© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/;www.zobodat.at

Eine elektrodynamische Methode zur Erforschung des Erdinnern[1].

Von **Heinrich Löwy** in Göttingen.

Mit 2 Textfiguren.

Bis vor kurzem noch waren die geologischen Methoden die einzigen, die uns einen einigermaßen zuverlässigen und detaillierten Aufschluß über die Konstitution des Erdinnern geben konnten. So überraschend in vielen Fällen die Sicherheit ist, mit der der Geologe z. B. über das Vorhanden- oder Nichtvorhandensein von Grundwasser an einer bestimmten Stelle des Erdinnern entscheidet, so bleibt doch zu bedenken, daß seine Schlüsse stets nur Analogieschlüsse sind, die — unter Annahme einer gewissen Kontinuität der Lagerungsverhältnisse — von Bekanntem auf Unbekanntes extrapolieren, und notwendig versagen müssen, wo jene Kontinuität durchbrochen ist. Einer geologischen Aussage kommt niemals jener Grad von Gewißheit zu, welchen eine Tiefbohrung besitzt.

Inzwischen ist aber durch das Aufblühen der Seismologie eine direkte Methode geschaffen worden, die jenem Ideal an Sicherheit sehr viel näher kommt. In seiner neuen Arbeit über Erdbebenwellen[2] (§ I „Seismik als Mittel zur Erforschung des Erdinnern") sagt E. Wiechert nach einer Besprechung der bisher vorhandenen Methoden: „Ganz anders steht es um die Erdbebenwellen. Durch ihre Beobachtung können wir wirklich lokalisieren, können wir die elastische Beschaffenheit des Erdinnern in den einzelnen Schichten und Ort für Ort in diesen bis herab zu den größten Tiefen erschließen. Der Umstand, daß die Erdbebenwellen durch den Erdkörper tatsächlich hindurchgehen, macht uns diesen gewissermaßen durchsichtig, erlaubt uns Außenstehenden, sein Inneres zu durchforschen."

Im folgenden teile ich eine neue, auf wesentlich anderen Grundlagen beruhende Methode mit, welche sich vielleicht geeignet erweisen dürfte, die Ergebnisse der Seismik in bestimmter Hinsicht zu ergänzen. Während nämlich die Seismik Aufschluß über die elastische Beschaffenheit des Erdinnern gibt, ermöglicht die neue Methode, das Erdinnere mit Rücksicht auf seine elektrischen Eigenschaften zu erforschen. Diese Methode stützt sich im wesentlichen auf die Tatsache, daß elektrische Wellen — wie es auch die Theorie voraussehen läßt — trockenes Erdreich und Gestein ohne erhebliche Schwächung passieren. Über Versuche in größerem Maßstabe, die ich zu diesem Nachweise mit Herrn Dr. Gottfried Leimbach unternommen habe, wird weiter unten berichtet.

---

[1] H. Löwy und G. Leimbach, Phys. Zeitschrift. 11. 1910. p. 697.

[2] E. Wiechert und L. Geiger, „Bestimmung des Weges der Erdbebenwellen im Erdinnern". Phys. Zeitschrift. 11. 294. 1910.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/;www.zobodat.at

Zunächst ist das Folgende klar: Wenn überhaupt elektrische Wellen auf größere Tiefen in den Erdboden eindringen, so müssen sich mit ihrer Hilfe etwa eingelagerte Metallmassen nachweisen lassen. In der Praxis wird man sich insbesondere zweier Anordnungen bedienen, welche ich kurz als „Reflexionsmethode" und „Absorptionsmethode" unterscheiden will.

