleichzeitig wurden mit 5 Feinpegelschreibern die verschiedensten Brunnen sowie auch 2 Quellen auf luftdruckbedingte Schwankungen untersucht. Diese Registrierungen sind in Teil II beschrieben. Von 17 durchgeführten Grundwasserregistrierungen machte sich in 13 Fällen ein Luftdruckeinfluß bemerkbar.

1. Laborversuche zur Bestimmung der Luftdurchlässigkeit

Ein 2,10 m langes Rohr mit einem Durchmesser von 25 cm wurde mit Sanden der verschiedensten Korngröße gefüllt. (Vergl. Abb. 1 bzw. Tabelle I). Der durch eine Pumpe erzeugte Luftdurchfluß konnte mit Hilfe einer Gasuhr und einer Stoppuhr gemessen werden. Hg-Manometer, die in Abständen von 50 cm seitlich am Rohr angebracht waren, gaben den Luftdruck im Sand wieder. Auch die Temperatur im Sand wurde laufend abgelesen, zeigte jedoch keinen Einfluß auf die Ergebnisse.

Nach den Versuchen ist die pro Zeiteinheit durch den Sand strömende Luftmenge und damit ihre Geschwindigkeit (zumindest im Bereich der in

der Natur auftretenden Luftdruckschwankungen) dem Druckunterschied zwischen Ein- und Austritt der Luft unmittelbar proportional. Es ergab sich eindeutig:

$$(1) \quad Q = -F K \frac{\Delta p}{\Delta x} \quad \text{bzw.} \quad (2) \quad v_{\text{Ef.}} = -K \frac{\Delta p}{\Delta x}$$

In den Formeln bedeuten:

- Q = Menge der pro Zeiteinheit durchströmenden Luft (cm³/sec)
 Δp = Druckunterschied zu beiden Seiten der Δx cm dicken Sandschicht in millibar
 F = Querschnittsfläche des Rohres in cm²
 v_{Ef} = Q/F = effektive Geschwindigkeit der durchfließenden Luft (Auch als Filtergeschwindigkeit bekannt) in cm/sec
 K = Luftdurchlässigkeitskoeffizient (cm²/sec. mb.)

Das ermittelte Gesetz hat dieselbe Form wie das *Darcy'sche* Gesetz (Wasserdurchfluß durch Sande), das unter ähnlichen Versuchsbedingungen (z. B. Wassermanometer anstelle von Hg-Manometern u.a.m.) am selben Versuchsrohr überprüft und gut bestätigt wurde. (Ergebnisse auch in Tabelle I).

Nachdem die Versuche zur Bestimmung der Luftdurchlässigkeit zunächst nur mit trockenen Sanden durchgeführt wurden (wobei noch ein Einfluß unterschiedlicher Lagerung untersucht wurde) folgten weitere Versuche mit durchfeuchteten Sanden, um natürliche Verhältnisse weitgehend anzunähern. Die Formeln (1) und (2) wurden gut bestätigt. Die starke Wasseraufnahme und -anlagerung bei feinen Sanden setzt die effektive Durchflußgeschwindigkeit der Luft bei gleichem Druckunterschied stark herab. (Bei Sandsorte I z. B. um 81%) (Vergl. Abb. 2)

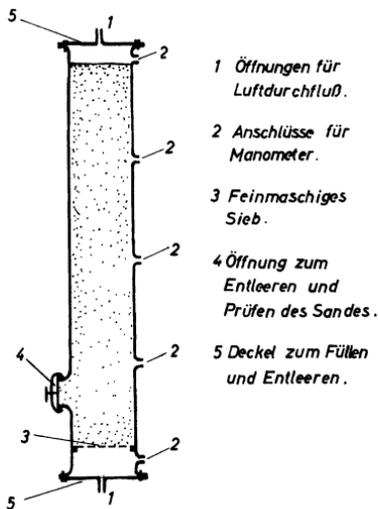


Abb. 1: Rohr für Durchflußversuche

Leider lassen sich im Rahmen dieser Veröffentlichung keine näheren Einzelheiten über die Durchführung der verschiedenen Versuche bringen. Die wichtigsten Ergebnisse finden sich in Tabelle I.

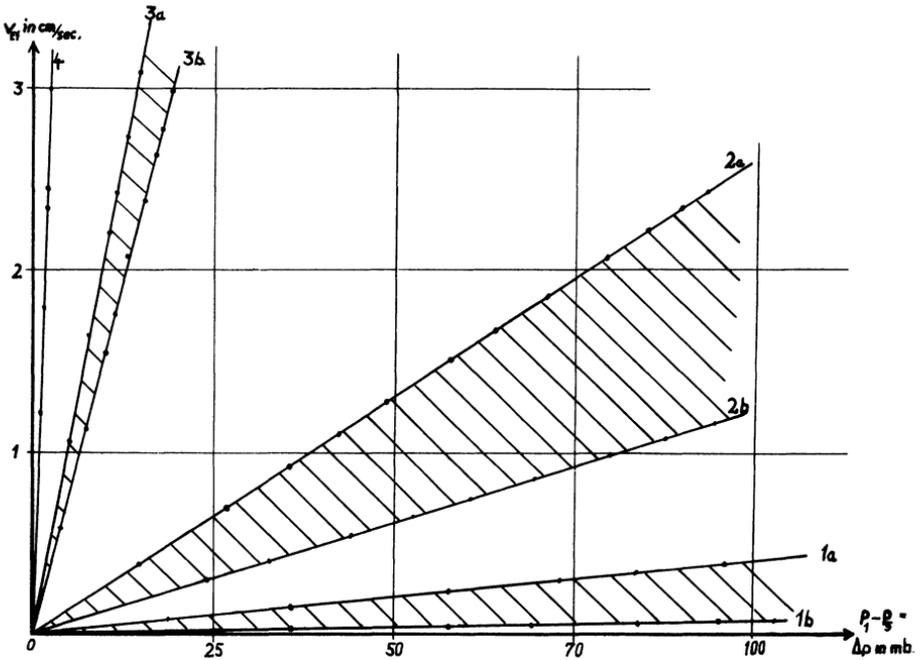


Abb. 2: Effektive Durchflußgeschwindigkeit V_{Ef} ($=Q/F$) der Luft in Abhängigkeit von Druckunterschied Δp und Durchfeuchtung.

Es bedeuten: 1 . . . 4 Sandarten I . . . IV.

a in trockenem,

b in maximal durchfeuchtetem Zustand.

Die schraffierten Flächen zeigen, welche Änderungen in der Luftdurchlässigkeit des Sandes durch Anlagerung von Wasser auftreten können. (Alle Angaben beziehen sich hier auf einen Mittelwert der Lagerung. Angaben über extrem dichte Lagerung siehe Tabelle I).

2. Folgerungen aus den Versuchsergebnissen

Nachdem durch die Versuche die Grenzen und Größenordnungen der Luftdurchlässigkeitswerte von trockenen bis zu maximal durchfeuchteten Sandböden der verschiedensten Korngrößen bekannt waren, sollte im folgenden ermittelt werden, wie sich Schwankungen des äußeren Luftdrucks in derartige Böden fortpflanzen. Dieses Problem berührt auch Fragen der Argrameteorologie und Pflanzenernährung (Ventilation der Bodenluft u.ä.). Jedoch interessiert in Bezug auf die vielerorts auftretenden Brunnenspiegelschwan-

Tabelle I

Sandsorte u. Mischungsverhältnis	Korndurchmesser in mm	wirksamer Korndurchmesser in mm (d_w)	Durchlässigkeit Hazen cm ² /sec	Verlässlichkeit cm ² /sec	k für Wasser Kozeny cm ² /sec	Wasser nach Terzaghi cm ² /sec	Durchlässigkeit K für Luft		K für Luft	
							Trocken Mittel	Extrem	Naß Mittel	Extrem
I	0 - 0,1	0,032	$12 \cdot 10^{-7}$	$106 \cdot 10^{-3}$	$95 \cdot 10^{-6}$	$95 \cdot 10^{-6}$	0,82	0,64	0,16	0,09
I:II = 1:3	0 - 0,3	0,05	$29 \cdot 10^{-8}$	$272 \cdot 10^{-3}$	$18 \cdot 10^{-8}$	$2 \cdot 10^{-8}$	1,5	1,25	0,4	0,17
II	0,1 - 0,3	0,115	$153 \cdot 10^{-4}$	$122 \cdot 10^{-4}$	$75 \cdot 10^{-8}$	$85 \cdot 10^{-8}$	5,24	4,5	2,46	1,66
II:III = 1:3	0,1 - 1	0,16	$29 \cdot 10^{-4}$	$27 \cdot 10^{-4}$	$4 \cdot 10^{-4}$	$167 \cdot 10^{-4}$	12,5	9,7	5,2	3,0
III	0,2 - 1	0,26	$78 \cdot 10^{-4}$	$70 \cdot 10^{-4}$	$36 \cdot 10^{-4}$	$40 \cdot 10^{-4}$	44	39,7	31,8	22,4
III:IV = 1:3	0,2 - 2	0,44	$23 \cdot 10^{-3}$	$17 \cdot 10^{-3}$	$83 \cdot 10^{-3}$	$101 \cdot 10^{-3}$	115	100	90	80
IV	1 - 2	1,2	$1,67 \cdot 10^{-3}$	$135 \cdot 10^{-3}$	$498 \cdot 10^{-3}$	$606 \cdot 10^{-3}$	300	300	300	300
Sandsorte u. Mischungsverh.	Effektives Porenvolumen trocken	Effektives Porenvolumen naß	Berechnung in Litern Wasser = M		λ mittel trocken	λ Extrem naß	$\lambda = \frac{K \cdot B}{f}$, Näheres in 2. Formel 3.			
I	41-45 %	16-20 %	25		1940	500				
I:II = 1:3	36-42 %	15-21 %	21		3900	950				
II	34-38 %	16-20 %	18		14 800	9200				
II:III = 1:3	34-38 %	24-26 %	10		35 000	11 500				
III	34-37 %	28-31 %	6		130 000	75 000				
III:IV = 1:3	33-37 %	30-34 %	3		330 000	250 000				
IV	33-37 %	33-36 %	1		900 000	830 000				

kungen (Teil II) vor allem, welche Druckdifferenzen zwischen Außen- und Bodenluftdruck auftreten können und inwieweit sie zu Erklärung dieser Erscheinung herangezogen werden können.

Durch Umformung der Formel (2) unter Zugrundelegung der Kontinuitätsgleichung und der allgemeinen Gasgleichung erhält man die Gleichung

$$(3) \quad \frac{\partial p_z}{\partial t} = \lambda \cdot \frac{\partial^2 p_z}{\partial x^2} \quad \lambda = \frac{K \cdot p_0}{f}$$

Es bedeuten:

p_0 = konstanter mittlerer Druck

p_z = veränderlicher Zusatzdruck

f = effektives, d. h. für den Durchfluß von Luft freistehendes Porenvolumen

x = Dicke der durchströmten Sandschicht

K = Durchlässigkeitskoeffizient

Diese partielle Differentialgleichung (Wärme = oder Diffusionsgleichung) wurde für verschiedene Anfangs- und Randbedingungen gelöst, worauf hier nicht eingegangen werden soll.

Die Werte der auf diese Weise berechneten Druckdifferenzen sind wesentlich kleiner als die früher [1] vom Verfasser ermittelten, die auf dem Durchströmgesetz von *Muskat* und *Botset* [3] beruhen. Ein eindeutiger Zusammenhang zwischen Porosität und Durchlässigkeit wurde nicht gefunden, was auch *Hallenbach* [4] feststellt. *Aufgrund der Rechnungen können nur noch bei sehr feinen Sanden, bei Schichtmächtigkeiten von mehr als 4-6 m bis zum Grundwasserspiegel hin und bei nicht zu großen Schwankungsperioden des äußeren Luftdrucks meßbare Druckdifferenzen und damit Brunnen-spiegelschwankungen entstehen.* (S. Abb. 3). (Die aus den Formeln abgelei-

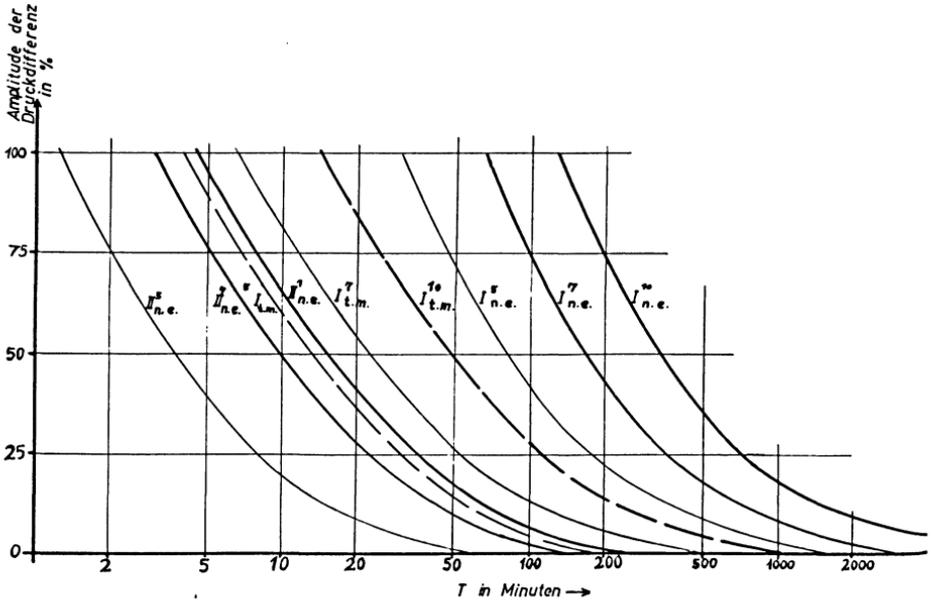


Abb. 3: Amplitude der Druckdifferenz (Druckdifferenzmaximum) in Abhängigkeit von der Periode T der aufgeprägten Luftdruckschwingung.

