III.

Magnetische Experimentaluntersuchungen.

Von Carl Fromme.

4. A b h a n d l u n g *).

(Mit einer Curventafel.)

In einer früheren Abhandlung, der dritten über magnetische Experimentaluntersuchungen, habe ich bewiesen, daß die Geschwindigkeit, mit welcher eine magnetisirende Kraft von der Null an bis zu ihrem constanten Werth wächst oder mit welcher sie von diesem bis zur Null abnimmt, von wesentlichem Einfluß auf das von der Kraft inducirte Moment ist, indem einestheils und hauptsächlich die Gröfse, anderntheils aber auch der Zustand des Moments von dieser Geschwindigkeit abhängt.

Für die Ursache dieser Erscheinung ergab sich aus der Gesammtheit aller Versuche das Resultat, daß dieselbe jedenfalls nicht Folge von Inductionsströmen ist, welche bei dem Ansteigen oder Abfallen der magnetisirenden Kraft in der Masse des zu magnetisirenden Körpers entstehen; daß dagegen einer Erklärung direct aus der Hypothese der drehbaren Molekularmagnete die Mehrzahl der beobachteten Thatsachen sich sehr gut fügte.

Doch blieb auch noch eine nicht geringe Zahl von Thatsachen übrig, für welche eine Erklärung aus dieser Hypothese ohne

*) Die 1. Abh. findet sich in Pogg. Ann. Erg.-Bd. VII, S. 390—430, 1876; die 2. Abh. in Wied. Ann. IV, S. 76—107, 1878; die 3. Abh. in Wied. Ann. V, S. 345—388, 1878.

Weiteres nicht gegeben werden konnte und auf der anderen Seite konnte man noch eine ganze Reihe von Fragen aufwerfen, welche in der früheren Untersuchung nicht oder nicht genügend durchs Experiment beantwortet waren.

Die vorliegende Arbeit wird versuchen, die frühere namentlich in letzterer Beziehung zu vervollständigen, sie soll sich jedoch beschränken auf die Mittheilung der Resultate, welche die Beobachtung der *permanenten* Momente (PM) geliefert hat.

Die Methode der Untersuchung war die früher angewandte: Ein *langsames* Absinken der magnetisirenden Kraft wurde erzielt durch langsames Ausziehen des Körpers aus der Spirale, während dieselbe von einem constanten Strom durchflossen wurde, oder auch durch allmähliche Einschaltung von Widerstand bis $W = 10000$ S. E. und Unterbrechung des hierdurch unmerklich gewordenen Stroms. In beiden Fällen erhält man das gleiche permanente Moment (PM_a), falls nur im ersten Fall das Ausziehen des Körpers aus der Spirale mit Vermeidung aller Erschütterungen und im zweiten Fall die Vermehrung des Widerstandes ohne große Sprünge stattfindet.

Ein *rasches* Absinken der magnetisirenden Kraft auf Null wurde hervorgebracht durch Unterbrechung des Stroms an Quecksilber, während sich der Körper in der Mitte der vom constanten Strom durchflossenen Magnetisirungsspirale befand. Das permanente Moment ist dann bezeichnet mit PM_r.

Als Magnetisirungsspirale diente die in der 3. Abhandlung beschriebene, auf ein Papprohr gewickelte Spirale von 1859 Windungen, als Compensationsspirale die an demselben Ort beschriebene, auf ein Messingrohr gewickelte Spirale von 1382 Windungen. Die Batterie bestand aus 2 bis 5 Bunsenschen Elementen, mit immer möglichst concentrirter Salpetersäure. Alle Angaben der permanenten Momente sind in Skalentheilen der 1800 mm vom Magnetometer entfernten Skala gemacht. Die Stromintensität wurde vor und nach einer Beobachtungsreihe gemessen durch die Ablenkung, welche das Magnetometer durch die sich nicht compensirend eingestellten

beiden Spiralen erfuhr. Die Angaben der Stromintensität in den verschiedenen Tabellen sind meist nicht mit einander vergleichbar.

1. Einfluß der Zahl der Drähte in einem Bündel.

In der früheren Untersuchung wurde mit Bündeln von Drähten experimentirt, deren Zahl in jedem einzelnen wenigstens 16 und höchstens 40 betrug, und deren Dicke in verschiedenen Bündeln gleich 0,5 bis 1,2 mm war. Es änderte sich von Bündel zu Bündel sowohl die Zahl, als die Dicke, als auch die molekulare Beschaffenheit der Drähte. Es soll nun zuerst die Frage beantwortet werden, wie sich *et. par.* die Differenz $PM_a - PM_r$ mit der *Zahl* der Drähte in dem Bündel ändert? Denn nach den früher gemachten Erfahrungen (S. 380 a. E.) war es im höchsten Grade wahrscheinlich, daß ein Einfluß der Dicke des Bündels und damit der Zahl seiner Drähte bestand.

Die folgenden Versuche wurden mit Eisendrähten angestellt, welche, obwohl von Bündel zu Bündel in ihrer Dicke variirend, doch sämmtlich dem gleichen dicksten Drahte entstammten, aus dem sie durch Ziehen gewonnen waren. Vor der Magnetisirung wurden sie ausgeglüht, die Oxydschicht wurde nicht entfernt. Die magnetisirende Kraft war so groß (5 Bunsen mit dem Rheostatenwiderstand $W = 0$), daß nicht allein der einzelne Draht, sondern auch das Drahtbündel mit permanentem Magnetismus gesättigt war, — was bei einer Kraft von unzureichender Stärke nicht immer zutrifft.

Die Versuche wurden nun in der Weise ausgeführt, daß zuerst ein einzelner Draht der Wirkung der Kraft ausgesetzt und sein PM_a und PM_r bestimmt wurde. Sodann verband man mit dem ersten einen zweiten ihm gleichen Draht, indem man beide neben einander liegende Drähte zu möglichst inniger Berührung fest mit Zwirn bewickelte. Beide wurden zusammen magnetisirt und ihr Moment bestimmt. Zu den beiden Drähten trat dann noch ein dritter u. s. f.

Tab. 1. Drähte von 170 mm Länge und 1,13 mm Dicke,
also Dimensionsverhältniß $\frac{L}{D} = 150$. Curventafel Fig. 1 :

Zahl der Drähte	1	2	3	4	5	6	8	10	12	14
PM _a	240	380	458	495	525	556	607	636	678	694
PM _a —PM _f	4,7	15,3	30,5	44,5	55,2	68,1	85,0	98,5	113,2	125,0
PM _a —PM _f in Proc. von PM _a	2,0	4,0	6,7	9,0	10,5	12,2	14,0	15,5	16,7	18,0

Tab. 2. Drähte von 136 mm Länge und 0,89 mm Dicke,
also $\frac{L}{D} = 150$. Curventafel Fig. 2 :

Zahl der Drähte	1	4	8	15	22	27	32
PM _a	125	253	296	347	382	418	441
PM _a —PM _f	3,4	23,2	40,2	62,0	75,8	89,0	106,8
PM _a —PM _f in Proc. von PM _a	2,4	9,2	13,6	17,9	19,8	21,3	24,2

Tab. 3. Drähte von 200 mm Länge und 2,12 mm Dicke,
 $\frac{L}{D} = 94$:

Zahl der Drähte	1	2	3	4
PM _a	348	396	423	473
PM _a —PM _f	22,3	34,8	46,2	66,0
PM _a —PM _f in Proc. von PM _a	6,4	8,8	10,9	14,0

Aus den Tabellen 1 bis 3 ziehen wir vorläufig nur folgendes Resultat :

PM_a—PM_f nimmt mit wachsender Zahl der Drähte in einem Bündel zu und zwar bei den beiden dünneren Drähten zuerst rascher, später langsamer als diese, während bei dem

dicken Draht das anfänglich raschere Wachsen nicht zu bemerken ist. Es nimmt ferner zu mit wachsendem PM_a , nämlich durchaus schneller als dieses, so daß $\frac{PM_a - PM_f}{PM_a}$ mit wachsender Zahl der Drähte fortwährend wächst: $PM_a - PM_f$, ausgedrückt in Procenten von PM_a , ist bei einem einzelnen Draht der Tabelle 1 oder 2 klein, erreicht aber mit wachsender Zahl der Drähte sehr hohe Werthe, welche eine Annäherung an ein Maximum selbst bei 32 Drähten nicht erkennen lassen.

Zugleich mit der eben entschiedenen Frage wurde noch die folgende beantwortet: In welcher Weise ändert sich bei einem Drahtbündel das von einer Kraft inducirte permanente und temporäre Moment mit der Zahl der Drähte und welchen Einfluß üben dabei die Dimensionen der Drähte aus?

Die Kraft, welche das permanente Moment erzeugte, war wieder von solcher Größe, daß sie das Bündel sättigte; während die temporären Momente TM von einer kleineren Kraft erzeugt wurden, welche jedesmal auf die mit PM gesättigten Drähte wirkte.