Bei der ersten Methode wird an einem bestimmten Punkte A der Erdoberfläche eine schräg gegen die Oberfläche gerichtete Sendeantenne A B aufgestellt; die Wellen, welche vom Sender ausgehen, werden an einem Medium (M), dessen elektrische Leitfähigkeit oder Dielektrizitätskonstante von den entsprechenden Konstanten der Umgebung wesentlich verschieden sind, reflektiert und gelangen an einen bestimmten Punkt der Erdoberfläche, der mit dem Empfangsapparate (A' B') aufzusuchen ist. Empfänger und Sender wirken als gerichtetes System, welches erlaubt, die direkt durch Luft oder Erdboden übermittelten Wellen von den

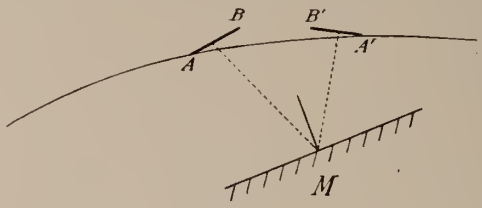

Fig. 1.

reflektierten zu trennen. Variiert man — bei konstanter Lage des Senders — den Winkel des Empfängers, so durchläuft die Empfangswirkung zwei Maxima, von denen das eine wesentlich von den direkten Wellen, das andere wesentlich von den reflektierten herrührt.

Bei der Absorptionsmethode kommen Bohrlöcher von ca. 300 m Tiefe zur Anwendung, in welche die Antennendrähte versenkt werden. Werden elektrische Wellen, die vom Sender (S) ausgehen (Fig. 2), von dem Empfänger E_1 angezeigt, aber nicht angezeigt von dem gleich weitentfernten Empfänger E_2, so bedeutet das, daß im Strahlenweg von S nach E_2 elektrisch leitfähige Massen eingelagert sind, die teils durch Reflexion, teils durch Absorption den Durchgang der Wellen verhindern.

Zunächst dürfte es als ein großer Nachteil dieser Methode erscheinen, daß Bohrlöcher verwandt werden. Dagegen ist zu sagen, daß die Absorptionsmethode — im Gegensatz zur Reflexionsmethode — als eine Methode zur systematischen Durchforschung großer Gebiete gedacht ist. Die beträchtliche Tiefe der Bohrlöcher ist erforderlich, erstens, um symmetrische Antennen von ca. 100 m Gesamtlänge darin unterzubringen, zweitens aber,

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/;www.zobodat.at

um die Äquatorialebene[1] des Senders möglichst in trockenes Gebiet zu verlegen. Rechnen wir mit einer maximalen Reichweite von 400 km, was sicher nicht zu hoch gegriffen ist, so wäre das zu untersuchende Gebiet etwa in ein quadratisches Netz von 50 km Seitenlänge einzuteilen, an dessen Eckpunkten die Bohrlöcher anzubringen sind. Bei dieser Anordnung würde pro 2500 qkm über 200 verschiedene Punkte variabler Tiefe durchforscht. Zur systematischen Erforschung der ganzen ungarischen Tiefebene würden 48 Bohrlöcher ausreichen, deren Kosten bei 300 m Tiefe nicht mehr als 440000 Mk. betragen würden, während ein einziges Bohrloch von 1000 m Tiefe 30000 Mk. kostet. Ein wesentlicher Vorteil dieser Methode besteht aber darin, daß sie gestattet, mit Bohrlöchern von bestimmter Tiefe sehr viel tiefer gelegene Punkte des Erdinnern zu erforschen. Zufolge der Erdkrümmung passieren nämlich die elektrischen Wellen bei Distanzen von 300 km Punkte von 1000 m Tiefe.

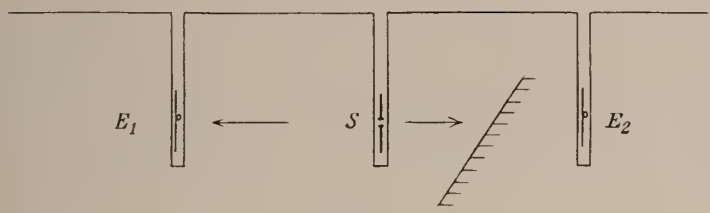

Fig. 2.

