

### III. *Erklärung der diamagnetischen Wirkungsweise durch die Ampère'sche Theorie;*

*von Dr. v. Feilitzsch,*

Prof. in Greifswald.

(Zweite Abhandlung, die erste in d. Ann. Bd. 87, S. 209 u. 427.)

---

Diamagnetismus und Magnetismus entspringen aus einer identischen Erregung der kleinsten Massentheilchen.

1. Das Material zu der nachfolgenden zweiten Abhandlung der »Erklärung diamagnetischer Wirkungsweise durch die Ampère'sche Theorie« lag bereit, als die erste Abhandlung in Poggendorff's Annalen Bd. LXXXVII, S. 206 und 427 erschienen war. Mittlerweile hatte Hr. Weber die dritte Abtheilung seiner »elektrodynamischen Maafsbestimmungen, insbesondere über den Magnetismus« veröffentlicht. Da die darinnen aufgestellte Theorie, gestützt auf die sinnreichsten Versuche, gerade das Gegentheil von dem aussagt, was u. a. in jener meiner ersten Abhandlung bewiesen werden sollte, so war mir eine Wiederholung und weitere Fortführung jener Versuche zur Pflicht gemacht, um entweder mich ihren Consequenzen anzuschließen, oder um die von mir ausgesprochenen Ansichten stärker zu befestigen.

2. Meine bisherigen Untersuchungen hatten mich zu folgenden Resultaten geführt:

Der eisenmagnetische, der diamagnetische und der sauerstoffmagnetische Zustand entstehen aus derselben und in allen drei Zuständen gleichgerichteten Polarität der kleinsten Theilchen.

Diese drei Zustände unterscheiden sich nur 1) durch die Entfernung der kleinsten Theilchen voneinander und die dadurch verminderte magnetische Molecularinduction und 2) durch die Art, wie in denselben die magnetische Polarität erregt wird.

Die relative Entfernung (und Gröfse) der kleinsten Theilchen bedingt den Unterschied zwischen den eisenmagnetischen, wismuthmagnetischen und sauerstoffmagnetischen Körpern. Je näher die kleinsten Theilchen, bei sonst gleicher Gröfse, aneinander liegen, desto mehr überwiegt die magnetische Molecularinduction über die Wirkung der äufseren magnetischen Induction. Die erste Körperklasse ist durch die geringste, die letzte durch die gröfste relative Entfernung der kleinsten Theilchen charakterisirt.

Erfährt ein länglicher Körper in der Mitte seiner Längsausdehnung (etwa durch eine galvanische Spirale von geringerer Länge als der Körper) eine stärkere äufser magnetische Induction als an den Enden, so wird er, welche der drei Klassen er auch angehören mag, stets in den eisenmagnetischen Zustand versetzt.

Dahingegen treten die drei genannten Zustände an den drei verschiedenen Körperklassen auf, wenn dieselben in länglicher Form von den Enden her stärker magnetisch inducirt werden, als von der Mitte der Längsausdehnung (etwa durch Aufhängen zwischen zwei Magnetpolen).

Nach der Richtung der magnetischen Axe ist im magnetischen Zustand das magnetische Moment in der Mitte der Axe gröfser als an den Enden derselben; im diamagnetischen und sauerstoffmagnetischen Zustand dagegen ist es an den Enden gröfser als in der Mitte der Axe.

Nach der Richtung des Querschnitts (senkrecht zur magnetischen Axe) findet dagegen folgende Vertheilung der magnetischen Momente statt: in eisenmagnetischen Körpern ist dasselbe in der Mitte  $= 0$  und ist an der Peripherie und in geringem Abstand von derselben von gleicher Gröfse, in wismuthmagnetischen Körpern nimmt das magnetische Moment von der Peripherie nach der Mitte ab, ohne  $= 0$  zu werden, in sauerstoffmagnetischen Körpern endlich besitzt das mag-

netische Moment über den ganzen Querschnitt hinweg denselben Werth <sup>1)</sup>).

Ein wismuthmagnetischer Körper flieht vor dem erregenden Pole und ein magnetischer wendet sich ihm zu, wesentlich deswegen weil sie das Bestreben haben von Stellen schwächerer Magnetkraft zu Stellen stärkerer Magnetkraft überzugehen. Und zwar liegen die Stellen der durch einen äußern Pol in einem eisenmagnetischen oder wismuthmagnetischen *Querschnitt* erregten *größten* Magnetkraft in beträchtlichem Abstand von diesem Querschnitt, während sie bei einer sauerstoffmagnetischen Substanz in dem Querschnitt selbst liegen.

Daraus folgt, daß ein jeder sauerstoffmagnetische *Querschnitt*, folglich auch der ganze sauerstoffmagnetische *Körper* das Bestreben hat, sich den erregenden Magnetpolen anzunähern. Ferner muß, wegen der magnetischen Vertheilung in der Richtung der Axe die Stelle stärkster Magnetkraft eines länglichen eisenmagnetischen *Körpers* in dem Körper selbst liegen, derselbe also ebenfalls von einem äußern Magnetpole angezogen werden. Dagegen aber muß die Stelle stärkster Magnetkraft eines länglichen wismuthmagnetischen *Körpers* wegen der Vertheilung in der Richtung der Axe außerhalb und in beträchtlicher Entfernung vom Körper liegen, weswegen er das Bestreben hat, vor dem erregenden Magnetpol zu fliehen.

3. Dagegen leugnet Hr. Weber die gleiche Polarität der kleinsten Theilchen bei eisenmagnetischen und  
wis-

1) Zur bequemen Uebersicht sind die Behauptungen dieses und des vorigen Satzes in Fig. 3 Taf. III bildlich dargestellt. Dasselbst bedeuten *N* und *S* die erregenden äußeren Magnetpole, *a* einen eisenmagnetischen, *b* einen wismuthmagnetischen und *c* einen sauerstoffmagnetischen Körper. Durch *ns* ist die Richtung der magnetischen Polarität der kleinsten Theilchen angedeutet; die Ordinaten der Curve über der Axe *ox* entsprechen dem magnetischen Moment der resp. Schichten in der Richtung der magnetischen Axe, und die Ordinaten der Curve über der Axe *oz* dem magnetischen Moment der resp. Theilchen des Querschnitts.

wismuthmagnetischen Körpern und erklärt das diamagnetische Verhalten zum Unterschied von dem magnetischen daraus, daß ein erregender Pol in den kleinsten Theilchen wismuthmagnetischer Körper den *gleichnamigen* Pol sich zuwende und den *ungleichnamigen* abstofse, während in den kleinsten Theilchen der magnetischen Körper ein erregender Pol sich den *ungleichnamigen* Pol zuwende und den *gleichnamigen* zurückstofse. Wenn ich recht sehe, soll aber die diamagnetische Polarität nicht eigentlich ihren Urgrund in einer Scheidung der beiden entgegengesetzten Magnetismen der kleinsten Theilchen (umgekehrt wie bei magnetischen Körpern) haben, sondern darin, daß durch die Annäherung eines Magneten oder einer galvanischen Spirale Molecularströme inducirt werden, welche den momentanen Inductionsströmen gleichgerichtet sind und somit gleichwerthig einer der magnetischen entgegengesetzten Polarität. Diese Molecularinductionsströme sind der magnetischen Scheidungskraft einer benachbarten erregenden Ursache proportional, und da sie ohne Widerstand um die Molecule kreisen, dauern sie ungeschwächt fort, bis die erregende Ursache sich entfernt und dadurch sie vernichtet. Die in größeren Bahnen sich um einen Leiter bewegendes Inductionsströme werden dagegen durch denjenigen Widerstand gleich nach ihrem Entstehen vernichtet, den dieselben in dem Leiter vorfinden.

4. Das aber eine der magnetischen entgegengesetzte Polarität oder etwas derselben Gleichwerthiges den diamagnetischen Zustand begründe, beweist Hr. Weber durch folgenden an der Spitze der genannten Untersuchungen stehenden Fundamentalversuch: Ein Hufeisenmagnet *NS* (Poggendorff's Annalen LXXXVII, Tafel III u. S. 168 Fig. 2. 3. 4.) ist an einem Faden aufgehängt, so daß beide Schenkel in derselben Horizontalebene schwingen können. Zwischen beiden Schenkeln befindet sich die Mitte einer vertical stehenden langen galvanischen Spirale, innerhalb welcher ein Cylinder von chemisch reinem Wismuth *aa*

und von weniger als der halben Länge der Spirale mittelst eines Fadens aus der Ferne auf und abbewegt werden kann. Bei dieser Bewegung befindet sich abwechselnd das untere und das obere Ende des Cylinders zwischen den Magnetpolen. In Folge des Zustandes, in welchen das Wismuth durch die thätige galvanische Spirale versetzt wird, wirkt dasselbe in beiden Lagen entgegengesetzt ablenkend auf den Magneten. Diese Ablenkung wird, wie am Magnetometer, durch Fernrohr, Scale und Spiegel beobachtet, welcher letztere  $P$  an der Drehungsaxe des Magneten kefestigt ist. Befinden sich die Schenkel des Magneten in einer Horizontalebene, welche gerade die verticale Spirale halbirt, so dürfte dieselbe eigentlich keine Ablenkung auf den Magneten ausüben. Um aber etwaige geringe Ablenkungen (die namentlich aus dem Eisengehalt des Kupferdrahtes hervorgehen) zu compensiren, wird in einiger Entfernung vom Magneten ein Multiplicator  $M$  von wenigen Windungen aufgestellt und durch den Strom der Spirale in Thätigkeit versetzt. Bringt man nun vom Fernrohr aus durch die gewöhnlichen Mittel den schwebenden Hufeisenmagneten in Ruhe und hebt alsdann den Wismuthstab innerhalb der Spirale, so daß sein unteres Ende in die Ebene der Pole desselben kommt, so beobachtet man eine Ablenkung durch Verrückung des Skalenbildes am Verticalfaden des Fernrohrs. Die dadurch veranlafte Schwingung des Magneten wird vermehrt, wenn man beim Rückgang desselben den Wismuthstab wieder senkt. Durch abwechselndes Heben und Senken des Stabes im Takte der Schwingungen des Magneten kann man diesem beträchtliche Ausschläge ertheilen und im umgekehrten Takte diese Ausschläge wieder bis zur Ruhelage vermindern.

Wird statt des Wismuthstabes ein Eisenstab (Draht) von derselben Länge, aber von möglichst geringer Dicke, in derselben Weise auf und abbewegt, so zeigt sich, daß *der Hufeisenmagnet die entgegengesetzte Ablenkung erhält*, also z. B. beim Heben *höhere* Scalentheile ins Fernrohr

führt, während der Wismuthstab beim Heben eine Bewegung zu *niederen* Scalentheilen veranlaßt.

