

DER PHYSIK UND CHEMIE.

NEUE FOLGE. BAND IV.

I. Ueber Wärmeentwicklung durch Drehen von Molecularmagneten; von Hermann Herwig.

Bei magnetischen Veränderungen in einem Eisenkörper, d. h. im Sinne der Hypothese von den drehbaren Molecularmagneten (oder Molecularströmen) bei Drehungen der Molecularmagnete eines Eisenkörpers, finden bekanntlich Wärmeentwickelungen statt, wie namentlich durch eingehende Versuche von Joule¹⁾ nachgewiesen und durch mehrere andere Experimentatoren²⁾ bestätigt ist. Es ist aber durch die bisherigen Versuche immer noch nicht endgültig festgestellt, ob diese Wärmeentwicklung nur den mit magnetischen Veränderungen stets verknüpften Inductionsströmen zu verdanken ist, oder ob vielleicht auch directe Erwärmung durch magnetische Bewegungen stattfindet. Die letztere Möglichkeit ist von einigen Autoren dahin formulirt worden, dass man von einer Reibung gesprochen hat, welche die sich drehenden Molecularmagnete aneinander erfahren, und wodurch eine Erwärmung des Eisenkörpers, d. h. derselben sich drehenden Molecularmagnete eintreten sollte. Dem gegenüber erscheint es mir einfacher, die Quelle für eine Wärmeentwicklung wenigstens theilweise in den beim Drehen erlangten Geschwindigkeiten selbst zu suchen, und diese Auffassung wird unter gewissen Umständen, stets die Hypothese von den drehbaren Molecularmagneten und ebenso die moderne Wärmehypothese der Molecularbewegung vorausgesetzt,

1) Philos. Mag. (3) XXIII.

2) Man sehe: Wiedemann's Galvanismus. 2. Aufl. II. §. 543 ff.
Ann. d. Phys. u. Chem. N. F. IV.

sogar zur Nothwendigkeit, wenn man nicht ganz besondere Hypothesen über die Bewegungshindernisse machen will, welche die sich drehenden Molecularmagnete erfahren. In allen den Fällen nämlich, wo beim Herausdrehen der Molecularmagnete aus der natürlichen Gleichgewichtslage die magnetisirenden Kräfte den molecularen Kräften (welche die natürliche Gleichgewichtslage zu erhalten streben) gegenüber, oder wo beim Rückdrehen in die natürliche Gleichgewichtslage die molecularen Kräfte den allmählich verschwindenden magnetisirenden Kräften gegenüber einige Zeit im Ueberschusse sind, müssen die Molecularmagnete zunächst beschleunigt werden. Ersteres wird möglicherweise beim Schliessen eines magnetisirenden Stromes erfolgen, wenn dessen Intensität schnell genug ansteigt, letzteres wird nach allen Erfahrungen, die wir über das langsame Verschwinden des Magnetismus besitzen, sicher beim plötzlichen Oeffnen eines magnetisirenden Stromes stattfinden. Beschleunigung der Molecularmagnete bedeutet aber mit anderen Worten Beschleunigung der Molecüle. Und da wir nach moderner Auffassung den gesamten Bewegungszustand der Molecüle als den Wärmezustand eines Körpers ansehen, so ist auch die jetzt besprochene Beschleunigung der Molecüle nichts anderes, als eine Steigerung des Wärmezustandes des Eisenkörpers. Es ist nun wohl möglich, dass ein Theil der Beschleunigung durch Bewegungswiderstände von einem sich drehenden Molecüle jedesmal auf Nachbarmolecüle übertragen wird. Wollte man indessen bloß durch eine solche Reibung den ganzen Vorgang erklären, so müssten die Bewegungshindernisse gerade so beschaffen sein, dass den Molecularmagneten bei ihrer Drehung kein Beharrungsvermögen zukäme, eine wenig wahrscheinliche Auffassung.

