

---

I. *Ueber das Gesetz der Induction bei paramagnetischen und diamagnetischen Substanzen* <sup>1)</sup>;  
*von Plücker.*

---

## §. 1.

## Theoretisches.

I. Nachdem Hr. Faraday durch eine neue Reihe von Experimental-Untersuchungen dem Magnetismus die Bedeutung einer allgemeinen Naturkraft und ihm zum Begleiter den Diamagnetismus gegeben hatte, lag der Gedanke nahe, in analoger Weise, wie das specifische Gewicht der Körper durch Zahlen ausgedrückt wird, so auch durch Zahlen den specifischen Magnetismus der verschiedenen (paramagnetischen und diamagnetischen) Körper unabhängig von Größe und Gestalt derselben auszudrücken <sup>2)</sup>. Hiernach würde für jeden Körper der specifische Magnetismus eine charakteristische Constante, wie es das specifische Gewicht ist. Dieses letztere bleibt unverändert dasselbe, wenn, für verschiedene Punkte der Erde, die Anziehungskraft derselben sich ändert; es würde auch dann dasselbe bleiben, wenn wir die Bestimmung desselben auf einem andern Planeten machen könnten. Indem wir nämlich das Gewicht des Wassers bei gegebenem Volumen als Einheit nehmen, und damit das Gewicht der andern Körper bei gleichem Volumen vergleichen, kommt es nicht

1) Die Resultate dieser Abhandlung sind bereits der Britischen Association zu Hull am 12. Sept. vorgelegt worden und so bereits in ausländische Journale übergegangen.

2) Ueber Intensitätsbestimmung der magnetischen und diamagnetischen Kräfte. 10. Juni 1848. Annalen Bd. LXXIV. S. 321.

darauf an, unter welchen Gravitäts-Verhältnissen die Gewichts-Bestimmungen gemacht werden, vorausgesetzt nur, daß jene Verhältnisse für alle Körper dieselben seyn. Die Gravitation wird dabei eliminirt, specifisches Gewicht und Dichtigkeit werden identische Begriffe. Als geringere oder größere Annäherung gilt Analoges auch für den specifischen Magnetismus der meisten Körper. Sobald er nicht, wenigstens innerhalb gewisser Gränzen und zwischen diesen wenigstens annäherungsweise, von der Größe der inducirenden Kraft unabhängig ist, kann eigentlich von einem specifischen Magnetismus in obigem Sinne keine Rede mehr seyn.

2. Die Wärmemenge, die einem Körper zugeführt werden muß, um eine bestimmte Temperatur-Erhöhung desselben hervorzubringen, ist verschieden nach der Temperatur, die der Körper bereits hat. Die specifische Wärme eines Körpers ist kein ganz absoluter Begriff, sie wird durch eine Zahl ausgedrückt, die von der Temperatur des Körpers abhängt. In ganz gleicher Weise ist das Vermögen einer Substanz neuen Magnetismus anzunehmen abhängig von dem bereits angenommenen Magnetismus und hiernach *der specifische Magnetismus Function der Größe der inducirenden Kraft*.

3. Ich habe in dem Nachstehenden meine bisherige Anschauung festgehalten, daß der Zustand der verschiedenen Körper, bei paramagnetischer und diamagnetischer Erregung, ein vollkommen identischer sey. Nur wenn wir auf die Induction, welche diesen Zustand hervorruft, zurückgehen, ergiebt sich ein Gegensatz in der auftretenden Polarität. In dem Falle diamagnetischer Substanzen leitet sich aus ihrer *Abstoßung* durch den inducirenden Magneten, ebenso der specifische Magnetismus ab, wie dieses in dem Falle paramagnetischer Substanzen aus ihrer *Anziehung* durch den inducirenden Magneten geschieht.

4. Ein indirecter Beweis der obigen Behauptung, daß der specifische Magnetismus der Körper mit der Stärke der Induction sich ändere und zwar, für verschiedene Sub-

stanzen, in verschiedener Progression, liefern die vielen zum Theil überraschenden Beobachtungen, auf welche ich zuerst die Aufmerksamkeit der Physiker gelenkt habe, in welchen, bei wachsender Kraft des inducirenden Magneten, gewisse Körper, die aus paramagnetischen und diamagnetischen Substanzen gemengt sind, anfangs angezogen, dann abgestoßen werden. Für die beobachteten Fälle steht es unumstößlich fest, *dafs die Abstofsung der diamagnetischen Substanzen rascher bei zunehmender Kraft wächst und also auch rascher bei abnehmender Kraft sich vermindert, als die Anziehung der magnetischen Substanzen.* Es ist dieses ein *mathematischer* Ausdruck für die beobachtete Erscheinung, wobei nur die, bei manchen der angezogenen Versuche unzweifelhafte, Voraussetzung gemacht wird, *dafs die paramagnetische Erregung der einen Substanz und die diamagnetische der andern keine gegenseitige Einwirkung auf einander ausüben.*

5. In meiner theoretischen Auffassung habe ich dieses Gesetz keinesweges als *eine Unterscheidung zwischen paramagnetischen Substanzen und diamagnetischen* angesehen. Zwei kreuzweise verbundene Stäbe, der dickere von Stahl, der dünnere von Eisen, so aufgehängt, *dafs sie in der Horizontal-Ebene frei schwingen können, richten sich, bei zunehmender inducirender Kraft (bei allmäliger Annäherung an einen starken Magnetpol) anfänglich nach der Axe des Eisenstabes, später nach der Axe des Stahlstabes. Beim Stahle nimmt der inducirte Magnetismus in rascherem Verhältnisse zu und ab als beim Eisen.* Wir werden sehen, wie diese Analogie der allgemeinen Erklärung der fraglichen Erscheinungen wenig förderlich war.

6. Um das mathematische Gesetz der 4. Nummer zu einem physikalischen umzugestalten, können wir nur Hypothesen setzen, die um so mehr Grund gewinnen, je einfacher sie die verschiedenen Beobachtungen mit einander verknüpfen. Die Hypothese, welche am nächsten liegt, ist anzunehmen, *dafs der inducirte Magnetismus dem induci-*

renden proportional sey, dafs beide sich zu einander wie Ursach und Wirkung verhalten. Bezeichnen wir demnach die Intensität des inducirenden Magneten durch  $M$ , so ist die Intensität des in einem genäherten Körper inducirten Magnetismus

$$\lambda M$$

und demnach die resultirende Anziehung oder Abstofsung

$$\lambda M^2$$

also proportional dem Quadrate der Intensität des inducirenden Magneten.