5. Aus diesen Versuchen schließt Hr. Weber:

daß gleiche Scheidungskraft entgegengesetzte ideale Vertheilungen beim Eisen und beim Wismuth hervorbringt, oder umgekehrt, daß *eine gleiche ideale Vertheilung bei Eisen und Wismuth entgegengesetzt gerichteten Scheidungskräften entspricht* <sup>1)</sup>.

6. Diese Versuche wiederholte ich mit Apparaten von beträchtlich größeren Dimensionen, als die sind, welche Weber zu seinen Versuchen benutzte. Die hier und im Folgenden gebrauchten Vorrichtungen mußten soweit als immer möglich von mir selbst construirt werden, wodurch ich am sichersten ein Urtheil über die Gränze ihrer Brauchbarkeit erhielt. Die galvanische Spirale war auf einen Pappcylinder von 520<sup>mm</sup> Länge, 37<sup>mm</sup> innerem Durchmesser und 4<sup>mm</sup> Pappdicke aufgewunden. Sie bestand aus Kupferdraht von etwas mehr als 1<sup>mm</sup> Durchmesser, der mit Seide umspunnen und zur besseren Isolation zu wiederholten Malen mit Bernsteinlack getränkt war. Das Gewicht des Drahtes betrug mit der Ueberspinnung etwa 2<sup>kg</sup>,2 und diese waren auf 4 Lagen von 510<sup>mm</sup> Länge und je 305 Windungen vertheilt. Jede Lage wurde von der anderen durch zwei Lagen starker Seide getrennt, welche mit Schellacklösung mehrfach gefirnist war. Der Magnet NS (Pogg. Ann. Bd. 87, Heft III. Fig. 2. 3. 4.) bestand aus einem Stück Gufsstahl von 330<sup>mm</sup> Länge und 18<sup>mm</sup> Seite, welches hufeisenförmig gebogen war, so daß die Pole im lichten 73<sup>mm</sup> von einander abstanden. Befand sich zwischen beiden Schenkeln die Spirale, so stand jeder noch 6<sup>mm</sup>,5 von derselben ab. Am Magneten war der Spiegel P befestigt, und beide hingen an 15 Coconfäden von 2<sup>mm</sup>,4 Länge von der Decke des Zimmers herab. Der Wismuthstab aa von chemisch-reinem Wismuth (aus der Apotheke zum Einhorn in Berlin) war 248<sup>mm</sup> lang, hatte 20<sup>mm</sup> Durch-

1) Elektrodynamische Maafsbestimmungen S. 541. Pogg. Ann. Bd. 87, S. 147.

messer und wog 778<sup>gr</sup>,8. Bei der höchsten Hebung und tiefsten Senkung innerhalb der Spirale standen seine Enden noch wenigstens 16<sup>mm</sup> von den resp. Enden der Spirale ab. Die Rolle, an welcher der Wismuthstab auf- und abbewegt wurde, war ebenfalls an der Decke des Zimmers befestigt. Fernrohr und Scale waren in etwa 2<sup>m</sup>,5 Abstand vom Spiegel des Magneten aufgestellt. Da ich keine messenden Versuche beabsichtigte, unterliefs ich es den Magneten mit einem Dämpfer zu umgeben.

7. Versuch 8. Die Spirale wurde mit 6 Grove'schen Elementen von je 80 Quadratcentim. Platinblech in Thätigkeit versetzt. Der Nordpol der Spirale war nach oben gekehrt, und der Nordpol des Magneten, sowie die höheren Scalentheile befanden sich zur Linken des hinter dem Fernrohr stehenden Beobachters. Nachdem der Magnet so beruhigt war, daß er nur noch sehr kleine Schwingungen vollführte, wurde der Wismuthstab in der Spirale gehoben und der größte Ausschlag nach rechts (im Fernrohr nach links) in Zehnteln von Millimetern der Scale beobachtet und notirt. Alsdann wurde der Stab wieder gesenkt und wiederum der größte Ausschlag nach links notirt. So wurde abwechselnd der Stab sieben Mal gehoben und gesenkt. Hierauf blieb der Stab während einer einfachen Schwingung in der unteren Lage, und wurde dann wieder sieben Mal im Takt der Schwingungen gehoben und gesenkt. Demnächst wurde er während einer Schwingung in der oberen Lage gelassen, um wieder dasselbe Spiel zu vollführen u. s. f. In der nachfolgenden Tabelle sind unter der Ueberschrift, Wismuthcylinder, die so gewonnenen Resultate einer von vielen in dieser Weise angestellten Beobachtungsreihen aufgezählt. Und zwar ist in der ersten Columne die jedesmalige Stellung des Wismuthstabes, in der zweiten der entsprechende größte Ausschlag des Magneten in Zehnteln von Scalentheilen und in der dritten die Differenz zwischen zwei aufeinanderfolgenden Ausschlägen, d. i. Schwingungsbogen angegeben. Die Zahlen unter der Ueberschrift »Wachscylinder« wer-

den bei Gelegenheit des dritten Versuchs No. 12 Erörterung finden.

Der Cylinder war	a) Versuche mit dem Wismuthcylinder.				b) Versuche mit dem Wachs-cylinder.			
	Beobachtete Zahlen.	Schwingungsweite.	Fortsetzung. Beobachtete Zahlen	Schwingungsweite.	Beobachtete Zahlen	Schwingungsweite.	Fortsetzung. Beobachtete Zahlen	Schwingungsweite.
gesenkt			5306	276			5291	109
gehoben	5426	66	5582	264	5250	249	5400	101
gesenkt	5492	89	5318	247	5499	258	5299	113
gehoben	5403	122	5565	240	5241	194	5412	133
gesenkt	5525	147	5325	225	5435	165	5279	166
gehoben	5378	167	5550	210	5270	160	5445	197
gesenkt	5545	187	5340	201	5430	155	5248	193
gehoben	5358	209	5541	186	5275	168	5441	191
gesenkt	5567	227	5355	167	5443	185	5250	190
gehoben	5340	243	5522	143	5258	172	5440	198
gesenkt	5583	264	5379	133	5430	160	5242	197
gehoben	5319	282	5512	121	5270	172	5439	189
gesenkt	5601	305	5391	98	5442	174	5250	185
gehoben	5296	325	5489	77	5268	152	5435	177
gesenkt	5621		5412		5420		5258	
		326		77		148		174
gesenkt	5295	308	5489	105	5272	151	5432	170
gehoben	5603	281	5384	120	5423	155	5262	144
gesenkt	5312	268	5504	136	5268	152	5416	134
gehoben	5580	252	5368	155	5420	145	5272	117
gesenkt	5328	229	5523	168	5275	133	5389	104
gehoben	5557	212	5355	183	5408	123	5285	110
gesenkt	5345	205	5538	197	5285	115	5395	95
gehoben	5540	173	5341	214	5390	90	5300	89
gesenkt	5367	153	5555	238	5300	92	5389	114
gehoben	5520	138	5317	261	5392	116	5275	120
gesenkt	5382	116	5578	272	5286	114	5395	125
gehoben	5498	96	5306	281	5400	110	5270	129
gesenkt	5402	78	5587	299	5290	101	5399	119
gehoben	5480		5288		5391		5280	
		85		302		112		140
gehoben	5395	105	5590	295	5279	126	5420	147
gesenkt	5500	119	5305	264	5405	120	5273	152
gehoben	5381	127	5569	240	5285	107	5425	175
gesenkt	5518	156	5329	231	5392	97	5250	163
gehoben	5362	176	5550	205	5295	120	5413	153
gesenkt	5538	193	5345	187	5415	127	5260	159
gehoben	5345	207	5532	177	5288	125	5419	168
gesenkt	5552	225	5355	164	5413	139	5251	194
gehoben	5327	257	5519	139	5274	156	5445	213
gesenkt	5584	284	5380	129	5430	170	5232	199
gehoben	5300	302	5509	124	5260	195	5431	190
gesenkt	5602	322	5385	100	5455	194	5241	189
gehoben	5280	338	5485	90	5261	169	5430	188
gesenkt	5618	312	5395		5420	129	5242	



Diese Zahlen zeigen nun so übereinstimmend und augenscheinlich als möglich, daß der Magnet nach  $\left\{ \begin{smallmatrix} \text{niederen} \\ \text{höheren} \end{smallmatrix} \right\}$  Scalentheilen getrieben wurde, wenn der Wismuthstab sich in der  $\left\{ \begin{smallmatrix} \text{oberen} \\ \text{unteren} \end{smallmatrix} \right\}$  Lage befand, daß also der  $\left\{ \begin{smallmatrix} \text{Südpol} \\ \text{Nordpol} \end{smallmatrix} \right\}$  des Magneten *angezogen* wurde, wenn sich zwischen seinen Schenkeln dasjenige Ende des Wismuthstabes befand, welches dem  $\left\{ \begin{smallmatrix} \text{Südpol} \\ \text{Nordpol} \end{smallmatrix} \right\}$  der Spirale zunächst lag. Die Schwingungsweite wird nämlich immer größer in der ersten, dritten und fünften der sechs Versuchsabtheilungen, in welchen der Wismuthstab  $\left\{ \begin{smallmatrix} \text{gesenkt} \\ \text{gehoben} \end{smallmatrix} \right\}$  wurde bei der Bewegung des Magneten zu  $\left\{ \begin{smallmatrix} \text{höheren} \\ \text{niederen} \end{smallmatrix} \right\}$  Scalentheilen; dagegen nehmen die Schwingungsweiten stetig ab innerhalb der zweiten, vierten und sechsten Versuchsabtheilung, in denen die umgekehrte Bewegung statthat.

Wurde dagegen ein dünner *Eisendraht* statt des Wismuthstabes innerhalb der Spirale auf- und abbewegt, so brachte er stets die entgegengesetzte Ablenkung des Magneten hervor und zwar wurde letzterer nach  $\left\{ \begin{smallmatrix} \text{höheren} \\ \text{niederen} \end{smallmatrix} \right\}$  Scalentheilen getrieben, wenn der Eisendraht sich in der  $\left\{ \begin{smallmatrix} \text{oberen} \\ \text{unteren} \end{smallmatrix} \right\}$  Lage befand.

