

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, Kiel — O. Meyer, Hamburg
F. Möller, Mainz — H. Reich, Göttingen.

Jahrgang 26

1960

Heft 2



PHYSICA - VERLAG · WÜRZBURG

INHALTSVERZEICHNIS

Vogler, G.: Ursachen emanometrischer Anomalien	57
Budde, E.: Der Beweglichkeitskoeffizient der Radium-Emanation in Lockergesteinen	72
Irsraël, H. und H. Dolezalek: Zur Vergleichbarkeit luftelektrischer Messungen	77
Seibold, E. und R. Wiegert: Untersuchungen des zeitlichen Ablaufs der Sedimentation im Malo Jezero (Mljet, Adria) auf Periodizitäten	87

Die ZEITSCHRIFT FÜR GEOPHYSIK

erscheint in Jahrgängen zu je 6 Heften. Der Bezugspreis beträgt je Jahrgang 34,— DM, Einzelhefte je nach Umfang. Abonnements verlängern sich jeweils um einen Jahrgang, falls keine ausdrückliche Abbestellung zum Ende eines Jahrganges vorliegt.

In der Zeitschrift werden Originalarbeiten, die weder im In- noch im Ausland veröffentlicht wurden und die der Autor auch anderweitig nicht zu veröffentlichen sich verpflichtet, aus dem Gebiet der reinen und angewandten Geophysik sowie aus den Grenzgebieten aufgenommen. Mit der Annahme des Manuskriptes geht das ausschließliche Verlagsrecht an den Verlag über.

Die Autoren werden gebeten, die Manuskripte in Maschinenschrift mit handschriftlich eingetragenen Formeln druckfertig einzureichen und gesondert eine „Anweisung für den Setzer“ beizufügen, aus der zu ersehen ist, wie kursiver, gesperrter oder fetter Satz und griechische, gotische oder einander ähnliche Typen und Zeichen kenntlich gemacht sind (z. B. durch farbige Unterstreichung). Die Vorlagen für die Abbildungen sollen reproduktionsfertig (Tuschzeichnung) möglichst im Maßstab 2:1 eingesandt werden. Die Beschriftung der Abbildungen soll auf einem lose vorgeklebten, durchsichtigen Papier erfolgen. Fußnoten sind fortlaufend zu numerieren und am Ende des Manuskriptes zusammenzustellen; bei Zitaten sind neben Autorennamen, Titel und Zeitschriftentitel, auch 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, Institut für reine und angewandte Geophysik,
Münster (Westfalen), Steinfurter Straße 107

Anschrift der Deutschen Geophysikalischen Gesellschaft:

Hamburg 13, Rothenbaumchaussee 80, Postscheck: Hamburg Nr. 55983

Es ist ohne ausdrückliche Genehmigung des Verlages nicht gestattet, fotografische Vervielfältigungen, Mikrofilme, Mikrofotos u. ä. von den Zeitschriftenheften, von einzelnen Beiträgen oder von Teilen daraus herzustellen.

Bekanntmachung lt. Bayer. Pressegesetz: Verlag: PHYSICA-VERLAG Rudolf Liebing K.-G., Würzburg, Münzstr. 12. Pers. haft. Ges.: Rudolf Liebing, Arnulf Liebing und Hildgund Holler, sämtlich Buchhändler in Würzburg. Kommanditisten: Friedr. Gäbler, Buchhändler, und Charl. Kuhnert, beide Würzburg.

Typoskript: Physica-Verlag, Würzburg; Offsetdruck: fotokop, Darmstadt.

Printed in Germany



PHYSICA-VERLAG, Würzburg 1960

Ursachen emanometrischer Anomalien ¹⁾

Von G. Vogler, Leipzig ²⁾

Zusammenfassung: Als Ursache oberflächennaher Rn - Anomalien wird seit Elster und Geitel (1902) eine erhöhte Rn - Diffusion von einer "Quelle" im Untergrund angenommen. Der kleine Diffusionskoeffizient und die Mächtigkeit der feinkörnigen Verwitterungsschicht oder eine Spaltenfüllung mit diesem Material verhindert jedoch in den häufigsten Fällen eine Rn - Diffusion bis in die oberflächennahe Schicht.

Über tektonische Störungen mit relativ mächtigen und sehr dichten Deckschichten wurden Rn - Profile gemessen sowie Bodenproben aus verschiedenen Tiefen an den Meßpunkten entnommen und nach einer Lagerzeit, die um ein Vielfaches größer war als die Halbwertszeit von Rn , mit dem Zählrohr gemessen. Obwohl die Versuchsbedingungen den Einfluß von diffundierter Rn ausschließen, ergibt sich mit beiden Methoden über den Störungen ein Maximum. Das beweist, daß die bis jetzt benutzte Erklärung einer Entstehung durch Rn - Diffusion nicht hinreichend ist.

Aus den Ergebnissen wird geschlossen, daß die generelle Ursache der Rn - Anomalien das mit kernstabilen und -aktiven Kationen beladene Wasser ist, das bei der Wasserverdunstung der Oberflächenschicht von kapillaraktiven (Störungs-) Zonen durch Kapillarmose nach oben transportiert wird. In den Tonen werden die Kationen durch Ionenaustausch akkumuliert. Da die Menge der akkumulierten Kationen der kapillar transportierten Wassermenge proportional ist, bildet sich in der austauschfähigen Deckschicht über kapillaraktiven Zonen ein radio-metrisches Maximum.

Für oberflächennahe Rn - Anomalien ergeben sich daraus 3 Kausaltypen: 1) U - Ra - Akkumulation durch Ionenaustausch, 2) U - Ra - Akkumulation durch Ionenaustausch und Rn - Diffusion, 3) (als seltener Fall!) Rn - Diffusion.

¹⁾ Vorgetragen auf der Tagung der Deutschen Geophysikalischen Gesellschaft in Bad Soden vom 14.-16. Oktober 1959.

²⁾ Dipl. Geophys. Gerhart Vogler, Leipzig -Wiederitzsch, Krone-Platz 6.

Der Transport- und Akkumulationsvorgang ist für radioaktive und kernstabile Ionen gleich. Damit ist auch die Ursache der geochemisch-biogeochemischen Anomalien in der Oberflächenschicht erkannt. Das Phänomen wird an einem Beispiel demonstriert.

Mit diesem Vorgang ist auch eine Ursache der radioaktiven Ringzone bei strukturgebundenen Erdöllagerstätten gefunden.

Abstract: Since Elster and Geitel (1902) there has been assumed increased Rn diffusion from a "source" in the undermass as the cause of Rn anomalies near the surface. However, the small diffusion coefficient and the thickness of the fine-grained weathering layer or a filling of crevices with this substance mostly prevent Rn diffusion up to the surficial layer.

Rn profiles were measured over tectonic faults with relatively thick and very compact covers. Soil samples were taken from various depths at the measuring points and measured with the Geiger counter after a storing time several times as long as the half life of Rn. Though the conditions during the tests exclude the influence of diffused Rn both methods show a maximum over the faults. This proves that the explanation of the origin in Rn diffusion which has been used up to now is insufficient.

It is concluded from the results that the general cause of the Rn anomalies is the water loaded with nuclear-stable and -active cations which is carried upward by capillary-osmosis with evaporation of water in surficial layer of capillary-active zones. In the clays the cations are accumulated by ion exchange. As the quantity of accumulated cations varies directly as the quantity of water carried in capillaries a radiometric maximum forms in the cover capable of exchange over capillary-active zones.

Hence there are 3 causal types of Rn anomalies near the surface: 1) Accumulation of U and Ra by means of ion exchange, 2) accumulation of U and Ra by means of ion exchange and Rn-diffusion, 3) (as a rare case!) Rn diffusion.

The process of carriage and accumulation is the same with unstable and stable cations. By this there has also been recognized the cause of geochemical and biogeochemical anomalies in the surficial layer. The phenomenon is demonstrated by an example.

In this process there has also been found a cause of the radioactive halo with structurally-bounded oil reservoirs.

Seit den ersten Emanationsmessungen der Bodenluft durch Elster und Geitel (1902) erklärt man die Emanationsanomalien, wenn die Substanz der Deckschicht im Bereich des Profiles konstant ist, mit der gasförmigen Emanations-Diffusion von einem Ort erhöhter Emanationsproduktion im Untergrund. Als Emanationsquellen werden bezeichnet die Spalten tektonischer Störungen, die darin zirkulierenden Wässer mit Ionen radioaktiver Substanzen und konzentrierte radioaktive Mineralien. Seitdem wird die Emanationsmessung der Bodenluft zur Ortung dieser Objekte benutzt.

I. Problemstellung

Lutz (1955) untersuchte unter Tage tektonische Störungszonen im Granit und Gneis mit dem Zählrohr. Obwohl beide Gesteine zu jener Gruppe gehören, die den größten Anteil an akzessorischen radioaktiven Mineralien enthalten, war die Intensität der γ -Strahlung von Ruschel-, Kluftzonen und Spalten gleich oder kleiner als die des kompakten Gesteins. Drei Störungszonen, mit einer Breite von ca. 20 cm, waren mit Lehm verschmiert und unterschieden sich durch ein Strahlungsminimum vom festen Gestein. Daraus schließt Lutz, daß eine Anreicherung freier Emanation in den oberen Bodenschichten über Verwerfungen und Spalten "unglaublich" ist und bezeichnet es als fraglich, "ob emanometrische Maxima in mehr als Ausnahmefällen mit tektonischen Störungen zusammenhängen".

Mit Laborexperimenten bestimmte Budde (1956) den Diffusions-Koeffizienten von Rn in Lockergestein und kam dabei zu folgenden Ergebnissen:

1. Rn kann nur durch Transportgase (zum Beispiel CO₂) aus dem Wasser befreit werden. (Da Transportgase nur selten vorhanden sind, können zirkulierende Wässer mit Lösungen radioaktiver Substanzen und alle Rn-Quellen die unter dem Wasserspiegel liegen, nur in Ausnahmefällen in darüberliegenden luftgefüllten Lockermaterial Emanationsanomalien erzeugen.)

2. Liegen die Orte erhöhter Rn-Produktion über dem Grundwasserspiegel, so erzeugen sie in Abhängigkeit von der Korngrößenverteilung des Lockermaterials der Deckschichten nur bis zu einer bestimmten Entfernung eine Rn-Anomalie. (So ist z.B. der Ort einer erhöhten Rn-Produktion in einer Deckschicht aus Lockermaterial mit mehr als 20% Kornanteilen < 0,06 mm Durchmesser in einer Entfernung von ca. 10 cm nicht mehr – und bei einer Deckschicht mit nur ca. 10% dieser Kornfraktion in 1 m Entfernung mit nur noch 1% der Anfangskonzentration meßbar. Nach 5 cm feuchtem Geschiebemergel hat die Emanationsdiffusion nur noch eine theoretische Bedeutung.)

Aus den Ergebnissen dieser Untersuchungen folgt übereinstimmend, daß tektonische Störungszonen nur in Ausnahmefällen "Quellen" erhöhter Rn-Exhalation sind -, und die Ausnahmen können auch nur dann eine Anomalie an der Erdoberfläche erzeugen, wenn die Durchlässigkeit der Deckschichten für Rn genügend groß ist.

Diese Ergebnisse schließen Bedingungen aus, unter denen in praxi reproduzierbare und tektonisch gesicherte Anomalien auftreten. Emanationsanomalien werden über tektonischen Störungen relativ häufig gemessen. Auch über Störungen, die mit mehr als 2 m mächtigem völlig abdichtendem Material überdeckt sind, treten Anomalien auf.

So konnte Patriciu (1930) bei geologischen und geophysikalischen Untersuchungen am Göttinger Leinental-Graben mit Emanationsmessungen tektonische Störungen nachweisen, die mit mehr als 2 m mächtigem Lehm bedeckt waren. Wallasch (1959) berichtet, daß es bei seinen methodischen Untersuchungen im Baskischen Gebirge möglich war, eine mit Mergel überdeckte Störung durch eine Emanationsanomalie zu lokalisieren. In eigenen Untersuchungen wurden geologisch gesicherte Linien des Leuchtenburg-Grabens bei Kahla, die mit mehr als 2 m mächtigem Lehm überdeckt waren, durch Emanationsanomalien nachgewiesen. Auch im Bereich der Elbtalzone wurden tektonische Störungen mit einer Überdeckung von mehr als 2 m mächtigen sehr feuchten Letten durch Emanationsanomalien lokalisiert. Dieser Widerspruch zwischen den Ergebnissen der Grundlagenforschung und der Emanometrie beweist, daß im Gegensatz zur bisherigen Ansicht die Rn-Exhalation nur im Ausnahmefall die Ursache von Anomalien ist.

II. Theoretische Betrachtungen

Eine Klärung der Ursache von Rn-Anomalien ist möglich, wenn man die Vorgänge der vertikalen Bodenwasserbewegung durch Kapillariosmose in die Betrachtung einschließt. Aus gesicherten Meßreihen von Niederschlag (N) und Verdunstung (e) ist bekannt (Pfauf, 1958), daß in manchen Perioden die Differenz aus $N - e$ negative Bilanzen ergibt, die nicht nur in warmen Jahreszeiten sondern auch zu ca. 40% in Abkühlungszeiten auftreten. Das beweist, daß ein Feuchtigkeitsstrom von tieferen Bodenschichten nach oben besteht. In vielen Fällen steht die obere Bodenschicht in einer kapillaren Verbindung mit dem Grundwasser (Kozeny, 1935; Benetin, 1959). Auf diesem Wege wird in

Perioden mit negativen Bilanzen durch die Kapillarmose Feuchtigkeit aus dem Grundwasser in die Oberflächenschicht gesogen. Das Wasser nimmt entlang seines Kapillarweges und in der Grundwasserzone Ionen der verwitternden aktiven und nichtaktiven Mineralien des Gesteins auf und transportiert sie in die oberflächennahe Schicht. Die größten kapillaren Saugkräfte treten bei Tonen auf, sie können entsprechend der Tonstruktur 30 - 100 at betragen (Salmang, 1958). Die Tone haben aber eine wichtige Eigenschaft; sie wirken als Ionenaustauscher (Thompson, 1850; Grim, 1953), d.h. sie können die in ihrer Struktur enthaltenen Kationen gegen andere der sie umgebenden Lösung austauschen. Durch den Austauschvorgang werden die Kationen in den Tonen angereichert. (Der Austauschvorgang von Anionen ist bei Tonen gering.)

Die große Zahl der Tontypen ist in ihrer Austauschwirkung und Austauschkapazität sehr verschieden. Der Austauschvorgang soll an dem sehr häufigen und mit einer großen Austauschkapazität behafteten Typ des Montmorillonit beschrieben werden. Die Grundstruktur der Tonmineralien ist das Schichtgitter. Die einzelnen Schichten sind parallel zueinander in Richtung der *C*-Achse gepackt. Durch die Variation der Packungsfolge und den Aufbau der Schichten unterscheiden sich die Tontypen. Beim Montmorillonitkristall schließen zwei tetraedrische Silikatschichten ($\text{Si}(\text{OH})_4$) eine oktaedrische Aluminatschicht

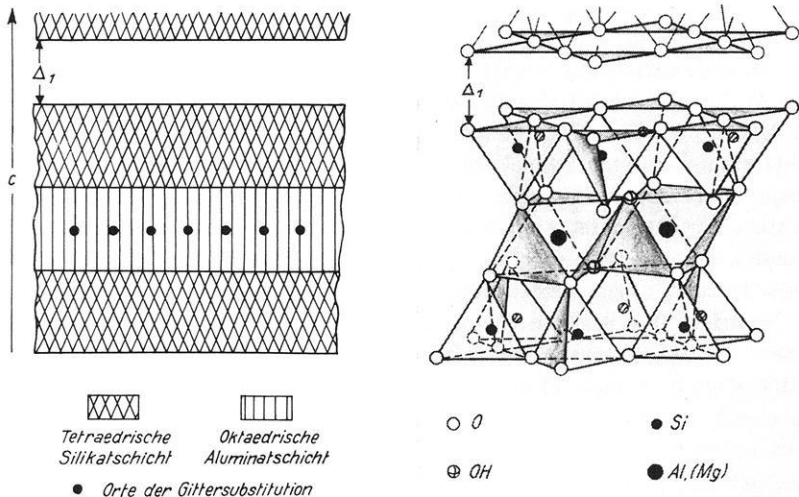
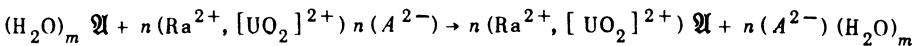


Abb. 1: Schematische Struktur des Montmorillonit (umgezeichnet nach Jasmund und Amphlett) Idealformel: $\text{Si}_8\text{Al}_4\text{O}_{20}(\text{OH})_4n\text{H}_2\text{O}$, statistische Formel für den substituierten Zustand: $\text{Si}_8(\text{Al}_{3,34}\text{Mg}_{0,66})\text{O}_{20}(\text{OH})_4n\text{H}_2\text{O}$

(Al(OH)₆) ein. Durch Gitterinhomogenität in der Aluminatschicht sind einzelne Al³⁺ Ionen durch zweiwertige Kationen z.B. Mg²⁺, Fe²⁺ substituiert. Die dadurch freiwerdenden negativen Ladungen im Kristallgitter werden neutralisiert durch den Einbau von polarisierten Molekeln oder Ionen in die Zwischenschicht-räume der Kristalle. Primär sind in die Zwischenschichten die als Dipole wirkenden H₂O-Moleküle eingebaut, die in der idealisierten Strukturformel Si₈Al₄O₂₀(OH)₄ · n · H₂O mit dem unbestimmten Faktor genannt sind. Umgibt die Tonminerale eine Lösung, so werden durch das Konzentrationsgefälle von der Lösung zum Zwischenschichtwasser Kationen gegen Wassermoleküle ausgetauscht und in die Zwischenschicht eingebaut. Der Vorgang läuft nach folgendem Wirkungsschema ab:



(Darin bedeuten: \mathfrak{A} = Kationenaustauscher, A = Anionen.)

