

3. *Ueber die Wirkung von Erschütterung und Erwärmung auf den Magnetismus;* *von Carl Fromme.*

(Hierzu Taf. II, Fig. 1—11.)

1. Die rein mechanische Auffassung von dem Act der Magnetisirung, welche wir in der Hypothese von drehbaren Molecularmagneten pflegen, hat zur Folge gehabt, dass seit vielen Jahren die Einwirkung mechanischer Kräfte auf den Magnetismus von zahlreichen Forschern untersucht worden ist. Nur eine Art der Einwirkung, nämlich diejenige von Erschütterungen, ist bisher noch merkwürdig selten Gegenstand der Forschung gewesen, vielleicht deshalb, weil diese Art etwas schwerer definirbar und messbar ist.¹⁾ Es harrt deshalb noch eine ganze Reihe von Fragen auf diesem Gebiete der Beantwortung, davon mehrere von principieller Bedeutung und theoretischer Wichtigkeit, z. B.: Wirkt eine Erschütterung dadurch, dass sie die kleinsten Theilchen in eine kurzdauernde Bewegung versetzt, oder nur durch kleine, von ihr unzertrennliche Deformationen des Eisenkörpers? Wirkt sie, das erstere angenommen, auf die magnetischen Molecüle direct, oder bringt sie primär nur eine andere Anordnung der materiellen Molecüle hervor, welche ihrerseits erst den magnetischen Zustand beeinflusst? Giebt es andere Einwirkungen mechanischer, thermischer oder auch magnetischer Art, welche den Erschütterungen vergleichbar sind? Ist es gleichgültig, *wie* man erschüttert?

Alle mechanischen oder thermischen Einwirkungen geschahen in einem magnetischen Felde der Intensität Null. Die Erschütterungen wurden anfänglich in verschiedener Art ausgeführt, schliesslich aber immer in der Weise, dass der Stab oder Draht in horizontaler Lage aus geringer Höhe, aber meist öfters senkrecht zum magnetischen Meridian auf eine harte

1) Frühere Versuche von mir über Erschütterungswirkungen finden sich in Wied. Ann. 4. p. 76 und 5. p. 345. 1878; und namentlich 45. p. 798. 1892 beschrieben.

oder weiche horizontale Unterlage fiel, wohl auch geworfen oder geklopft wurde. Biegung (eines Drahtes) wurde mit den Händen, Torsion in einem Torsionsapparate ausgeführt. Erwärmung erfolgte mittels Durchziehens durch eine Bunsenflamme, darauf kühlte sich der Körper in Luft wieder auf Zimmertemperatur ab. Alle Stäbe und Drähte waren gut ausgeglüht und dann langsam auf Zimmertemperatur abgekühlt. Dünne Drähte werden in Bunsenbrennern ausgeglüht. Es kamen Eisen und Stahl, letzteres in Stabform, ersteres in Stab- und Drahtform, auch als Bündel von Drähten zur Untersuchung. Die magnetisirenden Kräfte liess man, wenn nicht ausdrücklich das Gegentheil bemerkt, immer sehr langsam auf Null absinken.

Der Zustand, in welchen der Körper durch irgend eine Einwirkung mechanischer oder sonstiger Art gelangt war, wurde, wie schon in einer früheren Arbeit, dadurch bestimmt, dass man eine *kleine* magnetisirende Kraft wirken liess und das von ihr induzirte magnetische Moment, häufig nur das permanente, maass. Diese Kraft wirkte, wenn der Körper schon magnetisch war oder gewesen war, und Erschütterung oder eine andere Einwirkung einen Theil seines permanenten Momentes zerstört hatte, gewöhnlich in der Richtung der früheren Kraft und vergrösserte daher (im allgemeinen) wieder das permanente Moment. Diese Zunahme nun wechselte in weiten Grenzen mit der Art der vorhergegangenen mechanischen, thermischen oder auch magnetischen Einwirkung, sie erwies sich für die betreffende Einwirkung charakteristisch. Von dem temporären Moment, welches diese kleine, den Zustand prüfende Kraft inducirte, gilt dies nicht immer, und wo sich charakteristische Grössenunterschiede zeigten, da waren dieselben gewöhnlich geringer, als beim permanenten Moment. Es wurde deshalb vorzugsweise das letztere beobachtet. Die Messung der magnetischen Momente erfolgte nach dem Ablenkungsverfahren in der zweiten Gauss'schen Hauptlage.

Alle Angaben der Stromstärken und der magnetischen Momente sind in Scalentheilen gemacht. Die magnetisirende Kraft der Spirale, in deren Mitte sich der Eisenkörper befand, betrug das 387fache der Stromstärke, welche im Maximum 1 Amp. gleich war.

2. Ich bin von der bekannten Thatsache ausgegangen, dass Erschütterungen, auf einen permanent magnetisirten Körper wirkend, einen Verlust an Moment hervorbringen, welcher mit der Häufigkeit und Intensität der Erschütterungen wächst. Folgt dann eine kleine magnetisirende Kraft in der Richtung der früheren, so bringt sie wieder eine Zunahme des permanenten Momentes hervor. Bei früheren Versuchen (l. c.) wuchs dieselbe stetig mit dem vorhergegangenen Verlust. Die folgenden Beobachtungen zeigen dagegen, dass, wenn die Verluste sehr gross werden, die folgende Zunahme ein Maximum erreicht und schliesslich wieder kleiner wird.

Tabelle 1.

Eisenstab von 0,7 cm Dicke und 15 cm Länge. Durch eine grösste Kraft ist ein $PM = 630$ gebildet. Nachdem dasselbe durch Erschütterungen geschwächt ist, wirkt eine kleine Kraft von $\frac{1}{200}$ der früheren. Darauf wird durch die grösste Kraft wieder $PM = 630$ hergestellt, ein anderer Erschütterungsverlust hervorgebracht etc. Hierzu Fig. 1.

Verlust durch Er- schütterung	67	137	190	264	313	393	408	461	489	508	582
Zunahme durch die kleine Kraft	8,9	14,1	17,7	19,0	21,0	24,2	27,9	18,2	9,1	7,5	5,4

Demnach ist nach nahe zerstörtem permanenten Moment die Zunahme auf nur $\frac{1}{5}$ des Maximums herabgegangen. Die Grösse dieses Abfalls ändert sich im umgekehrten Sinne, wie die Grösse der prüfenden Kraft. Dies zeigen die folgenden Beobachtungen, bei denen die letztere $\frac{1}{40}$ der grossen betrug, und infolge dessen die Zunahme von dem erreichten Maximum kaum wieder herabging. Die Tabelle 2 enthält ausserdem noch Beobachtungen, bei denen eine Schwächung des permanenten Momentes auf andere Weise, nämlich durch *rasches* Absinken der grossen magnetisirenden Kraft auf Null, sei es durch Kurzschluss der Magnetisirungsspirale oder durch rasche, aber continuirliche Einschaltung einer Flüssigkeitssäule in den Stromkreis, oder durch eine der grossen entgegengerichtete magnetisirende Kraft herbeigeführt war. Ich gebe ferner auch die Werthe des temporären Moments nach dreimaliger Einwirkung

der kleinen Kraft, sowie die Abnahme, welche das temporäre Moment von der ersten bis zur dritten Einwirkung erlitten hat.¹⁾ Constanz des temporären Momentes war hiermit aber noch nicht erreicht. Jede Beobachtung geht von dem grössten Werthe des permanenten Momentes, $PM = 658$, aus.