8. Durch diese Versuche werden also die Beobachtungen Weber's vollkommen bestätigt. Dagegen aber bin ich außer Stande einzusehen, wie das Resultat aus den Versuchen der HH. Hankel und Leyser möglich wurde, welches in Poggendorff's Annalen Bd. 87, S. 170 bis 172 mitgetheilt ist. Nach denselben soll sich *chemisch-reines* Wismuth, welches *nicht* von einem galvanischen Strome umflossen wird, zwischen den Polen eines horizontal-schwebenden Hufeisenmagneten verhalten wie ein Magnet, so zwar, daß das dem Boden zugewandte Ende einen bestimmten Pol des beweglichen Hufeisenmagneten anzieht, das abgewandte Ende denselben Pol zurückstößt; die Dif-

ferenz der Magnetstände in beiden Fällen beträgt 5 bis 7,5 der dortigen Scalentheile. Ist aber der Wismuthstab, wie in unserm Falle durch eine galvanische Spirale erregt, dann soll derselbe seine Polarität, nicht blofs während der Bewegung innerhalb der Spirale, sondern auch *während er gehoben oder gesenkt ist*, umkehren, und jetzt eine Differenz der Magnetstände von 8,9 bis 9,4 Scalentheilen im umgekehrten Sinne zeigen. Es ist zu bedauern, dafs die Stromesrichtung in der Spirale, oder die Art der Polarität des Wismuthstabes oder des zur Probe benutzten Eisenstabes, oder die Lage der höheren und niederen Scalentheile gegen den Beobachter nicht angegeben ist: der Umstand, dafs »das angewandte Wismuthstück *ohne Strom* wie ein Eisendraht wirkt«, vom Strom umflossen aber die entgegengesetzte Wirkung hervorbringt, kann über die Richtung der Polaritäten in beiden Fällen keinen Aufschluss geben. Verhielt sich vielleicht der Wismuthstab wie ein permanenter Magnet? Ohne Strom wurde er nur in einer Lage geprüft, nicht aber nachdem sein oberes Ende nach unten gekehrt worden. Oder hatte der Erdmagnetismus auf das Wismuth einen Einfluss wie auf das weiche Eisen geäufsert? Die beiden einzigen füglich erlaubten Conjecturen über dieses jedenfalls höchst merkwürdige Resultat sind durch die Bemerkungen abgeschnitten: »Das Wismuth war chemisch rein, und so aufgehängt, dafs es an einem Faden auf- und abgezogen werden konnte, ohne dafs der Magnet im geringsten erschüttert wird«.

Ich habe mich bemüht mit meinem Wismuthstabe eine Ablenkung des Magneten hervorzubringen, wenn sich derselbe in der unthätigen und ungeschlossenen Spirale auf- und abwärts bewegte, doch blieben alle Versuche ohne allen Erfolg.

9. Waren nun auch meine Versuche vollkommen übereinstimmend mit denen des Hrn. Weber, so ist es eine andere Frage, ob diese Versuche berechtigt seyen, einen Nachweis über das Wesen des Diamagnetismus zu führen. Es sind besonders zwei Bedenken gegen diese Berechtigung,

welche mich veranlafsten, eine beträchtliche Anzahl verschiedener Versuchsreihen auszuführen.

Erstens weist Hr. Weber an mehreren Orten der citirten Abhandlungen darauf hin, dafs an verschiedenen Stellen im Innern einer cylindrischen galvanischen Spirale nur »*nahe gleiche elektromagnetische Scheidekräfte wirken*« <sup>1)</sup> und dafs sonach ein Wismuthstab in einer solchen Spirale »innerhalb gewisser Gränzen verschoben werden kann, ohne dafs diese Kräfte sich *merklich* ändern«. »Beträgt« nämlich »der Durchmesser z. B. den 40sten Theil der Länge, so ist in mehr als  $\frac{7}{8}$  des ganzen von der Spirale umschlossenen Raumes die elektromagnetische Scheidungskraft bis auf 1 Procent constant, und in fast  $\frac{2}{3}$  dieses Raumes ist sie bis auf  $\frac{1}{10}$  Procent constant«. Dem hier angegebenen Verhältnisse ist aber weder bei den Versuchen des Hrn. Weber noch bei den von mir ausgeführten nachgekommen, denn bei ersteren verhält sich der Durchmesser der Spirale zu deren Länge wie 1:11,2, bei letzteren wie 1:12,7. Und demgemäfs müssen die in denselben obwaltenden Scheidungskräfte noch weit gröfseren Aenderungen unterworfen seyn, als den angeführten. Ist aber dieses der Fall, dann kann bei der Bewegung eines Leiters für galvanische Ströme innerhalb einer solchen Spirale unmöglich die Volta-Induction <sup>2)</sup> »ganz beseitigt« worden seyn.

Zweitens aber kommt es, wenn man über die Richtung der Polarität der kleinsten Theilchen das Wismuth entscheiden will, *nicht* darauf an, dafs das Wismuth durch eine *galvanische Spirale* erregt werde, sondern es kommt darauf an, *dafs die erregende Kraft stärker auf die Mitte der Längsausdehnung eines wismuthmagnetischen Körpers wirke, als auf dessen Ende*. Dieser Bedingung ist aber in den Versuchen des Hrn. Weber nicht genügt. Der Wismuthstab bewegt sich innerhalb einer Spirale von doppelter Länge auf und ab, und seine Polarität wird an den

1) Maafsbestimmungen S. 493 u. 548. Poggendorff's Annalen Bd. 87, S. 153.

2) Maafsbestimmungen S. 535 u. 511.

resp. Enden seiner Bahn geprüft. Ist nun z. B. der Stab in die untere Lage gebracht, so befindet sich sein oberes Ende in der Mitte der erregenden Spirale. In der Mitte hat aber die erregende Kraft derselben einen Maximumwerth <sup>1)</sup>, folglich wird der Stab von seinem oberen Ende her stärker erregt, als von seiner Mitte. Ebenso wird der Stab von seinem unteren Ende her stärker erregt, als von der Mitte, wenn er in die obere Lage gebracht ist.

10. Zur Prüfung des ersten der hier angeführten Argumente stellte ich folgende Ueberlegungen an. Um den Versuch von der Wirkung der Inductionsströme auf den beweglichen Magneten zu befreien, stehen namentlich zwei Wege offen: entweder es werden die Inductionsströme so geregelt, daß sie gegenseitig ihre Wirkung auf den Magneten vernichten, und dieses kann im vorliegenden Falle dadurch geschehen, daß man statt eines massiven Wismuthcylinders ein Bündel von sehr dünnen mit Seide umspunnenen Wismuthcylindern in der Spirale auf- und abbewegt. Oder die Inductionsströme werden ganz und gar vermieden, was geschieht, wenn man statt eines diamagnetischen *Leiters* einen diamagnetischen *Isolator* für galvanische Ströme dem Versuch unterwirft. Die erste dieser Proben mußte ich einstweilen aufgeben, weil es mir trotz aller Bemühungen unmöglich wurde, aus chemisch-reinem Wismuth hinreichend dünne Cylinder von der Länge des benutzten stärkeren zu gießen. Und diese Länge mußten sie wenigstens annähernd haben, wenn die zu erwartenden Resultate mit den durch den massiven Cylinder gewonnenen verglichen werden sollten. Es blieb also nur übrig, mich auf die zweite Probe zu beschränken.

11. *Versuch 9.* Ein dem hiesigen physikalischen Cabinet gehöriges regelmäfsig dreiseitiges Prisma von sehr reinem Faraday'schem schwerem Glase aus der Werkstatt des Hrn. Dubosq-Soleil in Paris ist 98<sup>mm</sup> lang (die Wismuthcylinder, mit welchen Hr. Weber die ursprünglichen Versuche ausführte, sind 92<sup>mm</sup> lang) und hält 28<sup>mm</sup>

1) Maafsbestimmungen S. 547.

in Seite. Dasselbe wurde mittelst Seidenfäden innerhalb der thätigen galvanischen Spirale analog dem Wismuthcylinder des ersten Versuches bewegt. Wie aber auch diese Bewegungen abgeändert werden mochten, es war nicht möglich, weder die Schwingungen des Magneten zu mindern, noch den ruhenden Magneten in Schwingungen zu versetzen. Der Strom in der Spirale war so stark, daß ein Stückchen dünnster eiserner Klaviersaitendraht von der Länge des Glasprismas den Magneten beim Heben zu den höchsten Scalentheilen (1600) und beim Senken zu den niedersten (337) trieb. Ein Wismuthstab von gleicher Länge und nur 5<sup>mm</sup> Durchmesser brachte durch abwechselndes Heben und Senken eine entgegengesetzte wiewohl sehr geringe Ablenkung hervor, als der Eisendraht. Durch 31 Hebungen und ebenso viele Senkungen war es möglich eine Schwingungsweite des Magneten von 15 Scalentheilen auf 0 herabzudrücken. Bei derselben Stromstärke vermochte der Wismuthcylinder des ersten Versuches mittelst 10 Bewegungen einen Ausschlag von 20 Scalentheilen zur Ruhelage herabzubringen.

12. *Versuch 10.* Statt des Wismuthcylinders vom ersten Versuch wurde ein Cylinder von reinem weißem Wachs in der Spirale bewegt und mit ihm die oben für den Wismuthcylinder durchgeführte Versuchsreihe wiederholt. Eine Probe dieses Waxes verhielt sich zwischen den Polen eines Elektromagneten vollkommen diamagnetisch. Der Wachscylinder war 147<sup>mm</sup>, also fast genau so lang als der Wismuthcylinder, er hatte aber 29<sup>mm</sup> Durchmesser und wog 155<sup>gr</sup>,3. Jedesmal, wenn eine Versuchsreihe für den Wismuthcylinder durchgeführt war, wurde der Wachscylinder eingehangen, und mit ihm ein analoger Versuch angestellt. Alle diese Reihen sagen dasselbe aus. Es ist oben No. 7 die der ersten Versuchsreihe entsprechende mitgetheilt unter der Ueberschrift »6. Versuch mit dem Wachscylinder«. Ueber die Anordnung dieser Tabelle und die Anordnung des Versuches gilt dasselbe, was No. 7 über die Tabelle »a. Versuche mit dem Wismuthcylinder«

gesagt wurde. *Von jenem regelmässigen Wachsen und Abnehmen der Schwingungsbögen unter Einfluss des Wismuthcylinders ist nichts wieder vorzufinden in der Versuchsreihe mit dem Wachscylinder.*

13. Diese Versuche mögen einstweilen genügen, um zu zeigen, dass diamagnetische Substanzen, welche in einer galvanischen Spirale auf- und abbewegt werden, *keine* Ablenkung eines benachbarten Magneten hervorbringen, wenn sie nicht zugleich Leiter für galvanische Ströme sind, und wenn somit die Ströme der Volta-Induction nicht zu Stande kommen können. Beruhte aber das Wesen des Diamagnetismus in inducirten Molecularströmen, so müsste auch beim Wachs die analoge Erscheinung eintreten, die wir beim Wismuth beobachteten. Diese Versuche lassen sich leicht erweitern, wenn man Schwefel, trockenes Holz, Schellack und andere Isolatoren den angegebenen Bedingungen unterwerfen wollte. Leider nöthigten mich Gründe von rein örtlicher Natur die Untersuchung zu beschleunigen.

