3. *Ueber die magnetische Nachwirkung; von C. Fromme.*

(Der k. Gesellsch. d. Wissensch. zu Göttingen auszugsweise mitgetheilt
am 3. Juli 1897.)

(Hierzu Taf. I Fig. 1—8.)

Im Jahre 1878 habe ich¹⁾ eine Erscheinung beschrieben, der ich die Bezeichnung „Magnetische Nachwirkung“ gab: Wenn man nach einer grösseren magnetisirenden Kraft P öfters eine kleinere p wirken liess, dann zeigte sich das temporäre Moment bei der ersten Einwirkung von p am grössten und nahm mit jeder folgenden ab, bis zur Erreichung eines Minimums. Während jeder einzelnen Einwirkung von p beobachtete ich keine merkliche Abnahme des temporären Moments, es war also allein die *wiederholte* Wirkung maassgebend. Mit Variirung der Kraft P änderte sich das Minimum des temporären Moments bei p nicht, wohl aber wuchsen mit P die Anfangswerthe des Moments. Die Erscheinung unterschied sich also doch wesentlich von der *elastischen* Nachwirkung.

In der Folge entdeckten aber Ewing²⁾ und Lord Rayleigh³⁾ eine magnetische Erscheinung, welche der elastischen Nachwirkung vollkommen entspricht und deshalb den Namen „Magnetische Nachwirkung“ besser als die erste verdient. Ewing und Rayleigh bezeichneten sie als „Time-lag“ oder als „Magnetic creeping“. Sie bestand in einer langsamen Zunahme des magnetischen Moments nach Herstellung eines constanten grösseren Werthes der magnetisirenden Kraft und in einer langsamen Abnahme nach Herstellung eines constanten

1) C. Fromme, Wied. Ann. **4.** p. 76. 1878.

2) J. A. Ewing, Phil. Trans. p. 569. § 2. 1885; Lond. Proc. Roy. Soc. **46.** p. 269. 1890.

3) Rayleigh, Phil. Mag. (5) **23.** p. 225. 1887.

kleineren Werthes. Ich nenne sie im Folgenden „Magnetische Nachwirkung“. Meine Versuche über diese Erscheinung waren im Herbst 1896 zum allergrössten Theil abgeschlossen, es folgten nur noch einige Controlversuche Anfang 1897. Eine vorläufige Mittheilung der Resultate habe ich in den Nachrichten von der Gesellschaft der Wissenschaften in Göttingen (Sitzung vom 3. Juli) gegeben.

Im Septemberheft dieser Annalen erschien sodann eine Arbeit von Hrn. Klemenčič¹⁾ über denselben Gegenstand, welche schon einige Monate vorher in den Wiener Akademieberichten gedruckt, mir aber nicht zugänglich geworden war. Eine weitere kurze Mittheilung über den Gegenstand hat Hr. Klemenčič im Jubelbande dieser Annalen gemacht. Es wird sich im Folgenden Gelegenheit finden, einige seiner Resultate zu berühren.

1. Material und Methode.

Zu den Versuchen benutzte ich weiche Eisendrähte, sämmtlich der gleichen Drahtrolle entstammend, 15 cm lang und 0,12 cm dick. Gelegentlich wurde auch ein Stahldraht von 0,28 cm Dicke geprüft. Auf die mit diesem erhaltenen Resultate nehme ich aber im Folgenden keinen Bezug, da die Erscheinung der Nachwirkung bei ihm, wenn auch deutlich, doch mit sehr geringer Stärke auftrat. Die Drähte waren ausgeglüht und langsam abgekühlt und, wenn nicht das Gegentheil bemerkt ist, bis zur Einwirkung der magnetisirenden Kraft einem anderen Process, wie z. B. Erschütterungen, nicht unterworfen. Der Strom wurde durch drei Bunsen'sche Elemente geliefert. Der Draht befand sich im homogenen magnetischen Feld einer Spirale in der zweiten Hauptlage zum Magnetometer. Die Stromstärke betrug im Maximum, d. h. wenn kein Rheostatenwiderstand eingeschaltet war, 1,04 Amp., im Minimum — es waren dann 9999 Siem.-Einh. eingeschaltet — 0,00053 Amp.; die magnetisirende Kraft lag infolge dessen zwischen den Grenzen 47 und 0,02. Im Folgenden sind die magnetisirenden Kräfte aber nur durch Angabe des im Strom-

1) J. Klemenčič, Wied. Ann. 62. p. 68. u. 63. p. 61. 1897.

kreise liegenden Rheostatenwiderstandes (in Siem.-Einh.) unterschieden, die magnetischen Momente und die Nachwirkungen sind in Scalentheilen ausgedrückt.

Die momentane Wirkung einer Aenderung der magnetisirenden Kraft auf das Magnetometer wurde durch eine Compensationsspirale nahezu aufgehoben. Diese compensirte also nicht nur die Wirkung des Stromes in der Magnetisirungsspirale auf das Magnetometer, sondern auch diejenige des *momentan* — bei einer *Abnahme* der Kraft — verschwindenden Theils des Magnetismus. Wurde aber die magnetisirende Kraft sehr stark geschwächt, so liess sich eine nahe vollständige Compensation nicht herstellen. Doch führte das Magnetometer dann immerhin nur wenige kleine Schwingungen aus und die Beobachtungen konnten wenigstens nach 5, höchstens 10 Sec. beginnen.

Ich beschränkte die Versuche auf diejenige Nachwirkung, welche nach einer *Schwächung* der magnetisirenden Kraft P auftritt. Ist P auf einen Werth p reducirt worden, welcher grösser als Null ist, so nenne ich die nun zu beobachtende langsame Aenderung des Magnetismus die „Nachwirkung des temporären Momentes“; ist aber $p = 0$, so spreche ich von einer „Nachwirkung des permanenten Moments“. Die Zurückführung von P auf p geschah durch Ziehen der Stöpsel des im Stromkreis befindlichen Rheostaten, die Zurückführung auf $p = 0$ gewöhnlich durch Kurzschluss der stromgebenden Elemente und folgende Unterbrechung. Ich theile nun in den §§ 2—6 zuerst solche Versuche mit, bei denen eine Kraft P sofort auf Null reducirt wurde, bei denen also nur die Nachwirkung des *permanenten* Moments zu beobachten war. In den §§ 7—9 werden sodann Versuche beschrieben, in denen P zuerst auf p , und dies nach einiger Zeit auf Null gebracht wurde; hier traten also beide Nachwirkungen auf. Endlich wird in den §§ 9—11 der Einfluss von Zustandsänderungen mechanischer und thermischer Art auf Grösse und Ablauf der Nachwirkung besprochen. Der § 12 fasst die Resultate zusammen und der § 13 versucht sie aus der Moleculartheorie abzuleiten.

2. Einfluss der Dauer der Kraft P .

Nach den Versuchen von Ewing, die sich freilich nur auf schwache Kräfte erstreckten, verschwindet derjenige Theil des Magnetismus, welcher nach Steigerung der Kraft von Null auf P erst allmählich entsteht, nach Reduction von P auf Null ebenfalls nur allmählich wieder, die entstehende Nachwirkung ist der verschwindenden gleich. Verhielte es sich auch bei grösseren Kräften so, dann müsste die Nachwirkung des permanenten Moments desto grösser gefunden werden, je länger die Kraft P bestanden hatte. In den folgenden Versuchen wurde die Dauer der (grossen) Kraft ($W = 0$) von 5—70 sec variirt und die Nachwirkung des permanenten Moments von 5 sec nach der Stromunterbrechung an beobachtet.

Tabelle 1.

$PM = 647$ (einige Minuten nach Stromunterbrechung). Die Abnahme des PM hatte in den vorgesetzten Zeiträumen folgende Werthe.

Zeit nach Strom- unterbrechung	Dauer der Stromschliessung in Secunden					Mittel- werthe
	5	10	20	40	70	
5—10 sec	1,0	1,0	1,1	1,3	0,9	1,06
10—15	0,8	0,9	0,9	0,7	0,9	0,82
15—20	0,4	0,7	0,5	0,8	0,5	0,58
20—30	0,8	0,8	0,9	0,9	0,9	0,86
30—40	0,8	0,6	0,8	0,7	0,6	0,70
40—50	0,4	0,6	0,6	0,6	0,5	0,54
50—60	0,4	0,4	0,4	0,5	0,4	0,42
60—80	0,6	0,8	0,7	0,6	0,6	0,66
80—100	0,6	0,5	0,3	0,6	0,5	0,50
100—120	0,4	0,4	0,5	0,4	0,3	0,40
120—140	0,3	0,2	0,4	0,3	0,4	0,32
140—160	0,3	0,4	0,2	0,4	0,3	0,32
160—180	0,2	0,3	0,3	0,1	0,1	0,20
180—210	0,3	0,2	0,4	0,4	0,4	0,34
210—240	0,2	0,4	0,2	0,2	0,1	0,22

Wie man sieht, differirt die Nachwirkung des permanenten Moments sehr wenig mit der Dauer der Stromschliessung. Wie gering die Unterschiede sind, geht deutlicher hervor, wenn wir die Gesamtnachwirkung für die Zeit von 5—60, 60—120, 120—180 und 180—240 sec bilden. Sie ist:

Tabelle 1a.