Tabelle 2.

Hierzu Fig. 2.

Die Schwächung des PM ist verursacht durch:	Grösse des Verlustes.	TM_3	$TM_1 - TM_3$	Aenderung des PM	
				$\delta_1 \cdot PM$	$\delta_3 \cdot PM$
Erschütterungen.	0	239,5	22,4	— 4,7	— 12,5 ²⁾
	47,0	237,0	16,8	+ 25,2	+ 22,0
	77,5	237,2	13,6	+ 41,4	+ 38,0
	157,5	237,3	13,7	+ 67,0	+ 69,2
	207,0	238,2	14,8	+ 82,0	+ 86,0
	297,0	233,2	11,5	+ 78,3	+ 82,0
	500,0	236,0	10,7	+ 72,5	+ 76,5
	612,7	247,0	8,8	+ 77,0	+ 80,5
Rasche Einschaltung einer Flüssigkeitssäule.	98,5	247,5	45,0	+ 5,5	+ 2,5
	179,0	251,5	65,5	+ 9,0	+ 10,5
	213,0	248,9	83,1	+ 11,0	+ 12,4
Kurzschluss der Spiralen.	207,1	251,1	75,9	+ 20,5	+ 25,2
Einen conträren Strom.	95,0	237,0	11,5	+ 54,0	+ 53,5
	307,0	236,3	13,2	+ 138,5	+ 144,2
	441,1	237,0	15,0	+ 184,6	+ 191,6

Diese Beobachtungen zeigen weiter, dass die Zunahme — bei gleicher Grösse des Verlustes — am grössten ausfällt nach einer conträren magnetisirenden Kraft, kleiner nach Erschütterungen und am kleinsten nach rascher Reduction der grossen Kraft auf Null, namentlich wenn dieselbe mittels Einschaltung eines Flüssigkeitswiderstands erfolgt ist. Die Abnahme des temporären Moments bei wiederholter Wirkung der

1) Vgl. Wied. Ann. 4. p. 76. 1878.

2) In den 6 ersten Werthen der $\delta \cdot PM$ macht sich die besondere Wirkung einer kleinen magnetisirenden Kraft nach einer grossen bemerkbar. Vgl. Wied. Ann. 43. p. 181. 1891; 45. p. 810. 1892.

kleinen Kraft wird mit zunehmendem Erschütterungsverlust kleiner¹⁾; dagegen erscheint sie desto grösser, je bedeutender der Verlust durch rasche Einschaltung eines Flüssigkeitswiderstandes war. In Anbetracht, dass der Stab behufs Vornahme der Erschütterungen jedesmal aus der Spirale genommen wurde, wird man die bei der dritten Einwirkung der kleinen Kraft beobachteten temporären Momente als gleich betrachten dürfen, nur nach dem grössten, einer vollständigen Entmagnetisirung nahe kommenden Verlust war TM entschieden grösser. Mit den TM nach Erschütterungen sind die folgenden, nach rascher Reduction der grossen Kraft auf Null erhaltenen, deshalb nicht vergleichbar, weil sie noch in starker Abnahme begriffen sind.

Auch in dieser Erscheinung, wie in so mancher anderen, verhalten sich Stahlstäbe und auch Bündel von dünnen, weichen Eisendrähten etwas verschieden von den Eisenstäben. Bei jenen bleibt nämlich bis zu hohen Erschütterungsverlusten die Zunahme auf dem einmal erreichten Maximum auch dann stehen, wenn die prüfende Kraft sehr klein genommen wird. Freilich ist es hier auch unmöglich, diese Verluste einer vollständigen Entmagnetisirung so nahe zu bringen, wie bei einem Eisenstab. Es mag genügen, einige Beobachtungen mit einem *Drahtbündel* anzuführen. Das durch die grösste Kraft inducirte PM war 932. Die kleine Kraft betrug entweder $\frac{1}{20}$ oder ein $\frac{1}{40}$ der grossen.

Tabelle 3.

Drahtbündel. Hierzu Fig. 3. Diese enthält ausserdem noch die Resultate gleichzeitig angestellter Verruche, bei welchen PM durch eine conträre magnetisirende Kraft geschwächt war.

Verlust durch Erschütterung	}	53	70	127	140	188	244	304	325	419
Zunahme durch die kleine Kraft ($\frac{1}{40}$)	}	4,5	6,4	7,1	11,0	9,5	8,9	10,4	9,5	10,0
Verlust durch Erschütterung	}	0	32	99	184	214	266	349	366	430
Zunahme durch die kleine Kraft ($\frac{1}{20}$)	}	-4,8	6,1	16,7	24,2	25,8	29,7	32,4	33,5	35,5

1) Vgl. hierüber auch den 11. Abschnitt.

Bei der kleinsten Kraft ist also das Maximum schon erreicht, wenn erst $\frac{1}{7}$ des PM durch die Erschütterung beseitigt ist, bei der anderen wächst die Zunahme noch bei einem Verlust von mehr als $\frac{1}{3}$. War der Verlust durch einen conträren Strom hervorgebracht, so fiel die Zunahme grösser aus, als nach Erschütterungen, und zwar desto mehr, je grösser der Verlust und je kleiner die prüfende Kraft war.

3. Wenn man annimmt, dass die Wirkung von Erschütterungen auf plötzlichen Bewegungen der Molecüle beruht, so lässt sich vermuthen, dass eine vorübergehende Erwärmung, indem sie die Molecularbewegung für eine kurze Zeit steigerte, eine gleiche oder wenigstens ähnliche Wirkung wie Erschütterung ausübt. Die folgenden Beobachtungen beziehen sich auf einen Stahlstab von 0,48 cm Dicke und 15 cm Länge. Derselbe erhielt durch eine grosse magnetisirende Kraft ein $PM=930$, welches durch Erwärmung oder auch durch Erschütterungen oder durch einen conträren Strom geschwächt und dann mittels einer Kraft, die $\frac{1}{11}$ der grossen betrug, auf seinen Zustand geprüft wurde.

Tabelle 4.

Stahlstab. Hierzu Fig. 4. Diese enthält auch noch die Resultate von Versuchen, bei welchen nach Vornahme von Erschütterungen die prüfende Kraft nur $\frac{1}{22}$ der grossen betrug.