Die Einbaufestigkeit steigt von ein- zu zweiwertigen Kationen und innerhalb der beiden Gruppen mit steigendem Ionenradius. In unserem Falle ist hier zum Beispiel an Ra²⁺ als auch an das sehr häufige zweiwertige Uranyl-Radikal [UO₂]²⁺ zu denken, das sich in vielfacher Beziehung so wie das elementare Ion eines zweiwertigen Metalls verhält (Remy, 1949). Der Zwischenschichtabstand Δl ist abhängig vom Wassergehalt der Zwischenschichten und vom Hydratationsgrad der eingebauten Kationen. In absoluten Einheiten: die Dicke des Montmorillonitkristalls beträgt ca. 10 Å und der Zwischenschichtabstand bis ca. 20 Å. Diese Zahlen vermitteln eine Vorstellung von der gewaltigen inneren Oberfläche dieser Tone. Die Ionenaustauschkapazität ist bei diesen Zwischenschichtaustauschern proportional der inneren Oberfläche und des Quellvermögens in Wasser oder wäßrigen Lösungen, das ist die Vergrößerung des Schichtabstandes in Richtung der C-Achse. Ein geringer Kationenaustausch ist auch an den Ecken und Kanten der Schichten möglich, wenn an ihnen abgerissene "offene" Bindungen oder Hydroxylgruppen existieren. Dieser Ecken- und Kantenaustausch ist bei allen Tonmineralien wirksam. Bei einigen Tonmineralien erfolgt der Kationenaustausch nur auf diesem Wege (z.B. Kaolinit). Die Austauschkapazität dieser Tonmineralien ist deshalb klein.

III. Experimentelle Ergebnisse

Mit dem beschriebenen Vorgang (Aufstieg des Grundwassers durch Kapillarosmose, Kationenaustausch und damit Anreicherung in Tonen) kann eine Reihe bis jetzt ungeklärter Phänomene geklärt werden.

So berichtete Brandes (1905) von der Untersuchung der Radioaktivität nahezu gleichartiger Sandproben aus einer Bohrung auf dem Gelände der Sternwarte in Kiel. Er fand, daß die Radioaktivität der Sandproben ihrem Tongehalt in Näherung proportional war (Abb. 2). Dieses Ergebnis entspricht dem oben definierten Vorgang: Durchströmt eine Lösungsmenge mit Ionen radioaktiver Substanzen eine vertikale Bodensäule unterschiedlicher Zusammensetzung, so muß die Radioaktivität der Raumelemente dieser Bodensäule der Ionenaustauschkapazität proportional sein.

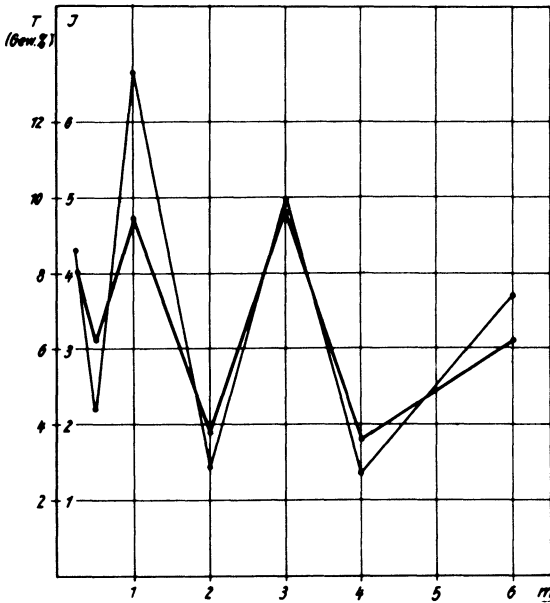


Abb. 2: Die Beziehung zwischen Tongehalt und Radioaktivität eines Sandes in Abhängigkeit von seiner Tiefenlage (T = Tongehalt in %, I = Radioaktivität) (nach Ergebnissen von Brandes)

Zu einem charakteristischen Beispiel für die Kationenakkumulation wird ein von Elster und Geitel (1904) beobachtetes Phänomen, das in seiner Ursache bis heute ungeklärt blieb. Beide Autoren fanden, daß die Radioaktivität der tonigen Verwitterungsdecke eines Schiefers mehr als achtmal so groß war wie die des darunterliegenden Muttergesteins. Das war verwunderlich, da man bei der Verwitterung von kristallinem Gestein beobachtet hatte, daß die Metallverbindungen chemisch gelöst und weggeführt werden. Mit einer zugeführten Emanationsmenge konnte die hohe Aktivität dieses Tones nicht erklärt werden, da die

Strahlungsintensität der Bodenproben über Wochen konstant blieb. Auch die α -Strahlung des salzsauren Bodenauszuges dieser Proben blieb über Wochen konstant und war ca. 150 mal größer als die der Bodenprobe. Der beschriebene Austauschvorgang ist auch die Ursache dieses Phänomens. Bei der Verwitterung des Schiefers entsteht mit dem Ton eine große Kationenaustauschkapazität, die eine Anreicherung jener Kationen ermöglicht, die mit dem Grundwasser entlang von geneigten Schichtflächen des Schiefers kapillar zur Oberflächenschicht transportiert werden. Auf diese Weise kann die Radioaktivität einer tonigen Verwitterungsschicht bis zu einem Vielfachen des Muttergesteins ansteigen.

Für die eindeutige experimentelle Beantwortung der Frage, ob der beschriebene Transport- und Akkumulationsvorgang radioaktiver Kationen die generelle Ursache emanometrischer Anomalien über tektonischen Störungen ist, muß auch der Einfluß der nur als Ausnahme existierenden exhalativen "Quellen" (Rn-"Quellen" im Grundwasser mit Transportgas und über dem Grundwasserspiegel als aktiver Kluftbelag oder durch Klüfte angeschnittene aktive Anreicherungen) ausgeschlossen sein. Diese Bedingung ist erfüllt, wenn die Deckschicht über dem festen Gestein so dicht und mächtig ist, daß die Rn mit der Halbwertszeit von 3,825 Tagen infolge sehr geringer Diffusionsgeschwindigkeit nach kurzem Weg radioaktiv zerfällt und daher das Niveau der Bodenluftentnahme nicht erreicht. Diese Wirkung wird in Löß und Letten bereits mit einer Schichtdicke von ca. 10 cm erzeugt (Budde, 1956). Für die Untersuchungen wurde daher das Gebiet der tektonischen Störungen des Leuchtenburggrabens bei Kahla in Thüringen und das der Elbtalzone bei Meißen gewählt. Die Störung des Leuchtenburggrabens ist im Profilbereich (K_1 und K_2) mit mehr als 2 m mächtigem Löß und die Störungen bei Meißen (D_1 und D_2) mit mehr als 2 m feuchten Letten bedeckt. Entlang dieser Profillinien wurde von uns die Beziehung der radioaktiven Intensität von Bodenproben und der Bodenluft untersucht. Die Bodenproben wurden an den Orten der emanometrischen Meßpunkte mit Stockbohrern, bei den Profilen D_1 und D_2 auch in den Grenzen der Bodenhorizonte (A_2, B_1, B_2) entnommen. Um den Einfluß der an Bodenteilchen gebundenen Rn auszuschließen, wurde die Radioaktivität der gepulverten und getrockneten Bodenproben nach einer Lagerzeit von ca. 2 Monaten in einem Becherzählrohr mit einer Wandstärke von 20 bis 26 $\text{mg} \cdot \text{cm}^{-2}$ gemessen. Die Ergebnisse sind in Abb. 3 dargestellt. In allen Profilen treten über den Störungen deutliche und reproduzierbare emanometrische Anomalien auf. Die Radioaktivität der örtlich zugehörigen Bodenproben hat gleichartigen Verlauf, obwohl die Probenentnahme durch den kleinen Durchmesser des Stockbohrers selektiv war. Da eine Diffusion von Rn durch die relativ mächtige dichte Deckschicht ausgeschlossen ist, folgt aus dem Gleichlauf der radioaktiven Anomalien von Bodenluft und Bodenproben, daß der erhöhte Gehalt radioaktiver Substanzen in der oberflächennahen Bodenschicht die Rn-Anomalie

erzeugt. Die generelle Ursache emanometrischer Anomalien ist demnach der beschriebene Transport- und Akkumulationsvorgang radioaktiver Kationen.

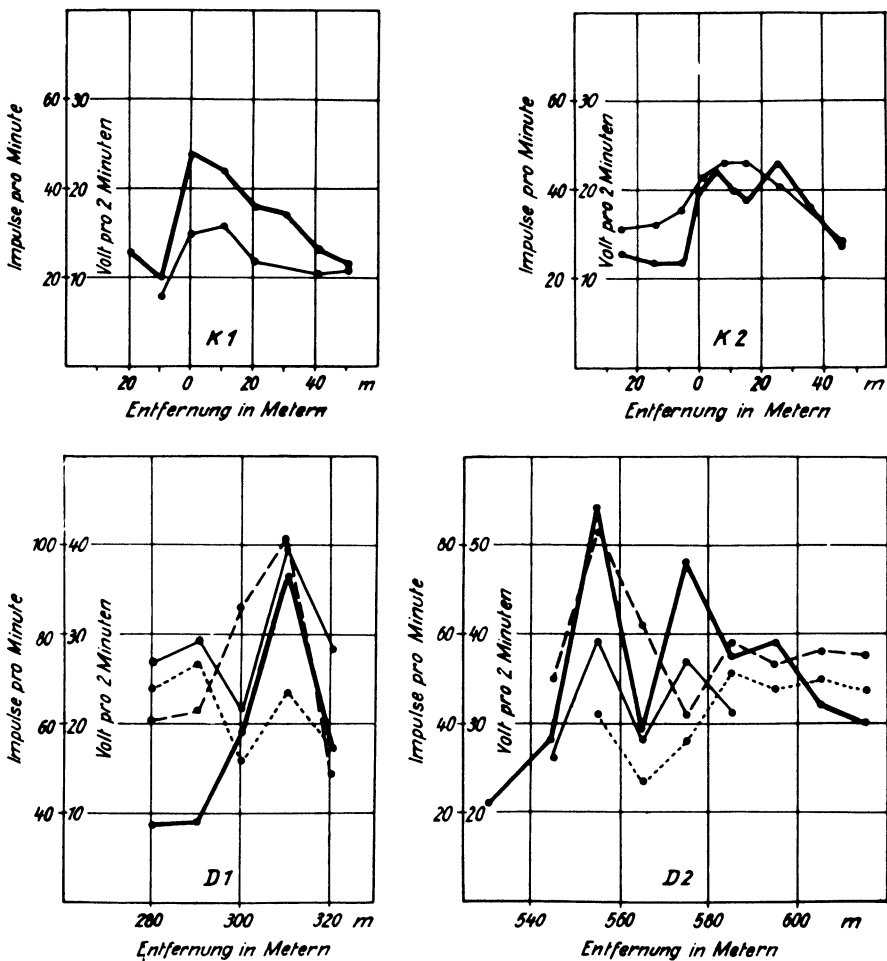


Abb. 3: Emanometrische Profile über dem Leuchtenburggraben (K1, K2) und über zwei Störungen der Elbtalzone (D1, D2) im Vergleich mit der relativen radiometrischen Aktivität der zugehörigen Bodenproben.

- = Emanometrie
- = radiometrische Aktivität der Bodenproben bei K1 und K2
- - - = radiometrische Aktivität der Bodenproben von Horizont A₂
- — = radiometrische Aktivität der Bodenproben von Horizont B₁
- = radiometrische Aktivität der Bodenproben von Horizont B₂

IV. Folgerungen

Aus diesen Ergebnissen lassen sich 3 Kausaltypen für oberflächennahe Emanations- (oder γ -Strahlungs-) Anomalien ableiten:

- 1) U-Ra-Akkumulation durch Ionenaustausch
- 2) U-Ra-Akkumulation durch Ionenaustausch und Rn - Exhalation
- 3) (als Ausnahmefall!) Rn - Exhalation

Die Entstehung einer Rn - (oder γ -Strahlungs-) Anomalie durch U-Ra-Akkumulation in der oberflächennahen Bodenschicht hat folgende Voraussetzungen:

- a) ein saugkräftiges Kapillargefüge, das die Oberflächenschicht mit dem Grundwasser verbindet.
- b) das durch Verdunstung entstehende Wasserdefizit der Oberflächenschicht muß durch Kapillarkraft aus dem Grundwasserhorizont des festen Gesteins ergänzt werden. (In Auen ist diese Bedingung durch den häufigen horizontalen Gradienten der Wassersättigung oberflächennaher Bodenschichten oft nicht erfüllt! Ebenso verhindert ein über dem festen Gestein liegender Grundwasserhorizont die Bildung einer Anomalie.)
- c) eine ionenaustauschfähige Oberflächenschicht.

Die Radioaktivität einer Anomalie in der Verwitterungsschicht über kapillaraktiven Gebieten ist proportional der Menge des kapillar zur Oberflächenschicht transportierten Wassers (M_w), der Konzentration radioaktiver Kationen im Kapillarwasser (c_k) und der Kationenaustauschkapazität der Oberflächenschicht (T_k). Die Radioaktivität (I) einer durch den Transport- und Akkumulationsvorgang entstandenen Anomalie ist demnach eine Funktion von drei unabhängigen Veränderlichen

$$I = f(M_w, c_k, T_k).$$

Mit Kenntnis dieser Voraussetzungen und Zusammenhänge sind wir nunmehr in der Lage, radiometrische Anomalien zu interpretieren und die Anwendungsmöglichkeiten von Emanations- oder γ -Strahlungsmessungen für geophysikalische Aufgaben zu beurteilen.

V. Die Bedeutung des Transport- und Akkumulationsvorganges für andere Prospektionsmethoden

A. Geochemisch-biogeochemische Prospektion

Die beschriebenen physikalisch-chemischen Voraussetzungen des Transport- und Akkumulationsvorganges sind für die radioaktiven und kernstabilen Kationen

gleich. Demnach ist in der Verwitterungsdecke über tektonischen Störungen mit intensivem Kapillargefüge auch ein Maximum von kernstabilen Kationen zu erwarten. Betrachtet man daraufhin die geochemisch-biogeochemischen Profile über Nickellagerstätten von Leutwein und Pfeiffer (1954), so erkennt man deutlich Indikationen tektonischer Störungen, die mit sehr großer Amplitude die Lagerstättenindikationen modifizieren. Abbildung 4 zeigt ein Profil mit einer charakteristischen geochemischen Indikation einer tektonischen Störung. Wie nach Kenntnis des Transport- und Akkumulationsvorganges zu erwarten ist, sind Form und örtliche Lage der geochemischen Indikation über der tektonischen Stö-

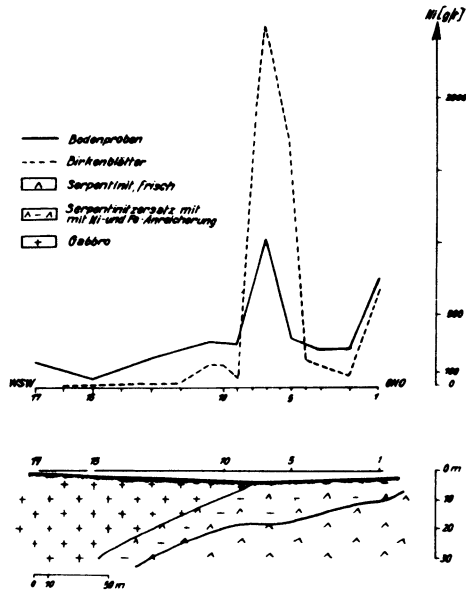


Abb. 4: Geochemisch-biogeochemisches Profil über einer Nickellagerstätte. Das geologische Profil ist nach Bohrbefunden gezeichnet (nach Leutwein und Pfeiffer)

rung einer emanometrischen Anomalie gleich. Damit ist bewiesen, daß der Transport- und Akkumulationsvorgang auch die Ursache der geochemisch-biogeochemischen Anomalien in der oberflächennahen Verwitterungsschicht ist. — Aus der gleichartigen geochemisch-biogeochemischen und emanometrischen Indikation tektonischer Störungen ergibt sich, daß in vielen Fällen mit radiometrischen Methoden eine Unterscheidung zwischen geochemischen Anomalien über tektonischen Störungen

und Lagerstätten getroffen werden kann. Über tektonischen Störungen haben die Indikationen beider Methoden bei intensiver Kapillarverbindung von Grundwasser und oberflächennaher Verwitterungsschicht infolge gleicher Genese gleichartigen Verlauf. Über Lagerstätten ist dies nicht der Fall, da dort infolge geringer und oberflächennaher Kapillarität, ohne Verbindung mit dem Grundwasser, die Ionen des Kapillarwassers aus der Oxydationszone stammen. Diese Unterscheidungsmöglichkeit ist vor allem für Gebiete mit Ganglagerstätten wichtig, da dort die Indikationsbreite über tektonischen Störungen und Mineralgängen ungefähr gleich ist. Für die Interpretation von geochemischen und biogeochemischen Prospektionsergebnissen ist die Beachtung der Entstehungsmöglichkeit von Anomalien über tektonischen Störungen auf dem Wege des Wassertransportes der Ionen durch Kapillarrose und Kationenakkumulation durch Austausch sehr wichtig.

B. Radiometrische Erdölerkundung

Die Mehrzahl der Erdöllagerstätten befindet sich an Orten tektonischer Strukturen (Alexejew, 1958). Bei der radiometrischen Vermessung solcher Gebiete wurden Anomalien gefunden (Lundberg und Isford, 1953; Lobdell und Buckley, 1954; Lundberg, 1956; Alexejew, 1958), die als Maximum in der Form eines Saumes, die Erdöllagerstätten umgeben. In mehreren Fällen ergab sich eine gute Übereinstimmung der γ -Anomalien mit den Konturen der Lagerstätten (Alexejew, 1958). Die Intensitätsdifferenz zwischen Basisniveau und Anomalie kann 3 bis 35% betragen (Alexejew, 1958). In den bis jetzt veröffentlichten Schemata wird die örtliche Lage der radioaktiven Maxima so dargestellt, daß sie über den Flankenkontakt zwischen Öl und abdichtendem Salzton liegen (Abb. 5). Die Kenntnis der Ursache dieser Indikationen ist für die Interpretation und Erschließung der Lagerstätte von großer Bedeutung. Wir kennen nur Arbeitshypothesen zur Lösung der Aufgabe (Lundberg und Isford, 1953; Lundberg, 1956; Miller, 1958), die schematisieren und daher zur Interpretation radiometrischer Ergebnisse nicht geeignet sind. Aus der Kenntnis der Ursache emanometrischer Anomalien ergibt sich im Analogieschluß die Erklärung einer Entstehungsursache radioaktiver Anomalien über Erdöllagerstätten. — Über dem Spaltensystem der Lagerstättenstruktur sind durch die Wirkung des beschriebenen Transport- und Akkumulationsvorganges Maxima kernstabiler und radioaktiver Ionen zu erwarten. Die mit dem Kapillarwasser transportierten Kationen stammen aus dem Verwitterungsbereich des Gesteins, die von den Spalten durchgesetzt werden; das bedeutet, daß jede Struktur mit einem kapillaraktiven Spaltensystem und austauschfähiger Oberflächenschicht auf diesem Wege eine radioaktive Anomalie erzeugen kann. Daraus ist zu schließen, daß eine so entstandene radioaktive Anomalie den Verlauf der Strukturen markiert, aber keinen Hinweis auf die Existenz von Erdöl gibt. Zur Interpretation dieser radioaktiven Anomalien sind die in Kapitel IV beschriebenen Beziehungen gültig.

