**10. Magnetisches Verhalten
des Moraviczaer Magnetits und des Stahles bei
starken magnetisirenden Kräften und deren
magnetische Momente in absoluten Maassen;
von Anton Abt.**

(Aus den Abhandlungen des Siebenbürger Museum-Vereins. II. Naturwissenschaftliche Section 1893. 2. Heft. Vom Verf. mitgetheilt.)

Im Jahre 1892¹⁾ hatte ich meine Versuchsergebnisse über das magnetische Verhalten zweier Magnetitexemplare von verschiedener Zusammensetzung aus Moravicza im Vergleiche zu glashartem Stahl mitgetheilt. Magnetit und Stahl erhielten die Form eines vierseitigen rechtwinkligen Prismas von gleichen Dimensionen und wurden in einer 20 cm langen Spirale aus 441 Windungen und 2 mm starkem Kupferdraht mittels electrischen Stromes magnetisirt, dessen Intensität bis etwa 8 Amp. gesteigert wurde.

Bei dieser Stromstärke war der permanente Magnetismus des einen Magnetitexemplars I_1 , dessen Eisengehalt 67,5 Proc. betrug und dessen Maasse 9,17, 2,5, 1,67 cm waren, 1,82 mal, der des zweiten Exemplars II_1 (61,4 Proc. Fe und 8,41, 2,41, 1,92 cm) 2,43 mal grösser, als der des Stahls, wobei weder der Magnetit noch der Stahl das Maximum seines Magnetismus erreicht hatte.

Durch Anwendung von starken Strömen einer dynamoelectrischen Maschine, deren Intensitäten mittels eines Hartmann'schen Ampèremeters gemessen wurden, und mittels der erwähnten Magnetisirungsspirale habe ich den Magnetismus dieser prismatisch geformten Körper bis zum Maximalwerthe gesteigert und den permanenten Magnetismus derselben mittels eines empfindlichen Magnetometers mit Spiegelablesung gemessen, wobei die Stromstärke bis zu 40 Amp. gesteigert wurde.

1) A. Abt, Ann. der Phys. u. Chem. **45**. p. 80. 1892.

Bei der am 13. und 14. Juni 1893 mit dem Magnetit und Stahl Π_1 ausgeführten Magnetisierungsversuchen erreichte der Stahl bei der Stromstärke von 16 Amp. den Sättigungspunkt, der Magnetit aber nicht, obwohl auch dieser demselben nahe war, da die bei dieser Stromstärke beobachtete Zunahme des Magnetismus eine geringe war.

In diesem Zustande, wo der Magnetit Π_1 in der ersten Hauptlage nach Gauss in einer Entfernung von 120,63 cm vom Magnetometer bei einem Scalenabstand vom Spiegel von 210 cm einen Ausschlag von 11,5, und der Stahl Π_1 einen von 8,5 Scalentheilen ergab, wurde an demselben Tage das magnetische Moment von beiden nach der Gauss'schen Methode aus Schwingungs- und Ablenkungsversuchen mittels Fernrohrs, Scala und Spiegels bestimmt.

Noch vor diesen Versuchen untersuchte ich den permanenten Magnetismus der beiden Prismen, und fand, dass derselbe seit April 1891 keine namhafte Schwächung erlitt.

Die nunmehr vorgenommenen Bestimmungen der magnetischen Momente ergaben folgende Resultate:

$$\begin{array}{lcl} \text{Magnet. Moment des Magnetits } \Pi_1 & = & 1115,256 \text{ C}^{3/2} \text{ G}^{1/2} \text{ S}^{-1}, \\ \text{„ „ „ Stahls } \Pi_1 & = & 850,480 \text{ C}^{3/2} \text{ G}^{1/2} \text{ S}^{-1}. \end{array}$$

Die zur Bestimmung nöthigen Grössen waren folgende:

	Magnetit	Stahl
Gewicht	183,82 G.	316,75 G.
Länge	8,41 C.	8,50 C.
Breite	2,41 C.	2,45 C.
Trägheitsmoment	1172,40677 C ² G.	2065,53969 C ² G.
Schwingungsdauer	7,394 S.	11,2925 S.
Red. Schwingungsd.	7,3939 S.	11,2921 S.
Torsionsverhältniss	0,00513	0,00917
MH	210,59 C ² G S ⁻² .	158,426 C ² G S ⁻² .
$M : H$	5906,75 C ³ .	4565,6 C ³ .

wo M das magnetische Moment, H die horizontale Componente des Erdmagnetismus bedeutet.