7. Wenn die Voraussetzung zulässig ist, dafs die inducirende Kraft von einem Punkte ausgeht und dann das Vorstehende auf die Einheit der Entfernung bezogen wird, so wird, bei der Entfernung  $r$  die inducirende Kraft  $\frac{M}{r^2}$  mithin der inducirte Magnetismus

$$\frac{\lambda M}{r^2}$$

und die resultirende Anziehung oder Abstofsung

$$\frac{\lambda M^2}{r^4},$$

also umgekehrt der vierten Potenz der Entfernung proportional.

8. Wir wollen zuerst annehmen, dafs der angewandte Magnet von unveränderlicher Kraft sey und dafs gleiche kleinste Massentheilchen  $dm$  der in magnetischer Hinsicht zu untersuchenden Substanzen nach einander in dieselbe Lage gegen die Pole des Magneten gebracht werden. Dann können wir den in diesem Massentheilchen inducirten Magnetismus durch Ausdrücke von der Form

$$M \lambda dm$$

darstellen. In diesen Ausdrücken ändert sich, von einer Substanz zu einer andern, der Werth von  $\lambda$ . Diesen Werth von  $\lambda$  wollen wir den jedesmaligen *Inductions-Coëfficienten* nennen.

9. Wenn wir irgend eine Substanz zum Vergleichungspunkte nehmen, etwa das Eisen (wie bei der Bestimmung des specifischen Gewichts das Wasser), und den Inductions-

Coëfficienten für das Massentheilchen desselben durch  $\lambda'$  bezeichnen, so ist der Quotient  $\frac{\lambda}{\lambda'}$  der *specifische Magnetismus* des Massentheilchens der jedesmaligen Substanz. Derselbe Quotient ergibt sich aber auch, wenn wir die magnetische Anziehung oder diamagnetische Abstofsung des Massentheilchens der zu untersuchenden und der ein für alle Mal zur Vergleichung gewählten Substanz, ausgedrückt durch

$$M^2 \lambda dm \qquad M^2 \lambda' dm,$$

in einander dividiren.

10. Wenn der Inductions-Coëfficient für alle Massentheilchen eines dem Magneten genäberten Körpers derselbe wäre und nun  $M$ , mit der Entfernung, sich änderte, so könnten wir den beiden Substanzen, der zu untersuchen und der ein für alle Mal zur Vergleichung gewählten, *dieselbe*, übrigens ganz beliebige Form und Dimension geben und in *dieselbe*, ganz beliebige Lage gegen den Magneten bringen. Alsdann wäre der specifische Magnetismus der erstgenannten Substanz durch den Quotienten gegeben, den wir erhalten, wenn wir die beobachtete, in Gewichten ausgedrückte endliche Anziehung oder Abstofsung dieser Substanz durch die Anziehung der andern dividiren.

11. Von dieser Voraussetzung bin ich in meiner Abhandlung von 1848 ausgegangen. Später, mit sehr vervollkommneten Beobachtungsmitteln, habe ich, in eben dieser Voraussetzung, den specifischen Magnetismus des Sauerstoffgases bestimmt. Aber, von Anfang an, habe ich mich gegen die *absolute Richtigkeit* der obigen Voraussetzung — ohne welche überhaupt eine eigentliche Vergleichung der Fähigkeit verschiedener Substanzen, Magnetismus aufzunehmen, nicht stattfinden kann und der Begriff des specifischen Magnetismus keine allgemeine Bedeutung mehr hat — verwahrt. Es liegt mir zunächst ob, auf neue Beobachtungen gestützt, dieser Verwahrung ihre volle Entwicklung zu geben, wodurch, wie ich glaube, die bishe-

rige Auffassung der magnetischen und diamagnetischen Erscheinungen eine wesentliche Umgestaltung erleiden wird.

12. Die Frage über die Constanz des Inductions-Coëfficienten  $\lambda$  knüpft sich an die Discussion der beiden Gesetze der 6ten und 7ten Nummer, namentlich des ersteren. Diese Gesetze müssen nothwendiger Weise fallen, sobald der Coëfficient  $\lambda$  nicht von  $M$ , der Intensität der magnetischen Wirkung, unabhängig ist. Wenn diese Unabhängigkeit nicht besteht, so folgt daraus, dafs in demselben Körper der Werth von  $\lambda$  sich auch mit der Lage des Massentheilchens gegen den Magneten ändert. Dann ist, wenn wir überhaupt voraussetzen dürfen, dafs die ganze inducirende Wirkung von einem einzigen Punkte ausgehe, in dem Integral

$$M \int \frac{\lambda dm}{r^2},$$

welches den in einem gegebenen Körper hervorgerufenen Magnetismus ausdrückt,  $\lambda$  Function von  $r$ . Hierin liegt ein nicht ganz zu beseitigender Fehler, wenn wir aus der beobachteten Anziehung oder Abstofsung, welche der Magnet auf Körper von endlichen Dimensionen ausübt, die Aenderungen, die der Werth von  $\lambda$  erleidet, ableiten wollen.

13. Die nächste Schwierigkeit für die Discussion des Gesetzes der 6. Nummer liegt in der Unmöglichkeit, die Intensität der magnetischen Kraft, welche die inducirende Wirkung ausübt, anders als in der Annahme, dafs, für eine Substanz wenigstens,  $\lambda$  constant sey, direct zu messen. Und indirecte Messungen, indem man den Magneten unter der Einwirkung einer constanten magnetischen Kraft, des Erdmagnetismus zum Beispiel, schwingen läfst, reichen, wenn sie überhaupt anwendbar sind, bei starker Wirkung nicht aus. In dem folgenden Verfahren wird diese Schwierigkeit eliminirt.