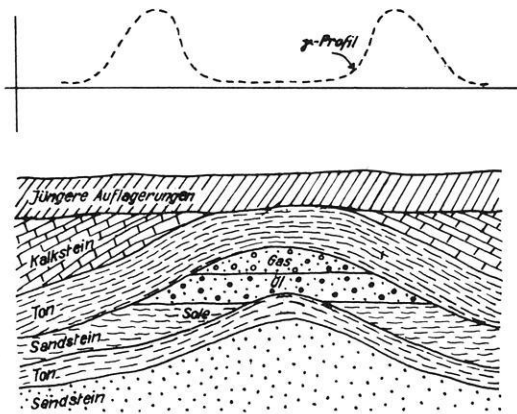


Abb. 5: Schema der radiometrischen Indikationen über einer Erdöllagerstätte (umgezeichnet nach Miller)

Die Entstehung radiometrischer Anomalien über (Erdöl-) Strukturen durch kapillar zur Erdoberfläche transportiertes Lagerstättenwasser hat eine geringe Wahrscheinlichkeit, da eine Reihe von Voraussetzungen sehr selten erfüllt sind. Wenn der Salzton der Struktur durch Salze oder Anhydrit überlagert wird, so kann sich durch diese Substanzen kein kapillaraktives Gefüge bilden. Wird der Salzton der Struktur nicht durch Salze überdeckt, so muß die Saugkraft des Kapillarsystems größer sein als der osmotische Druck des Salzwassers der Lagerstätte gegen das Kapillarwasser. Außerdem darf tiefreichenden Kapillarsystemen durch offene Spalten kein Wasser zusitzen, da sonst das Wasserdefizit durch dieses Spaltenwasser gedeckt wird (- und dann ist die Genese der radiometrischen Anomalien über Strukturen der oben beschriebenen gleich).

Literatur

- [1] Alexejew, F. A., A. P. Grumbkow und J. E. Kirschfeldt: Über die Möglichkeit der Anwendung radiometrischer Methoden bei der Suche von Erdölvorkommen. Tagung der Akad. d. Wiss. d. UdSSR über die friedliche Ausnützung der Atomenergie, III, Berlin, 1958, 218.
- [2] Amphlett, C. B.: Ionenaustausch in Tonmineralien. Endeavour, 17 (1958), 149 - 155.
- [3] Benetin, J.: Doplnovanie pôdnej vlhky zo spodnej vody kapilárnym výstupom. (Die Ergänzung der Bodenfeuchtigkeit aus dem Grundwasser mit Hilfe des Kapillaraufstieges.) Vodohospodársky Časopis, Bratislava, 7 (1959), 67 - 74.
- [4] Brandes, H.: Über die radioaktive Em der Bodenluft und der Atmosphäre. Diss., Kiel, 1905.
- [5] Budde, E.: Bestimmung der Größenordnung des Diff.-Koeff. der Radiumemanation in Lockergesteinen. Diss., Münster, 1956.
- [6] Elster, J. und H. Geitel: Über die Radioaktivität der im Boden enthaltenen Luft. Phys. Zeitschrift, 3 (1902), 574 - 577.
- [7] Elster, J. und H. Geitel: Über die radioaktive Substanz, deren Em in der Bodenluft und der Atmosphäre enthalten ist. Phys. Zeitschrift, 5 (1904), 11 - 20.
- [8] Grim, R. E.: Clay Mineralogy. Mc. Graw-Hill, New York, 1953.
- [9] Jasmund, K.: Die silikatischen Tonminerale. Verlag Chemie, Weinheim/Bergstraße, 1955, S. 24.
- [10] Kozeny, J.: Über den kapillaren Aufstieg des Grundwassers und die täglich wiederkehrenden Schwankungen des Bohrlochwasserspiegels. Wasserkraft und Wasserwirtschaft, 30 (1935), 61 - 68.
- [11] Leutwein, F. und L. Pfeiffer: Ergebnisse und Anwendungsmöglichkeiten geochemischer Prospektionsmethoden auf hydrosilikatische Nickel-erze. Geologie, 3 (1954), 950 - 995.
- [12] Lobdell and Buckley: Gamma ray oil exploration. Petrol. Eng., 1954, 76 - 83.
- [13] Lundberg, H. and G. Isford: Oil prospecting with the radioactive method. World Petroleum, (1953), 40 - 42.
- [14] Lundberg, H.: What causes low radiation intensities over oil fields? Oil Gas J., 54 (1956), 192 - 195.
- [15] Lutz, W.: Neue geol. Gammastrahlungsmessungen mit Zählrohren. Gerl. Beiträge, 64 (1955), 89 - 94.
- [16] Miller, J. A.: What causes variations in radioactivity intensity over oil pools? Oil Gas J., 56 (1958), 245 - 246.

- [17] Patriciu, V.: Geolog. und geophysikalische Untersuchungen am West-
rande des Göttinger Leinetalgrabens. Abh. d. preuß. geol. Landesanstalt,
Neue Folge, Berlin, 1930, 163 - 194.
- [18] Pfau, R.: Ein Beitrag zur Bodenwasserbewegung. Met. Rundschau, 11
(1958), 116.
- [19] Remy, H.: Lehrbuch der anorgan. Chemie, 6. Aufl., Bd. 2, Leipzig,
1949, S. 193.
- [20] Salmang, H.: Die Keramik, 4. Aufl., Berlin, (1958), 42.
- [21] Thompson, H.S.: J. R. agric. Soc., 11 (1850), 68.
- [22] Wallasch, G.: Methodische Probleme und Ergebnisse emanometrischer
Untersuchungen im Baskischen Gebirge. Diss., Münster, 1959.

Der Beweglichkeitskoeffizient der Radium-Emanation in Lockergesteinen

(Entgegnung auf die Stellungnahme von H. Israël:
"Der Diffusionskoeffizient des Radons in der Bodenluft")

Von E. Budde, Hannover¹⁾

Zusammenfassung: H. Israël hat in einer Stellungnahme [1] zu meinen Ausführungen [2] die Existenz von Beweglichkeitskoeffizienten für Rn in Lockergesteinen mit einer Größenordnung von weniger als $10^{-3} \text{ cm}^2 \text{ sec}^{-1}$ angezweifelt.

Unter Hinweis auf umfangreiche Messungen an einem Zweischichten-Lockermaterial und die Erfahrung, daß oft im Gelände ein Horizontal-Gradient der Rn-Konzentration auftritt, der auf Beweglichkeitskoeffizienten von weniger als $10^{-3} \text{ cm}^2 \text{ sec}^{-1}$ führt, werden weitere Gesichtspunkte angeführt, die die Richtigkeit der von mir an Laborversuchen gewonnenen Ergebnisse bestätigen.

Abstract: H. Israël has doubted [1] my concept [2] about the existence of mobility coefficients for Rn in loose masses with an order of less than $10^{-3} \text{ cm}^2 \text{ sec}^{-1}$.

Further points of view are given which confirm the correctness of results obtained by my laboratory tests. They are based on extensive measurements concerning loose material existing of two different layers and on the experience that very often there exists a mobility coefficient in the field of less than $10^{-3} \text{ cm}^2 \text{ sec}^{-1}$.

In dankenswerter Weise hat H. Israël [1] zu meinen Ausführungen in dieser Zeitschrift [2] Stellung genommen.

Zur Klärung der Situation mögen folgende Bemerkungen beitragen:

¹⁾ Dr. Ernst Budde, Bundesanstalt für Bodenforschung, Hannover.

1. Ich habe den Ausdruck Beweglichkeitskoeffizient gewählt und darauf hingewiesen, daß darin außer dem wahren Diffusionskoeffizienten auch Absorptions- und Löslichkeiterscheinungen enthalten sind.

2. Ein Diffusionskoeffizient in Bodenluft (auch bei feuchtem Material) umfaßt diese Einflüsse im allgemeinen nicht.

3. Der von H. Israël und F. Becker [3] benutzte Diffusionskoeffizient ist m.E. auch ein Beweglichkeitskoeffizient. Der Wert wurde nämlich auf empirischem Wege (aus der Form von R_n -Anomalien) gewonnen, wobei alle hemmenden und fördernden Faktoren Einfluß ausüben. Beweglichkeitskoeffizienten können natürlich den von Israël angegebenen hohen Wert erreichen, werden das auch (etwa durch Trocknungsrisse oder Wurzelkanäle) in den obersten Bodenschichten und bei wenig feuchten Sand- oder Kiesböden tun, man darf nur nicht erwarten, daß bei bindigem Materialanteil, der ausreicht, die Zwickele zwischen den größeren Körnern zu füllen, in feuchtem Zustand Werte dieser Höhe unterhalb des Wurzelbereiches erreicht werden.

4. Wesentlich zu beachten ist, daß bei voller Wassersättigung ein Beweglichkeitskoeffizient vorliegt, der kleiner ist als der in Wasser, oder höchstens gleich. Mit abnehmendem Wassergehalt des Lockermaterials wächst der Beweglichkeitskoeffizient, bis bei völliger Trockenheit im Porenraum nur noch der echte Diffusionskoeffizient für Freiluft auftritt. Der auf den Lockermaterialquerschnitt bezogene Beweglichkeitskoeffizient ist dann noch niedriger, da zum Transport nur ein Bruchteil des Gesamtquerschnittes zur Verfügung steht. Der Diffusionskoeffizient allein ist im Experiment, also auch im Geländeversuch nur schwer zu fassen, da praktisch immer ein endlich dicker Feuchtigkeitsfilm die Lockermaterialpartikel umschließt.

5. Die Existenz von Beweglichkeitskoeffizienten der Größenordnung 10^{-4} bis $10^{-5} \text{ cm}^2 \text{ sec}^{-1}$ ist in Vertikalprofilen von Andreasberg [4] und Horizontalprofilen von Neunburg vorm Wald, wo in 0,5 m Horizontalabstand Konzentrationen von 9 : 1 in 80 cm Tiefe in feinkörnigem Material erhalten wurden, gesichert.

6. Die in Bad Nauheim von H. Israël und F. Becker zur Ableitung von hohen "Diffusionskoeffizienten" benutzten Anomalien deutet A meely [5] aus der Emanationsabgabe oberflächlich abgelagerten Ouellsinters, da er hohe Emanationsgehalte nur bis zu einer Tiefe von 1,5 m fand, während darunter erheblich geringere R_n -Konzentrationen gemessen wurden.

7. Die "an verschiedenen Punkten" gemessene Exhalation, die im Mittel um einen Faktor 4 über der aus meinem Beweglichkeitskoeffizienten für feuchten Bausand zu errechnenden Exhalation liegt, setzt sich zusammen aus Diffusions-

und Kovektionserscheinungen im Zusammenhang mit Luftdruckänderungen. Außerdem spielt der Windsog an der Oberfläche eine Rolle. Thermische Ausdehnung der Bodenluft ebenfalls.

Es würde ein wertvolles Experiment sein, wenn solche Exhalationsmessungen einmal auf feuchtem Geschiebemergel, Lehm- oder Tonboden durchgeführt werden könnten.

8. Ich habe den bei H. Israël und F. Becker angegebenen "Diffusionskoeffizient" als "wesentlich zu hoch" bezeichnet, weil nach A meely die abgesaugte Emanation aus unmittelbarer Umgebung der Ansaugstellen stammen soll, während Israël und Becker zu ihrem hohen Wert unter der Annahme kamen, die Emanation stamme aus der in 30 - 40 m Tiefe ausbeißenden "Quellspalte von Bad Nauheim".

9. Die von mehreren Autoren beobachtete Zunahme der R_n -Konzentration bis zu mindestens zwei Meter Tiefe ist entweder auf genügend poröses Material (Mittel- bis Grobsand mit geringem Wassergehalt) oder auf eine mit der Tiefe zunehmende Eigenproduktion des Lockermaterials zurückzuführen. Letzterer Tatbestand ist bei fast allen von mir untersuchten Vertikalprofilen deutlich feststellbar gewesen. (Veröffentlichung in näherer Zukunft geplant.)

10. Das von Bender [6] beobachtete Ansteigen der R_n -Konzentration in den obersten Bodenschichten bei völligem oberflächlichen Abschluß durch Frost steht in keiner Weise in Widerspruch mit Beweglichkeitskoeffizienten der Größenordnung $10^{-4} \text{ cm}^2 \text{ sec}^{-1}$. Außerdem ist bei Frostabschluß jede Konvektion unterbunden, die mit großer Wahrscheinlichkeit dazu beiträgt, daß normalerweise in Oberflächennähe ein Konzentrationsgefälle auftritt, aus dem in keiner Weise auf den "Diffusionskoeffizienten" geschlossen werden kann.

Um diesen Fehler zu vermeiden, habe ich umfangreiche Geländemessungen an einem Lockermaterial angestellt, das aus einer unteren, grobporösen, und einer oberen, sehr feinporigen Schicht besteht [4]. Da die Eigenproduktion an R_n der unteren Schicht um einen Faktor 2 bis 3 über der oberen Schicht liegt, konnte hier durch Messungen der R_n -Konzentration im feinkörnigen Lockermaterial dicht über der scharfen Schichtgrenze sehr schön der Beweglichkeitskoeffizient für die obere Schicht bestimmt werden.

Es liegt klar auf der Hand, daß ein Beweglichkeitskoeffizient von weniger als $10^{-4} \text{ cm}^2 \text{ sec}^{-1}$ vorliegen muß, wenn 5 cm über der Schichtgrenze die R_n -Konzentration schon nicht mehr meßbar durch die um einen Faktor 2 höhere

Konzentration aus der unteren Schicht beeinflusst wird, wie es sich in allen Fällen zeigte.

Bei diesen Messungen war ein Einfluß von der Oberfläche her nicht mehr vorhanden, wie sicher durch die Tatsache erwiesen werden konnte, daß jeweils in 20, 40, 60 und 80 cm Tiefe ungefähr die gleiche Rn - Konzentration auftrat. Erst unterhalb der Schichtgrenze erschien regelmäßig die höhere Rn - Konzentration der unteren Schicht.

Es liegen also nicht nur Laborversuche vor, die niedrige Beweglichkeitskoeffizienten ergeben haben, sondern auch in großer Anzahl Geländemessungen mit gleichen Resultaten. Es ist bei mehr als 10^4 Geländemessungen, die ich im Laufe der letzten sieben Jahre durchgeführt habe, leider sehr oft der Fall gewesen, daß Meßpunkte, die nur 1 m voneinander entfernt lagen, Rn - Konzentrationsverhältnisse von 5 : 1 in 60 cm Tiefe aufwiesen, womit die Existenz von Beweglichkeitskoeffizienten unter $10^{-4} \text{ cm}^2 \text{ sec}^{-1}$ eindeutig erwiesen ist.

Da es sich dabei häufig um hohe Konzentrationen, die relativ genau zu messen sind, gehandelt hat, ist es ausgeschlossen, daß Meßfehler o.ä. zu diesen Ergebnissen geführt haben.

11. Mir kommt es darauf an, aus dem Experiment zu zeigen, daß die Reichweite der Rn - Methode erheblich kleiner ist, als allgemein angenommen wird, und daß auf bindigen Böden und bindigen Lockermaterialien die Methode nur beschränkt brauchbar ist.

Abschließend möchte ich noch darauf hinweisen, daß die von H. Israë1 auf S. 107 gemachten Vorschläge, eine Trennung von Löslichkeit und Diffusion durch längere Versuchsdauern und größere Versuchsmessungen zu erreichen, keinen Erfolg haben können.

Da nämlich die Rn - Konzentrationen in Luft und angrenzendem Wasser für eine bestimmte Temperatur proportional sind, würde eine Vergrößerung der in das abgeschlossene System hineingegebenen Rn - Menge lediglich dazu führen, daß in allen beteiligten Rn - aufnahmefähigen Substanzen (hier wesentlich Luft und Wasser) eine proportionale Erhöhung der Konzentration gefunden würde. Da eine Übersättigung des Wassers nicht erreicht wird, ist auf diese Weise eine Trennung von Löslichkeit und Diffusion nicht möglich.

Weiter wird vorgeschlagen, durch "längere Versuchsdauern" die Trennung durchzuführen. Dazu muß gesagt werden, daß nach zehn Halbwertszeiten, also nach 38,25 Tagen, der Gleichgewichtszustand praktisch erreicht ist, und daß weiterhin keinerlei Änderung ohne äußeren Eingriff mehr eintritt, es sei denn

mit der Halbwertszeit des Radiums. Auf diese Weise ist also keinerlei neue Auskunft zu gewinnen.

Der Vorschlag, gleiche Versuche bei verschiedenen Temperaturen durchzuführen, ist positiv, da der Diffusionskoeffizient vom Quadrat der absoluten Temperatur abhängt, während das Rn - Konzentrations-Verhältnis zwischen Luft und Wasser in anderer Weise mit der Temperatur zusammenhängt.

Ganz unabhängig davon muß aber eine Annäherung der unterschiedlichen Standpunkte möglich sein, da schließlich von beiden Seiten einwandfreie Meßresultate geboten werden.