Zeitraum	Dauer der Stromschliessung in Secunden				
	5	10	20	40	70
5— 60 sec	4,6	4,9	5,2	5,5	4,7
60—120	1,6	1,7	1,5	1,6	1,4
120—180	0,8	0,9	0,9	0,8	0,8
180—240	0,5	0,6	0,6	0,6	0,5

Eine Abhängigkeit der Nachwirkung von der Wirkungs-
dauer der Kraft wird man hieraus nicht folgern können. Es
sind deshalb die fünf Einzelwerthe in der ersten Tabelle je
zum Mittel vereinigt.

Die Mittelwerthe der Tab. 1 sind in Curve 1 als Ordina-
ten eingetragen zu den Zeiten als Abscissen. Die Curve
ist von 5—0 sec in freiem Zuge fortgesetzt. Diese Extra-
polirung führt auf eine Nachwirkung von mindestens 1,5 in
dem Zeitraum 0—5 sec. Darnach würde von 0—240 sec eine
Nachwirkung von 9,5, d. h. von 1,5 Proc. des permanenten
Moments ablaufen.

3. Einfluss der Geschwindigkeit der Kraftabnahme.

Nach dem Bilde, das ich mir von dem Vorgang der Nach-
wirkung machte, musste sie kleiner werden, wenn man die
Kraft rascher auf Null reducirte. Während also sonst immer
zuerst die Elemente kurz geschlossen wurden, ehe man den
Strom unterbrach, liess man jetzt die Kraft plötzlich auf Null
absinken, indem man sofort die Stromunterbrechung vornahm.
Der Draht der Tab. 1 zeigte jetzt folgende Nachwirkungs-
werthe:

Tabelle 2.

Zeitraum	5— 10 sec	10— 15 sec	15— 20 sec	20— 30 sec	30— 40 sec
Nachwirkung	0,6	0,3	0,4	0,4	0,3
Zeitraum	40— 50 sec	50— 60 sec	60— 80 sec	80—100 sec	100—120 sec
Nachwirkung	0,3	0,2	0,3	0,2	0,5
Zeitraum	120—140 sec	140—160 sec	160—180 sec	180—210 sec	210—260 sec
Nachwirkung	0,3	0,3	0,1	0,2	0,2

Die Summe der Nachwirkung in den ersten 5—60 sec, in der zweiten, dritten und vierten Minute beträgt also: 2,5, 1,0, 0,7, 0,4, die Gesamtnachwirkung in dem Zeitraum von 5 sec bis 4 Min. ist 4,6. Die raschere Reduction der Kraft auf Null hat demnach die Gesamtnachwirkung von 7,9 auf 4,6 herabgedrückt; hiervon fällt der Hauptantheil auf die Zeit von 5—60 sec, in welcher nunmehr eine um 50 Proc. kleinere Nachwirkung beobachtet wurde. Der schliesslich erreichte constante Werth von PM war jetzt, der raschen Kraftabnahme entsprechend, 596 (gegenüber 647 in Tab. 1).

4. Einfluss der Grösse der Kraft.

Es sollte nun festgestellt werden, welchen Einfluss die Grösse der Kraft auf die Nachwirkung des permanenten Moments ausübt. Man liess also zuerst eine kleine Kraft ($W = 100$) auf den ausgeglühten Draht wirken und beobachtete die Abnahme des permanenten Moments von 5 sec nach Stromöffnung an bis zur Erreichung eines merklich constanten Werthes. Dann wurden dieselben Beobachtungen bei successive grösseren Kräften angestellt. Jede Kraft wurde einmal langsam (nach vorhergegangenen Kurzschluss der Elemente), ein anderes Mal rasch (ohne Kurzschluss) auf Null reducirt.

Tabelle 3.

Mit	$W =$	100	50	25	15	10	5	0
Kurz-	$PM =$	146	354	573	611	631	646	650
schluss	Nachwirkung	1,2	1,9	4,0	5,9	6,7	8,0	9,1
Ohne	$W =$	100	50	25	15	10	5	
Kurz-	$PM =$	144	354	553	573	589	596	
schluss	Nachwirkung	1,2	1,6	2,9	4,0	4,1	4,5	

Die Nachwirkung wächst demnach in beiden Fällen mit der Grösse der Kraft. Die geringere oder grössere Geschwindigkeit, mit welcher die Kraft auf Null reducirt wird, übt solange keinen Einfluss auf die Nachwirkung aus, als die Kraft klein ist. Sobald aber mit wachsender Kraft eine grössere Geschwindigkeit der Kraftabnahme die Grösse des permanenten Moments herabdrückt (von $W = 25$ an), dann übt sie auch auf die Nachwirkung einen verkleinernden Ein-

fluss, wie schon im vorhergehenden Paragraphen festgestellt wurde, aus.

Es scheint nun die Annahme gerechtfertigt, dass die Grösse der Nachwirkung des permanenten Moments in erster Linie von der Grösse des temporären und erst in zweiter von derjenigen des permanenten Moments abhängt. Da sich bei den Versuchen der Tab. 3 beide Momente gleichzeitig änderten, so wurde nun der Draht zuerst der grössten Kraft ($W = 0$) unterworfen und darauf erst nacheinander der Wirkung der kleineren: $W = 100,50$ etc. So blieb das permanente Moment (nahezu) constant, und es liess sich die Abhängigkeit der Nachwirkung von der Grösse des temporären Moments allein bestimmen.

Tabelle 4.

$P M = 665$. Die $T M$ und die Nachwirkung sind bei verschiedener Entfernung des Drahtes vom Magnetometer gemessen.

In den Curven 2 ist die Nachwirkung in ihrer Abhängigkeit von der Grösse des temporären Moments graphisch dargestellt.

W	100	50	25	15	10	5	0
i (Scalentheile)	27	51	94	137	176	266	524
Verschwindendes } Moment $T M$ }	17	47	125	173	203	244	291
Nach- { 5— 60 sec	1,0	1,6	2,9	3,5	3,7	4,0	4,6
wirkung { 5—120	1,2	1,7	3,6	4,4	5,2	5,4	6,1
{ 5—180	1,4	1,8	3,9	4,7	6,0	6,3	6,9
$T M$ /Nachwirkung } (5—180 sec) }	12	26	32	37	34	39	42

Die Nachwirkung des permanenten Moments wächst also mit der Grösse des verschwindenden Magnetismus, zuerst langsamer als dieser, später nahe proportional. Doch muss man immer bedenken, dass die Beobachtung erst 5 sec nach Aufhebung der Kraft begann, also ein grosser Theil der Nachwirkung unbeobachtet blieb.

Hr. Klemenčič¹⁾ hat die beim Uebergang von einer kleineren Kraft (Null) zu einer grösseren bez. bei Commutirung entstehende Nachwirkung (also die des temporären Moments) untersucht und diese ebenfalls mit dem temporären

1) J. Klemenčič, l. c.

Moment absolut wachsend, procentisch aber abnehmend gefunden. Doch auch seine Beobachtungen begannen frühestens 2,8 sec nach Stromschluss, umfassen also bei weitem nicht die ganze Nachwirkung.

5. Einfluss einer wiederholten Wirkung der Kraft.

Wenn auf einen ausgeglühten Draht zum ersten Male eine magnetisirende Kraft wirkt, so zeigt bekanntlich weder das permanente noch das verschwindende Moment seinen definitiven Werth; diese werden erst nach oft wiederholter Einwirkung der Kraft erreicht, indem das verschwindende Moment einem kleinsten, das permanente einem grössten Werth zustrebt. Es war zu vermuthen, dass auch die *Nachwirkung* des permanenten Moments bei wiederholter Anwendung der Kraft nicht constant bleiben würde.

Tabelle 5.

Die grösste magnetisirende Kraft ($W = 0$) wirkt auf den Draht bald nach dem Ausglühen. $PM = 717$.

Nachwirkung des permanenten Moments nach 1, 2, n , $n + 1$ maliger Wirkung der Kraft.

Zeit	1	2	n	$n + 1$	Mittel
5—30 sec	3,5	4,0	3,2	3,5	3,55
30—60	1,6	1,7	1,6	1,7	1,65
60—120	1,8	1,9	1,2	1,8	1,67
120—180	0,8	1,4	0,9	1,1	1,05
180—240	0,3	1,0	0,4	0,9	0,65
Insgesamt	8,0	10,0	7,3	9,0	8,57

Hiernach hinge der Ablauf und die Grösse der Nachwirkung von der Häufigkeit der Kraftwirkung nicht ab. Diese Unabhängigkeit scheint sich aber auf *grosse* Kräfte zu beschränken, denn bei einer *kleinen* Kraft ($W = 100$) zeigte sich ein deutlicher Zusammenhang zwischen Impulszahl und Nachwirkung. Vgl. Tab. 6 auf der folgenden Seite.

Je öfter also der Draht der Kraft unterworfen wird, desto kleiner wird, bis zur Erreichung eines Minimums, die Nachwirkung des permanenten Moments.

Tabelle 6.

Die kleine Kraft ($W = 100$) wirkt bald nach dem Ausglühen. Die angegebenen Werthe der Nachwirkung sind die Mittel aus mehreren Beobachtungsreihen, vor denen der Draht jedesmal geglüht wurde.