Es bedeuten: $I^7_{n.e.}$ Sandsorte I, 7m Mächtigkeit bis zur wassergesättigten Zone, naß, extrem dichte Lagerung.
 $I^5_{t.m.}$ Sandsorte I, 5m Mächtigkeit bis zur wassergesättigten Zone, trocken, Lagerung: Mittelwert. u.s.w.

tete Abhängigkeit der Druckdifferenz (u. Brunnenpiegeländerung) von der Periode der aufgeprägte Luftdruckschwingung tritt auch bei den später beschriebenen Registrierungen und Brunnen zu tage. Siehe auch [1].)

Trotzdem werden jedoch in der Natur auch in Sandböden geringerer Tiefe beachtliche luftdruckbedingte Schwankungen der Brunnenpiegel festgestellt. Die Ursachen hierfür sollten weitere Rohrversuche im Labor aufdecken.

3. Versuche mit künstlichem Brunnen und sprunghafter Druckänderung

Von der Seite wurde unten am Versuchsrohr ein kleines Glasrohr als künstlicher Brunnen eingeführt. (Abb. 4) Das Versuchsrohr wurde wieder mit feinem Sand gefüllt und so stark mit Wasser angereichert, daß sich in etwa 60 cm Höhe ein künstlicher Grundwasserspiegel ausbildete. Seine Höhe konnte am Manometer 4 und am künstlichen Brunnen beobachtet werden. Nachdem das Rohr wieder luftdicht verschlossen war, konnte mit Hilfe der Pumpe ein beliebiger Über- oder Unterdruck erzeugt werden, der, wie Abb. 4 zeigt, gleichermaßen an der Sandoberfläche und am Brunnen-spiegel eintritt, ähnlich wie dies in der Natur der Fall ist.

Es wurden mehrere Versuche mit sprunghafter Druckänderung durchgeführt und dabei beobachtet, wie sich der Wasserstand im künstlichen Brunnen und in den übrigen Manometern änderte. Der am Manometer 1 in Abb. 5 und 6 zu beobachtende geringe Abfall zu Beginn des Versuchs hat seine Ursache darin, daß einige Poren des in 4. näher betrachteten Saugsaums erst

nach und nach vom neuen Druck erfaßt werden, so daß sich der Gesamtdruck noch etwas ändert. Anhand des Manometers 2, das noch oberhalb des Saugsaums liegt und schon nach $1\frac{1}{2}$ sec das gleiche wie Manometer 1 anzeigt, wurde die vorher theoretisch berechnete Geschwindigkeit des Eindringens einer sprunghaften Druckänderung experimentell mit einer Stoppuhr überprüft und einwandfrei bestätigt.

Die in den Abbildungen 5 u. 6 zu beobachtende Kurve des künstlichen Brunnens entspricht genau dem Verhalten natürlicher Brunnen bei einer (nahezu) sprunghaften Druckänderung des Außenluftdrucks. (Etwa bei einer Gewitternase).

Eine Erklärung für die beobachteten langanhaltenden Wasserstandsunterschiede im künstlichen Brunnen liegt nur in der Annahme, daß sich der gesamte, die Brunnenspiegelschwankung auslösende Druckunterschied im oberen Teil des Saugsaums befindet. (Beim Versuch zwischen Manometer

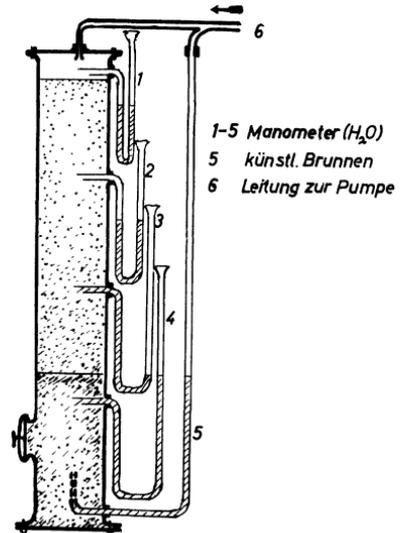


Abb. 4: Versuchsrohr zur Untersuchung des Luftdruckeinflusses auf Manometer und künstlichen Brunnen. (5)

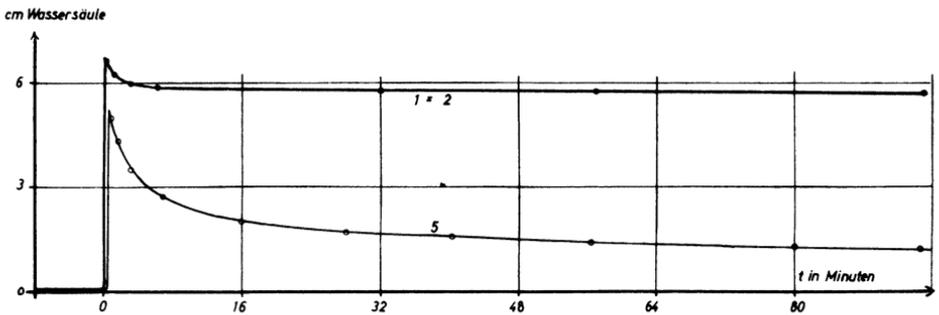
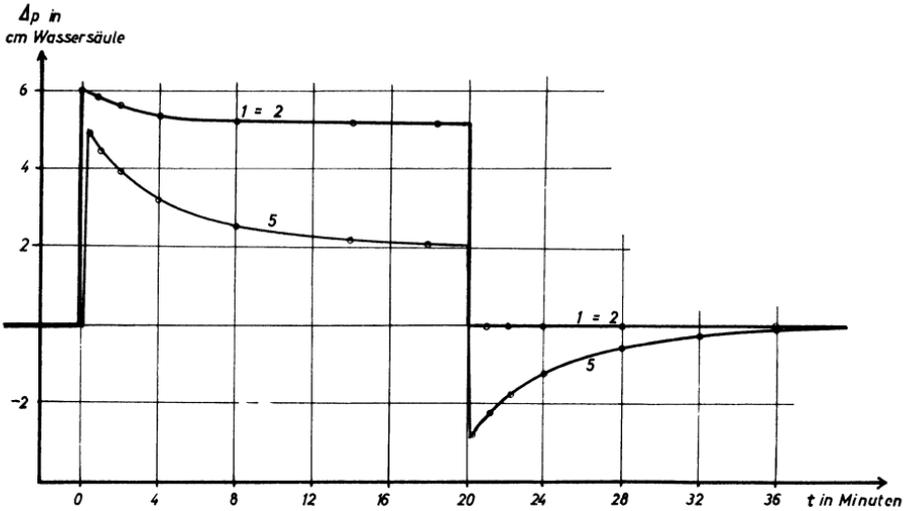


Abb. 5 und Abb. 6 zeigen das Verhalten des künstlichen Brunnens (5) bei einer sprunghaften Druckänderung des Außenluftdrucks, angezeigt durch Manometer 1 und 2 oberhalb des Saugsaaums.

2 und 3). Demnach hat man sich den ganzen Vorgang etwa folgendermaßen vorzustellen:

Je nach Durchlässigkeitskoeffizient durchdringt die Luftdruckwelle innerhalb von Sekunden die obere Bodenschicht und erreicht den Saugsaum. (Ausschlag von Mano 1 und 2). Hier erst verzögert sie ihr weiteres Eindringen, da im oberen Teil des Saugsaaums nur noch wenige Poren mit Luft gefüllt sind und auch diese wiederum für die eindringende Luft infolge der verzweigten Wasserfäden des Saugwassers nicht oder nur schwer zugänglich sind. Dagegen ist zu diesem Zeitpunkt die Druckwelle am Brunnen voll wirksam und drückt den Brunnenspiegel herunter. Nach und nach dringt nun

die Luft durch die feinen Kanäle, die ihr die Wasserfäden im oberen Teil des Saugsaums noch freilassen, weiter nach unten vor und erfüllt die immer seltener auftretenden lufthaltigen Poren mit dem neuen Druck. Im gleichen Sinne nimmt der anfänglich maximale Ausschlag des Brunnenpiegels langsam wieder ab. Einige ganz vom Saugwasser umschlossene Luftblasen, bis zu denen der Außendruck nicht hindringt, verhindern ein völliges Abklingen des Ausschlags, so daß z. B. bei Sandsorte I auch nach längster Zeit noch ein Ausschlag von rund 20% der aufgeprägten Druckänderung am Brunnenpiegel angezeigt wird.

Im unteren Teil des Saugsaums dient das Wasser nur zur Übertragung des Drucks. Die von der Hydrationsenergie der kleinen Sandkörner herrührende Saugkraft verhindert hier jede schnellere Bewegung des Wassers. Man muß dabei unterscheiden zwischen der unmittelbaren Druckübertragung und einem etwaigen, hier nur ganz beschränkt möglichen Massenfluß. Manometer 3, das sich im unteren Teil des Saugsaums befand, hatte sich erst nach rund 2 bis 3 Wochen auf den hier herrschenden Unterdruck eingestellt, den es unbeeinflußt von irgendeinem schnelleren Druckwechsel fortlaufend anzeigte.

Die durch die beschriebenen Versuche gefestigte neue Anschauung über die Natur der Brunnenpiegelschwankungen verlegt den Hauptsitz für die Entstehung der Druckdifferenzen in den nur wenige Dezimeter breiten oberen Teil des Saugsaums. Diese Erklärung dürfte bei natürlichen Verhältnissen für alle feinkörnigen Sande, für Ton- Lehm- und Lößböden zutreffen, falls man es mit oberflächennahem Grundwasservorkommen zu tun hat. Je tiefer sich der Grundwasserspiegel jedoch unterhalb der Erdoberfläche befindet, umso mehr behalten die aufgrund der Luftdurchlässigkeit entwickelten Formeln ihre Gültigkeit und tragen mehr oder weniger stark zu den Brunnenpiegelschwankungen bei.

4. Hygroskopizität, Kapillarität und Saugsaum

Wegen der Bedeutung des Saugsaums bei allen Untersuchungen folgt eine kurze Beschreibung über Wesen und Entstehung der wasserhaltenden Kräfte. (Nach *Bendel* [5], *Hückel* [6], *Sekera* [7], und *Vageler* [8]).

Kapillarität und Hygroskopizität bestimmen alle Erscheinungen der Wasserführung des Bodens. Während die Kapillarität auf der ungesättigten Anziehungskraft der Moleküle an einer *flüssigen* Oberfläche beruht, ist die Ursache der Hygroskopizität die ungesättigte Anziehungskraft *fester* Körper (Bodenteilchen). Die Hauptmasse eines solchen Teilchens liegt nach *Bendel* im Teilchenkern, dem "Mikron", als Träger des besonderen Chemismus. Bei Bildung des Kerns werden nicht alle Energien verbraucht. Unge-

sättigte Valenzen an Orten, an denen das Baugitter gestört ist, und an den Grenzflächen überhaupt verleihen dem Kern eine gewisse Reaktionsbereitschaft, die im allgemeinen mit abnehmender Korngröße anwächst.

Vom Teilchenkern werden (bestimmte) Ionen aus dem Dispersionsmittel (Bodenwasser) angezogen, vor allem aber durch Dissoziation der Kernoberfläche an der Grenzfläche mobilisiert. So bildet sich eine kernnahe Ionenschicht, die zum großen Teil aus kerneigenen Ionen besteht und einen definierten Ladungssinn hat. Dieser ist im allgemeinen negativ, wodurch das negative Bodenteilchen entsteht. Die primäre Aufladung des Teilchens durch diese kernnahe Ionenschicht bedingt aus elektrostatischen Gründen die Anziehung ihr entgegengesetzt geladener Ionen aus dem Bodenwasser. Diese umhüllen in lockerer Bindung als zweite Ionenschicht (Außenionenschwarm) die kernnahe, fester gebundene Ionenschale. Das Bodenteilchen ist "elektrostabilisiert".

Nun lagern Anionen und Kationen beider Ionenschalen (durch den Dipolcharakter des H_2O -Moleküls bedingt) Wassermoleküle an, sie werden "hydratisiert". Dieses gebundene Wasser verfestigt die Bodensubstanz, wobei die Wassermoleküle im Kraftfeld der Teilchenoberfläche oder der Ionenumgebung angezogen und gerichtet werden. Die Verdichtung dieses angelagerten Wassers (=hygroskopisches Wasser) nimmt zum Teilchenkern hin quadratisch zu, wobei maximal Druckwerte bis zu 50 Millionen at. berechnet worden sind [8] [9]. – Die äußere Wasserhülle (Schwammwasser) ist jedoch zum großen Teil nur locker gebunden und kann durch äußere Einflüsse (Saugkraft der Pflanzenwurzeln u. a.) vom Teilchen getrennt werden.

Während das an die Teilchen angelagerte hygroskopische Wasser im Bereich des Grundwassers bei feinen Böden die Fließgeschwindigkeit stark herabsetzt, sind solche Bodenteilchen oberhalb des Grundwasserspiegels befähigt, Wasser aus dem Grundwasserbereich in weiter oben liegende Schichten heraufzusaugen. (*Saugsaum*). Gegenüber den saugenden Kräften der Bodenteilchen und ihrer Ionen treten die Kapillarkräfte des Bodenwassers völlig zurück. Der Saugsaum ist im unteren Teil (etwa im unteren Drittel) völlig mit Wasser gesättigt, während nach oben hin mehr und mehr Poren mit Luft gefüllt bleiben, um die herum das Saugwasser filmförmig alle Teilchen benetzt. Im Saugsaum eines natürlich durchfeuchteten Bodens dürften die wasserhaltenden Kräfte der Bodenteilchen und Ionen mit der Schwerkraft im Gleichgewicht stehen.