Wahrscheinlich sind zufällig alle seitens H. Israël vorgebrachten Ergebnisse auf diffusionsmäßig günstigem Lockermaterial gewonnen worden, während ich leider sehr häufig auf Material arbeiten mußte, das nur sehr kurze Diffusionswege für Rn zuläßt.

Bei Betrachtungen über die Rn - Verteilung in der Atmosphäre darf auf alle Fälle der Einfluß des Konvektionsaustausches zwischen Bodenluft und den unteren Atmosphärenschichten nicht unberücksichtigt bleiben. Intensive Untersuchungen diesbezüglich sollten unbedingt durchgeführt werden.

Literatur

- [1] Israël, H.: Der Diffusionskoeffizient des Radons in der Bodenluft. Z. f. Geophys. 25, 104 - 108 (1959).
- [2] Budde, E.: Bestimmung des Beweglichkeitskoeffizienten der Radium-Emanation in Lockergesteinen. Z. f. Geophys. 24, 96 - 105 (1958).
- [3] Israël, H. und F. Becker: Die Emanationsverhältnisse in der Bodenluft. Gerl. Beitr. 48, 13 - 58 (1936).
- [4] Budde, E.: Bestimmung der Größenordnung des Diffusionskoeffizienten der Radium-Emanation in Lockergesteinen. Diss. der Math.-Nat.-Fakultät der Universität Münster/W. (1956).
- [5] Ameely, L. und W. Müller: Balneologie 6, (1939).
- [6] Bender, H.: Über den Gehalt der Bodenluft an Radium-Emanation. Gerl. Beitr. 41, 401 - 415 (1934).

Zur Vergleichbarkeit luftelektrischer Messungen

Von **H. Israël** und **H. Dolezalek**, Aachen ¹⁾

Zusammenfassung: Um die Ergebnisse verschiedener luftelektrischer Stationen miteinander vergleichen zu können, müssen Vereinbarungen über die Aufstellung der Meßfühler getroffen werden. In der Arbeit werden dafür folgende Empfehlungen formuliert und begründet:

1. Messungen bzw. Registrierungen sollten nur in genügend großem ebenem Gelände durchgeführt werden, um auf die grundsätzlich unzureichende "Reduktion" verzichten zu können.
2. Es wird zur Vermeidung des Elektrodeneffektes die Wahl einer Bezugsfläche in einigen Meter Höhe über dem Boden empfohlen.
3. Der repräsentative Wert der Ergebnisse kann bei gleichzeitiger Erfassung von Feld, Strom und Leitfähigkeit durch das Ohmsche Gesetz kontrolliert werden.

Abstract: In order to make comparable the results of different atmospheric electric stations agreements must be met on the placement etc. of the antennae. In this paper the following recommendations are proposed and the reasons are given:

1. Measurements and registrations should be made only on an open plain of sufficient extent in order to avoid the necessity of "reduction to the free plain" which cannot be made in a sufficient manner.
2. In order to avoid the electrode-effect, an artificial plain in an altitude of some meters is recommended.
3. If field-strength; air-earth current density and conductivity are simultaneously measured Ohm's Law offers a possibility to examine whether the results are representative or not.

¹⁾ Prof. Dr. Hans Israël und H. Dolezalek, Meteorolog. Observatorium des Deutschen Wetterdienstes, Aachen, Pipinstr. 12.

Die Ausweitung geophysikalischer Untersuchungen vom Ein-Stationen-Betrieb zur vergleichenden ("synoptischen") Tätigkeit an zahlreichen Stationen hat zur selbstverständlichen Voraussetzung, daß die betr. Ergebnisse vergleichbar sind. Da jede solcher Messungen neben den Meßfehlern im engeren Sinne einer weiteren Reihe von fälschenden Einflüssen unterliegt, die sich z.T. aus den lokalen Eigentümlichkeiten des Meßortes ableiten, z.T. aber auch von der Art, Lage und Anordnung der Meßfühler abhängen, stellt die Forderung nach Vergleichbarkeit der Ergebnisse verschiedener Stationen erhöhte Anforderungen an die Meßtechnik. Sie umfaßt insbesondere bestimmte technische Vorschriften für die Arbeitsweise der Geräte sowie Vereinbarungen über Auswahl des Meßortes und Art, Lage und Anordnung der Meßfühler.

Diese Forderung ist heute auch auf luftelektrischem Gebiet im Zuge der Einführung der synoptischen Arbeitsweise (vgl. z. B. H. Israël [7] und [8]) mehr und mehr in den Vordergrund getreten und drängt heute – nicht zuletzt unter dem Druck der bei der Bearbeitung von Ergebnissen des Internationalen Geophysikalischen Jahres auftretenden Ansprüche – zu einer Lösung. Denn es kann bei solchen Messungen nicht gleichgültig sein, ob sie in stark oder schwach besiedelten Gegenden, in ebenem oder orographisch stark gegliedertem Gelände durchgeführt werden und ob die Meßfühler Kollektor, Vertikalstromplatte und Ionenaspirator in Erdbodennähe, an einer Hauswand oder auf einem Dach montiert sind. Will man nun – wie es unser Ziel ist – den repräsentativen Wert atmosphärisch-elektrischer Ergebnisse und damit ihre Vergleichbarkeit verbessern, so muß dazu vor allem eine vereinheitlichende Vereinbarung über Art, Lage und Anordnung der Meßfühler angestrebt werden. Über die Meßgeräte selbst sei dabei vorausgesetzt, daß sie physikalisch in Ordnung sind und daß sie die Wirksamkeit der Meßfühler nicht beeinträchtigen.

Das Problem als solches ist nicht neu, auch hat es schon früh Anlaß gegeben, eine Vereinheitlichung der Meßfühler-Anordnung zu erreichen, so z. B. durch die bekannte alte Forderung, daß Registrierungen des atmosphärisch-elektrischen Feldes nur in genügend großem ebenem Gelände auszuführen oder auf ein solches zu reduzieren sind. Dies genügt indes nicht. Denn diese Forderung ist nur in ihrem ersten Teil ("Messung in ebenem Gelände") richtig, in ihrem zweiten Teil ("Reduktion") aber nur angenähert erfüllbar: In einem Gasentladungsraum mit seinen Ladungsträgern (Ionen) und Raumladungsbildungen setzt sich bekanntlich der "Reduktionsfaktor" R zusammen aus einem geometrischen Anteil, dem sog. "Relieffaktor" R_0 , der im rein elektrostatischen Feld gelten würde, und einem weiteren von der Raumladungsverteilung am Meßort und am Reduktionsort abhängigen Anteil ϵ :

$$(1) \quad R = R_0 (1 + \epsilon)$$

Dieser letztere Anteil hängt, wie bekannt, eng mit den meteorologischen und klimatologischen Verhältnissen zusammen und wirkt sich, wie die Erfahrung zeigt, in seinen Variationen offensichtlich umso stärker auf die Reduktion aus, je stärker die geometrischen Verhältnisse der Meßfühler-Anordnung von denen der freien Ebene abweichen (vgl. z.B. H. Israë1, [4]).

Es liegt nahe, diese Schwierigkeit dadurch zu umgehen, daß solche Registrierungen nur in genügend großem ebenem Gelände ausgeführt werden. Diese Konsequenz ist indes bisher nur vereinzelt gezogen worden – s. z.B. in Kew bei London (F. J. Scrase [10]), in Potsdam (s. z. B. H. Israë1 [4]) und an einigen anderen Orten – während heute in der Regel die Antenne für die Feldmessung (Kollektor oder Feldmühle) noch so angeordnet wird, daß eine Reduktion notwendig ist. – Mag dabei auch eine Vergleichbarkeit von Einzelmessungen, die am gleichen Ort und unter stets gleichen Bedingungen ausgeführt sind, in sich befriedigend möglich sein, so verlangt heute die synoptische Arbeit gebieterisch eine Revision dessen.

Für die anderen atmosphärisch-elektrischen Elemente gilt ähnliches, wenn bei ihnen auch die Verfälschung durch den Reduktionsprozeß in der Regel geringer ist als beim Feld.

Damit ergibt sich als erste Bedingung für eine Verbesserung der Vergleichbarkeit die Empfehlung, für die Einrichtung atmosphärisch-elektrischer Registrieranlagen nur genügend große freie Flächen zu wählen und auf die Anbringung der Antennen an Hauswänden usw. zu verzichten.

Neben diesen durch geeignete Geländewahl und Antennenanordnung vermeidbaren Reduktionsschwierigkeiten ergeben sich für die Einrichtung vergleichbarer atmosphärisch-elektrischer Meßanlagen noch zwei weitere Probleme dadurch, daß

- a) eine Beeinflussung der natürlichen Verhältnisse durch die Meßanlagen vermieden werden muß und daß
- b) ein Charakteristikum für den repräsentativen Wert der betreffenden Ergebnisse gesucht werden muß.

Zum ersteren ist folgendes zu sagen: Das wesentliche, was mit der Unterbringung der Meßanlagen in ebenem Gelände angestrebt wird, ist die Anbringung der Meßfühler in einer horizontal liegenden Äquipotentialfläche des Feldes. Wenn dabei die Erdoberfläche als feldbegrenzende Fläche gewählt wird, so scheint dies auf den ersten Blick die beste Lösung zu sein. Sie birgt indes einen erheblichen Nachteil dadurch in sich, daß sie den Meßraum in den Bereich der alleruntersten Luftschichten verlegt, in dem der Elektrodeneffekt und andere

Besonderheiten wirksam sind oder wirksam werden können. Durch den Einbau des Laboratoriums in den Boden, wie es in Kew und in der zweiten Potsdamer Anlage (S. H. Israëli [5] und [6]) geschehen ist, werden an der betr. Stelle, die radioaktive Strahlung und Exhalation des Bodens und damit der natürliche Elektrodeneffekt verändert, was eine Fälschung der Messungen zur Folge haben kann.

Man kann versuchen, dieser Schwierigkeit in folgender Weise Herr zu werden: Denkt man sich ein nicht zu engmaschiges Drahtnetz in ca. 2 - 3 m Höhe über dem ebenen Gelände horizontal isoliert aufgestellt und hält dieses Netz durch einen Kollektor und eine entsprechende Mitführungsanlage auf dem Potential der seiner Höhe zugehörigen Äquipotentialfläche, so erhält man eine außerhalb des Bereiches des Elektrodeneffektes gelegene Bezugsfläche für die Meßfühler. Da das Netz die vertikale Ionenbewegung nicht merklich behindert, kann sich an ihm also kein Elektrodeneffekt ausbilden²⁾.

Der Übergang von der Bezugsfläche Erdboden auf eine solche Bezugsfläche in einigen m Höhe bringt zwar einige kleinere technische Schwierigkeiten mit sich, die aber ohne wesentlichen Mehraufwand bewältigt werden können.

Als zweite "Forderung" für eine Verbesserung der Vergleichbarkeit wäre also die Wahl einer Bezugsfläche außerhalb des Bereiches des Elektroden-Effektes zu nennen.

Ein weiteres Teilproblem besteht darin, ein "Reagenz" zu finden, das angibt, ob und inwieweit die Ergebnisse der betreffenden Station repräsentativ und mit anderen vergleichbar sind. — Gewisse Erfahrungen legen es nahe, hierfür folgenden Weg zu wählen:

Feldstärke E , Leitfähigkeit Λ und Dichte des vertikalen Leitungsstromes i sind bekanntlich miteinander verknüpft durch das Ohm'sche Gesetz

$$(2) \quad \begin{aligned} i &= E \cdot \Lambda \\ \Lambda &= \lambda^+ + \lambda^- = e (n^+ k^+ + n^- k^-) \end{aligned}$$

wo Λ die "totale", λ^+ und λ^- die beiden "polaren" Leitfähigkeiten, n^+ und n^- die Zahlen der Kleinionen beider Vorzeichen im cm^3 , k^+ und k^- ihre Beweglichkeiten und e die Elementarladung bedeuten. — Man kann also jeweils eine dieser Größen E , Λ und i aus den beiden anderen berechnen und — wenn alle drei gleichzeitig gemessen werden — durch Vergleich von Messung und Be-

²⁾ Eine Elektrodenwirkung, die sich eventuell in der unmittelbaren Umgebung der in der Ebene des Netzes montierten Meßfühler bilden kann, dürfte schon bei geringer Luftbewegung unwirksam werden und nicht mehr stören.

rechnung eine Aussage darüber gewinnen, ob und inwieweit die Beziehung (2) erfüllt ist.

Vergleicht man z. B. die berechnete und gemessene Leitfähigkeit, so gestattet deren Verhältniszahl Ω

$$(3) \quad \Omega = \frac{\Lambda_{\text{ber}}}{\Lambda_{\text{gem}}} = \frac{i/E}{\lambda^+ + \lambda^-}$$

in ihrem zeitlichen Verhalten während eines Tages, Monats oder während längerer Zeit Aussagen über die Erfüllung der Beziehung (2). – In den folgenden Abbildungen 1 bis 4 sind einige Beispiele dazu wiedergegeben.

Abb. 1 zeigt Tagesgänge der Ω -Werte in Prozentualdarstellung für Monatsmittel, Halbjahresmittel und Einzeltage an der Station Heidelberg-Königstuhl. Die Erfüllung der Beziehung (2) ist hier besonders schlecht: Es sind sowohl systematische wie unsystematische Abweichungen vorhanden.

Abb. 2 zeigt Entsprechendes für Aachen. Das Bild ist ähnlich dem von Heidelberg, nur sind die Abweichungen weniger systematisch und mehr zufälliger Natur.

Abb. 3 zeigt Monatsmittel solcher Gänge für die Alpenstationen Jungfraujoch und Gornergrat sowie für zwei Stationen von Herrn R. E. Holzer [3] in Kalifornien und auf Hawaii. An diesen Stationen ist die Beziehung (2) offensichtlich schon wesentlich besser erfüllt.

Abb. 4 schließlich zeigt Monatsmittel sowie zwei Einzeltagesgänge in Nürburg, außerdem Monatsmittel für den Pazifischen Ozean und den Mt. Palomar in Kalifornien. In diesen Fällen ist die Erfüllung der Beziehung (2) besonders gut.

Nehmen wir als vergleichendes Kriterium hinzu, daß an den Stationen Heidelberg und Aachen die Antennen an der Hauswand, in Nürburg dagegen in der Mitte eines großen ebenen Geländes montiert sind – für die amerikanischen Stationen sind Einzelheiten nicht bekannt – so legt der Befund die Vermutung nahe, daß unsere Kontrollbeziehung umso besser erfüllt ist, je besser die Annäherung an die oben aufgestellte Forderung 1 ist.

Die in den Abbildungen gebrachten Beispiele entstammen einer Arbeit von H. Dolezalek [2], dort werden sie auch eingehend diskutiert, unter besonderer Betrachtung der möglichen Gründe für die Abweichungen der Größe Ω vom Werte 1. Sie beziehen sich natürlich nur auf die gemessenen Größen, eine Aussage auf die Erfüllung des Ohmschen Gesetzes in der Atmosphäre läßt sich nicht so unmittelbar gewinnen.

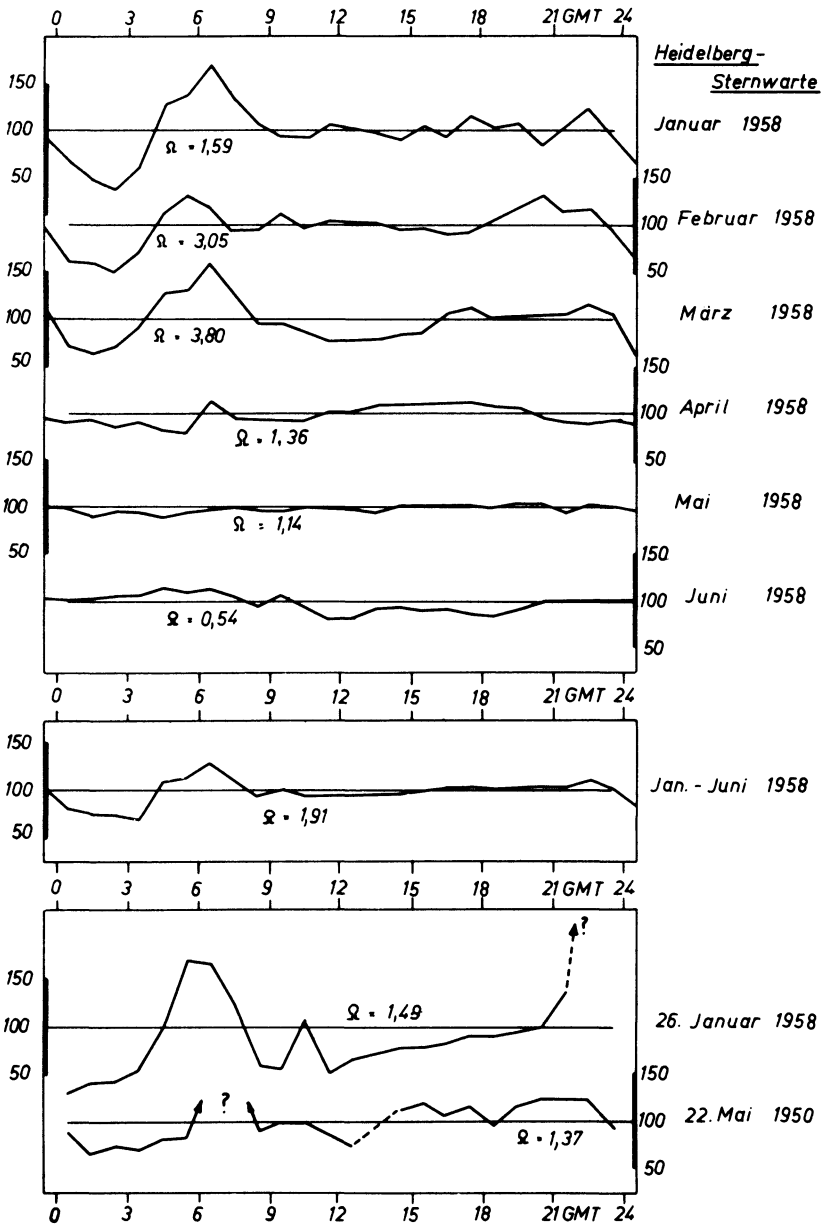


Abb. 1: Tagesgänge des Verhältnisses $\Lambda_{\text{ber}}/\Lambda_{\text{gem}}$ an der Station Heidelberg-Königstuhl in Prozentualdarstellung für die Monate Januar bis Juni 1958, für den Halbjahreszeitraum und für zwei Einzeltage