Theoretisch unterliegt es also, falls die Hypothesen der Molecularmagnete und der Wärmebewegung richtig sind, kaum einem Zweifel, dass man bei entsprechend angeordneten Versuchen Wärmeentwicklung direct infolge der Drehungen der Molecularmagnete erhalten muss. Bei

der Unkenntniss, worin wir uns über mehrere hierfür massgebende Umstände noch befinden, bleibt es aber dem Experiment überlassen zu entscheiden, ob diese Wärmeentwicklung neben der Wärme der Inductionsströme bemerkbar sein wird.

Diese noch ungelöste Frage habe ich durch die nachfolgenden Versuche zu erledigen getrachtet.

Um innerhalb des Eisenkörpers selbst die Entwicklung von Inductionsströmen möglichst zu vermeiden, wandte ich Bündel von Eisendrähten an, deren jeder mit nichtleitender Oberfläche versehen war und bei einer Länge von 160 mm einen Durchmesser von durchschnittlich 1,2 mm, die nichtleitende Oberflächenschicht eingerechnet, besass. Das Gewicht von 76 solchen Drähten (mit Einschluss der Oberflächenschicht) betrug 100 gr. In jeder Versuchsreihe wurden zwei gleiche Bündel benutzt, das eine für sich, das andere noch umgeben von einem Hohlcylinder aus Messing, dessen äusserer Durchmesser 14 mm und dessen Wandstärke $\frac{1}{2}$ mm betrug. Beide Bündel befanden sich in grösseren mit Alkohol gefüllten Glasröhren, die in einen calibrirten capillaren Faden auslaufend, sehr empfindliche Thermometer (mit ca. 100 mm Scalenausdehnung für 1° C.) darstellten. Ein drittes ähnliches Thermometer wurde dann hinzugenommen, worin sich nur statt des Eisendrahtbündels ein Bündel von Messingdrähten befand. Diese drei Thermometer, und zwar das mit dem Messingdrahtbündel in der Mitte, wurden nun über den Polen eines sehr grossen starken Electromagnetes mit verticalem Hufeisen möglichst symmetrisch so hingelegt, dass die Drahtbündel der Verbindungslinie der übrigens getrennten Pole parallel lagen. Um die Thermometer aber vor der Wärmeentwicklung in den Windungen des magnetisirenden Stromes zu schützen, lag unter ihnen auf dem Electromagnete ein 3 mm dicker und fast 1 qm grosser Pappdeckel und darüber eine Schicht Fliesspapier.

Die Stromeszuführung an den Electromagnet war vermittelst 2 mm dicker Kupferdrähte bewirkt, welche über

einen entfernt aufgestellten Rotationsunterbrecher führten. Durch einfache Kurbelumdrehung des letzteren konnte man ein häufiges Schliessen und Oeffnen des magnetisirenden Stromes bewirken. Bei dieser Anordnung waren die oben erwähnten Bedingungen des Versuchs sicherer erfüllt, als wenn man eine ebenso häufige Stromesumkehr vorgenommen hätte, obschon letztere wegen nicht mitwirkender remanenter Magnetismen grössere Drehungen der Molecularmagnete involvirt. Der sicherste Fall für das Eintreten der gesuchten Wirkungen ist eben in dem plötzlichen Oeffnen und einige Zeit Offenbleiben des magnetisirenden Stromes gegeben. Um indessen durch remanente Magnetismen keine anderweitigen Störungen zu bekommen, wurde bei jedem Versuche neben dem 10 Minuten lang fortgesetzten häufigen Schliessen und Oeffnen des Stromes derselbe noch von Minute zu Minute vermittelt eines Commutators einmal umgekehrt. Schliessungen und Oeffnungen selbst wurden bei allen nachstehenden Versuchen in den 10 Minuten jedesmal 7200 vorgenommen. Die benutzte Stromstärke zum Magnetisiren war bei allen Versuchen sehr nahezu gleich und betrug 29 absolute electromagnetische Einheiten (nach Gauss'schem System).