5. Versuche mit natürlichen Luftdruckschwankungen

Die Untersuchungen mit sprunghafter Druckänderung ließen darauf schließen, daß sich am künstlichen Brunnen auch natürliche Luftdruckschwankungen auswirken würden. Um diese Schwankungen auch registrieren

zu können, wurde die Versuchsanordnung noch einmal geringfügig umgebaut. (S. Abb. 7). Am etwas erweiterten künstlichen Brunnen wurde ein Feinpegelschreiber aufgestellt. (Benutzte Vergrößerung 2 : 1, Umlaufdauer der Trommel 1 Woche).

Die im großen Rohr zuerst untersuchte Sandsorte I zeigte einen starken unmittelbaren Luftdruckeinfluß. (S. Abb. 8).

Da von den Versuchen mit künstlicher Druckänderung her bekannt war, daß die obere trockene oder nur leicht feuchte Sandschicht keinen Beitrag zu den Druckdifferenzen zusteuert, konnte für die weiteren Untersuchungen ein handlicheres Versuchsgesetz benutzt werden. So wurden 2 einfache, nur 80 cm hohe Rohre gebaut (Abb. 9), wobei man auch auf die seitlich angebrachten Manometer verzichten konnte. Die an den künstlichen Brunnen dieser kleinen Rohre erhaltenen Registrierungen sind denen vom großen Rohr durchaus gleichwertig (Abb. 10) und sind dadurch ein weiterer Beweis für die Existenz und die große Bedeutung der vom Saugwasser umschlossenen luftgefüllten Poren.

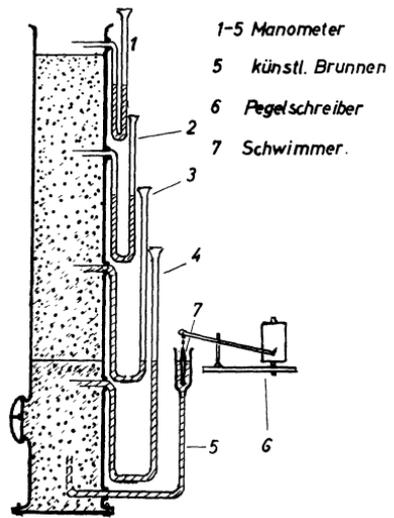


Abb. 7: Registrierung natürlicher Luftdruckschwankungen am künstlichen Brunnen.

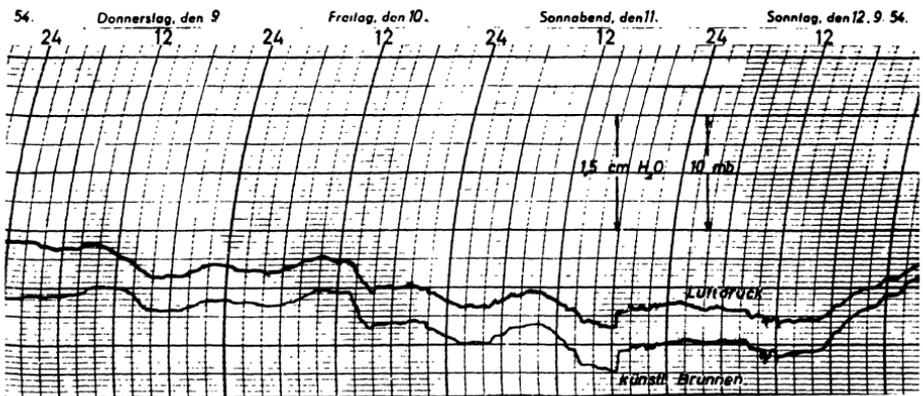


Abb. 8: Registrierungen von Luftdruck und künstlichem Brunnen (großes Rohr). Die Luftdruckkurve stammt von einem präzisen Feindruckbarographen.

Die Registrierungen der künstlichen Brunnen bei Verwendung der Sand-sort I sind dem tatsächlichen Luftdruckverlauf ähnlicher als alle anderen in 5. beschriebenen natürlichen Brunnenkurven, weil das Verhältnis der Wasserstandsamplitude zur Luftdruckamplitude über alle Perioden nahezu gleich bleibt. (Vergl. auch rechten Teil der Abb. 6). D. h. der Ausschlag wird außer bei ganz schnellen Druckänderungen fast ausschließlich durch die im Saugsaum völlig eingeschlossenen Luftblasen bestimmt. Diese eingeschlossenen Luftblasen befinden sich auch in den Saugsäumen entsprechender Böden in der Natur. Sie sind nach King [10], der ihr Gesamtvolumen für verschiedene Böden berechnet hat, ein natürlicher Bestandteil des Saugsaums. Auch für die von uns benutzten Sande folgt am Ende dieses Kapitels eine überschlagsmäßige Berechnung.

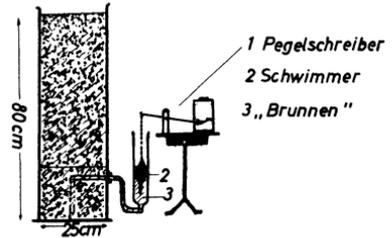


Abb. 9: Kleines Rohr zur Registrierung natürlicher Luftdruckschwankungen.

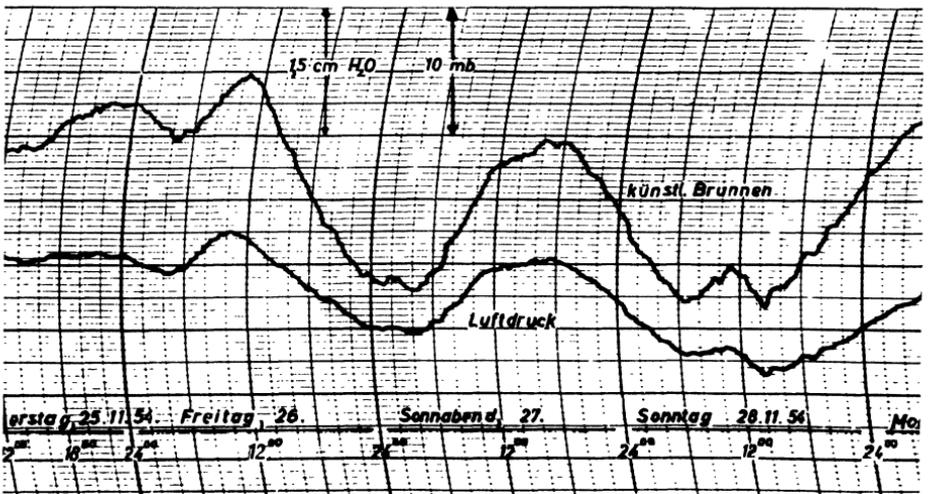


Abb. 10: Registrierungen von Luftdruck und künstlichem Brunnen (Kleines Rohr)

Durch Wegfall der Einflüsse von Niederschlag und Verdunstung, (die durch befeuchtete Pappscheiben oberhalb des Sandes ausgeschaltet wird), ergibt die Brunnenkurve ein naturgetreues Bild des Luftdruckgangs. Allerdings wurden auch 2 Nachteile der künstlichen Brunnen festgestellt. Erstens bewirken Erschütterungen, z. B. Klopfen am Rohr, ein schnelles Ansteigen

des Brunnesspiegels, das bis zu 20 cm groß werden kann und dessen Einfluß noch nach Tagen sichtbar ist. Die Erklärung für dieses Verhalten ist ebenfalls im Saugsaum zu suchen: Die äußere Schwarmwasserhülle der Bodenteilchen im oberen Teil des Saugsaums, die sich durch Ausrichtung der H_2O -Moleküle im Kraftfeld der Ionen nur langsam aufgebaut hat, ist nur locker und mittelbar an die Teilchen gebunden. Ein Teil dieses Schwarmwassers kann nun durch Erschütterungen und Schwingungen aus dem Ionenverband gelöst werden, wobei wohl z. Teil nur die Ausrichtung der H_2O -Dipole gestört wird. Das so befreite Wasser ist aber nun der Schwere unterworfen und übt somit auf unter ihm befindliches, zum Teil noch gebundenes Wasser einen erhöhten Druck aus. Dies hat, selbst ohne einen stärkeren Wassertransport, ein sofortiges Ansteigen der Brunnesspiegel zur Folge. Hat sich der Saugsaum nach einigen Tagen wieder in seiner ursprünglichen Höhe aufgebaut, behält der Brunnesspiegel sein ursprüngliches Übersetzungsverhältnis auftretender Luftdruckschwankungen bei. Das eingeschlossene Luftvolumen hat wieder dieselbe Größe. Es ist eine Materialkonstante.

Bei einigen vorgenommenen Berechnungen des Sandes zeigte es sich, daß der eintretende Anstieg am Brunnesspiegel oft größer war, als es der eingeregneten Wassermenge entsprach. In der Literatur findet man mitunter ähnliche Angaben, in denen ein nur geringer Regen ein stärkeres Ansteigen der Brunnesspiegel hervorruft. In manchen dieser Fälle muß man vermuten, daß es relativ schnell eindringendes (vielleicht auch wärmeres) Regenwasser ist, das den oberflächennahen, äußeren Teil der nur langsam aufgebauten und locker gehaltenen Schwarmwasserhülle des Saugwassers aus dem Bereich der saugenden Kräfte der Bodenteilchen hinausdrängt.

Eine weitere Verfälschung der Luftdruckabhängigkeit der künstlichen Brunnen kommt durch Temperatureinfluß zustande. Sinken der Temperatur bewirkt einen Fall, Erwärmung einen Anstieg der Brunnesspiegel. Eine genauere, hier nicht wieder gegebene Untersuchung in der Klimakammer des Instituts ergab als Ursache die Ausdehnung bzw. Zusammenziehung der eingeschlossenen lufthaltigen Poren bei Temperaturänderungen. Je größer die betr. Sandsorte ist, umso schneller dringen Temperaturschwankungen hinein, was im wesentlichen durch die starke Wasseranreicherung bei den kleinen Korngrößen zustande kommt. Die große Wärmekapazität des Wassers mindert stark die Temperaturempfindlichkeit des Geräts, wie sie ja auch bei den vom Luftdruck verursachten Schwankungen etwaige bei der Größenänderung der kleinen Luftbläschen entstehende Wärme sofort abführt. (Vorgang geht isotherm vor sich). Temperaturschwankungen der Außenluft um $1-2^\circ$ machen sich am Gerät nicht bemerkbar. Für genauere Luftdruckkurven des künstlichen Brunnen empfiehlt es sich, das Gerät im Keller (oder im Erdboden eingegraben) aufzustellen.

Um die Größe der im Saugsaum der feinen Sande eingeschlossenen lufthaltigen Poren zu ermitteln, wurden 2 Wege beschritten: Erstens wurde bei

starken äußeren Temperaturänderungen in der Klimakammer die Temperatur im Saugsaum direkt gemessen und der dabei am Brunnenpiegel hervorgerufene Ausschlag beobachtet. Zweitens wurde (bei konstanter Außentemperatur) aus den laufenden Registrierungen das Verhältnis von Innenspiegelschwankung zu äußerer Luftdruckschwankung genau ermittelt. Für beide Wege besagt der I. Hauptsatz:

$$(4) \quad p \cdot dV = R \cdot m \cdot dT - V \cdot dp_{i1} \quad \text{bei Temperaturversuchen und}$$

$$(5) \quad p \cdot dV = -V \cdot dp_{i2} \quad \text{aus den Registrierungen}$$

Es bedeuten:

$p \cdot dV$ = die nach außen geleistete Arbeit. (Im wesentlichen Hebung (Senkung) des Wassers im Brunnen um dh_1)

$$dV = \pi \cdot r_1^2 \cdot dh_1$$

R = Gaskonstante für Luft.

V = gesuchtes Luftvolumen im Saugsaum.

m = Anzahl der Mole.

r_1 = Brunnenradius, r_2 = Rohrradius

p_a = Luftdruck außen, p_i = Luftdruck innen (Luftvolumen)

dp_{i1} = Druckänderung innen bei $p_a = \text{const.}$

dp_{i2} = Druckänderung innen bei $T = \text{const.}$

g = Erdbeschleunigung

ρ_w = Dichte des Wassers

Die am Brunnen angezeigte Druckänderung

$$\Delta p_B = -g \cdot \rho_w \cdot dh_1 \cdot \left(1 + \frac{r_1^2}{r_2^2}\right) = p_a - p_i = dp_a - dp_i$$

gestattet es, die Druckänderung im Rohrrinnern leicht zu errechnen.

$$dp_{i1} = -\Delta p_B; \quad dp_{i2} = dp_a - \Delta p_B$$

Nach Bestimmung dieser dp_i -Werte läßt sich das gesuchte Luftvolumen wegen des großen Registriermaterials am genauesten aus Gl. (5) ermitteln, da bei der Bestimmung von V nach (4) noch die Unsicherheit bei der Höhenbestimmung des Schwerpunkts der eingeschlossenen Luftvolumina (bei der Temperaturmessung wichtig) sowie die Unsicherheit wegen des

über längere Zeit nicht konstant bleibenden Außendruckes hinzukommt. Die ermittelten Werte weichen jedoch nicht sonderlich voneinander ab.