Nachwirkung des permanenten Moments nach 1, 2, n maliger Wirkung der Kraft.

Zeit	1	2	n
5— 10 sec	0,63	0,53	0,43
5— 15	0,90	0,80	0,60
5— 30	1,20	0,97	0,76
5—120	1,40	1,10	0,86

6. Einfluss früherer Kräfte.

Es möge nun der Draht vor der Kraft p ($W = 100$) schon einer anderen P ($W = 0$) unterworfen gewesen sein. Die Kraft P hat dann eine gewisse Nachwirkung des permanenten Moments erzeugt und es ist zu vermuthen, dass deren Einfluss, wenn bald nach Entfernung von P die Kraft p hergestellt wird, noch in der Nachwirkung erkennbar sein muss, welche man nach Aufhebung von p beobachtet.

In der That zeigt die folgende Tabelle diesen Einfluss.

Tabelle 7.

Nach einer grossen Kraft ($W = 0$) bleibt der Strom 6 sec bis mehrere Minuten und Stunden geöffnet. Dann wird mit $W = 100$ geschlossen und nach abermaliger Unterbrechung des Stromes die Nachwirkung des permanenten Moments bestimmt.

Zeit zwischen $W = 0$ und $W = 100$	Nachwirkung von		
	5—60 sec	5—120 sec	5—180 sec
6 sec	4,1	5,1	5,7
6 ^m bis 3 ^h	2,9	3,5	3,8

Die nach p beobachtete Nachwirkung des permanenten Moments ist also desto kleiner, je längere Zeit zwischen den Kräften p und P lag. Ist die Zeit zu kurz, so ist die von P erzeugte Nachwirkung noch nicht ganz abgelaufen, und man beobachtet nach Aufhebung von p eine Nachwirkung, welche sich aus denjenigen der Kräfte p und P zusammensetzt. Eine Zwischenzeit von 6 Min. genügte, um das Minimum der Nachwirkung eintreten zu lassen.

Eine weitere Abnahme der Nachwirkung ist aber, selbst wenn die Pause zwischen P und p mehrere Stunden gedauert hat, durch *wiederholte* Einwirkung von p zu erzielen, wie Tab. 8 zeigt.

Tabelle 8.

Wirkungszahl der Kraft p	Nachwirkung des permanenten Moments von		
	5—60 sec	5—120sec	5—180sec
1	2,9	3,5	3,8
2	1,8	2,1	2,5
20	1,3	1,6	1,8

Durch häufige Anwendung der Kraft p geht also die Nachwirkung noch auf weniger als die Hälfte herunter. Hier, nachdem der Kraft p eine grössere vorhergegangen ist, hat die wiederholte Wirkung einen noch grösseren Einfluss, als in Tab. 6, wo p unmittelbar auf das Ausglühen folgte. Nun war es denkbar, dass eine längere Pause zwischen den beiden Kräften P und p entbehrlich gemacht würde durch *sofortige häufige* Einwirkung von p . Das erwies sich aber nicht als richtig. Denn als schon 6 sec nach Unterbrechung von P die Kraft p wiederholt, rasch hintereinander zur Wirkung gebracht war, ergaben sich nach bez. 60, 120, 180 sec die Nachwirkungswerthe 2,1, 2,7, 2,9, die nach der vorigen Tabelle noch nicht das erreichbare Minimum darstellen. In diesen Werthen steckt also doch noch ein Theil der Nachwirkung von P .

Die Nachwirkung des permanenten Moments, welche einer kleinen Kraft folgt, nimmt also mit wiederholter Anwendung der Kraft ab, sowohl wenn ihr schon eine grosse Kraft vorhergegangen, als auch wenn sie nach dem Glühen die erste ist. In beiden Fällen nimmt aber auch das temporäre (verschwindende) Moment mit wiederholter Wirkung der Kraft ab.¹⁾ Beide Erscheinungen beruhen zwar, wie ich annehmen möchte, auf derselben Ursache; doch muss, nach § 4, die Abnahme des temporären Moments auch ihrerseits wieder diejenige der

1) C. Fromme, Wied. Ann. 4. p. 76. 1878.

Nachwirkung verstärken. Bei einem Versuche fand ich das temporäre Moment der Kraft p , wenn sie, einige Minuten nach Aufhebung von P , dreimal wirkte: $TM_1 = 72$, $TM_2 = 68$, $TM_3 = 65$, und die Nachwirkung des permanenten Moments in jedesmal 3 Min. zu bez. 4,3, 2,6, 1,6. Diese nahm also, wie nach dem Obigen auch erklärlich sein würde, stärker als TM ab. Immerhin muss auch hier daran erinnert werden, dass die angeführten Werthe die Nachwirkung von 0—5 sec nicht enthalten.

Verschwindet nun die von P erzeugte Nachwirkung allein durch den Einfluss der Zeit, gleichgültig, ob keine Kraft oder ob eine kleine Kraft p wirkt? Wenn wir also nach Unterbrechung von P ($W = 0$) sofort p ($W = 100$) herstellten und dieses 10 Minuten lang bestehen liessen, beobachten wir nun die gleiche Nachwirkung des permanenten Moments, wie wenn wir nach Unterbrechung von P 10 Minuten lang bis zur Herstellung von p gewartet haben? Die Tab. 9 giebt hierauf die Antwort.

Tabelle 9.

Zahl der Schliessungen mit $W=100$	a) Nach $W=0$ sofort $W=100$, nach 10 Min. unterbrochen			b) Nach $W=0$ 10 Min. lang geöffnet, dann $W=100$		
	Nachwirkung von			Nachwirkung von		
	5—60 sec	5—120sec	5—180sec	5—60 sec	5—120sec	5—180sec
1	4,2	5,5	6,0	3,3	4,0	4,3
2	2,5	3,0	3,2	1,9	2,4	2,6
10	1,4	1,7	1,9	1,3	1,6	1,6

Die grösseren Werthe des vorderen Theils der Tabelle beweisen, dass die von P herrührende Nachwirkung nicht abzulaufen vermag, wenn nach Unterbrechung des stärkeren Stromes sofort der schwächere hergestellt wird. Sie bleibt sogar vollständig erhalten, denn die nach 10minütiger Schliessung mit $W = 100$ beobachtete Nachwirkung war nicht kleiner, als wenn die Schliessung nur 1 Minute gedauert hätte. Erst nach 10 maliger Wirkung von p war die Nachwirkung auf den Werth herabgegangen, welcher bei einer Pause von 10 Minuten zwischen den Kräften P und p beobachtet wurde. Dass aber

schliesslich eine Gleichheit der Nachwirkungen, wie sie die Tabelle nach 10 maliger Wirkung zeigt, eintreten muss, ist deshalb selbstverständlich, weil ja zwischen den einzelnen Wirkungen der Strom jedesmal einige Zeit geöffnet war, sodass die von P herrührende Nachwirkung auch bei den Beobachtungen a) vollkommen verschwinden konnte.

7. Ueberführung der Kraft P in die Kraft p ohne Zwischenschaltung der Kraft Null.

Die Kraft P wurde nun in den Werth p dadurch übergeführt, dass man, ohne den Strom zu unterbrechen, Stöpsel des eingeschalteten Rheostaten zog. In den folgenden Versuchen war P immer dasselbe ($W = 0$), p wurde variirt. Nachdem p 10 sec bis 10 Min. bestanden hatte, wurde der Strom unterbrochen, und die Nachwirkung des permanenten Moments gemessen.

Tabelle 10.

$PM = 665$. Die in der ersten Verticalreihe stehenden Widerstände bezeichnen die Rheostatenstöpsel, welche in der angegebenen Folge rasch hintereinander gezogen wurden. Die Zeit zählt vom Ziehen des *letzten* Stöpsels an. Da die Dauer von p ohne Einfluss auf die Nachwirkung sich zeigte, so sind die nach verschiedener Dauer erhaltenen Werthe im Folgenden zum Mittel vereinigt.

Eingeschaltete Widerstände	Nachwirkung von		
	5—60 sec	5—120 sec	5—180 sec
100	4,6	6,2	7,2
Directer Uebergang von $W = 0$ auf Stromlosigkeit	4,6	6,1	6,9
100 + 500	6,2	8,1	9,2
100 + 500 + 1000	7,2	9,1	10,1
5 + 10 + 10 + 20 + ... + 1000 (in Summa 1995)	7,4	9,7	10,7
Directer Uebergang von $W = 0$ auf Stromlosigkeit	5,3	6,6	7,3

Demnach ist es nicht gleichgültig für die Grösse der Nachwirkung, durch welche Zwischenkräfte hindurch die Kraft

P auf Null reducirt wird. Geht man von $W = 0$ auf $W = 100$, von da auf $W = \infty$ über, so beobachtet man noch die gleiche Nachwirkung, wie wenn man direct von $W = 0$ auf $W = \infty$ übergegangen wäre. Je mehr man aber die Zwischenkraft verkleinert, desto grösser fällt die Nachwirkung aus.