14. In einer Rinne, nach dem magnetischen Meridiane gerichtet, sind zwei möglichst gleiche Magnete von gehärtetem Stahle verschiebbar, zwischen welchen, in der ge-

meinschaftlichen Axenrichtung derselben, ein kleines Eisenstäbchen an einem Faden aufgehängt ist, das, wenn es unter dem Einflusse der beiden Magnete, oder eines derselben magnetisch wird, um die Gleichgewichtslage frei schwingen kann. Nachdem die Anzahl der Schwingungen  $n$ , die es unter der Einwirkung eines der beiden Magnete, in einer gegebenen Zeit macht, bestimmt worden ist, wird dieser Magnet fortgenommen und, auf der andern Seite des Stäbchens, der andere Magnet mit dem entgegengesetzten Pole so lange genähert, bis das Stäbchen wieder dieselbe Anzahl von Schwingungen macht und also, bei gleicher Polarität, eben so stark magnetisch geworden ist, als zuvor. Wenn man hiernach beide Stahlmagnete zugleich auf das Stäbchen wirken läßt, so befindet es sich unter der doppelten inducirenden Kraft. Dann verlangt das obige Gesetz, daß der inducirte Magnetismus doppelt, die Anziehung viermal so groß sey. Es müßte also das Stäbchen in derselben Zeit  $16 n$  Schwingungen machen. (Bei einiger Entfernung darf wohl angenommen werden, daß die möglichst stark magnetischen Stahlstäbe nicht merklich inducirend auf einander wirken, was übrigens leicht, indem man die Stäbe, unter dem Einflusse des Erdmagnetismus, schwingen läßt, sich verificiren läßt).

15. Dieser Versuch ist einstweilen nur mit Herrn Fessel besprochen, nicht ausgeführt. Ich bin aber, auf Grund der später anzuführenden Versuche im Voraus überzeugt, daß die zu beobachtende Anzahl der Schwingungen hinter der bezeichneten Anzahl, die nur als ein Gränzwert h anzusehen ist, zurückbleiben wird und daß also die doppelte inducirende Kraft nicht den doppelten Magnetismus im Eisenstäbchen hervorruft. Wir müssen in diesem Stäbchen einen *Widerstand* <sup>1)</sup> annehmen, welcher der Hervorrufung des Magnetismus in demselben sich widersetzt.

1) Ich gebrauche hier das Wort »Widerstand« in demjenigen Sinne, in welchem man dieses Wortes sich bedienen würde, wenn man den Magnetismus als Bewegung auffaßt, der sich Hemmnisse irgend einer Art entgegenstellen; sehe hierin aber ein bloßes Bild, dem wir unsere

Ersetzen wir das Eisenstäbchen durch ein ganz gleiches Stäbchen von Nickel, Kobalt, Magneteisenstein, so erhalten wir, bei einfacher Kraft, *eine andere magnetische Intensität* und, bei verdoppelter Kraft, ein anderes Zurückbleiben gegen die 16 *n*-fache Schwingungszahl: *einen anderen Widerstand*.

16. Ich habe bei diesem Versuche hier ausführlicher verweilt, um die Frage bestimmter zu formuliren, und wende mich nun zu den Versuchen mit dem großen Elektromagneten zurück. Mein Verfahren, den Magnetismus der verschiedenen Substanzen zu bestimmen, weicht nicht wesentlich von dem, früher von mir befolgten und beschriebenen ab. Ich bediene mich einer Geißler'schen Glaswaage, welche recht gut eine Belastung von 60—80 Gramm auf jeder Seite verträgt und für ein Zehntel-Milligramm noch einen namhaften Ausschlag giebt, um die Anziehung, welche der Elektromagnet nach einander auf verschiedene Substanzen ausübt, die genau denselben Raum ausfüllen und genau in dieselbe Lage gegen den Magneten gebracht worden, zu bestimmen. Die von mir untersuchten Substanzen sind sämmtlich entweder gasförmig oder flüssig, oder, wenn sie fest sind, in möglichst feines Pulver zertheilt und in diesem letztern Falle, wenn die Anziehung zu stark ist, mit einer Mischung von Schmalz und etwas Wachs innigst verrieben. Sie werden nach einander in dasselbe Glasgefäß gebracht und dieses genau in gleicher Weise damit angefüllt. Die Form des Glases, von möglichst dünner Wandung, ist entweder die Kugelform oder eine solche, welche, bei einer geringern Masse der zu prüfenden Substanz, durch die größere Annäherung derselben an die Pole, eine verhältnismäßig stärkere Anziehung oder Abstofsung giebt. In diesem letztern Falle hat das Fläschchen einen längeren Hals, in dem ein leichter, mit einem Ringe zum Aufhängen versehener eingeschliffener Glasstöpsel möglichst

Ausdrucksweise anpassen. So lange müssen wir nothwendig eine solche bildliche Sprache reden, als wir in die eigentliche Natur des Magnetismus keinen Blick gethan.



genau paßt. Für die Schmalzmischungen ist der Hals weiter und kurz, und um diesen wird, wenn es gefüllt und abgestrichen ist, ein dünner Kupferring befestigt und dieser durch drei dünne Kupferdrähte, die oben in einen einzigen zusammenlaufen, getragen.

17. Auf die Polflächen des großen Elektromagneten werden die beiden schweren Halbanker so aufgelegt, daß sie mit ihren abgerundeten Enden einander bis auf  $5^{mm},5$  nähert und in dieser Entfernung durch ein dazwischen geklemmtes Messingstück festgehalten werden. Auf einem dieser Halbanker steht die Waage, an deren einem Arme das Glasgefäß so aufgehängt wird, daß es, wenn der Zeiger der Waage auf Null steht, die beiden Halbanker in denjenigen beiden Punkten ihrer oberen Flächen, die einander am nächsten liegen, berührt. Die Abwägungen geschehen nicht oberhalb der Pole und erst nachdem das Glasgefäß seitwärts äquilibrirt worden, wird es durch eine Drehung der Waage über die Pole gebracht. Nachdem die Kette geschlossen, wird das Glasgefäß entweder angezogen oder abgestoßen. Um die *Anziehung* zu bestimmen, werden auf die am anderen Arme der Waage hängende Schale kleine Gewichte so lange behutsam zugelegt, bis das Glasgefäß von dem Magneten abgerissen wird. Bei schwacher Wirkung wird, nach einer vorläufigen Bestimmung, ein Reuter von feinem Platindrahte,  $0^{gr},01$  schwer, auf einem der beiden, in 100 Theile eingetheilten, Arme der Waage vorsichtig bis zum Abreißen des Glases von den Polen fortgeschoben und dann differiren unmittelbar einander folgende Bestimmungen nicht um ein Milligramm. Bei stärkerer Wirkung (Füllung mit Eisenoxyd) ist eine größere Genauigkeit als ein Centigramm in den einzelnen Bestimmungen nicht erstrebt worden. Durch die dadurch bedingte längere Schließungsdauer des Stromes würde mehr verloren als durch eine größere Genauigkeit in der Bestimmung des zum Abziehen erforderlichen Gewichtes gewonnen. Wo die Wirkung am stärksten ist (bei starkem Strome und einer Füllung mit einer etwa ein Proc. Eisen

enthaltenden Schmalzmischung) kommen selbst mehrere Centigramm auf eine Anziehung von 40<sup>er</sup> und mehr nicht in Betracht. Nach jeder Bestimmung wird die Kette geöffnet.

