

Dielektrizitätskonstante und Leitfähigkeit der Gesteine.Von **Heinrich Löwy** in Göttingen.

Vor kurzem habe ich in der „Physikalischen Zeitschrift“¹ 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 Trennungsf lächen 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.

Tabelle I enthält Dielektrizitätskonstante und Leitfähigkeit einer größeren Anzahl von Gesteinen, die mir von Herrn Professor ПОМРЕКЪ 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 der Leitfähigkeit) und je zwei Plättchen von 1 qcm Querschnitt und 0,08 cm Dicke (zur Bestimmung der Dielektrizitätskonstante) geschnitten². 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 (WHEATSTONE'sche Brücke mit zwei parallel geschalteten Kondensatoren). Die Messung wurde mit dem bekannten NERNST'schen Instrumentarium ausgeführt, das mir von Herrn Geheimrat TAMMANN freundlichst zur Verfügung gestellt wurde. Zur Erzielung guter Kontakte wurden die Endflächen mit einem

¹ LÖWY und LEIMBACH, Phys. Zeitschr. 11. 1910. p. 697; vergl. auch H. LÖWY, dies. Centralbl. 1911. p. 241 und GERLAND's Beitr. z. Geophysik. 11. 1. H. 1911, die einen unwesentlich gekürzten Abdruck der erstgenannten Abhandlung enthalten.

² Von der Firma VOIGT & HOCHGESANG (R. BRUNNÉE), Göttingen.

weichen Bleistifte graphitirt und zwischen zwei Kissen von 16 aufeinanderliegenden Staniolblättchen aneinandergedrückt.

Bei dieser Messung wurde für die überwiegende Mehrzahl der Gesteine Werte der Leitfähigkeit $\sigma \leq 10^6$ gefunden. Hierbei ist $\sigma = 4\pi c^2 \sigma_{mg}$, wo c die Lichtgeschwindigkeit und σ_{mg} die elektromagnetisch in CGS-Einheiten gemessene Leitfähigkeit darstellen. (Den in Ohm gemessenen spezifischen Widerstand n erhält man

Tabelle I.
Eruptivgesteine.

Gesteine	Fundort	ϵ	σ	Anmerkung
1. Granit	Okertal (Harz)	7—8	$< 10^2$	
2. „	Mittweida	8—9	$< 10^2$	
3. „	Fuchsberg bei Striegau (Schlesien)	8	$< 10^4$	
4. Porphyrtartig. Granit	Schriesheim (Bergstraße) .	—	10^2	Zerbrochen.
5. Granitit	Steinerne Rinne	8	$< 10^2$	
6. „	Limbach b. Penig	—	10^6	
7. Hornfels	NO.-Gehänge d. Gr. Winter- berges	7—8	10^3	
8. Hornfels im Kon- takt mit schwarzem Porphyr	N. Elbingerode	9—10	10^4 u. 10^7	
9. Syenit	Ratssteinbruch i. Plauen- schen Grunde b. Dresden	—	10^7	
10. „ (granitartig)	Plauenscher Grund . . .	13—14	10^3	
11. Eläolithsyenit . . .	Ditrobach b. 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 b. d. Elbersburg (S. Harz)	14—15	ca. 10^4	
15. Diabas	Koblenz	—	$5 \cdot 10^4$	Dünn. Plättchen von gelblichen, metallisch glän- zenden Streifen durchzogen.
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 .	—	$3 \cdot 10^7$	

Kristalline Schiefer.

Gesteine	Fundort	ϵ	σ	Anmerkung
21. Gneis	?	8—9	$< 10^4$	
22. Feinkörnig. grauer Gneis	Annaberg	11—12	10^2	
23. Gneis	Mont Brevent (Chamouny)	14—15	$< 10^4$	
24. Gneis m. Hornblende	Liebenstein (Thür. Wald)	12	$< 10^4$	
25. Diorit-Gneis . . .	Borntal, Kyffhäusergebirge	14—15	$5 \cdot 10^4$	
26. Körniger faseriger Sericitgneis . . .	Nerotai b. Wiesbaden . .	—	$5 \cdot 10^3$	Zerbrochen.
27. Sericitschiefer . .	Wiesbaden	11—12	10^2	
28. Glimmerschiefer . .	Riffelberg b. Zermatt . .	—	$< 5 \cdot 10^3$	Zerbrochen.
29. „	Trusental b. Brotterode .	16—17	10^3	
30. Phyllit	Tapia, S. Louis (Argentin.)	13	$< 10^4$	
31. Quarz-Phyllit . . .	Yerba buena bei Tapia (Argentinien)	8—11	$< 10^4$	
32. Quarzitschiefer . .	Weg von Mina vieja n. Bajs de Vilis (Argentinien) .	9	$6 \cdot 10^3$	

Kristalline Sedimente.