Die Wärmeentwicklung, welche bei solchen Versuchen in den drei Thermometern eintritt, ist für das Thermometer mit dem Messingdrahtbündel (kurz Messingrohr genannt in den Versuchsangaben) allen etwaigen kleinen Störungen zu verdanken (möglicherweise auch dem geringen Eisengehalte des Messings);

für das Thermometer mit blossem Eisendrahtbündel (Eisenrohr genannt), abgesehen von den Störungen, den Beschleunigungen der Molecularmagnete und den geringen, in den Eisendrähnen etwa noch verlaufenden Inductionsströmen;

für das Thermometer mit Eisendrahtbündel und umschliessendem Messingcylinder (Eisenmessingrohr genannt) endlich, welches mit dem vorigen Thermometer ganz symmetrisch dem Electromagnete gegenüber lag, denselben

Ursachen, wie bei diesem, und den Inductionsströmen im Messingcylinder, die jedenfalls viel kräftiger sind, als die in den Eisendrähten verlaufenden Inductionsströme.

Alle Erwärmungen waren nur geringe und genügte es deshalb für die Berücksichtigung der nach aussen stattfindenden Wärmeverluste zu jedem Versuche noch die Temperaturveränderungen subtractiv hinzuzunehmen, welche in den nachfolgenden 10 Minuten an den Thermometern eintraten. Die Umgebungstemperatur war dabei eine recht constante, indem die Versuche in einem sehr grossen, nach Norden gelegenen ungeheizten Raume an trüben Wintertagen vorgenommen wurden.

In den folgenden Angaben sind die gewonnenen Resultate enthalten, wo z die Zahl der Eisendrähte in dem Eisen- und in dem Eisenmessingrohr, sowie t die Temperaturerhöhungen in Celsiusgraden für 7200 Schlüsse und Oeffnungen mit Berücksichtigung der Verluste nach aussen angibt.

Versuchsreihe I.

$$z = 76.$$

	Messing- rohr.	Eisen- rohr.	Eisen- messingr.
$t =$	0,014	0,120	0,282
	-0,020	0,083	0,239
	0	0,101	0,246
Mittel	-0,002	0,101	0,256

Versuchsreihe III.

$$z = 19.$$

	Messing- rohr.	Eisen- rohr.	Eisen- messingr.
$t =$	0	0,053	0,070
	-0,010	0,044	0,064
	0	0,045	0,051
Mittel	-0,003	0,047	0,062

Versuchsreihe II.

$$z = 38.$$

	Messing- rohr.	Eisen- rohr.	Eisen- messingr.
$t =$	0	0,104	0,172
	0	0,098	0,163
	0	0,081	0,163
	0	0,098	0,187
	0,02	0,098	0,177
Mittel	0	0,096	0,172

Versuchsreihe IV.

$$z = 76.$$

	Messing- rohr.	Eisen- rohr.	Eisen- messingr.
$t =$	0,009	0,137	0,229
	0	0,120	0,247
	0	0,154	0,276
	0,017	0,137	0,265
Mittel	0,007	0,137	0,254

Versuchsreihe V. $z = 76$.			Versuchsreihe VI. $z = 19$.		
Messing- rohr.	Eisen- rohr.	Eisen- messingr.	Messing- rohr.	Eisen- rohr.	Eisen- messingr.
$t = 0$	0,128	0,223	$t = 0,006$	0,037	0,060
0,001	0,137	0,235	0,006	0,055	0,057
0,010	0,146	0,241	0,010	0,046	0,058
Mittel	0,004	0,137	0	0,048	0,049
		0,233	0	0,036	0,049
			0,006	0,054	0,066
			Mittel	0,005	0,046
					0,056