Die Ergebnisse aus der statistischen Auswertung der Amplitudenvergleiche sind in der Tabelle II zusammengestellt.

Tabelle II

Eingeschlossene Luftvolumina.

Sandsorte (Mischung)	Korngröße	wirksamer Korn- durchmesser d_v	Volumen V in ccm	Pro Fläche wirken- des V $= \frac{V}{F} = \frac{V}{\pi r_2^2} = h_v$
I	0-0,1 mm	0,032 mm	3260	6,65 cm
I:II = 1:3	0-0,3 "	0,05 "	1110	2,3 "
II	0,1-0,3 "	0,115 "	290	0,5 "

Diese großen abgeschlossenen Luftvolumina im Saugsaum der feinen Sande sind als neue Materialkonstanten anzusehen. Sie sind im wesentlichen von der Korngröße abhängig. Durch Versuche und Überlegungen von King [10], Versluys [11] und Koehne [12] ist man sich über den großen Prozentsatz der im Saugsaum eingeschlossenen Luft zwar in klaren, doch kommt die völlige Abgeschlossenheit gewisser Teile nicht zum Ausdruck. Versluys deutet als einziger darauf hin, wenn er vom oberen Teil des geschlossenen Saugsaums als von einem "Luftwassergemisch" spricht, in dem das Wasser trotz Luftbeimischung ein zusammenhängendes hydraulisches System bilden soll, wobei er sich den Zusammenhang fadenartig vorstellt.

Bei Kenntnis von h_v (Tabelle II) läßt sich die luftdruckbedingte Veränderung des Brunnenspiegels für jeden beliebig gebauten künstlichen Brunnen angeben:

$$(6) \quad dh_1 = \frac{h_v \cdot r_2^2 \cdot dp_a}{h_v \cdot g \cdot \rho_w (r_2^2 + r_1^2) + p_a \cdot r_1^2} \quad \text{für außerhalb des Sandes}$$

und

$$(7) \quad dh_1 = \frac{-h_v \cdot (r_2^2 - r_1^2) \cdot dp_a}{h_v \cdot g \cdot \rho_w \cdot r_2^2 + p_a \cdot r_1^2} \quad \text{für innerhalb des Sandes}$$

verlegte Brunnen.

Es bedeuten:

h_v = pro Grundwasserfläche wirkendes eingeschlossenes Luftvolumen V.
Sonstige Bezeichnungen wie bei Formeln 4 und 5.

Die Formeln lassen sich durch Einführung der Flächen (F_1 = Oberfläche des Brunnens, F_2 = Oberfläche des Sandes) noch etwas verallgemeinern:

$$(8) \quad dh_1 = - \frac{h_v \cdot F_2 \cdot dp_a}{h_v \cdot g \cdot \rho_w (F_2 + F_1) + p_a \cdot F_1}$$

Die Richtigkeit der Formeln 6 und 8 wurde durch 3 verschieden große Brunnen bestätigt, die nacheinander an derselben Sandsorte angebracht wurden und deren verschieden große Schwankungen einwandfrei ein gleiches V errechnen ließen.

Bei natürlichem Grundwasser gelten natürlich die Formeln 7 und 8 wegen der großen Reibung des Wassers im Untergrund, wegen des ungleich größeren Wassertransportes in breitere Brunnen u. dergl. nicht mehr. Der Zufluß zum Brunnen ist von der Mächtigkeit und der Fließgeschwindigkeit der grundwasserführenden Bodenschicht, das Verändern des Wasserspiegels im Brunnen auch von seinem Radius, seiner Tiefe und seinem Filterwiderstand abhängig. Infolge der Reibungsverhältnisse im Untergrund hat jeder natürliche Brunnen nur einen bestimmten Wirkungskreis, aus dessen Bereich bei Druckschwankungen Wasser zum Brunnen hin bzw. von ihm weg fließen kann, wie es von den Absenkungstrichtern bei größeren Entnahmen her bekannt ist. In diesem Sinne bezeichnet F_2 in Formel 8 nur eine gewisse Umgebung des Brunnens, deren Größe von den speziellen Eigenschaften von Brunnen, Filter und Untergrund abhängt.

Allgemein läßt sich nur sagen, daß bei oberflächennahem Feinsand, Ton, Löß oder dergl. der Luftdruckeffekt in Brunnen umso stärker auftreten wird, je kleiner die Korngröße, je kleiner der Brunnenradius und je durchlässiger und mächtiger die grundwasserführende Schicht ist. Gut geeignet wäre z. B. ein Grundwasserleiter, bei dem unter einem oberen feinen Material Schotter, Kiese, Kalke, gröbere Sande u. dergl. lagern. Brunnen und Schächte mit vollgelaufenen Stollen werden wohl immer eine starke Luftdruckabhängigkeit aufweisen. Eingeschlossene Luftvolumina können dabei noch aus großer Entfernung einen Beitrag zur Brunnenspiegelveränderung zusteuern. Viele Beispiele von Registrierungen an natürlichen Brunnen folgen in Teil II.

Teil II Registrierungen an natürlichen Brunnen und Quellen

Von 17 durchgeführten Grundwasserregistrierungen in der Natur ließ sich in 13 Fällen ein Luftdruckeinfluß nachweisen. Hiervon sind 6 Meßstellen als stark luftdruckabhängig zu bezeichnen. Leider waren das Bodenmaterial wie auch Bau und Beschaffenheit der Brunnen selbst nie eindeutig bekannt.

1. Palmengarten – Brunnen

Hier ist zu den vom Verfasser bereits veröffentlichten [1] Ergebnissen durch die weiter durchgeführten Registrierungen nichts wesentlich Neues hinzugekommen. Im Amplitudenspektrum hat sich in den 3½ Jahren (!) nichts verändert. Die früher durchgeführte Berechnung der eff. Porosität muß jedoch nach den neuen Erkenntnissen als falsch angesehen werden. Bei der Deutung der guten Luftdruckabhängigkeit dieses Brunnens ist bei der mitt-

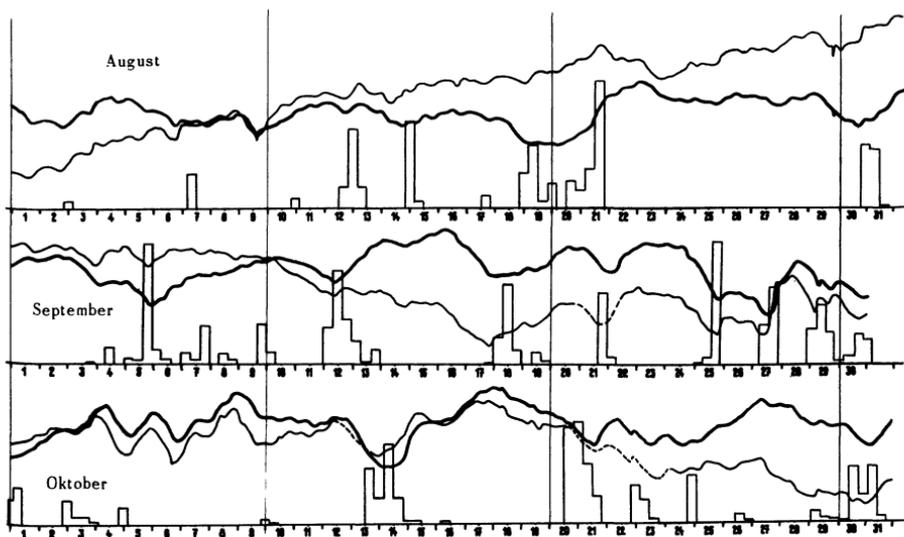


Abb. 11: Monatliche Aufzeichnungen von Luftdruck (—), Brunnenspiegel Palmengarten (---) und Niederschlag ▮.

leren Tiefe des Grundwasserspiegels von nur 3 m den im Saugsaum eingeschlossenen Luftvolumina die größere Bedeutung beizumessen. (Der Brunnen steht in mittlerem bis feinem Sand, darüber Löß). Hierbei fällt entscheidend ins Gewicht, daß dieser Brunnen, wie erst später bekannt wurde,

einen unterirdischen 75 m langen Stollen besitzt. Dies bedeutet, daß die wirksame Saugsaumfläche (Wirkungsfläche) groß ist im Verhältnis zum Brunnendurchmesser. Ein genaues Studium des Kurvenverlaufs zeigt, daß bei Schwankungen des äußeren Luftdrucks ein Teil der eingeschlossenen Luftvolumina nach und nach von dem neuen Druck erfüllt wird. Dies kann hier noch nach Tagen eine Verzerrung in der Übertragung Luftdruck-Brunnenspiegel bewirken, während sich ein ähnlicher Vorgang bei Sandsorte I im künstlichen Brunnen im Bereich kürzerer Zeiten abspielte. (Vergl. Abb. 5 und 6 Teil I dieser Arbeit). Nach wie vor muß jedoch eine Verstärkung des Ausschlags durch die ca. 450 qm breite Betondecke um den Brunnen herum als möglich angesehen werden, zumal ein solcher Einfluß in einem ähnlichen Fall (2) beobachtet wurde. (Abb. 11)³⁾

2. Löcher in einer Betonwanne bei Cassella

Das Grundwasser steht hier in einer Tiefe von nur 50 - 100 cm unter Grund. Durch Bombenschaden hatte eine sonst wasserdichte Betonwanne an 2 Stellen Risse erhalten, in deren Mittelpunkt zwei ca. 30 cm tiefe und breite Löcher angelegt waren. Hierin sammelte sich je nach Jahreszeit

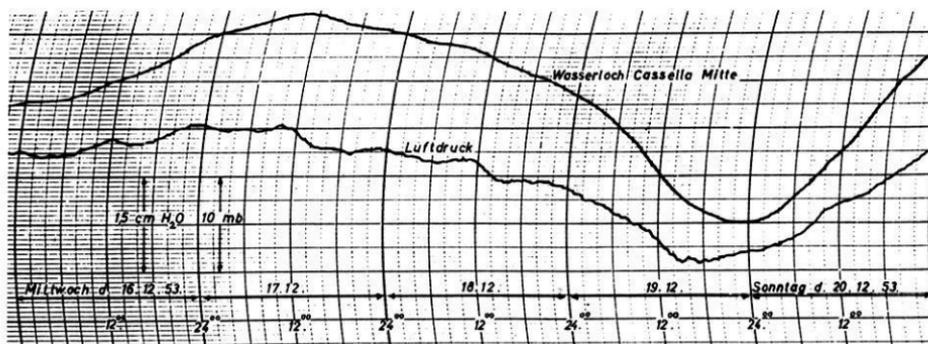


Abb. 12

Grundwasser an. Während sich der Wasserstand in einem Loch der Betonwanne nur mit Niederschlag und Verdunstung änderte, zeigte das andere zusätzlich eine starke Luftdruckabhängigkeit. Abb. 12 zeigt, daß nur die größeren Schwankungsperioden des Luftdrucks vom Brunnenspiegel wiedergegeben werden.

Als Erklärung für die gute Luftdruckabhängigkeit dieses Wasserloches kommen hier nur die zwischen der Luft im Beton und der Außenluft ent-

³⁾ Die entsprechenden Kurven der Monate: März-Juli siehe Zeitschrift f. Geophysik, Sonderband. 1953, S. 180.

stehenden Druckdifferenzen in Frage, da das Grundwasser in den wasserdichten Beton hinein keinen großen Saugsaum bilden kann. Nach *Raisch* [13], der verschiedene Baustoffe auf ihre Luftdurchlässigkeit prüft, entspricht z. B. die Luftdurchlässigkeit von Ziegelsteinen ungefähr der untersuchten Sandsorte III. Der Durchlässigkeitskoeffizient für wasserdichten Eisenbeton dürfte 2-3 Zehnerpotenzen höher liegen.

Die Tatsache, daß das zweite Wasserloch fast gar keine Luftdruckabhängigkeit zeigt, kann dadurch erklärt werden, daß hier vielleicht die Risse feiner und demzufolge die wasserhaltenden Kräfte stärker sind, als in den Rissen des anderen Loches, so daß bei den kleinen auftretenden Druckdifferenzen infolge der wasserhaltenden Kräfte kaum Wasser bewegt werden kann. Offenbar sind auch bei dem luftdruckabhängigen Wasserloch starke Reibungskräfte wirksam, da einmal nur die großen Schwankungsperioden des Luftdrucks vom Wasserspiegel wiedergegeben werden und zum anderen auch ein gewisses Nachhinken der Wasserstandskurve gegenüber der Luftdruckkurve zu beobachten ist. (S. Abb. 12)

3. Bohrlöcher Siesmayerstraße

Hier stand das Grundwasser in 250-350 cm unter Grund in wechselgelagerten Schichten aus Lehmen und Sanden. Da die Bohrungen nicht abgestützt wurden, schlammten sich die Löcher langsam zu. Im Bohrloch Nordwest, in dem wenige Tage nach der Bohrung registriert wurde, zeigte sich, besonders für kurzperiodische Schwankungen, eine gute Luftdruckabhängigkeit (Abb. 13). Eine infolge Beschädigung der Anlage erst nach 2 Monaten

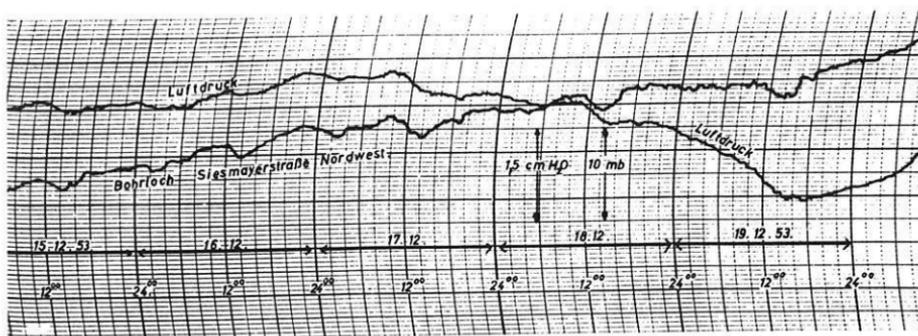


Abb. 13

weitergeführte Registrierung zeigte nicht mehr die gute Luftdruckabhängigkeit wie zu Beginn, was wahrscheinlich von der fortlaufenden Verschlammung des Bohrlochs herrührt. In den 20-30 m entfernt gelegenen Bohrlö-

chern Nord und Süd, in denen ebenfalls erst später registriert werden konnte, zeigte sich auch nur ein schwacher Luftdruckeinfluß. (Abb. 14).