Bei den Ablenkungsversuchen zur Bestimmung von $M : H$, welche mit einem Magnetometer aus Edelmann's Werkstätte ausgeführt wurden, wurde der ablenkende Magnet in der Ost-West-Richtung aufgestellt, wobei $r = 71,025$ cm und $r_1 = 51,025$ cm war. Die beobachteten Ablenkungen in Scalentheilen ausgedrückt waren:

beim Magnetit	53,0,	52,5,	52,5,	53,5,	Mittel 52,8,	und
	144,0,	144,5,	143,5,	143,5,	„ 143,8;	
beim Stahl	40,2,	40,5,	40,2,	41,5,	„ 40,6,	und
	109,5,	111,5,	108,7,	110,5,	„ 110,05;	

die Entfernung der Scala vom Spiegel betrug 792,3 Scalentheile.

Aus diesen Resultaten ergibt sich, dass in diesem Zustande das magnetische Moment des Magnetits 1,31 mal grösser war, als das des Stahls. Dasselbe Verhältniss erhält man unmittelbar aus den Ablenkungen; denn es ist $52,8 : 40,6 = 1,30$ und $143,8 : 110,05 = 1,30$. Noch günstiger gestaltet sich das Verhältniss für den Magnetit, wenn man mit Berücksichtigung der Gewichte die specifischen Magnetismen bestimmt. Dieser ist in diesem Zustande für Magnetit 6,067, für Stahl 2,685, und das Verhältniss beider 2,26. Dies ist der Vorthail dieses Magnetits im Vergleich zu Stahl, betreffend den permanenten Magnetismus. Die Nachtheile desselben sind grössere Zerbrechlichkeit und der Umstand, dass Lamellen oder Nadeln unter 1 mm Dicke schwer herzustellen sind, obwohl er vollkommen frei von Sprüngen und Rissen ist und sich gut schleifen lässt.

Wie schon erwähnt wurde, erreichte der Stahl bei diesen magnetisirenden Kräften das Maximum seines Magnetismus, der Magnetit aber nicht. Um auch bei diesem den Sättigungspunkt zu erreichen, habe ich am 22. und 23. Juni beide Körper bei Anwendung derselben Spirale mit oftmaliger Unterbrechung der angewandten starken Ströme wiederholt magnetisirt, bis das Maximum erreicht war. Das Resultat, welches mit demselben Magnetometer aus derselben Entfernung von 120,36 cm erhalten wurde, war folgendes:

	vor dem Magnetisiren	nach dem Magnetisiren
		<i>J</i>
am 22. Juni: Stahl	8,5 Scalenth.	8,5 Scalenth. 25 Amp.
Magnetit	11,5 „	13,5 „ 25 „
am 23. Juni: Stahl	8,5 „	8,5 „ 25 „
Magnetit	13,5 „	13,5 „ 26,3 „

wo *J* die Stromstärke bedeutet in Ampères ausgedrückt.

Dass bei diesen Versuchen auch der Magnetit seinen Sättigungspunkt erreichte, bewies ein fernerer Versuch mit einer Magnetisirungsspirale mit 454 Windungen und 3,5 mm

Drahtdurchmesser, in welcher die Stromintensität bis auf 40 Amp. gesteigert werden konnte, wobei jedoch keine weitere Zunahme des Magnetismus beobachtet wurde.