Verlust durch Erwärmung }	97	143	186	282	364	486	542	622	650	695
Zunahme durch die kleine Kraft }	15,5	19,8	26,0	34,1	40,0	55,0	60,9	68,5	70,2	79,6
Verlust durch Erschütterung }	72	143	174	224	293	366	411	514	631	
Zunahme durch die kleine Kraft }	12,2	20,2	21,9	24,1	27,1	28,0	28,1	32,1	32,2	
Verlust durch conträren Strom }	0	63	127	243	430	517	657			
Zunahme durch die kleine Kraft }	-5,6	14,0	25,8	45,0	76,8	92,3	121,4			

Da also die Zunahme nach Erwärmung nur dann die gleiche ist, wie nach Erschütterung, wenn der Verlust unter 150 bleibt, während bei grösseren Verlusten die Zunahme

nach Erwärmung erheblich grösser ausfällt, als nach Erschütterung, so müssen wir schliessen, dass ein stark permanent magnetischer Körper durch Erwärmung und Erschütterung im allgemeinen in differente Zustände versetzt wird. Von jedem dieser beiden Zustände wiederum verschieden ist, wie die Tabelle zeigt, der durch einen conträren Strom hervorgerufene Zustand.

Je kleiner die prüfende Kraft gewählt wurde, desto ungleicher fiel die Zunahme nach einem Erwärmungs- oder Erschütterungsverlust aus, wie die folgenden, auf den Stahlstab der vorigen Tabelle bezüglichen Beobachtungen zeigen, bei denen die prüfende Kraft nur $\frac{1}{40}$ der grossen betrug.

Tabelle 5.
Stahlstab.

Verlust durch Erwärmung }	0	145	387	651		
Zunahme durch die kleine Kraft }	- 2,6	4,0	8,7	13,0		
Verlust durch Erschütterung }	22	83	179	370	485	619
Zunahme durch die kleine Kraft }	0,7	3,0	3,2	3,0	3,3	3,0

Die Verschiedenheit der durch Erwärmung und Erschütterung erzeugten Zustände liess sich ausser durch eine der grossen gleichgerichtete auch durch eine ihr entgegengerichtete Kraft feststellen. Eine solche schwächte das durch Erwärmung reducirte, permanente Moment immer mehr, als das durch Erschütterung reducirte. Ein durch Erwärmung erzeugter magnetischer Zustand lässt sich also nach beiden Seiten leichter ändern, als ein aus Erschütterungen hervorgangener.

4. Um dies Resultat von der Verschiedenheit der durch Erwärmung und Erschütterung hervorgerufenen Zustände vollkommen einwurfsfrei festzulegen, war es nothwendig gewesen, jeden der beiden Zustände aus demselben Anfangszustande abzuleiten, d. h. es musste *jedesmal*, ehe erschüttet oder erwärmt wurde, das grosse *PM* von neuem hergestellt werden. Nunmehr fand ich aber, dass dies entbehrlich war, dass man

den einen Zustand auch ohne die Zwischenschaltung der grossen Kraft in den anderen überführen konnte.

War nämlich das *PM* zuerst durch Erschütterungen reducirt worden, und folgte darauf sofort eine nicht zu geringe Erwärmung, welche das *PM* kaum noch weiter zu schwächen brauchte, so verhielt es sich nun nicht anders, als wenn ausschliesslich erwärmt und gar nicht erschüttert worden wäre. Dieser Zustand konnte nun sofort wieder durch Erschütterungen in den für die Erschütterungswirkung charakteristischen umgewandelt werden etc.

Es wurde z. B. das grosse permanente Moment des Eisenstabes in Tab. 1 durch Erschütterung oder durch Erwärmung beinahe zerstört. Eine magnetisirende Kraft von $\frac{1}{80}$ der grossen erzeugte dann eine Zunahme des *PM* von

19,0.21,9.22,8 im Mittel von **21,6** nach *Erschütterung*
und von

31,0.34,2.28,0 „ „ „ **31,1** „ *Erwärmung*.

Und wechselten Erschütterung und Erwärmung miteinander ab, *ohne* dass das grosse *PM* jedesmal neu hergestellt wurde, so ergab sich die Zunahme zu

22,0.23,0.21,5.21,6.20,5 im Mittel zu **21,7** nach *Erschütterung*,
und zu

32,2.32,8.34,4.33,0.35,8 „ „ „ **33,6** „ *Erwärmung*.

Wir schliessen hieraus, dass die Erreichung des charakteristischen Zustandes nur durch die Intensität der betreffenden Einwirkung, aber nicht durch den Antheil, welchen dieselbe an der Schwächung des ursprünglich vorhandenen permanenten Moments genommen hat, bestimmt ist.

5. Bei den Erschütterungen eines Stabes werden kleine Deformationen nicht zu vermeiden sein, insbesondere werden leicht auch kleine Biegungen gleichzeitig eintreten. Es wäre daher möglich, dass die Erschütterung nicht als solche, sondern nur durch die sie begleitenden Deformationen wirkt. Um dies zu entscheiden, wurden z. B. einem Draht von 15 cm Länge und 0,18 cm Dicke kleine Biegungen ertheilt. Hierdurch liessen sich leicht grosse Verluste an permanenten Moment

hervorbringen. Auf den hieraus resultirenden Zustand wurde wieder aus der Zunahme des permanenten Momentes durch eine kleine magnetisierende Kraft ($\frac{1}{10}$ der grossen) geschlossen.

Tabelle 6.

Eisendraht. Hierzu Fig. 5. Das grosse *PM* ist gleich 700.

Verlust durch Biegung	201	254	314	342	421	421	
Zunahme durch die kleine Kraft	6,5	9,1	7,8	7,8	14,0	19,0	
Verlust durch Erschütterungen	67	149	235	248	264	360	390
Zunahme durch die kleine Kraft	3,2	3,5	4,5	4,0	4,9	4,9	5,0

Hieraus geht hervor, dass die Biegung den Draht in einen wesentlich anderen Zustand versetzt als die Erschütterungen, dass also auch Erschütterungen keinesfalls nur vermöge der mit ihnen etwa gleichzeitig eintretenden kleinen Verbiegungen des Drahtes wirken.

6. Bei den Versuchen des § 4 war der Körper wenigstens anfangs einmal durch eine grosse Kraft stark permanent magnetisch gemacht worden, während nachher zwischen Erschütterung und Erwärmung immer nur die kleine, prüfende Kraft wirkte. Es stellte sich nun heraus, dass auch ohne diese anfängliche starke Magnetisirung jede der verschiedenen mechanischen Einwirkungen, ebenso wie die thermische, einen charakteristischen Zustand im Körper hervorrief. Als neue Einwirkung kam jetzt hinzu eine sehr rasch wechselnde Biegung, nämlich Transversalschwingungen des an einem Ende festgeklebten Drahtes, da ich annahm, dass, wenn sich auch eine langsame Verbiegung als verschieden von Erschütterungen erwiesen hatte, doch eine rasch wechselnde Verbiegung einen ähnlichen Zustand wie die Erschütterungen hervorbringen könnte. Das ist in der That der Fall, wie die folgenden, mit einem Eisendraht von 0,18 cm Dicke und 15 cm Länge ausgeführten Beobachtungen zeigen. Auf diesen Draht hatte also, seitdem er ausgeglüht worden war, noch niemals eine grössere magnetisierende Kraft gewirkt. Das durch die kleine,

den Zustand prüfende Kraft erzeugte PM wurde durch die nachfolgende Einwirkung immer nahe wieder zerstört. Die Zahlen sind die Mittelwerthe aus einer Anzahl gut übereinstimmender Beobachtungen.