Zwecks weiterer Erforschung dieser Abhängigkeit der Nachwirkung von der Grösse der Zwischenkraft p machte ich nun den Uebergang von P auf p entweder möglichst continuirlich oder möglichst discontinuirlich, indem ich z. B. entweder die Stöpsel 1, 1, 2, 5, 10, 10, 20, 50 (in Summa $W = 99$) rasch hintereinander oder nur den einen Stöpsel 100 ($W = 100$) zog. Eine continuirliche Schwächung von P in p bezeichnen also in der folgenden Tabelle die eingeschalteten Widerstände 99, 499, 999, 1999, 4999, eine discontinuirliche Schwächung dagegen die Widerstände 100, 500, 1000, 2000, 1000 + 1000, 5000. Die Zwischenkraft p bestand jetzt immer 3 Minuten lang, und es wurde während dieser Zeit die Nachwirkung des temporären Moments beobachtet.

Tabelle 11.

Ein negatives Vorzeichen bedeutet eine Zunahme des Moments.

Zu $W = 0$ geschalteter Widerstand	Nachwirkung des temporären Moments ¹⁾			Nachwirkung des permanenten Moments			Permanentes Moment
	10—60 sec	10—120 sec	10—180 sec	5—60 sec	5—120 sec	5—180 sec	
100	—2,0	—3,1	—	4,2	5,6	6,6	688
99	1,1	1,2	—	4,1	5,4	5,9	691
500	0	0,1	—	5,8	7,7	8,6	684
499	3,1	4,6	—	6,5	8,7	9,8	708
1000	0,1	0,2	—	6,4	8,1	9,0	674
999	3,9	5,4	6,2	7,3	9,7	10,7	712
2000	0,2	0,5	0,7	5,4	7,3	8,2	669
1000 + 1000	2,2	3,2	4,1	5,9	7,7	9,0	682
1999	4,3	6,1	7,1	7,4	9,8	11,2	715
5000	0,1	0,4	—	3,1	4,6	4,9	660
4999	5,3	7,3	8,2	4,6	6,4	7,5	715

1) Die Zeit ist vom Ziehen des letzten Stöpsels an gezählt.

Tabelle 12.

Die Resultate der Tab. 11 werden in der Richtung grösserer p durch die folgenden ergänzt. $W=19$ und $W=49$ bedeuten wieder eine möglichst continuirliche, $W=20$ und $W=50$ dagegen eine möglichst discontinuirliche Ueberführung von P in p .

W	Nachwirkung des temporären Moments		
	5—60 sec	5—120 sec	5—180 sec
19	— 1,4	— 3,2	— 4,4
20	— 1,6	— 3,3	— 4,3
49	+ 0,3	— 0,3	— 0,8
50	— 0,8	— 2,7	— 3,8

Die Tab. 11 bestätigt zunächst das Resultat der Tab. 10, dass die Nachwirkung des *permanenten* Moments mit abnehmendem p wächst, sobald p unter eine gewisse Grenze — $W=100$ fällt noch ausserhalb derselben — sinkt, sie schränkt es aber dahin ein, dass die Nachwirkung ein Maximum erreicht — bei $W=1999$ bez. 1000 — und bei weiter abnehmendem p wieder kleiner wird. Die Nachwirkung des permanenten Moments ist ferner geringer nach einem discontinuirlichen, als nach einem continuirlichen Uebergang von P auf p .¹⁾ Nur dann, wenn p verhältnissmässig noch gross war ($W=100$ und $W=99$), war die Art des Ueberganges gleichgültig. Die Abnahme der Kraft von p auf Null aber geschah ja immer in derselben Art, nämlich durch Kurzschluss der Elemente und Unterbrechung. Damit ist das Resultat des § 3, das sich nur auf den directen Uebergang von P auf Null bezog, verallgemeinert. Die letzte Columne der Tab. 11 zeigt, dass die Grösse des permanenten Moments bei continuirlichem Uebergang von P auf p mit abnehmendem p wächst, bei discontinuirlichem Uebergang aber abnimmt, und dass sie im übrigen bei gleichem p immer geringer ist nach discontinuirlichem Uebergang. Das ist in Uebereinstimmung mit den Resultaten einer früheren Abhandlung.²⁾

Die Nachwirkung des *temporären* Moments zeigt wesentliche

1) Die Nachwirkung nach $W=1000+1000$ liegt dementsprechend zwischen denen nach $W=2000$ und $W=1999$.

2) C. Fromme, Wied. Ann. **44**. p. 138. 1891.

Unterschiede in den beiden Fällen einer continuirlichen oder discontinuirlichen Abnahme der Kraft. War die Abnahme eine discontinuirliche, so erscheint, bei nicht zu grossem p , nur eine sehr geringe, zu vernachlässigende Nachwirkung; ist aber die Abnahme der Kraft continuirlich gewesen, dann ist die Nachwirkung merklich und wächst mit abnehmendem p , also mit zunehmender Differenz $P-p$.

Bei Zuschaltung des Widerstandes $1000 + 1000$ erscheint eine Nachwirkung des temporären Moments, welche grösser ist, als die nach 2000 , aber kleiner als die nach 1999 . Das ist auch verständlich, denn die Reduction der Kraft ist da weniger discontinuirlich als im ersten, und weniger continuirlich als im zweiten Fall.

Ein von dem Verhalten bei kleinen Werthen von p gänzlich abweichendes zeigt die Nachwirkung des temporären Moments bei grösseren p . Hier nimmt nach Reduction der Kraft von P auf p , und zwar vornehmlich nach discontinuirlicher Reduction, das temporäre Moment nicht ab, sondern zu; es folgt wohl auch (bei $W = 49$) der anfänglichen Abnahme eine Zunahme. Eine Inconstanz der Stromstärke war nicht der Grund dieser auf den ersten Blick auffälligen Erscheinung.

Es wurde nun die Kraft P zuerst auf p_1 , nach 3 Minuten auf p_2 , wieder nach 3 Minuten auf p_3 etc. bis auf einen sehr kleinen Werth p_n reducirt. Bei jeder der Kräfte wurde die Nachwirkung des temporären Moments und nach Reduction von p_n auf Null diejenige des permanenten Moments gemessen. Die Beobachtung begann erst 10 Secunden nach Herstellung der Kraft, weil die Compensation nur für eine der Kräfte hergestellt werden konnte, und deshalb bei den übrigen das Magnetometer nicht früher zur Ruhe kam.

Tabelle 13.

Zu $W=0$ wird hinzu- geschaltet		$W = 1 + 1 + 20 + \dots + 49$	$W = 50$	$W = 100$	$W = 100$	$W = 200$	$W = 500$	$W = 1000$	$W = 1000$	$W = 2000$	$W = 5000$	Strom unter- brochen
Nachwirk.	10— 60 sec	2,3	2,5	2,8	4,9	5,0	5,6	5,6	3,4	2,7	2,1	1,0
	10—120	0,7	3,5	3,9	6,7	7,5	7,4	7,7	5,0	4,1	3,2	2,2
	10—180	-0,5	5,5	4,4	7,4	8,3	8,6	8,7	6,1	4,9	4,0	2,6

Es tritt also nach jeder Schwächung der Kraft eine Abnahme des temporären Moments ein — ausser bei p_1 , wo (vgl. Tab. 12) auf die anfängliche Abnahme schliesslich eine Zunahme folgt. Im ganzen nimmt das temporäre Moment in den 35 Minuten, während deren der Strom geschlossen war, um 57,4 ab. Thatsächlich ist ja die Nachwirkung sehr viel grösser, da die Beobachtung erst nach 10 sec begann. Die Gesamtnachwirkung ist also $57,4 + 2,6 = 60$, während, wenn alle oben genannten Widerstände rasch hintereinander (im Laufe von 15 sec) eingeschaltet und dann sofort unterbrochen wurde, die Nachwirkung des permanenten Moments von 5—180 s nur 9,2, von 5—360 sec nur 10,8 betrug.

8. Beziehung zwischen der Nachwirkung des temporären und der des permanenten Moments.

Die Tab. 10 hatte das Resultat ergeben, dass die Dauer der reducirten Kraft p ohne Einfluss auf die Grösse der Nachwirkung des permanenten Moments war. Bei dem Versuche, mir auf Grund der Hypothese drehbarer Molecularmagnete ein Bild der Nachwirkungserscheinungen zu entwerfen, kam ich aber doch zu der Ueberzeugung, dass ein solcher Einfluss bestehen müsse, falls nur die Kraft p klein genug wäre, und dass dann zwischen den beiden Nachwirkungen des temporären und des permanenten Moments eine gewisse Wechselbeziehung stattfinden, dass ein mehr oder weniger vollständiger Ablauf der ersteren die letztere schwächen müsse. Eine solche Beziehung scheint auch durch die Versuche der Tab. 11 angedeutet zu werden, wo die Nachwirkung des permanenten Moments bei den kleinsten p mit abnehmendem p wieder abnimmt. Vgl. Tab. 14 auf der folgenden Seite.

Die Nachwirkung des permanenten Moments ist also in der That etwas kleiner, wenn die Dauer der Kraft p von 10 sec auf 3 Min. verlängert war. Doch ist der Unterschied nur gering, und seine Entstehung fällt in die ersten 5 sec nach Unterbrechung. Dass der Ablauf der Nachwirkung im übrigen in beiden Fällen ganz der gleiche war, erkennt man an der Gleichheit der Differenzen zwischen zwei aufeinander folgenden Zahlen. Das temporäre Moment war hier 10 sec nach Herstellung von p noch verhältnissmässig gross, nämlich 22.