Aus der Tab. 1 ergibt sich, daß bei:

1 2 3 4 5 6 8 10 12 14 Drähten
auf 1 Draht entfällt ein PM_a gleich:

240 190 153 124 105 93 76 64 56 50.

Aus der Tab. 2 ergibt sich, daß bei:

1 4 8 15 22 27 32 Drähten
das PM_a eines jeden einzelnen Drahtes gleich ist:

125 63 37 23 17 15 14

Tab. 4. 1,13 mm dicke Drähte von 106 mm Länge
($\frac{L}{D} = 94$) ergaben, daß ein Draht erhält

allein	ein $PM_a = 370,0$	}	: = 1,596
wenn in Verbindung mit einem zweiten	" = 231,8		
und dritten	" = 171,3		
und vierten	" = 140,0		

Nachdem diese Drähte auf eine Länge von 64 mm gekürzt und nochmals geglüht waren ($\frac{L}{D} = 57$), zeigte:

ein Draht allein	ein $PM_a = 113,4$	} : = 1,628 } : = 1,348 } : = 1,225
in Verbindung mit einem zweiten	" = 69,7	
und dritten	" = 51,7	
und vierten	" = 42,2	

Tab. 5. 2,12 mm dicke Drähte von 120 mm Länge ($\frac{L}{D} = 57$) ergaben folgende PM_a eines Drahts :

allein	188,9	} : 1,676 } : 1,355 } : 1,249
wenn verbunden mit einem zweiten	112,7	
und dritten	83,2	
und vierten	66,6	

Tabelle 6. Eisendrähte von 0,3 mm Dicke. Dieselben entstammen nicht dem dickeren Drahte, welchem alle vorhergehenden entnommen waren.

Das PM_a eines Drahts ist	$L = 200\text{mm}$	$L = 100\text{mm}$	$L = 50\text{mm}$
Draht allein	85,5	63,7	
" in Verbindung mit einem anderen	81,5	54,7	
" " " " zwei "	78,9	50,6	
" " " " drei "	77,2	45,5	10,9
" " " " sieben "	75,6	33,4	7,0

Tab. 7. 0,89 mm dicke Drähte von 136 mm Länge. (Curventafel Fig. 3 und 4) :

Zahl der Drähte	1	2	3	4	5	6	7	8	9	12	18
PM_a	132	192	227	240	265	282	290	306	323	344	386
auf 1 Draht entfällt ein PM_a von	132	96	76	60	53	47	41	38	36	29	22
TM	24	77	136	183	210	237	247	255	269	303	376
Auf 1 Draht entfällt ein TM von	24	38	45	46	42	40	35	32	30	25	21

Die gestellte Frage beantwortet sich nach diesen und anderen Versuchsergebnissen folgendermaßen :

Bei der Vereinigung mehrerer Drähte zu einem Bündel wächst das permanente Moment PM langsamer als die Zahl

der Drähte, aber die Größe des schwächenden Einflusses, welchen die einzelnen Drähte auf einander ausüben, ist von den Dimensionen der Drähte abhängig und es ist wahrscheinlich, daß nicht die Dicke und nicht die Länge der Drähte für sich allein bestimmend ist, sondern daß es vorzugsweise auf das Verhältniß beider, das Dimensionsverhältniß, ankommt. Ist dasselbe klein, so tritt sein Einfluß ganz zurück, ist es größer, so wächst das permanente Moment eines Bündels desto mehr proportional der Zahl seiner Drähte an, je gestreckter dieselben sind. Der schwächende Einfluß der einzelnen Drähte auf einander ist bei dem Bündel, für dessen Drähte $\frac{L}{D} = \frac{200}{0,3} = 670$ ist, außerordentlich gering. Dies ist für die Herstellung sehr starker permanenter Magnete zu berücksichtigen.

Hiermit ist das Resultat Lamont's*) in Einklang, welcher fand, daß die Schwächung des Magnetismus eines Uhrfederabschnitts durch einen anderen, anliegenden, dem ersten gleichen mit zunehmender Breite und abnehmender Länge derselben wuchs.

Die Beobachtungen der temporären Momente ergaben, daß das von einer constanten Kraft erzeugte TM continuirlich, aber zuerst rascher, später langsamer als die Zahl der Drähte zunimmt. Das auf je einen Draht entfallende TM nimmt zuerst bis zu einem Maximum zu und darauf bis unter den Werth, den es bei einem isolirten Draht besaß, ab.

Da mit *abnehmender* Zahl der Drähte das PM jedes einzelnen Drahts continuirlich wächst, so läßt sich der obige Satz auch dahin formuliren, daß mit zunehmendem PM eines Drahts sein TM zuerst zu- und später abnimmt.

In dieser Form ist er identisch mit dem Gesetz, welches ich früher (2. Abh. S. 92 ff.) für die Abhängigkeit des temporären Magnetismus vom permanenten aufgestellt habe.

*) Lamont, Handbuch des Magnetismus S. 112—113.

2. Einfluss der Länge und Dicke der Drähte.

Von den aus dem gleichen dicksten Drahte gezogenen Drähten 1 bis 4 wurden folgende Längen (mm) abgeschnitten :

Draht 1.	D = 2,12	L = 50	79	119	199	—
Draht 2.	D = 1,51	L = —	—	85	140	200
Draht 3.	D = 1,13	L = —	—	—	105	148
Draht 4.	D = 0,89	L = —	—	—	84	115

$$\frac{L}{D} = 24 \quad 38 \quad 57 \quad 94 \quad 132$$

Diese Drähte wurden sämmtlich den gleichen beiden Kräften, nämlich 5 Bunsen mit $W = 5$ und $W = 0$, unterworfen und die Gröfse der Differenz $PM_a - PM_f$ ermittelt. Im Folgenden sind die Werthe derselben in Procenten von PM_a , sowie die PM_a selbst angegeben. Man sieht, dafs schon bei $W = 5$ sämmtliche Drähte mit alleiniger Ausnahme von Draht 1) $\frac{L}{D} = 24$ gesättigt sind. Die Drähte 1) $\frac{L}{D} = 94$ und 2) $\frac{L}{D} = 132$ befanden sich in einer gröfseren Entfernung vom Magnetometer, als alle übrigen, bei denen die Entfernung die gleiche war.

Tabelle 8.

$\frac{L}{D}$	24	38	57	94	132	
Draht 1.						
$W = 5$	PM_a	66,0	238,2	652,5	602,0	—
	$\frac{PM_a - PM_f}{PM_a} \cdot 100$	35,8	19,9	14,1	8,6	—
$W = 0$	PM_a	73,7	240,0	651,5	600,5	—
	$\frac{PM_a - PM_f}{PM_a} \cdot 100$	29,2	17,7	13,5	8,4	—
Draht 2.						
$W = 5$	PM_a	—	—	204,8	643,0	405,0
	$\frac{PM_a - PM_f}{PM_a} \cdot 100$	—	—	16,5	11,1	6,0

$\frac{L}{D}$	24	38	57	94	132	
$W = 0$	PM_a	—	—	204,5	638,5	402,5
	$\frac{PM_a - PM_r}{PM_a} \cdot 100$	—	—	15,6	10,5	5,7
Draht 3.						
$W = 5$	PM_a	—	—	—	362,3	660,3
	$\frac{PM_a - PM_r}{PM_a} \cdot 100$	—	—	—	6,9	3,0
$W = 0$	PM_a	—	—	—	362,5	662,5
	$\frac{PM_a - PM_r}{PM_a} \cdot 100$	—	—	—	6,9	2,8
Draht 4.						
$W = 5$	PM_a	—	—	—	169,0	321,0
	$\frac{PM_a - PM_r}{PM_a} \cdot 100$	—	—	—	7,7	3,4
$W = 0$	PM_a	—	—	—	169,0	324,0
	$\frac{PM_a - PM_r}{PM_a} \cdot 100$	—	—	—	8,0	3,5

Aus Tab. 8, sowie auch aus Tab. 1, 2 und 3 schliessen wir, dafs die (in Procenten von PM_a ausgedrückte) Differenz $PM_a - PM_r$ sowohl von der Länge als von der Dicke des Drahts abhängt: Bei gleichbleibender Dicke wächst sie mit abnehmender Länge und bei gleichbleibender Länge nimmt sie mit zunehmender Dicke ebenfalls zu.