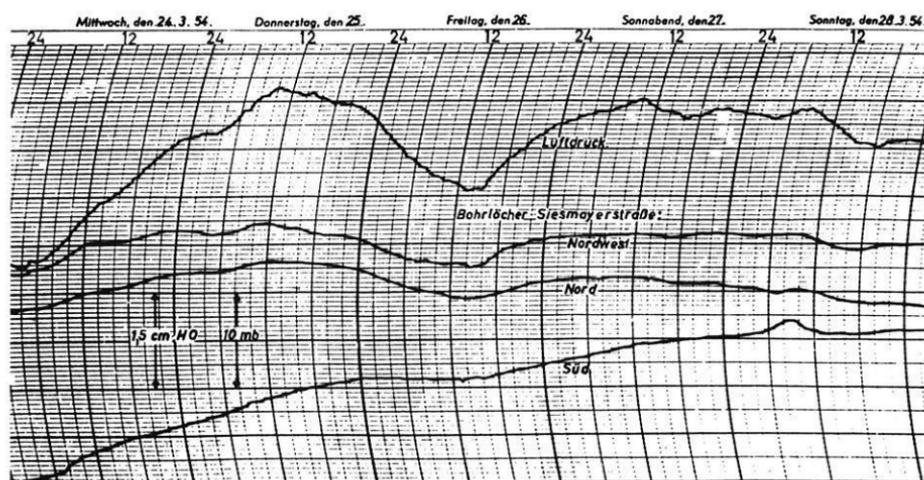


Abb. 14

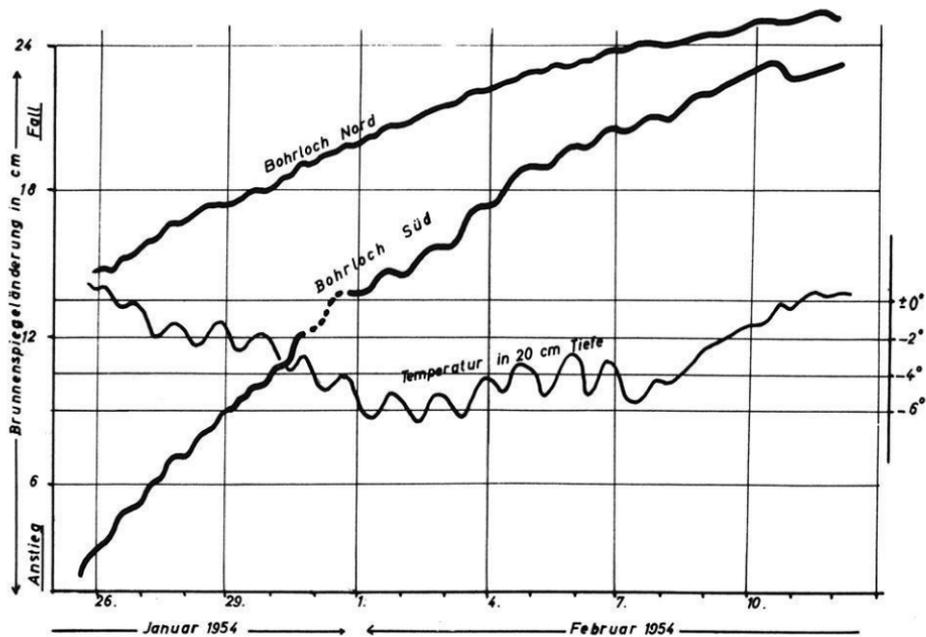


Abb. 15

Bemerkenswert ist jedoch bei diesen Bohrlöchern die starke Abhängigkeit des Grundwasserstandes vom Temperaturgang an Frosttagen. Abb. 15 zeigt, daß das Grundwasser hier in den Morgenstunden regelmäßig um 1-1,5 cm fällt und nach Beendigung der Frostperiode nicht mehr auf seinen alten Stand zurückkehrt. Bekanntlich ist in lehmigen und tonigen Böden die Saugkraft der Bodensubstanz so groß, daß die Saugsäume Längen bis zu 3 m erreichen (also hier bis nahe der Erdoberfläche) und auch im Bereich des Grundwassers fast kein Wasser mehr beweglich ist (was sicher zu der nur geringen Luftdruckabhängigkeit der Wasserlöcher beiträgt). Durch das Zusammenziehen des kolloidreichen Bodens infolge des Sinkens der Temperatur wird zwischen Eis und Erde neues Wasser nach oben gesaugt, das ebenfalls gefriert, so daß der Grundwasserspiegel ständig fällt. Es besteht eine gute zeitliche Übereinstimmung zwischen dem täglichen Eindringen der Frostwelle (morgens) und dem Sinken des Brunnenspiegels. Bei Beendigung der Frostperiode taut das Eis im Boden infolge der zum Auftauen erforderlichen großen Schmelzwärme und der geringen Ventilation der Bodenluft nur äußerst langsam wieder auf. Bis Ende Februar werden im Boden noch Temperaturen um 0° C gemessen. Erst danach beginnt, verbunden mit einer stärkeren Erwärmung, ein Ansteigen des Grundwasserspiegels. (Große Wasserpflanzen noch längere Zeit nach Frosttagen sind ein bekanntes Anzeichen für den in der Tiefe noch vorhandenen Bodenfrost.)

4. Brunnen Griesheim

Hier stand das Grundwasser in 2-3 m Tiefe in einem Sandboden, der von einer Lehmschicht überlagert war. Die Registriereinrichtung war in einem älteren Brunnen der Stadt Frankfurt untergebracht, in dem nur gelegentliche Entnahmen stattfanden. Interessant ist in diesem Brunnen vor

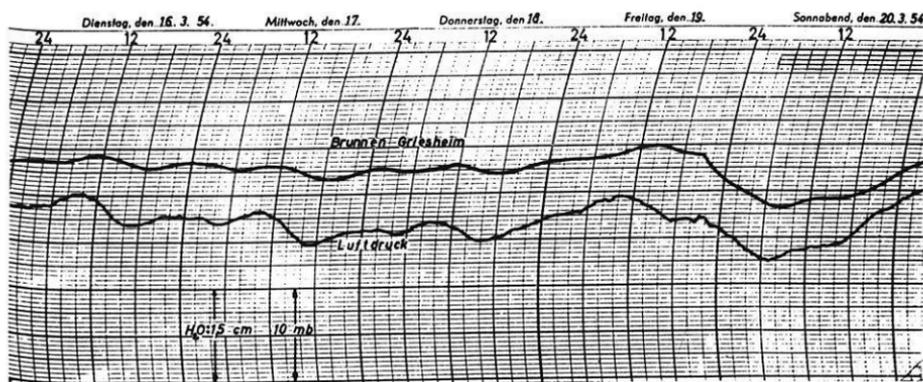


Abb. 16

allein die Unterschiedlichkeit der Registrierungen. Besonders groß werden die Aufzeichnungen immer, wenn im Brunnen stark gepumpt worden war, also

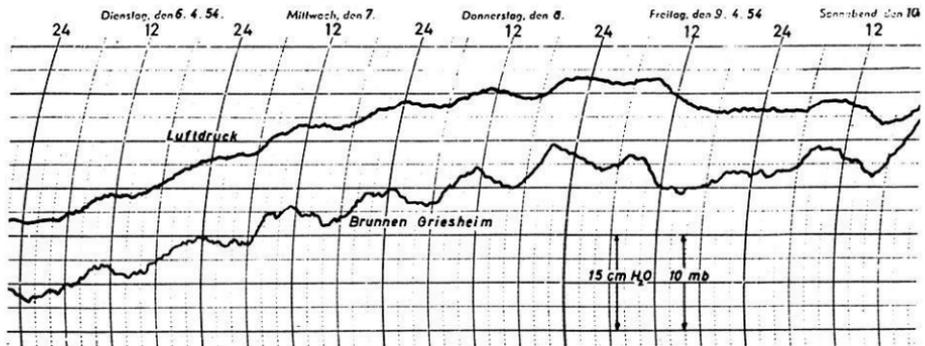


Abb. 17

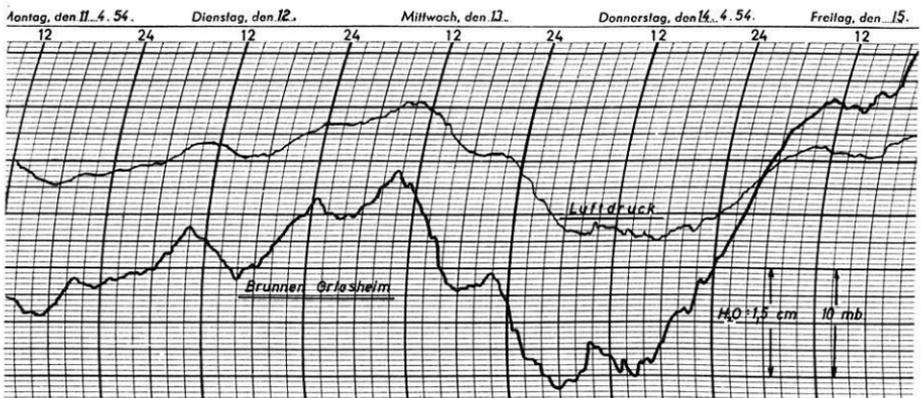


Abb. 18

anscheinend dann, wenn der Saugsaum des Grundwassers neu gebildet ist. Die Vermutung liegt nahe, daß diese Bodenart befähigt ist, bei Neubildung des Saugsaums zunächst eine große Anzahl nicht oder nur schwer zugänglicher Luftporen "einzufangen", die allmählich bis auf einen Rest zusammenschrumpfen. Abb. 16 zeigt eine der gewöhnlichen Registrierungen, während die Abb. 17 u. 18 die Vergrößerungen nach stärkeren Entnahmen erkennen lassen.

5. Brunnen Inheiden

Die stärksten bisher beobachteten Brunnenpiegelschwankungen stammen aus dem artesischen Quellgebiet bei Inheiden. Nach geologischen Angaben kommt hier das Grundwasser durch die Klüfte einer 100-200 m mächtigen Basaltschicht vor einer Verwerfung an die Erdoberfläche herauf. Die äußerst starke Luftdruckabhängigkeit des Brunnens (Abb. 19) läßt maximal

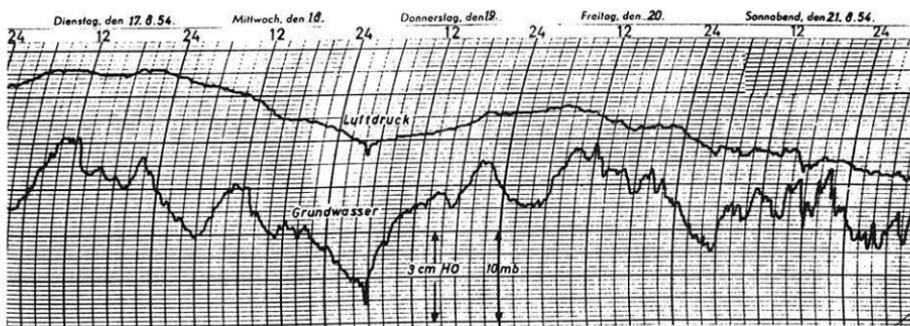


Abb. 19

mögliche Druckdifferenzen vermuten, wie sie sich z. B. zwischen der Außenluft und der unter einem ersten Grundwasserhorizont befindlichen, von der Außenluft getrennten Bodenluft ausbilden könnten. Auf solche oder ähnliche Verhältnisse lassen die Registrierungen m. E. schließen. Die besonders in [1] geschilderten Besonderheiten von Brunnenpiegelregistrierungen (Voreilen der Wassermaxima, Einfluß der Vorgeschichte des Druckverlaufs, Variometercharakter, u. a. m.) prägen sich hier am deutlichsten aus. Zum ersten mal werden auch die theoretisch möglichen Fälle beobachtet, bei denen Luftdruckamplituden vom Brunnenpiegel zu mehr als 100% wiedergegeben werden. (Bei $q\xi$ -Werten $> 1,3$, z. B. wenn sich ein Maximum des äußeren Luftdrucks einem noch vorhandenem Minimum des Bodenluftdrucks überlagert.) (siehe auch: Z. f. Geophysik Bd. 20, S. 66).

6. Registrierungen im Schacht Sontra

Das Bild dieser in 100 m unter Grund durchgeführten Registrierung wird hauptsächlich von 2 großen täglichen Schwankungen bestimmt. Es zeigte sich, daß es sich hierbei um einen Gezeiteneinfluß handelt, über den vom Institut für Meteorologie und Geophysik, Frankfurt, aus noch berichtet werden wird. – Auch bei dieser Registrierung überlagert sich jedoch ein starker Luftdruckeinfluß (Abb. 20). Wie erwähnt, ist bei Tiefengrund-

wasser immer mit luftdruckabhängigen Schwankungen zu rechnen, besonders in einer inundierten Schachtanlage, in deren überfluteten Stollen sich vielleicht noch größere abgeschlossene Luftpolster befinden.