Tabelle 14.

Zu $W=0$ wurde $W=1999$ geschaltet. Die Kraft p blieb entweder nur 10 oder 180 sec. — in welchem Falle die Nachwirkung des temporären Moments beobachtet wurde — bestehen, dann wurde sie auf Null reducirt, und die Nachwirkung des permanenten Moments bestimmt. Die Compensationsspirale stand jetzt so, dass sie in beiden Fällen das zur Zeit der Stromunterbrechung bestehende temporäre Moment genau compensirte, sodass die Beobachtung der Nachwirkung des permanenten Moments sofort beginnen konnte. Die Zahlen der Tabelle sind die Mittel aus mehreren Beobachtungsreihen.

Dauer der Kraft p	Nachwirkung des temporären Moments				
	10—15 sec	10—20 sec	10—60 sec	10—120 sec	10—180 sec
180 sec	1,2	3,3	5,4	7,4	8,6

Dauer der Kraft p	Nachwirkung des permanenten Moments								
	0—5 sec	0—15 sec	0—30 sec	0—60 sec	0—120 sec	0—180 sec	0—240 sec	0—300 sec	0—360 sec
10 sec	4,8	8,5	11,0	13,5	15,8	17,1	17,6	18,3	18,5
180 sec	2,9	6,2	8,6	11,2	13,8	15,3	16,0	16,7	17,0

Bei einem folgenden Versuche brachte ich es, durch Zuschaltung von $W=9999$, auf 3 herab und beobachtete nun von 10 sec — 360 sec nach Herstellung der sehr kleinen Kraft eine Abnahme desselben um 13. Es betrug also jetzt die Nachwirkung des temporären Moments etwas mehr als das 4 fache des temporären Moments selbst, d. h. sie musste zu $\frac{3}{4}$ der Nachwirkung des permanenten Moments entnommen sein. Die folgende Versuchsreihe zeigt denn auch, dass die Nachwirkung des permanenten Moments desto kleiner ist, je länger p bestand, je mehr also diejenige des temporären Moments ablaufen konnte.

Die Versuche (Tab. 15) liefern ferner das bemerkenswerthe Resultat, dass die Nachwirkung des permanenten Moments, wenn sie auch mit wachsender Dauer der Kraft p sehr klein wird, doch den Nullwerth offenbar erst mit dem Verschwinden von p selbst erreicht.

Tabelle 15.

Zu $W=0$ wird $W=9999$ geschaltet. Diese sehr kleine Kraft bleibt verschieden lange Zeit bestehen, dann wird sie auf Null reducirt, und die Nachwirkung des permanenten Moments beobachtet.

Dauer der Kraft p	Nachwirkung des permanenten Moments			
	5—60 sec	5—120 sec	5—180 sec	5—360 sec
0 Min.	6,8	9,0	10,2	12,1
6	1,5	2,3	2,8	—
18	0,8	1,4	1,9	—
150	0,7	1,0	1,4	2,1

9. Einfluss einer mechanischen oder thermischen Zustandsänderung.

Bei allen bisher beschriebenen Versuchen war der Draht nach dem Ausglühen einer weiteren Behandlung nicht unterworfen worden. Im Folgenden wird untersucht, welchen Einfluss es auf die Nachwirkung hat, wenn er, bevor man ihn der magnetisirenden Kraft unterwirft, erschüttert, schwach hin und her gebogen oder erwärmt wird. Die Erschütterungen bestanden in öfterem Auffallen des Drahts in horizontaler Lage auf eine Tischplatte, gebogen wurde der Draht zwischen den Fingern und erwärmt wurde er durch mehrmaliges rasches Ziehen durch eine Bunsenflamme. Hierdurch mochte die Temperatur des Drahts vielleicht auf 150° steigen. Der magnetisirenden Kraft wurde er erst nach völliger Abkühlung auf Zimmertemperatur ausgesetzt. Vgl. Tab. 16 auf der folgenden Seite.

Die Nachwirkung, wie man sie beim einfach geglühten Draht beobachtet, wird also durch heftige Erschütterungen, welche man dem Draht vor der Herstellung der magnetisirenden Kraft zufügt, in keiner Weise beeinflusst. Biegt man aber hierauf den Draht, so sinkt die Nachwirkung auf $\frac{2}{3}$ des Werthes herab, woran durch nachfolgende Erschütterungen wieder nichts geändert wird. Erwärmung verursacht ein weiteres Sinken der Nachwirkung, bis auf weniger als $\frac{1}{3}$ des Anfangswerthes, und dieser kleine Werth bleibt nun bestehen, auch wenn noch weitere Erschütterungen und Biegungen folgen.

Tabelle 16.

Die grösste Kraft ($W=0$) wurde durch Herstellung des Kurzschlusses und Unterbrechung des Stromes auf Null reducirt, und dann die Nachwirkung des permanenten Moments von 5–120 sec beobachtet. Die Zahlen sind die Mittelwerthe je aus mehreren Beobachtungsreihen. Der erste Versuch wurde mit nur geglühtem Draht gemacht, dann wurde der Draht erschüttert, und wieder der magnetisirenden Kraft unterworfen, darauf wurde er gebogen etc. in der in der Tabelle angegebenen Reihenfolge.

Zustand des Drahtes	Permanentes Moment nach 120 sec	Nachwirkung des permanenten Moments										
		5—10 sec	10—15 sec	15—20 sec	20—30 sec	30—40 sec	40—50 sec	50—60 sec	60—80 sec	80—100 sec	100—120 sec	5—120 sec
Geglüht	650	1,06	0,81	0,52	0,85	0,76	0,52	0,50	0,70	0,60	0,39	6,71
Erschüttert	660	1,00	0,65	0,62	0,80	0,65	0,52	0,32	0,75	0,52	0,37	6,20
Gebogen	648	0,65	0,47	0,45	0,57	0,50	0,40	0,25	0,45	0,27	0,60	4,61
Erschüttert	636	0,70	0,55	0,40	0,65	0,55	0,30	0,30	0,45	0,30	0,35	4,55
Erwärmt	738	0,50	0,28	0,16	0,24	0,24	0,16	0,10	0,18	0,04	0,06	1,96
Erschüttert	760	0,45	0,27	0,27	0,17	0,20	0,10	0,07	0,17	0,07	0,03	1,80
Gebogen	703	0,35	0,15	0,20	0,40	0,10	0,10	0,05	0,45	0,00	0,15	1,95

Diese Beobachtungen leiden jedoch an dem Mangel, dass sie erst 5 sec nach Unterbrechung des Stromes begannen. Es war aber doch denkbar, dass in den Fällen, wo — wie nach Biegung oder Erwärmung — die Nachwirkung während 5 bis 120 sec kleiner war, in den ersten 5 sec eine um so grössere Nachwirkung auftrat. Um die Messung der Nachwirkung des permanenten Moments vom Augenblick der Stromunterbrechung an zu ermöglichen, reducirte ich die grosse Kraft P ($W=0$) zunächst auf einen kleinen Werth p ($W=1999$), liess diesen 2 Minuten lang bestehen und unterbrach dann erst. Denn nun konnte ich die Compensationsspirale scharf so einstellen, dass sie der Einwirkung des im Augenblick der Unterbrechung verschwindenden Moments auf das Magnetometer das Gleichgewicht hielt.

Aus den Beobachtungen in Tab. 17 (vgl. die folgende Seite) folgt, dass Erschütterungen auch die *Gesamtwirkung* des permanenten Moments in keinem Zustande beeinflussen, mag der Draht nur geglüht oder nachher noch erwärmt sein. Ebenso ändern sie die Nachwirkung des

Tabelle 17.

Zustand des Drahtes	Nachwirkung des temp. Moments von 10—120 sec	Nachwirkung des permanenten Moments von		
		5—60 sec	5—120 sec	0—120 sec
Geglüht	5,3	5,9	7,9	11,4
	5,2	6,4	8,2	11,5
Erschüttert	5,3	6,1	7,8	10,0
	5,9	6,3	8,2	11,3
Gebogen	4,7	4,9	6,3	7,4
	4,4	4,6	6,0	7,4
Erwärmt	2,4	3,4	4,3	7,3
	2,4	3,2	4,0	7,5
Geglüht	5,1	6,4	8,5	12,0
	5,2	6,3	8,3	12,6
Erwärmt	2,3	3,3	4,1	10,6
	2,0	3,4	4,1	11,6
Erschüttert	2,1	3,4	4,3	11,0
Gebogen	1,5	2,5	3,2	6,7
	1,5	2,1	2,2	5,4
Erwärmt	1,3	2,6	2,8	7,5
Geglüht	5,5	6,8	8,5	10,5
Gebogen	4,4	6,0	7,3	8,0
	4,1	4,9	6,7	8,4
Geglüht	5,5	6,2	8,0	10,7
Erwärmt	1,3	3,6	3,6	10,5
Gebogen	1,0	1,7	2,4	7,4
	0,7	2,5	2,6	7,4

temporären Moments — von 10 sec an — nicht. Durch Erwärmung wird die Nachwirkung des temporären Moments von 10 — 120 sec verringert, ebenso auch, wie schon aus der vorhergehenden Tabelle sich ergab, die Nachwirkung des permanenten Moments zwischen 5 und 120 sec, aber dafür läuft ein entsprechend grösserer Theil der letzteren schon in den ersten 5 sec ab, sodass die *Gesamtnachwirkung* des permanenten Moments durch die Erwärmung nicht geändert wird. Biegung setzt die Nachwirkung des temporären Moments zwischen 10 und 120 sec herab, ebenso die des permanenten zwischen 5 und 120 sec. Dem steht aber kein grösserer Werth zwischen

0 und 5 sec gegenüber. Folgt Erwärmung auf Biegung, so läuft also nun in den ersten 5 sec ein grösserer Theil der Nachwirkung des permanenten Moments ab, aber der Gesamtbetrag bleibt ungeändert. Folgt Biegung auf Erwärmung, so werden alle Nachwirkungswerthe und damit auch der Gesamtbetrag kleiner.