33. Anhydrit	W. Walkenried (Harz) . .	7	$< 10^2$	
34. Stringocephalenkalk (Mitteldevon) . . .	Lindener Mark (b. Gießen)	8—9	$< 10^2$	
35. Körniger Kalk im Phyllit lagernd . .	Unteres Martilltal (Ortler- gebiet)	8—9	$< 10^2$	
36. Unterer Muschel- kalk	Hardeggen b. Göttingen .	12	$< 10^2$	
37. Wüstengarten- Quarzit	Sandberg b. Überthal . .	7	$5 \cdot 10^2$	
38. Korallen-Dolomit .	Osterwald S.O. Koppen- brücke	8—9	?	Zerbrochen.

Klastische Sedimente.

39. Mittlerer Buntsand- stein	SO.-Hang d. Benther Berges b. Hannover	9	10^2	
40. Schilfsandstein (Obere Lage) . . .	Stuttgart	11	$2 \cdot 10^3$	
41. Grauwacke	Brandhai, s. Straße von Sorge nach Braunlage .	9—10	$5 \cdot 10^2$	
42. Tonschiefer	Schlangenberg im Altai .	—	$4 \cdot 10^{12}$	von gelbl. metal- lisch glänzenden Streifen durch- zogen.

aus $n = \frac{10^{13}}{\sigma}$.) Für den Extinktionskoeffizienten β^1 , der bei kleinen Werten von $\frac{\sigma^2}{\epsilon^2 n^2}$ (ϵ Dielektrizitätskonstante, n Frequenz) in erster Annäherung

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

lautet, erhält man also

$$\beta \leq 6 \cdot 10^{-6},$$

falls wir den realen Verhältnissen entsprechend $\epsilon = 8$ 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 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 zweitemal war das Gestein statt 15 bloß 10 Stunden im Exsikkator gelassen worden. Das völlig übereinstimmende Resultat zeigt, daß zehn 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 (σ) sind in Tabelle I enthalten². 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 bekannten NERNST'schen Methode bestimmt. Auch hier wurden zwei Messungsreihen aber an verschiedenen Plättchen

¹ l. c. p. 699 (dies. Centralbl. p. 244; GERLAND's Beitr. p. 4).

² Die beiden in No. 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.

vorgenommen. Die gute Übereinstimmung der Werte deutet auf ziemlich Homogenität des Materials. Man ersieht das klar aus den folgenden beliebig herausgegriffenen Beispielen:

No.	Gestein	Plättchen I		Plättchen II
		α	β	
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

No. 31 stellt die größte Inhomogenität dar, die bei diesen Messungen gefunden wurde. Der Meßkondensator war direkt auf Dielektrizitätskonstanten mit Hilfe von 7 verschiedenen Aichplättchen (Paraffin, Quarz //, \perp , Kalkspat //, \perp , Zirkon //, \perp) geacht; die so gefundenen Werte sind unter I β und II eingezeichnet¹. Die Werte unter I α sind aus den Dimensionen des Kondensators unter Zugrundelegung des Quarz als Aichkörper berechnet worden. Die Aichung 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 No. 4, 26, 28 zerbrachen die Plättchen vor der Messung. Der Fehler beträgt 10—20 %; größere Genauigkeit hätte wohl 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 bestimmt², und zwar von Biotit (aus Basalt), Gips, Spinell, Olivin, Zirkon, Aragonit, Titanit und Hypersthen und durchweg $\sigma < 10^2$ gefunden.

Tabelle II enthält die Leitfähigkeit einer kleinen Anzahl von Erzen³, die aus der königl. Mineralienniederlage zu Freiberg i. S. stammen. Herrn Geheimrat R. BECK (Freiberg) bin ich für die freundliche Auswahl der Proben zu größtem Danke verpflichtet. Wie man sieht, besitzen die Erze No. 43—52 metallische Leitfähigkeit, No. 53—62 hingegen sind ganz ausgezeichnete Isolatoren. Speziell hervorgehoben sei die geringe Leitfähigkeit von

¹ Die Werte No. 10 sind extrapoliert.

² die ich Herrn Prof. MÜGGE (Göttingen) verdanke.

