

## Die Fizeausche Methode zur Erforschung des Erdinnern.\*)

Von Heinrich Löwy, Göttingen.

Die Versuche über die Ausbreitung elektrischer Wellen durch Gestein, welche ich in letzter Zeit mit Herrn Dr. Gotthelf Leimbach ausgeführt habe, bilden eine erste Grundlage zu einer elektrodynamischen Erforschung des Erdinnern. Ich habe diesen Plan zum erstenmal mit besonderer Hinsicht auf einen Nachweis des Wiechertschen Erdkerns entwickelt. Verschiedene Bedenken, die gegen ein so weit gestecktes Ziel geäußert wurden, haben mich veranlaßt, die näher liegende und für die Praxis wichtige Frage aufzugreifen, ob es möglich ist, Grundwasser und Erzlagerstätten mittels elektrischer Wellen nachzuweisen.<sup>1)</sup> Während es sich bei dem erstgenannten Problem um Distanzen von mehreren tausend Kilometern handelt, haben wir es hier mit Distanzen von höchstens einigen hundert Metern zu tun. Die Frage ist: 1. ob man hoffen kann, auf derartige Distanzen durch das Erdinnere hindurch zu telegraphieren, 2. ob die durch eingelagerte leitfähige Massen bedingten Reflexionen bzw. Absorptionen genügend deutlich ausgeprägt sind, um einen sicheren Nachweis zu ermöglichen.

Vom physikalischen Standpunkt bieten diese Fragen kaum etwas Neues. Es handelt sich da um wohlbekannte Erscheinungen, die nur unter etwas ungewohnten neuartigen Bedingungen betrachtet werden: nicht den klaren, wohl definierten Bedingungen des Laboratoriumsexperiments, sondern den komplizierten Bedingungen, die uns in der Natur entgegenreten. Bei der ungeheuren Mannigfaltigkeit dieser Verhältnisse ist zu befürchten, daß überhaupt eine klare Deutung der Meßergebnisse unmöglich sein würde. Die nähere Untersuchung lehrt, daß diese Befürchtung unbegründet ist. Die Verhältnisse sind kompliziert vom geologischen und petrographischen Standpunkt, sie sind es nicht vom elektrischen Standpunkt, der hier allein in Betracht kommt.

Den ersten Abschätzungen,<sup>2)</sup> die ich in dieser Hinsicht unternommen habe, habe ich die Werte für gesteinsbildende Mineralien zugrunde gelegt, die ich im Landolt-Börnstein vorgefunden habe. Bei den Bergwerksversuchen, welche ich im Juli und im Dezember 1910

\*) Nach dem uns von Herrn Autor zur Verfügung gestellten Sonderabdruck aus der Physikalischen Zeitschrift, XII. Jahrgang, 1911, S. 1001 bis 1004 (Vortrag von der 83. Naturforscherversammlung in Karlsruhe). Siehe auch unsere Zeitschrift 1911, S. 250, 623 usw.

<sup>1)</sup> Bei dieser Gelegenheit möchte ich erwähnen, daß ich nicht der erste bin, der diese naheliegende Anwendungsmöglichkeit der elektrischen Wellen bemerkt hat. Herr Geh. Rat R. Beck (Freiberg i. S.) hat mir kürzlich den Einblick in ein Manuskript gestattet, worin der Bergingenieur Trüstedt die Reflexion elektrischer Wellen zum Nachweis von Erz empfiehlt. Die Schrift trägt den Titel: „Vorschläge zu einer Methode, im Erzgebirge von Pitkäranta nichtmagnetische Erze, insbesondere Kupfernerze, von der Tagesoberfläche aus durch die Geschiebedecke hindurch aufzusuchen bzw. nachzuweisen“. Datum: 21. Februar 1901.

<sup>2)</sup> H. Löwy u. G. Leimbach, Phys. Zeitschr. II, 697, 1910.

mit Herrn Dr. Leimbach ausgeführt habe, wurde zum erstenmal auf eine größere Distanz (1·8 km) durch inhomogenes Gestein hindurch telegraphiert. In einer neuen Arbeit<sup>3)</sup> habe ich die Frage nach der Durchlässigkeit der Erde unter Zugrundelegung eines umfassenderen Beobachtungsmaterials einer neuen Diskussion unterworfen. Ich habe die Leitfähigkeit und Dielektrizitätskonstante von 62 verschiedenen Gesteinen (und Erzen), u. zw. in vollkommen trockenem Zustande bestimmt. Die Messungen ergaben für die überwiegende Mehrzahl der Gesteine Werte der Leitfähigkeit  $\sigma$  (der in Ohm gemessene

$$\text{Widerstand } w = \frac{10^{13}}{\sigma})$$

$$\sigma < 10^5 \text{ bzw. } \sigma < 10^2;$$

also für den Extinktionskoeffizienten  $\beta$

$$\beta < 6 \cdot 10^{-7} \text{ bzw. } \beta < 6 \cdot 10^{-10};$$

das bedeutet, daß auf Distanzen von 10 bzw. 10.000 km von der Antenne noch keine Extinktion der Wellen zu bemerken ist. Zu einem gleich günstigen Resultat führt die Berechnung des Reflexionsvermögens zwischen den verschiedenen Gesteinsarten.<sup>4)</sup>