Wir bilden die Producte aus $PM_a - PM_r$ (ausgedrückt in Procenten von PM_a und dem Dimensionsverhältnifs $\frac{L}{D}$:

$\frac{L}{D}$	$\frac{L}{D} (PM_a - PM_r)$			
	Draht 1	Draht 2	Draht 3	Draht 4
24	78	—	—	—
38	71	—	—	—
57	79	91	—	—
94	80	101	65	73
132	—	77	38	45

Hieraus geht hervor, daß sich bei jedem der beiden dickeren Drähte $PM_a - PM_f$ umgekehrt proportional dem Dimensionsverhältniß, also bei gleichbleibender Dicke umgekehrt proportional der Länge ändert*), daß dagegen bei einem jeden der beiden dünneren Drähte $PM_a - PM_f$ rascher abnimmt, als die Länge wächst; ein Resultat, welches sich auch bei anderen Versuchsreihen ergeben hat. Angenähert wird man $\frac{PM_a - PM_f}{PM_a}$ dem Dimensionsverhältniß des Drahts umgekehrt proportional setzen können, auch bei Bündeln von Drähten, wie eine Vergleichung der Tab. 1 und 2 lehrt.

3. Abhängigkeit der Erscheinung von der Größe der magnetisirenden Kraft.

a) bei wachsendem permanenten Moment PM_a .

Bei den in der 3. Abhandlung beschriebenen Versuchen war die magnetisirende Kraft fast durchweg von beschränkter Größe, indem selten mehr als 2 Bunsen'sche Elemente benutzt wurden. Es schien nun der Mühe werth, den Verlauf der Erscheinung auch bei größeren Kräften zu untersuchen. Es hatte ferner die Erscheinung nicht den gleichen Verlauf bei Eisenstäben, Stahlstäben und Drahtbündeln genommen. Auch diesen Unterschieden sollte durch weitere Beobachtungen näher getreten werden.

In die folgenden Tabellen sind — der Rausersparniß wegen — auch gleich einige Zahlenreihen aufgenommen, nämlich die bei *constantem* PM_a sich ergebenden Werthe von $PM_a - PM_f$, welche erst unter 3b besprochen werden sollen.

*) Tab. 21 liefert folgende Werthe von $\frac{PM_a - PM_f}{PM_a} \cdot \frac{L}{D}$:

$\frac{L}{D}$	:	24	38	57
$W = 20$	:	7,4	7,1	5,7
$W = 10$	:	9,2	6,3	5,7
$W = 0$	:	6,2	4,9	5,7.

Tab. 9. Bündel aus 20 Drähten eines 1 mm dicken Eisendrahts; Länge = 150 mm :

W	i	PM _a	PM _a —PM _f	PM _a —PM _f in Proc. von PM _a	PM _a —PM _f bei const. PM _a = 500
150	20	37	3,5	9,5	22,8
100	29	53	7,8	14,7	39,8
70	40	81	5,1	6,3	17,8
50	54	124	9,5	7,7	31,0
30	86	221	32,5	14,7	61,0
20	119	298	44,7	15,0	77,7
15	148	346	70,2	20,2	81,4
11	184	385	87,9	22,0	112,5
8	224	413	95,6	23,1	138,0
5	285	446	105,6	23,7	152,5
3	351	467	111,2	23,8	150,3
1,5	422	484	114,2	23,6	128,7
0	533	500	114,2	22,8	114,7

Tab. 10. Bündel aus 0,89 mm dicken und 160 mm langen Eisendrähten. 5 Bunsen :

W	i	PM _a	PM _a —PM _f	PM _a —PM _f in Proc. von PM _a	PM _a —PM _f bei const. PM _a = 587
300	12	21	0	0	16,0
200	19	42	1,6	4,0	31,5
150	25	70	0	0	41,5
100	37	138	1,9	1,4	1,0
70	52	220	6,5	3,0	9,7
50	71	307	16,3	5,3	12,0
30	110	416	44,6	10,7	42,5
20	152	478	67,1	14,0	76,5
15	189	512	78,8	15,4	102,8
11	231	547	92,0	16,8	107,8
8	279	566	94,6	16,7	104,5
5	351	583	91,7	15,7	93,8
3	427	587	90,5	15,4	93,5
1,5	507	587	83,0	—	82,5
0	626	587	80,0	—	80,0

Tab. 11. Eisendrahtbündel aus 0,3 mm dicken und 200 mm langen Drähten. 5 Bunsen :

W	i	PM _a	PM _a —PM _f	PM _a —PM _f in Proc. von PM _a	PM _a —PM _f bei const. PM _a = 881
200	24	59	2,5	4,2	19,3
150	31	113	4,5	4,0	27,5
100	46	—	—	—	0
85	—	—	—	—	— 2,0
70	63	—	—	—	4,5
50	85	659	6,0	0,9	28,0
30	132	802	38,0	4,7	56,0
20	181	850	64,0	7,5	75,0
15	224	868	76,5	8,8	78,0
11	275	876	81,0	9,2	76,0
8	330	881	88,5	10,0	78,5
5	418	882	86,5	9,8	81,0
3	508	881	87,5	9,8	83,5
1,5	602	—	—	—	80,5
0	744	881	89,0	10,1	84,0

Tab. 12. Zwei Stäbe von 200 mm Länge und 6 mm Dicke, der eine von Eisen, der andere von Stahl, beide gegläht. Die Entfernung vom Magnetometer ist bei dem Stahlstab gröfser als bei dem Eisenstab. 2 Bunsen. Curventafel Fig. 5 :

W	i	Stahlstab				Eisenstab			
		PM _a	PM _a —PM _f	PM _a —PM _f in Proc. von PM _a	PM _a —PM _f bei PM _a = 625	PM _a	PM _a —PM _f	PM _a —PM _f in Proc. von PM _a	PM _a —PM _f bei PM _a = 320
200	—	—	—	—	—	—	—	—	7,0
150	—	—	—	—	—	—	—	—	13,0
100	43	5,9	0	0	0,7	28	3,3	11,8	21,2
70	59	6,8	0	0	2,4	47	9,4	20,0	36,0
50	81	8,9	0	0	2,5	74	18,6	25,1	48,5
30	128	17,2	0	0	3,2	132	47,0	35,6	70,2
20	178	34,7	0,2	0,7	5,1	169	65,6	38,8	94,5
15	220	58,7	0,4	0,6	6,6	199	89,7	45,1	115,0
11	271	98,1	0,9	1,0	9,3	215	97,1	45,2	126,8
8	330	153,2	2,3	1,5	11,7	236	104,5	44,3	132,4
5	421	257,0	5,7	2,2	17,4	253	106,0	41,9	140,2
3	517	368,5	13,5	3,7	22,0	277	118,0	42,6	135,8
1,5	624	475,5	24,6	5,2	30,0	288	112,6	39,1	123,6
0	791	625,0	40,9	6,5	39,8	311	118,1	38,1	124,3

Mit 3 Bunsen erhielt man bei dem Stahlstab folgende Werthe :

W	PM_a	$PM_a - PM_f$	$PM_a - PM_f$ in Proc. von PM_a
2	680	52,3	7,7
1	750	66,2	8,8
0	827	79,4	9,6

Tab. 13. Der Eisenstab wurde ausgeglüht und mit 4 Bunsen magnetisirt. Curventafel Fig. 7 :

W	i	PM_a	$PM_a - PM_f$	$PM_a - PM_f$ in Proc. von PM_a	$PM_a - PM_f$ bei $PM_a = 282$
100	31	104	44,0	40,2	— 3,7
50	60	180	106,1	59,0	2,5
30	93	221	126,7	57,3	17,5
20	128	239	123,1	51,5	43,2
15	159	251	118,5	47,2	60,0
11	197	261	109,2	41,8	76,7
8	241	274	105,6	38,5	81,7
5	308	281	98,9	35,2	82,1
3	380	281	96,3	—	89,1
1,5	461	282	99,2	—	97,3
0	585	282	100,1	—	104,2

Ferner wurde beobachtet bei constantem $PM_a = 282$:

W =	500	250	150	100	70	50
$PM_a - PM_f =$	+ 0,5	— 3,8	— 4,0	— 0,5	+ 1,5	+ 8,8.

Aus den Tab. 9—13 folgt für das Verhalten von $PM_a - PM_f$, wenn mit wachsender magnetisirender Kraft zugleich PM_a wächst :

Nur bei dem Stahlstab nimmt mit wachsender Kraft auch $PM_a - PM_f$ continuirlich zu, nämlich zuerst rascher als die Kraft, später ihr proportional.

Bei dem Eisenstab wächst $PM_a - PM_f$ bis zu hohen Kräften proportional an, erreicht ein Maximum, nimmt ab und wieder zu.

Bei einem Eisendrahtbündel endlich erreicht $PM_a - PM_f$ bei kleinen Kräften ein Maximum, fällt rasch auf ein Minimum, steigt bis zu einem zweiten, viel höheren Maximum und nimmt nochmals ab.

Nur die Abnahme nach dem zweiten Maximum zeigt nicht ein jedes Drahtbündel, und ich habe Grund zu glauben, daß diese Abnahme desto seltener eintritt, je gestrecktere Form die Drähte besitzen. Bei dem Drahtbündel Tab. 11 blieb $PM_a - PM_f$ auf dem einmal erreichten Maximum stehen, wie hoch auch die magnetisirende Kraft gesteigert wurde. Bei diesem Bündel tritt das zweite Maximum gleichzeitig, bei dem in Tab. 10 etwas vor, und bei dem Eisenstab lange vor erreichter Sättigung mit PM_a ein.