Tabelle 7.

Art der Einwirkung	Erschütterung	Schwingung	Biegung	Erwärmung
Zunahme durch die kleine Kraft	4,7	3,6	10,1	19,7

Wurde nun der Draht einer grossen — 9 mal grösser, als die bisher allein gebrauchte — Kraft unterworfen, welche ihm ein hohes PM ertheilte, und darauf dieses auf eine der vier Arten jedesmal auf $\frac{2}{3}$ seines Werthes reducirt, dann erfolgte durch die kleine Kraft eine Zunahme von bez.

4,0 3,5 9,8 18,0.

Das sind aber fast die Zahlen der obigen Tabelle. Hieraus folgt, dass wir die durch mechanische oder thermische Einwirkung hervorgerufene Schwächung des permanenten Momentes lediglich als eine die Aenderung des Zustandes *begleitende* Erscheinung, aber keinesfalls als die Bedingung für dieselbe anzusehen haben.

7. Indessen hatte auch bei diesen Versuchen noch eine, wenn auch geringe magnetisirende Kraft gewirkt, und es bestand ein, wenn auch kleines, permanentes Moment, ehe die mechanische oder thermische Einwirkung erfolgte. Es war aber festzustellen, ob das Resultat auch dann noch das gleiche bleibt, wenn der Körper bei der betreffenden Einwirkung gänzlich unmagnetisch war. Unmagnetisch lässt sich der Körper auf drei Arten machen, entweder durch einen conträren Strom, dessen Intensität so zu wählen ist, dass das bestehende permanente Moment gerade vernichtet wird, oder durch alternirende Ströme von allmählich bis Null abnehmender Intensität oder durch Ausglühen. Obwohl nun, wie bekannt, das erste Mittel keinen eigentlich unmagnetischen Zustand schafft, so gab es doch Anlass zu folgendem interessanten Versuch: Erschütterte man den durch conträren Strom unmagnetisch gemachten Körper, welcher vorher ein grosses permanentes

Moment besessen hatte, so bildete sich wieder ein Moment, das mit wachsender Erschütterungsintensität zuerst zunahm bis zu einem Maximum, um dann wieder abzunehmen bis zu Null. Das erreichte Maximum betrug $\frac{1}{6}$ des vorherigen grossen Werthes. Jedesmal nach Herstellung eines „Erschütterungsmomentes“ von passender Grösse wirkte eine magnetisirende Kraft gleich $\frac{1}{60}$ von derjenigen, welche das grosse *PM* vorher erzeugt hatte. Vor jedem der folgenden Versuche wurde dieses neu hergestellt und darauf durch den conträren Strom wieder beseitigt.

Tabelle 8.

Erschütterungs- moment	0	3	27	48	65	81	96	110	102	80	64	36	14
Weitere Zunahme durch die kleine magnetis. Kraft	151,0	147,9	124,5	107,4	89,0	63,0	58,4	53,4	52,1	57,3	56,6	64,6	61,
Summe	151,0	150,9	151,5	155,4	154,0	144,0	154,4	163,4	154,1	137,3	120,6	100,6	75,

Da die Summe des durch die Erschütterungen und des durch die kleine Kraft erzeugten Momentes bis etwa zum Maximum des Erschütterungsmomentes constant bleibt, so wirken hier also Erschütterungen (von geringer Intensität) wie eine in der früheren Richtung magnetisirende Kraft, derart, dass sie einer solchen einen Theil der zu leistenden Magnetisirungsarbeit abnehmen.

Versuche, bei denen der durch conträren Strom entmagnetisirte Stab einer geringen Erwärmung ausgesetzt wurde, zeigten, dass für Erwärmung das Gleiche wie für Erschütterung gilt.

Das zweite Entmagnetisierungsverfahren, das mittels Stromwechsel, wird im nächsten Abschnitt genauer besprochen werden. Hier führe ich nur folgenden Versuch an.

Nachdem der Stab durch Stromwechsel entmagnetisirt war, erzeugte eine kleine Kraft ein permanentes Moment gleich 34,3. Wurde er dagegen vor Wirkung der kleinen Kraft erst noch erwärmt, so erzeugte dieselbe das permanente Moment 51,2. Erwärmung übt also auch auf den durch Stromwechsel unmagnetisch gemachten Stab eine Wirkung aus, sie ändert

seinen molecularen Zustand derart, dass seine Susceptibilität für permanenten Magnetismus um die Hälfte grösser wird. Diese Zustandsänderung ist aber insofern nicht dauernd, als sie durch Stromwechsel allein immer wieder beseitigt werden kann.

Indessen schien es doch fraglich (vgl. den folgenden Abschnitt), ob die Stromwechsel auch alle Folgen mechanischer und thermischer Einwirkung beseitigen, oder ob sie die durch diese geschaffenen Zustände zwar aufheben, aber selbst wieder einen neuen charakteristischen Zustand herbeiführen. Dagegen ist das Ausglühen ein untrügliches Mittel, den Körper von allen Nachwirkungen sowohl magnetischer als mechanischer oder thermischer Kräfte zu befreien.

Es wurde deshalb ein Eisendraht von 0,18 cm Dicke und 15 cm Länge unmittelbar vor jeder Einwirkung ausgeglüht, eine kleine magnetisirende Kraft inducirte dann das folgende permanente Moment:

Tabelle 9.

Geglüht	Geglüht + Schwingungen	Geglüht + Erschütterungen	Geglüht + Biegung	Geglüht + Torsion	Geglüht + Erwärmung
36,0	7,1	6,5	15,4	15,5	29,6

Die Einzelwerthe, aus denen die obigen die Mittel sind, stimmen gut miteinander überein, trotzdem ja der Draht jedesmal von neuem ausgeglüht wurde. So ist 36,0 das Mittel aus folgenden Werthen: 37,2, 41,5, 35,5, 34,9, 35,8, 34,6, 35,5, 37,9.

Eine jede der angeführten Einwirkungen ändert also die Susceptibilität auch dann, wenn der Körper durch Ausglühen vollkommen unmagnetisch gemacht ist, und eine jede ändert sie im Sinne einer Abnahme, am wenigsten die Erwärmung, am meisten, nämlich auf $\frac{1}{6}$, die Erschütterungen und die Schwingungen.