Bei diesem Maximum des permanenten Magnetismus des Magnetits II_1 ergab sich die Schwingungsdauer desselben aus zwei Beobachtungsreihen 6,944 und 6,947, im Mittel 6,9455 Sec.; die durch denselben bei ostwestlicher Lage aus den Entfernungen $r = 71,025$ cm und $r_1 = 51,025$ cm bewirkten Ablenkungen 60,67 und 165,7 Scalentheile, das berechnete magnetische Moment $M = 1165,15 \text{ C}^{5/2} \text{ G}^{1/2} \text{ S}^{-1}$, und sein spezifischer Magnetismus 6,327. Es sind also diese Maximalwerthe des Magnetits 1,37 mal resp. 2,356 mal grösser als jene des Stahles.

Ausser dem Magnetit und Stahl II_2 habe ich noch das Magnetitprisma II_2 von derselben Zusammensetzung wie II_1 , ferner das Magnetitprisma I_1 und ein dreiseitiges Magnetitprisma $\triangle M$, dessen Eisengehalt¹⁾ und Structur von I_1 kaum etwas verschieden ist, sowie die entsprechenden Prismen aus glashartem Stahl bis zum Sättigungspunkte magnetisirt und deren permanenten Magnetismus in der erwähnten Weise bestimmt. Die erhaltenen Resultate habe ich in den drei folgenden Tabellen I, II, III zusammengestellt, in welchen J die Stromintensität in Ampères, T die Dauer des Stromschlusses in Secunden, M Magnetit, A Stahl bedeutet. Die Zahlen der Rubriken M und A drücken die magnetischen Momente in Scalentheilen aus.

I.				II.			
Magnetisches Moment des Magnetits und Stahles II_2				Magnetisches Moment des Magnetits und Stahles I_1			
J	T	M	A	J	T	M	A
0	0	6,00	1,80	0	0	2,6	1,9
11	60	9,75	3,70	10,5	60	6,7	4,5
16	60	10,90	5,25	15	60	8,5	5,7
26	60	12,50	6,60	26	60	10,0	7,8
37	30	12,50	7,90	36	30	10,5	9,5
				42	10	10,5	9,6

1) Béla Ruzicska findet den Mittelwerth des Eisengehaltes dieses Magnetits aus zwei durchgeführten Analysen zu 67,85 Proc. Das spezifische Gewicht beträgt 4,921.

III.

Magnetische Momente der dreiseitigen Prismen $\triangle M$ und $\triangle A$.

		$\triangle M$		$\triangle A$					
		Kantenlänge	14,08 cm			14,05 cm			
		Seitenlänge	2,49 „			2,487 „			
		Spec. Gewicht	4,921 g			7,800 g.			
	J	T	$\triangle M$	$\triangle A$		J	T	$\triangle M$	$\triangle A$
31. Juli	0	0	0	0		8,5	30	35,0	54,5
	3,4	60	22,8	24,5		10,0	90	35,9	60,0
	3,4	120	24,0	24,8		15,5	90	39,0	68,5
1. Aug.	0	0	22,5	23,0		20,5	60	40,0	70,0
	5,3	60	29,6	34,0		26,0	30	40,0	70,5
	5,3	120	30,0	34,0	26. Aug.	0	0	38,5	69,5
9. Aug.	0	0	30,5	32,0		38,0	1	40,9	—
	9,1	90	33,6	46,5		38,0	15	40,9	—
	9,1	120	34,0	48,0		45,0	1	40,9	74,5
22. Aug.	0	0	32,5	43,5		45,0	30	40,9	73,25
	8,0	15	34,5	52,0		47,0	15	40,9	74,5

Es ist zu bemerken, dass die Entfernung der Mittelpunkte der dreiseitigen Prismen von dem Mittelpunkte des abgelenkten Magnets des Magnetometers bei der Beobachtung des permanenten Magnetismus nur 87,08 cm, bei II_2 und I_1 hingegen 120,63 cm betrug. Die Zahlen jener Zeilen der Tabelle III, wo in den Rubriken L und T Nullen vorkommen, bedeuten den seit der letzten Magnetisirung beibehaltenen permanenten Magnetismus. Das Ansteigen des permanenten Magnetismus dieser Prismen mit der Stromstärke, ist durch die Curven in Fig. 1 ersichtlich gemacht, in welcher M die Curve des Magnetits, A die des Stahls bedeutet. Die grösseren Verluste an permanenten Magnetismus dieses Stahlprismas kommen daher, weil der Stahl nicht ganz glashart war.