Fig. 1: Diurnal variations of the quotient $\Omega = \Lambda_{\text{comp}}/\Lambda_{\text{meas}}$ at the station of Heidelberg-Königstuhl (Germany). The figure indicates the percents of mean Ω for individual months January to June 1958; the same for the total period and for two individual days

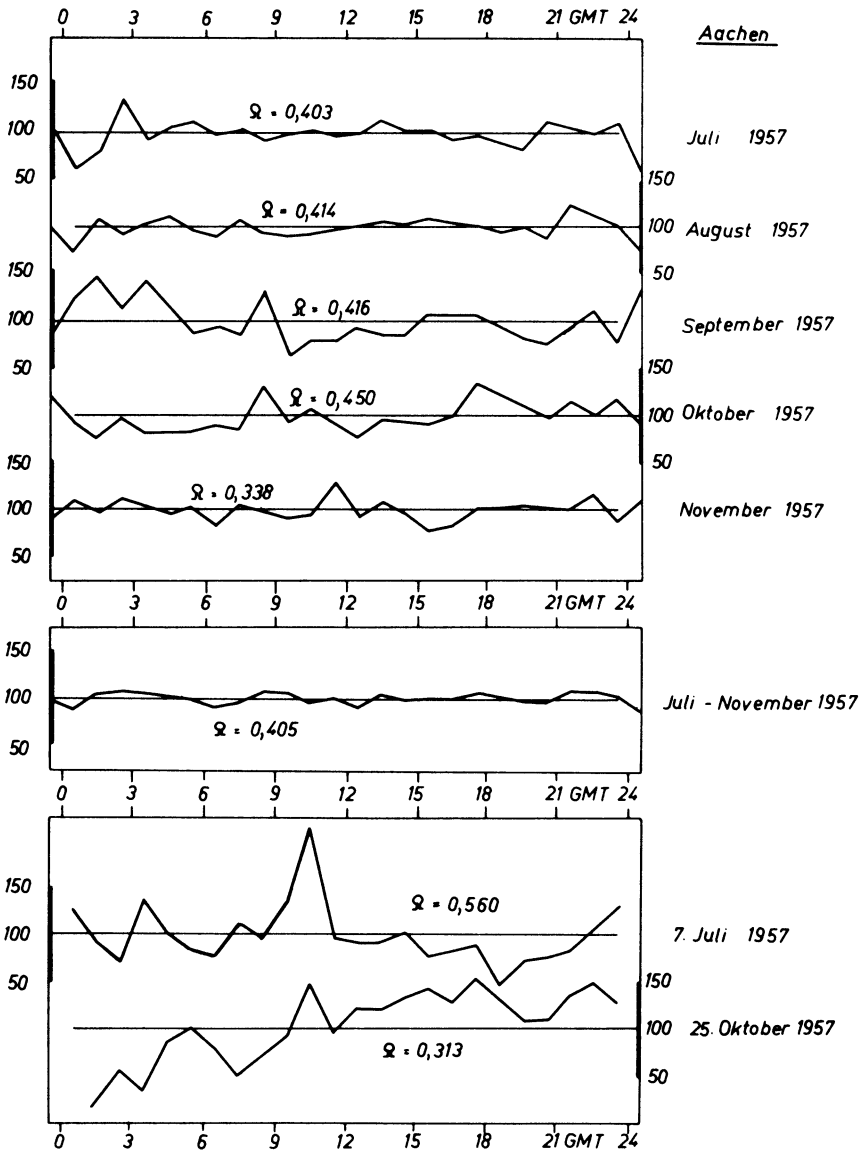


Abb. 2: Entsprechendes für Aachen

Fig. 2: Diurnal variations of the quotient $\Omega = \Lambda_{comp} / \Lambda_{meas}$ at the station of Aachen-Observatorium (Germany); total period, individual months and individual days; percents of mean Ω

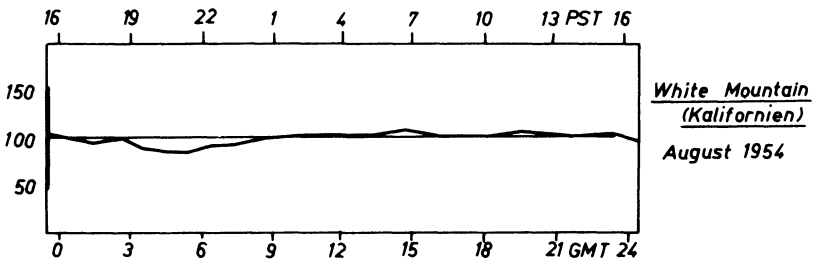
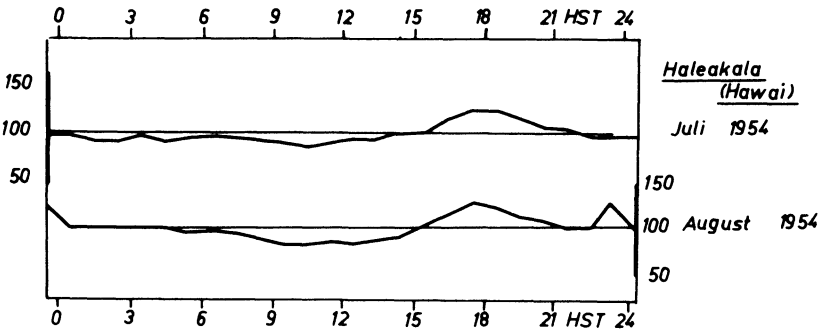
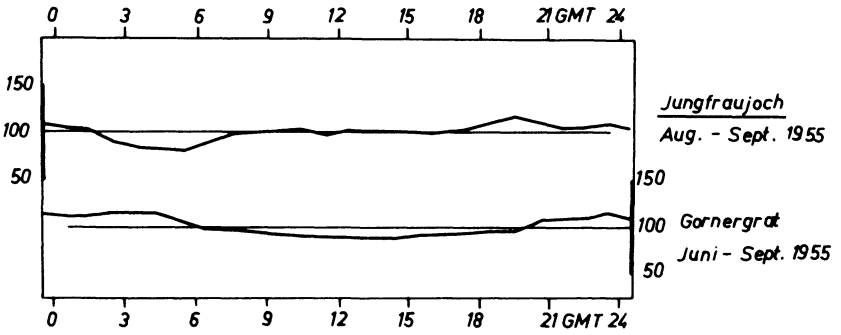


Abb. 3: Entsprechendes für Jungfrauoch und Gornergrat (Mehrmonatsmittel) sowie für Haleakala (Hawaii) und White Mountain (Kalifornien) (Monatsmittel)
 Fig. 3: Diurnal variations of the quotient $\Omega = \Lambda_{\text{comp}} / \Lambda_{\text{meas}}$ at the stations of Jungfrauoch and Gornergrat (Switzerland) (periods of several months), (Haleakala (Hawaii) and White Mountain II (California) (individual months); percents of mean Ω

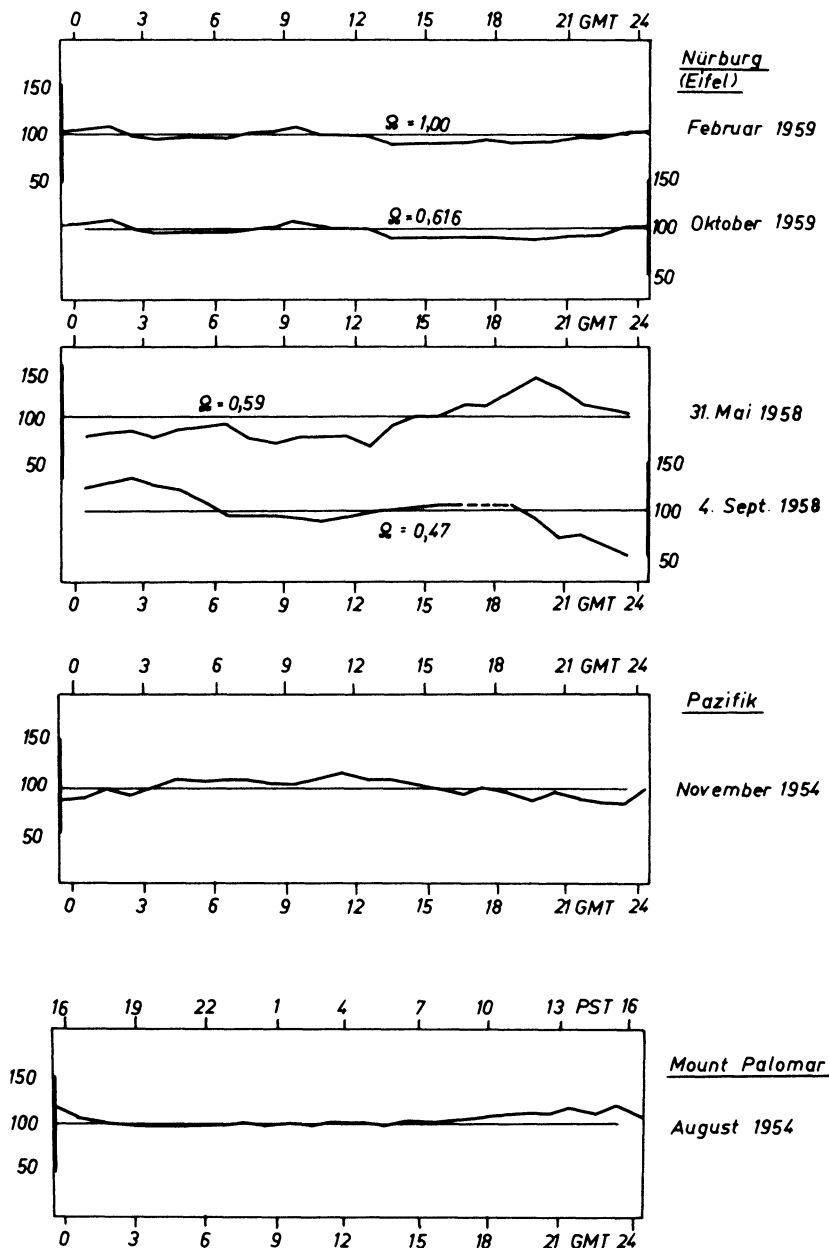


Abb. 4: Entsprechendes für Nürburg (Eifel) (Monatsmittel und zwei beliebige Einzeltage) Pazifik und Mt. Palomar (Kalifornien)

Fig. 4: Diurnal variations of the quotient $\Omega = \Lambda_{\text{comp}} / \Lambda_{\text{mess}}$ at the station of Nürburg (Germany) (individual months and individual days); in the Pacific Ocean and at Mt. Palomar (California) (individual days)

Diese Diskussion führt uns zu der dritten "Forderung": Die durch fortlaufende Messung aller drei luftelektrischen Grundelemente ermöglichte Prüfung des Ohm'schen Gesetzes in den gemessenen Werten gestattet eine Aussage über die Güte der betreffenden Meßanlage³⁾.

Literatur

- [1] Dolezalek, H.: Remarks on the electrical conditions during disturbed weather. ARDC, AF 61 (514) - 640, Techn. Note No. 12 (1957).
- [2] Dolezalek, H.: Zur Berechnung des luftelektrischen Stromkreises III: Kontrolle des Ohmschen Gesetzes durch Messung. Geofisica pura e Applicata, 46 (1960).
- [3] Holzer, R.E. und R.L. Ruttenberg: Summary of atmospheric electrical data at selected land and sea stations 1954. ARDC, AF 19 (122) 254, Scient. Rep. No. 10; Inst. Geophys. Univ. Californ. (1955).
- [4] Israëli, H.: Gedanken und Vorschläge zur luftelektrischen Arbeit. Wiss. Abhdlgn. Reichsamt f. Wetterd. V, Nr. 12, 1939, 26 S. (1939).
- [5] Israëli, H.: Der Elektrizitätshaushalt der Erdatmosphäre. Naturwissensch. 29, 700 - 706 (1941).
- [6] Israëli, H.: Zur Methodik luftelektrischer Messungen III: Aerologisch-luftelektrische Meßmethoden. Wissensch. Arbeiten d. Dtsch. Meteorol. Dienst. im franz. Besatzungsgebiet 2, 20 - 31 (1950).
- [7] Israëli, H.: Synoptical researches on atmospheric electricity. Proc. Conf. Atm. Electr. Wentworth-by-the-Sea, Portsmouth, N.H., 19. - 21.5.1954, S. 11 - 20, Geophys. Res. Papers No. 42, Bedford, Mass. (1955).
- [8] Israëli, H.: Recherches récentes en électricité atmosphérique. La Météorologie 1958 (Juillet-Septembre) S. 161 - 190 (1958).
- [9] Israëli, H.: Meteorologische Vorgänge im Spiegel der Luftelektrizität. Annali di Geofisica (im Druck) (1960).
- [10] Scrase, F.J.: Observations of Atmospheric Electricity at Kew Observatory. Geophys. Memoirs Bd. VII, Nr. 60, Longon (1934).

³⁾ Ergänzend dazu ist noch zu bemerken, daß bei Anwendung dieses Kriteriums Zeiträume zugrunde zu legen sind, innerhalb deren die betr. Variationen "stationär" verlaufen (vgl. dazu H. Dolezalek [2] und H. Israëli [9]), d.h. also Tage, Monate, Jahresteile, Jahre. Bei Anwendung auf kürzere Zeiträume (z.B. Stundenmittel) kann es keine sichere Auskunft garantieren (s. z.B. H. Dolezalek [1]). Unsere "Reagenz" prüft die Meßanlage, nicht den einzelnen Meßwert.

Untersuchungen des zeitlichen Ablaufs der Sedimentation im Malo Jezero (Mljet, Adria) auf Periodizitäten

Von E. Seibold, Kiel¹⁾ und R. Wiegert, Tübingen²⁾

Zusammenfassung: Die mathematische Auswertung der Mächtigkeiten von Jahresschichten aus der mittleren Adria ergibt periodische, sich überlagernde Schwankungen mit Intervallen von rund 6, 8, 11 und 14 Jahren.

Abstract: The thicknesses of annual layers from a bay of the Adriatic Sea show periodicities of 6, 8, 11 and 14 years.

1. Beobachtungsmaterial

An der Westküste der Insel Mljet herrschen in einer fast völlig abgeschnürten Meeresbucht, dem Malo Jezero, besonders ruhige Sedimentationsverhältnisse. Zudem wird das Sediment in deren tiefstem Teil (bis 30 m) durch bodenwühlende Organismen nicht gestört, da dort das Tiefenwasser dauernd Schwefelwasserstoff enthält und so nur anaerobes Bodenleben möglich macht.

Diese Bucht wurde im Rahmen eines größeren Programms durch das Oceanographische Institut in Split hydrologisch, biologisch und sedimentologisch untersucht. Die wichtigsten Ergebnisse sind in Acta Adriatica, Bd. 6, 1953-57, Split, zusammengestellt. Ergänzende Angaben für das Sedimentationsmilieu finden sich in Seibold (1958 a).

Nach Entwicklung eines geeigneten Entnahmegerätes konnten dort im August/September 1956 sechs ungestörte Sedimentkerne gewonnen werden. Während die Kerne aus Ufernähe (Nr. 1, 2 und 6) äußerlich homogen aufgebaut waren und nur

1) Prof. Dr. Eugen Seibold, Geologisch-Paläontologisches Institut der Universität Kiel.

2) Rolf Wiegert, Mathematisches Institut der Universität Tübingen.

in einiger Tiefe Schichtung erkennen ließen, waren in den anderen aus dem tiefen Teil der Bucht Partien mit ausgezeichneter Feinschichtung enthalten. Im Kern 3 war dies nur untergeordnet der Fall. Der Kern 4 war von 0 - 70 cm feingeschichtet, oben sehr klar in Hell- und Dunkellagen von je durchschnittlich 0,12 mm Mächtigkeit, nach unten undeutlicher werdend und durch Einlagerung verschiedener grauer, homogener, meist über 1 mm dicker Zwischenschichten nicht mehr kontinuierlich auszuwerten. Die deutlichste Feinschichtung fand sich im Kern 5 von 0 - 34 cm Tiefe. Leider erlaubte jedoch eine dunkle Färbung der obersten 12 cm für diesen Abschnitt gleichfalls keine exakten Messungen der Schichtdicke.

Diese Messungen der Schichtdicken wurden im November/Dezember 1956 mit Hilfe eines Binokular-Mikroskopes vorgenommen. Während die Kernverpackung bis dahin eine Schrumpfung des Materials durch Wasserverlust verhindert hatte, trocknete die Mikroskopierlampe die in 10 cm lange Stücke zerschnittenen Kerne so stark aus, daß beim Messen Längenschrumpfungen zwischen 5 und 14% auftraten. Sie konnten nur en bloc korrigiert werden; doch ist anzunehmen, daß die an organischem Material reicheren Dunkel-Lagen stärker schrumpfen als die kalkreichen hellen.

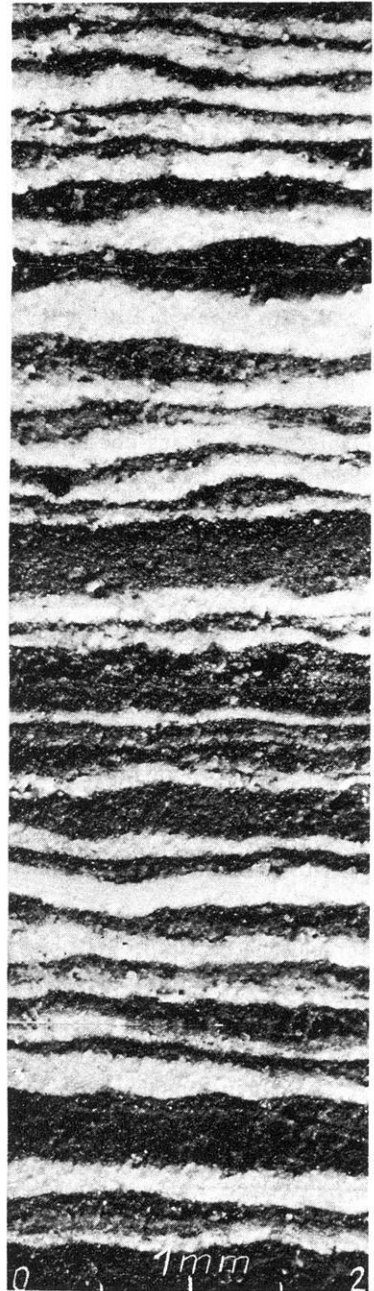


Abb. 1: Feinschichtung im Kern Malo Jezero 5. Breite der Ausschnittphotographie 2 mm. Mächtigkeitsschwankungen der Hell/Dunkel-Lagen

In Abb. 1 wird ein stark vergrößerter Ausschnitt des Kerns 5 gegeben (28,6 - 29,6 cm Sedimenttiefe). Daraus geht hervor, daß noch zwei weitere Schwierigkeiten die Dickenmessungen störten:

1. Die einzelnen Lamellen schwanken mitunter in ihren Mächtigkeiten beträchtlich. (Vgl. die dritte Hell-Lage von unten, die zweite Dunkel-Lage von oben, usw.).