Die in Proc. von PM_a ausgedrückte Differenz $PM_a - PM_f$ nimmt bei dem Stahlstab continuirlich zu, wächst bei dem Eisenstab bis zu einem Maximum und nimmt dann ab, und verhält sich bei einem Drahtbündel ebenso unter der Wirkung größerer Kräfte, während sie bei kleinen Kräften noch ein Maximum und Minimum aufweist, welche mit dem Maximum und Minimum des absoluten Werths von $PM_a - PM_f$ zusammenfallen.

Nur das am meisten gestreckte Bündel Tab. 11 zeigt die Abnahme von $\frac{PM_a - PM_f}{PM_a}$ nach dem zweiten Maximum nicht.

b) bei constantem permanenten Moment PM_a .

Dieser Fall ist der einfachere; denn eine jede Kraft findet die Molekularmagnete in derselben Lagerung vor, welche bestimmt ist durch das gleiche permanente Moment, das immer nahezu oder ganz der Sättigung mit PM_a entsprach. Der Verlauf der Differenz $PM_a - PM_f$ mit wachsender Kraft giebt uns also ein Bild von dem Einfluß des temporären Moments, er veranschaulicht, in welcher Weise die durch temporäre Aenderungen der Gleichgewichtslage der Molekularmagnete verursachte permanente Aenderung $PM_a - PM_f$ von der Größe der ersteren abhängt.

Tab. 14. Stahlstab der Tab. 12. Eisendrahtbündel aus 0,3 mm dicken und 100 mm langen Drähten. Die Drähte sind von gleicher Beschaffenheit wie die in Tab. 11 erwähnten. 5 Bunsen :

W	i	Drahtbündel		Stahlstab			
			PM _a -PM _f		PM _a -PM _f	Temporäres Moment TM reducirt auf Bögen	PM _a -PM _f TM
250	—	PM _a constant = 206. von PM _a bei W = 0 PM _a -PM _f = 21,9 Proc.	8,5	PM _a constant = 707. von PM _a bei W = 0 PM _a -PM _f = 10,4 Proc.	2,3	9	0,26
200	24		13,0		3,0	12	0,25
150	31		2,0		2,8	15	0,19
100	46		2,4		4,1	23	0,18
70	63		2,7		5,8	32	0,18
50	85		5,0		8,0	45	0,18
30	132		17,5		14,3	76	0,19
20	181		42,5		19,3	115	0,17
15	224		42,0		25,0	156	0,16
11	275		45,3		32,3	213	0,15
8	330		47,0		41,7	272	0,15
5	418		45,2		52,0	356	0,15
3	508		44,7		62,5	424	0,15
1,5	602	45,0	67,7	485	0,14		
0	744	43,5	73,5	553	0,13		

Tab. 15. Eisenstab. PM_a = 316. 5 Bunsen. Curventafel Fig. 8 :

W	700	500	300	200	150	100	70	50	
i	5	7	12	19	25	37	52	71	
PM _a -PM _f	6,3	15,5	32,5	51,0	66,0	89,3	110,0	129,0	
W	30	20	15	11	8	5	3	1,5	0
i	110	152	189	231	279	351	427	507	626
PM _a -PM _f	149,5	153,7	154,3	147,3	138,4	139,0	142,4	146,5	149,5

Tab. 16. Eisendraht von 2,12 mm Dicke und 79 mm Länge. $\frac{L}{D} = 38$. 3 Bunsen. PM_a = 238 :

W	200	150	100	80	60	40	25	15	8	3	0
PM _a -PM _f	3,9	6,0	10,3	4,8	6,7	13,5	20,3	33,4	46,9	50,4	46,9

Tab. 17. Eisendrahtbündel aus 1 mm dicken und 40 mm langen Drähten. 5 Bunsen. PM_a = 83 :

W	300	200	150	100	70	50	30	20	...	0
PM _a -PM _f	3,4	5,3	2,2	2,4	2,9	4,0	4,9	7,5	...	18,2

Aus den Tab. 14 und 17, sowie aus den Tab. 9—13 ergibt sich folgender Schluss auf das Verhalten von $PM_a - PM_f$ bei Kräften, welche kleiner sind als diejenige, durch welche PM_a erzeugt wurde :

Die einfachsten Verhältnisse bietet der Stahlstab; bei ihm wächst die Differenz $PM_a - PM_f$ continuirlich mit der Kraft selbst; sie ist ihr proportional, wenn dieselbe von mittlerer Gröfse ist; sie wächst langsamer als die Kraft, wenn diese groß ist; bei kleinen Kräften findet sich die Andeutung eines Maximums.

Von den kleinsten Kräften an wächst $PM_a - PM_f$ langsamer als TM.

Der Eisenstab zeigte in verschiedenen Versuchsreihen, zwischen welchen er ausgeglüht wurde, ein abweichendes Verhalten : Entweder (Tab. 12 und 15) nahm $PM_a - PM_f$ bis zu hohen Werthen der Kraft mit dieser zu, erreichte ein Maximum, nahm ab bis zu einem Minimum und nahm nochmals zu. Während der ersten Periode der Zunahme wuchs $PM_a - PM_f$ anfangs rascher, dann langsamer als das temporäre Moment. Oder (Tab. 13) es nahm $PM_a - PM_f$ bei den kleinsten Kräften ab, wobei $PM_f > PM_a$ war, und nach Erreichung eines (negativen) Minimums zu. Die Zunahme war zuerst rasch und der Kraft proportional, dann einige Zeit verschwindend klein und schliesslich bei den größten Kräften wieder von merklicher Gröfse.

Bei einem Drahtbündel wächst $PM_a - PM_f$ zuerst mit wachsender Kraft, erreicht ein Maximum von bedeutender Gröfse, sinkt von diesem sehr schnell ab bis zu einem Minimum, *welches zuweilen im Negativen liegt*, steigt wieder an bis zu einem zweiten Maximum und nimmt nochmals ab. Die letzte Abnahme tritt allein nicht auf bei den beiden Bündeln mit den am meisten gestreckten Drähten (Tab. 11.

$\frac{L}{D} = 670$. Tab. 14. $\frac{L}{D} = 330$).

Der Eintritt des Maximums und Minimums bei kleinen Kräften ist unabhängig von der Dicke der Drähte und von ihrem Dimensionsverhältniß, denn es fand sich sowohl bei

den dünnsten (0,3 mm dicken) Drähten, als auch bei einem Bündel, dessen Drähte (nur 4 an Zahl) eine Dicke von 2,12 mm besaßen, es trat ferner auch ein bei dem Bündel (Tab. 17), für dessen 1 mm dicke Drähte das Dimensionsverhältniß $\frac{L}{D} = 40$ war.

Ebenso aber, wie bei einem Drahtbündel, verhält sich (Tab. 16) PM_a — PM_f bei einem einzelnen Draht, dessen Dicke von 1,13 bis 2,12 mm beträgt und dessen Länge bis zu 50 mm abnehmend variirt wurde :

Stets wird bei kleinen Kräften ein Maximum und Minimum beobachtet.

4. Wirkung der gleichen Kraft bei verschiedener Gröfse von PM_a .

In dem vorhergehenden Abschnitt wurde unter a) gezeigt, welches der Verlauf von PM_a — PM_f unter der Wirkung von Kräften ist, deren jede das PM_a , welches sie um PM_a — PM_f reduziert, selbst erzeugte, während unter b) die Wirkung der gleichen Kräfte auf ein PM_a untersucht wurde, welches durch eine gröfsere Kraft erzeugt war. Eine Vergleichung der in 3a) und in 3b) erhaltenen Resultate läfst also erkennen, wie sich die Wirkung einer Reihe von Kräften ändert, wenn PM_a von dem einer jeden zugehörigen auf einen gewissen gröfsten Werth gesteigert wird.

Eine solche Vergleichung ergiebt, dafs die Zunahme von PM_a auf einen gröfsten Werth fast immer eine Zunahme von PM_a — PM_f , und zwar theilweise eine sehr bedeutende, zur Folge hat, indem nur bei dem Eisenstabe — und auch bei diesem nur bei einem Theile der Beobachtungsreihen — die reducirende Wirkung aller Kräfte mit steigendem PM_a sich stark verringerte. Ferner wird durch die Zunahme von PM_a die Bildung neuer Maxima und Minima von PM_a — PM_f begünstigt — Stahlstab in Tab. 14 bei kleinen Kräften. Eisenstab in Tab. 13 bei kleinen Kräften. Drahtbündel in Tab. 9 bei grofsen Kräften — und die Deutlichkeit der schon vorhandenen erhöht — Drahtbündel in Tab. 9, 10 und 11 bei

kleinen, in Tab. 10 auch bei großen Kräften —. Letzteres bestätigte nur der Eisenstab nicht durchweg. (Vergl. Tab. 13.)