Die angenäherten Werthe der magnetischen Momente nach absolutem Masse der Magnetit- und Stahlprismen I_1 und II_2 , sowie der dreiseitigen Magnetit- und Stahlprismen, habe ich mit Rücksicht auf die geringe Länge des abgelenkten Magnets aus dem bekannten magnetischen Moment ($1165,15 \text{ C}^{5/2} \text{ G}^{1/2} \text{ S}^{-1}$) des Magnetitprismas II_1 aus den Magnetometer-Ablenkungen, welche diese Prismen bei derselben Entfernung von 120,63 cm bewirkten und aus deren Polabständen nach der Näherungsformel

$$M = \frac{1}{2} r^3 H \left(1 - \frac{1}{2} \frac{l^2}{r^2} \right) \operatorname{tg} \varphi ,$$

berechnet. Bezeichnet man den Polabstand des Magnetitprismas II_1 mit l_1 , sein magnetisches Moment mit M_1 und die entsprechende Ablenkung mit n_1 , so ist weil r und H denselben Werth haben, das gesuchte Moment

$$M = \frac{M_1}{(L^2 - \frac{1}{2}l_1^2)n_1} \cdot n (L^2 - \frac{1}{2}l^2).$$

Bei der Berechnung wurde für den Polabstand $l \frac{5}{6}$ der Stablänge genommen, und $\text{tg } \varphi$ in Scalentheilen gemessen.

Fig. 1.

Die erhaltenen Resultate, sowie die specifischen Magnetismen, die Gewichte, den Eisengehalt und die Polabstände findet man in der folgenden Tabelle IV zusammengestellt.

IV.

Prisma	Gewicht	Eisengehalt	Polabstand	Ablenkung	Mag. Mom.	Sp. Magn.
M_{II_1}	183,820	61.42 %	7,008	13,5	1165,1500	6,327
M_{II_2}	181,190	61,42	7,008	12,5	1079,6280	5,958
A_{II_2}	309,052	—	7,008	7,8	673,1925	2,178
M_{I_1}	142,492	67,527	7,583	10,7	923,2228	6,479
A_{I_1}	241,630	—	7,583	9,7	836,9402	3,464
$\triangle M$	184,452	67,85	11,750	15,0	1139,7452	6,179
$\triangle A$	300,948	—	11,750	27,5	2089,5328	6,943

M bedeutet Magnetit, A Stahl; die Gewichte sind in Grammen, die Polabstände in Centimetern, die Ablenkungen in Scalentheilen ausgedrückt.

Aus diesen sowie aus meinen früheren Resultaten folgt:

1. Dass der specifische Magnetismus des Magnetits mit der Länge des Stabes zunimmt, wie dies bei Stahl bekannt ist, dass aber die Zunahme nicht so bedeutend ist, wie bei Stahl. Infolge dessen ist bis zu einer gewissen Länge der specifische Magnetismus des Magnetits, über diese hinaus, hingegen der des Stahls, der überwiegende. So sind z. B. bei den Magnetstäben I_2 und $\triangle M$, deren Eisengehalt nur in den Zehnteln verschieden ist, und deren Längen 9,1 resp. 14,1 cm betragen, die entsprechenden specifischen Magnetismen 6,481 resp. 7,018 cm; hingegen bei den Stahlprismen von denselben Dimensionen 3,464 resp. 7,886 cm. Es ist also der specifische Magnetismus des 9,1 cm langen Magnetitprismas 1,87 mal grösser, als der des Stahls von gleicher Länge, während bei den 14,1 cm langen Prismen der specifische Magnetismus des Stabes 1,123 mal grösser ist, als der des Magnetits.

2. Dass bei kürzeren Stäben der permanente Magnetismus des Magnetits den des Stahls nicht nur bei geringen, sondern auch bei sehr starken magnetisirenden Kräften bis zum Sättigungspunkte überwiegt, so dass beim Sättigungspunkt der permanente Magnetismus des Magnetits I_1 1,87 mal, der des Magnetits II_1 2,26 mal und der von II_2 2,75 mal grösser ist, als bei den Stahlprismen von gleichem Volumen.