18. Was die Bestimmung der *Abstofsung* diamagnetischer Substanzen betrifft, so ist das Verfahren ganz dasselbe, so lange der Diamagnetismus der Füllung geringer ist, als der schwache Magnetismus des Glasgefäßes. Dann ist die Anziehung des leeren Glases größer als die Anziehung des gefüllten, und wir müssen, umgekehrt wie früher, um die Abstofsung zu erhalten die letztere Anziehung von der ersteren abziehen. Wenn hingegen die diamagnetische Abstofsung der Substanz die magnetische Anziehung des Glasgefäßes überwiegt, wird dieses letztere, wie bisher, über den Polen ajustirt und Gewichte werden so lange von der Waagschale fortgenommen, bis, nach Schließung der Kette, der Elektromagnet nicht mehr im Stande ist, das aufliegende Glasgefäß abzustossen. Hier thut der Reuter wiederum seine guten Dienste. Unter günstigen Verhältnissen (beim Phosphor zum Beispiel), wenn namentlich die Waage nicht übermäßig belastet ist, weichen auch hier auf einander folgende Bestimmungen nicht um ein Milligramm ab; unter ungünstigen Umständen steigt diese Abweichung höchstens auf ein Centigramm. Im Jahre 1848 habe ich die Bestimmung der diamagnetischen Abstofsung, auch wenn sie stärker ist, durch Hinzufügung eines magnetischen Körpers auf die zuerst bezeichnete zurückgeführt, seitdem aber die Vorzüge des neueren Verfahrens erkannt.

19. Nach der, in den letzten Nummern beschriebenen Methode habe ich im Laufe der letzten Jahre eine große Menge von Bestimmungen gemacht, theils in der Absicht, Analogien zwischen dem magnetischen Verhalten der Körper und ihrer chemisch-atomistischen Zusammensetzung aufzufinden, theils zur Aufstellung eines allgemeinen Gesetzes der magnetischen Induction. Während ich die in der ersten Absicht gemachten Bestimmungen einer zweiten Mit-

theilung vorbehalte, werde ich, im zweiten Paragraphen der gegenwärtigen, die Resultate derjenigen Beobachtungen mittheilen und discutiren, die sich auf den zweiten Gegenstand beziehen und welche beweisen, daß der inducirte Magnetismus der Intensität des inducirenden Magneten *nicht* proportional wächst, sondern *daß, nach der Natur der verschiedenen Körper, dieses Wachsen einerseits einer solchen Proportionalität sich annähert, andererseits aber bald aufhört überhaupt merklich zu seyn.*

20. Wir erhalten auf diese Weise die volle experimentale Begründung für die frühere Behauptung, daß wir einen Widerstand annehmen müssen, welcher sich der zunehmenden Magnetisirung eines Körpers immer mehr widersetzt und demzufolge wir den in einem Massentheilchen  $dm$  inducirten Magnetismus der inducirenden Kraft  $M$  proportional setzen und durch

$$M\lambda dm$$

ausdrücken können. Innerhalb engerer oder weiterer Grenzen können wir diesen Widerstand annäherungsweise einer  $n$ ten Potenz des ohne ihn erregten Magnetismus proportional setzen und erhalten dann, statt des obigen Ausdruckes den folgenden:

$$(M\lambda - \mu M^n \lambda^n) dm = M\lambda (1 - \mu M^{n-1} \lambda^{n-1}) dm.$$

Es ist hierbei  $M$  eine Function der Entfernung des Massentheilchens  $dm$  von denjenigen Punkten, von welchen die inducirenden Kräfte ausgehen. Wenn sich diese auf eine von einem einzigen Punkte ausgehende Kraft reduciren lassen, so können wir  $M$  durch den Ausdruck  $\frac{m}{r^2}$  ersetzen, wobei  $r$  die Entfernung des Massentheilchens von dem Mittelpunkte der Kraft und  $m$  eine Constante bezeichnet.

21. Die Constante  $\lambda$  haben wir oben bereits den Inductions-Coëfficienten genannt, wir wollen  $\mu'$  den *Widerstands-Coëfficienten* nennen. Also nur in sofern wir  $\mu(M\lambda^{n-1})$  gegen die Einheit vernachlässigen können, bestimmen die

Werthe des Inductions-Coëfficienten  $\lambda'$  den specifischen Magnetismus der verschiedenen Substanzen.

22. Wenn  $n = 1$ , das heißt, wenn der Widerstand einfach dem inducirten Magnetismus proportional wäre, so reducirte sich der Werth der Inductions-Constanten dadurch auf  $(1 - \mu)\lambda$  und wir brauchten keinen Widerstand anzunehmen. Jede Substanz hätte dann ihren bestimmten specifischen Magnetismus, ganz unabhängig von der Größe der inducirenden Kraft. Es widerspricht dies geradezu unseren Beobachtungen.

23. Wenn  $n = 0$ , das heißt wenn ein constanter Widerstand  $\mu$  zu überwinden wäre, so müßten wir annehmen, daß erst wenn

$$M > \frac{\mu}{\lambda}$$

Inductionswirkung einträte und diese, wenn sie einmal eingetreten wäre, rascher als  $M$  zunähme, nämlich proportional mit  $(M - \frac{\mu}{\lambda})$ . Wenn wir aber auch das Erste als noch nicht entschieden widerlegt ansehen wollten, unsere Beobachtungen geben gerade das Gegentheil des Zweiten. Einen solchen constanten Widerstand entnahm ich früher aus Analogien, denen ich sonst aber keine Bedeutung beilegte und in der Sprache dieser Analogien mußte ich damals, als die neuen Bestimmungen noch nicht vorlagen, sagen »weil der inducirte Magnetismus diamagnetischer Substanzen mit der inducirenden Kraft rascher zunimmt als beim Eisen, ist der Widerstand bei erstern größer als beim letztern.« Hier bot sich das Verhalten des Stahles zum Eisen als Analogie des Verhaltens des Wis-muths zum Eisen dar.

Der Werth von  $\lambda$  ist von einer Substanz zur anderen veränderlich. Demnach müßten wir auch, in der fraglichen Unterstellung, bei schwach paramagnetischen Substanzen die beobachtete schnellere Zunahme des inducirten Magnetismus als Folge eines verhältnißmäßig größeren Widerstandes erklären.