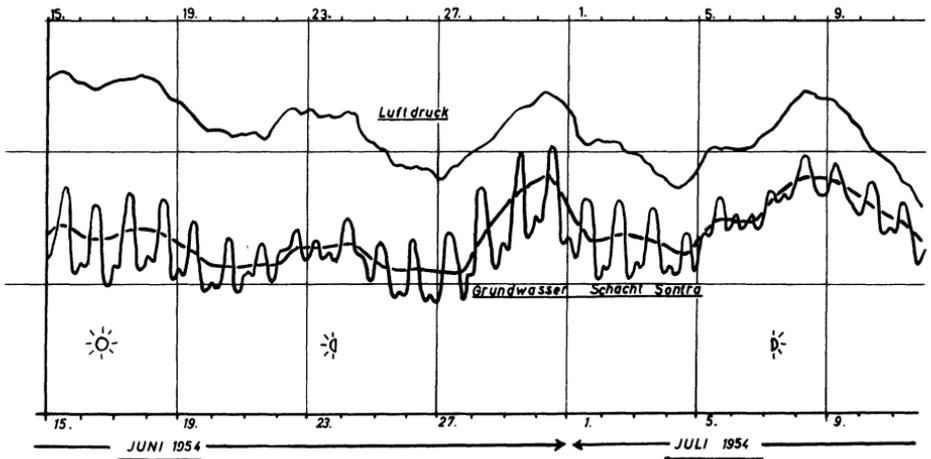


Abb. 20

Registrierungen an Quellen

Die verschiedenen Brunnesspiegelregistrierungen ließen darauf schließen, daß sich auch an Quellen, die ja oft nur als Schnittpunkte des Grundwasserhorizontes mit der Erdoberfläche anzusehen sind, ein Luftdruckeinfluß bemerkbar machen müsse, wie es z. B. schon von *E. Müller* [15] aufgrund von Einzelmessungen dargelegt wird. Zur Registrierung dieser Schwankungen wurde ein besonderer Meßtopf gebaut (Abb. 21). Nachdem sich schnell ein Gleichgewichtszustand zwischen dem von der Quelle einlaufenden und dem aus einem Rundloch abfließenden Wasser gebildet hat, führt eine kleine verstärkte Schüttung der Quelle zu einem Ansteigen des Wassers im Meßtopf. Dieses Verändern des Wasserstandes wird vom Schwimmer, der von der leicht unruhigen Wasseroberfläche durch ein Sandfilter getrennt ist, auf die Trommel des Pegelschreibers übertragen. Für verschie-

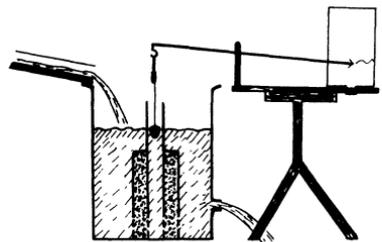


Abb. 21: Quellen-Meßtopf

den große durchschnittliche Schüttungen wurden mehrere Ausflußlöcher von 1-6 cm Durchmesser angelegt, von denen nach Bedarf eins oder mehrere geöffnet werden konnten. Es kam bei den Messungen nur auf die Schüttungsänderungen der Quellen an, doch lassen sich bei Bedarf auch die absoluten Schüttmengen angeben.

7. Quelle Waldaschaff

Bei der ersten Quellregistrierung an dieser Quelle im Spessart ist deutlich ein Luftdruckeinfluß vorhanden. Die Überlagerung von Niederschlagseinflüssen, in dem Zeitraum, in dem registriert wurde, ist leider meist bedeutend größer. Innerhalb der 4 Monate Registrierdauer wurden nur selten ungestörte Kurvengänge erhalten. Ein Beispiel zeigt Abb. 22.

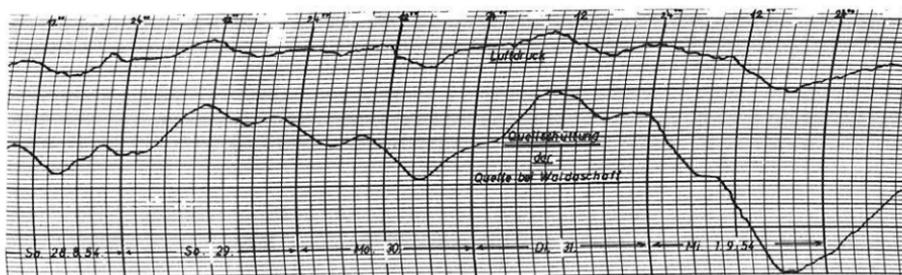


Abb. 22

8. Quelle Bad Soden im Taunus

Das Bild dieser Registrierung an einer Thermalquelle wird durch viele kleine kurzperiodische Schwankungen von 10 - 15 Minuten Dauer bestimmt, wie sie wahrscheinlich durch das Austreten von Gasbläschen bewirkt werden. Die Messungen mußten wegen starker Ockerbildung bald eingestellt werden, da die jeweilige Ausflußöffnung am Meßtopf in 4-5 Tagen fast völlig zugeockert war, was ein dauerndes Ansteigen des Wassers im Meßtopf bis zum Überlauf zur Folge hatte. Immerhin läßt sich auch bei dieser Registrierung ein Luftdruckeinfluß nachweisen. Um ihn zu veranschaulichen wurde zunächst die ursprüngliche Kurve von ihren kurzperiodischen Schwankungen befreit. Dieser geglätteten Kurve wurde dann eine Parabel überlagert, die sich aus der zunehmenden Verockerung des Ausflußloches und den beobachteten Konstanten elementar ableiten ließ. Die so erhaltenen Kurven zeigen tatsächlich einen starken Luftdruckeinfluß (Abb. 23).

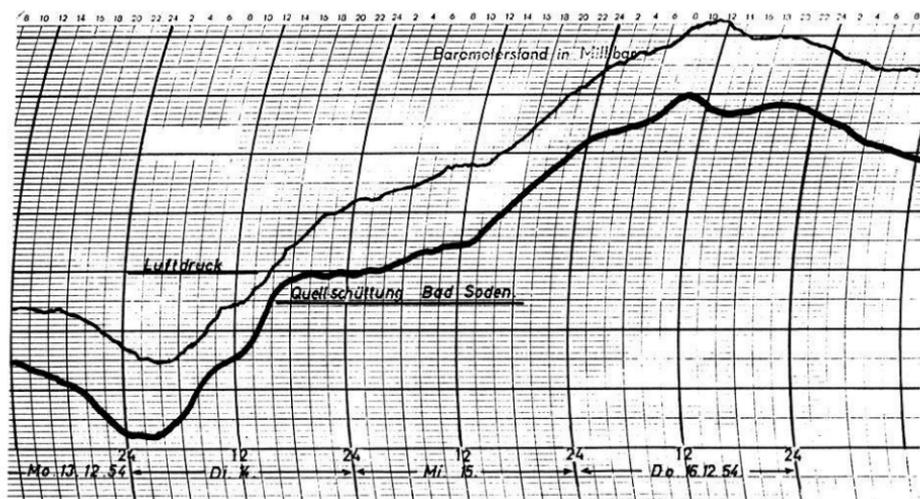


Abb. 23

Übersicht

Die angeführten Beispiele der verschiedenen Registrierungen vermitteln ein Bild von der Vielgestaltigkeit der Feinschwankungen von Brunnenpiegel und Quellschüttung. Bodenfrost, Erdbeben [15] und Gezeiteneinflüsse können neben Niederschlag und Verdunstung das Bild einer Registrierung bestimmen und stellen, jeder Teil für sich ein eigenes Untersuchungsgebiet dar. In bezug auf die Kleinschwankungen scheint jedoch der Luftdruckeinfluß am verbreitetsten zu sein. Die bis zu 10 cm groß werdenden luftdruckbedingten Schwankungen machen die auf 1 cm genau abgelesenen Grundwasserkontrollen der Landesämter und anderer Stellen zumindest problematisch.

Zu den Registrierungen der natürlichen Brunnen sei zum Schluß noch eine besondere markante Aufzeichnung des in Teil I beschriebenen künstlichen Brunnens hinzugegestellt, die zwei Kaltlufteinbrüche mit Gewitter in der Nacht vom 21. 12. und am Mittag des 23. 12. 54 anschaulich macht (Abb. 24). Bei der hier gewählten Vergrößerung werden von dem billigen und recht einfachen Gerät die Vorzüge, aber in den ganz kurzen Böennasen (z. B. am 23. 12. 12 Uhr) auch die kleinen Mängel sichtbar, die sich aber wohl durch Verbesserung von Schreibfeder, Brunnenfilter u. dergl. noch beheben ließen.

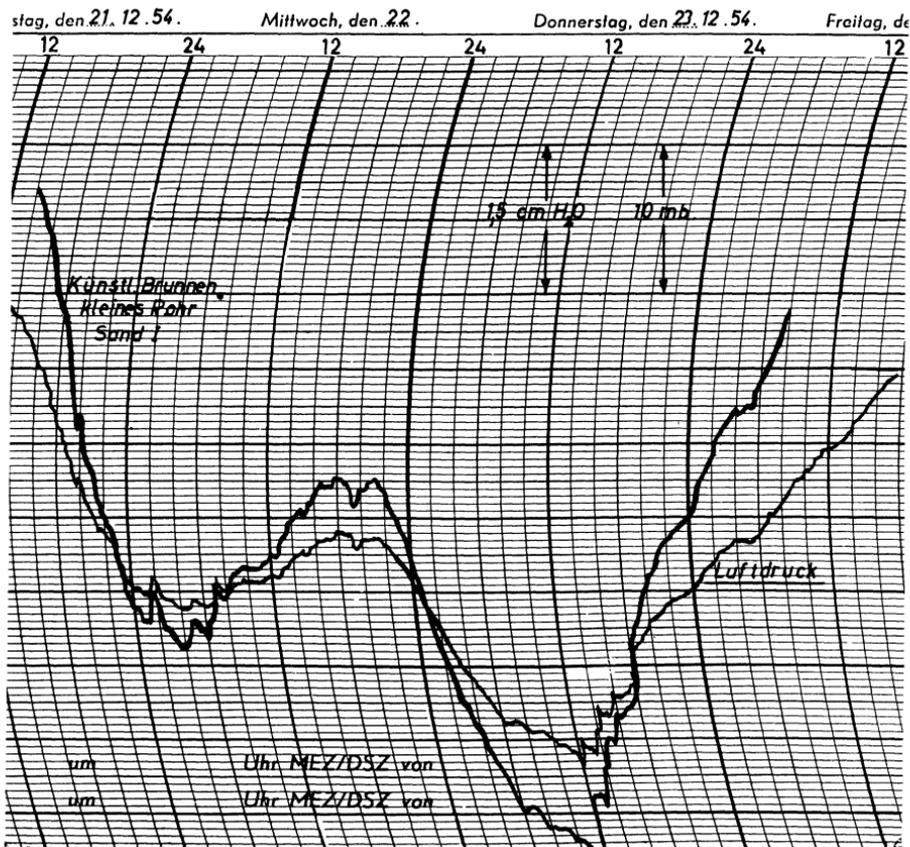


Abb. 24

Für die Möglichkeit zu diesen Untersuchungen sowie für viele wertvolle Ratschläge danke ich vor allem meinem hochverehrten Lehrer, Herrn Prof. Dr. R. Mügge, und möchte auch Herrn Feinmechanikermeister W. Weine für die sorgfältige Herstellung der verschiedenen Geräte, sowie allen Personen und Dienststellen, die mir die Aufstellung der Pegelschreiber ermöglicht haben, eminen aufrichtigen Dank aussprechen.

Literatur

- [1] *Meißner, R.*: Der Einfluß von Luftdruckschwankungen auf den Grundwasserstand. Ztschr. f. Geophysik, Sonderband 53
- [2] *Van Eimern*: Meteorologisch bedingte Kleinschwankungen des Grundwasserstandes. Ann. d. Meteor. 1950
- [3] *Muskat, M. u. Botset, B.*: Gas Flow through porous Materials Physics, Vol. 1, Bd. 2, 1931
- [4] *Hallernbach, F.*: Die Durchlässigkeit poröser Gesteine und ihre Bestimmung. Erdöl und Kohle, 39 Berlin 1943
- [5] *Bendel, L.*: Ingenieurgeologie Berlin 1929
- [6] *Hückel, E.*: Adsorption und Kapillarkondensation Akad. Verl. Ges. Leipzig, 1928, VI.
- [7] *Sekera, F.*: Die nutzbare Wasserkapazität und die Wasserbeweglichkeit im Boden. Ztschr. f. Pflanzenernährung, Düngung und Bodenkunde, 21, 1931
- [8] *Vageler, P.*: Der Kationen- und Wasserhaushalt des Mineralbodens Springer Verlag Berlin 1932
- [9] *Laatsch, W.*: Dynamik der deutschen Acker- und Waldböden. Steinkopf, Leipzig 1938
- [10] *Zunker, F.*: Durchlässigkeit des Bodens. Ztschr. f. Pflanzenernährung, Düngung und Bodenkunde, Bd. 28. 1932
- [11] *Versluys, J.*: Die Kapillarität der Böden. Intern. Mitt. f. Bodenkunde. Bd. 7. H. 3/4.
- [12] *Koehne, W.*: Das unterirdische Wasser. Handbuch d. Geophysik X, 1
- [13] *Raisch, E.*: Die Luftdurchlässigkeit von Baustoffen und Baukonstruktionen. Gesundheitsingenieur 51 Jg.
- [14] *Müller, E.*: Quellen und Grundwasser und ihre Abhängigkeit von meteorologischen Faktoren. Diss. Gießen 36.
- [15] *Junge, C.*: Schwankungen eines Brunnenspiegels bei Fernbeben. – Umschau 53

Statistische Analyse der hypsometrischen Kurve der Erde

Von H. C. Joks ch, Münster i. W.¹⁾

Zusammenfassung: Die hypsometrische Kurve der Erde läßt sich in zwei logarithmische Normalverteilungen und eine wahrscheinlich logarithmische Normalverteilung zerlegen. Es wird versucht, eine formale Erklärung dafür zu geben.