14. Finde ich mich nun genöthigt, die in No. 7 beobachtete anormale Polarität des Wismuth als eine scheinbare anzusehen, und die Ursache der Erscheinung in gewöhnlichen Inductionsströmen suchen zu müssen, so frage ich weiter: wie wird sich der bewegliche Hufeisenmagnet verhalten, wenn ihm die wismuthmagnetische Substanz unter Einfluss des galvanischen Stromes nicht während eines beständigen Auf- und Abbewegens, sondern *im Zustand der Ruhe* dargeboten wird? Zur Beantwortung dieser Frage stellte ich eine Anzahl von Versuchsreihen in folgender Weise an.

15. *Versuch 11.* Die im achten Versuch No. 7 angeführte Beobachtungsmethode wurde dahin abgeändert, dass nicht, wie es dort geschah, der Wismuthstab bei jeder Schwankung des Magneten gehoben oder gesenkt wurde, sondern dass derselbe während 20 einfacher Schwingungen des Magneten in der oberen Lage, während der nächsten 20 Schwingungen in der unteren, dann wieder ebenso lange in der oberen Lage u. s. f. verblieb. Die Beobachtungen

wurden ohne Pause für die ganze Reihe fortgesetzt. Für jede Schwingung wurden die äußersten Werthe aufgezeichnet, und das Mittel und die Differenz von je zwei nacheinander beobachteten Zahlen berechnet, sowie das Mittel aus jeden 20 für die obere oder untere Lage erhaltenen Zahlen. Die berechneten Mittel je zweier unmittelbar nacheinander beobachteten Zahlen sind der Ausdruck für die Gleichgewichtslage des Magneten während der entsprechenden Oscillation; die berechneten Differenzen dagegen bezeichnen die zugehörigen Schwingungsweiten. Diese beiden Zahlenreihen sagten aber weiter nichts aus, als was schon der erste Versuch lehrt. Im Moment, wo der Wismuthstab  $\left\{ \begin{smallmatrix} \text{gehoben} \\ \text{gesenkt} \end{smallmatrix} \right\}$  wurde, rückt nämlich die Gleichgewichtslage des Magneten auf  $\left\{ \begin{smallmatrix} \text{niedere} \\ \text{höhere} \end{smallmatrix} \right\}$  Scalentheile; da aber dieser Wechsel in der Länge des Stabes nur vorgenommen wurde, wenn der Magnet von höheren zu niederen Scalentheilen schwang, so wurde demgemäß beim  $\left\{ \begin{smallmatrix} \text{Heben} \\ \text{Senken} \end{smallmatrix} \right\}$  die Schwingungsweite plötzlich  $\left\{ \begin{smallmatrix} \text{vergrößert} \\ \text{verkleinert} \end{smallmatrix} \right\}$ . Diese Erscheinungen traten aber nur ein im Moment des Hebens und Senkens, und würden entgegengesetzt gerichtet gewesen seyn, wenn statt des Wismuths ein Eisenstab substituirt worden wäre. Dagegen war weder in den Zahlen für Gleichgewichtslage und Schwingungsweite während des ruhenden Wismuthstabes, noch in der graphischen Darstellung derselben irgend eine besondere Regelmäßigkeit zu entdecken. Ich halte es daher für überflüssig, dieselben mitzutheilen.

Wichtiger dagegen sind diejenigen Mittelzahlen, welche aus jeden zwanzig Beobachtungen für die ganze Zeit der oberen respective unteren Lage des Wismuthstabes berechnet wurden. In der folgenden Tabelle mögen diese Zahlen aus der ausgedehntesten der überhaupt ausgeführten Versuchsreihen zusammengestellt werden. In der ersten Columnne ist die Lage des Wismuthstabes mit den Worten »gehoben, gesenkt« bezeichnet, und die zweite Columnne

enthält die mittlere Gleichgewichtslage des Magneten während dieser Stellungen des Wismuthstabes, berechnet aus je 20 beobachteten Ausschlägen des Magneten.

Der Cylinder war	Versuche			
	mit dem Wismuthcylinder.		mit dem Wachscylinder.	
	Stand des Magneten.		Stand des Magneten.	
	Mittel aus 20 Beob- achtungen.	Mittel aus den letzten 10 Beobach- tungen.	Mittel aus 20 Beob- achtungen.	Mittel aus den letzten 10 Beobach- tungen.
gehoben	507,140	507,25	496,372	496,38
gesenkt	507,565	508,06	495,800 *	496,07 *
gehoben	505,545	505,54	496,240 *	495,92
gesenkt	506,030	505,37 *	496,175 *	495,37 *
gehoben	505,045	505,11	495,415	494,93
gesenkt	505,115	505,84	495,810	495,11
gehoben	504,705	504,57	495,530	495,60 *
gesenkt	504,720	504,19 *	494,675 *	495,21 *
gehoben	504,195	504,17	494,230	494,94
gesenkt	505,685	505,43	494,750	494,82 *
gehoben	504,510	504,73	494,395	494,68
gesenkt	504,585	504,55 *	494,030 *	493,53 *

Würden wir keine weiteren Folgerungen aus den beobachteten Zahlen machen, als die in der zweiten Columnne dargestellten, so würden wir allerdings zu dem Schluss berechtigt seyn, daß ein Wismuthstab, auch während er sich innerhalb einer galvanischen Spirale von mehr als doppelter Länge in *Ruhe* befindet, die entgegengesetzte Polarität eines Eisenstabes annimmt. Deun denken wir uns vom Fernrohr nach der Spirale sehend, so ist der Nordpol derselben oben, der Nordpol des Magneten links und die höheren Scalentheile ebenfalls links. Ein in der Spirale { gehobener  
gesenker } Eisenstab würde dem Magneten zunächst einen { Südpol  
Nordpol } haben, sonach den { Nordpol  
Südpol } des Magneten anziehen und somit würde der mit ihm verbundene Spiegel das Bild von { höheren  
niederen } Scalentheilen dem Fernrohre zuführen. Hier finden wir aber das Gegentheil:



dem { gehobenen } Wismuthstab entsprechen { niedere } Sca-  
 gesenkten { höhere } lentheile. Doch kam ich auf die Vermuthung, es möchte, wenn auch nur ein großer Theil dieser Differenzen, auf diejenigen Störungen zu schieben seyn, welche durch die Inductionsströme beim Act des Hebens oder Senkens im mittleren Stande des Magneten hervorgebracht werden. Zu dem Ende berechnete ich die in der dritten Columne verzeichneten Mittel aus bloß den letzten 10 Beobachtungen während der resp. Lagen des Wismuths in der galvanischen Spirale. Es zeigte sich, daß die mit einem (\*) versehenen 3 Zahlen sich nicht mehr jener Regelmäßigkeit im Steigen und Fallen unterwerfen, und es wird mindestens höchst zweifelhaft, ob sich unter den angegebenen Bedingungen im Wismuth eine Polarität mit Sicherheit auch dann noch nachweisen lasse, wenn es innerhalb einer solchen galvanischen Spirale nicht in Bewegung, sondern wenn es in Ruhe ist. Wenigstens würde es ungleich umfangreicher und kräftiger Apparate bedürfen, um einen solchen Nachweis zu führen.

16. Versuch 12. War eine der soeben beschriebenen Versuchsreihen beendet, so wurde der Wismuthcylinder mit dem schon früher gebrauchten Wachscylinder vertauscht und nun die Versuchsreihe unter sonst denselben Bedingungen wiederholt. In der vorigen Tabelle ist unter der Ueberschrift »Versuche mit dem Wachscylinder« die der soeben beschriebenen Versuchsreihe entsprechende in ihren Resultaten angefügt. Auch hier sind die ursprünglich beobachteten Zahlen, sowie die darauf berechneten mittleren Magnetstände und Weiten der einzelnen Schwingungen unterdrückt. Was dieselben betrifft, so war, wie schon der dritte Versuch aussagt, eine regelmäßige Abnahme oder Zunahme im Moment des Hebens und Senkens nicht zu bemerken. Dagegen sind in der vierten Columne der vorigen Tabelle die Mittel aus je 20, sowie in der fünften die Mittel aus bloß den letzten 10 Beobachtungen angegeben. Die Ausnahmen von der mehrfach erörterten, »dia-

magnetischen« Regel sind ebenfalls mit einem (\*) bezeichnet. Und hatte auch der Wachscylinder nur den fünften Theil der Masse vom Wismutheyylinder, so dürften doch diese Ausnahmen in sonst so gut miteinander stimmenden Zahlen sich nicht derart häufen, als es hier geschehen ist. Diese Ausnahmen unterstützen den Ausspruch der vorigen Nummer, *sie machen die Regel selbst zweifelhaft.*

17. Aber gesetzt auch, ein Cylinder aus wismuthmagnetischer Substanz erhalte die entgegengesetzte Polarität eines Cylinders aus eisenmagnetischer Substanz, wenn er sich in der unteren oder oberen Hälfte einer galvanischen Spirale von mehr als doppelter Länge in Ruhe befindet: so ist damit noch nicht nachgewiesen, daß er diese umgekehrte Polarität erhalte, wenn er in der Mitte seiner Längsausdehnung stärker erregt wird als an den Enden. Und das war es ja gerade, worauf es mir in den früher aufgestellten Ansichten über diamagnetische Wirkungsweise ankam. Ich hatte (Poggendorff's Annalen Bd. 82, S. 90 ff.) einen Versuch angeführt, der meine Ansichten bestätigte. Die Gültigkeit desselben wurde aber von Hrn. Weber (Maßbestimmungen 536) in Zweifel gezogen. Die gegen dieselbe angeführten Gründe haben mich so sehr überzeugt, daß ich es nicht mehr der Mühe werth hielt, meinen eigenen Versuch zu wiederholen. Dagegen aber benutzte ich die klassische Beobachtungsmethode Weber's, um die bisher durchgeführten Versuche so weit abzuändern bis sie meinen Zwecken genügten.

