

**11. Leitungswiderstand und specifische
Wärme einiger Eisenoxyde und Eisensulfide;
von Anton Abt.**

(Vorgetragen in der naturw. Abth. der med.-naturw. Section des
Siebenbürger Museumvereins, 27. November 1896.)

Viele der physikalischen Eigenschaften der Metalloxyde und Sulfide, namentlich die magnetischen und thermoelectrischen, ferner die Leitungsfähigkeit und die specifische Wärme der massigen, nicht in Krystallen vorkommenden Mineralien, welche oft von hervorragender Bedeutung und daher charakteristisch für die betreffenden Mineralien sind, wurden bisher entweder gar nicht oder nur wenig, und meist nur qualitativ, selten aber quantitativ bestimmt.

Mit der Untersuchung des natürlichen und künstlich erzeugten Magnetismus der Eisenerze seit Jahren beschäftigt, hatte ich für diese Untersuchungen aus verschiedenen Fundorten Ungarns viel Material gesammelt. Um dieses gehörig zu verwerthen, entschloss ich mich, ausser den magnetischen auch andere physikalische Eigenschaften desselben zu untersuchen und numerisch zu bestimmen.

Ich erlaube mir zunächst die Versuchsergebnisse mitzutheilen, welche ich bezüglich der Leitungswiderstände und specifischen Wärmen einiger Eisen- und Nickelerze erhalten habe.

Leitungswiderstände.

Die Messung der Leitungswiderstände dieser Mineralien wurde mit einem Universalgalvanometer von Siemens ausgeführt, dessen Construction bekanntlich auf die Wheatstone'sche Brücke gegründet ist und daher grosse Genauigkeit der Bestimmung ermöglicht. Die untersuchten Mineralien waren frei von Rissen und Sprüngen, sodass daraus vierseitige Prismen mit scharfen Kanten und gleichem Querschnitt geschnitten werden konnten. Diese Prismen, deren Längen und Querschnitte genau gemessen wurden, legte ich zwischen zwei Blei- oder Kupferplatten, an denen dicke kurze Kupferdrähte an-

gelöthet waren; dann wurden die Platten mittels einer geeigneten Schraubenpresse aneinander gedrückt, bis ein guter Contact mit den Endflächen der Prismen erreicht wurde.

Nachdem die Kupferdrähte und die Pole der Stromquelle mit dem Universalgalvanometer verbunden waren, begann die Messung, bei welcher der Strom eines oder mehrerer Daniell'scher Elemente benutzt wurde. Bei jeder Messung wurde der Druck solange gesteigert, bis ein guter Contact und ein möglichst constanter Widerstand erreicht wurde. Jede Messung wurde wegen der dabei beobachteten unvermeidlichen Schwankungen der Magnetnadel infolge der Peltierwirkung 10, 15 bis 20 mal wiederholt und aus sämmtlichen Werthen das Mittel genommen. Bei dem grossen Widerstande dieser Körper konnte der sehr geringe Widerstand der Endplatten und der Zuleitungsdrähte vernachlässigt werden.

Der Grad der Uebereinstimmung der einzelnen Beobachtungsergebnisse ist aus der Tabelle I ersichtlich, in welcher α die an der äusseren Kreistheilung auf der *A*- oder *B*-Seite abgelesene Bogenlänge des im Kreise gespannten Platindrahtes vom Nullpunkte bis zu jener Stelle des beweglichen Contactes bedeutet, bei welcher die Nadel sich genau auf Null einstellte; m ist der im andern Brückenarme eingeschaltete,

$$\frac{150 \pm \alpha}{150 \mp \alpha} m$$

der zu bestimmende Widerstand in Ohm-Einheiten, wobei das obere Vorzeichen der zweiten Glieder für *A*, das untere für *B* giltig ist.

Tabelle I.