Wie kommt es, daß so naheliegende Anwendungsmöglichkeiten sich bisher der Beachtung entzogen haben? Das mag zweierlei Gründe haben: Einmal ist man — schon von den Elementen der Elektrizitätslehre her — gewohnt, die Erde als Leiter anzusehen[2] und ist in dieser Hinsicht verführt, die Absorption elektrischer Wellen im Erdboden zu überschätzen. Anderseits aber dürfte die große geologische Mannigfaltigkeit des Erdinnern manchen abgeschreckt haben, bei so äußerst komplizierten Verhältnissen noch auf klare Resultate zu hoffen.

Was den ersten Punkt betrifft, so sprechen die mathematischen Formeln eine genügend klare Sprache. Erweitert man die Hertzsche Lösung der Feldgleichungen[3] auf den Fall, daß der Oszillator (Antenne) in einem beliebig leitfähigen Medium eingebettet ist, so erhält man das Resultat, daß die elektrische Feldstärke mit der Entfernung r (vom Oszillator) abnimmt wie

[1] d. i. die Ebene (senkrecht zur Antenne), in welcher sich der Hauptteil der Energie fortpflanzt.

[2] Das Wort „erden" bedeutet ja „eine Verbindung mit einem großen und vollkommenen Leiter herstellen".

[3] M. Abraham, Enzyklop. d. Math. Wiss. V. 18. No. 4.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/;www.zobodat.at

$$\frac{e^{-\beta r}}{r}$$

wo

$$\beta = + \sqrt{-\frac{\varepsilon n^2}{2 c^2} + \sqrt{\frac{\varepsilon^2 n^4}{4 c^4} + \frac{n^2 \sigma^2}{4 c^4}}}$$

ist[1]. Darin bedeutet c die Lichtgeschwindigkeit ($3 . 10^{10}$ cm/sec.), n die Frequenz der Schwingung, ε die Dielektrizitätskonstante und σ die Leitfähigkeit ($\sigma = 4 \pi c^2 \sigma_{mag.}$).

Für trockene Erde ist nach Zenneck[2] $\sigma = 10^7$, $\varepsilon = 4$, also für eine Wellenlänge in Luft $\lambda_0 = 200$ m

$$\beta = 0{,}00002.$$

Das ergibt für Distanzen von ca. 1 km (wie sie bei der Reflexionsmethode in Betracht kommen):

$$e^{-\beta r} = 10^{-1},$$

man hätte also mit einer Erregung zu arbeiten, wie sie in Luft zur Überwindung der 10—100 fachen Distanz erforderlich ist. Für r = 300 km ergibt sich schon eine nahezu vollständige Extinktion der Wellen. Noch ungünstiger werden natürlich die Verhältnisse, wenn man die Werte für nassen Boden ($\sigma = 5{,}10^8$, $\varepsilon = 10$) zugrunde legt. Nun gelten aber die Zenneck'schen Angaben für Boden, welcher der obersten Schicht der Erdoberfläche entnommen ist, so daß der von ihm als „trocken" bezeichnete Boden keineswegs jenen Grad von Trockenheit besitzt wie Bodenproben desselben Materials, die einer tiefer gelegenen Schicht entnommen sind. Dazu kommt, daß speziell in Norddeutschland, worauf sich offenbar jene Angaben beziehen, die Verhältnisse infolge der großen Feuchtigkeit besonders ungünstig liegen. In den Tropen würden auch die obersten Bodenschichten in der Trockenzeit eine viel geringere Leitfähigkeit haben; eine genaue Bestimmung derselben müßte allerdings an Ort und Stelle ausgeführt werden. Lateritproben (aus Ubiri), welche mir von der Deutschen Kolonialschule zu Witzenhausen freundlichst zur Verfügung gestellt wurden, haben einen dem Zenneckschen Werte für trockenen Boden naheliegenden Wert ergeben. Denselben, bezw. einen noch geringeren Wert ergaben zwei andere Lateritproben (aus Kpeme in Togo), die ich Herrn Geheimrat Wohltmann (Halle) verdanke. Das ist deshalb von großem Interesse, weil der Laterit, die für nahezu alle Tropenländer charakteristische Bodenart[3], gerade durch einen relativ großen Gehalt an Eisenoxyd und Eisenoxydhydrat charakterisiert ist.