2. Nicht selten sind die Grenzen Hell/Dunkel unscharf, vor allem an der Oberseite der Hell-Lagen. Eingestreute helle Partien können im kleinen Mikroskop-Ausschnitt eine echte Hell-Lage vortäuschen, was aber durch seitliches Verschieben leicht geklärt werden kann.

Aus diesen Gründen wurden die interessierenden Kernstücke an verschiedenen Stellen 2 - 3 mal gemessen, um dort zu einigermaßen sicheren Mittelwerten zu kommen, wo die Verhältnisse ungünstig waren. Außerdem wurden die Werte auf 00 - 25 - 50 - 75 Mikron aufgerundet, damit keine übergroße Genauigkeit vorge-täuscht wird. Diese unvermeidlichen Fehlerquellen müssen bei der Bewertung der mathematischen Ergebnisse im Auge behalten werden.

2. Geologische Auswertung

Verschiedene Wege führten zu dem Schluß, daß eine Doppellage Hell/Dunkel jeweils eine Jahresschicht darstellt. Die hellen, kalkreichen Lamellen sind im Sommer, die dunklen mit einem höheren Gehalt organischen und terrigenen Materials im Herbst-Winter-Frühjahr abgelagert worden. (Vgl. Seibold 1958 a und b). Anscheinend beeinflussen nur die Sommerniederschläge (Juni - Juli - August) direkt die Mächtigkeiten der dazugehörigen Hell-Lagen. (Seibold 1958 a, Abb. 2). Setzt man diese zur Gesamtmächtigkeit des betreffenden Jahres ins Verhältnis, so ist zu hoffen, daß damit der Klima-Einfluß besonders gut ausgedrückt wird und zufällige Störungen in gewisser Weise eliminiert werden.

3. Mathematische Auswertung

Trägt man diesen Quotienten

$$\frac{\text{mittlere Dicke der hellen Lage}}{\text{mittlere Dicke der Jahresschicht}}$$

als Funktion der in Jahren gemessenen Zeit t auf und verbindet die gewonnenen Meßpunkte jeweils geradlinig, so entsteht das Bild der Funktion $f(t)$, die den

folgenden Untersuchungen zu Grunde liegt. Abb. 2 zeigt einen Ausschnitt aus dieser am Kern 5 erhobenen Kurve in einem Intervall von 150 Jahren – aus Platzgründen hier in zwei Hälften zerlegt. Im Ganzen kann aus diesem Kern die Funktion $f(t)$ für rund 850 Jahre entnommen werden. Es stellt sich nun die Fra-

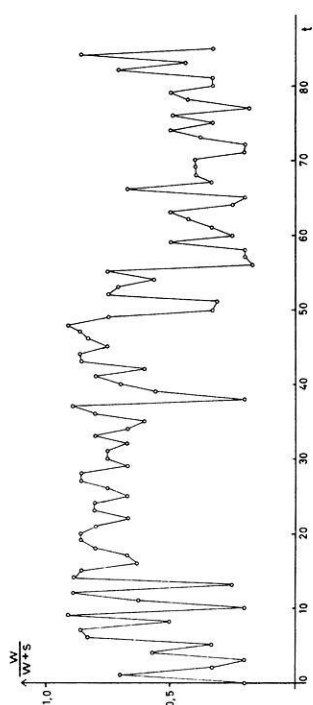


Abb. 2a: Bild der Funktion $f(t)$ (Kern 5) für das Intervall 0-150 Jahre, wobei als Jahr 0 das Jahr der jüngsten vorhandenen Jahresschicht gezählt wurde

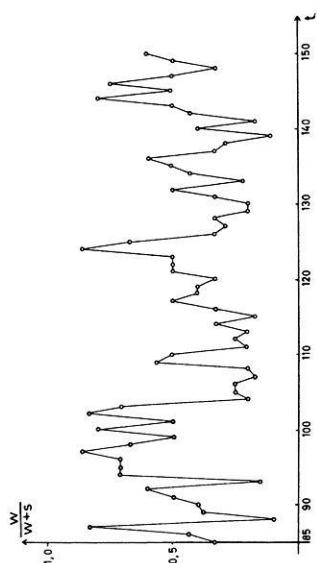


Abb. 2b: Fortsetzung von 2a

ge, ob diese Funktion $f(t)$, die selbst keinen periodischen Verlauf erkennen läßt, dennoch als Überlagerung periodischer Komponenten $f_\nu(t)$ aufgefaßt werden kann, so daß man für $f(t)$ die Darstellung

$$(1) \quad f(t) = f_1(t) + f_2(t) + \dots = \sum_{\nu=1}^{\infty} f_\nu(t)$$

hat, in der die $f_\nu(t)$ periodische Funktionen mit untereinander verschiedenen Perioden p_ν sind. Wir nehmen an, daß jedes $f_\nu(t)$ sich in eine Fouriersche Reihe entwickeln läßt. Einen aperiodischen Verlauf von $f(t)$ erfassen wir mit dieser Darstellung dadurch, daß eine Komponente – etwa das $f_1(t)$ – eine Periode hat, die länger als das Zeitintervall ist, für das die Funktion $f(t)$ überhaupt bekannt ist.

Trägt man für jedes $f_\nu(t)$ seine Fourierreihe

$$f_\nu(t) = \frac{1}{2} a_{\nu 0} + \sum_{\lambda=1}^{\infty} \left[a_{\nu\lambda} \cos \frac{2\pi\lambda t}{p_\nu} + b_{\nu\lambda} \sin \frac{2\pi\lambda t}{p_\nu} \right]$$

in (1) ein und faßt man die zu derselben Periode ω_λ gehörigen Glieder zusammen, so erhält man für $f(t)$ formal eine Darstellung

$$(2) \quad f(t) = \frac{1}{2} A_0 + \sum_{\lambda=1}^{\infty} \left[A_\lambda \cos \frac{2\pi}{\omega_\lambda} t + B_\lambda \sin \frac{2\pi}{\omega_\lambda} t \right]$$

wobei nun die ω_λ positive, untereinander verschiedene Zahlen sind und $A_\lambda^2 + B_\lambda^2 > 0$ für $\lambda = 1, 2, 3, \dots$. Unter der Annahme, daß in (2) die unendliche Reihe gleichmäßig konvergiert, ist $f(t)$ eine fastperiodische Funktion im Sinne von H. Bohr (1932), die im Rahmen der Genauigkeit, mit der wir $f(t)$ kennen, praktisch schon durch eine endliche Summe der Form (2) dargestellt wird. Es entsteht die Aufgabe, aus dem Verlauf der Funktion $f(t)$ die verschiedenen Perioden ω_λ zu bestimmen. Dabei brauchen die ω_λ nicht die harmonischen Vielfachen ein und derselben Zahl ω_0 , d. h. nicht von der Form $\omega_\lambda = \frac{\omega_0}{\lambda}$ zu sein.

Zur Bestimmung der ω_λ benutzen wir das Verfahren von A. W. Schuster (1898) mit der Vereinfachung, die P. Terebesi (1933) angebracht hat. Wir ermitteln für veränderliche positive ω und ganzzahliges n die Funktionen

$$(3) \quad \begin{cases} \alpha_n(\omega) = \frac{2}{n\omega} \int_0^{n\omega} f(x) \cos \frac{2\pi}{n\omega} nx \, dx = \frac{1}{n} \sum_{\nu=0}^{n-1} \frac{2}{\omega} \int_{\nu\omega}^{(\nu+1)\omega} f(x) \cos \frac{2\pi}{\omega} x \, dx \\ \beta_n(\omega) = \frac{2}{n\omega} \int_0^{n\omega} f(x) \sin \frac{2\pi}{n\omega} nx \, dx = \frac{1}{n} \sum_{\nu=0}^{n-1} \frac{2}{\omega} \int_{\nu\omega}^{(\nu+1)\omega} f(x) \sin \frac{2\pi}{\omega} x \, dx \end{cases}$$

und berechnen damit die Funktion

$$(4) \quad \gamma_n(\omega) = \sqrt{[\alpha_n(\omega)]^2 + [\beta_n(\omega)]^2}.$$

Diese Funktionen haben die folgende Eigenschaft:

Es strebt, wenn $n \rightarrow \infty$ geht,

$$\alpha_n(\omega) \rightarrow \begin{cases} 0 & \text{für } \omega \neq \omega_\lambda, \quad \lambda = 1, 2, 3, \dots \\ A_\mu & \text{für } \omega = \omega_\mu, \quad \mu = 1, 2, 3, \dots \end{cases}$$

$$\beta_n(\omega) \rightarrow \begin{cases} 0 & \text{für } \omega \neq \omega_\lambda, \quad \lambda = 1, 2, 3, \dots \\ B_\mu & \text{für } \omega = \omega_\mu, \quad \mu = 1, 2, 3, \dots \end{cases}$$

und weiter

$$\gamma_n(\omega) \rightarrow \begin{cases} 0 & \text{für } \omega \neq \omega_\lambda, \quad \lambda = 1, 2, 3, \dots \\ \sqrt{A_\mu^2 + B_\mu^2} & \text{für } \omega = \omega_\mu, \quad \mu = 1, 2, 3, \dots \end{cases}$$

Die Perioden geben sich also im Bild der Funktion $\gamma_n(\omega)$ dadurch zu erkennen, daß bei hinreichend großem n in der Nachbarschaft einer Periode ω_λ die Funktion $\gamma_n(\omega)$ ein relatives Maximum aufweist und zwischen je zwei Perioden nahezu Null ist. Das Bild der Funktion $\gamma_n(\omega)$ nennt Schuster Periodogramm der Funktion $f(t)$. Man kann sich ein solches Periodogramm punktweise konstruieren, indem man die $\alpha_n(\omega)$, $\beta_n(\omega)$ für verschiedenen Wert von ω ermittelt.

Die $\alpha_n(\omega)$, $\beta_n(\omega)$ sind nach der ersten Darstellung in (3) n -te Fourierkoeffizienten einer Funktion $F_n(t)$, die folgendermaßen definiert ist:

$$F_n(t) = f(t) \quad \text{für } 0 \leq t \leq n\omega$$

$$F_n(t + n\omega) = F_n(t) \quad \text{für alle } t.$$

Sie sind nach der zweiten Darstellung in (3) aber auch Mittelbildungen aus den ersten Fourierkoeffizienten von Funktionen $F_{n\nu}(t)$, die wie folgt definiert sind:

$$F_{n\nu}(t) = f(t) \quad \text{für } \nu\omega \leq t \leq (\nu + 1)\omega$$

$$F_{n\nu}(t + \omega) = F_{n\nu}(t) \quad \text{für alle } t.$$

Diese Fourierkoeffizienten kann man aus den Kurven, für die Abb. 2 ein Beispiel gibt, auf instrumentellem Wege mit dem Harmonischen Analysator Mader-Ott bestimmen.

Bei den üblichen Abmessungen dieses Analysators muß man es bei der Ermittlung der n -ten Fourierkoeffizienten nach der ersten Darstellung in (3) so einrichten, daß $n\omega \leq 36$ cm bleibt. Bei der zweiten Version als Mittelbildung unterliegt ω theoretisch keiner Beschränkung; man muß aber gegebenenfalls die Kurve schrittweise unter dem Analysator "durchziehen", um die Funktionen $F_{n\nu}(t)$ der Reihe nach erfassen zu können. Bei einiger Sorgfalt und Übung kann man den zufälligen Fehler der Messung so klein halten, daß er innerhalb der Zeichengenauigkeit keinen Einfluß mehr hat.

Theoretisch wäre es sinnvoll, n möglichst groß, den Möglichkeiten des Analysators angepaßt also nahe bei $n = 33$ zu wählen. Dann muß aber, damit $n\omega \leq 36$ cm bleibt, der Abszissenmaßstab so stark verkürzt und die stark schwankende Kurve $f(t)$ so eng zusammengedrängt werden, daß die Analysatorgenauigkeit dadurch beeinträchtigt wird. Es hat sich gezeigt, daß sich wenigstens die nicht zu kleinen Perioden deutlich erkennen lassen, wenn man $n = 8$ nimmt. Wählt man auf der Abszissenachse 3 mm für ein Jahr, so kann ω zwischen 0 - 15 Jahren variieren. So sind die in Abb. 3 wiedergegebenen Periodogramme gewonnen. Die Intervalle, in denen $f(t)$ analysiert wurde, umfassen jeweils 120 Jahre und überdecken einander teilweise. Insgesamt ist ein Zeitraum von 820 Jahren erfaßt.

Diese Periodogramme zeigen zwar im einzelnen einen unterschiedlichen Verlauf, von dem nicht entschieden werden kann, ob er in zufälligen Ungenauigkeiten oder Störungen der analysierten Kurve seinen Grund hat; vielleicht spielt hier auch die oben erwähnte Schrumpfung des Materials unter der Mikroskopierlampe herein. Es heben sich jedoch drei bis vier Maxima deutlich heraus, die wenn auch geringfügig gegeneinander verschoben, auf jedem dieser Periodogramme wiederkehren. Sie liegen etwa bei $\omega = 6, 8, 11, 14$ Jahren.

Mit einigem Vorbehalt läßt sich die zeitliche Variabilität dieser vier Perioden wie in Abb. 4 darstellen. Es scheint also, daß die Funktion $f(t)$ nicht eine fastperiodische Funktion mit konstanten Perioden ω_λ ist, sondern daß $f(t)$ als Überlagerung von "quasiperiodischen Funktionen" aufgefaßt werden muß, d.h. von Funktionen, die im "Kleinen" periodisch sind, deren "Perioden" jedoch säkuläre Veränderlichkeit aufweisen. Diese Feststellung gab auch Veranlassung die in (3) gegebene erste Darstellung der Funktionen $\alpha_n(\omega)$, $\beta_n(\omega)$ zu benutzen, da der Vorzug der zweiten Darstellung sich nur bei wirklich konstanten Perioden auswirken kann.

Abb. 3 a-i: Die Funktion $y_g(\omega)$ für Kern 5, aufgestellt für sich überlappende Zeitintervalle von jeweils 120 Jahren. Zum Jahr 0 siehe Unterschrift Abb. 2

