

**7. Dielektrizitätskonstante und Leitfähigkeit  
der Gesteine;  
von Heinrich Löwy.**

---

Vor kurzem habe ich in der „Physikalischen Zeitschrift“<sup>1)</sup> eine elektrodynamische Methode zur Erforschung des Erdinnern angegeben, die sich im wesentlichen auf die Erkenntnis stützt, daß die Erde bis zu sehr großen Tiefen hinab für elektrische Wellen durchlässig ist. Dieser Satz von der Durchlässigkeit der Erde enthält zwei gesonderte Aussagen:

1. daß die verschiedenen Gesteinsarten, welche die Erdkruste zusammensetzen, für elektrische Wellen durchlässig sind,
2. daß die Unterschiede zwischen den verschiedenen Gesteinen in elektrischer Beziehung so gering sind, daß keine störenden Reflexionen an den Trennungsfächen auftreten.

In der zitierten Abhandlung habe ich, da für Gesteine keine Bestimmungen der elektrischen Konstanten vorlagen, meinen Abschätzungen die Werte zugrunde gelegt, die ich in der Literatur für gesteinsbildende Mineralien vorgefunden habe. Im folgenden sollen die in jener Abhandlung gezogenen Schlüsse durch ein wesentlich umfassenderes Beobachtungsmaterial gestützt werden.

Tab. I enthält Dielektrizitätskonstante und Leitfähigkeit einer größeren Anzahl von Gesteinen, die mir von Hrn. Prof. Pompeckj aus der Sammlung des Göttinger Geologischen Institutes freundlichst überlassen wurden. Es sind die Hauptrepräsentanten der am Aufbau der Erdkruste beteiligten Gesteine; die am häufigsten vorkommenden Arten sind in mehreren Exemplaren enthalten. Aus jeder Probe wurde je ein Prisma von 1 qcm Querschnitt und 2,5—3 cm Länge (zur Bestimmung

---

1) H. Löwy u. G. Leimbach, *Physik. Zeitschr.* 11. p. 697. 1910; vgl. auch H. Löwy, *Zentralbl. f. Min. usw.* p. 241. 1911 und *Gerlands Beitr. z. Geophysik* 11. 1. Heft 1911, die einen unwesentlich gekürzten Abdruck der erstgenannten Abhandlung enthalten.

Tabelle I.  
Eruptionsgesteine.

Nr.	Gesteine	Fundort	$\epsilon$	$\sigma$	Anmerkung
1	Granit	Okertal (Harz)	7—8	$< 10^2$	
2	"	Mittweida	8—9	$< 10^2$	
3	"	Fuchsberg bei Striegau (Schlesien)	8	$< 10^4$	
4	Porphyraniger Granit	Schriesheim (Bergstraße)	—	$10^2$	
5	Granitit	Steinerne Rinne	8	$< 10^2$	Zerbrochen!
6	"	Limbach b. Penig	—	$10^6$	
7	Horufels	NO.-Gehänge d. Großen Winterberges	7—8	$10^3$	
8	Horufels im Kontakt mit schwarzem Porphyr	N.-Elbingerode	9—10	$10^4$ u. $10^7$	
9	Syenit	Ratssteinbruch im Plauenschen Grunde bei Dresden	—	$10^7$	
10	Syenit (granitartig)	Plauenscher Grund	13—14	$10^3$	
11	Elsolithsyenit	Ditrobach bei Ditro (am rechten Ufer)	8—9	$< 10^2$	
12	Basalt	Kalbe am Meißner	12	$5 \cdot 10^4$	
13	Melaphyr	Schneidemüllerskopf (Kammersberg)	13	$10^4$	
14	Glimmermelaphyr	Lehnberg bei der Elbersburg (S.-Harz)	14—15	ca. $10^4$	
15	Diabas	Koblenz	—	$5 \cdot 10^4$	
16	Diorit	Lemberg	8—9	$2 \cdot 10^4$	
17	Tonporphyr	b. Elend, an der Chaussee nach Andreasberg	13	$7 \cdot 10^3$	
18	Trachyt	Monte Civino	8—9	$< 10^2$	
19	Gabbro	Weilburg (Nassau)	—	$10^7$	
20	Serpentin	Breiterberg b. Waldheim	—	$3 \cdot 10^7$	Das dünne Plättchen von gelbl., metall. glänzenden Streifen durchzogen