Abstract: The frequency-distribution of levels on the earth's surface is found to be composed of three unimodal distributions: two logarithmico-normal ones and one probably logarithmico-normal. A formal interpretation of these distributions and their composition is given.

Die hypsometrische Kurve der Erde [1], die angibt, welcher Anteil der Erdoberfläche in einem bestimmten Niveau liegt, gibt die statistische Häufigkeitsverteilung der Höhen. Daher kann man auf sie die Methoden der Häufigkeitsanalyse [2] anwenden, nach denen beobachtete Verteilungen in einfachere, die durch Parametertransformationen aus *Gauss*-verteilungen entstehen, zerlegt werden, und Zerlegung und Transformationen durch die Vorgänge, die diese Verteilung verursachten, zu erklären suchen.

Es ist bekannt, daß die hypsometrische Kurve aus zwei unimodalen Verteilungen, die den Kontinentalschollen und Meeresböden entsprechen, zusammengesetzt ist. Stellt man sie mit einem logarithmischen Maßstab für die Häufigkeiten, in dem einer *Gauss*-verteilung eine einfache Parabel entspricht, dar (Abb. 1), so erkennt man aber, daß sie aus dreien besteht. Eine graphische Analyse gibt:

- a) eine logarithmische Normalverteilung mit Fluchtpunkt $-7,5$, Mittenwert $-4,5$ und Normalstreuspanne²⁾ $3,7$ km, die 61% der gesamten Erdoberfläche umfaßt und den Meeresböden entspricht. Fast dieselben Werte, nämlich $-8,0$, $-4,2$ und $3,5$ km erhält man aus der detaillierteren hypsometrischen Kurve des Atlantiks nach *J. Stocks* [3].
- b) eine logarithmische Normalverteilung mit den entsprechenden Werten $-0,5$, $+0,2$, $1,2$ km und 27% und

1) H. C. Joks ch, Sternwarte der Universität, Münster i. W.

2) Normalstreuspanne heißt der Bereich einer Häufigkeitsverteilung, in dem 90% aller Werte liegen.

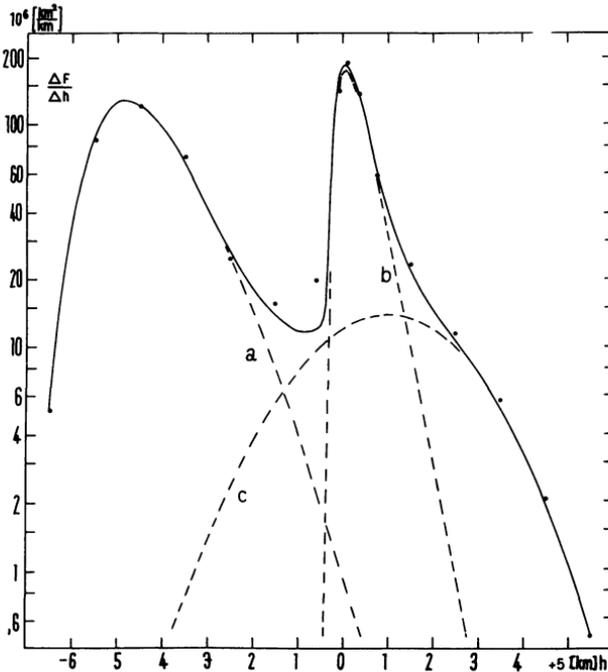


Abb. 1: Hypsometrische Kurve der Erde. Die Punkte stellen die Zahlenwerte von *E. Kossinna* [1], reduziert auf Höhenstufen von 1 km, dar. Die gestrichelten Linien geben die Verteilungen a, b und c, die ausgezogene ihre Zusammensetzung.

c) eine nicht ganz sicher bestimmte Normalverteilung mit Mittenwert +1,0 und Normalstreuspanne 5,5 km, deren Anteil an der Erdoberfläche 12% ist.

Die Zusammensetzung der Verteilungen stellt die beobachteten Werte bis auf eine größere Abweichung des Punktes bei - 0,6 km dar.

Die logarithmischen Verteilungen in der hypsometrischen Kurve lassen sich formal leicht deuten. Ist die Erde aus übereinanderliegenden Schichten aufgebaut, so gibt es eine ganz geschlossene Schicht, die, gleichgültig ob sie fest oder flüssig ist, eine natürliche Untergrenze für die Höhen in den darüberliegenden Schichten ist. Entsteht durch irgendwelche Vorgänge eine Höhenverteilung in einer oberen Schicht, so wird man, wenn man die Vorgänge in ihrer Gesamtheit als zufällig ansehen kann und nicht eine vorherrschende Gesetzmäßigkeit eine andere Verteilung verursacht, eine logarithmische Normalverteilung, die auch über den ursprünglichen Bereich der Schicht hinausgreifen kann, mit der Untergrenze als Fluchtpunkt erwarten. Das Auftreten zweier logarithmischer Verteilungen mit verschiedenen Fluchtpunkten kann man dann so erklären, daß sich zuerst oberhalb einer

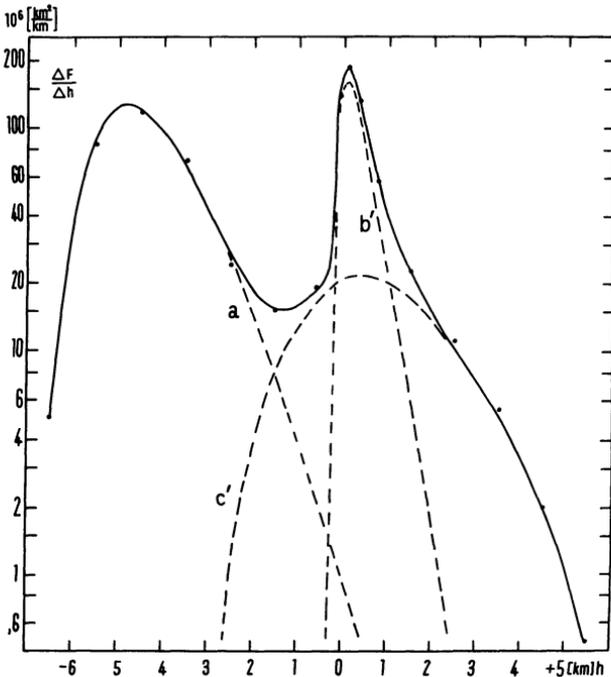


Abb. 2: Hypsometrische Kurve der Erde. Punkte wie in Abb. 1. Die gestrichelten Linien geben die Verteilungen a, b' und c', die ausgezogene ihre Zusammensetzung.

geschlossenen Schicht bei $-0,5 \text{ km}^b$ die Verteilung b bildete, daß im Laufe der Entwicklung die untere Schicht aufriß und sich in ihr die Verteilung a mit dem neuen Fluchtpunkt $-7,5 \text{ km}$ bildete. Man wird erwarten, daß gleichzeitige Vorgänge in der oberen Schicht ebenfalls eine logarithmische Verteilung mit diesem Fluchtpunkt verursachten. Da die Verteilung c nicht genau bestimmt ist, kann man versuchen, sie durch eine solche zu ersetzen. Man erhält dann:

- a) dieselbe Verteilung wie bei der ersten Zerlegung,
- b') ebenfalls dieselbe Verteilung, aber nur mit einem Anteil von 23%, und
- c') eine logarithmische Normalverteilung mit Fluchtpunkt $-7,5$ (angenommen), Mittelwert $+0,5$ und Normalstreuung $3,5 \text{ km}$, die 16% der Erdoberfläche umfaßt.

Die Zusammensetzung stellt die Beobachtungen besser als die erste dar (Abb. 2). Der Mittelwert der Verteilung c', der sich von dem der Verteilung

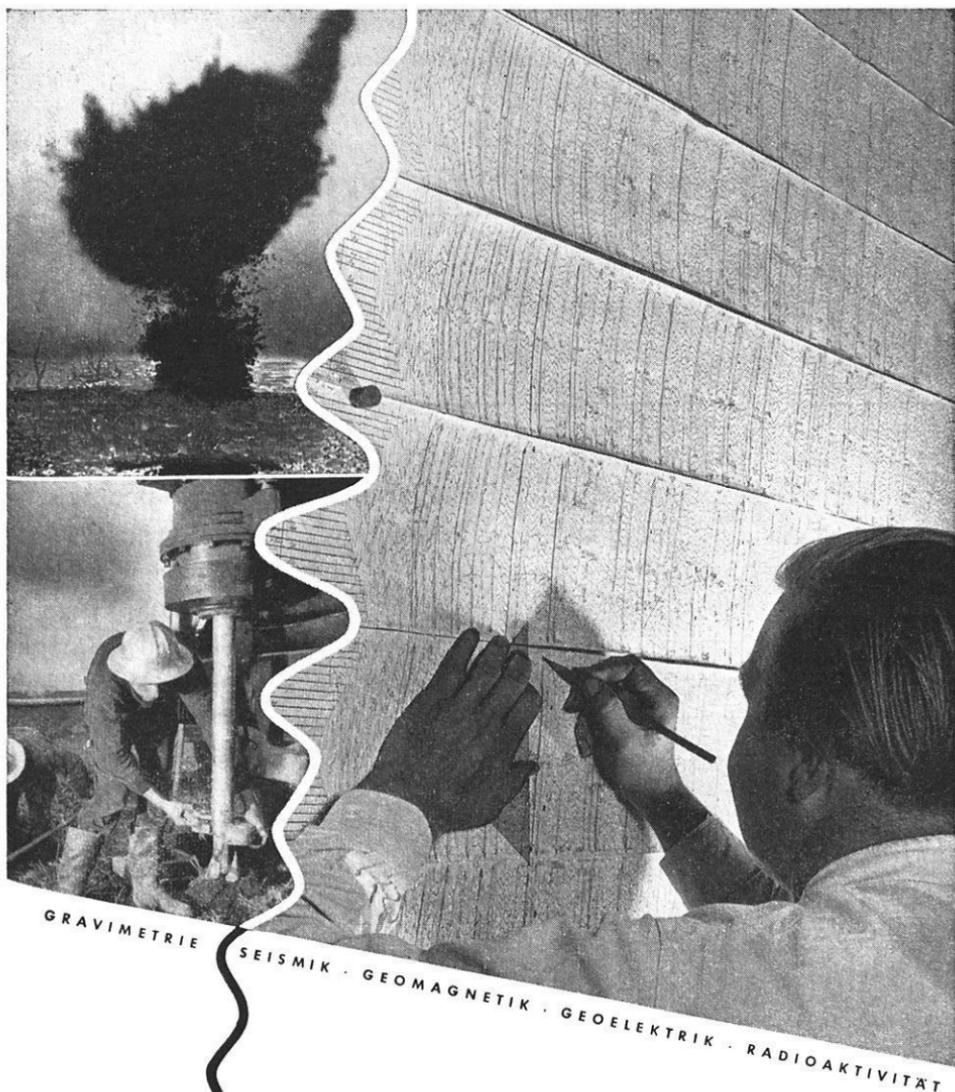
b nur wenig unterscheidet, paßt gut zu den obigen Überlegungen. Allerdings können sich bei genauerer Kenntnis der hypsometrischen Kurve die Zahlenwerte noch erheblich ändern.

Für die Existenz von Kontinentalschollen, die die hypsometrische Kurve wesentlich bestimmt, gibt es verschiedene Erklärungsversuche. Die hier gefundenen feineren Einzelheiten der hypsometrischen Kurve und ihre Deutung widersprechen nicht den Überlegungen von *P. Jordan* und *J. E. Fisher* [4], nach denen sie sich vielleicht aus der von der projektiven Relativitätstheorie geforderten Veränderlichkeit der Gravitationskonstante erklären läßt: Bei Entstehung der Erde bildeten sich übereinanderliegende Schichten. Mit Abnahme der Gravitationskonstante dehnte sich die Erde aus, die oberste Schicht riß auf und es konnte sich in ihr eine Höhenverteilung ausbilden. Bei der weitere Ausdehnung nahmen die Spannungen in der unteren Schicht zu, bis sie auch aufriß und sich in ihr eine Höhenverteilung bilden konnte.

Herrn *Prof. Dr. B. Brockamp* danke ich für anregende Diskussionen.

Literatur

- [1] *Kossinna, E.*: Handbuch der Geophysik, Bd. 2, S. 875, Berlin 1933.
- [2] *Daeves, K.*, und *Beckel, A.*: Großzahl - Forschung und Häufigkeitsanalyse. Weinheim 1948.
- [3] *Stocks, J.*: Neues zur Morphometrie des Atlantischen Ozeans. Ann. der Hydrographie und maritimen Meteorologie, 67, (1939), 1 - 13.
- [4] *Jordan, P.*: Schwerkraft und Weltall. S. 196 ff. Braunschweig 1952.