Hieraus ziehe ich den Schluß, daß es möglich sein muß, in sehr trockenen Gebieten auf große Distanzen durch das Erdinnere hindurch zu telegraphieren. Eine Durchquerung der großen Wüsten auf unterirdischem Wege scheint mir auf Grund dieser Abschätzungen möglich. An anderem Orte habe ich ausgeführt, daß man auch in unseren regenreichen Gegenden hoffen kann, in nicht allzu großer Tiefe auf Gebiete zu stoßen, wo die Werte für trockenes Gestein in Kraft treten.<sup>5)</sup>

Das Aufsuchen von Grundwasser in sehr trockenen Gegenden, insbesondere in Wüsten, mittels Reflexion halte ich für ein fast gelöstes Problem. Die verhältnismäßig geringen Distanzen von einigen hundert Metern, auf die es hier ankommt, sind durch die bisherigen Versuche sichergestellt, und es bleibt nur zu untersuchen, ob die Diskontinuität zwischen dem Grundwasserspiegel und dem darüber befindlichen trockenen Gestein genügend ausgeprägt ist, um eine kräftige Reflexion zu ermöglichen. Das kann nur an Ort und Stelle entschieden werden. Bei der großen praktischen Wichtigkeit dieser Frage möchte ich anregen, einen derartigen Versuch etwa in der Libyschen Wüste, wo sich in Tiefen von 40 bis 50 m weitausgedehnte Wasseransammlungen vorfinden, auszuführen. Es handelt sich da um Versuche, die jeder mit der Praxis der drahtlosen Telegraphie Vertraute machen könnte.

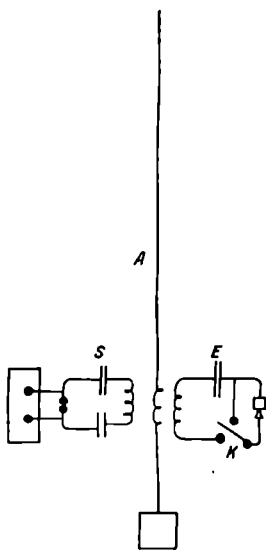
<sup>3)</sup> H. Löwy, „Dielektrizitätskonstante und Leitfähigkeit der Gesteine“, Anm. d. Phys. 36, 125, 1911.

<sup>4)</sup> H. Löwy, l. c., S. 132.

<sup>5)</sup> H. Löwy, „Systematische Erforschung des Erdinnern mittels elektrischer Wellen“, Zeitschr. f. prakt. Geologie 19, 279, 1911.

Die erste von mir angegebene Reflexionsmethode ist nur eine unter verschiedenen Möglichkeiten. Versuche mit zwei 8 m langen Harfenantennen, die auf jeden beliebigen Winkel gegen die Erdoberfläche eingestellt werden konnten, haben nun gezeigt, daß sich bei größeren Neigungswinkeln Reflexionen an der Erdoberfläche in störender Weise geltend machen. Um das zu vermeiden, liegt es nahe, Sende- und Empfangsantenne horizontal, knapp über dem Erdboden und zwar in paralleler Lage auszuspannen. Außer den reflektierten Wellen wirken auf den Empfänger auch die direkt an der Erdoberfläche entlang laufenden Wellen ein und man wird entweder diese direkten Wellen auszuschalten suchen (etwa durch Zwischenschalten eines Drahtes, wie bei den Zenneckschen Abschirmungsversuchen) oder aber ihre Interferenz mit den reflektierten Wellen zum Nachweis benutzen.<sup>9)</sup>

In dem Bestreben, die Wirkung der direkten Wellen zu eliminieren, bin ich auf folgenden Gedanken gekommen:



Ein Sender, der imstande wäre, als Empfänger der von ihm ausgesandten Wellen zu fungieren, könnte natürlich — bei Abwesenheit anderer Sender — nur auf reflektierte Wellen reagieren. Nun ist es aber sehr leicht, einen derartigen „Sender-Empfänger“ zu konstruieren: man legt einfach durch einen Kontaktapparat abwechselnd den Sende- und Empfangsapparat an die Antenne. Bedingung ist, daß der Empfänger nicht früher an die Antenne angelegt wird, als bis die Senderschwingung vollkommen erloschen ist; eine einfache Abschätzung zeigt, daß das für die in Betracht kommenden Kontaktwechsel im allgemeinen möglich sein muß. Die Anordnung, auf die ich so geführt wurde, ist das elektrische Gegenstück zur bekannten Fizeauschen Methode zur Bestimmung der Lichtgeschwindigkeit. Zugleich ist eine Methode zum simultanen Geben und Empfangen gefunden,

<sup>9)</sup> Für praktische Zwecke wird speziell die letzte Methode in Betracht kommen. Man sieht leicht ein, daß bei den in der Praxis vorkommenden Fällen die Wellen interferenzfähig sind.

was für die Praxis der drahtlosen Telegraphie von Wert sein könnte.

Ich habe einen Vorversuch für den Fall induktiver Schaltung ausgeführt. *S* ist der Sender, *E* der Empfänger, *A* eine zirka 15 m hohe geerdete Antenne; *K* der Kontaktapparat, der den Empfangskreis abwechselnd schließt und öffnet. Einem freundlichen Vorschlage von Herrn Dr. H. Busch folgend, habe ich den Synchronismus zwischen *S* und *E* in der Weise hergestellt, daß der Kontaktapparat auf die Achse des Quecksilberturbinenunterbrechers im Primärkreis des Sender-Induktors gesetzt wurde. Mit dieser Anordnung habe ich im Institut für angewandte Elektrizität in Göttingen Signale aus der benachbarten „Versuchsstation für Marine und Heer“ bei gleichzeitigem Betrieb des Senders auffangen können. Mit der Fizeauschen Methode wird es von Wüsten aus vielleicht gelingen, sehr große Tiefen des Erdinnern elektrodynamisch zu erforschen.

#### Diskussion.

Zenneck: Darf ich den Vortragenden fragen, welche Versuche er eigentlich durch das Erdinnere hindurch tatsächlich gemacht hat?

Löwy: Die größte Distanz, die wir bisher durch inhomogenes Gestein (Salz, Anhydrit und Ton) genommen haben, ist 1·8 km. (Zenneck: Und die Antennen?) Wir haben horizontale Antennen von 2 × 80 m verwendet. Quantitative Versuche haben wir nicht gemacht. Aus dem Umstande, daß wir bei zirka 0·8 A in der Sendeantenne den Empfang mit Zeiger galvanometer registrieren konnten, geht aber hervor, daß wir bei jenem Versuche (zwischen den Kaliwerken in Ronnenberg und Weetzen) — wenn es die äußeren Umstände zugelassen hätten — die Distanz um ein Bedeutendes hätten vergrößern können.

Zenneck: Ob man 1·8 km als größte Entfernung bei einer Antenne von 2 × 80 m Länge als einen Erfolg oder Mißerfolg bezeichnet, hängt wohl von dem Standpunkt ab.

Löwy: Die geringen Distanzen von 100 bis 200 m, die in der Praxis beim Nachweis von Grundwasser (durch eine Reflexionsmethode) in Betracht kommen, sind durch die bisherigen Versuche sichergestellt. Aber auch die Überwindung sehr großer Distanzen durch vollkommen trockenes Gestein, halte ich auf Grund der erwähnten Leitfähigkeitsmessungen für möglich. Fraglich bleibt nur, ob man in unseren feuchten Gegenden in praktisch zugänglichen Tiefen Gebiete von der erforderlichen Trockenheit erreichen kann. Diese Frage kann natürlich nur durch direkte Fernversuche an möglichst vielen Punkten der Erde entschieden werden.

Zenneck: Nun, ich wünsche Ihnen zu Ihren Versuchen alles Glück.

Boas: Wenn ich richtig verstanden habe, sollte dieselbe Antenne, die zum Geben benutzt wurde, auch zum Empfang benutzt werden. (Löwy: Ja.) Nun hat der Vortragende gesagt, daß er periodisch die Antenne einmal an dem Empfangskreis und dann an den Sendekreis ankoppelt. Die Zeit von Unterbrechung zur Unter-

brechung müßte da noch so klein sein, daß sie innerhalb einer Schwingungsperiode liegt. (Löwy: innerhalb der Zeit, in der eine Gruppe von Senderschwingungen hinreichend abgeklungen ist.) Es handelt sich um eine Zeit von der Größenordnung: von  $\frac{1}{10000}$  bis  $\frac{1}{100000}$  Sekunde, in der die Unterbrechungsvorrichtung die Verbindung herstellen und wieder trennen müßte.