18. *Versuch 13.* Ein hohler Cylinder, aus 2 Lagen Pappe bestehend, wurde mit drei Lagen Flanell und hierauf noch mit mehreren Lagen Papier überklebt. Derselbe NS — Taf. III, Fig. 4 — hatte bei 24<sup>mm</sup>,5 innerem Durchmesser einen äußeren Durchmesser von 41<sup>mm</sup> erhalten und war 440<sup>mm</sup> hoch. Ueber den mittleren Theil desselben wurden 1<sup>kg</sup>,87 mit Seide übersponnener und gefirniffter Kupferdraht gewunden. Der Draht war in 11 Lagen vertheilt und diese enthielten, um die magnetische Scheidungs-

kraft möglichst in der Mitte zusammenzudrängen, bezüglich  $117 + 105 + 101 + 95 + 89 + 82 + 74 + 66 + 57 + 44 + 33 = 863$  Windungen. Die unterste Lage hatte eine Höhe von  $190^{\text{mm}}$  und jede Lage war von der nächsten durch zwei Schichten gefirnifster Seide getrennt. Innerhalb der Papprolle hing der schon mehrfach gebrauchte Wismuthcylinder an einem Seidenfaden von der Decke des Zimmers herab, und konnte ohne anzustofsen in beliebig großen Intervallen aus der Entfernung auf- und abgezogen werden. Vor dieser Spirale hing, ebenfalls von der Decke des Zimmers herab, eine Latte an einem Bündel umgedrehter Seidenfäden, welche aufser dem Spiegel  $P$  ein astatisches System von zwei Magnetstäben ( $212^{\text{mm}}$  lang und  $26^{\text{mm}}$  in Seite)  $N_1 S_1$  und  $S_2 N_2$  trug. Und zwar war, wie es die Figur andeutet, der obere Magnetstab  $N_1 S_1$  auf der rechten Seite, der untere auf der linken Seite der Latte angeschraubt, so dafs ihre Pole  $S_1$  und  $N_2$  gerade über und unter den Polen der Spirale, jedoch auf verschiedenen Seiten derselben schwebten, und noch Raum genug zu horizontalen Oscillationen des astatischen Systemes übrig blieb. Die Spiegelfläche  $P$  warf in bekannter Weise das Bild einer  $2^{\text{mr}},5$  entfernten in Millimeter getheilten Scale in ein über derselben stehendes Fernrohr. Die höheren Scalentheile befanden sich zur Linken des durch das Fernrohr sehenden Beobachters. Wie in der vierten Versuchsreihe wurde auch hier der Wismuthstab innerhalb der Spirale so weit gehoben, bis sein unteres Ende genugsam aus dem Bereich des Poles  $N_2$  entfernt war, und für 20 einfache Schwingungen abwechselnd der niederste und höchste Stand im Fernrohr beobachtet. Dasselbe geschah für die folgenden 20 Schwingungen, nachdem der Stab gesenkt worden war, bis sein oberes Ende aus dem Bereich des Poles  $S_1$  kam u. s. f. Aus jeden 20 nacheinander beobachteten Zahlen wurde das Mittel genommen, und demnächst wurde das Mittel berechnet aus den für die obere Lage des Wismuthstabes erhaltenen Mittelzahlen, sowie das Mittel aus den Zahlen für die untere Lage. In der folgenden Tabelle mögen

mögen die so gefundenen Werthe von 4 Versuchsreihen aufgeführt werden.

Anzahl der Hebungen des Wismuth.	Mittel aus allen in der obern Lage beobachteten Zahlen.	Anzahl der Senkungen des Wismuth.	Mittel aus allen in der untern Lage beobachteten Zahlen.
9	555,300	8	554,590
9	492,997	8	492,244
10	502,115	9	502,011
12	547,740	11	548,410

Drei dieser vier Reihen zeigen, daß die Zahlen der mittleren Stände des Magnetsystemes für den gehobenen Wismuthstab größer sind, als für den gesenkten Stab. Und so mußte es der Fall seyn, wenn das Wismuth innerhalb der galvanischen Spirale eine *gleichgerichtete* Polarität annimmt wie das Eisen. Die letzte Reihe jedoch zeigt eine größere Zahl für den gesenkten Stab als für den gehobenen, und da ich den Grund dieser Abweichung nicht zu ermitteln vermag, scheue ich mich nicht, sie den übrigen Reihen gegenüber zu stellen. Ueberdies sind die Zahlenunterschiede zu klein, als daß ich mich hätte mit diesen Versuchen begnügen sollen. Die Nachtheile des Apparates mußten mir bald einleuchten. Sie bestanden namentlich darin, daß der Wismuthstab nicht weit genug aus dem Bereich des einen Magneten entfernt werden konnte, wenn er auf den andern wirken und dabei immer an seinen Enden schwächer erregt werden sollte, als zwischen denselben. Ich stellte deshalb nur wenige Versuchsreihen mit diesem Apparat an und nahm aus den Beobachtungen einzig die Versicherung, daß eine *normale Polarität des Wismuths nachweisbar seyn könnte*.

19. Versuch 14. Der Spiegel, die Bewegung des Wismuthcylinders und das astatische Magnetsystem hatten sich bewährt, wenngleich es vortheilhaft erschien, die schweren Magnetstäbe mit leichteren zu vertauschen. Dagegen aber wurde es nothwendig, statt einer einzigen galvanischen Spirale deren zwei von entgegengesetzten Seiten her auf

das astatische System wirken zu lassen, so zwar, daß beide allein sich gegenseitig compensiren, daß aber das Magnet-system zu Gunsten (oder zum Nachtheil) der einen von beiden ausschlägt, wenn dieselbe mit Wismuth gefüllt wird. Demgemäß stellte ich auf einen Holzkasten  $QR$  (Taf. III Fig. 5) zwei galvanische Spiralen  $NS$  und  $N_1 S_1$  auf, so daß ihre Axen vertical standen und etwa  $248^{\text{mm}}$  von einander entfernt waren. Diese Spiralen waren auf hohle Holzcyylinder von geringer Wanddicke aufgewunden und wurden durch quadratische Holzplatten zusammengehalten, die eine Axenlänge von  $108^{\text{mm}}$  zuliefen. Die Spiralen waren aus gefirnifstem und mit Seide umsponnenem Kupferdraht dargestellt, hatten einen inneren Durchmesser  $= 42^{\text{mm}}$  und einen äußeren  $= 92^{\text{mm}}$  und bestanden jede aus  $597\frac{1}{2}$  Windungen, welche in je 11 mit gefirnifster Seide getrennten Lagen vertheilt waren. In der Spirale  $NS$  sollte der schon mehrfach benutzte Wismuthstab  $W$  magnetisirt und entmagnetisirt und zu dem Ende gehoben und gesenkt werden. Um die Wärmeleitung möglichst zu mindern, wurde sie mit einem Hohlcyylinder  $AB$  von zwei Lagen Pappe und drei Lagen Flanell ausgefüttert, der gerade in den hohlen Holzcyylinder der Spirale paßte, und den inneren Raum bis auf  $21^{\text{mm}},5$  Durchmesser verengte. Die Länge dieses Cylinders betrug  $440^{\text{mm}}$  und er ragte über der Spirale so weit hervor, daß er den Wismuthcyylinder in dessen oberer Lage noch gerade überdeckte; unter der Spirale war er durch eine Oeffnung im Deckel  $QR$  des Kastens gesteckt, sicherte so die Stellung der Spirale  $NS$ , diente als Führung für den Wismuthstab und schützte denselben wenigstens etwas gegen Abkühlung, wenn er in dem Bereich der Spirale erwärmt und demnächst in die untere Lage gebracht worden war. Mitten zwischen beiden Spiralen schwebte das astatische Magnet-system, bestehend aus zwei Stäben  $N_2 S_2$  und  $N_3 S_3$  von  $100^{\text{mm}}$  Länge und  $6^{\text{mm}}$  Durchmesser. Dieselben waren durch einen Streifen dicker Pappe gesteckt, und zwischen ihnen war auf demselben Streifen der Spiegel  $P$  befestigt. Dieses astatische System hing an einem doppelten Coconfaden von

einem Dreifuß herab, während die Rolle, um welche sich die Schnur des Wismuthstabes bewegte, an die Decke des Zimmers geschraubt war. Die Polaritäten der Spiralen und der Magnete sind durch die Buchstaben *N* und *S* bezeichnet. Ein Blick auf die Figur lehrt, daß, wenn die Spiralen in Thätigkeit versetzt werden, alle vier Pole derselben gleichmäÙig auf die Pole der Magnete derart wirken, daß das bewegliche System sich von *P* abwärts, senkrecht zur Verbindungslinie beider Spiralen bewegt. Um diesen Uebelstand möglichst zu beseitigen, wurde ein sehr schwerer Spiegel *P* angewandt, er wog nämlich mit Einschlufs des übrigen blofs hemmenden Antheiles 243<sup>gr</sup>,2, während beide Magnete ein Gewicht = 47<sup>gr</sup>,8 hatten. So wurde es möglich durch kleine Verrückungen der Spirale *N*, *S*, senkrecht zur Verbindungslinie beider Spiralen die Schwingungsdauer des astatischen Systemes willkürlich zu vergrößern und zu verkleinern, und durch Verrückung in dieser Linie dem Spiegel *P* eine willkürliche Richtung zu geben. Der Spiegelfläche *P* gegenüber war in der Horizontale Entfernung von 2<sup>m</sup>,297 die in Millimeter getheilte Scale und über derselben das Fernrohr aufgestellt. Die größeren Scalentheile befanden sich links von dem am Fernrohr stehenden Beobachter. Der Strom von sechs Grove'schen Elementen mit je 80 Quadratcentm. Platinblech ging nacheinander durch beide Spiralen. Die Constanz des Stromes wurde durch eine eingeschaltete Tangentenbussole erprobt. Bei einigen Versuchen überzeugte ich mich, daß die mittlere Lage des Spiegels keine störende Aenderung erlitten hatte, wenn auch die Nadel der Tangentenbussole um mehrere Zehntel-Grade zurückgewichen war. Sonach konnte auch eine geringe Aenderung in der Stromstärke, welche durch die Abkühlung der Spirale *NS* in Folge des gehobenen Wismuthstabes veranlaßt wurde, keinen Einfluß auf die Stellung des Magnetsystemes ausüben, noch dazu die Wärmeleitung durch die angegebenen Vorsichtsmafsregeln aufs äußerste vermindert worden war. Nachdem nun die durch Herstellung des Stromes entstandenen größeren Schwan-

kungen des Spiegels in geeigneter Weise gedämpft worden waren, wurde der Wismuthstab in der Spirale *NS* so hoch gehoben, daß er oben und unten gleich weit aus derselben hervorragte und demnächst wurden die äußersten Scalentheile für 20 einfache Oscillationen abgelesen. Hierauf wurde der Wismuthstab gesenkt, bis er sich weit außerhalb der Spirale befand und abermals die Ablesung für 20 einfache Oscillationen bewirkt; hierauf wurde der Stab wieder gehoben, gesenkt u. s. f. Bei einigen so angestellten Versuchsreihen wurden die Magnete in der Weise benutzt, wie es die Figur angiebt, bei anderen wurden sie mit kupfernen Dämpfern umgeben. Gewannen auch im letzteren Falle die beobachteten Zahlen an Gleichförmigkeit, so sagten die Resultate aus beiden Beobachtungsweisen und von allen Versuchsreihen einstimmig dasselbe aus, nämlich:

*ein Wismuthstab nimmt zwar eine weit schwächere aber eine einem Eisenstab gleichgerichtete Polarität an, wenn er in der Mitte seiner Längsausdehnung eine stärkere magnetische Erregung erfährt, als an seinen Enden.*

Zum Beweis des Gesagten mögen in der folgenden Tabelle die Resultate einer Beobachtungsreihe zusammengestellt werden. Der Stand der Tangentenbussole war  $32^{\circ},5$ .