8. Nachdem dies constatirt war, habe ich den Einfluss einer solchen nach dem Ausglühen erfolgenden Zustandsänderung auf die Wirkung *beliebiger* magnetisirender Kräfte untersucht, d. h. ich habe die Magnetisirungscurven sowohl für einen bloß ausgeglühten, als auch für einen nach dem Ausglühen noch erschütterten electr. Draht construirt. Ausser dem permanenten

Moment wurde regelmässig auch das temporäre beobachtet. Die folgenden Messungen beziehen sich auf Eisendrähte aus derselben Rolle, 0,18 cm dick und 15 cm lang. Jede Beobachtungsreihe mit einem Drahte, auf welchen nach dem Ausglühen mechanisch oder thermisch eingewirkt war, wurde von zwei Beobachtungsreihen eingeschlossen, bei denen der Draht nur ausgeglüht war. Diese beiden Reihen sind in der folgenden Zusammenstellung einiger hierher gehöriger Versuche zum Mittel vereinigt, die Mittelwerthe sind dann zu vergleichen mit den Werthen der zwischenliegenden Reihe. Es wurden ferner auch Beobachtungen angestellt über die Wirkung von alternirenden Strömen bis Null abnehmender Intensität auf die Magnetisirbarkeit.

Tabelle 10.

Hierzu Fig. 6.

Geglüht			Geglüht + Erschütterung		
Stromst.	TM	PM	Stromst.	TM	PM
26,9	29,4	38,7	27,0	23,5	12,0
39,1	44,1	72,1	39,1	39,0	32,6
70,1	83,9	173,6	70,3	84,9	132,7
118,8	173,6	259,6	119,1	180,5	237,0
169,5	262,4	277,0	170,0	268,8	267,2
221,6	327,5	285,0	222,7	329,8	278,7
262,3	364,1	285,6	262,6	364,0	281,8
299,2	391,7	286,7	299,8	391,6	283,5
378,0	438,8	287,7	379,5	435,7	284,7

Tabelle 11.

Hierzu Fig. 7.

Geglüht			Geglüht + Schwingungen		
Stromst.	TM	PM	Stromst.	TM	PM
26,3	31,6	38,5	26,3	27,0	2,8
37,8	48,0	72,3	38,0	43,9	27,4
67,2	90,3	178,0	67,5	94,2	141,8
113,0	197,2	271,6	113,4	203,4	258,0
159,8	307,6	296,0	159,9	313,2	290,5
205,5	377,1	302,6	208,0	388,3	302,9
240,6	418,5	306,7	244,0	424,5	307,0
271,2	446,6	308,4	278,0	457,1	309,7
339,6	500,5	311,5	347,0	507,5	312,5

Tabelle 12.

Hierzu Fig. 8.

Geglüht			Geglüht + Biegung		
Stromst.	<i>TM</i>	<i>PM</i>	Stromst.	<i>TM</i>	<i>PM</i>
27,3	30,1	38,5	27,3	22,2	26,0
39,5	44,9	72,0	39,3	35,9	50,3
70,7	84,9	174,4	70,9	71,0	138,9
119,5	179,1	261,6	119,8	135,9	230,1
170,2	272,6	280,1	170,3	217,7	262,0
222,1	339,2	286,8	222,5	291,6	273,2
262,4	377,2	290,0	262,6	341,5	278,8
298,8	404,4	289,5	298,6	377,0	279,5
377,0	452,3	290,8	376,5	438,5	280,5

Tabelle 13.

Hierzu Fig. 9.

Geglüht			Geglüht + Torsion		
Stromst.	<i>TM</i>	<i>PM</i>	Stromst.	<i>TM</i>	<i>PM</i>
27,4	36,0	38,5	27,3	29,2	25,7
49,6	68,3	114,5	49,5	61,8	91,4
85,6	130,1	233,6	84,8	123,5	210,2
123,0	241,0	302,0	122,3	219,1	289,4
162,9	350,2	324,5	162,2	324,9	321,2
193,8	412,5	334,2	194,6	387,3	330,9
224,0	461,1	341,0	223,3	436,8	338,9
287,0	526,1	343,0	289,3	517,0	345,7

Tabelle 14.

Hierzu Fig. 10.

Geglüht			Geglüht + Erwärmung		
Stromst.	<i>TM</i>	<i>PM</i>	Stromst.	<i>TM</i>	<i>PM</i>
26,3	34,0	36,0	26,4	23,5	18,7
47,4	63,8	106,6	47,6	48,5	79,3
81,5	119,2	220,3	81,6	95,6	205,2
117,1	214,6	284,1	116,1	165,8	297,8
155,5	317,8	307,5	155,0	260,0	342,2
185,9	374,1	313,9	185,0	318,6	356,4
212,9	414,5	319,5	213,0	358,9	362,5
274,2	486,6	325,4	274,4	435,5	370,8

Tabelle 15.

Geglüht		Geglüht + altern. Ströme		Geglüht + Erschütterungen	
Stromst.	<i>P M</i>	Stromst.	<i>P M</i>	Stromst.	<i>P M</i>
14	20	15	18	15	13
18	30	20	23	19	18
29	77	29	55	28	47
38	141	39	99	39	106
51	211	52	171	52	188
78	330	79	297	80	312
127	399	129	381	129	387
194	417	193	406	193	409
344	422	345	419	343	420

Aus derartigen Versuchen ergibt sich, wenn man jedesmal den mechanisch oder thermisch beeinflussten Draht dem unbeeinflussten, ausschliesslich geglühten gegenüberstellt, folgendes: Nach Erschütterungen ist das temporäre Moment kleiner geworden bei kleinen, grösser bei grösseren magnetisirenden Kräften; bei den grössten angewandten Kräften dürfte Gleichheit herrschen. Ueberall sind die Unterschiede nur gering. Das permanente Moment ist anfangs erheblich geringer, mit Annäherung an die Sättigung wird der Unterschied kleiner und verschwindet schliesslich. Nach Schwingungen verhält sich alles im wesentlichen ebenso wie nach Erschütterungen. Biegung setzt das temporäre Moment bei allen Kräften herab; das permanente Moment ist ebenfalls kleiner, bei den grössten Kräften werden die Unterschiede aber gering. Torsion wirkt wie Biegung. Nach einer Erwärmung ist das temporäre Moment stets erheblich kleiner, das permanente Moment ist ebenfalls zuerst kleiner, bei grösseren Kräften aber bedeutend grösser.

Hiernach zerfallen die verschiedenen mechanischen Einwirkungen in zwei Gruppen: Die erste umfasst Erschütterungen und Schwingungen; hier wird das permanente Moment viel mehr als das temporäre beeinflusst. In der zweiten, Biegung und Torsion umfassend, ist auch die Wirkung auf das temporäre Moment bedeutend, zum Theil sogar stärker als diejenige auf das permanente. Erwärmung übt ebenfalls einen

bedeutenden Einfluss auf beide Momente aus, unterscheidet sich aber von Biegung und Torsion wieder dadurch, dass sie das permanente Moment bei grösseren Kräften beträchtlich *erhöht*. Hier bestätigt sich ferner nochmals in allgemeinerer Weise, als in § 6 und 7, dass bei den Schwingungen des Drahtes weniger die Verbiegung, als die molecularen Erschütterungen wirksam sind, und dass die eigenthümliche Wirkung der Erschütterungen keinesfalls auf den dieselben etwa begleitenden Deformationen beruht.