24. Es kann  $n$  also nicht Null seyn, es kann überhaupt nicht kleiner, es muß *größer* als die Einheit seyn. Denn nur in dieser letzten Voraussetzung wächst die Intensität des inducirten Magnetismus langsamer als die inducirende Kraft. Nennen wir jene Intensität  $J$ , so giebt die Gleichung:

$$J = M\lambda (1 - \mu M^{n-1} \lambda^{n-1}) dm, \quad (\text{I.})$$

wenn wir differentiiren

$$\frac{dJ}{dM} = (\lambda - n\mu\lambda^n M^{n-1}) dm$$

und dieser Ausdruck wird, je nachdem  $n < 1$  oder  $n > 1$  bei zunehmendem  $M$ , im ersteren Falle kleiner im zweiten größer. Und somit sind wir gezwungen anzunehmen, daß bei dem magnetischen Eisen der Widerstand verhältnißmäfsig größer ist, als bei dem diamagnetischen Wismuth. So hat, indem die eine physikalische Auffassung an die Stelle der anderen getreten ist, das an und für sich ununstößliche Gesetz der 4. Nummer, eine Aussage erhalten, die der früheren *geradezu widerspricht*. Eine Analogie finden wir in dem Brechungsgesetz des Lichtes, welches als mathematischer Ausdruck für die Resultate der Beobachtung unangetastet geblieben ist; in der Undulationstheorie wird daraus der physikalische Satz abgeleitet, daß in dichteren Medien das Licht sich langsamer bewegt, während die Emissionstheorie früher gerade das Umgekehrte daraus folgerte.

25. Es ist also  $n > 1$ . Der Annahme, daß  $n = 2$ , steht entgegen, daß, wenn  $M$  durch Null hindurchgeht, die Polarität des inducirenden Magneten sich ändert und nachher, bei umgekehrter Polarität, sich Alles in gleichem Maafse wiederholt. Dem entsprechend dürfen in dem Ausdrucke für  $J$ , wenn wir ihn nach steigenden Potenzen von  $M$  entwickeln, nur die ungeraden Potenzen vorkommen. Demnach werden wir, indem wir  $n = 3$  nehmen, auf die folgende Gleichung geführt

$$J = \lambda M (1 - \mu \lambda^2 M^2) dm \quad (\text{II.})$$

und erhalten hiernach, wenn wir die Anziehung  $A$  nennen und durch  $z$  eine Constante bezeichnen, die von der Einheit abhängt, durch welche wir diese Anziehung messen

$$A = z \lambda M^2 (1 - \mu \lambda^2 M^2) dm. \quad (\text{III.})$$

26. Innerhalb derselben Gränzen, innerhalb welcher die vorstehenden Annäherungs-Gleichungen gelten, können wir dieselben, nach gehöriger Constanten-Bestimmung, auch mit den folgenden vertauschen

$$J = k \arctan \left( \frac{M}{c} \right) dm \quad (\text{IV.})$$

$$A = z M k \arctan \left( \frac{M}{c} \right) dm. \quad (\text{V.})$$

Die Gleichung IV. giebt, unter Vernachlässigung der fünften und der höheren Potenzen von  $M$ ,

$$J = k \frac{M}{c} \left( 1 - \frac{M^2}{3c^2} \right) dm$$

und stimmt mit der Gleichung II. überein, wenn wir

$$\lambda = \frac{k}{c}, \quad \mu = \frac{1}{3k^2}$$

setzen.

Bei paramagnetischen Substanzen ist  $\lambda$  und dem entsprechend  $k$  *positiv*, bei diamagnetischen *negativ* zu nehmen.

27. Die Kraft unseres Elektromagneten ist aber, bei der Art, wie wir uns desselben bedienen, und demnach ist auch der Werth von  $M$  zu groß, als dafs wir bei den beiden ersten Gliedern der Entwicklung von  $J$  stehen bleiben könnten. Die Gleichungen II. und III. versagen hier den Dienst, wir müssen mehr Glieder hinzunehmen. Dagegen stellen die Gleichungen IV. und V., als Annäherungsformeln wenigstens, die Beobachtungen gut dar, wenn sie nicht das Gesetz der magnetischen Induction selbst wirklich ausdrücken. Die beiden Constanten  $k$  und  $c$  erhalten hierbei für jede besondere paramagnetische und diamagnetische Substanz besondere Werthe.

28. Welches auch die inducirende Kraft sey, welche in einer Substanz magnetische Polarität hervorruft, ob ein Magnetpol oder ein magnetischer Strom, sie findet in der-

selben Substanz, bei gleich stark erregtem Magnetismus, immer denselben Widerstand. Demnach ist die in einem Eisenkern durch verschiedene Stromstärken hervorgerufene magnetische Kraft durch dieselbe Formel auszudrücken. Es ist, wenn wir den erregten Magnetismus durch  $M$ , die Stromstärke durch  $J$  und durch  $K$  und  $C$  zwei Constante bezeichnen

$$M = K \operatorname{arc} \left( \operatorname{tang} = \frac{S}{C} \right). \quad (\text{VI.})$$

Die Herren Lenz und Jacobi stellten zu einer Zeit, da genaue Beobachtungen noch unvergleichlich viel schwieriger waren als jetzt, das Gesetz auf, dafs die Stromstärke dem inducirten Magnetismus proportional sey. Das würde die vorstehende Gleichung auf das erste Glied ihrer Entwicklung reduciren und

$$\frac{M}{K} = \frac{S}{C}$$

geben. Unsere späteren Beobachtungen berechtigen uns für unseren grossen Hufeisen-Elektromagneten als erste Annäherung, aber nur für schwächere Ströme, dasselbe anzunehmen.