	Der Wismuthstab war			
	gehoben.		gesenkt.	
	Mittel aus 20 Beobach- tungen.	Mittel aus den letzten 10 Beobach- tungen.	Mittel aus 20 Beobach- tungen.	Mittel aus den letzten 10 Beobach- tungen.
1.	377,830	372,05		
2.	372,425	382,08	378,390	379,26
3.	378,400	377,78	382,930	386,02
4.	365,105	362,80	385,080	386,07
5.	374,685	368,25	381,175	387,16
Mittel	373,689	372,59	381,894	382,38

Die erste Columnne enthält die Zahl der vollführten Hebungen des Wismuthstabes, die zweite das Mittel aus

den Beobachtungszahlen für je 20 einfache Oscillationen der Magnete, sowie die dritte das Mittel aus den letzten 10 beobachteten Zahlen für den *gehobenen* Stab. Ingleichen enthalten die vierte und fünfte Columnne die entsprechenden Mittel für die zwischen je 2 Hebungen stattgehabte Senkung des Stabes. In der untersten Horizontalreihe sind endlich die Mittel aus allen in jeder zugehörigen Verticalreihe stehenden Zahlen verzeichnet. Der Vergleich der Zahlen in der zweiten und vierten oder der dritten und fünften Verticalreihe zeigt, daß bei *gehobenem* Wismuthstab *kleinere* Zahlen beobachtet wurden, als bei gesenktem, ganz wie dieses bei einem eingebrachten Eisenstab der Fall war. Nur die zweite Zahl in der dritten Reihe macht eine (zwar nur scheinbare) Ausnahme <sup>1)</sup>. Der Grund davon war jedoch nicht zu ermitteln. Der Vergleich der Zahlen in der ersten mit denen in der zweiten Verticalreihe zeigt, daß (mit Ausnahme jener zweiten Zahl in der dritten Reihe) die während der aufwärtsgehenden Bewegung des Wismuthstabes stattgehabten Inductionsströme eine Vergrößerung der Mittelzahlen hervorbrachten. Ebenso wurde eine Verkleinerung dieser Zahlen bewirkt durch die beim Senken des Stabes entstandenen Ströme. Dasselbe tritt in den Mittelzahlen der untersten Horizontalreihe hervor. Dem entsprechend hat nun der Wismuthstab eine Verrückung

- 1) Hauptsächlich wegen dieser zweiten Zahl in der dritten Verticalreihe füge ich in Fig. 6 Taf. III eine graphische Darstellung der Ergebnisse dieser Tabelle hinzu. In derselben stellen die Ordinaten der Linien *AB*, *ab*, *CD* und *cd* die Zahlen resp. der zweiten, dritten, vierten und fünften Verticalreihe dar, während die Abscissen proportional den Zahlen der ersten Reihe sind. Durch diese Darstellung wird es augenscheinlich, daß die von dem Einfluß der Inductionsstöße befreite Linie *ab* und *cd* im Allgemeinen außerhalb den Linien *AB* und *CD* liegen, welche die Wirkung der Inductionsstöße noch mit enthalten. Ferner zeigt sich, daß trotz der genannten Zahl, doch die Linie *cd* noch gänzlich über und außerhalb der Linie *ab*, wie *CD* über *AB* liegt. Endlich wird der Einfluß des Wismuthstabes auch noch dadurch markirt, daß die unter demselben entstandenen Curven *AB* und *ab* eine viel unregelmäßigere Gestalt haben, als die ohne denselben entstandenen Curven *CD* und *cd*.



des Magnetsystemes bewirkt von  $381,894 - 373,689 = 8,205$  Scalentheilen, wenn man das Mittel aus allen beobachteten Zahlen als maßgebend betrachten will.

Es ergibt sich aber eine Drehung der Magnete von  $382,38 - 372,59 =$

9,79 Scalentheilen,

wenn man die von der Wirkung der Inductionsströme befreiten Mittel aus den jedesmaligen letzten Hälften der beobachteten Zahlen in Betracht zieht. Nach der Versuchreihe wurde statt des Wismuthstabes ein weicher Eisendraht von gleicher Länge und  $0^{\text{r}},365$  Gewicht in der Spirale gehoben und gesenkt. Die für die obere Lage beobachtete Mittelzahl betrug 192,5, die für die untere Lage beobachtete Mittelzahl 309,0. Der Eisendraht brachte also eine Drehung von

116,5 Scalentheilen

hervor, welche Zahl ein ungefähres Maafs für die Empfindlichkeit des Apparates, sowie im Vergleich mit 9,79 für die Menge des im Wismuth frei gewordenen Magnetismus abgeben mag. Ich spreche von einem *ungefähren* Maafs, denn ich bin weit entfernt diesen Untersuchungen, ausgeführt mit den rohsten Hilfsmitteln, *mehr* als einen beobachtenden Charakter beilegen zu wollen. Für messende Versuche scheue ich annoch Opfer und Mühe, da ich sie noch nicht für zeitgemäfs erachte. Als besonders schlagenden Beweis für meine Ansicht verdient aber nochmals hervorgehoben zu werden, *dafs die von den Inductionstößen befreiten Mittel aus den letzten 10 Einzelbeobachtungen eine Vergrößerung der normalen Polarität nachweisen, während die entsprechenden Mittel der 15. Nummer eine Verminderung der anormalen Polarität desselben Stabes anzeigen.*

20. Aufser jenen, mehr oder weniger indirecten Beweisen für die normale Polarität der kleinsten Theilchen in wismuthmagnetischen Körpern war mir noch ein directer Beweis äufserst wünschenswerth. Ich schlofs, wenn ein in einer galvanischen Spirale ruhender Wismuthstab einen

in seiner Nähe beweglich aufgehängenen Magneten abzulenken im Stande ist, so muß auch umgekehrt ein in einer galvanischen Spirale beweglich aufgehängener Wismuthstab von einem in seiner Nachbarschaft in Ruhe befindlichen Magneten abgelenkt werden. Zur Bestätigung verfuhr ich folgendermaßen: Die Spirale der 18. Nummer (Fig. 6) wurde (ohne das wollene Futter) horizontal, und in dieselbe der vielfach benutzte Wismuthstab gelegt. Die hervorragenden Enden desselben wurden in Schlingen von fußlangen Seidenschnüren gehangen, welche von einem ebenfalls horizontalen dünnen Holzstab herabreichten. Dieser letztere war mit einem verticalen Spiegel in fester Verbindung und hing in seiner Mitte an einem Bündel roher Seidenfäden von der Decke des Zimmers herab. Durch willkürliche Verkürzung der Schnüre konnte der Wismuthstab gehoben und frei schwebend in der Axe der Spirale erhalten werden. Rechts und links von der Spirale wurden Stahl- oder Elektromagnete, mit ihren entgegengesetzten Polen nach dem Wismuthstab sehend, aufgestellt, und dieser wurde durch einen starken galvanischen Strom magnetisirt. Die Ablenkung des Wismuthstabes und des mit ihm verbundenen Spiegels beobachtete ich durch Fernrohr und Scale. War nun der Wismuthstab in der unthätigen Spirale zur Ruhe gekommen und wurde der Strom durch die letztere gesandt, so gerieth der Stab in Bewegung und behielt diese Bewegung nach rechts und links Stunden lang bei, ohne auch nur eine Tendenz zu irgend einer Ruhelage zu verrathen, mochte die Stromesrichtung und die Lage, Zahl und Stärke der Magnete seyn, welche sie wollten. Wie ich mich später überzeugete, leiteten die anfänglichen Inductionsstöße diese Bewegung ein, und die Ströme der in der Spirale erwärmten Luft unterhalten sie, während die Magnete nicht stark genug waren, dem schweren Wismuthstab eine dauernde Richtung zu geben. Dennoch aber leitete mich dieses unerwartete Resultat irre, so daß mir erst im Laufe der mannigfaltigsten Abänderungen des Versuches klar wurde, wie ich ja wesentlich nichts an-

deres bezweckte, als eine Darstellung des Versuches, welchen Hr. Poggendorff am 16. Dec. 1847 <sup>1)</sup> der Akademie zu Berlin vorlegte, und welcher von Hrn. Tyndall wiederholt <sup>2)</sup> aber nicht ganz bestätigt gefunden wurde. Dieser Versuch besteht darin, daß zwischen den Polen eines Elektromagneten N und S. Taf. III. Fig. 7, eine galvanische Spirale  $\nu\sigma$  mit ihrer Axe senkrecht zur Verbindungslinie der Pole aufgestellt, in dieselbe ein Stäbchen von Wismuth oder anderen Substanzen horizontal beweglich aufgehangen, und die Ablenkung beobachtet wurde, welche dasselbe durch die Spirale und die Magnetpole zugleich erfuhr. Unter denselben Umständen nun, unter denen Hr. Poggendorff eine Ablenkung nach der Richtung des Pfeiles *a* beobachtete, fand Hr. Tyndall gerade die entgegengesetzte Ablenkung, nämlich in der Richtung des Pfeiles *b*. Beide Forscher hatten den *Magnetpolen* die hauptsächlich erregende Wirkung zugewiesen, während der Spirale der untergeordnete Einfluß, nämlich die Ablenkung des schwebenden Stäbchens, übrig blieb. Demgemäß erklärte Hr. Poggendorff die beobachtete Richtung so, daß die Magnetpole in den nächsten Stellen des aequatorial gestellten Wismuthstäbchens gleichnamige Pole erregten, und die Spirale nach den bekannten Gesetzen eine Ablenkung des so entstandenen Transversalmagneten bewirke. Hr. Tyndall dagegen wandte die Faraday'sche Anschauung auf die von ihm beobachtete Ablenkung an, daß nämlich die wismuthmagnetischen Substanzen sich nach den Stellen der geringsten, die eisenmagnetischen aber nach den Stellen der größten Kraft im Magnetfelde bewegen. Nachdem es aber gelungen war, die normale Polarisirung des Wismuth durch die galvanische Spirale nachzuweisen, konnte mich weder die eine noch die andere Erklärungsweise befriedigen, und deshalb unternahm ich eine neue Untersuchung des fraglichen Gegenstandes.

1) Poggendorff's Annalen Bd. 73, S. 475.

2) *Philos. Mag. Ser. IV. Vol. II, p. 233* und Poggendorff's Annalen Bd. 87, S. 189.