Mineral	m	α	$\frac{150 \pm \alpha}{150 \mp \alpha}$	Mittel
Chalkopyrit	10	129,2 <i>B</i>	0,742	0,762
	10	129,2 „	0,742	
	10	128,5 „	0,770	
	10	128,4 „	0,774	
	10	128,6 „	0,766	
	1	20,6 „	0,758	
	1	20,2 „	0,763	
	1	19,7 „	0,768	
	1	19,7 „	0,768	
	1	19,5 „	0,770	

Mineral	m	α	$150 \pm \alpha$ $150 \mp \alpha$	Mittel
Magnetit	100	91,8 <i>A</i>	413,8	417,6
	100	92,4 „	421,0	
	100	92,2 „	419,0	
	100	92,2 „	419,0	
	100	92,4 „	421,0	
	1000	61,8 <i>B</i>	416,2	
	1000	62,0 „	415,0	
	1000	62,0 „	415,0	
	1000	61,5 „	418,0	
	1000	61,5 „	418,0	

Wie ersichtlich, beträgt die grösste Abweichung der einzelnen Beobachtungsergebnisse vom Mittel bei dem Magnetit nur 0,9 Proc. und bei dem Chalkopyrit 2,3 Proc. Eine grössere Uebereinstimmung konnte aus dem angeführten Grunde nicht erreicht werden. Mit derselben Genauigkeit von 1—2 Proc. sind alle Widerstände bei einer Temperatur von nahezu 20° C. bestimmt. Die erhaltenen, in Ohm ausgedrückten Widerstände wurden aus den bekannten Maassen der Prismen und Cylinder unter der Voraussetzung, dass der Widerstand in allen Schichten der Prismen derselbe ist, auf 1 cm³, d. i. auf 1 cm Länge und 1 cm² Querschnitt reducirt. Die so reducirten Widerstände (w), sowie die direct gemessenen (r) habe ich in der Tabelle II zusammengestellt, in welcher auch die Längen- und Querschnitte der Prismen, erstere in Centimetern, letztere in Quadratmillimetern, sammt den Fundorten der Mineralien angegeben sind.

Aus diesen Resultaten ist ersichtlich, dass verschiedene Exemplare desselben Minerals von demselben Fundorte bei gleicher Länge und gleichem Querschnitt und auch gleichem Eisengehalt oft sehr verschiedene Leitungsfähigkeit haben. So ist z. B. bei den Magnetitprismen M_1 , M_2 , M_9 der Widerstand von M_9 mehr als 695 mal grösser, als der von M_1 . Bei den kreisförmigen Magnetitplatten M_3 , M_4 , M_5 ist der Widerstand von M_5 15,9 mal grösser, als der von M_3 . Die Widerstände der zwei Pyrrhotitprismen sind schon weniger voneinander verschieden.

Tabelle II.

Name der Mineralien	Fundort	Länge der Prismen	Querschn. der Prismen	r	w
Nickelerz N_1	Dobsina	4,961	28,136	0,069	0,0032
„ N_2	„	9,970	172,922	0,043	0,0074
Pyrrhotit P_1	Alsó Jára	10,310	196,000	0,044	0,0084
„ P_2	„	10,030	196,000	0,052	0,0102
Chalkopyrit	Oláhlápos	14,600	196,000	0,758	1,0176
Pyrit	Felsöbánya	0,375	317,800	1,085	9,2000
Magnetit M_1	Moravitz	14,596	196,000	52,560	7,0600
„ M_2	„	14,610	196,000	80,250	10,7600
„ M_3	„	0,086	295,333	2,860	97,8900
„ M_4	„	0,083	259,339	12,451	387,6400
„ M_5	„	0,082	257,732	45,608	1433,5100
„ M_6	„	9,948	193,000	8550,000	1684,5500
„ M_7	„	4,981	23,619	36500,000	1714,7100
„ M_8	„	16,630	201,640	36500 +	4400 +
„ M_9	„	14,590	196,000	36500 +	4900 +
Hämatit H_1	Moravitz	4,987	24,682	29000,000	1430,5200
„ H_2	Kakukhegy (Hargitta)	0,115	54,780	1309,182	6214,6400
„ H_3	Moravitz	14,475	177,956	36500 +	6500 +
Siderit	Dobsina	10,000	196,000	36500,000	7154,0000

Diese grossen Unterschiede der Leitungsfähigkeiten der von mir untersuchten Magnetitexemplare, die sämtlich von feinkörniger Structur und frei von Rissen und Sprüngen sind, und sehr nahe denselben Eisengehalt haben, verursacht hauptsächlich die darin vorkommende Kieselsäure, da der Widerstand des Quarzes in der Richtung der Hauptaxe bei 20° C. 1255×10^{18} Ohm beträgt. Backström fand den Widerstand eines Magnetits aus Schweden bei 40° C. 516×10^{-5} Ohm.