29. Hier tritt uns nun zunächst die Frage entgegen, nach welcher Einheit wir, für einen gegebenen Elektromagneten,  $M$  messen sollen. Dadurch namentlich, dafs die beiden Halbanker auf die Polflächen desselben aufgelegt und beliebig einander genähert werden, vergrößert sich gewissermassen die inducirte Eisenmasse und die gegenseitige Induction der beiden Pole wächst mit der Annäherung derselben. Es ist am natürlichsten anzunehmen, dafs auch diese secundären Inductions-Wirkungen, wie es die ursprüngliche ist, der jedesmaligen Stromstärke annäherungsweise proportional seyen, und dafs demnach, an welcher Stelle des Elektromagneten wir die Erregung nehmen mögen, diese mit dem Strome in gleichem Verhältnisse wachse, und wir also die Gröfse dieser Erregung aus der Anziehung ableiten können, die der Elektromagnet auf ein Massentheilchen in einer festen, sonst aber ganz beliebigen Lage gegen denselben ausübt. Statt des einzelnen Mas-

sentheilchens nehmen wir eine Substanz, die den inneren Raum unseres Fläschchens ausfüllt, welches aufstehend, jeden der beiden in fester Entfernung gehaltenen Halbanker in einem einzelnen Punkte berührt. Wir machen hierbei nothwendig einen neuen Fehler (12), und wenn wir ein Fläschchen mit einem ähnlichen von verschiedener Form und verschiedenem Volumen, aber gefüllt mit derselben Substanz vertauschen, so ist die Zunahme der Anziehung bei wachsender Stromstärke eine andere. Doch geben die Beobachtungen diese Aenderung in der Zunahme so klein, daß auch jener Fehler nicht sehr bedeutend seyn kann.

30. Wir wollen die Stromstärke eines Grove'schen Elementes, das durch den langen Kupferdraht, der das Hufeisen umwindet, geschlossen ist, als Einheit nehmen. Dann giebt die Gleichung VI. für den bei dieser Stromstärke in dem Eisen inducirten Magnetismus

$$\frac{1}{K} = \text{arc} \left( \text{tang} = \frac{1}{C} \right). \quad (\text{VII.})$$

Nach dem Vorstehenden messen wir denselben durch diejenige Kraft, die es auf das auf den beiden Halbankern aufstehende Fläschchen ausübt. Diese Kraft nehmen wir als Einheit und in derselben Einheit müssen wir alsdann  $M$  in der allgemeinen Gleichung VI. ausdrücken.

Wir können diese Gleichung und die vorstehende auch unter folgende Form bringen

$$\frac{S}{C} = \text{tang} \left( \frac{M}{K} \right) \quad (\text{VIII.})$$

$$\frac{1}{C} = \text{tang} \left( \frac{1}{K} \right) \quad (\text{IX.})$$

mithin kommt

$$S \text{ tang} \left( \frac{1}{K} \right) = \text{tang} M \left( \frac{1}{K} \right)$$

und wenn wir zu Logarithmen übergehen

$$\log \text{tang} \left( \frac{1}{K} \right) + \log S = \log \text{tang} M \left( \frac{1}{K} \right) \quad (\text{X.})$$

Wir können leicht durch Hülfe der Tafeln einen Bogen finden, dessen Tangentenlogarithmus um die GröÙe  $\log S$



log  $S$  wächst, wenn er selbst den  $M$ fachen Werth erhält. Dieser Bogen ist dann die Constante  $(\frac{1}{K})$ , wonach die Gleichung IX. sogleich die zweite Constante  $\frac{1}{C}$  giebt.

Stromstärke und inducirter Magnetismus sind hier, in Gemäfsheit der Bestimmung der beiderseitigen Einheiten, beide zugleich Eins. Kennen wir außerdem noch irgend zwei zusammengehörige Werthe von  $M$  und  $S$ , so ist die Bestimmung der beiden Constanten der allgemeinen Gleichung VI. vollständig.

31. Nach diesen vorläufigen Erörterungen wenden wir uns zu unserer eigentlichen Aufgabe zurück: zur Bestimmung des in einem beliebigen Körper durch unseren starken Elektromagneten hervorgerufenen Magnetismus.

An der Stelle der Gleichungen III. und IV. treten nun die folgenden

$$\frac{J}{k} = \text{arc tang} \left( \frac{M}{c} \right) \quad (\text{XI.})$$

$$\frac{A}{zkM} = \text{arc tang} \left( \frac{M}{c} \right) \quad (\text{XII.})$$

welche wir auch folgendergestalt schreiben können:

$$\frac{M}{c} = \text{tang} \frac{J}{k} \quad (\text{XIII.})$$

$$\frac{M}{c} = \text{tang} \frac{A}{zkM} \quad (\text{XIV.})$$

In dieser letzten Gleichung sey  $A$  in Grammen ausgedrückt und bei der Anwendung eines Grove'schen Elementes, also für  $M=1$ ,  $\frac{A}{z}$  ebenfalls der Einheit gleich.  $z$  ist also dieselbe Anziehung in Grammen ausgedrückt. Dann kommt

$$\frac{1}{c} = \text{tang} \frac{1}{k} \quad (\text{XV.})$$

und wenn wir überhaupt  $\frac{A}{z} = P$  setzen

$$\frac{M}{c} = \text{tang} \left( \frac{P}{M} \right) \left( \frac{1}{k} \right) \quad (\text{XVI.})$$

Analog wie oben bestimmt sich also auch hier, wenn wir au-

fer der Einheit noch irgend zwei sich entsprechende Werthe von  $M$  und  $P$  kennen, durch die logarithmische Gleichung:

$$\log \operatorname{tang} \left( \frac{1}{k} \right) + \log M = \log \operatorname{tang} \left( \frac{P}{M} \right) \left( \frac{1}{k} \right) \quad (\text{XVII.})$$

die Constante  $k$  und dann durch die Gleichung (XV.) die andere Constante  $c$ .

Die Gleichungen (XI) und (XIII) sind dann vollkommen bestimmt; wir können sie auch unter den folgenden Formen schreiben:

$$J = \frac{\operatorname{arc} \left( \operatorname{tang} = \frac{M}{c} \right)}{\operatorname{arc} \left( \operatorname{tang} = \frac{1}{c} \right)} \quad (\text{XVIII.})$$

$$M = \frac{\operatorname{tang} \left( \frac{J}{k} \right)}{\operatorname{tang} \left( \frac{1}{k} \right)}. \quad (\text{XIX.})$$

32. Nach den vorstehenden Erörterungen giebt es für jede Substanz einen *Sättigungspunkt für Magnetismus*. Denn der größte Werth  $J_{\infty}$ , den  $J$  überhaupt annehmen kann,  $M = \infty$  entsprechend, ist

$$J_{\infty} = \frac{k\pi}{2} = \frac{\pi}{2\sqrt{3\mu}}$$

wonach

$$\mu = \frac{\pi^2}{12 J_{\infty}^2}.$$

Die *Widerstands-Constante*  $\mu$  (21.) bestimmt sich also lediglich durch den Sättigungspunkt und dieser durch jene.