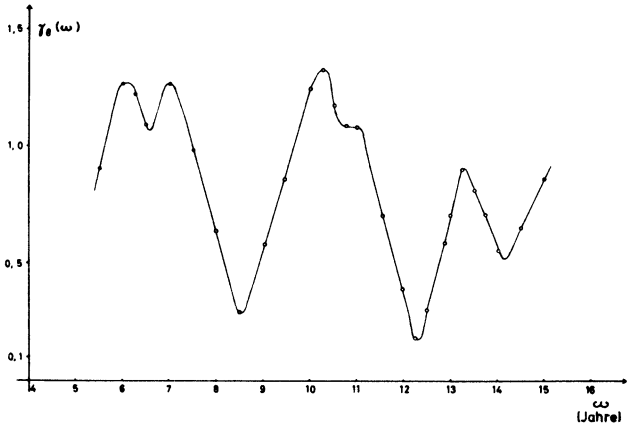


Abb. 3 a: aus dem Zeitraum 0-120 Jahren

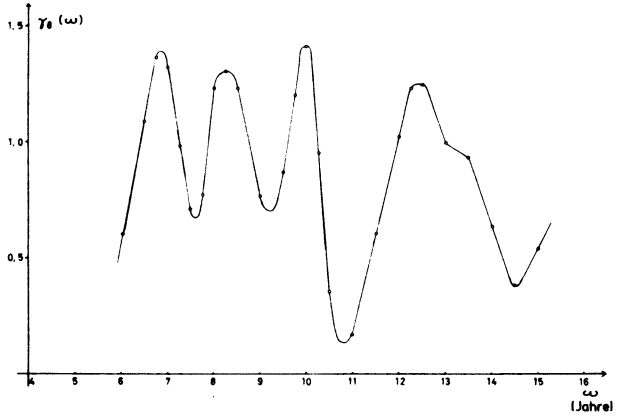


Abb. 3 b: aus dem Zeitraum 50-170 Jahren

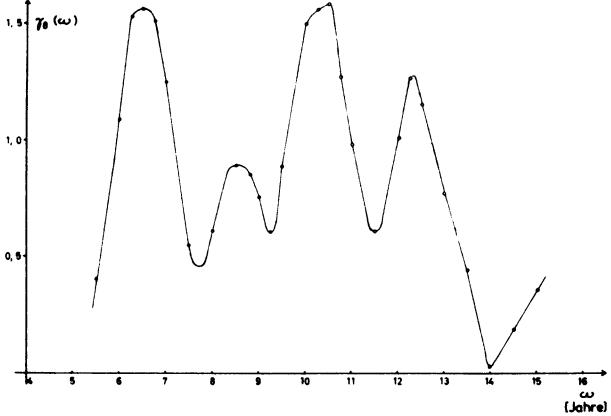


Abb. 3 c: aus dem Zeitraum 100-220 Jahren

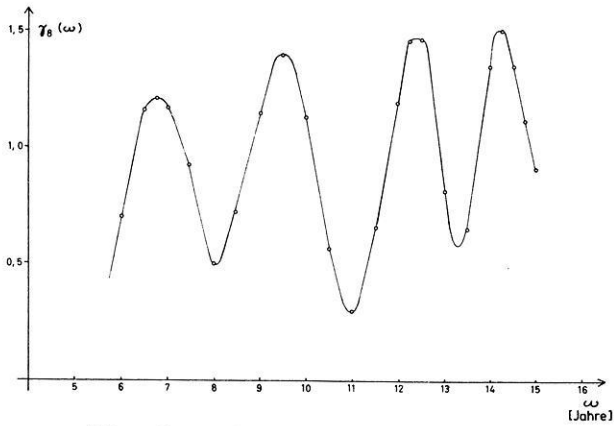


Abb. 3 d: aus dem Zeitraum 200-320 Jahren

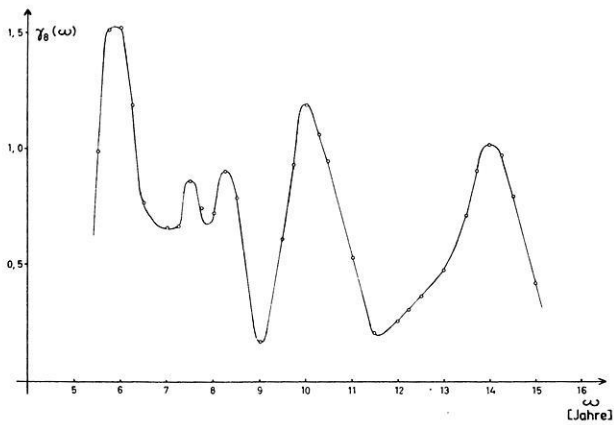


Abb. 3 e: aus dem Zeitraum 300-420 Jahren

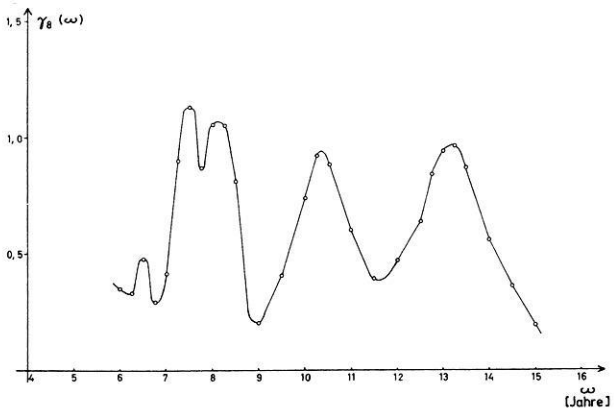


Abb. 3 f: aus dem Zeitraum 400-520 Jahren

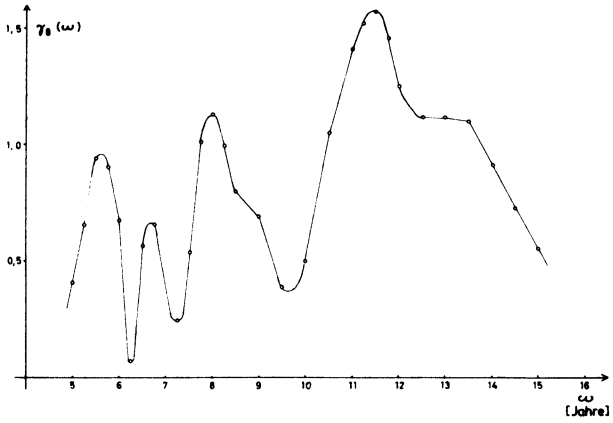


Abb. 3 g: aus dem Zeitraum 500-620 Jahren

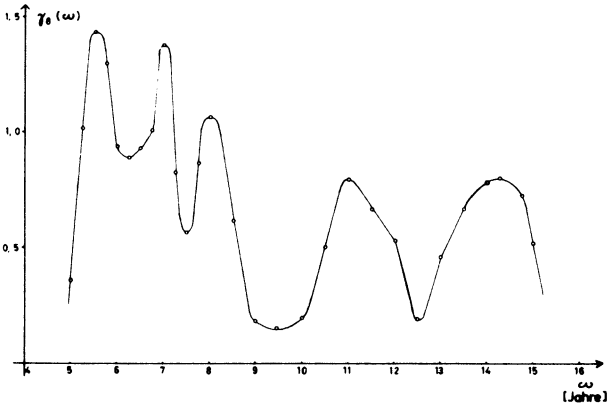


Abb. 3 h: aus dem Zeitraum 600-720 Jahren

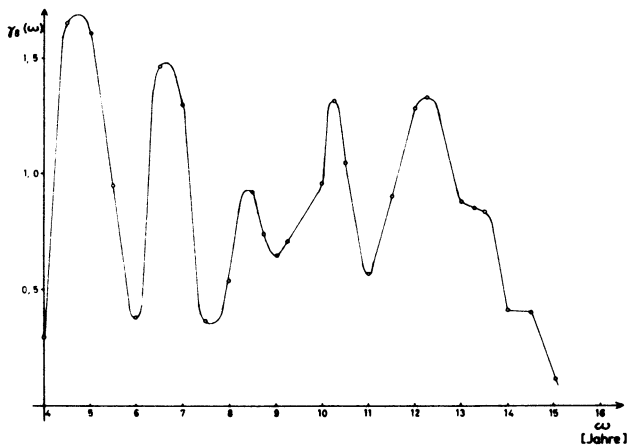


Abb. 3 i: aus dem Zeitraum 700-820 Jahren

Um eine Kontrolle zu haben, ob die vier Hauptperioden aus den Periodogrammen mit genügender Genauigkeit erfaßt wurden, wurden stichprobenweise die Abschnitte von $f(t)$, die zu Periodogrammen geführt hatten, auch nach der Methode von N. Bernstein (1927) destilliert. (Vgl. eine Beschreibung dieses Verfahrens bei Terebesi (1933).) Diese Destillation genannte Methode wird folgendermaßen durchgeführt: Zur Funktion $f(t)$ konstruiert man für $\omega_1, \omega_2, \dots$ der Reihe nach die Funktionen

$$\Delta_1(t) = f(t) - f(t + \omega_1)$$

$$\Delta_2(t) = \Delta_1(t) - \Delta_1(t + \omega_2)$$

usw.

$\Delta_1(t)$ enthält, falls ω_1 richtig, d.h. als eine in $f(t)$ enthaltene "Periode" gewählt ist, keine Komponente mit der Periode ω_1 und keine Komponente

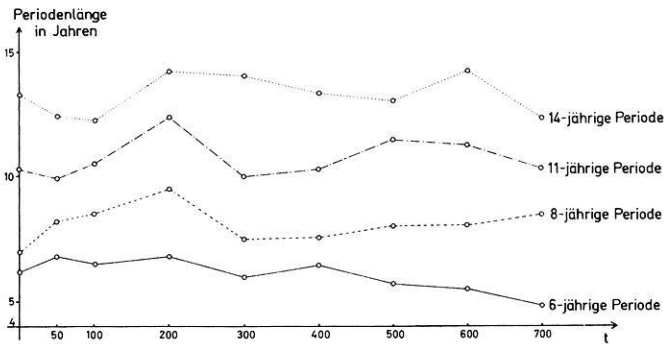


Abb. 4: Säkularer Gang der Länge der Perioden der hauptsächlich hervorgetretenen vier periodischen Komponenten. (Kern 5)

mehr, deren Periode ein harmonisches Vielfaches von ω_1 ist. Entsprechend enthält $\Delta_2(t)$ keine Komponenten mit den Perioden ω_1 und ω_2 und deren harmonischen Vielfachen, usw. Für $\Delta_1(t)$ ergibt sich die Darstellung

$$\Delta_1(t) = \sum_{\lambda=1}^{\infty} \left[A_{\lambda}^{(1)} \cos \frac{2\pi}{\omega_{\lambda}} t + B_{\lambda}^{(1)} \sin \frac{2\pi}{\omega_{\lambda}} t \right]$$

mit den Koeffizienten

$$A_{\lambda}^{(1)} = 2 \sin \pi \frac{\omega_1}{\omega_{\lambda}} \left(A_{\lambda} \sin \pi \frac{\omega_1}{\omega_{\lambda}} - B_{\lambda} \cos \pi \frac{\omega_1}{\omega_{\lambda}} \right)$$

$$B_{\lambda}^{(1)} = 2 \sin \pi \frac{\omega_1}{\omega_{\lambda}} \left(A_{\lambda} \cos \pi \frac{\omega_1}{\omega_{\lambda}} + B_{\lambda} \sin \pi \frac{\omega_1}{\omega_{\lambda}} \right):$$

es ist

$$\left(A_{\lambda}^{(1)} \right)^2 + \left(B_{\lambda}^{(1)} \right)^2 = 4 \sin^2 \pi \frac{\omega_1}{\omega_{\lambda}} \left(A_{\lambda}^2 + B_{\lambda}^2 \right).$$

Hieraus ist zu ersehen, daß in $\Delta_1(t)$ die Glieder fehlen, für die $\omega_{\lambda} = \frac{\omega_1}{\mu}$

mit $\mu = 1, 2, 3, \dots$ gilt, daß aber alle übrigen periodischen Komponenten von $f(t)$ wiederum zu periodischen Komponenten von $\Delta_1(t)$ mit denselben Perioden führen; Phase und Amplitude einer solchen periodischen Komponente sind jedoch verändert. Entsprechendes gilt für den Übergang von $\Delta_1(t)$ zu $\Delta_2(t)$, usw.

Daß dies in unserem Falle wirklich zutrifft, bestätigte sich bei Aufstellung der Periodogramme eines $\Delta_1(t)$ bzw. $\Delta_2(t)$ aus $f(t)$ für das Intervall $232 \leq t \leq 500$ Jahre. Aus $f(t)$ bzw. $\Delta_1(t)$ wurden der Reihe nach $\omega_1 = 8,35$ und $\omega_2 = 10,0$ "entfernt". Während das Periodogramm für $f(t)$ an den Stellen $\omega_1 = 8,35$ und $\omega_2 = 10,0$ relative Maxima aufweist, hat das Periodogramm für $\Delta_1(t)$ bzw. $\Delta_2(t)$ in der Nachbarschaft von ω_1 und ω_2 keine relativen Maxima mehr. Vergleiche Abb. 5.

Wenn man aus $f(t)$ im Intervall $232 \leq t \leq 500$ Jahre der Reihe nach die Perioden $\omega_1 = 6,75$; $\omega_2 = 8,35$; $\omega_3 = 10,0$ Jahre entfernt, so entsteht das in Abb. 6 vorliegende Bild der Funktion $\Delta_3(t)$. Dieses $\Delta_3(t)$ weist im Abstand von 80 Jahren relativ sehr starke Extrema auf. Es ist also möglich, daß auch $f(t)$ selbst eine Komponente hat, deren Periode ungefähr 80 Jahre ist. Dieselbe Erscheinung zeigen auch die jährlichen Sonnenfleckenzahlen, allerdings tritt sie dort schon an der Ausgangskurve deutlich hervor. (Siehe dazu E. Gleisberg (1952).) Bei diesem Phänomen kann es sich aber auch um "Schwebungen" handeln, die durch die relativ starke Periode bei 11 unter Mitwirkung der Periode bei 8 erzeugt werden. Leider gelingt es wegen der unvollständigen Kenntnis aller Perioden nicht, diese Frage ganz aufzuklären.

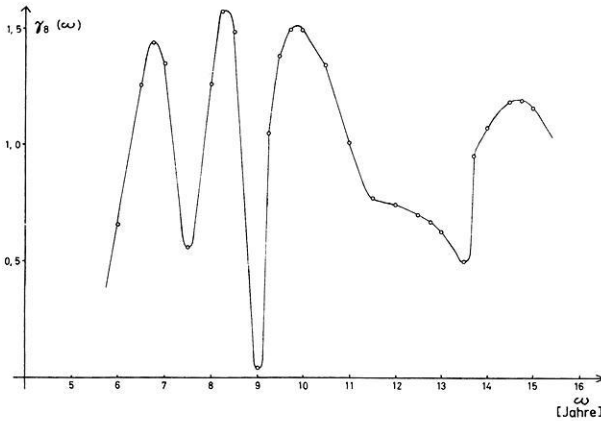


Abb. 5 a: Ein Periodogramm der Funktion $f(t)$ aus einem Intervall 232 - 352 Jahre (Kern 5) vor Destillation der Perioden

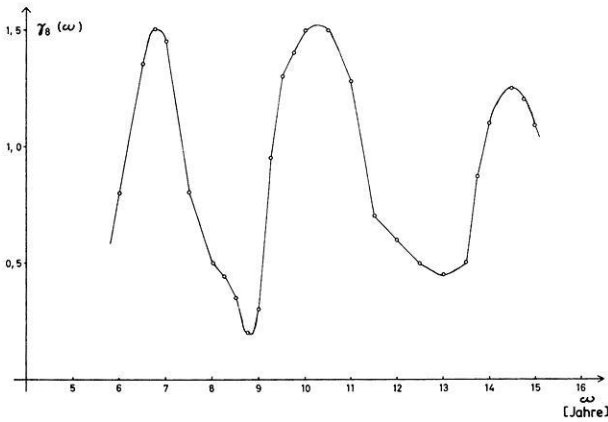


Abb. 5 b: Das Periodogramm der Funktion $\Delta_1(t)$, die nach Entfernen der Periode 8,35 durch Destillation aus $f(t)$ (Abb. 5 a) entstand

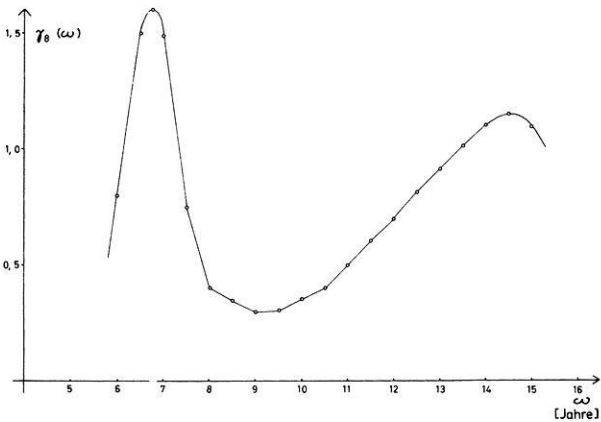


Abb. 5 c: Das Periodogramm der Funktion $\Delta_2(t)$, die nach Entfernen der Periode 10 durch Destillation aus $\Delta_1(t)$ (Abb. 5 b) entstand

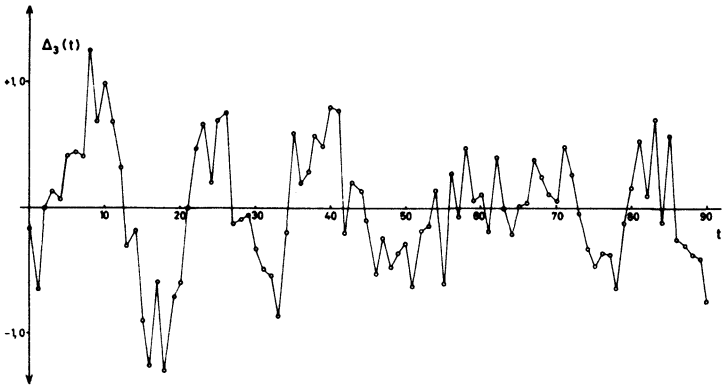


Abb. 6 a

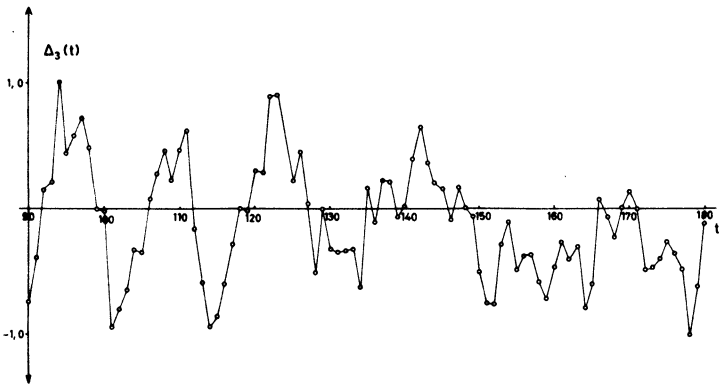


Abb. 6 b

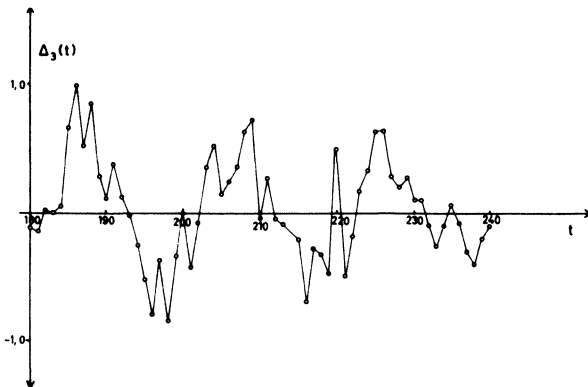


Abb. 6 c

Abb. 6 a-c: Verlauf von $\Delta_3(t)$. Das zugehörige $f(t)$ stammt aus dem Intervall 232-500 Jahre

4. Untersuchung der Sonnenfleckenzahlen und der Sedimentationsfunktion im gleichen Zeitraum

Es schien uns von Interesse, den Untersuchungen auf periodischen Komponenten der Sedimentationsfunktion eine von ähnlichen Vorstellungen ausgehende Untersuchung der Sonnenfleckenaktivität gegenüber zu stellen, dabei also insbesondere die jährlichen Sonnenfleckenzahlen zu verwenden. H. Wundt (1951) hat eine Periodogrammanalyse der ungeglätteten monatlichen Sonnenfleckenzahlen durchgeführt und dabei unter anderem die Perioden gefunden, die wir bei Benutzung der jährlichen Sonnenfleckenzahlen finden werden. Eine Parallelität beider Erscheinungen in dem Sinne, daß den Maxima bzw. Minima der Sonnenfleckenaktivität Maxima bzw. Minima der Sedimentation entsprechen, ist nicht zu erwarten, da es nach Seibold (1958 a, S. 107) sein kann, daß in Zeiten mit minimaler bzw. maximaler Fleckenaktivität sowohl besonders dicke als auch besonders dünne Hell-Lagen sowie auch dicke und dünne Dunkel-Lagen auftreten können.