Auffällig ist besonders die Höhe des ersten Maximums bei großem PM_a , welches in Tab. 10 z. B. etwa 40 Proc. des größten vorkommenden Werths von PM_a-PM_f beträgt, während es bei der ersten Magnetisirung nicht 2 Proc. erreichte.

Die Beobachtung, daß eine Zunahme von PM_a die Differenz PM_a-PM_f bei constant bleibender Kraft nicht immer — wie früher allein gefunden — vergrößert, sondern manchmal — bei dem Eisenstab Tab. 13 durchaus, bei dem Drahtbündel Tab. 10 unter Wirkung von $W = 50$ und 30 — auch verringert, wurde Veranlassung, den einer Kraft zugehörigen Werth von PM_a-PM_f nicht nur für zwei, wie bisher geschehen, sondern für eine größere Reihe von Werthen von PM_a zu suchen.

Tab. 18. Eisenstab. 4 Bunsen.

Der Stab wurde durch aufsteigende Kräfte ($W = 150$ bis $W = 4$) zum ersten Male magnetisirt, und der jeder zugehörige Werth von PM_a-PM_f beobachtet. Bevor eine größere Kraft zur Wirkung gelangte, wurde der Stab allen schon vorher angewandten kleineren Kräften unterworfen und bei einer jeden PM_f beobachtet, während PM_a das gleiche, durch die bis dahin größte Kraft inducirte, war.

Curventafel Figur 9.

W	150	100	70	50	30	20	15	8	4
i	21	32	44	60	94	129	159	238	331
PM_a	57	94	137	175	218	237	249	272	287
PM_a-PM_f	21,7								
	29,0	45,0							
	37,0	57,5	80,0						
	33,5	58,5	82,5	107,0					
	24,5	49,2	75,2	101,5	131,5				
	16,0	36,3	57,7	82,0	112,5	128,3			
	7,3	24,3	43,8	64,5	92,5	112,0	123,5		
	2,0	12,0	28,5	42,5	73,5	94,0	103,5	117,5	
	— 0,3	8,0	19,0	33,5	59,0	80,5	98,0	101,0	112,5

Für die in derselben Horizontalreihe stehenden Werthe von $PM_a - PM_r$ ist PM_a constant, nämlich für die erste $PM_a = 57$, für die zweite $PM_a = 94$ u. s. f., und die Kraft besitzt die darüber in der zweiten Horizontalreihe stehenden Werthe.

Eine Verticalreihe enthält die der gleichen Kraft bei wachsendem PM_a entsprechenden Werthe von $PM_a - PM_r$.

Aus diesen Beobachtungen ergibt sich nun, daß bei der gleichen Kraft $PM_a - PM_r$ mit PM_a zuerst wächst und dann abnimmt. Die Periode der Zunahme wird kleiner mit wachsender Kraft, bis endlich nur noch eine Abnahme beobachtet wird.

Bei dem größten PM_a war die Wirkung sämtlicher Kräfte kleiner als bei der ersten Magnetisirung.

Nicht immer gelingt es aber, eine Zunahme und darauf folgende Abnahme von $PM_a - PM_r$ zu beobachten, meist überwiegt die Zunahme, und nur selten tritt wohl eine so ausgesprochene und ausschließliche Abnahme ein, wie bei den größeren Kräften in Tab. 18.

Sogar derselbe Eisenstab zeigte, nachdem er ausgeglüht war, bei allen Kräften von $W = 200$ bis $W = 30$ nur die Zunahme von $PM_a - PM_r$ mit wachsendem PM_a . Bei der letzteren Versuchsreihe wurden zugleich auch die temporären Momente TM beobachtet, und gefunden, daß bei allen Kräften TM mit wachsendem PM_a *abnahm*, aber nicht bedeutend, nämlich um höchstens 11 Proc., während die Zunahme von $PM_a - PM_r$ bis zu 240 Proc. betrug.

5. Einfluß des Extrastroms.

Bei den folgenden Beobachtungen wurde ebenso, wie in der 3. Abhandlung beschrieben, verfahren: Entweder ließ man den Extrastrom zu möglichst geringer Entwicklung gelangen durch Unterbrechung des Stromkreises, oder man brachte den Strom in den Spiralen zuerst sehr nahe auf Null durch Verbindung der Endigungen der Batteriedrähte mittelst eines kurzen dicken Kupferdrahts, und unterbrach darauf erst die Leitung der Spiralen.

In diesem Falle durchfloß der ganze Extrastrom die geschlossene Leitung.

Die so erhaltenen permanenten Momente sind mit PM_{fN} ($N =$ Nebenschließung) bezeichnet.

Tab. 19. Eisenstab. 3 Bunsen. PM_a constant = 342. Curventafel Fig. 10.

W	500	300	200	150	100	70	50	30
$PM_a - PM_f$	1,2	8,5	16,2	25,2	40,6	58,5	79,5	113,5
$PM_a - PM_{fN}$	0	4,7	11,9	14,2	24,4	32,0	44,0	60,5
W	20	15	11	8	5	3	1,5	0
$PM_a - PM_f$	136,0	141,5	150,5	153,5	141,0	131,0	127,3	131,7
$PM_a - PM_{fN}$	69,0	84,0	97,8	109,5	113,5	106,5	101,5	94,8.

Mit 5 Bunsen wurde gefunden, daß sich $PM_a - PM_{fN}$ einem kleinsten Werthe annäherte, den es aber selbst bei $W = 0$ noch nicht erreichte, während $PM_a - PM_f$ bei dieser Kraft sich auf dem zweiten Maximum befand.

Tab. 20. Drahtbündel aus 0,3 mm dicken und 200 mm langen Eisendrähnen. 3 Bunsen. PM_a constant = 586.

W	100	70	50	30	20
$PM_a - PM_f$	+ 2,0	+ 3,5	+ 1,5	- 2,5	+ 2,0
$PM_a - PM_{fN}$	+ 3,3	+ 1,5	+ 1,3	- 2,7	- 8,2
W	12	8	5	2	0
$PM_a - PM_f$	+ 57,7	+ 96,7	+ 97,0	+ 102,7	+ 101,6
$PM_a - PM_{fN}$	- 9,0	- 7,3	- 4,0	- 0,7	+ 4,5.

Tab. 21. Drei Drähte, 2,12 mm dick und 50, 79, 119 mm lang (vgl. Tab. 8). $\frac{L}{D}$ war also = 24, 38 und 57. 5 Bunsen. Bei wachsendem PM_a ergab sich :

	$\frac{L}{D} = 24$			$\frac{L}{D} = 38$			$\frac{L}{D} = 57$		
W	20	10	0	20	10	0	20	10	0
PM_a	46	58	73	196	222	239	622	657	660
$PM_a - PM_f$	24,0	28,6	22,7	62,7	55,5	44,0	108,0	100,0	92,5
$PM_a - PM_f$ in Proc. von PM_a	52	49	31	32	25	18	17	15	14
$PM_a - PM_{fN}$	0,15	0,4	0,5	4,3	5,5	2,3	16,3	17,2	0

Sodann wurde der Draht, für welchen $\frac{L}{D} = 57$, bei constantem $PM_a = 660$ untersucht. Es wurde gefunden :

W	300	200	150	100	70	50
$PM_a - PM_{fN}$	+ 3,3	+ 3,7	+ 4,3	+ 1,5	- 2,8	- 7,0
W	30	25	20	15	11	8
$PM_a - PM_{fN}$	- 10,8	- 3,0	+ 6,5	+ 9,0	+ 10,0	+ 8,8
W	5	3	1,5	0		
$PM_a - PM_{fN}$	+ 6,7	+ 4,2	- 0,7	+ 2,3.		

Bei dem Stahlstab war PM_{fN} dem PM_a sehr merklich gleich.

Hieraus geht hervor, daß der Extrastrom, wenn er einen geschlossenen Weg findet, den Werth von PM_f in jedem Falle, am wenigsten aber bei dem Eisenstab vergrößert. Bei dem Stahlstab wird durch den Extrastrom der Unterschied von PM_a und PM_f überhaupt aufgehoben, während bei dem Eisenstab das Qualitative der Erscheinung, abgesehen von dem späteren Eintritt des Maximums, unverändert bleibt. Bei dem Drahtbündel und dem 2,12 mm dicken und 119 mm langen Eisendraht wird zwar durch die Wirkung des Extrastroms der Unterschied von PM_a und PM_f gering, aber doch ist zu erkennen, daß er von der Größe der Kraft abhängt, und zwar in der gleichen Weise, wie ohne Anwendung der Nebenschließung : mit wachsender Kraft zeigt sich zuerst Zunahme, dann Abnahme, wieder Zunahme und (bei dem Eisendraht) nochmals Abnahme.

Ein Unterschied liegt nur darin, daß die Periode der ersten Abnahme ausgedehnter wird, und daß häufiger $PM_f > PM_a$ ausfällt. (Bei dem Eisendraht war *ohne* Nebenschließung niemals $PM_f > PM_a$.)