---

[1] Die Ableitung dieser Formel habe ich l. c. p. 699 näher angedeutet.

[2] J. Zenneck, Ann. d. Phys. **23**. p. 859. 1907.

[3] F. Wohltmann, „Handbuch der tropischen Agrikultur". 1. p. 136. 1892.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/;www.zobodat.at

Aus dem Gesagten geht hervor, daß Distanzen, wie sie bei der Reflexionsmethode in Frage kommen, zu trockenen Zeiten sowohl in unseren feuchten Gegenden, als insbesondere in den Tropen (trotz des Eisengehalts der dortigen Böden) ohne weiteres überwunden werden können. Bei der Absorptionsmethode, wo es sich um wesentlich größere Distanzen (300 und mehr km) handelt, kommen aber — bei der zuvor geschilderten Anordnung — nur verhältnismäßig tiefgelegene Schichten in Betracht, und ich glaube nicht fehlzugehen, wenn ich für jene Schichten Werte ansetze, wie sie in der Literatur für Quarz, Kalkspat, Glimmer, Flußspat, Serpentin usw. zu finden sind. So würde für $\varepsilon = 5$, $\sigma = 10^5$ (nach Wiechert die Leitfähigkeit des Serpentins) $\beta = 0{,}0000002$, also für $r = 300$ km

$$e^{-\beta r} = 10^{-1},$$

während für $\sigma = 10^{-3}$, $\varepsilon = 4{,}5$ (Quarz bei 100^0 C) praktisch keine Absorption vorhanden ist.

Überhaupt kommt es bei dieser Frage weniger auf die besondere Natur des Gesteins als auf seinen Feuchtigkeitsgehalt an, und dieser letzte ist wesentlich durch die tektonische Lagerung des Gesteins bestimmt. Damit wird für unseren Zweck die Frage nach den Feuchtigkeitsverhältnissen im Erdinnern von fundamentaler Bedeutung. Einer freundlichen Mitteilung von Herrn Geheimrat v. Koenen in Göttingen entnehme ich, daß „ein nennenswerter Wassergehalt bei größeren Tiefen nicht zu erwarten ist, es sei denn, daß das Gestein stark und bis zu großen Tiefen hinab zerklüftet und diese Klüfte wasserführend wären“. Ausgedehnte, von Feuchtigkeit durchtränkte Gebiete werden in größeren Tiefen nur ganz ausnahmsweise anzutreffen sein. In dieser Hinsicht darf man sich auch nicht durch die große Feuchtigkeit täuschen lassen, die man in Bergwerken selbst in großen Tiefen antrifft, da diese Feuchtigkeit gewöhnlich nur eine Folgeerscheinung des Bergbaues ist: die vielen künstlichen Öffnungen des Erdreichs, die Schächte und Sohlen sind es, die den atmosphärischen Wässern und warmen Wettern einen bequemen Eintritt in das Erdinnere auftun. Ein Grundwasserspiegel von 700 m Tiefe, wie er sich in den Silberbleierzgruben zu Mapimi in Mexiko vorfindet, wird von R. Beck geradezu als Kuriosum angeführt [1].

Mit diesen Betrachtungen habe ich bereits den zweiten Punkt, betreffend die große geologische Mannigfaltigkeit des Erdinneren, berührt. Ein oberflächlicher Blick auf irgend eine geologische Profilkarte zeigt, wie schon für verhältnismäßig geringe Tiefen eine große Anzahl verschiedener Gesteinsschichten sich

[1] R. Beck, „Die Lehre von den Erzlagerstätten“. 3. Aufl. 2. p. 304. 1909.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/;www.zobodat.at