Was nun endlich die Wirkung alternirender Ströme betrifft, so zeigt der Versuch, dass sie ganz ähnlich derjenigen von mechanischen Erschütterungen ist. Wenn also Stromwechsel auch jede Spur magnetischer Aussenwirkung zerstören, derart, dass auch infolge von Erschütterung oder Erwärmung — entgegen dem nach *einem* conträren Strome in § 7 beobachteten — keine solche wieder auftritt, so sind sie doch nicht im Stande, den Körper wieder in denjenigen Zustand zu versetzen, in welchem er sich nach dem Ausglühen befand. Sie bringen vielmehr in jedem Falle, auch wenn sie auf den ausgeglühten Körper wirken, selbst einen neuen Zustand hervor, welcher dem durch mechanische Erschütterungen erzeugten mindestens sehr ähnlich ist. Man vergleiche auch die Beobachtungen im § 7 über die Wirkung von alternirenden Strömen nach Erwärmung und umgekehrt. Herr Ewing¹⁾ hat den obigen conforme Versuche mit Zugkräften ausgeführt und ebenfalls gefunden, dass das Anbringen und Entfernen einer solchen an einem Eisendrahte auch dann seine magnetische Susceptibilität beeinflusst, wenn es vor der Wirkung der magnetisirenden Kraft geschieht, die elastische Deformation innerhalb der Elasticitätsgrenze bleibt, und dass Metall während des Belastungsprocesses noch vollständig unmagnetisch ist. Er ist jedoch der Ansicht, dass diese „Nachwirkungen“, welche die Zugkraft in dem unmagnetischen Metall hervorbringt, wieder aus dem Körper entfernt werden können, wenn man ihn durch Stromwechsel entmagnetisirt oder heftig erschüttert. Das ist nach dem obigen nicht correct. Denn hierdurch wird

1) J. A. Ewing, Magnetische Induction etc. Deutsche Uebersetzung, p. 204.

die durch die Zugkraft erzeugte moleculare Configuration lediglich in eine andere, den alternirenden Strömen oder den Erschütterungen entsprechende umgewandelt, es wird die eine Nachwirkung zerstört, aber dafür tritt eine andere auf. Kein Verfahren ist im Stande, in dem Körper die Spuren einer magnetischen oder mechanischen oder thermischen Einwirkung zu tilgen, ohne selbst neue zu hinterlassen, als allein das Ausglühen.

9. Eine besondere Untersuchung erforderte die Frage, ob der durch Erschütterungen herbeigeführte Zustand von der Art abhängt, *wie* erschüttert wurde. In der That kann man sich wohl vorstellen, dass es für die Anordnung der Molecularmagnete nicht gleichgültig ist, ob ein grosses permanentes Moment z. B. durch eine einzige heftige Erschütterung oder durch eine grössere Anzahl geringer Erschütterungen auf denselben kleineren Werth reducirt wird. Der Versuch bestätigte die Richtigkeit dieser Vorstellung.

Bei den bisherigen Versuchen bestand die Erschütterung fast immer in einem horizontalen Auffallen des Stabes auf die hölzerne Tischplatte. Diese Art der Erschütterung soll im Folgenden eine *harte* genannt werden, während das Auffallen auf eine weiche Unterlage oder das Aufklopfen des Stabes auf die Handfläche oder den Rockärmel als *weiche* Erschütterung bezeichnet werden soll.

Einem Eisenstab von 0,75 cm Dicke und 15 cm Länge wurde durch eine grosse Kraft ein $PM = 545$ ertheilt. Dasselbe wurde dann durch harte oder weiche Erschütterungen geschwächt und der Zustand darauf mittels einer Kraft von $\frac{1}{60}$ der ersteren geprüft. Tab. 16 auf der folgenden Seite.

In der ersten Reihe der harten Erschütterungen *fiel* der Stab aus wechselnder Höhe *einmal* horizontal auf den Tisch, in der letzten wurde er *mehrmals* heftig auf den Tisch *geworfen*. Die Zunahme durch die kleine Kraft ist hier schon bei einem Verluste von 150 ihrem Maximum nahe und erreicht es vollständig bei einem Verluste von 300. Sie ging erst dann von demselben wieder herab, als ganz besonders heftige Erschütterungen angewandt wurden. Dagegen wuchs nach weichen Erschütterungen die Zunahme bis zu dem grössten hier überhaupt erreichbaren Verlust von nahe 400 und zeigte stets grössere Werthe als nach harten Erschütterungen.

Tabelle 16.

Hierzu Fig. 11.

Verlust durch weiche Erschütterungen	0	20	75	93	130	170	192	207	240	299	350	360	384
Zunahme durch die kleine Kraft	-2,5	7,0	16,2	18,9	21,0	22,8	25,0	23,4	24,7	28,5	26,0	30,8	28,5
Verlust durch harte Erschütterungen	40	69	142	153	194	248	283	337	343	356	415	424	
Zunahme durch die kleine Kraft	9,6	14,4	17,5	19,0	17,5	19,0	19,8	20,8	19,8	19,9	19,7	18,2	
Verlust durch harte Erschütterungen	492	495	508	515	526								
Zunahme durch die kleine Kraft	15,2	18,0	15,1	15,0	16,0								

Der Unterschied zwischen der Wirkung der kleinen Kraft nach harten oder weichen Erschütterungen wuchs mit abnehmender Kraft.

So erhielt man mit einem fest in ein dickes Kupferrohr eingebetteten *Bündel von Eisendrähten* folgende Zunahme des *PM* durch die prüfende Kraft, nachdem durch harte oder weiche Erschütterungen 0,17 des ursprünglichen grossen Momentes entfernt war.

Tabelle 17.

Prüfende Kraft	$\frac{1}{100}$	$\frac{1}{40}$	$\frac{1}{20}$
Harte Erschütterungen	4,0	19,3	49,5
Weiche Erschütterungen	11,6	29,6	60,1
Verhältniss	2,9	1,5	1,2

Weiche Erschütterungen rufen in jedem Falle einen anderen Zustand hervor, als harte, mag der Körper schon magnetisirt sein oder nicht, mag er ein grosses oder ein kleines permanentes Moment besitzen. Auch kann man die beiden Zustände ohne Zwischenschaltung einer magnetisirenden Kraft ineinander umwandeln, wie die folgenden Versuche zeigen.

Der Eisenstab der Tab. 16 wurde zuerst harten Erschütterungen, welche das permanente Moment 545 auf etwa $\frac{1}{3}$ reducirten, darauf sogleich noch weichen Erschütterungen, welche jetzt nur einen kleinen Verlust hinzufügen konnten, oder auch umgekehrt zuerst den weichen, dann den harten Erschütterungen unterworfen. Darauf wirkte eine kleine magnetische Kraft in der Richtung der grossen.