Am Geringsten ist der Einfluß des Extrastroms bei kleinen Kräften, bei welchen PM_{fN} dem PM_f merklich gleich ist.

6. Wirkung eines Inductionstroms.

Die drei obersten von den acht Windungslagen der Magnetisirungsspirale wurden aus dem Kreise des magnetisierenden Stroms entfernt. Ihre Enden blieben entweder ge-

trennt, oder sie wurden verbunden, in welchem Falle im Augenblick der Stromunterbrechung ein Inductionsstrom die Magnetisirungsspirale umkreiste. Die so erhaltenen PM_f sind durch PM_{f1} bezeichnet.

Tab. 22. Ein Drahtbündel aus 0,3 mm dicken und 200 mm langen Eisendrähten. 4 Bunsen. PM_a constant = 700.

W	100	70	50	30	20
$PM_a - PM_f$	+ 1,0	+ 3,8	+ 5,8	+ 5,9	+ 1,6
$PM_a - PM_{f1}$	+ 2,7	+ 1,8	+ 5,0	+ 5,3	+ 2,4
W	12	8	5	2	0
$PM_a - PM_f$	+ 1,3	+ 20,2	+ 29,8	+ 50,3	+ 59,6
$PM_a - PM_{f1}$	- 4,7	- 5,6	- 7,0	- 4,7	+ 0,3.

Hier wie in anderen Versuchsreihen übte also ein inducirter, die Magnetisirungsspirale unlaufender Strom dieselbe Wirkung auf das PM_f eines Drahtbündels aus, wie der Extrastrom. Bei kleinen Kräften ist $PM_f = PM_{f1}$, der Inductionsstrom ist also nicht von merklichem Einfluß; bei größeren übersteigt PM_{f1} bedeutend PM_f und ist größer als PM_a ; bei den größten wird es wieder kleiner als PM_a .

7. Einfluß der in der Masse des Eisens inducirten Ströme.

Aus der Beobachtung, daß ein Unterschied zwischen PM_a und PM_f auch bei Bündeln dünner von einander isolirter Drähte besteht, wurde schon in der dritten Abhandlung der Schluf gezogen, daß die Ursache der Erscheinung nicht in dem Auftreten von Inductionsströmen in der Masse des Eisens gesucht werden kann. Indefs war die Frage berechtigt, ob nicht diese inducirten Ströme, wenn sie auch nicht die Ursache der Erscheinung sind, doch irgend welchen Einfluß auf ihre Intensität oder ihren Verlauf ausüben?

Diese Frage ist durch eine Vergleichung der Resultate, welche erhalten wurden einerseits mit einem Eisenstab, in welchem sich inducirte Ströme bilden, andererseits mit einem Bündel dünner von einander isolirter Eisendrähte, in welchem solche Ströme nicht auftreten, nicht zu entscheiden, nachdem wir wissen, daß auch das Dimensionsverhältniß des Stabs oder Drahts und die Zahl der Drähte die Erscheinung beeinflussen.

Man kann vielmehr nur in der Weise verfahren, daß man die Drähte eines Bündels bei einer Beobachtungsreihe von einander isolirt, bei einer zweiten leitend mit einander verbindet. Zeigen beide Reihen Unterschiede, so ist in der That ein Einfluß inducirter Ströme, unabhängig von einem Einfluß der äußeren Form des Körpers nachgewiesen*).

Auf solche Weise gelingt es dann, die Wirkungen inducirter Ströme von dem Einfluß der Form des Körpers zu trennen.

Tab. 23. Eine Anzahl (16) Eisendrähte von 1 mm Dicke und 150 mm Länge wurden gegläht, blank gerieben, verkupfert und amalgamirt. Sie wurden dann, als Bündel gefast, in eine sie eng umschließende Glasröhre gesteckt, die noch übrig gebliebenen Zwischenräume zwischen den Drähten mit Quecksilber ausgefüllt und die Glasröhre verschlossen. 3 Bunden. Curventafel Fig. 11.

W	i	PM _a	PM _a —PM _f	PM _a —PM _f in Proc. von PM _a	PM _a —PM _f bei const. PM _a = 493
150	20	28	0,15	0,5	3,2
100	29	45	0,2	0,5	4,0
70	40	73	0,5	0,7	4,5
50	55	120	1,7	1,4	4,0
30	86	234	10,0	4,3	9,7
20	119	319	29,4	9,2	25,0
15	148	361	46,2	12,8	41,0
11	183	394	63,0	16,0	61,7
8	222	419	75,7	18,0	87,5
5	284	446	93,7	21,0	124,5
3	349	469	107,0	22,8	130,0
1,5	422	484	116,8	24,1	127,0
0	535	493	124,0	25,1	128,7

*) Das gleiche Verfahren ist zu befolgen, wenn es sich darum handelt, den Einfluß innerer Ströme auf die Geschwindigkeit des Entstehens oder Verschwindens des Magnetismus zu bestimmen. Die Beobachtung, daß der Magnetismus eines Eisenstabs langsamer verschwindet, als der eines Bündels von einander isolirter Drähte, berechtigt meines Erachtens

Dieselben Drähte (wozu noch 4, ihnen im Uebrigen ganz gleiche gefügt waren) wurden auch untersucht, während sie durch Oxydoxydul von einander isolirt waren. Diese Beobachtungen sind in Tab. 9, Curventafel Fig. 6 enthalten.

Tab. 24. Ebenfalls 1 mm dicke und 150 mm lange Drähte wurden in der oben beschriebenen Weise in leitende Verbindung mit einander gebracht und durch 5 Bunsen bei $W = 0$ magnetisirt. Auf das erhaltene $PM_a = 502$ liefs man dann den Strom der 5 Bunsen bei größeren Widerständen einwirken. Später wurde das die Zwischenräume der Drähte ausfüllende Quecksilber durch Schütteln entfernt, so das die absichtlich nicht ganz gerade gestreckten Drähte sich in der Mehrzahl der Punkte nicht mehr berührten.

Curventafel Fig. 12.

W	i	$PM_a - PM_f$	
		Drähte verbunden	Drähte isolirt
30	72	—	94,0
20	100	—	118,2
15	124	100,0	120,6
11	154	106,1	112,6
8	187	110,4	98,6
5	237	112,7	95,6
3	291	113,3	91,6
1,5	351	115,1	91,5
0	440	119,5	92,8

Aus den Tabellen 22 (und 9) und 23 ziehen wir folgende Schlüsse :

1) Bei der ersten Magnetisirung eines Bündels, dessen Drähte leitend verbunden sind, wächst $PM_a - PM_f$ continuirlich mit wachsender Kraft. Wirkt dagegen eine jede Kraft

nicht zu dem Schluss, das dies eine Folge der im Eisenstab auftretenden, im Drahtbündel fehlenden inneren Ströme sei. Denn auch die Form des Körpers ist möglicherweise bestimmend für die Geschwindigkeit, mit welcher der Magnetismus in ihm entsteht oder verschwindet (s. die 3. Abh. S. 380). Diese Frage durch neue Versuche zu entscheiden, ist gewifs angezeigt. Ich hoffe, in Bälde dazu im Stande zu sein.

auf das gleiche (größte) PM_n , so zeigt $PM_a - PM_r$ bei kleinen Kräften Andeutungen eines Maximums und Minimums und wächst darauf continuirlich, indem es sich einem Maximum annähert, welches in der Beobachtungsreihe Tab. 23 schon vor Eintritt der größten Kraft erreicht ist.

2) Die in Procenten von PM_a ausgedrückte Differenz $PM_a - PM_r$ nimmt mit wachsender Kraft continuirlich zu.

3) Das Bündel leitend verbundener Drähte liefert bei kleinen und mittleren Kräften kleinere, bei großen Kräften größere Werthe von $PM_a - PM_r$ als das Bündel von einander isolirter Drähte.

Hiernach beeinflussen die Inductionsströme, welche bei der Unterbrechung des magnetisirenden Stroms in der Masse des Eisens circuliren, thatsächlich die Größe und den Verlauf von $PM_a - PM_r$. Vor Allem interessant ist das Resultat, daß sie die zwei Maxima und das Minimum, welche bei Bündeln von einander isolirter Drähte stets beobachtet wurden, nahezu resp. völlig zum Verschwinden bringen. Denn es beweist, daß die Ursache der Maxima und des Minimums, welche ein Eisenstab unter der Wirkung großer Kräfte zeigt, nicht in den in dem Stab auftretenden Inductionsströmen liegen kann, da diese ihrer Bildung ja nur hinderlich sind; und es macht andererseits wahrscheinlich, daß gerade in diesen Strömen der Grund für das Fehlen des Maximums und Minimums bei einem Eisenstab liegt, welche unter Wirkung *kleiner* Kräfte bei einem Bündel isolirter Drähte stets beobachtet wurden.