10. Einfluss von Erschütterungen, welche zwischen einer grossen und einer kleinen magnetisirenden Kraft angewandt werden.

Während bei den Versuchen des vorigen Abschnittes die Erschütterungen immer *vor* Herstellung einer grossen Kraft stattfanden und sich dann auf die Nachwirkung des permanenten Moments ohne Einfluss erwiesen, werden sie im Folgenden *zwischen* einer grossen und einer kleinen Kraft angewandt. Nun beeinflussten sie die Nachwirkung sehr merklich.

Der mit $W=0$ geschlossene Strom wurde also unterbrochen, dann wurde der Draht erschüttert, und nach Einschaltung von $W=100$ der Strom wieder geschlossen. Nach einigen Sekunden wurde er wieder geöffnet und während 3 Minuten die Nachwirkung des permanenten Moments bestimmt. Es folgte dann sofort die Beobachtung der Nachwirkung nach einer zweiten und endlich auch nach vielen rasch aufeinander folgenden Schliessungen mit $W=100$.

Tabelle 18.

Zwischen der Aufhebung der grossen Kraft ($W=0$) und der Herstellung der kleinen ($W=100$) lag eine Zeit von nur 6 sec. Während derselben wurde der Draht in zweimal zwei parallel laufenden Versuchsreihen erschüttert oder nicht erschüttert.

Zeit	Zustand	Nachwirkung des perm. Moments nach		
		1	2	<i>n</i>
		Schliessungen mit $W = 100$		
5— 60 sec	Nicht	3,2, 3,0	2,0, 1,3	1,3, 1,0
5—120	er-	4,0, 3,4	2,1, 1,6	1,3, 1,1
5—180	schüttert	4,4, 4,0	2,4, 1,8	1,5, —
5— 60	Er-	1,4, 1,5	0,6, 1,0	0,6, 0,7
5—120	schüt-	1,6, 1,7	1,0, 1,2	0,5, 0,7
5—180	tert	1,8, 1,8	1,0, 1,2	0,5, —

Die Erschütterungen waren von geringer Intensität, sie setzten in den beiden Beobachtungsreihen das $PM=538$ im

Mittel auf 530 herab. Der Erfolg ist eine Verminderung der Nachwirkung etwa auf die Hälfte. Besonders ist noch hervorzuheben, dass es auch nach Vornahme von Erschütterungen noch einer *häufigen* Herstellung der kleinen Kraft bedarf, um das Minimum der Nachwirkung zu erreichen. (Vgl. Tab. 8.)

Tabelle 19.

Mit Ausnahme der längeren Pause (etwa 7 Min.) zwischen der grossen und der kleinen Kraft ist die Anordnung der Versuche wie in Tab. 18. In 4 Beobachtungsreihen wurde die Intensität der Erschütterungen variiert, vor und nach diesen 4 Reihen wurde je eine Reihe von Beobachtungen ohne Erschütterung gemacht. Der Minimumwerth von PM war dann 723.

In der Tabelle ist das Mittel der Resultate aus beiden angegeben.

Zeit	Zustand	Nachwirkung des perm. Moments nach		
		1	2	<i>n</i>
		Schliessungen mit <i>W</i> = 100		
5— 10 sec	Er-	0,4	0,3	0,3
5— 15	schüttert	0,7	0,6	0,4
5— 30	Verlust	1,3	0,9	0,5
5— 60	des <i>PM</i>	1,7	1,1	0,6
5—120	15	1,9	1,5	0,7
5— 10	Er-	0,4	0,4	0,1
5— 15	schüttert	0,6	0,6	0,2
5— 30	Verlust	0,9	0,8	0,3
5— 60	des <i>PM</i>	1,0	1,0	0,4
5—120	54	1,1	1,0	0,6
5— 10	Er-	0,3	0,2	0,3
5— 15	schüttert	0,4	0,3	0,4
5— 30	Verlust	0,6	0,5	0,4
5— 60	des <i>PM</i>	0,7	0,6	0,6
5—120	181	0,8	0,6	0,8
5— 10	Er-	0,3	0,2	0,2
5— 15	schüttert	0,5	0,3	0,3
5— 30	Verlust	0,7	0,7	0,4
5— 60	des <i>PM</i>	1,0	0,8	0,5
5—120	290	0,9	1,1	0,7
5— 10	Nicht	0,8	0,5	0,2
5— 15	er-	1,2	0,7	0,4
5— 30	schüt-	1,9	1,2	0,6
5— 60	tert	2,3	1,5	0,8
5—120		2,9	1,9	1,0

Während der 6 sec, welche in Tab. 18 zwischen den Kräften P und p lagen, ist die von P herrührende Nachwirkung nur zum Theil abgelaufen; dadurch kommt in die Resultate eine Unsicherheit. Es wurde deshalb bei weiteren Versuchen (Tab. 19) der Strom zwischen P und p solange geöffnet gehalten, bis das permanente Moment seinen kleinsten Werth erreicht hatte.

Der Vergleich der vier ersten Beobachtungsreihen mit der letzten zeigt, dass durch Erschütterungen vor der kleinen Kraft die Nachwirkung nach allen Impulsen derselben herabgesetzt wird, um so mehr, je intensiver die Erschütterungen (gemessen an dem durch sie hervorgebrachten Verlust des permanenten Moments) waren. Am meisten wird die nach der ersten Schliessung auftretende Nachwirkung verringert, weniger die nach der zweiten und nur noch sehr wenig die nach vielen Schliessungen. Der Einfluss der Erschütterungsintensität erreicht schon früh sein Maximum, stärkere Erschütterungen, als die, welche einen Verlust von 54 herbeiführen, üben keinen stärkeren Einfluss auf die Nachwirkung mehr aus; um das nach n Impulsen erreichbare Minimum zu erhalten, genügt sogar schon eine noch dreimal schwächere Erschütterung. Demnach wird durch Erschütterungen der Eintritt des auch ohne sie erreichbaren Minimums der Nachwirkung beschleunigt, sie wirken also wie eine Wiederholung der Impulse, aber sie erniedrigen auch zugleich das Minimum ein wenig, und hierbei haben sehr schwache Erschütterungen schon den gleichen Erfolg wie starke.

Wenn man die grosse Kraft P ohne Unterbrechung des Stromes in die kleine p überführt, üben Erschütterungen, die unmittelbar nach Herstellung von p angewandt werden, einen sehr grossen Einfluss auf die Nachwirkung aus. (Vgl. Tab. 20.)

Die Erschütterungen verkleinern also beide Nachwirkungen, besonders diejenige des temporären Moments; auch hier wächst die Abnahme der Nachwirkung mit der Intensität der Erschütterung, aber schon bei einer sehr geringen — einem Verlust des permanenten Moments von 0,6 Proc. entsprechend — ist die Abnahme gross. Nach einer stärkeren Erschütterung laufen beide Nachwirkungen schon in je einer Minute vollständig ab und sind von fast zu vernachlässigendem Betrag.

Tabelle 20.

Die Kraft p entstand aus P ($W=0$) durch rasche Zuschaltung von $W=4999$ ($1 + 1 + 2 + 5 + \dots + 1000 + 2000$). Sofort nach Ziehen des letzten Stöpsels wurde der in der Magnetisirungsspirale verbleibende Draht erschüttert, und 10 sec nach Herstellung von p mit der Beobachtung der Nachwirkung des temporären Moments begonnen. Nach 3 Min. wurde der Strom unterbrochen, und die Nachwirkung des permanenten Moments während 3 Min. beobachtet.

Zustand des Drahtes	Nachwirkung des temporären Moments			Nachwirkung des permanenten Moments			Endwerth des perm. Moments
	10—60 sec	10—120 sec	10—180 sec	5—60 sec	5—120 sec	5—180 sec	
Nicht erschüttert }	5,6	7,8	8,6	4,5	5,5	6,2	674
Schwach erschüttert }	1,8	2,0	2,0	2,7	3,7	4,3	670
Stärker erschüttert }	0,5	0,5	0,5	0,2	0,2	0,2	629

11. Einfluss der während des Ablaufes der Nachwirkung herrschenden Drahttemperatur.

Bei allen bisherigen Versuchen hatte der Draht während des Ablaufes der Nachwirkung Zimmertemperatur, auch dann, wenn er vorher einer Erwärmung (§ 9) ausgesetzt worden war. Jetzt wurde das Abflauen der Nachwirkung bei verschiedenen, zwischen -14° und $+80^{\circ}$ liegenden Temperaturen untersucht. Zu dem Zweck wurde der Draht in ein Glasrohr gebracht, das mit Wasser verschiedener Temperaturen oder Kältemischungen angefüllt war. Der Draht wurde so einer grossen Kraft ($W=0$) unterworfen, und diese durch Zuschaltung von $W=1999$ auf einen kleinen Werth reducirt. Es wurde dann die Nachwirkung des temporären und nach Unterbrechung des Stromes die des permanenten Moments beobachtet. Tab. 21 auf der folgenden Seite.