3. Dass diese Verhältnisszahl mit der magnetisirenden Kraft sich ändert; sie ist anfangs zunehmend bis zu einem Maximum, dann abnehmend bis zum Sättigungspunkt des Stahls; von hier an wieder zunehmend bis zum Sättigungspunkt des Magnetits, und dann erst constant.

4. Dass der Magnetit bis zu einer gewissen Stablänge den grössten specifischen Magnetismus hat unter den bekannten magnetischen Körpern.

5. Dass der permanente Magnetismus des Magnetits bei Anwendung gleich starker entmagnetisirender Kräfte in stärkerem Maasse abnimmt, als der des Stahls, während das Ansteigen des permanenten Magnetismus bis zum Maximum bei Magnetit in gewissen Fällen langsamer erfolgt als bei Stahl, und dass

infolge dessen der für Eisen und Stahl giltige Satz von der Coercitivkraft auf Magnetit keine Anwendung findet, folgt sowohl aus den Versuchen von Holtz, sowie aus meinen anfangs citirten Versuchen, bei welchen die entmagnetisirende Kraft allmählich um fünf Einheiten gesteigert wurde.

Das Ansteigen des permanenten Magnetismus und das Verschwinden desselben beim Entmagnetisiren bei Anwendung starker magnetisirender Kräfte, habe ich bei den Magnetit- und Stahlprismen II₁ untersucht und die erhaltenen Resultate in der Tabelle V zusammengestellt. *J* bedeutet die Intensität in Ampères, das Vorzeichen die Richtung des angewandten Stromes, die Zahlen der Rubriken *M* und *A* den in Scalentheilen ausgedrückten permanenten Magnetismus des Magnetits und des Stahls.

V.

Umkehrung der Polarität bei den Magnetit- und Stahlprismen II₁.

<i>J</i>	<i>M</i>	<i>A</i>	<i>J</i>	<i>M</i>	<i>A</i>
– 37	– 12,6	– 7,9	+ 37,0	+ 12,7	+ 7,8
+ 2,5	– 6,5	– 4,5	+ 40,0	+ 12,8	+ 7,8
+ 6,5	+ 1,5	0,0	– 40,0	– 12,8	
+ 10,5	+ 6,5	+ 2,9	+ 40,0	+ 12,8	
+ 16,5	+ 9,0	+ 4,9	– 40,0	– 12,8	
+ 26,5	+ 12,0	+ 6,8	+ 40,0	+ 12,8	
			– 40,0	– 12,8	

Auch diese Versuche zeigen, dass auch bei Magnetit geringere Kräfte nöthig sind zur Entmagnetisirung, als zur Magnetisirung, und dass die Polarität desselben schneller wechselt, als die des glasharten Stahls. Während zur Erreichung des Maximums 26—37 Amp. nöthig waren, fand die Umkehrung der Polarität bei zwei nacheinander erfolgten Umkehrungen, wie die magnetischen Curven (Fig. 2, p. 757) zeigen, schon bei einer Stromstärke von 5,7 Amp. statt, die des Stahls bei 6,5 Amp.

Bei starken Strömen ist ein kurzer Stromschluss von etwa 2 Secunden hinreichend zur Erreichung des Maximums, wie die letzten Zeilen der Tabelle V zeigen.

6. Es kann nicht allgemein behauptet werden, wie Holtz¹⁾ es that, dass Magnetit bei allmählich ansteigenden magneti-

1) Holtz, Ann. der Phys. u. Chem. 5. p. 169. 1878.

sirenden Kräften das Maximum des permanenten Magnetismus früher erreicht, als harter Stahl von gleichem Volumen. Bei meinen mit Magnetitprismen von verschiedener Zusammensetzung und Länge angestellten Versuchen, erreichte der

Fig. 2.

Magnetit II₁ später sein Maximum, als der Stahl II₁, die Magnetite II₂ und I₁ fast zu gleicher Zeit, wie die gleich grossen Stahlprismen, nur das dreiseitige Magnetitprisma war früher gesättigt, als der Stahl von denselben Dimensionen.