Für diesen Vergleich wurde der oberste Teil des Kerns 4 herangezogen. Das Ergebnis der Periodogrammanalysen für Sedimentfunktion und jährliche Sonnenfleckenzahlen liegt in Abb. 7 und 8 vor. In diesen Periodogrammen heben sich drei Maxima hervor, deren Abszissen mit bemerkenswerter Genauigkeit übereinstimmen. Für die Sonnenfleckenzahlen ergeben sich Perioden von 7,75; 9,45; 11,3 Jahren, für den Kern 4 solche von rund 7,0; 9,5 und 11,3 Jahren.

Leider reicht die Zeit, aus der Beobachtungsdaten der Sonnenflecken vorliegen, nicht weit genug zurück, um in der in Abb. 4 gezeigten Weise nachzuprüfen, ob deren Perioden nicht auch säkulare Schwankungen ähnlich denen der Sedimentationsfunktion aufweisen. Erst dann kann unseres Erachtens sicher ausgeschlossen werden, daß die merkwürdig genaue Übereinstimmung der Abb. 7 und 8 Zufall ist, wenn weitere rezente, datierbare Beispiele für Feinschichtung mit Sonnenfleckenbeobachtungen verglichen werden. Besonders viel verspricht die Untersuchung der uns nicht zugänglichen Originaldaten von Perfiliev (1931). Ihm gelang es, aus Seen Nord- und Südrußlands (Pertsee, Sackisee) lange Kerne mit anscheinend kontinuierlicher Jahresschichtung zu gewinnen, bei deren Auswertung Schostakowitsch (1931, vgl. auch 1929) einen direkten Zusammenhang zwischen Sonnenfleckenaktivität und Sedimentation fand. Allerdings müßte die mathematische Analyse wohl nach der hier verwendeten Methode durchgeführt werden, da die Verfahren, die Schostakowitsch bei der

Untersuchung verschiedener Naturerscheinungen auf versteckte Periodizitäten anwandte, alle darauf hinauslaufen, daß mehr oder weniger willkürlich gewählte Werte für die Perioden durchprobiert werden. Diese Verfahren sind auch sonst vom mathematischen Standpunkt aus bedenklich. Dies gilt insbesondere für das Verfahren von A. Defant (1912), auf das sich Schostakowitsch (1930) beruft.

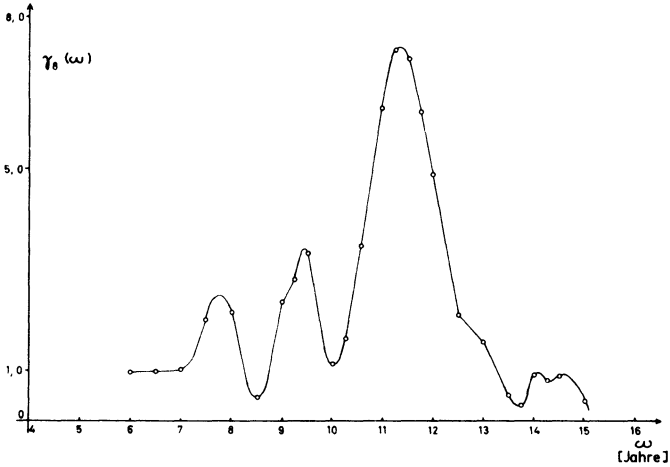


Abb. 7: Periodogramm der jährlichen Sonnenfleckenzahlen aus dem Zeitintervall $1830 \leq t \leq 1941$

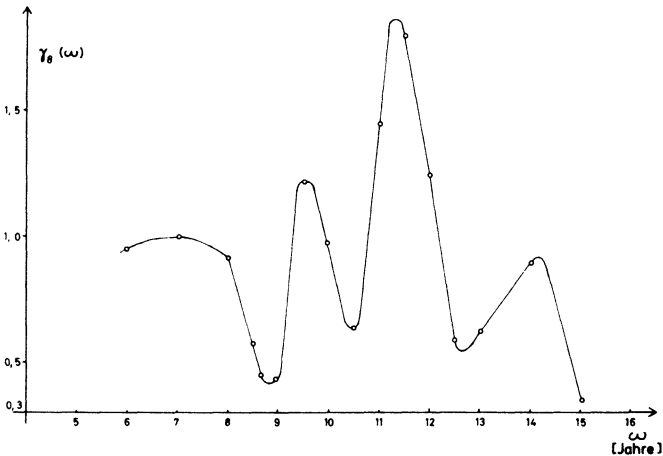


Abb. 8: Periodogramm der Funktion $f(t)$ (Kern 4), genommen aus den obersten 120 Jahreslagen

Nach Bearbeitung weiterer rezenter Beispiele kann wohl erst an die Analyse fossiler feingeschichteter Serien gedacht werden, unter denen die so wichtigen Ergebnisse von Richter-Bernburg (vor allem 1950) besondere Aufmerksamkeit verdienen.

Warum die Periodogramme in Abb. 7 und 8 so gut übereinstimmen, muß eine offene Frage bleiben. Unseres Wissens gilt auch heute noch die zusammenfassende Bemerkung Brückners (1890), wonach zwar enge Beziehungen verschiedener meteorologischer Elemente mit der Sonnenfleckenhäufigkeit existieren, daß aber die Erklärung noch aussteht.

Herrn Prof. Dr. M. Müller, Tübingen, gilt herzlicher Dank für seine freundliche Unterstützung dieser Arbeit. Seine methodischen und praktischen Hinweise haben diese Arbeit sehr gefördert. Ebenso danken wir Herrn Dr. Ehlich, Math. Institut Tübingen, für mancherlei Rat und Hilfe.

Literatur

- [1] Bernstein, N.: Analyse aperiodischer trigonometrischer Reihen. Zeitschrift f. angew. Math. u. Mechanik, 7, 476 - 485 (1927).
- [2] Bohr, H.: Fastperiodische Funktionen. Ergebnisse d. Mathematik u. ihrer Grenzgebiete, 1, 155 - 484 (1932).
- [3] Brückner, E.: Klimaschwankungen seit 1700 nebst Bemerkungen über die Klimaschwankungen der Diluvialzeit. Geogr. Abh. 6, 2, 155 - 484 (1890).
- [4] Defant, A.: Die Veränderungen in der allgemeinen Zirkulation der Atmosphäre in den gemäßigten Breiten der Erde. Sitzungsberichte d. math.-naturw. Klasse d. kaiserlichen Akademie d. Wissenschaften Wien, 121, Abt. II a, erster Halbbd., 379 - 586, bes. 391 - 392 (1912).
- [5] Gleisberg, W.: Die Häufigkeit der Sonnenflecken. (= Scientia Astronomica Bd. 2), 15 - 18 (1952).
- [6] Perfiliev, B. W.: Das Gesetz der Periodizität der Schlamm- und die Tiefwasserbohrung. Verh. d. Internat. Ver. f. Theoret. u. angew. Limnologie, 5, 298 (1931).
- [7] Richter-Bernburg, G.: Zur Frage der absoluten Geschwindigkeit geologischer Vorgänge. Die Naturwissenschaften, 37, 1 - 8 (1950).

- [8] Schostakowitsch, W. B.: Periodische Schwankungen der hydrometeorologischen Bedingungen der Gewässer und die Sonnenflecken. Verh. d. Internat. Ver. f. theoret. u. angew. Limnologie, **4**, 553 - 554 (1929).
- [9] Schostakowitsch, W. B.: Die periodischen Schwankungen einiger biologischen Erscheinungen. Internat. Revue d. gesamten Hydrobiologie u. Hydrographie, **23**, 139 - 149 (1930).
- [10] Schostakowitsch, W. B.: Die Bedeutung der Untersuchung der Bodenablagerungen der Seen für einige Fragen der Geophysik. Verh. d. Internat. Ver. f. theoret. u. angew. Limnologie, **5**, 307 - 317 (1931).
- [11] Schuster, A. W.: On the investigation of hidden periodicities with applications to a supposed 26 day period of Meteorological Phenomena. Terrestrial Magnetism. **3**, 13 (1898).
- [12] Seibold, E.: Jahreslagen in Sedimenten der mittleren Adria. Geol. Rundschau, **47**, 100 - 117. (1958 a).
- [13] Seibold, E., G. Müller und H. Fesser: Chemische Untersuchungen eines Sapropels aus der mittleren Adria. Erdöl und Kohle, **11**, 296 - 300 (1958 b).
- [14] Terebesi, P.: Aufsuchen versteckter Periodizitäten. Z. f. Geophysik, **9**, 313 - 323 (1933).
- [15] Willers, Fr. A.: Mathematische Instrumente. München u. Berlin, 178 - 185 (1943).
- [16] Willers, Fr. A.: Methoden der praktischen Analysis. 3. Aufl., Berlin, 218 - 222 (1957).
- [17] Wundt, H.: Bestimmung der Sonnenfleckenperioden mit Hilfe des Periodogramms. Zeitschrift f. angew. Math. u. Mech. **31**, 247 - 249 (1951).

Die Welt der Sterne

von **William Brunner**

Zweite unveränderte Auflage

Mit 152 Abbildungen. 288 Seiten.

Leinen DM 16,—

Die heute beobachtbare Welt der Sterne ist unvorstellbar groß, die Erforschung der Gestirne mit vielen, vor allem technischen Schwierigkeiten verbunden. Der interessierte Sternenfreund ist deshalb für einen umfassenden Überblick besonders dankbar. In anschaulicher und interessanter Weise werden auch für den, der sich bisher noch nicht mit astronomischen Beobachtungen befaßte, die ihm zugänglichen Forschungsergebnisse dargestellt. Aber auch der passionierte Sternenfreund wird aus der zum Nach-Denken anregenden Darstellung und aus den Hinweisen auf zahlreiche noch ungeklärte Probleme viel Gewinn ziehen können. Vor allem bietet das Buch eine zuverlässige Orientierung. Sowohl das übersichtliche Inhaltsverzeichnis als auch das Verzeichnis der Fachausdrücke geben rasch über den dargebotenen Stoff jeden erwünschten Aufschluß.

Lebendige Mathematik

von **Walther Lietzmann**

Zweite Auflage

Mit 343 Abbildungen und 10 Tafeln. 435 Seiten.

Leinen mit farbigem Umschlag DM 16,80

Wem je in der Schule der Mathematikunterricht verhaßt war, weil ihm der Zugang zu diesem spröden Stoff verschlossen blieb, hier begreift er an Dingen des täglichen Lebens die mathematischen Zusammenhänge. Fast ohne es zu merken wächst er unter Lietzmanns Führung auch in schwierige Probleme hinein, und es erschließt sich ihm das große Wunder, daß das reine Gedankengefüge Mathematik nicht nur auf die Dinge um uns herum anwendbar, sondern schlechthin Grundlage jeglichen zivilisierten Lebens ist. Trotzdem ist dieses Werk kein nettes Büchlein zur Veranschaulichung der Elementarmathematik, sondern es durchleuchtet die Mathematik einmal wirklich, auch ihre abstraktesten Teile, in ihrer Einheitlichkeit und Schönheit. Dabei wird dem Leser durch zahlreiche Abbildungen und Tafeln sogleich eine Fülle von Anschauungsmaterial gegeben. So kommt dieses Buch gerade in unserem hochtechnisierten Zeitalter einem echten Bedürfnis entgegen.

Triumph der Mathematik

Hundert berühmte Probleme aus zwei Jahrtausenden mathematischer Kultur

von **Heinrich Dörrie**

Fünfte Auflage. 112 Figuren.

Leinen mit Cellophan-Umschlag DM 18.50

Der Verfasser gibt durch entsprechende Auswahl der elementar-mathematischen Probleme, die kurz, übersichtlich und verständlich dargelegt sind, eine Vorstellung von der erstaunlichen Vielgestaltigkeit der mathematischen Methoden. Es wurden nur Sätze der Elementarmathematik als bekannt vorausgesetzt, so daß die Lektüre des Buches nennenswerten Schwierigkeiten nicht begegnet. In gut-gewählten Ausschnitten werden Zahlentheorie, Analysis und Algebra, Planimetrie und projektive Geometrie, Stereometrie, Nautik und Astronomie behandelt. Inhalt und Darstellung sind gleich vielfältig und vermitteln in ihrer mehr zufälligen, durch die einzelnen Aufgaben bedingten Aneinanderreihungen nicht nur dem Laien einen Einblick in die Leistungen des mathematischen Denkens eines Euler, Gauss, Steiner und anderer sondern geben auch dem mathematisch Erfahreneren manche neue Anregung.

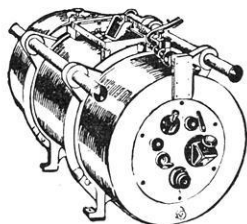
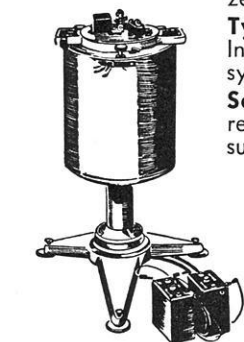


ASKANIA-GRAVIMETER

Type Gs 11 mit Registriereinrichtung das meist benutzte Gravimeter für die Gezeitenmessungen.

Type Gs 12 das äußerst zuverlässige Instrument mit dem eingebauten Kugel-system.

Seegravimeter nach Graf mit Direktregistrierung für ununterbrochene Messungen von fahrenden Schiffen aus.



CONTINENTAL ELEKTROINDUSTRIE AKTIENGESELLSCHAFT

ASKANIA-WERKE · BERLIN-MARIENDORF

Wir suchen zu kaufen:

Zeitschrift für Geophysik

Jahrg. 1-18, 1924-1944
oder Jahrg. 1-25 (ggf. auch einzelne
Bände u. Hefte) sowie alle anderen
wissenschaftl. Zeitschriften, Sammel-
werke, wie auch vollst. Bibliotheken.

U. a. suchen wir z. Zt. noch besonders:

Gerlands Beiträge z. Geophysik
vollst. u. einzeln

Geofisica pura e applicata
Vol. 1-42 u. 1-5

Geophysics Vols. 1-18 od. 1-24

Handbuch d. Geophysik
von B. Gutenberg

Zentralblatt f. Geophysik, Meteorologie
u. **Geodäsie** Bd. 1-11 usw.

Angebote mit genauen Angaben
(mögl. auch mit Preis) erbittet

"Journalfranz"

ARNULF LIEBING OHG

WURZBURG 2

Postfach 1136

GEOPHYSICS

A Journal of General and Applied Geophysics

Published Quarterly by

**SOCIETY OF EXPLORATION
GEOPHYSICISTS**

Box 1536

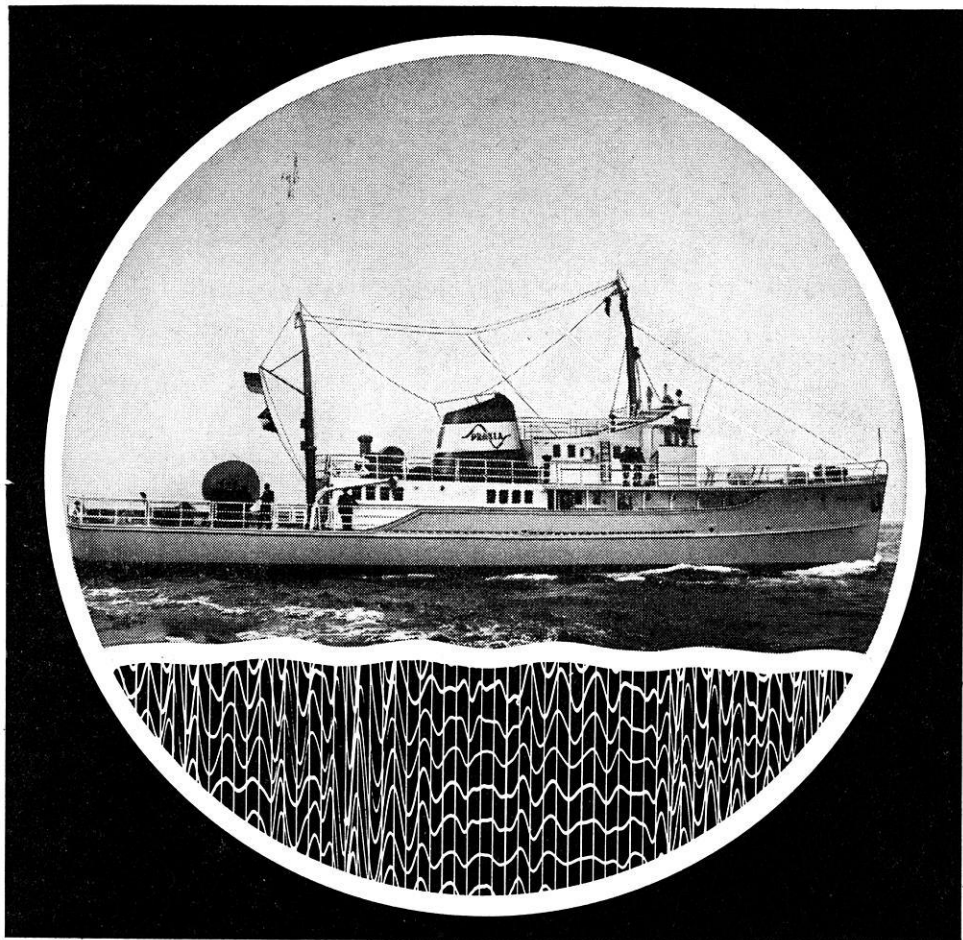
Tulsa, Oklahoma

- The official journal of the leading international group of prospecting geophysicists
- Devoted to current problems in seismograph, gravity, magnetic and other methods of geophysical prospecting for oil and other minerals
- Covers geophysical instrumentation

SUBSCRIPTION RATES

ONE YEAR (4 issues) \$ 10.00,
foreign \$ 10.50 (payment with order)

ALSO AVAILABLE ON MICROCARDS



GEOPHYSIKALISCHE MESSUNGEN AUF SEE

MIT

M. S. PROSPEKTA



HANNOVER · HAARSTRASSE 5 · FERNRUF: 8 66 61 · FERNSCHREIBER: 92 2847 · DRAHTWORT: PRAKLA

SEISMOS

beschafft für Sie Informationen aus dem Untergrund

**Seismos G. m. b. H.,
Wilhelm-Busch-Straße 4,
Hannover.
Fernruf 7 08 31
Fernschreiber 09 22419**