Tabelle 18.

Verlust d. harte Erschütt.	+ Verlust d. weiche Erschütt.	Ge- samt- verlust	Zunahme durch die kl. Kraft	Verlust d. weiche Erschütt.	+ Verlust d. harte Erschütt.	Ge- samt- verlust	Zunahme durch die kl. Kraft
410	33	443	102,3	361	14	375	63,0
389	29	418	99,5	359	41	400	86,0
335	43	378	97,8	340	49	389	81,0
334	50	384	97,5	373	31	404	81,2
M. 367	39	406	99,3	358	34	392	77,8

Das Verhältniss der Zunahmen ist 1,28. Da etwa der gleiche Werth, nämlich 1,24 sich ergab, wenn nur weiche oder nur harte Erschütterungen zur Anwendung gekommen waren, so folgt, dass ausschliesslich die an letzter Stelle angewandte Erschütterungsart — vorausgesetzt natürlich, dass sie von hinreichender Intensität war — den resultirenden Zustand bestimmt.

Ein naheliegender Einwand bleibt noch zu beseitigen: es war denkbar, dass bei den weichen Erschütterungen, weil sie immer in grösserer Zahl als die harten erfolgen mussten, eine Temperaturerhöhung des Körpers von solcher Grösse stattfand, dass sich hierdurch der beobachtete Unterschied der Zunahme nach weichen und harten Erschütterungen erklären liess. Dieser Einwand wurde in der Weise widerlegt, dass man die harten Erschütterungen sowohl in Wasser von Zimmertemperatur, als in solchem bis zu 50° vornahm. Das Wasser befand sich in einem Porzellannapf, auf dessen Boden der Stab aufiell. Da nämlich eine kleine magnetisirende Kraft in allen Fällen die gleiche Zunahme des permanenten Moments hervorrief, also selbst eine Temperatursteigerung von 30° die Wirkung der harten Erschütterungen nicht beeinträchtigte, so ist bewiesen, dass die Verschiedenheit des Zustandes eines

Körpers nach harten oder weichen Erschütterungen im Wesen der Erschütterung selbst begründet ist.

10. Wir fragen nun, wodurch unterscheidet sich der erschütterte oder gebogene ectr. Eisenkörper in molecularer Hinsicht von dem frisch ausgeglühten? Ein jeder Eingriff, sei er nun mechanischer oder thermischer Art, wird im allgemeinen in doppelter Art wirken können; er wird einmal *mechanisch-molecular* Aenderungen, wie der Dichte, der Härte oder des inneren Druckes hervorrufen, andererseits auch *magnetisch-molecular* Aenderungen, bestehend in Drehungen der Molecularmagnete. Die Thatsache, dass die genannten Eingriffe sich gleich wirksam erwiesen, mochte der Körper magnetisirt oder vollkommen neutral sein, darf nicht dazu verleiten, als *directe* Folge jedes Eingriffs eine *mechanisch-molecular* Aenderung anzusehen, welche, falls der Körper magnetisirt ist, eine magnetische nach sich zieht. Vielmehr glaube ich, dass beide Aenderungen im allgemeinen nebeneinander hergehen, dass aber auch die eine, nämlich die mechanisch-molecular, verschwindend sein kann. Dass letzteres der Fall ist bei Erschütterungen, dafür spricht folgendes: 1. die Gleichheit der magnetischen Momente bei *grosser* magnetisirender Kraft, mag der Körper erschüttet worden sein oder nicht, 2. die Identität der Wirkung mit derjenigen alternirender Ströme, 3. Versuche, welche ich über die Schwächung eines grossen permanenten Moments durch einen conträren Strom anstellte, deren Resultat sich nicht änderte, wenn auch der Körper vor Herstellung des grossen Moments heftig erschüttet worden war. Ich nehme also an, dass Erschütterungen bloß die Anordnung der *magnetischen* Molecüle beeinflussen, und zwar ebenso, wenn der Körper magnetisirt, als wenn er frisch ausgeglüht ist. In letzterem Falle macht die Erschütterung den Körper, welcher infolge des Ausglühens magnetisch vollkommen homogen war, d. h. die gleiche und keine Richtung bevorzugende regellose Anordnung der Molecularmagnete in allen Volumelementen zeigte, magnetisch inhomogen, indem sich überall eine Anzahl benachbarter Molecularmagnete zu Gruppen der verschiedensten Formen zusammenschliessen, aber doch so, dass eine magnetische Wirkung nach aussen nicht auftritt. Eine solche Bildung von Gruppen findet aber auch infolge einer jeden

anderen mechanischen, thermischen oder magnetischen Einwirkung statt, nur ist ihre Zusammensetzung und Vertheilung im Körper von der Art der Einwirkung abhängig.

Ist aber der Körper magnetisirt, dann legt sich über die eben geschilderte Aenderung bei jeder Art der Einwirkung eine andere, welche in einer Drehung der Molecularmagnete, aber ohne Umstellung der vorhandenen Gruppen besteht. Diese Aenderung findet überwiegend statt als Folge eines conträren Stromes und ferner überall, wo die betreffende Einwirkung nur schwach ist. Erst wenn ihre Intensität wächst, vollzieht sich in grösserem Maasse auch die Umbildung der Gruppen. Hierin liegt die einfache Erklärung für eine Anzahl der oben gefundenen experimentellen Resultate.

Alle solche *magnetisch*-molecularre Zustandsänderungen lassen sich erkennen, wenn man eine *kleine* magnetisirende Kraft wirken lässt, welche die bestehende Gruppierung selbst nicht erheblich zu ändern vermag. Eine *grosse* magnetisirende Kraft dagegen löst die Gruppen leicht auf und bildet sie in neue um, und ist deshalb höchstens geeignet, Aenderungen des *mechanischen* Zustandes aufzudecken. Solche treten infolge Erwärmung, aber auch infolge von Biegung und Torsion ein. Diente also zur Prüfung des Zustandes eine *kleine* magnetisirende Kraft, so konnte mit der Art der Einwirkung beliebig gewechselt werden, ohne dass der für eine jede charakteristische Werth des magnetischen Moments eine Aenderung erfuhr. Anders, wenn man die prüfende Kraft gross nahm. Ein dünner Eisendraht z. B. erhielt unter der Wirkung einer grossen Kraft unmittelbar nach dem Ausglühen, sowie nach Vornahme von Erschütterungen oder Erwärmung folgende temporären und permanenten Momente.

Tabelle 19.
Eisendraht.