*Kristalline Schiefer.*

21	Gneiß	?		
22	Feinkörniger grauer Gneiß	Annaberg	8—9	$< 10^4$
23	Gneiß	Mont Brevent (Chamouny)	11—12	$10^3$
24	Gneiß mit Hornblende	Liebenstein (Thüringer Wald)	14—15	$< 10^4$
25	Diorit-Gneiß	Bornal (Kyffhäusergebirge)	12	$< 10^4$
26	Körnig-faserig-Strieftgneiß	Nerotal (Wiesbaden)	14—15	$5 \cdot 10^4$
27	Sericitschiefer	Wiesbaden	—	$5 \cdot 10^3$
28	Glummerschiefer	Riffelberg b. Zernatt	11—12	$10^2$
29	"	Trusental b. Brotterode	—	$< 5 \cdot 10^3$
30	Phyllit	Tapia, St. Louis (Argentinien)	16—17	$10^3$
31	Quarz-Phyllit	Yerba buena b. Tapia (Argent.)	13	$< 10^4$
32	Quarzit-schiefer	Weg von Mina vieja nach Bajás de Villis (Argentinien)	8—11 9	$< 10^4$ $6 \cdot 10^3$

Dünnes Plättchen zerbrochen!  
desgl.

*Kristalline Sedimente.*

33	Anhydrit	W. Walkenried (Harz)	7	$< 10^3$
34	Stringocephalenkalk (Mitteldevon)	Lindener Mark (b. Gießen)	8—9	$< 10^2$
35	Körniger Kalk im Phyllitlagernd	Unteres Martiltal (Orlergebiet)	8—9	$< 10^2$
36	Unterer Muschelkalk	Hardeggen b. Göttingen	12	$< 10^3$
37	Wüstengartenquarzit	Sandberg b. Übertal	7	$5 \cdot 10^3$
38	Korallen-Dolomit	Osterwald S.O. Koppenbrügge	8—9	?

Zerbrochen!

*Klastische Sedimente.*

39	Mittlerer Buntsandstein	S.O.-Hang d. Benthaler Berges b. Hannover	9	$10^3$
40	Schilfsandstein (obere Lage)	Stuttgart	11	$2 \cdot 10^3$
41	Grauwacke	Brandhai s. Straße von Sorge n. Braunlage	9—10	$5 \cdot 10^2$
42	Tonschiefer	Schlangenberg im Altai	—	$4 \cdot 10^{12}$

Von gelbl., metall. glänzenden Streifen durchzogen

der Leitfähigkeit) und je zwei Plättchen von 1 qcm Querschnitt und 0,08 cm Dicke (zur Bestimmung der Dielektrizitätskonstante) geschnitten.<sup>1)</sup> Die doppelte Zahl der dünnen Plättchen hatte den Zweck, ein angenähertes Urteil über die Homogenität des Gesteins zu ermöglichen.

Eine erste Messung der Leitfähigkeit mit Gleichspannung (und Quecksilberkontakten) ergab keine völlig konstante Einstellung der Galvanometernadel und ich bin daher zur Messung mit Wechselstrom übergegangen (Wheatstonesche Brücke mit zwei parallel geschalteten Kondensatoren). Die Messung wurde mit dem bekannten Nernstschen Instrumentarium ausgeführt, das mir von Hrn. Geh.-Rat Tammann freundlichst zur Verfügung gestellt wurde. Zur Erzielung guter Kontakte wurden die Endflächen mit einem weichen Bleistifte graphitiert und zwischen zwei Kissen von 16 aufeinanderliegenden Stanniolblättchen aneinandergedrückt.