übereinander lagern, und es entsteht hier die Frage, ob die Sprünge der elektrischen Konstanten, welche an jenen Trennungsflächen statthaben, nicht imstande sind, Reflexionen der elektrischen Wellen hervorzurufen, die wir irrtümlicherweise aus dem Vorhandensein von Grundwasserspiegeln und Erzlagern erklären könnten. Eine einfache Betrachtung lehrt, daß jene Mannigfaltigkeit, so groß sie auch in geologischer und petrographischer Hinsicht sein mag, vom elektrischen Standpunkt betrachtet vielmehr den Eindruck größter Einförmigkeit hervorruft. Der absolute Wert der Leitfähigkeit jener Schichten ist so gering, daß selbst die höchsten Differenzen, die in dieser Beziehung auftreten könnten, keine nachweisbaren Reflexionen hervorrufen würden. Betrachten wir den extremen Fall, daß zwei trockene Schichten gleicher Dielektrizitätskonstanten ($\varepsilon = 4{,}5$) aber äußerst verschiedener Leitfähigkeit:

$$\sigma_1 = 10^{-4} \text{ (entsprechend Quarz bei } 100^\circ \text{ C)}$$
$$\sigma_2 = 10^{4} \text{ (" Serpentin)}$$

zusammenstoßen, so ergibt sich für das Reflexionsvermögen r [1]

$$r = 10^{-8},$$

also keinerlei praktisch nachweisbare Reflexion. Von größerem Einfluß sind Unterschiede der Dielektrizitätskonstante. Aber selbst die größten Unterschiede, die in dieser Hinsicht auftreten können, haben keine nachweisbaren Reflexionen zur Folge. Da Dielektrizitätskonstanten von Gesteinen nicht bestimmt worden sind, habe ich die beiden extremsten Werte herausgegriffen, welche für gesteinsbildende Mineralien in der Literatur zu finden sind. Das sind die Werte

$$\varepsilon_1 = 4$$
$$\varepsilon_2 = 8$$

($\sigma_1 = \sigma_2 = 0$ gesetzt). Es ergibt sich

$$r = 0{,}03.$$

während für die Kombination „trockener Boden, nasser Boden" (Zenneck'sche Werte!)

$$r = 0{,}1$$

wird.

Ich habe endlich gezeigt [2], daß auch durch mehrfache Reflexionen an verschiedenen Gesteinsschichten keine einer Metallreflexion vergleichbare Wirkung hervorgerufen wird.

Die oben dargelegten Betrachtungen wurden in vollem Umfange durch die Versuche bestätigt, die ich mit Herrn Dr. Gotthelf Leimbach in den Alkaliwerken zu Vienenburg, Ronnen-

[1] M. Abraham, Theorie der Elektrizität. 1. § 70/71 ($\sigma = c^2 \sigma_{mag}$).
[2] l. c. p. 701.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/;www.zobodat.at

berg und Weetzen, sowie allein in den Scharleyer Erzgruben (in Ost-Schlesien) ausgeführt habe[1]. Die Fortpflanzung der elektrischen Wellen durch Gestein ist durch diese Versuche in einwandfreier Weise festgestellt. Daß die Absorption — im Einklange mit der Theorie — äußerst gering ist, zeigte der Vergleich der Empfangswirkungen bei identischen Anordnungen über und unter der Erde. Die Versuche zwischen den Alkaliwerken in Ronnenberg und Weetzen (Distanz 1,8 km; Sender und Empfänger ca. 500 m unter Tag), bei welchen sich die Wellen durch Salz-, Ton- und Anhydritschichten fortpflanzten, haben meine obigen Abschätzungen vollauf bestätigt: Inhomogeneitäten petrographischer Natur haben keine störenden Reflexionen zur Folge. Meine Versuche in den Scharleyer Erzgruben haben endlich gezeigt, daß ein ganz geringer Erzgehalt (etwa 12 %) das Gestein (Dolomit) völlig undurchlässig macht.