33. Durch Differentiation der Gleichung (XI.) ergibt sich

$$\frac{dJ}{dM} = \frac{\kappa}{c} \cdot \frac{c^2}{c^2 + M^2} = \frac{k}{c} \cos^2 \frac{J}{k}$$

und wenn wir insbesondere  $M$  und demnach auch  $J$  gleich Null setzen

$$\frac{dJ}{dM} = \frac{k}{c} = \lambda.$$

34. Der Begriff des *specifischen Magnetismus* einer Substanz hat, nach dem Vorstehenden, keine Bedeutung mehr, sobald wir nicht von einer constanten, ein für alle

Mal gegebenen inducirenden Kraft ausgehen. Er schwankt (9.), wenn diese Kraft von 0 bis  $\infty$  wächst und wir  $k$ ,  $\lambda$ ,  $\mu$  auf die jedesmalige Substanz,  $k'$ ,  $\lambda'$ ,  $\mu'$  auf die zur Vergleichung genommene beziehen, und den specifischen Magnetismus bei der Einheit der inducirenden Kraft  $\sigma$  nennen, zwischen den Gränzen:

$$\frac{\lambda}{\lambda'} \sigma \quad \text{und} \quad \frac{k}{k'} \sigma \equiv \sqrt{\frac{\mu'}{\mu}} \cdot \sigma.$$

#### Beobachtungen und numerische Resultate.

35. Da kein Mittel vorlag, die Kraft des Elektromagneten bei steigender Erregung zu messen, so war die Nothwendigkeit gegeben, zur Vergleichung der Stromstärke, welche zu dieser Erregung angewandt wurde, zurückzugehen. Aber auch dieses durch directe Messungen zu thun habe ich für unsere Zwecke nicht für angemessen gehalten, um so weniger bei der großen Stärke des Stromes. Denn um zu erkennen, ob, bei einer gegebenen Anzahl von stromerregenden Elementen, die magnetische Kraft dieselbe geblieben, ist die Bestimmung der Anziehung, welche auf ein und dasselbe, mit einer unveränderlichen Normalsubstanz, ein für alle Mal gefülltes Gefäß ausgeübt wird, nicht nur viel genauer, sondern es tritt auch noch der Umstand hinzu, daß die Art wie die Anker auf den Elektromagneten aufgelegt werden, einen eben so bedeutenden Einfluß auf die Größe der wirksamen magnetischen Kraft ausübt, als die Stromstärke selbst, und von dieser unabhängig ist. Anfänglich habe ich die Stromerregung wachsen lassen durch Vermehrung der, zu einer Kette verbundenen, einzelnen Grove'schen Elemente. Dieses fordert die Bestimmung von Widerstands-Constanten, um nach dem Ohm'schen Gesetze, ohne weitere Messungen, die Stromstärke der, unter einander gleichen, zu einer Kette verbundenen Elemente bestimmen zu können. Da wir indess hier nur eines einfachen, doppelten, dreifachen, vierfachen Stromes bedürfen, so können wir, mit Umgehung jeder Constanten-Bestimmung, nach dem Ohm'schen Gesetze dieses

einfach dadurch erreichen, daß wir einmal ein einziges Element, dann vier Elemente paarweise zu einer zwei-elementigen Kette, neun zu drei und drei zu einer drei-elementigen, sechzehn zu vier und vier zu einer vier-elementigen Kette verbinden.

36. Die Tröge wurden immer auf dieselbe Weise behandelt. Bei allen nachstehend mitzutheilenden Beobachtungen wurde frische käufliche Salpetersäure angewandt und die Schwefelsäure mit dem Zwölffachen ihres Volumens durch Wasser verdünnt. Die porösen Thongefäße (ich fand die Berliner allen anderen vorzuziehen) wurden, nach dem Gebrauche, einige Stunden in Wasser gelegt und dann ein paar Tage an der Luft getrocknet. Die Salpetersäure wurde zuerst in die Gefäße gegossen und diese wurden erst dann, wenn sie von derselben durchzogen waren, in die verdünnte Schwefelsäure gebracht.

Die Tröge wurden durchgehends zuerst zu der stärksten Kette verbunden und dann erst in schwächere Ketten und einzeln zur Stromerregung angewendet.

Auf diese Weise gab an verschiedenen Tagen ein einzelnes Element und dieselbe Kettenverbindung so übereinstimmende Resultate, daß die Abweichungen mehr vielleicht auf zufällige, nicht ganz zu vermeidende Fehler (namentlich auf das verschiedene Aufliegen des Glases auf den einander genäherten Halbanker, wenn dieses nicht die Kugelform hatte und, mit stark magnetischen Substanzen gefüllt, durch diese gerichtet wurde) kommen, als auf die verschiedene Erregung. Dadurch ist es uns zugleich gestattet, aus Versuchen, die zu verschiedener Zeit angestellt wurden, ein Mittel zu nehmen.

37. Der Raum gestattet nicht, die große Anzahl der vorliegenden Beobachtungen vollständig mitzutheilen. Selbst die auf den vorliegenden Gegenstand unmittelbar bezüglichen sind noch zu zahlreich, als daß sie hier sämmtlich und in dem Zusammenhange, in welchem sie gemacht wurden, mitgetheilt werden könnten. Nur um ein Urtheil über die Beobachtungs-Methode möglich zu machen, theile

ich hier beispielsweise zwei vollständige Beobachtungsreihen, jedoch ohne alle Reductionen, mit.

Erste Beobachtungsreihe.

Viermal vier Tröge.

1. Fläschchen I. mit dem Normal-Eisenoxyd gefüllt, reißt ab bei einer Belastung von	14 <sup>gr</sup> ,62
2. Fläschchen II. mit Nickeloxyd bei . . .	17 ,18
3. Anziehung des leeren Fläschchens II <sup>1)</sup> .	0 ,013
4. Fläschchen II. mit Wismuthpulver gefüllt im Gleichgewicht bei einer Belastung von	56 ,556
5. Geht ab von den Polen bei . . . . .	55 ,32
6. Normalfläschchen . . . . .	14 ,66
7. Fläschchen II. mit Wismuth . . . . .	55 ,33

Dreimal drei Tröge.

8. Dasselbe Fläschchen II. . . . .	55 ,63
9. Normalfläschchen . . . . .	13 ,72
10. Fläschchen II. mit Wismuth . . . . .	55
11. Normalfläschchen . . . . .	13 ,82
12. Fläschchen mit Wismuth . . . . .	55 ,63

Zweimal zwei Tröge genommen von den übrigen sieben.