Bei dieser Messung wurde für die überwiegende Mehrzahl der Gesteine Werte der Leitfähigkeit  $\sigma < 10^6$  gefunden. Hierbei ist  $\sigma = 4\pi c^2 \sigma_{mg}$ , wo  $c$  die Lichtgeschwindigkeit und  $\sigma_{mg}$  die elektromagnetisch in C.G.S.-Einheiten gemessene Leitfähigkeit darstellen. (Den in Ohm gemessenen Widerstand  $w$  erhält man aus  $w = 10^{13}/\sigma$ .) Für den Extinktionskoeffizienten  $\beta^2$ , der bei kleinen Werten von  $\sigma^2/\varepsilon^2 n^2$  ( $\varepsilon$  Dielektrizitätskonstante,  $n$  Frequenz) in erster Annäherung

$$\beta = \frac{\sigma}{2c\sqrt{\varepsilon}}$$

lautet, erhält man also

$$\beta < 6 \cdot 10^{-6}$$

falls wir (den realen Verhältnissen entsprechend)  $\varepsilon = 8$  setzen. Das bedeutet, daß in einem derartigen Medium in 0,1 bzw. 1 km Entfernung vom Oszillator (Antenne) sich noch keine Auslöschung der Wellen fühlbar macht; man kann also hoffen, das Zehnfache der genannten Distanzen zu überwinden.

Der so gemessene Wert der Leitfähigkeit ist nun aber sehr wesentlich durch das in dem Gestein enthaltene Wasser mitbestimmt und stellt demgemäß gar keine für das Gestein

1) Von der Firma Voigt & Hochgesang (R. Brunnée) Göttingen.  
2) l. c. p. 699 (Zentralbl. p. 234; Gerlands Beitr. p. 4).

charakteristische Konstante dar. Ich habe daher die Messung an getrockneten Gesteinen wiederholt. Die Proben wurden in einen Exsikkator gebracht und 15 Stunden im Vakuum gelassen. Bei der Messung befand sich die Probe ebenfalls in einem luftdicht abgeschlossenen Raum, um die beim Herausnehmen aus dem Exsikkator möglicherweise entstehende Oberflächenfeuchtigkeit durch Nachtrocknen zu entfernen. Diese Vorsichtsmaßregel hat sich als überflüssig erwiesen. Die Verminderung der Leitfähigkeit durch Trocknung war so bedeutend, daß die Messung mit Gleichspannung (2 bzw. 220 Volt) und Spiegelgalvanometer vorgenommen werden mußte. Die Einstellung des Galvanometers war nunmehr völlig konstant. Die ganze Messungsreihe wurde zweimal ausgeführt; das zweite Mal war das Gestein statt 15 bloß 10 Stunden im Exsikkator gelassen worden. Das völlig übereinstimmende Resultat zeigt, daß 10 Stunden ausgereicht haben, um das ganze im Gestein enthaltene Wasser daraus zu entfernen (sofern es sich nicht in abgeschlossenen Hohlräumen befindet). Die so gemessenen Werte für die Leitfähigkeit ( $\sigma$ ) sind in Tab. I enthalten.<sup>1)</sup> Die Werte für die feuchten Gesteine habe ich ihrem unbestimmten Charakter entsprechend in die Tabelle nicht aufgenommen.

Die Dielektrizitätskonstante wurde ebenfalls an getrockneten Proben mit der Nernstschen Methode bestimmt. Auch hier wurden zwei Messungsreihen aber an verschiedenen Plättchen vorgeommen. Die gute Übereinstimmung der Werte deutet auf ziemliche Homogenität des Materials. Man ersieht das klar aus den folgenden beliebig herausgegriffenen Beispielen:

Nr.	Gestein	Plättchen I		Plättchen II
		$\alpha$	$\beta$	
10	Syenit	13,7	14	13—14
31	Quarzphyllit	8	8—9	11
33	Anhydrit	7	7	7
35	körniger Kalk	9	9	8—9

1) Die beiden in Nr. 8 angegebenen Werte stammen von zwei verschiedenen Proben (einem 2,5 cm langen Prisma und 0,08 cm dicken Plättchen) und deuten auf starke Inhomogenität des Gesteins.

Nr. 31 stellt die größte Inhomogenität dar, die bei diesen Messungen gefunden wurde. Der Meßkondensator war direkt auf Dielektrizitätskonstanten mit Hilfe von sieben verschiedenen Eichplättchen (Paraffin, Quarz  $\parallel$ ,  $\perp$ , Kalkspat  $\parallel$ ,  $\perp$ , Zirkon  $\parallel$ ,  $\perp$ ) geeicht; die so gefundenen Werte sind unter I $\beta$  und II eingezeichnet. Die Werte Nr. 10 sind extrapoliert. Die Werte unter I $\alpha$  sind aus den Dimensionen des Kondensators unter Zugrundelegung des Quarz als Eichkörper berechnet worden.