GRAVIMETRIE

SEISMIK

GEOMAGNETIK

GEOELEKTRIK

RADIOAKTIVITÄT

SEISMOS
G. M. B. H.

verringert Ihr Risiko

H A N N O V E R

Fernsch. 023419 · Ruf 70831



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

*Das Wissen des 20. Jahrhunderts im Taschenbuch
mit enzyklopädischem Stichwort*

rowohlts deutsche enzyklopädie

Herausgegeben von Prof. Dr. Ernesto Grassi

JEDER BAND DM 1.90

Hans Sedlmayr, Die Revolution der modernen Kunst / Helmut Schelsky, Soziologie der Sexualität / Günter Schmölders, Konjunkturen und Krisen / Werner Kemper, Der Traum und seine Bedeutung / Franz Altheim, Reich gegen Mitternacht (Asiens Weg nach Europa) / J. Robert Oppenheimer, Wissenschaft und allgemeines Denken / Ruth Benedict, Urformen der Kultur / Werner Heisenberg, Das Naturbild der heutigen Physik / Geoffrey Gorer, Die Amerikaner (Eine völkerpsychologische Studie) / José Ortega y Gasset, Der Aufstand der Massen / Lawrence S. Kubie, Psychoanalyse ohne Geheimnis / Albert Einstein / Leopold Infeld, Die Evolution der Physik

Vorschau:

Jakob v. Uexküll / G. Kriszat, Streifzüge durch die Umwelten von Tieren und Menschen – Bedeutungslehre / Ludwig Marcuse, Sigmund Freud / Walter F. Otto, Theophania – Der Geist der altgriechischen Religion / Louis Baudin, Der Sozialistische Staat der Inka / Hans Jürgen Eysenck, Wege und Abwege der Psychologie / S. Giedon, Architektur und Gemeinschaft / Walter Heß, Dokumente zum Verständnis der modernen Malerei / Adolf Portmann, Zoologie und das neue Bild des Menschen (Biologische Fragmente zu einer Lehre vom Menschen) / Ernesto Grassi, Kunst und Mythos / Heinrich Schulte, Angst, Rausch, Sucht und Wahn (Menschenkunde im Prisma des Abnormen)

Zu beziehen nur durch Ihre Buchhandlung. Prospekte verlangen Sie bitte direkt vom

Rowohlt Taschenbuch Verlag
Hamburg 13

Bitte nennen Sie bei Anfragen und Bestellungen auf unsere Zeitschrift Bezug.

Please, mention our review in writing to advisers.

"Journalfranz"
ARNULF LIEBING OHG.

WISSENSCHAFTLICHES ANTIQUARIAT
UND HOCHSCHULBUCHHANDLUNG

SPEZIALGESCHÄFT FÜR
WISSENSCHAFTLICHE
ZEITSCHRIFTEN

Wir liefern und kaufen ständig:

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

■ Ankauf vollständiger Bibliotheken ■

Fordern Sie bitte kostenlos an:

Kat. 58

GEOLOGIE/GEOPHYSIK

Kat. 59

**MATHEMATIK/ASTRONOMIE/
PHYSIK**

WÜRZBURG 2

Briefanschrift: Postfach 1136

Geschäftsräume: Rotlöwengasse 2

Fernruf: 40 20 • Telegr.: Journalfranz

Airborne

MAGNETOMETER

ELECTROMAGNETIC

RADIO-ACTIVITY

Surveys

Consult



HUNTING GEOPHYSICS LTD

4 ALBEMARLE ST., LONDON, W.1.

Telephone: HYDe Park 5211

Cables: 'HUNTMAG' LONDON

HEAD OFFICE AND LABORATORIES

6 ELSTREE WAY, BOREHAM WOOD, HERTS.

Telephone: ELSTREE 2214

on geophysical prospecting for

OIL

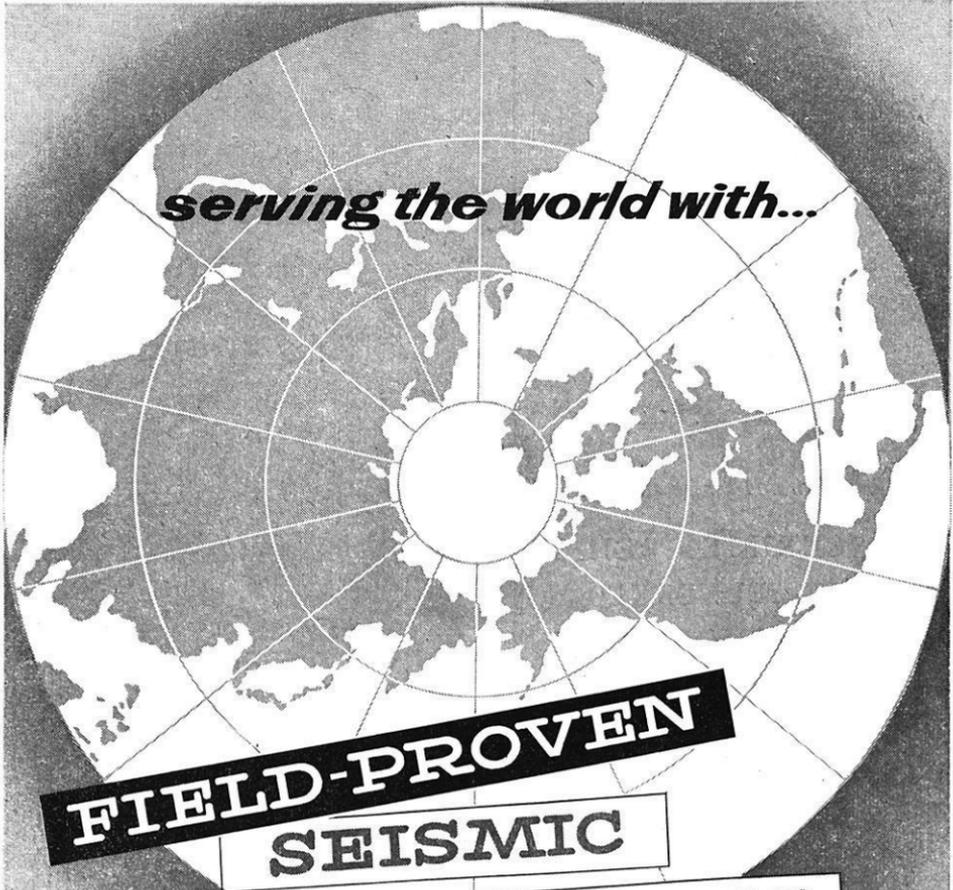
FERROUS ORES

BASE METALS

RADIO-ACTIVE MINERALS

Bitte nehmen Sie bei Anfragen und Bestellungen auf unsere Zeitschrift Bezug.

Please, mention our review in writing to advisers.



serving the world with...

**FIELD-PROVEN
SEISMIC
INSTRUMENTS**

Rugged construction . . . advanced engineering . . . service protection. Three reasons why more than 90% of the world's operating crews depend on Electro-Tech seismic equipment.

Electro-Tech

Electro-Tech manufactures and markets its own complete line of lab-tested and field-proven seismic equipment.

Specify Electro-Tech . . . the name known for quality throughout the industry.

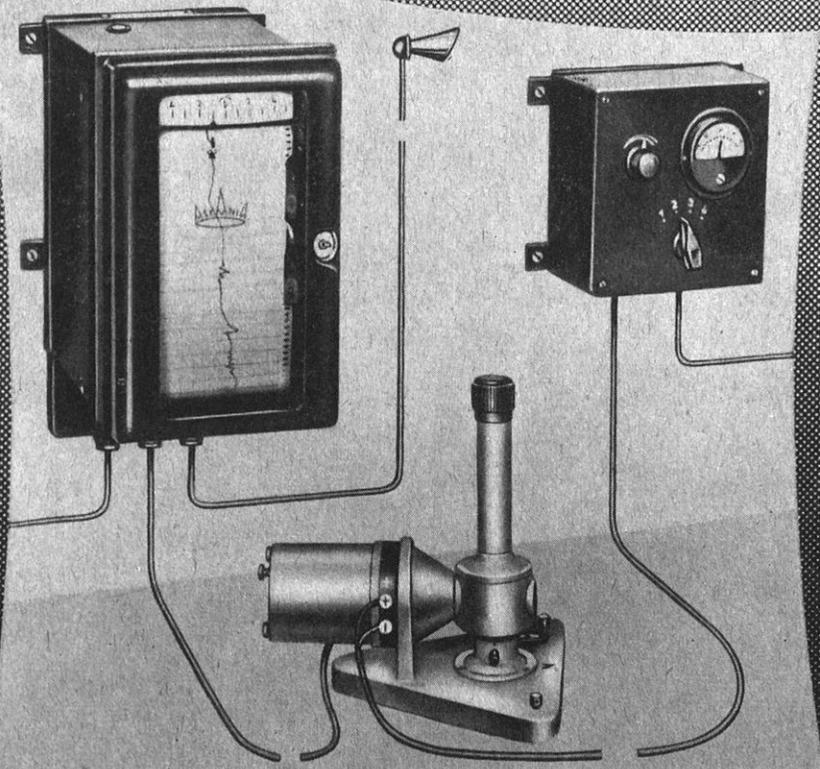
ELECTRO-TECH INTERNATIONAL

GENERAL OFFICE . . . P. O. BOX 2025 . . . HOUSTON 1, TEXAS
AFFILIATES: ELECTRO-TECH INC., HOUSTON • ELECTRO-TECH CANADA LTD., CALGARY, ALTA., CANADA • ELECTRO-TECH
PACIFIC - TULUNGA, CALIFORNIA • SEISMIC INSTRUMENTS LTD., CAMBRIDGE, ENGLAND • PROCEDES E.T.L. - PARIS, FRANCE
AGENCIES: PARIS • ROME • TOKYO . . . CABLE ADDRESS: ELTEC

Alarm

beim Ausbruch

MAGNETISCHER STÜRME



durch den

H-MAGNETOGRAPHEN

einem einfachen geomagnetischen
Variographen mit sichtbarer
Registrierung.

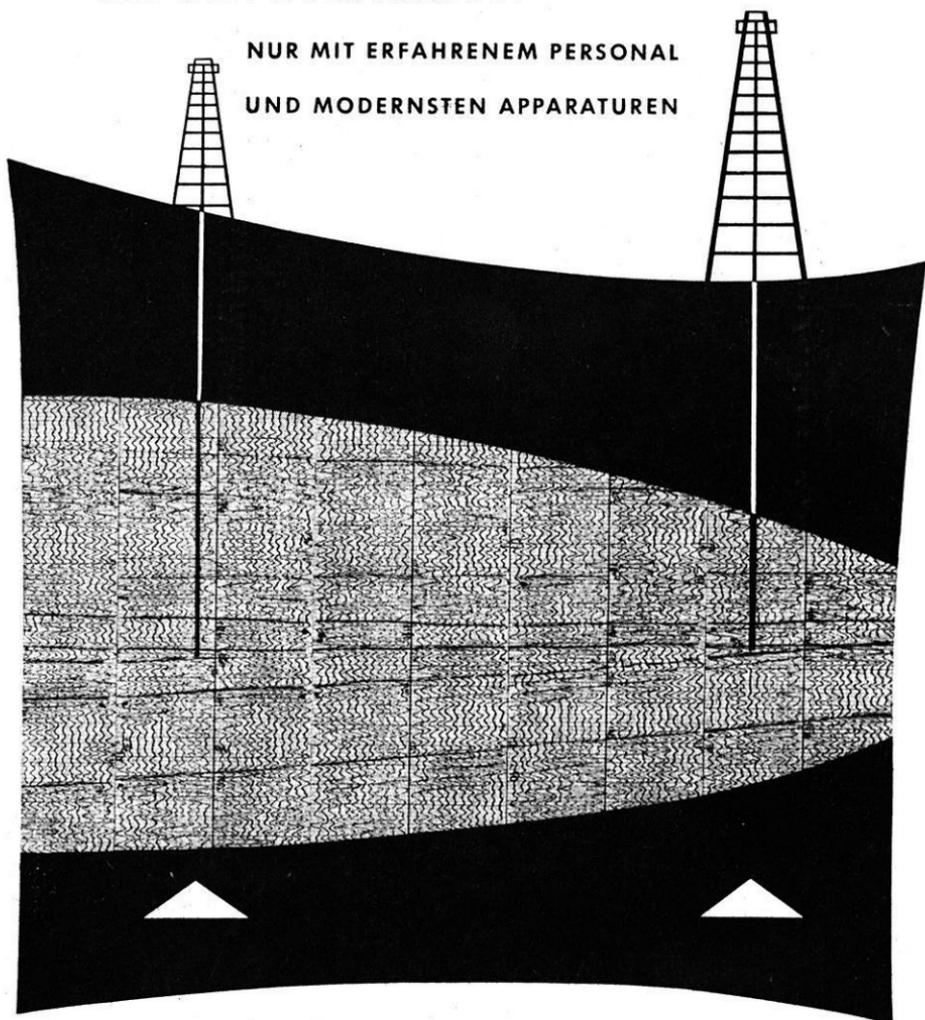
Einzelheiten in Druckschrift 1526a



ASKANIA-WERKE AG. · BERLIN-FRIEDENAU

ERDÖL-PROSPEKTION

NUR MIT ERFAHRENEM PERSONAL
UND MODERNSTEN APPARATUREN



WIR BERATEN SIE GERN



HANNOVER · HAARSTRASSE 5
RUF: 80148 · FERNSCHREIBER: 023847
DRAHT: PRAKLA

R.

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