Versuchsreihe VII. $z = 38$.		
	Messingrohr.	Eisenrohr. Eisenmessingrohr.
$t =$	0,001	0,133 0,184
	0,010	0,115 0,150
	0,001	0,115 0,136
	0,011	0,106 0,141
Mittel	0,006	0,117 0,153

Werden die für eine gleiche Anzahl Eisendrähte gefundenen Zahlen alle zusammen genommen, so ergibt sich im Mittel:

	Temperaturerhöhungen für das		
	Messingrohr.	Eisenrohr.	Eisen- messingrohr.
Je 19 Eisendrähte . .	0,002° C.	0,046° C.	0,058° C.
„ 38 „ . .	0,003	0,105	0,164
„ 76 „ . .	0,003	0,126	0,248

Mit diesen Mitteln zeigen die einzelnen Versuche eine für solche difficile Messungen hinreichende Uebereinstimmung.

Die Wasserwerthe der drei Thermometer sind dabei aber die folgenden gewesen, als Einheit das Kilogramm Wasser genommen:

	Wasserwerth für das		
	Messingrohr.	Eisenrohr.	Eisen- messingrohr.
Je 19 Eisendrähte . .	0,0420	0,0388	0,0395
„ 38 „ . .	0,0420	0,0400	0,0406
„ 76 „ . .	0,0420	0,0424	0,0427

Die entwickelten Wärmemengen betragen also in Wärmeeinheiten (bezogen auf das Kilo Wasser und 1° C.) bei 7200 Schlüssen und Oeffnungen für das

	Messingrohr.	Eisenrohr.	Eisen- messingrohr.
Je 19 Eisendrähte . .	0,00008	0,00178	0,00229
„ 38 „ . .	0,00013	0,00420	0,00666
„ 76 „ . .	0,00013	0,00534	0,01059

oder nach Abzug der als Correctur ansiehenden Werthe für das Messingrohr von den anderen Werthen:

	Wärmemenge für das	
	Eisenrohr.	Eisen- messingrohr.
Je 19 Eisendrähte	0,00170	0,00221
„ 38 „	0,00407	0,00653
„ 76 „	0,00521	0,01046

Diese Zahlen, meine ich, wären geeignet, die oben gestellte Frage, welche immer noch nicht endgültig entschieden ist, nunmehr mit grösster Wahrscheinlichkeit zu beantworten. Die Verwerthung verschieden zahlreicher Eisendrahtbündel bietet nämlich ein einfaches Mittel dar, die Wärmemengen, welche direct in den einzelnen Eisendrähten entstehen, zu trennen von den durch äussere Induction bewirkten Wärmeentwickelungen. Nimmt man für den Augenblick an, in allen Versuchen erfolge die Drehung der Molecularmagnete auf dieselbe Weise, so wird alle im einzelnen Eisendrahte dabei direct erzeugte Wärme, sei es durch Beschleunigung der Molecularmagnete, sei es durch Inductionsströme, welche die Drehung der Molecularmagnete in demselben Eisendrahte hervorruft, für ein n -faches Drahtbündel n -mal auftreten. Dagegen wird die Wärme, welche den von den Nachbardrähten herrührenden Inductionsströmen entspricht, angenähert mit n^2 proportional wachsen. Ebenso wird die Inductionswärme in dem Messingcylinder, der bei n Eisendrähten angenähert

die n -fache electromotorische Kraft inducirt erhält und stets denselben Widerstand darbietet, nahezu mit n^2 proportional sein. Da nun in Bezug auf äussere Inductionen bei den vorliegenden Versuchen wohl nicht zu bezweifeln ist, dass die in dem Messingcylinder erfolgende Inductionswärme die in den Eisendrähten durch gegenseitige Induction bewirkte Wärme ganz bei weitem überwiegt, so kann man die obigen Resultate zunächst nach einer einfachen Formel beurtheilen.