8. Zusammenfassung der Hauptresultate und Schlußfolgerungen.

Die Resultate des 1. u. 2. Abschnitts haben einen Schluß bestätigt, welcher schon in der 3. Abhandlung S. 380, freilich auf Grund nur weniger Versuchsreihen, gezogen war: daß der Unterschied von PM_a und PM_r desto größer sein müsse, je mehr in dem Körper die Querwirkung der Molekularmagnete ihre Längswirkung überwiegt, wobei es vorzugsweise auf das Verhältniß beider zu einander ankommt. Wenn die Länge

des Körpers sehr groß im Vergleich zu seiner Dicke ist, so verschwindet der Unterschied von PM_a und PM_r gänzlich: er erreichte bei dem Eisendraht vom Dimensionsverhältniß 670 unter den stärksten Kräften nicht 1 Proc. von PM_a .

Eine Vergrößerung der Querswirkung im Vergleich zur Längswirkung wurde durch eine Vergrößerung der Dicke und Verminderung der Länge des Stabs erreicht, aber denselben Erfolg hatte auch eine Nebeneinanderreihung mehrerer Stäbe oder Drähte. Das letztere beweist, daß eine Wechselwirkung der Molekularmagnete auch noch in endlichen Entfernungen stattfindet.

Am kleinsten ist der Unterschied zwischen PM_a und PM_r c. p. stets bei Stahl, wofür der Grund S. 380 der 3. Abh. schon genannt ist. Der Stahl zeigt die einfachsten Verhältnisse: ein continuirliches Anwachsen von $PM_a - PM_r$ mit der Kraft, mag nun mit dieser PM_a selbst sich ändern (wachsen), oder mag es constant sein. Beim Eisen dagegen hängt $PM_a - PM_r$ in complicirter Weise von der Größe der Kraft ab, in welcher Form auch das Eisen zur Untersuchung gelangen mag, sei es als Stab, als Draht oder als Bündel von Drähten. Dabei wechselt das Verhalten von $PM_a - PM_r$ mit dem Dimensionsverhältniß des Eisenkörpers, aber es ist nicht allein von diesem abhängig.

Ein Einfluß des Dimensionsverhältnisses giebt sich bei großen Kräften zu erkennen: dicke Eisenstäbe zeigen hier ein Maximum von $PM_a - PM_r$, bei weiter wachsender Kraft ein Minimum und weiter eine Annäherung an ein zweites Maximum. Dasselbe ergaben dünne Eisendrahte von kleinem Dimensionsverhältniß. Dagegen zeigten Drahtbündel, für deren Drähte das Dimensionsverhältniß zwischen 100 und 200 lag, bei großen Kräften nur ein Maximum mit nachfolgender Abnahme, und bei Drahtbündeln mit sehr großem Dimensionsverhältniß verlief $PM_a - PM_r$ das einmal erreichte Maximum nicht.

Es vermindert sich also mit steigendem Dimensionsverhältniß die Zahl der Maxima und Minima bei großen Kräften.

Umgekehrt scheint es auf den ersten Blick bei kleinen Kräften zu sein : denn das Maximum und Minimum, welches bei einem Drahtbündel stets beobachtet wird, fällt bei einem Eisenstab fast immer aus. Der Grund dafür liegt aber nicht in dem gewöhnlich kleinen Dimensionsverhältniß des Stabs gegenüber dem gewöhnlich großen des Drahtbündels. Denn das Maximum und Minimum tritt auch bei Eisendrähnen von kleinem Dimensionsverhältniß und *geringer Dicke* und bei einem Bündel kurzer Eisendrähne von kleinem Dimensionsverhältniß auf.

Vielmehr sind zur Erklärung die bei der Stromöffnung in der Masse des Eisens inducirten Ströme herbeizuziehen, welche sich besser in dicken als in dünnen Körpern ausbilden können. Denn wie im 7. Abschnitt bewiesen wurde, verdecken diese Ströme das Maximum und Minimum bei einem Drahtbündel, sobald für ihr Zustandekommen durch leitende Verbindung der Drähne Sorge getragen wird.

Auch wenn man $PM_a - PM_f$ in Procenten von PM_a ausdrückte, gaben sich zwischen den verschiedenen untersuchten Körpern charakteristische Unterschiede zu erkennen : Sehen wir von dem Maximum und Minimum, welches bei kleinen Drähnen als Folge des Maximums und Minimums von $PM_a - PM_f$ selbst auftritt, ab, so wuchs $\frac{PM_a - PM_f}{PM_a} \cdot 100$ bei Stahl con-

tinuirlich mit wachsender Kraft, bei dem Eisenstab und bei einem kurzen dicken Draht nahm es zuerst zu und dann lange vor erreichtem Maximum von PM_a ab, und bei einem Bündel langer und dünner Drähne nahm es zu und dann manchmal ab, aber erst unmittelbar vor erreichter Sättigung mit PM_a .

Die Abnahme von $PM_a - PM_f$ [in Proc. von PM_a] schon bei mittleren Kräften ist charakteristisch für Eisenkörper von kleinem Dimensionsverhältniß, sie ist nicht bedingt durch Inductionsströme in der Masse des Eisens, denn ein kurzer Eisendraht von nur 2,12 mm Dicke zeigte sie (Tab. 21) und ein Bündel *leitend verbundener* Drähne von 7 mm Dicke zeigte sie nicht, obwohl im ersten Fall der Einfluß inducirter Ströme klein, im zweiten groß sein muß. Die in der Masse des

Körpers sich bildenden Inductionsströme verhindern nicht nur bei kleinen, sondern auch bei großen Kräften die Bildung von Maximis und Minimis von PM_a — PM_r , woraus folgt, daß die einem Eisenstab von kleinem Dimensionsverhältniß charakteristischen Maxima und Minima noch intensiver auftreten müssen, wenn die Inductionsströme vermieden werden könnten.

Die Größe von PM_a — PM_r hängt sowohl von der Größe von PM_a als auch von der Intensität der Kraft oder, besser gesagt wohl, von der Größe des verschwindenden (temporären) Magnetismus (TM) ab. Die Abhängigkeit von TM zeigen die Beobachtungen, bei welchen PM_a constant blieb und sich nur die Intensität der Kraft, also TM änderte. Der Einfluß der Größe von PM_a aber muß erschlossen werden aus Beobachtungen, bei welchen die gleiche Kraft auf verschieden große PM_a , welche größer (oder höchstens gleich) sind als das von der Kraft selbst erzeugte, einwirkte.

Nun ändert sich aber mit PM_a auch das TM der Kraft (2. Abh. S. 92 bis 98) und deshalb kann man einwenden, daß, wenn die gleiche Kraft auf verschiedene PM_a einwirkt, sich ergebende Unterschiede von PM_a — PM_r nur indirect durch die Verschiedenheit der PM_a , direct aber durch die der TM hervorgerufen seien. In den meisten Fällen variirt jedoch TM zu wenig, um hierdurch die großen Variationen von PM_a — PM_r erklären zu können, man wird vielmehr in der Hauptsache TM als constant ansehen können, wenn die Intensität der Kraft die gleiche ist, und die Variationen von PM_a — PM_r zum größten Theil auf Rechnung der Verschiedenheit von PM_a setzen. Da aber immerhin TM sich mit PM_a ändert, und da, wie bewiesen, die Größe von TM wieder auf PM_a — PM_r in complicirter Weise influirt, so ist es thatsächlich nicht möglich, sich eine vollkommen klare Vorstellung von dem Gesetz zu verschaffen, nach welchem PM_a — PM_r von PM_a selbst abhängt. Man muß sich mit dem direct aus den Beobachtungen hervorgehenden Resultat begnügen, daß PM_a — PM_r mit wachsendem PM_a zuerst zu-, dann abnimmt, wobei aber entweder die Zunahme oder die Abnahme auch ganz ausfallen kann. Ferner ergibt sich, daß größere Werthe

von PM_a die Bildung von Maximis und Minimis von PM_a — PM_f begünstigen. Nur bei dem Eisenstab erschienen sie unter Wirkung großer Kräfte manchmal weniger deutlich, wenn PM_a einen größeren Werth besaß; dafür trat dann aber ein neues (negatives) Minimum bei kleinen Kräften auf.

Schon in der 3. Abhandlung wurde bemerkt, daß PM_f zuweilen *größer* als PM_a ist, nämlich dann, wenn der Körper während der Stromöffnung von einer geschlossenen metallischen Röhre umgeben ist. In diesem Falle nahm PM_a — PM_f , wenn der Körper durch aufsteigende Kräfte zum ersten Mal magnetisirt wurde, zuerst bis zu einem negativen Minimum ab und darauf zu, indem es durch Null ins Positive ging. Die vorliegenden Beobachtungen beweisen nun, daß PM_a — PM_f auch negativ werden kann, wenn der Körper von einer geschlossenen Inductionsspirale umgeben ist — was nach dem früheren Resultat zu erwarten war —, ferner wenn der Strom durch eine Nebenschließung erst nahe auf Null gebracht wird, ehe man ihn unterbricht und endlich (bei dem Bündel gestrecktester Drähte) auch schon bei einfacher Stromunterbrechung.