³ Auf die Wichtigkeit derartiger Messungen mit Hinblick auf die sogen. „elektrischen Schürfmethode“ hat vor langer Zeit ERHARD (Jahrb. f. d. Berg- und Hüttenwesen im Kgr. Sa. 1885) hingewiesen.

Tabelle II.
Leitfähigkeit der Erze.

Gesteine	Fundort	σ	Anmerkung
43. Magnetkies	Bodenmais (Bayern)	2.10^{14}	
44. Magneteisenerz (Rutschfläche)	Dannemora (Schweden)	10^{13}	
45. Magneteisenerz	St. Christoph zu Breitenbrunn in Sachsen	10^{12}	
46. Glanzeisenerz mit Magneteisenerz	Gellivaara (Schweden)	5.10^{10}	
47. Bleiglanz (Bleischweif)	Freiberg	2.10^{13}	
48. Bleiglanz	2.10^{12}	
49. Buntkupfererz	Chile	2.10^{13}	
50. Kupferkies	Kunz' Kupfergrube auf Jeso (Hokkaido, Japan)	5.10^{13}	
51. Schwefelkies	Rio (Insel Elba)	10^{14}	
52. Molybdänglanz	Kingsgate b. Gleen Innes (Neu-Süd-Wales)	2.10^{11}	
53. Brauneisenstein mit Spateisensteinkern.	Grube Jean bei Wetzlar	10^4	$\epsilon = 10-11$
54. Roteisenstein (79,5 Fe)	Grube Eleonore b. Wetzlar	10^4	$\epsilon = \text{ca. } 25$
55. Oolithisches Roteisenerz	Kanada	2.10^6	
56. Blutstein	Platten (Böhmen)	2.10^5	
57. Zinnober	Idria (Krain)	$< 5.10^3$	
58. Zinkblende	Freiberg (Sachsen)	7.10^4	
59. Antimonit	Mossiac (Frankreich)	2.10^4	
60. Wolframit	Zinnwald b. Altenberg (Erzgebirge)	10^6	
61. Steinkohle	?	$< 5.10^3$	
62. Braunkohle	?	$< 5.10^3$	

Braun- und Steinkohle, die sich also dem Nachweis mittels meiner Methode leider entziehen.

Die Leitfähigkeit σ der überwiegenden Mehrzahl der trockenen Gesteine ist — wie Tabelle I lehrt — kleiner als 10^5 , bzw. kleiner als 10^2 . Dem entsprechenden Werte von $\beta < 6,10^{-7}$, bzw. $\beta < 6,10^{-10}$; daraus folgt, daß auf Distanzen von 10 bzw. 10000 km von der Antenne noch 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 früher¹ hingewiesen habe. Für $\sigma < 10^5$ und Schwingungsdauer $\tau < 3 \cdot 10^{-6}$ (entsprechend den in der Praxis verwandten Wellenlängen bis zu 1000 m) erhält man in dem extremen Falle $\varepsilon_1 = 7$, $\varepsilon_2 = 17$ für das Reflexionsvermögen r

$$r = 0,05;$$

für $\varepsilon_1 = 7$, $\varepsilon_2 = 10$ 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 hindurch zu telegraphieren, auf Grund der durchgeführten Abschätzungen für sehr wahrscheinlich. Von der ungeheueren Trockenheit solcher Wüstengebiete erhält man einen Begriff, wenn man erfährt, daß in der Sahara Kamelspuren vom Jahre 1877 im Jahre 1892 (also nach 15 Jahren) noch völlig deutlich zu erkennen waren. Dergleichen wird berichtet, daß die Spuren eines Wagens, den eine Goldsucherkarawane durch die Kalifornische Wüste führte, noch nach 11 Jahren so frisch war, als ob sie erst entstanden wäre².

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 in Tabelle 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 habe³. Das letzte Wort in dieser Frage werden direkte Fernversuche nach Art der bereits unternommenen zu sprechen haben.

Göttingen, Juli 1911.

¹ l. c. p. 700.

² JOH. WALTHER, Das Gesetz der Wüstenbildung. Herausgegeben mit Unterstützung der K. Akad. d. Wiss. Berlin 1900, p. 94.

³ H. LÖWY, Systematische Erforschung des Erdinnern mittels elektrischen Wellen. Zeitschr. f. prakt. Geologie. XIX. 1911. p. 279.

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: [Dielektrizitätskonstante und Leitfähigkeit der Gesteine. 573-579](#)