Es sei μ eine mit dem jedesmal hervorgerufenen magnetischen Momente eines Eisendrahtes proportionale Grösse und n die Anzahl der Eisendrähte, so ist die Wärme im Eisenrohr:

$$(1) \quad W_e = \mu^2 \cdot n$$

und die Wärme im Eisenmessingrohr:

$$(2) \quad W_m = \mu^2 n + k \mu^2 \cdot n^2,$$

wo k ein Zahlenfactor ist.

Aus beiden Gleichungen folgt:

$$(3) \quad \frac{W_m}{W_e} = 1 + kn,$$

welches die entscheidende Formel für die Beurtheilung der Versuche darstellt.

Die Gleichungen (1) und (2) einzeln betrachtet enthalten nämlich für geändertes n jedenfalls verschiedene Werthe von μ^2 , da das magnetische Moment hier natürlich von der stromlosen Ruhelage aus zu zählen und folglich unter Berücksichtigung der remanenten Magnetismen in doppelter Weise mit n variabel ist. Einmal ist der absolute Endwerth des erreichten Momentes für grösseres n , d. h. für dickere Bündel, kleiner, auf der anderen Seite aber ist der remanente Magnetismus für grösseres n auch entschieden kleiner. Beide Ursachen wirken im vorliegenden Falle, wie die Versuchsergebnisse zeigen, dahin zusammen, dass μ^2 für 38 Drähte grösser, für 76 dagegen schon wieder kleiner ist, als für 19 Drähte.

Von diesen Veränderungen an μ^2 ist die Formel (3)

unabhängig. Berechnet man nun nach dieser Formel die Versuche in der Art, dass die Werthe von W_c den Beobachtungen gemäss angesetzt und $k = 0,014$ genommen wird, so ergeben sich für W_m den beobachteten Werthen gegenüber die folgenden berechneten Werthe:

		W_c	W_m	W_m
		beobachtet.	beobachtet.	berechnet.
Je 19	Drähte . .	0,00170	0,00221	0,00215
„ 38	„ . .	0,00407	0,00653	0,00624
„ 76	„ . .	0,00521	0,01046	0,01075

Die Uebereinstimmung zwischen Beobachtung und Berechnung muss mit Rücksicht auf die diffilen Versuche eine fast vollständige genannt werden.

Für eine genauere Auffassung müsste übrigens etwas anders als in der vorstehenden Weise gerechnet werden. Bei einem bestimmten n ist nämlich das hervorgerufene magnetische Moment der Eisendrähte im Eisenrohr und im Eisenmessingrohr allerdings dasselbe, ein gleiches gilt aber nicht ohne weiteres für den diesem Momente entsprechenden Erwärmungswerth μ^2 , wie es oben vorausgesetzt wurde. Die Drehung der Molecularmagnete erfolgt nämlich in dem Eisenmessingrohr in Folge der vorwiegenden Induction, welche rückwärts dämpft, langsamer als im Eisenrohr, ob schon die Endwerthe der Drehung für beide Rohre dieselben sind. Danach ist jedenfalls alle Inductionswärme im Eisenmessingrohr entsprechend vermindert. Die der Beschleunigung der Molecularmagnete selbst entspringende Wärme hingegen bleibt in dieser Hinsicht zweifelhaft. Soweit die Drehung durch überschüssige Kräfte nach der einen oder anderen Seite erfolgt, vermindert eine langsamere Drehung gleichfalls die zugehörige Wärmeentwicklung, wogegen die Epoche des überschüssigen Wirkens der Kräfte für langsamere Drehung selbst verlängert wird.

Aus all dem ergibt sich, dass streng genommen statt der Gleichungen (1) und (2) die folgenden anzuwenden wären:

$$(4) \quad W_e = \mu^2 \cdot n,$$

$$(5) \quad W_m = \mu_1^2 \cdot n + k \mu_1^2 \cdot n^2,$$

wo μ_1 einen anderen Werth als μ bedeutet.