Durch diese Versuche erscheint die Anwendbarkeit meiner Methode für die nächstliegenden praktischen Zwecke, insbesondere für das Aufsuchen von Grundwasser, soviel wie sicher gestellt. Besonders geeignet für solche Versuche sind die Tropen wegen der großen Trockenheit der dortigen Böden. Das ideale Terrain wären aber Gegenden von nacktem Wüstencharakter, nur dürfte es manchem als eine ziemlich unwichtige Sache erscheinen, in Wüsten nach Wasser zu suchen. Hören wir, was in dieser Hinsicht ein Fachmann, F. Wohltmann, in seinem „Handbuch der tropischen Agrikultur“ sagt: „Es bedarf nur fleißiger Hände, um die verborgenen Wasserströme vermittels moderner Technik und Mechanik an die Oberfläche zu locken, und die sterile Wüste wird an vielen Orten in ein neues fruchtbares Kulturland umgewandelt, das den versunkenen Vorbildern früherer Zeiten in der Libyschen Wüste um nichts nachsteht“[2]. Und weiter unten: „Die Geschichte der Landwirtschaft der Zukunft wird lehren, daß, wenn die nahrungsspendende Erde der stets anwachsenden und überall zunehmenden Bevölkerung gerecht werden soll, der Mensch mit der Zeit darauf bedacht sein muß, die unendlich weiten, periodisch dürren und oft öden Flächen der Tropen und Subtropen durch Bekämpfung des Mangels der Feuchtigkeitsverhältnisse vermittels ausgedehnter Bewässerungssysteme sich dienstbar zu machen“[3]. Die Tiefe der unterirdischen Wässer beträgt beispielsweise in der Libyschen Wüste durchschnittlich nicht mehr als 30—40 m, und daß diese Wässer auch Reflexionsflächen von genügender Aus-

---

[1] Die Vienenburger Versuche sind ausführlich l. c. p. 702—4 beschrieben; die anderen Versuche werden in einer demnächst erscheinenden „2. Mitteilung“ in der „Phys. Zeitschrift“ näher behandelt werden.

[2] Wohltmann, Handb. d. Trop. Agr. 1. p. 23. 1892.

[3] Wohltmann, l. c. p. 32.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/;www.zobodat.at

dehnung darbieten dürften, erhellt aus der folgenden Bemerkung, die ich wieder dem Wohltmann'schen Werke entnehme: „Unter und in den Kreideschichten zirkulieren manchen Ortes Gewässer von so großer Masse, daß man sogar von unterirdischen Flüssen redet .... Gelingt es, ein derartiges Terrain ausfindig zu machen, das die Anlage artesischer Brunnen zu Bewässerungszwecken gestattet, so ist auch die Agrikultur einer solchen Lokalität gesichert, und an Stelle des Wüstenbildes tritt eine grünende und blühende Oase“ [1].

Auf diese praktischen Betrachtungen bin ich ursprünglich durch eine im Wesen theoretische Frage geführt worden. Im Dezember 1909 habe ich bei der Kaiserl. Akad. der Wiss. zu Wien ein versiegeltes Schreiben hinterlegt, worin die oben beschriebene Reflexionsmethode zum Nachweise des Wiechert-schen Erdkerns auseinandergesetzt ist. Die Distanzen, um die es sich bei dieser Frage handelt, betragen 2000—3000 km, und ich glaube, daß man im Augenblick, wo eine derartige Distanz über trockenen Boden überwunden ist, jenem Problem ernstlich näher treten kann. Vielleicht müßte man nicht einmal so lange warten, wenn man bedenkt, daß man die Reichweite der zur Verwendung kommenden Antennen unvergleichlich leichter vergrößern kann als bei den vertikalen Antennen der drahtlosen Telegraphie.

Sehr viel schwerwiegender ist aber die Frage, ob nicht bei den hohen Temperaturen, die zweifellos in größerer Tiefe herrschen, die Leitfähigkeit des Gesteins so groß geworden ist, daß die elektrischen Wellen völlig absorbiert werden. Mit Bestimmtheit läßt sich diese Frage bei dem heutigen Stande der Wissenschaft wohl kaum beantworten, denn wir kennen ja nicht den genauen Wert der in Tiefen von 100 und 1000 km herrschenden Temperaturen und wir wissen auch nicht, in welcher Weise die dort vorhandenen Drucke von 100 000 und mehr Atmosphären die Leitfähigkeit verändern; überhaupt scheint die Frage nach der Abhängigkeit der elektrischen Leitfähigkeit vom Druck bei festen Isolatoren noch nicht behandelt worden zu sein.