Zustand	Geglüht	Erschütt.	Erwärmt	Erschütt.	Erwärmt	Erschütt.
Stromstärke	377,2	377,6	377,2	375,5	376,3	376,4
<i>TM</i>	385,8	391,2	367,0	369,0	365,3	365,5
<i>PM</i>	278,3	277,5	296,0	297,5	297,0	298,3

Hier hört, sobald nur einmal erwärmt worden ist, die Zustandsverschiedenheit scheinbar ganz auf, indem auch nach

Vornahme von Erschütterungen die gleichen Werthe der Momente wie nach Erwärmung auftreten. Diese muss also eine Aenderung des mechanischen Zustandes verursacht haben, welche durch die Erschütterungen nicht wieder aufgehoben werden kann. Dass aber durch Erwärmung auch die Anordnung der *magnetischen* Molecüle geändert wird, das folgt aus den schon im § 7 erwähnten Versuchen, bei denen — an einer kleinen magnetisirenden Kraft geprüft — der durch Erwärmung hervorgerufene Zustand durch Stromwechsel, also durch rein magnetische Einwirkung, wieder beseitigt werden konnte.

Was Tab. 19 von der Wirkung einer Erwärmung aussagt, gilt nach anderen Versuchen auch von der Wirkung einer Biegung.

11. Wie durchgreifend eine Erwärmung oder Erschütterung die Anordnung der magnetischen Theilchen beeinflussen kann, ohne dass sich dies äusserlich, z. B. durch eine Abnahme des permanenten Momentes, sofort stark bemerkbar zu machen braucht, zeigen auch folgende Versuche.

Ich habe früher¹⁾ gefunden, dass nach der Wirkung einer grösseren magnetisirenden Kraft eine kleinere zunächst ein zu grosses temporäres Moment erzeugt, dass dasselbe bei wiederholter Wirkung der kleineren aber abnimmt bis zur Erreichung eines Minimums, welches, solange das permanente Moment wesentlich ungeändert bleibt, von dem Werthe der grossen Kraft unabhängig ist. Diese Abnahme des temporären Momentes ist, wie ich später²⁾ beobachtete, besonders stark, wenn die grosse Kraft recht rasch auf Null reducirt worden war.³⁾ Die Ursache dieser Erscheinung kann nur darin liegen, dass für die kleinere Kraft andere Gruppierungen der Molecularmagnete am stabilsten sind, als für die grössere, dass deshalb die kleine Kraft eine Umstellung vornimmt, und dass diese erst nach öfterer Wirkung der Kraft vollendet ist.

Erschütterung oder Erwärmung nach Wirkung der grossen und vor beginnender Wirkung der kleinen Kraft hatte nun zur Folge, dass diese Abnahme des temporären Momentes wesent-

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

2) C. Fromme, Wied. Ann. 45. p. 798. 1892.

3) Vgl. auch Tab. 2.

lich geringer wurde. Ich führe hier nur einige von denjenigen Beobachtungen an, bei denen die grosse Kraft — mittels Unterbrechung des Stromkreises — rasch auf Null reducirt wurde.¹⁾ Sie beziehen sich auf einen Eisenstab, welcher vorher schon oft erwärmt und erschüttert worden war. Das durch eine grosse Kraft erzeugte permanente Moment war 614, wenn diese Kraft langsam, dagegen nur 331, wenn sie rasch verschwand. Nachdem der Stab hierauf noch schwach erschüttert oder erwärmt worden war, liess man eine magnetisirende Kraft von $\frac{1}{40}$ der grossen mehrmals wirken.

Art der Ein- wirkung	Sofort die kleine Kraft			Vorher erwärmt			Vorher erschüttert			Sofort die kleine Kraft		
	331			304			335			331		
	Strom- stärke	TM	PM	Strom- stärke	TM	PM	Strom- stärke	TM	PM	Strom- stärke	TM	PM
1.	33,4	511,5	372,0	33,0	433,0	336,0	33,3	465,5	375,0	33,7	506,5	373,5
2.	33,2	469,0	382,0	32,9	431,0	338,0	32,8	446,5	380,0	33,5	466,0	384,0
3.	33,0	454,5	385,0				32,8	443,2	382,0	33,2	453,5	386,5

Diese Resultate zeigen, dass schon eine Erschütterung, welche so gering ist, dass das durch rasche Kraftabnahme reducirte permanente Moment wieder etwas zunimmt, nämlich von 331 auf 335, das temporäre Moment bei der kleinen Kraft ganz erheblich herabzusetzen vermag, und dass eine geringe Erwärmung das temporäre Moment sogar bis fast auf den Minimalwerth bringt. Dass aber die Erschütterung oder Erwärmung keine neue Aenderung des mechanischen Zustandes mehr hervorbrachte, sondern lediglich den magnetischen Theilchen gestattete, sich anders zu ordnen, das geht aus der letzten Versuchsreihe hervor, welche mit der ersten wesentlich übereinstimmende Resultate lieferte.

12. Die Untersuchung gelangte demnach zu folgenden Resultaten:

a) Erschütterungen üben eine specifische, von gleichzeitig

¹⁾ Versuche mit langsamer Reduction der grossen Kraft auf Null s. in Tab. 2.

stattfindenden kleinen Deformationen, etwa infolge von Biegung oder Torsion, unabhängige Wirkung aus.

b) Die Art und Weise, wie erschüttert wird, ist für die Wirkung durchaus nicht gleichgültig.

c) Die Erschütterungen wirken direct auf die magnetischen Theilchen.

d) Der Erfolg von Erschütterungen ist nicht an das Vorhandensein eines grossen oder kleinen permanenten Moments, noch auch überhaupt an die vorhergegangene Wirkung einer magnetisirenden Kraft geknüpft, er stellt sich ebensowohl ein, wenn der Körper frisch ausgeglüht worden ist.

e) Die Wirkung der Erschütterungen besteht daher in der Herstellung einer gewissen *Gruppierung* der Molecularmagnete. Bei einem bereits permanent magnetischen Körper tritt daneben noch eine *Rückdrehung* der Molecularmagnete, d. h. eine Abnahme des Momentes ein.

f) Von der letzteren Erscheinung abgesehen, machen sich die Erschütterungen äusserlich bemerkbar durch eine Abnahme der Susceptibilität für temporären und namentlich für permanenten Magnetismus bei *kleinen* magnetisirenden Kräften, verglichen mit derjenigen des frisch ausgeglühten Körpers.

g) Gleich oder mindestens sehr ähnlich der Wirkung von Erschütterungen ist diejenige alternirender Ströme, welche mit allmählich bis Null abnehmender Intensität durch die Magnetisirungsspirale geleitet werden.

h) Transversalschwingungen eines Eisendrahtes wirken ebenfalls wie Erschütterung und nicht wie Biegung.

i) Andere Eingriffe, wie Biegung, Torsion, Erwärmung, bringen zwar gleichfalls im magnetisirten wie im unmagnetisirten Eisen grosse charakteristische Aenderungen des molecularen Zustandes hervor, aber diese sind im allgemeinen verschieden von den durch Erschütterung erzeugten. Sie sind auch nicht allein magnetischer, sondern zugleich mechanischer Natur; letztere lassen sich bei Anwendung *grösserer* magnetisirender Kräfte erkennen.

Giessen, December 1896.