An Stelle von (3) träte deshalb:

$$(6) \quad \frac{W_m}{W_e} = \left(\frac{\mu_1}{\mu}\right)^2 (1 + kn).$$

Die Anwendung dieser Formel auf die Versuchsergebnisse ergibt im Durchschnitt als wahrscheinlichsten Werth für $\left(\frac{\mu_1}{\mu}\right)^2 = 1,07$ und für $k = 0,012$. Hiermit und mit den der Beobachtung direct entnommenen Werthen von W_e erhält man gegenüber den beobachteten Werthen von W_m die folgenden berechneten.

	W_e beobachtet.	W_m beobachtet.	W_m berechnet.
Je 19 Drähte . .	0,00170	0,00221	0,00223
„ 38 „ . .	0,00407	0,00653	0,00643
„ 76 „ . .	0,00521	0,01046	0,01066

Hier ist die Uebereinstimmung zwischen Beobachtung und Rechnung noch etwas grösser als in der obigen Annäherungsrechnung. Indessen ist der Unterschied zwischen μ^2 und μ_1^2 doch sehr gering, da ihr Verhältniss nur um 7% von der Einheit abweicht, und zudem liegt noch, wohl gegen die Erwartung, der Werth von μ_1^2 über dem von μ^2 . Es traf deshalb die obige Annäherungsrechnung im wesentlichen bereits den richtigen Sachverhalt.

Hiernach ist nun mit genügender Annäherung an die Wahrheit die beobachtete Differenz $W_m - W_e$ die Wärmeentwicklung durch Inductionsströme im Messingcylinder und W_e die von aller äusseren Induction freie Wärmeentwicklung in den einzelnen Eisendraht. In dem letzteren Quantum wäre nun noch die directe Wärmeentwicklung durch Beschleunigung der Molecularmagnete von der Inductionswärme zu unterscheiden, welche im Innern jedes Eisendrahtes selbst durch die in demselben Drahte erfol-

gende Drehung entsteht. Diese Inductionswärme kann aber bei der sehr geringen Dicke der Drähte keinesfalls von ähnlicher Grösse sein, wie die Inductionswärme, welche gleichzeitig im Messingcylinder entsteht; und da letztere durch $W_m - W_i$ ausgedrückt kleiner oder höchstens (im Falle der 76 Drähte) gleich W_i ist, so kommt also für W_i selbst alle innere Inductionswärme wenig in Betracht. Die Werthe von W_i sind also jetzt mit genügender Annäherung die durch Beschleunigung der Molecularmagnete entstandenen Wärmemengen.

Ich halte es demgemäss nunmehr für zweifellos, dass es nicht nur eine messbare Wärmeentwicklung direct in Folge magnetischer Molecularbewegung gibt, sondern dass diese Wärmeentwicklung sogar eine gar nicht unerhebliche ist.

Mit Bezug auf den letzteren Punkt möchte ich noch hervorheben, dass, wenn man die directe magnetische Wärmeentwicklung ganz oder doch zu einem bedeutenden Theile den beim Drehen erlangten Geschwindigkeiten der Molecüle und nicht ausschliesslich einer vermittelnden Reibung zuweisen will, die Grösse der Wärmeentwicklung zu dem Schlusse führen dürfte, dass die Molecularmagnete in oscillirender Weise sich um die jedesmal angestrebten Gleichgewichtslagen bewegen, und dass die Oscillationsdauer dabei eine sehr kleine ist. Dieses Ergebniss scheint mir nicht uninteressant zu sein.

Darmstadt, den 20. März 1878.

II. Ueber Wärmeentwicklung durch Drehen von electrolytischen Molecülen; von Hermann Herwig.

§. 1. In einer jüngst veröffentlichten Arbeit¹⁾ habe ich die Vorgänge näher studirt, welche beim Laden einer polari-

¹⁾ Wied. Ann. II. p. 566.