Löwy: Die Fizeausche Methode ist bei geringen Distanzen der reflektierenden Fläche nicht anwendbar,

weil da der Kontaktapparat zu rasch arbeiten müßte; sie ist bei den derzeit vorhandenen Kontaktapparaten nur zu einer theoretischen Erforschung des Erdinnern ab 10.000 m brauchbar. Zu praktischen Zwecken wird man sich der Interferenzmethode bedienen.

Boas: Zum Empfang der von derselben Antenne ausgesandten Schwingung ist die Zeit zu kurz, um in technisch einwandfreier Weise hergestellt zu werden.

Löwy: Ja, aber nur bis zu etwa 10 km.

## Über die Verwendung von Lunckerthermit bei Flußeisenblöcken.\*)

Von Dr.-Ing. C. Canaris in Duisburg-Wanheim.

(Schluß von S. 487.)

Weitere Versuchsergebnisse enthält Zahlentafel II; die dort aufgeführten Brammen wurden sämtlich auf einem Gespann gegossen. Auch auf analytischem Wege konnten wir die große Gleichmäßigkeit des mit Thermit

behandelten Materiales feststellen. Zahlentafel III gibt einige dieser Analyseergebnisse zusammen mit den entsprechenden Festigkeitszahlen.

**Zahlentafel II.**  
Versuchsergebnisse mit Lunckerthermit.

Bemerkung	Blech-Nr.	Blockgewicht kg	Breite	Dicke	Doppellängelänge mm	Zerreißeigfestigkeit kg/mm <sup>2</sup>	Dehnung %	Probestelle
			des Bleches					
			mm					
Mit Thermit . . . . .	1	1285	2355	11	160	36·8 38·7	32·0 28·5	Fuß Kopf
" "	2	1295	2100	10	120	36·6 37·8	30·0 28·0	Fuß Kopf
" "	3	1295	2355	11	120	36·1 38·2	32·0 29·5	Fuß Kopf
" "	4	1290	2355	11	120	36·4 38·1	31·0 29·5	Fuß Kopf
Ohne "	5	1245	2115	10	770	36·8 41·9	28·0 20·0	Fuß Kopf

**Zahlentafel III.**  
Analysen und Zerreißproben von Thermitblechen.

Blech-Nr.	A n a l y s e n								E n t s p r e c h e n d e Z e r r e i ß p r o b e n			
	K o p f				F u ß				K o p f		F u ß	
	C %	Mn %	P %	S %	C %	Mn %	P %	S %	Festigkeit kg/mm <sup>2</sup>	Dehnung %	Festigkeit kg/mm <sup>2</sup>	Dehnung %
1	0·082	0·40	0·022	0·040	0·078	0·40	0·019	0·038	37·9	28·0	36·2	30·5
2	0·072	0·49	0·048	0·046	0·070	0·48	0·033	0·040	37·7	29·5	36·2	32·0
3	0·076	0·45	0·028	0·020	0·070	0·43	0·026	0·018	38·2	27·5	36·0	31·5
4	0·071	0·47	0·040	0·030	0·069	0·45	0·032	0·026	36·8	28·5	35·1	32·0
5	0·082	0·45	0·028	0·020	0·074	0·43	0·026	0·018	38·6	28·5	36·1	31·0

Derartige Versuche wurden in großer Anzahl durchgeführt und lieferten immer dieselben Ergebnisse. Niemals wurden auch nur einigermaßen bemerkenswerte Luncker gefunden, und die Seigerungen waren trotz äußerster Ausnutzung der Bleche verhältnismäßig sehr gering. Die günstigen Ergebnisse der Einzelversuche ermutigten uns, zur Erzielung eines Massenergebnisses große Mengen von Brammen in möglichst verschiedenen Stückgewichten

mit Lunckerthermit zu behandeln. Es wurde in der Zeit vom 12. Juli bis 31. Oktober 1911, wie in Zahlentafel 4 zusammengestellt, bei 4409 Brammen in Stückgewichten von 1000 bis 8000 kg Lunckerthermit zur Anwendung gebracht. Die Kosten der Behandlung mit Lunckerthermit betragen also M 1·47 pro Tonne Brammen.

Die mit Lunckerthermit behandelten Brammen wurden sämtlich verwalzt, und zwar setzte man sie von vorn-

\*) Nach dem der Redaktion zur Verfügung gestellten Sonderabdruck aus der Zeitschrift „Stahl und Eisen“ 1912, Nr. 8.