Diese Beobachtungen sind meist bei constantem PM_a angestellt, auf welches kleinere Kräfte, als die, durch welche es erzeugt wurde, wirkten; denn dann waren die negativen Werthe besonders groß und ihr Gang am leichtesten zu verfolgen.

Die bez. Tabellen zeigen nun, daß bei den kleinsten Kräften PM_a — PM_f *positiv* ist und wächst, nach Erreichung eines Maximums abnimmt und negativ wird, ein Minimum erreicht und darauf wieder ins Positive wächst, um nochmals ein Maximum zu erreichen und dann abermals abzunehmen. Die Abnahme nach dem zweiten Maximum wurde nur bei dem kurzen Eisendraht Tab. 21 beobachtet.

Ist schon das schroff zum 1. Minimum abfallende Maximum eine interessante Erscheinung (vergl. die 3. Abh. S. 381 bis 382), so verdienen die um das 1. Minimum liegenden negativen Werthe in nicht geringerem Grade unsere Aufmerksamkeit. Sie wären weniger auffällig, wenn sie nur bei

der ersten Magnetisirung durch aufsteigende Kräfte aufträten, denn dann liefsen sie sich vielleicht durch die Annahme erklären, dafs PM_f in anderer Weise mit der Kraft wächst als PM_a , nämlich zuerst langsamer als dieses, dann rascher — wobei $PM_f > PM_a$ werden kann — und endlich wieder langsamer mit wachsender Kraft zunimmt. So aber bewirkt in Tab. 21 z. B. eine Kraft, welche nur ein Viertel so grofs ist, als diejenige, durch welche PM_a erzeugt wurde, dafs dieses noch um fast 2 Proc. steigt.

Die nächstliegende Erklärung hierfür, welche ich auch früher einmal gelegentlich einer ersten kurzen Mittheilung der in der 3. Abhandlung enthaltenen Resultate in den Göttinger Nachrichten erwähnt habe, wäre, dafs PM_a deshalb durch eine selbst viel kleinere Kraft gesteigert werden konnte, weil es vorher durch unvermeidliche Erschütterungen geschwächt worden sei.

Diese Erklärung ist nicht statthaft, weil negative Werthe auch dann vorkommen, wenn der Körper bei der Bildung des PM_a ruhig in der Spirale bleibt und der Strom durch allmähliche Einschaltung von Widerstand bis zu einem unmerklich kleinen Werthe geschwächt wird, ehe man ihn unterbricht.

Deshalb werden die negativen Werthe von PM_a — PM_f in derselben Weise zu erklären sein, wie überhaupt die Maxima und Minima, nämlich durch die Annahme (vergl. die 3. Abh.) dafs die Molekularmagnete nach einer plötzlichen Aenderung der sie richtenden Kraft im Allgemeinen nicht sogleich neue Gleichgewichtslagen einnehmen, sondern erst nachdem sie eine oder mehrere Oscillationen ausgeführt haben.

Es wäre endlich noch der Einflufs des Extrastroms zu erörtern.

Nachdem schon früher bewiesen worden ist, dafs in der Masse des Körpers inducirte Ströme als die Ursache der Erscheinung nicht angesehen werden können, könnte man die Frage aufwerfen, ob nicht der Extrastrom als deren Ursache betrachtet werden darf. Diese Frage hat nur dann eine Berechtigung, wenn man einen alternirenden Verlauf des Extra-

stroms annimmt. Es würde dann vorzugsweise die zweite Oscillation sein, welche PM_a zu PM_r verminderte. Nun hatte bei der großen Windungszahl meiner Spiralen der Extrastrom jedenfalls einen alternirenden Verlauf, aber es scheint doch fraglich, einmal ob die zweite Oscillation überhaupt noch während der Dauer des Funkens zu Stande kam, also einen geschlossenen Weg fand, und dann, wenn dies nicht der Fall war, ob sie überhaupt eine elektromagnetische Wirkung ausübte.

Ganz hinfällig wird aber die Vermuthung, daß der Unterschied von PM_a und PM_r durch den Extrastrom hervorgerufen sei, durch die Beobachtung, daß er auch noch fortbesteht, wenn dem Extrastrom (durch Anwendung einer Nebenschließung) ein geschlossener Weg geboten wird. Dann treten nämlich nach B e r n s t e i n Oscillationen und Alternationen des Extrastroms überhaupt nicht ein, er fließt in constanter, dem primären Strom gleicher Richtung, und seine Wirkung kann nur in einer Annäherung des PM_r an PM_a bestehen, wie auch die Beobachtungen ergaben.

Man kann aber weiter die Frage aufwerfen, ob nicht die Maxima und Minima von PM_a — PM_r eine Folge des Extrastroms seien? Dieselbe beantwortet sich durch eine Vergleichung der Werthe, welche mit und ohne Benutzung der Nebenschließung erhalten wurden. (Tab. 20.)

Die beiderseitigen Werthe sind bei kleinen Kräften, bei welchen das erste Maximum und Minimum eintritt, nicht merklich von einander verschieden, obwohl doch im einen Fall der ganze Extrastrom, im anderen nur ein sehr kleiner Theil einen geschlossenen Weg einschlug. Daraus folgt, daß bei kleinen Kräften der Extrastrom überhaupt ohne merklichen Einfluß ist, folglich, daß er auch nicht als Ursache der bei kleinen Kräften auftretenden Maxima und Minima betrachtet werden kann. Dann wird er aber auch bei der Entstehung der bei größeren Kräften beobachteten Maxima und Minima unbetheiligt sein.

Dagegen ist bewiesen, daß er sowohl die Höhe der Maxima und Minima als ihre Lage beeinflusst, am wenigsten

von allen untersuchten Körpern bei dem dicken Eisenstabe. Es ist diese geringere Wirkung bei dem Stab nicht allein auf die gleichzeitig in dem Eisen selbst inducirten Ströme zurückzuführen, denn bei einem Eisendrahtbündel blieb die Wirkung des Extrastroms bei Benutzung einer Nebenschließung immer bedeutend, d. h. $PM_n - PM_r$ klein, auch wenn die Drähte des Bündels sich in leitender Verbindung befanden. Ich glaube, daß die Wirkung des Extrastroms auch durch das Dimensionsverhältniß und namentlich durch die molekulare Beschaffenheit des Körpers bestimmt wird.

Giefßen, November 1882.

Fig. 8.) Zu Tab. 15. Eisenstab
Absc.: i. Ord.: $PM_a - PM_f$ bei const. PM_a

Fig. 6.) Zu Tab. 9. Drahtb.

Absc.: i. Ord.: $PM_a - PM_f$
a) bei wach. PM_a
b) " const. "

Fig. 11.) Zu Tab. 23. Drahtb.

Absc.: i. Ord.: $PM_a - PM_f$
A) bei wach. PM_a
B) " const. "

Fig. 10.) Zu Tab. 19. Eisenstab
Absc.: i. Ord.: $PM_a - PM_f$
bei const. PM_a

a) Ohne Nebenschliessung
b) Mit "

Fig. 9.) Zu Tab. 18. Eisenst.

Absc.: PM_a
Ord.: $PM_a - PM_f$

i = 331.

i = 338.

i = 159.

i = 129.

i = 94.

i = 60.

i = 44.

i = 32.

i = 21.

Fig. 7.) Zu Tab. 13. Eisenst.

Absc.: i. Ord.: $PM_f - PM_f$
a) bei wach. PM_a
b) " const. "

Fig. 12.) Zu Tab. 24. Drahtb.

Absc.: i. Ord.: $PM_a - PM_f$
bei const. PM_a
a) Drähte isolirt
b) " verbunden

Fig. 4.) Zu Tab. 1.

Absc.: Zahl d. Drähte.
Ord.: T.M. eines Drahts.

Fig. 3.) Zu Tab. 7. Drahtb.

Absc.: Zahl d. Drähte.
Ord.: PM_a eines Drahts

Fig. 5.) Zu Tab. 12. Stahlst.

Absc.: i. Ord.: $PM_f - PM_f$
a) PM_a wachsend.
b) PM_a const.

Fig. 8.) Zu Tab. 2. Drahtb.

Absc.: Zahl d. Drähte Ord.: $\frac{PM_f - PM_f}{PM_a} \cdot 100$

Fig. 1.) Zu Tab. 1. Drahtb.

Absc.: Zahl d. Drähte Ord.: $\frac{PM_a - PM_f}{PM_a} \cdot 100$

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Bericht der Oberhessischen Gesellschaft für Natur- und Heilkunde](#)

Jahr/Year: 1883

Band/Volume: [22](#)

Autor(en)/Author(s): Fromme Carl

Artikel/Article: [Magnetische Experimentaluntersuchungen. 65-97](#)