In Fig. 3 sind einige Reihen der Tab. 21 graphisch dargestellt. Die den Curven beigeetzten Temperaturen sind die Mittelwerthe aus Anfangs- und Endtemperatur.

Hieraus folgt, dass beide Nachwirkungen von der Temperatur beeinflusst werden, aber — innerhalb der hier eingehaltenen Temperaturgrenzen — nur in vorübergehender

Weise, denn die zwischengeschalteten Beobachtungen bei Zimmertemperatur geben alle das gleiche Resultat.

Tabelle 21.

Constanter Werth des permanenten Moments 717.

Anfangstemperatur		8°	-10°	-4°	18°	-14°	17°	75°	45°	80°	17°
Nachwirkung d. temp. Mom.	5—10 sec	1,3	—	0,1	1,5	—	1,2	0,4	2,3	—	1,4
	5—30	4,3	—	0,6	4,4	—	3,7	0,4	4,7	—	4,2
	5—60	6,3	—	1,1	6,4	—	5,7	0,6	5,5	—	6,1
	5—120	8,3	—	3,0	8,1	—	7,3	0,6	5,2	—	7,6
	5—180	9,5	—	3,7	9,0	—	8,0	0,6	5,2	—	8,5
Nachwirkung des perm. Mom.	0—5 sec	2,4	3,2	4,3	2,8	6,5	2,5	11,3	6,8	11,9	1,7
	0—15	5,5	3,9	6,0	5,9	6,9	5,8	12,3	9,9	12,9	4,7
	0—30	7,9	4,5	7,6	8,2	6,7	8,0	12,7	12,0	13,0	7,1
	0—60	10,6	5,2	9,9	10,6	7,8	10,4	12,3	13,0	13,0	9,2
	0—120	13,6	—	12,5	12,7	8,8	12,9	12,3	13,5	12,6	11,5
	0—180	15,0	—	14,3	13,6	—	13,9	—	—	—	12,7
Endtemperatur		18°	-4°	7°	18°	-4°	17°	52°	34°	56°	17°

Die Nachwirkung des temporären Moments — von 5 sec nach Schwächung der Kraft an — nimmt ab, wenn die Drahttemperatur über die Zimmertemperatur hinaus gesteigert wird, sie nimmt aber auffälligerweise auch ab, wenn man auf tiefere Temperaturen übergeht. Sie ist gleich Null bei $+80^{\circ}$ sowohl als bei -10° und -14° , das temporäre Moment ist also bei diesen Temperaturen entweder sofort constant oder es nimmt nur in den ersten 5 sec ab.

Die Nachwirkung des permanenten Moments, die vom Augenblick der Stromunterbrechung an beobachtet wurde, wird dagegen in verschiedener Weise von zunehmender und abnehmender Temperatur beeinflusst. Mit zunehmender tritt keine Aenderung in der Grösse der Nachwirkung ein, wohl aber läuft sie rascher ab, bei 75° bis 80° vollständig schon in den ersten 15 sec. Bei unter 0° sinkender Temperatur dagegen läuft die Nachwirkung zwar ebenfalls rascher ab, aber ihr Betrag ist nun auch geringer.

Die in Tab. 21 mitgetheilten Beobachtungen wurden wiederholt, nachdem der Draht vorübergehend einer stärkeren Erwärmung mittels Durchziehen durch die Bunsenflamme ausgesetzt war.

Tabelle 22.

Constanter Werth des permanenten Moments ist jetzt 815.

Anfangstemperatur		17°	—10°	17°	78°	19°	—10°
Nachwirkung des temp. Mom.	5— 10 sec	0,4	—	0,2	—	0,3	0,1
	5— 30	1,0	—	0,6	—	1,0	—
	5— 60	1,2	—	0,8	—	1,1	0,5
	5—120	—	—	1,2	—	1,0	—
Nachwirkung des perm. Mom. in sec	0— 5 sec	10,4	8,0	10,0	10,0	11,2	7,8
	0— 15	11,4	8,3	11,2	10,3	12,5	8,6
	0— 30	11,9	—	12,0	10,2	12,7	9,5
	0— 60	12,4	7,0	13,0	10,0	13,4	10,8
	0—120	12,6	7,1	13,6	—	13,7	—
Endtemperatur		17°	—8°	17°	56°	19°	—6°

Diese Beobachtungen ergänzen die des § 9. Sie zeigen zuerst, dass nach vorhergegangener stärkerer Erwärmung die Nachwirkung des temporären Moments — von 5 sec an — bei hohen und tiefen Temperaturen immer noch Null, aber nun auch bei Zimmertemperatur sehr klein geworden ist. Sie ist also nun bei *allen* Temperaturen entweder sehr klein oder läuft wenigstens schon in den ersten 5 sec fast völlig ab.

Letzteres trifft nun in der That bei der Nachwirkung des permanenten Moments zu. Bei allen Temperaturen, die Zimmertemperatur nicht ausgenommen, läuft diese jetzt sehr rasch ab, ihr Gesamtbetrag aber nimmt, gerade wie in Tab. 21, mit abnehmender Temperatur ab. Mit zunehmender Temperatur scheint dieser jetzt ebenfalls eine kleine Einbusse zu erleiden. Die aus Tab. 21 und 22 folgende Gleichheit der Nachwirkung des permanenten Moments (von 0 sec an) bei Zimmertemperatur vor und nach einer stärkeren Erwärmung des Drahts war schon in § 9 (Tab. 17) ausgesprochen.

12. Zusammenfassung der Resultate.

a) Die Nachwirkung des permanenten Moments hängt nicht ab von der Wirkungsdauer der (grossen) magnetisirenden Kraft P .

b) Sie nimmt ab, wenn die Geschwindigkeit wächst, mit welcher P auf einen kleineren Werth p bez. 0 reducirt wird.

c) Sie wächst absolut mit der Grösse des verschwindenden Moments, aber langsamer als dieses. Doch begann die Beobachtung der Nachwirkung erst 5 sec nach Reduction der Kraft auf Null.

d) Folgt eine grosse magnetisirende Kraft direct auf das Ausglühen des Drahts, so bleibt die Nachwirkung des permanenten Moments constant, so oft auch die Kraft hintereinander zur Anwendung gelangt; sie nimmt aber ab, wenn die Kraft klein ist.

e) Wird die Kraft P durch die Null hindurch in p übergeführt, so beobachtet man nach p eine um so kleinere Nachwirkung, je längere Zeit die Kraft Null bestanden hat, und je öfter p angewandt wird. Durch häufige Impulse von p ist eine längere Dauer der Kraft Null nicht ersetzbar.

f) Geht man von P auf p direct über, doch ohne Zwischenschaltung der Kraft Null, so hängt nach weiterer Reduction von p auf Null die Nachwirkung des permanenten Moments von der Grösse von p und von der Geschwindigkeit, mit welcher P in p übergeführt wurde, ab. Dasselbe gilt auch von der Nachwirkung des temporären Moments, welche während des Bestehens von p beobachtet wird. Nach rascher Reduction von P in p ist das Vorzeichen dieser Nachwirkung bei nicht zu kleinem p entgegengesetzt demjenigen nach langsamer Reduction, d. h. es tritt eine Zunahme des temporären Moments auf.

g) Wenn man bei der Reduction von P auf Null jede Zwischenkraft einige Zeit bestehen lässt, so beobachtet man insgesamt eine viel grössere Nachwirkung (des temporären und des permanenten Moments), als bei sofortigem Uebergang auf Null die Nachwirkung des permanenten Moments beträgt.

h) Die nach Ueberführung von P in ein sehr kleines p , dann von p in Null auftretende Nachwirkung des permanenten Moments nimmt ab mit zunehmender Dauer von p , d. h. mit vollständigerem Ablauf der Nachwirkung des temporären Moments.

i) Stärkere Erwärmung des Drahts (und nachfolgende Abkühlung auf Zimmertemperatur) schwächt die nach Reduction von P auf p eintretende Nachwirkung des temporären Moments, und sie beschleunigt den Ablauf derjenigen des

permanenten Moments, lässt aber ihren Gesamtbetrag von 0 sec an ungeändert.

k) Biegung hat im allgemeinen den gleichen Erfolg wie Erwärmung, nur verringert sie auch die *Gesamtwirkung* des permanenten Moments.

l) Erschütterungen, *vor* einer grossen Kraft P ausgeübt, beeinflussen die Nachwirkung des permanenten Moments nicht; zwischen einer grossen P und einer kleinen p (während der Kraft Null) angewandt, wirken sie vermindernd auf die Nachwirkung des permanenten Moments bei allen Impulsen von p ein; bei directer Ueberführung von P in p (ohne Durchgang durch die Kraft Null) sofort nach Erreichung von p angewandt, verringern sie sowohl die Nachwirkung des temporären als auch — nach weiterer Reduction von p auf Null — die des permanenten Moments.

m) Mässige Erhöhung oder Erniedrigung der Drahttemperatur beeinflussen vorübergehend, d. h. solange als die Temperaturänderung dauert, beide Nachwirkungen: sie vermindern die Nachwirkung des temporären Moments und sie beschleunigen den Ablauf derjenigen des permanenten Moments. Eine Aenderung in der Gesamtgrösse der letzteren Nachwirkung wird durch Erhöhung der Temperatur nicht, wohl aber durch Erniedrigung derselben vollzogen.