Die Eichung wurde mehrmals während der Messungen wiederholt. Wo kein Wert der Dielektrizitätskonstante angegeben ist, konnte derselbe wegen zu großer Leitfähigkeit des Plättchens nicht genau ermittelt werden. Nur bei Nr. 4, 26 und 28 zerbrach das Plättchen vor der Messung. Der Fehler beträgt 10—20 Proz.; größere Genauigkeit hätte mit Hinblick auf die geringe Homogenität des Materials wenig Wert. Doch wäre — zwecks leichterer Handhabung — bei Wiederholung derartiger Messungen die Verwendung größerer Gesteinsplättchen (größerer Kapazitäten) zu empfehlen.

Es wurde endlich die Leitfähigkeit einer kleinen Zahl von gesteinsbildenden Mineralien bestimmt<sup>1)</sup>, und zwar von Biotit (aus Basalt), Gips, Spinell, Olivin, Zirkon, Aragonit, Titanit und Hypersthen und durchweg  $\sigma < 10^2$  gefunden.

Tab. II enthält die Leitfähigkeit einer kleinen Anzahl von Erzen, die aus der kgl. Mineralienniederlage zu Freiberg i. S. stammen.<sup>2)</sup> Hrn. Geh.-Rat R. Beck (Freiberg) bin ich für die freundliche Auswahl der Proben zu größtem Danke verpflichtet. Wie man sieht, besitzen die Erze Nr. 43 bis 52 metallische Leitfähigkeit, Nr. 53 bis 62 hingegen sind ganz ausgezeichnete Isolatoren. Speziell hervorgehoben sei die geringe Leitfähigkeit von Braun- und Steinkohle, die sich also dem Nachweis mittels meiner Methode leider entziehen.

Die Leitfähigkeit  $\sigma$  der überwiegenden Mehrzahl der trockenen Gesteine ist — wie Tab. I lehrt — kleiner als  $10^5$ ,

1) Die ich Hrn. Prof. Mügge (Göttingen) verdanke.

2) Auf die Wichtigkeit derartiger Messungen mit Hinblick auf die sogenannten „elektrischen Schürfmethode“ hat vor langer Zeit Th. Erhard („Jahrb. f. d. Berg- u. Hüttenwesen im Königreich Sachsen“ 1885) hingewiesen.

Tabelle II.  
Leitfähigkeit der Erze.

Nr.	Gestein	Fundort	$\sigma$	Anmerkung
43	Magnetkies	Bodenmais (Bayern)	$2 \cdot 10^{14}$	
44	Magneteisenerz (Rutschfläche)	Dannemora (Schweden)	$10^{13}$	
45	Magneteisenerz	St. Christoph zu Breitenbrunn in Sachsen	$10^{12}$	
46	Glanzeisenerz mit Magneteisenerz	Gellivaara (Schweden)	$5 \cdot 10^{10}$	
47	Bleiglanz (Bleischweif)	Freiberg	$2 \cdot 10^{13}$	
48	Bleiglanz	?	$2 \cdot 10^{12}$	
49	Buntkupfererz	Chile	$2 \cdot 10^{13}$	
50	Kupferkies	Kunz Kupfergrube auf Jeso (Hokkaida, Japan)	$5 \cdot 10^{13}$	
51	Schwefelkies	Rio (Insel Elba)	$10^{14}$	
52	Molybdänglanz	Kingsgate bei Gleen Innes (Neusüdwales)	$2 \cdot 10^{11}$	
53	Brauneisenstein mit Spateisensteinkern	Grube Jean bei Wetzlar	$10^4$	$\epsilon = 10-11$
54	Roteisenstein (79,5 Fe)	Grube Eleonore bei Wetzlar	$10^4$	$\epsilon = \text{ca. } 25$
55	Oolithisches Roteisenerz	Canada	$2 \cdot 10^6$	
56	Blutstein	Platten (Böhmen)	$2 \cdot 10^5$	
57	Zinnober	Idria (Krain)	$< 5 \cdot 10^3$	
58	Zinkblende	Freiberg (Sachsen)	$7 \cdot 10^4$	
59	Antimonit	Mossiac (Frankreich)	$2 \cdot 10^4$	
60	Wolframit	Zinnwald bei Altenberg (Erzgebirge)	$10^6$	
61	Steinkohle	?	$< 5 \cdot 10^3$	
62	Braunkohle	?	$< 5 \cdot 10^3$	