21. *Versuch 15.* Es wurden  $210^{\text{mtr}}$  mit Seide übersponnenen und lackirten Kupferdrahtes von etwa  $1^{\text{mm}}$  Durchmesser und einschliesslich der Umspinnung von  $1^{\text{kg}},3$  Gewicht zu einer Spirale aufgewunden, die wesentlich aus 2 Theilen  $\nu$  und  $\sigma$  bestand und von oben gesehen etwa der Darstellung in Taf. III Fig. 8 glich. Die Spule, auf welche der Draht gewunden, war  $83^{\text{mm}}$  lang, hatte  $40^{\text{mm}}$  inneren Durchmesser und die geringste Entfernung der beiden Spiralhälften betrug  $20^{\text{mm}}$ . Die Einrichtung derselben war gerade diese, damit zugleich die Pole eines sehr grossen Elektromagneten  $N$  und  $S$  dem zwischen ihnen schwebenden Körper  $w$  möglichst angenähert werden, und zugleich die Spirale denselben möglichst stark erregen konnte. Um die Luftströmungen abzuhalten, wurde die Vorrichtung so gut es ging mit einem Glasgehäuse umgeben. In der Spirale  $\nu\sigma$  wurden nun an einem durch eine oben befindliche Oeffnung gezogenen möglichst dünnen Coconfaden folgende Substanzen in horizontaler Ebene beweglich aufgehangen:

*Weisses Wachs* — ein Cylinder  $85^{\text{mm}}$  lang,  $22^{\text{mm}}$  Durchmesser und etwa  $33^{\text{gr}},9$  schwer.

*Schwefel* — ein Cylinder  $107^{\text{mm}}$  lang,  $15^{\text{mm}}$  Durchmesser,  $38^{\text{gr}},5$  schwer, aus Schwefelblumen gegossen

*Knochen* — ein Cylinder  $88^{\text{mm}}$  lang,  $6^{\text{mm}}$  Durchmesser,  $5^{\text{gr}},3$  schwer

*Gewöhnliches reines Wismuth* — 1) ein Cylinder  $39^{\text{mm}}$  lang,  $6^{\text{mm}}$  Durchmesser,  $10^{\text{gr}},3$  schwer — 2) ein Cylinder  $100^{\text{mm}}$  lang,  $5^{\text{mm}}$  Durchmesser,  $20^{\text{gr}},7$  schwer — 3) ein Bündel aus 12 Stäben, ähnlich dem vorigen, von denen jeder einzeln mit Seide umspunnen und dann alle zusammengebunden waren, 4) ein Cylinder  $51^{\text{mm}}$  lang,  $17^{\text{mm}}$  Durchmesser und  $111^{\text{gr}},3$  schwer — 5) eine Platte  $59^{\text{mm}}$  lang,  $31^{\text{mm}}$  breit,  $7^{\text{mm}}$  dick und  $122^{\text{gr}},5$  schwer, deren kürzeste Dimension dem Aufhängefaden parallel war.

*Neusilberdraht* etwa  $100^{\text{mm}}$  lang und  $1^{\text{mm}}$  Durchmesser.

*Alle wurden nach der Richtung des Pfeiles a abgelenkt,*

wenn  $N$  und  $\nu$  die Nordpole und  $S$  und  $\sigma$  die Südpole des Magneten und der Spirale waren, wenn also in den oberen Drähten der Spirale die Ströme die Richtung der Pfeile  $\nu$  und  $\sigma$  hatten. Sie erfuhren aber die entgegengesetzte Ablenkung; wenn entweder die Polarität des Magneten oder die der Spirale die entgegengesetzte wurde. Ich benutzte 22 Grove-Poggendorff'sche Elemente zur Erregung von Magnet und Spirale, so zwar, daß ich an der Spirale ein zu einem Elemente säulenartig ordnete, am Magneten dagegen immer Doppелеlemente benutzte. Zuerst wurde demnach die Spirale durch eine Säule von (1 oder) 2 einfachen Elementen, der Magnet durch eine Säule von 10 Doppелеlementen erregt, und alle Substanzen geprüft; hierauf wurde vom Magneten ein Doppелеlement genommen und durch dasselbe der Strom in der Spirale verstärkt, so daß dieser jetzt durch 4 einfache Elemente erzeugt wurde, und abermals die ganze Reihe der Körper geprüft u. s. f. Ich konnte bei dieser Gelegenheit beobachten, daß die Körper immer stärker in der angegebenen Richtung  $a$  abgelenkt wurden, eine je stärkere Erregung die Spirale und eine je schwächere der Magnet erfuhr. Das magnetische Neusilber stellte sich allerdings vor Erregung der Spirale nicht in die äquatoriale Lage, sondern strebte, soweit es konnte, sich diagonal zur Hülse derselben gegen die Pole des Magneten zu lehnen. War aber z. B. sein vorderes Ende gegen den Nordpol  $N$  des Magneten gewendet und wurde die Spirale durch einen Strom von der Richtung des Pfeiles  $\nu$  erregt, so bewegte sich das Neusilber aus dieser seiner Lage und kam erst wieder zur Ruhe, wenn sich sein vorderes Ende an den Südpol und das hintere an den Nordpol stützte. Es liegt nahe, aus diesen Versuchen zu schließen, daß bei der angegebenen Einrichtung das größte magnetische Moment nicht von den Magnetpolen, sondern vielmehr von der Spirale in den Körpern hervorgerufen wird. Mag nämlich auch immerhin die absolute Wirkung des Magneten eine kräfti-

gere seyn, als die der Spirale, so ist doch das Moment der durch den Magneten erregten Kraft ein geringeres, weil der zu prüfende Körper dem Einfluß des Magneten die kurze, dem Einfluß der Spirale hingegen die lange Abmessung darbietet. Wird aber die Einrichtung so getroffen, daß magnetische Körper (wie schwarzer Schiefer oder ein Eisenstäbchen in der 11. Nummer der Tyndall'schen Abhandlung) oder diamagnetische Körper, die sich mit der Längsausdehnung von Pol zu Pol stellen (wie ein senkrecht zur Hauptspaltungsrichtung geschnittenes Wismuthstäbchen in No. 6 und 8 derselben Abhandlung) sich ganz frei im Innern der Spirale bewegen können, und haben sich diese Körper zwischen den erregten Polen des Magneten eingestellt, dann wird die demnächst in Thätigkeit versetzte Spirale eine Ablenkung im Sinne des Pfeiles  $b$  hervorbringen, wenn der Strom in ihr die durch die Pfeile  $\nu$  und  $\sigma$  angegebene Richtung einhält. Die Spirale bringt dann an dem magnetisirten Stäbchen dieselbe Ablenkung hervor, wie ein Galvanometerdraht an der Magnetenadel. Die nächstfolgenden Versuche haben mich von der Richtigkeit dieser Ansicht überzeugt, wenn ich auch leider nicht im Stande war, mir krystallisirtes Wismuth verschaffen zu können. Was aber die Angabe des Hrn. Tyndall (§. 12 der citirten Abhandlung) betrifft, in Folge deren gewöhnliches, sich in die Richtung der Spiralenaxe, also zu  $N$  und  $S$  aequatorial, einstellendes Wismuth ebenfalls die Ablenkung  $b$  erfahren soll, so habe ich mich vergebens bemüht dieses Resultat zu gewinnen. Namentlich glaubte ich durch eine sehr schwache Kraft der Spirale gegenüber einem besonders starken Magneten, oder durch den oben bezeichneten kurzen und dicken Wismuthcylinder, sowie durch die breite Wismuthplatte die Ablenkung  $b$  erzielen zu können, aber es ist mir in keiner Weise gelungen. Nur bisweilen entstand diese Ablenkung im Moment der Herstellung des Stromes in der Spirale, mußte aber den dabei hervortretenden Inductionsströmen

zugewiesen werden, indem sie nur momentan auftrat, und sogleich in die entgegengesetzte Ablenkung dauernd umschlug.

22. Mit dem in der 11. Nummer erwähnten Flintglasprisma, sowie mit einem Stück Glasröhre (97<sup>mm</sup> lang und 11<sup>mm</sup> Durchmesser) konnte ich keine Ablenkung erreichen. Wenn ich aber einen kleinen Cylinder von *chemisch reinem Zink* oder ein *Parallelepiped von Neusilber* (41<sup>mm</sup> lang, 6<sup>mm</sup> breit, 3<sup>mm</sup> dick und etwa 5<sup>5</sup>/<sub>8</sub> schwer) oder ein Stück vom ordinärsten *braunen Siegellack* oder ein Stück *starken Platindraht* zwischen den Magneten in der Spirale aufhing, erhielt ich stets die Ablenkung *b*, mochte das Verhältniß der Erregung von Magnet und Spirale seyn, welches es nur immer wollte. Zwischen den Magneten allein stellten sich diese Substanzen alle axial. Um dieses ganz unerwartete Resultat zu ergründen, hing ich ein Stückchen weichen Eisendraht auf und fand, daß es entweder in die eine oder in die andere Hälfte der Spirale gezogen wurde, sobald der Strom sich durch dieselbe bewegte. Daraus ging hervor, daß der Ort, wo sich der Drehpunkt des aufgehängenen Körpers befand, eine Stelle labilen Gleichgewichtes gegenüber der Spiralwirkung war. Es konnte demnach möglicherweise die eigenthümliche zweitheilige Form der Spirale den Erklärungsgrund für die anomale Ablenkung abgeben, oder aber es konnte die Ursache in der beträchtlichen Menge von Magnetismus gefunden werden, welche in dem Magneten nach Unterbrechung des Stromes zurückblieb. Diese Vermuthungen bedingten zwei Abänderungen des Versuches.