13. Die magnetische Nachwirkung vom Standpunkt der Moleculartheorie.

Die oben beschriebenen Erscheinungen lassen sich zum grössten Theil ganz ungezwungen aus der Theorie drehbarer Molecularmagnete ableiten. Die Thatsache an sich des Auftretens von Nachwirkung ergibt sich aus folgender Betrachtung: Wir denken uns die Gesammtheit der Molecularmagnete in Gruppen zerlegt. Jede magnetisirende Kraft sucht eine gewisse, für sie charakteristische Anordnung in den einzelnen Gruppen herzustellen, welche jedoch verschieden ist in der Periode an- oder absteigender Kräfte. Geht man nun von einer Kraft P_1 durch die zwischenliegenden Kräfte $P_2, P_3 \dots$ hindurch zu einer anderen P_n über, so tritt die neue Anordnung der Molecularmagnete in den einzelnen Gruppen, d. h. die für P_n stabilsten Stellungen der Molecüle, deshalb nicht

augenblicklich ein, weil der Umformung jeder einzelnen Gruppe eine Wechselwirkung der verschiedenen Gruppen parallel geht. Daher verursachen Aenderungen in irgend einer Gruppe während längerer Zeit Aenderungen in jeder der Nachbargruppen, d. h. das magnetische Moment ändert sich noch *nach* Herstellung eines constanten Werths P_n der Kraft, es tritt Nachwirkung ein. Gewöhnlich wird ihre Richtung mit derjenigen der Wirkung, d. h. also auch der Kraftänderung zusammenfallen, die Nachwirkung addirt sich dann zu der Wirkung, das Nachwirkungsmoment zu der momentan erfolgenden Aenderung des magnetischen Moments. Die Grösse der Nachwirkung aber wird natürlich mit der Grösse der Wirkung selbst zunehmen.

Je schneller nun die anfängliche Kraft P_1 in die neue P_n übergeführt wird, je schneller also die Zwischenwerthe P_1 , P_2 . . . durchlaufen werden, in desto schnellere Bewegung gerathen die Molecularmagnete. Hierdurch aber ist das Erreichen der stabilsten Lagen erleichtert, die Nachwirkung fällt also kleiner aus, resp. drängt sich auf kürzere Zeit zusammen. Bei *grossem* Unterschied von P_1 und P_n und raschem Uebergang — z. B. wenn man von der Kraft 0 momentan auf einen grossen Werth P übergeht, — d. h. bei grosser Drehungsgeschwindigkeit der Molecularmagnete wird deshalb die Nachwirkung in wenigen Secunden ablaufen. Damit würde aber das Resultat des § 2 verständlich werden.

Bei sehr raschem Uebergang von P_1 in P_n , z. B. wenn eine *grosse* Kraft P sehr rasch in eine *kleinere* p übergeführt wird, können aber auch die Molecularmagnete ihre stabilsten Stellungen momentan überschreiten, dann muss also eine Nachwirkung von einer der Wirkung entgegengesetzten Richtung eintreten, wie sie im § 7 beobachtet wurde. Wird der Uebergang von der grösseren auf die kleinere Kraft theils sehr rasch theils langsam ausgeführt, so werden also die beobachteten Nachwirkungswerthe um so grösser sein, je mehr die sprungweise Aenderung der Kraft gegenüber der continuirlichen zurücktritt. Desshalb wächst im § 7 die Nachwirkung des permanenten Moments mit abnehmender Kraft p , in welche P continuirlich übergeführt war, weil dadurch der folgende Sprung von p auf 0 kleiner wird. Nimmt man jedoch p *sehr*

klein und lässt es einige Minuten bestehen, ehe der Uebergang auf die Kraft Null gemacht wird, so werden die Molecularmagnete schon *während* p die für die Kraft Null stabilsten Lagen nahe erreichen, und infolge dessen wird die nach Aufhebung von p zu beobachtende Nachwirkung des permanenten Moments um so kleiner ausfallen, je länger p bestanden hat.

Geht man in kleinen Intervallen von P auf 0 über und lässt jede der Zwischenkräfte $p_1 p_2 \dots$ einige Minuten bestehen, so muss die Summe aller bei $p_1 p_2 \dots 0$ zu beobachtenden Nachwirkungen viel grösser sein, als die Nachwirkung des permanenten Moments, welche man nach rascher Durchlaufung aller p erhält.

Denn im letzteren Fall wird die nachwirkende Bewegung der Molecularmagnete z. B. bei p_1 in ihrem Ablauf beschleunigt durch den Bewegungsantrieb, welchen sie beim Uebergang von p_1 auf p_2 erhalten.

Die Erreichung stabilster Lagen wird den Molecularmagneten durch rasche Bewegung erleichtert; darum ist, wenn man den nur ausgeglühten Draht einer *grossen* Kraft unterwirft und diese dann auf Null (ohne Zwischenkräfte) reducirt, die Nachwirkung des permanenten Moments die gleiche, wie oft hintereinander man auch die Kraft anwenden mag. Bei einer kleinen Kraft dagegen, d. h. bei geringer Bewegungsgeschwindigkeit der Molecularmagnete, nimmt die Nachwirkung noch mit wachsender Zahl ihrer Impulse ab, die Molecularmagnete müssen öfters in Bewegung gesetzt werden, wenn die Nachwirkung einen kleinsten Werth enthalten soll. Oefteres Inbewegungsetzen befördert aber die Erreichung stabilster Lagen und daher vermindert es die Nachwirkung.

Jede Kraft sucht während ihrer Wirkung eine ihr eigenthümliche Configuration der Molecularmagnete zu erzeugen, die sich auch in der Anordnung derselben nach Aufhebung der Kraft noch ausspricht. Folgt nun einer Kraft P eine andere kleinere p , so formt diese die vorgefundene Anordnung um, was wieder nur nach wiederholten Impulsen vollständig gelingt. Diese Ueberführung gewisser für P stabilster Lagen in die für p stabilsten wird sich wieder in einer Abnahme der Nachwirkung aussprechen. Die nachwirkende Bewegung nach Aufhebung von P kann nicht zu Ende kommen, wenn alsbald

das nicht zu kleine p hergestellt wird. Erst mit Aufhebung von p vollendet sie sich, und dadurch erscheint die nun zu beobachtende Nachwirkung zu gross. Etwas unverständlich bleibt nur, weshalb, wenn doch einmal die Nachwirkung lediglich als Folge der magnetischen Wechselwirkung der Molecularmagnete aufgefasst wird, eine häufige Anwendung von p die längere Pause zwischen P und p bei der Erreichung der Nachwirkungsminimums nicht zu ersetzen vermochte.

Eine höhere Temperatur des Körpers vermehrt die Molecularbewegung und wird deshalb die nachwirkende Bewegung der Molecularmagnete zu rascherem Ablauf bringen, resp. sie überhaupt vermindern. Die bei Erniedrigung der Temperatur gemachten Beobachtungen wird man vermuthlich geradezu als eine Abnahme der Nachwirkung des temporären wie des permanenten Moments auffassen und diese so deuten müssen, dass die stärkeren Molecularkräfte die nachwirkende Bewegung bald zum Stillstand bringen.

Stärkerer Erwärmung *vor* der Magnetisirung (und nach dem Ausglühen) beseitigt gewisse in dem Körper noch zurückgebliebene Spannungen, und befördert infolge dessen die Erreichung stabiler Lagen, lässt also die Nachwirkung rascher ablaufen. In der gleichen Weise wirkt ein schwaches Hin- und Herbiegen des Drahts vor Wirkung der magnetisirenden Kraft.

Nach unserer Auffassung der Nachwirkung ist es selbstverständlich, dass sie durch Erschütterungen beeinflusst wird; nicht zwar, wenn dieselben *vor* einer *grossen* Kraft angewandt wurden, denn die Erschütterungen erzeugen nur eine Aenderung des *magnetisch-molecularen* Zustands¹⁾, welche durch die folgende grosse Kraft wieder verwischt wird. Dagegen müssen sie *nach* einer grossen Kraft angewandt, die Erreichung stabiler Lagen der Molecularmagnete befördern, und daher muss die Nachwirkung bei einer folgenden kleineren Kraft kleiner ausfallen.

Giesen, em 12. Febr. 1898.

1) C. Fromme, Wied. Ann. 61. p. 55. 1897.

(Eingegangen 13. Februar 1898.)

Fig. 2.
zu Tab. 4.

Fig. 6.

Fig. 7.

Fig. 8.