Nach Landolt's und Backström's Tabellen ist der Widerstand eines norwegischen Hämatits in der Richtung der Hauptaxe bei 0° 0,856 Ohm. Bei den von mir untersuchten Hämatitexemplaren beträgt derselbe bei H_1 1430, bei H_3 mehr als 6500 Ohm.

Auch ergibt sich aus dieser Tabelle, dass der Widerstand dieser Magnetite bei gleicher Grösse und Form den der

Pyrrhotite bedeutend übertrifft, obwohl letztere weniger Eisen enthalten als erstere; es ist z. B. der Widerstand von M_6 194 318 mal grösser, als der von P_1 und 164 423 mal grösser, als der von P_2 . Die Ursache mag in dem etwas grösseren Kieselsäuregehalt des Magnetits liegen, wie aus der hier folgenden, durch Dr. Géza Nyiredy ermittelten chemischen Zusammensetzung dieser Mineralien ersichtlich ist,

Magnetit aus Moravitz.		Pyrrhotit aus Unter-Jára.	
SiO ₂	5,72	SiO ₂	4,42
Fe	68,10	Fe	57,68
O	25,93	O	37,66
<hr/> 99,75		<hr/> 99,76	

Da der Magnetit in dem sehr reichhaltigen Marovitzäer Eisenerzlager in grossen Massen von gleichförmiger Structur und frei von Rissen und Sprüngen vorkommt, und daraus Prismen von 10—20 cm Länge und etwa 1—3 cm² Querschnitt leicht und scharf geschnitten werden können, so würde er sich zur Herstellung von Etalons für grosse Widerstände eignen, wie solche häufig nöthig sind. So hat z. B. das Magnetitprisma M_6 von 10 cm Länge und 14 mm Seitenlänge im Quadrat einen Widerstand von 8550 Ohm, das kleine Prisma M_7 (5 cm Länge und 25 mm² Querschnitt) einen solchen von 36 500 Ohm, und M_8 , M_9 einen noch grösseren.

Ausser den in der Tabelle II angeführten, in derben Massen vorkommenden Mineralien habe ich noch die Widerstände folgender Krystalle bestimmt:

	<i>l</i>	<i>q</i>	<i>r</i>	<i>w</i>
Pyrit (Hexaederform) aus Dognacska	0,83	0,82	7,680	7,578
Magnetit (Dodekaederform) aus Moravitz	1,29	0,448	1437,660	411,700

wo *l* die Länge in Centimetern, *q* den Querschnitt in Quadratcentimetern, *r* den gemessenen, *w* den auf 1 cm³ umgerechneten Leitungswiderstand in Ohmseinheiten bedeutet.

Specifiche Wärme des Magnetits, Hämatits, Pyrrhotits und Nickelerzes.

Hr. Jepure hat auf meine Veranlassung die specifische Wärme dieser Mineralien bestimmt. Zu diesen Messungen

wurde ein Calorimeter nach Regnault's Construction von der Einrichtung benutzt, dass das Calorimeter und das um eine verticale Axe drehbare Erwärmungsgefäß auf demselben Gestell befestigt sind, sodass nach erfolgter Erwärmung das Gefäß durch eine Drehung über das Calorimeter gebracht, und der zu bestimmende Körper nach erfolgter Ablesung des Thermometers aus dem trockenen Erwärmungsraume in das Calorimeter fallen gelassen wird. Unter fortwährendem Umrühren wird dann nach Ausgleichung der Temperaturdifferenz die Temperatur im Calorimeter wieder abgelesen. Der Wasserwerth des Calorimetergefäßes, des Rührers, des Metallkörbchens und des Thermometers wurde genau bestimmt und zum Gewichte des Wassers addirt. Der Einfluss der Wärmestrahlung wurde nach Rumford's Methode eliminirt. Die Temperatur des Erwärmungsraumes wurde bei jedem Versuche zweimal abgelesen und aus beiden das Mittel genommen; einmal im Moment des Herablassens des erwärmten Körpers, welches mittels geeigneter Vorrichtung geschah, und gleich darauf nach schneller Zurückdrehung des Erwärmungsgefäßes.

Zur Messung der Temperaturen im Calorimeter wurde ein in halbe Grade getheiltes Thermometer von Miller in Bonn aus Jenaer Normalglas benutzt und die abgelesenen Temperaturen auf das Wasserstoffthermometer reducirt.