23. *Versuch 16.* Waren bei der im achten Versuch benutzten Spirale die Windungen von der Mitte entfernt, so wurde jetzt eine Spirale construirt, deren Windungen umgekehrt sich besonders gegen die Mitte anhäufeten. Im Durchschnitt und von oben gesehen glich dieselbe etwa der Taf. III Fig. 9. Auf eine Papprolle von 95<sup>mm</sup> Länge, die an den Enden 37<sup>mm</sup> inneren Durchmesser hatte und in der Mitte bis auf 19<sup>mm</sup> inneren Durchmesser sich verengte, wur-

den 201<sup>mtr</sup> mit Seide übersponnenen und lackirten Kupferdrahtes, etwa 1<sup>kg</sup>,3 schwer, aufgewunden, so daß die Räume  $p$  und  $q$  damit erfüllt waren. In der Mitte war ein innen geglättetes Holzröhrchen  $c$  eingelassen, durch welches der Faden der aufzuhängenden Substanzen gezogen werden konnte. Diese Spirale wurde wie die vorigen zwischen die beiden in der Figur durch punktirte Linien angedeuteten Halbanker  $N$  und  $S$  des großen Magneten gestellt. Die Pfeile  $\nu$ ,  $\sigma$ ,  $a$  und  $b$  haben dieselbe Bedeutung, wie in der vorigen Figur. Wurden die Versuche mit den in No. 21 und 23 aufgeführten Substanzen wiederholt (die bisweilen in ihrer Form soweit abgeändert werden mußten, bis sie sich in der Spirale frei bewegen konnten), so zeigte sich dasselbe Resultat, wie vorher. Die Substanzen der 21. Nummer wurden in der Richtung  $a$ , die der 23. Nummer in der Richtung  $b$  abgelenkt. Noch auffälliger wurde aber das Resultat dadurch, daß ein Stückchen weicher Eisendraht (41<sup>mm</sup> lang, 3<sup>mm</sup> Durchmesser, 2<sup>gr</sup>,2 schwer) ganz dieselbe Ablenkung erfuhr, wie Wismuth, Wachs, Schwefel u. s. w. Er wurde allerdings von den Polen auch des unthätigen Magneten stark angezogen und stellte sich innerhalb der Spirale diagonal, mit den Enden gegen die Wandungen derselben gelehnt, sprang aber sofort nach der Richtung  $a$  herum, sobald die Spirale nach Analogie der Figur erregt wurde, und er sich vorher zufällig mit dem vorderen Ende gegen  $N$ , mit dem hinteren gegen  $S$  gelehnt hatte. *Rein magnetische Substanzen verhielten sich also wie diamagnetische, während schwach magnetische Substanzen die entgegengesetzte Ablenkung der vorigen erfuhren.*

24. Versuch 17. Es blieb also nur noch übrig, den Grund in dem remanenten Magnetismus des Elektromagneten zu suchen. Der vorige Versuch wurde demgemäß dahin abgeändert, daß die beiden Halbanker  $N$  und  $S$  durch zwei gesonderte, kleinere mit den entgegengesetzten Polen einander zugewandte Elektromagnete substituirt wurden, bestehend aus zwei Eisenkernen von 165<sup>mm</sup> Länge und 33<sup>mm</sup> Durchmesser mit flachgeschliffenen Polen, und erregt



durch die in No. 19 beschriebenen Spiralen. Der in diesen Magneten zurückbleibende Magnetismus konnte vollständig vernachlässigt werden. Um die Versuche nicht unnöthig zu vervielfältigen, wurde die Spirale entweder mit 4 (entsprechend einer Ablenkung an der Tangentenbussole von  $11\frac{3}{4}^{\circ}$ ) oder mit 10 Platinzinklelementen (entsprechend  $25\frac{3}{4}^{\circ}$ ) erregt, und ebenso wurden die Elektromagnete durch 10 (entsprechend  $42\frac{1}{2}^{\circ}$ ) oder durch 4 Elemente (entsprechend  $22\frac{1}{4}^{\circ}$ ) in Thätigkeit versetzt. Es wurden nun abermals alle genannten Substanzen geprüft; die in der 21. Nummer aufgeführten bewahrten ihr dort beschriebenes Verhalten, namentlich wurde Wismuth stets in demselben Sinne abgelenkt, wie ein Eisenstäbchen. Von den in der 22. Nummer aufgeführten Substanzen zeigten aber jetzt

*Zink*, ein Stäbchen von 41<sup>mm</sup> Länge, 5<sup>mm</sup> Durchmesser und 6<sup>gr</sup>,18 schwer, chemisch rein,

*Neusilber*, das dort benutzte Parallelepiped,

*Platin*, ein dreimal zusammengelegter Draht von 144<sup>mm</sup> Länge, 1<sup>mm</sup> Durchmesser und 1<sup>gr</sup>,8 Gewicht,

meistentheils dasselbe Verhalten, wie Wismuth und Eisen. Für *Zink* war die Ablenkung im Sinne *a* besonders deutlich, wenn die Spirale durch 10, die Magnete durch 4 Elemente erregt wurden. Waren an der Spirale 4, an den Magneten 10 Elemente thätig, dann trat die Ablenkung *a* erst ein, wenn vorher der *Strom der Magnete für einen Moment geöffnet war*. Dasselbe fand beim Platin statt. Dagegen aber bewahrte

*Ordinäres braunes Siegellack* (41<sup>mm</sup> lang, 11<sup>mm</sup> breit, 6<sup>mm</sup> dick und 3<sup>gr</sup>,6 schwer, in welchem durch chemische Untersuchung ein sehr beträchtlicher Gehalt an Eisen-oxyd nachgewiesen wurde) und eine

*Neusilberplatte* (39<sup>mm</sup> lang, 13<sup>mm</sup> breit, 2<sup>mm</sup> dick und 8<sup>gr</sup>,5 schwer, deren kürzeste Abmessung dem Aufhängefaden und deren längste der Axe der Spirale parallel war)

noch immer die durch die Richtung des Pfeiles *b* angegebene Ablenkung. Doch bald zeigte sich, dafs dieses *nur*

*der Fall war, wenn die Magnete früher in Thätigkeit versetzt wurden, als die Spirale.* Wurde aber die Spirale zuerst erregt, und etwa nach  $\frac{1}{2}$  Minute der Strom der Magnete geschlossen, dann zeigten auch diese Substanzen die Ablenkung *a*. Das Siegellack konnte sogar, wenn die Magnete nur einmal in Thätigkeit gewesen waren, *durch die Spirale allein, oder aber durch die Magnete allein* in der einmal thätig gewesenen Spirale willkürlich abgelenkt werden, je nachdem der Strom die eine oder andere Richtung erhielt. Hieraus geht aber hervor, dafs

Substanzen wie Neusilber, Zink, Platin, Siegellack (das mit Eisenoxyd braun gefärbt ist) u. s. w., eine ähnliche und vielleicht noch gröfsere Coërcitivkraft (d. i. ein Vermögen den einmal angenommenen Magnetismus zu bewahren) besitzen wie der Stahl; dafs diese Coërcitivkraft nur einen Moment zu täuschen vermochte, dafs aber diese genannten Körper durch Spirale und Magnete dieselbe normale Polarität erfahren, wie Wismuth und Eisen.

In Wahrheit verhielt sich ein in der thätigen Spirale bei unthätigen Magneten aufgehängener Transversalmagnet, dargestellt aus einer platten Feile von 6<sup>mm</sup> Länge, 8<sup>mm</sup> Breite und kaum  $\frac{1}{2}$ <sup>mm</sup> Dicke ganz so wie das Siegellack oder das Neusilber. Da namentlich gemengte Substanzen diese eigenthümliche Coërcitivkraft zeigen, versuchte ich, ob dieselbe auch bei einer Platte von Rose'schem Metall nachzuweisen wäre. Doch verhielt sich dieselbe ganz so, nur schwächer, wie Wismuth.

25. Eine Analogie der hier dargestellten Erscheinungen bietet wohl das von Hrn. Plücker beobachtete Verhalten eines Cyanitkrystalles, der sich schon in Folge des Erdmagnetismus von Nord nach Süd stellte, aber zwischen den Magnetpolen seine permanente Polarität verlor <sup>1)</sup>. Imgleichen verblieben Eisenglanzkrystalle von Elba <sup>2)</sup>, Augit und Zinnstein in jeder Lage zwischen den Magnetpolen,

1) Pogg. Ann. Bd. 77, S. 447.

2) Pogg. Ann. Bd. 78, S. 421.

wenn sie eine Weile in derselben festgehalten worden waren.

26. Dafs insbesondere bei gemengten Substanzen, wie Neusilber und Siegelack, die Coërcitivkraft, so deutlich auftritt, scheint neue Belege zu den Beobachtungen des Hrn. Zaddach in dessen sorgfältigen Untersuchungen »über die magnetische Polarität des Basaltes und der trachytischen Gesteine«<sup>1)</sup> zu liefern. Hr. Zaddach führt nämlich durch, dafs die Coërcitivkraft namentlich dann hervortritt, wenn magnetische Substanzen in zerklüftetem oder verwittertem Zustand (wie gerostetes Eisen, Basaltstücke die lange Zeit der Wirkung der Atmosphäre ausgesetzt waren) sich befinden, oder wenn sie mit minder magnetischen Substanzen innig gemengt sind (wie Eisenoxyd mit Oxydul im Magnet-eisenstein, Eisen mit Kohleeisen im Stahl, Magneteisen mit Augit und Feldspath im Basalt u. s. w.).

27. Vor allem geht aber aus den Untersuchungen der 20. bis 24. Nummer hervor:

dafs die kleinsten Theilchen sowohl der eisenmagnetischen, als der wismuthmagnetischen Substanzen *die-selbe normale Polarität* erhalten, wenn sie der magnetischen Scheidungskraft einer galvanischen Spirale ausgesetzt werden.

Denn nur durch diese Annahme lassen sich alle beobachteten Thatsachen ungezwungen und ohne Herbeiziehen anderer Hypothesen erklären.

28. Aus den Gesamtuntersuchungen dieser Abtheilung bin ich aber gezwungen, gegenüber einer gewichtigen Autorität, zu wiederholen:

Dafs die von Hrn. Weber in seinen »elektrodynamischen Mafsbestimmungen, insbesondere über Diamagnetismus« zu Grunde gelegten Versuche zwar bestätigt worden sind, aber anders erklärt werden müssen, als es dort geschah.

Die

1) Bonn bei Georgi 1851. Auszugsweise in »Königsberger naturwissenschaftliche Unterhaltungen« Bd. 2, Heft 3.

Die dort gefundene Ablenkung eines Magneten durch einen in einer galvanischen Spirale auf- und abgewegten Wismuthstab rührt wenigstens zum überwiegend größten Theil von Inductionsströmen her, die durch die mechanische Bewegung innerhalb der Spirale im Wismuth erregt werden.

Die noch etwa übrig bleibende anormale Polarität des Wismuth erklärt sich durch die gewählte eigenthümliche Form der Spirale.

Die durch erregtes Wismuth von Hrn. Weber gefundenen Inductionsströme in einem geschlossenen Leiter sind demnach secundäre Inductionsströme.

Es ist also *nicht* bewiesen, daß die Polarität der kleinsten Theilchen in wismuthmagnetischen Substanzen bei gleicher idealer Vertheilung des Magnetismus die umgekehrte sey, als die in eisenmagnetischen.

Wird dagegen ein Wismuthstab, von der Mitte seiner Längsausdehnung her, stärker erregt, als von seinen Enden her, alsdann zeigt er bei gleichgerichteter magnetischer Scheidungskraft eine gleichgerichtete (und ziemlich starke) ideale Vertheilung des Magnetismus als das Eisen.

Demgemäß ist die Polarität der kleinsten Theilchen wismuthmagnetischer Körper bei gleichgerichteter magnetischer Scheidungskraft dieselbe, als die der kleinsten Theilchen eisenmagnetischer Körper.

(Schluß im nächsten Heft.)