bzw. kleiner als  $10^2$ . Dem entsprechen Werte von  $\beta < 6 \cdot 10^{-7}$ , bzw.  $\beta < 6 \cdot 10^{-10}$ ; daraus folgt, daß auf Distanzen von 10 bzw. 10000 km von der Antenne keinerlei Extinktion der Wellen zu bemerken ist.

Fragen wir nun, inwieweit dieses günstige Resultat durch die Aufeinanderfolge verschiedener Gesteinsschichten modifiziert wird, so dürfen wir — wie eine einfache Abschätzung lehrt — die durch Verschiedenheiten der Leitfähigkeit bedingten Reflexionen völlig außer acht lassen. Von größerem Einfluß sind Verschiedenheiten der Dielektrizitätskonstante, worauf ich schon früher<sup>1)</sup> hingewiesen habe. Für  $\sigma \leq 10^5$  und Schwingungsdauer  $\tau \leq 3 \cdot 10^{-6}$  (entsprechend den in der Praxis verwandten Wellenlängen bis zu 1000 m), erhält man in dem extremen Falle  $\epsilon_1 = 7$ ,  $\epsilon_2 = 17$  für das Reflexionsvermögen  $r$

$$r = 0,05 ;$$

für  $\epsilon_1 = 7$ ,  $\epsilon_2 = 10$  sinkt  $r$  bereits auf  $r = 0,005$ ; bei der überwiegenden Mehrzahl der Kombinationen ist es ganz zu vernachlässigen.

In sehr trockenen Gebieten — nur auf solche beziehen sich die obigen Ergebnisse — wird man also mit der Überwindung sehr großer Distanzen rechnen dürfen. So halte ich z. B. die Möglichkeit, auf unterirdischem Wege durch die Sahara hindurchzutelegraphieren auf Grund der durchgeführten Abschätzungen für sehr wahrscheinlich. Von der ungeheueren Trockenheit solcher Wüstengebiete erhält man einen Begriff, wenn man erfährt, daß beispielsweise in der Sahara Kamelsspuren vom Jahre 1877 im Jahre 1892 (also nach 15 Jahren) noch völlig deutlich zu erkennen waren. Dergleichen wird berichtet, daß die Spur eines Wagens, den eine Goldsucherkarawane durch die Kalifornische Wüste führte, noch nach 11 Jahren so frisch war, als ob sie erst entstanden wäre.<sup>2)</sup>

Eine andere Frage ist, ob man in unseren regenreichen Gegenden an eine derartige drahtlose Telegraphie durch das Erdinnere auf große Distanzen denken kann. Auch hier wird man in größerer Tiefe auf Gebiete stoßen, die von den atmosphärischen Wässern nicht erreicht werden, wo also die

---

1) H. Löwy, l. c. p. 700.

2) Joh. Walther, „Das Gesetz der Wüstenbildung“ (herausgegeben mit Unterstützung der kgl. Akad. d. Wiss. Berlin 1900) p. 94.

in Tab. I angegebenen Werte in Kraft treten. Durch Verlegung des Wellenausbreitungsvorganges in jene Regionen wird man also auch hier mit der Überwindung größerer Distanzen rechnen dürfen, wie ich an anderem Orte des näheren zu zeigen versucht habe.<sup>1)</sup> Das letzte Wort in dieser Frage werden direkte Fernversuche nach Art der bereits unternommenen zu sprechen haben.

Göttingen, Juli 1911.

---

1) H. Löwy, „Systematische Erforschung des Erdinnern mittels elektrischer Wellen“, *Zeitschr. f. prakt. Geologie* 19. p. 279. 1911.

(Eingegangen 27. Juli 1911.)

---