Könnte man die erwähnten Fragen beantworten, so ließe sich ohne weiteres die Durchführbarkeit des vorgeschlagenen Experimentes abschätzen. Da das nicht der Fall ist, wird man den umgekehrten Weg einschlagen müssen: Man macht das Experiment und sucht auf diese Weise Aufschluß über die physikalische Konstitution des Erdinnern zu gewinnen.

Von besonderem Reiz ist aber der Gedanke, daß uns hier analoge Fragestellungen wie bei den Erdbebenwellen entgegentreten. Sendet man von einem Punkt der Erdoberfläche elektrische Wellen nach einem anderen Punkte der Erdoberfläche, so wird

[1] Wohltmann, l. c. p. 17.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/;www.zobodat.at

man vielleicht bei der großen Genauigkeit, mit welcher wir kleine Zeitintervalle messen können, das Eintreffen der Oberflächenwellen („Hauptwellen") vom Eintreffen der Erdwellen („Vor-" oder „Nachläufer") trennen können. Oberflächen- und Erdwellen müssen hier natürlich gesondert erregt werden. Setzen wir für Erde $\varepsilon = 4$, so wäre bei einer Distanz von 300 km eine Meßgenauigkeit von 10^{-3} sec. erforderlich. Betrachtet man endlich verschiedene Empfangsstationen, so kann man an die Konstruktion einer „Laufzeitkurve" denken. Natürlich wird man sich jetzt nicht mehr auf die Angaben der astronomischen Uhren beziehen dürfen. Man wird hier — wohl zum erstenmal in einer praktischen Angelegenheit — auf das Grundproblem der Relativitätstheorie geführt: das Problem der physikalischen Gleichzeitigkeit. Als Uhren wird man die Oberflächenwellen benutzen dürfen, da ihre Geschwindigkeit nahezu gleich der Lichtgeschwindigkeit ist. Ihr Eintreffen in zwei vom Sender gleich weit entfernten Punkten würde nach Einstein zwei gleiche Zeitmomente markieren.

Postglaziale Ablagerungen im nordwestlichen Bodenseegebiet.

Von **W. Schmidle**, Konstanz.

(Schluß.)

III. Die Lehme bei Salem.

Die Grube liegt südöstlich vom Bahnhof Salem—Stephansfeld ziemlich mitten in der weiten Talaue des Frickinger Zweigbeckens, 440 m über dem Meere. Etwa 900 m nördlich verläuft die oben beschriebene Düne quer durch das Tal. Die Grube wird von einer Ziegelei ausgebeutet.

a) Das Profil der Nordwand zeigt von oben nach unten:

1. Grundig-sandige, etwas kiesige Ackererde, $\frac{3}{4}$ m mächtig.
2. Verwitterter Flugsand, $\frac{1}{2}$ m mächtig.
3. Flugsand, 1 m mächtig.
4. Gelber, sandiger Niederwaldlehm mit Schnecken, 1 m mächtig.
5. Schwarzer, schlammiger Niederwaldlehm, 1 m mächtig.
6. Gelber, sandiger Lehm, fossilfrei, $1\frac{1}{2}$ m mächtig.
7. Bändertone.
8. Fluvioglaziale Kiese.

Ad 3. Der Dünensand ist grobkörnig, glimmerreich, ungeschichtet, kalkfrei; die Glimmer und trüben Feldspäte sind grubig zerfressen; er steckt voll Limonitröhrchen, zerfällt augenblicklich im Wasser und ist geröll- und fossilfrei: die Körner sind eckig.

Ad 4. Der Lehm ist von No. 3 nicht scharf getrennt. Er zeigt typische Blätterstruktur, ist oben hellgelb und sandig, in

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Centralblatt für Mineralogie, Geologie und Paläontologie

Jahr/Year: 1911

Band/Volume: 1911

Autor(en)/Author(s): Löwy Heinrich

Artikel/Article: Eine elektrodynamische Methode zur Erforschung des Erdinnern. 241-249