Die Gewichte M der untersuchten Mineralien wurden bis auf 1 mg. die des Wassers m bis auf ein 1 cg genau bestimmt. Die specifische Wärme c wurde nach der bekannten Formel

$$c = \frac{m}{M} \cdot \frac{t - \tau}{T - \tau}$$

berechnet, in welcher M das Gewicht und T die Temperatur des untersuchten Körpers, m das Gewicht des Wassers im Calorimeter sammt dem Wasserwerth, t die Temperatur des Wassers beim Hineinfallen des Körpers, τ die Temperatur nach erfolgter Ausgleichung der Temperaturdifferenz und c_1 die aus den reducirten Temperaturen berechnete specifische Wärme bedeutet.

Mit jedem Mineral wurden drei Versuchsreihen: I, II und III ausgeführt und aus den erhaltenen Werthen das Mittel genommen. Die Resultate, sowie auch die chemische Zusammen-

setzung der untersuchten Mineralien sind in folgender Tab. III zusammengestellt.

Tabelle III.

Mineral		I	II	III	Mittel
Pyrrhotit	<i>T</i>	94,00° C.	95,25° C.	95,00° C.	
aus Unter-Jára	<i>τ</i>	13,40	16,85	12,50	
SiO ₂ 4,42	<i>t</i>	12,10	15,55	11,20	
Fe 57,68	<i>M</i>	39,815 g	39,815 g	39,815 g	
S 37,66	<i>m</i>	380,624 g	380,624 g	380,624 g	
99,76	<i>c</i>	0,15391	0,15774	0,15009	0,15391
	<i>c</i> ₁	0,15401	0,15831	0,14932	0,15388
Magnetit	<i>T</i>	93,15° C.	93,90° C.	95,50° C.	
aus Moravitz	<i>τ</i>	17,20	15,35	16,20	
SiO ₂ 5,72	<i>t</i>	15,50	13,50	14,40	
Fe 68,10	<i>M</i>	52,026 g	52,026 g	52,026 g	
O 25,93	<i>m</i>	380,624 g	380,624 g	380,624 g	
99,75	<i>c</i>	0,16315	0,16826	0,16606	0,16582
	<i>c</i> ₁	0,16358	0,16659	0,16498	0,16505
Hämatit	<i>T</i>	94,75° C.	94,90° C.	94,90° C.	
aus Dognátska	<i>τ</i>	17,70	15,25	15,25	
SiO ₂ 2,13	<i>t</i>	16,00	13,50	13,50	
Fe 67,15	<i>M</i>	47,740 g	47,740 g	47,740 g	
O 28,78	<i>m</i>	380,624 g	380,624 g	380,624 g	
H ₂ O 0,72	<i>c</i>	0,17540	0,17460	0,17460	0,17486
(Al, Ca, etc. 1,22	<i>c</i> ₁	0,17468	0,17404	0,17404	0,17425
100,00					
Nickelerz	<i>T</i>	94,25° C.	94,70° C.		
aus Dobsina	<i>τ</i>	16,15	18,45		
	<i>t</i>	15,40	17,40		
	<i>M</i>	50,813 g	50,813 g		
	<i>m</i>	380,624 g	680,624 g		
	<i>c</i>	0,16562	0,10262		0,10412
	<i>c</i> ₁	0,10514	0,10202		0,10393

Wie aus Tabelle III ersichtlich ist, unterscheiden sich die einzelnen Resultate voneinander und vom Mittel nur um wenige Einheiten der dritten Decimale. Nach Regnault's Bestimmungen ist die spezifische Wärme des Fe₃O₄ innerhalb

24 und 99° C. 0,16779, also nur um 0,0027 grösser, als die des Moravitzauer Magnetits. Die specifische Wärme des Fe_2O_3 ist nach Regnault 0,16695, also nur um 0,007 kleiner, als die specifische Wärme des Hämatits aus Dognátska. Die specifische Wärme des Pyrrhotits und des Nickelerzes scheint noch nicht untersucht zu sein (in den ausgezeichneten Tabellen der physikalischen und chemischen Constanten von Landolt und Börnstein sind dieselben nicht enthalten.)

(Eingegangen 18. Aug. 1897.

— — —