13. Dasselbe Fläschchen . . . . .	56 ,07
14. Normalfläschchen . . . . .	12 ,05
15. Fläschchen mit Wismuth . . . . .	56 ,07
16. Normalfläschchen . . . . .	12 ,06

Einzelne Tröge (die drei übrigen gaben fast ganz übereinstimmend).

17. Normalfläschchen . . . . .	10 ,65
18. Fläschchen mit Wismuth . . . . .	56 ,42

Die früheren dreimal drei Tröge.

19. Dasselbe Fläschchen . . . . .	55 ,64
20. Normalfläschchen . . . . .	13 ,74

Alle 16 Tröge als Kette.

21. Dasselbe Fläschchen . . . . .	16 ,05
22. Fläschchen mit Wismuth . . . . .	54 ,92

1) Diese Anziehung war bereits früher bei einfacher, doppelter und dreifacher Stromstärke gemacht worden.

## Zweite Versuchsreihe.

38. Das Fläschchen II. war mit Phosphor gefüllt. Die drei anderen Fläschchen III, IV, V enthielten eine Mischung von Schmalz und Wachs, mit der in vorher bestimmtem Verhältnisse (nahe 0,6 Proc.) Eisen, Kobalt, Nickel, in Form von feinstem Pulver, gleichmäÙig verrieben worden war. Die Zahlen der folgenden Tabelle geben die auf einander folgenden Bestimmungen der Belastungen, bei welchen II. anfängt sich von den Polen zu lösen und III, IV, V abgezogen werden. Gewicht des Gläschens mit Phosphor: 16<sup>gr</sup>,5432.

	Stromstärke =				Kette von 16 Elementen.
	1.	2.	3.	4.	
Phosphor				16,322	
Nickel				15,68	
Kobalt				27,29	
Eisen				28,85	
„			25,06		
„		19,15			
„	{ 12,95				
„	{ 13,10				
„	{ 12,96				
Kobalt			23,65		
„		18,50			
„	{ 12,40				
„	{ 12,41				
„	{ 12,33				
Nickel			14,55		
„		12,72			
„	{ 10,49				
„	{ 10,52				
„	{ 10,47				
Phosphor			16,386		
„		16,461			
„	{ 16,521				
„	{ 16,520				
„	{ 16,521				
„					16,294
Nickel					16,83
Kobalt					30,70
Eisen					33,45

39. Wir wenden uns nun zu einer Zusammenstellung der gewonnenen Resultate.

1. Eisenoxyd  $\bar{\bar{E}}$ .

Dieses Oxyd, chemisch rein von Dr. C. Stammer dargestellt, ist dasselbe, dessen ich mich früher, als Vergleichungspunktes, bei der Bestimmung des specifischen Magnetismus des Sauerstoffgases bedient habe. Das mit eingeschliffenen hohlen Glasstöpseln versehene Fläschchen I bleibt mit demselben fortwährend gefüllt und dient als »Normalfläschchen« zur Vergleichung der Kraft des Elektromagneten.

## a. Normalfläschchen.

40. Tarirgewicht des leeren Fläschchens	2 <sup>gr</sup> ,0325
Anziehung desselben bei einer Kette von sechs Elementen . . . . .	0 ,014
Tarirgewicht des gefüllten Fläschchens	9 ,937.

Das Gewicht des Oxyds findet sich hiernach 7<sup>gr</sup>,904. Die Anziehung des leeren Fläschchens kann hier vernachlässigt werden, um so mehr als sie größtentheils auf die Luft kommt, welche von dem Oxydpulver verdrängt wird.

Wir stellen in der folgenden Tabelle die, verschiedenen Beobachtungsreihen entnommenen, Gewichte zusammen, bei welchen das Normalfläschchen von den Polen abgezogen wurde.

1.	Stromstärke =		4.	Kette von 16 Elementen.
gr	gr	gr		
{ 10,59	{ 12,03	13,48		
{ 10,61	{ 12,01			
10,61	11,99	{ 13,44		
		{ 13,45		
10,58	{ 11,93	{ 13,43		
	{ 11,94	{ 13,46		
10,62	{ 12,17	13,64		
	{ 12,19			
10,62	{ 12,11	13,61		
	{ 12,11			
10,63	{ 12,06	{ 13,62	{ 14,65	15,85
	{ 12,05	{ 13,57	{ 14,63	
10,65	{ 12,05	{ 13,72	14,62	16,05
	{ 12,06	{ 13,74	14,66	
10,635	12,11	13,63		

1.	2.	3.	4.	Kette von 16 Elementen.
<sup>gr</sup> 10,60	<sup>gr</sup> 12,10	<sup>gr</sup> 13,60		
10,59	12,10			
10,59	12,04			
10,63	12,10	13,70	<sup>gr</sup> 14,68	

Mittlere Werthe:

10,611	12,062	13,612	14,648	15,950
--------	--------	--------	--------	--------

Ziehen wir von diesen Werthen  $9^{\text{gr}},937$  ab, so kommt für die magnetische Anziehung des Oxyds

0,674	2,125	3,675	4,711	6,023
-------	-------	-------	-------	-------

Die Gewichte, die der einfachen Stromstärke entsprechen, sind Mittelwerthe wenig von einander abweichender Beobachtungen, bei denen nach einander 3 bis 9 verschiedene, aber gleich gebrauchte, Tröge angewandt wurden. Ein Blick auf die vorstehenden Zahlen scheint zu zeigen, dafs diese Gewichte, welche verhältnifsmäfsig von einem Tage zum anderen mehr von einander abweichen, als bei stärkerer Stromstärke, dann gröfser sind, wenn der angewandte Trog bereits einer stärkeren Kette angehört hat. Im Allgemeinen scheinen *alle* Anziehungen etwas zugenommen zu haben, was wahrscheinlich in einer gröfseren Zusammendrückung des sehr feinen Oxydpulvers in Folge der fortwährenden Erschütterungen seinen Grund hat.

Die vorstehenden Anziehungen des Eisenoxyds geben die folgenden Verhältnifszahlen:

$$1 : 3,15 : 5,45 : 6,99 : . . . : 8,94$$

$$1 : 1,75 : 2,22$$

$$1 : 1,27.$$

b. Fläschen II.

41. Tarirgewicht des leeren Fläschchens	1 <sup>r</sup> ,884
Anziehung desselben bei einer Kette von sechs Elementen . . . . .	0 ,010
Tarirgewicht des mit Oxyd gefüllten Fläschchens . . . . .	10 ,824

Die Anziehung des leeren Fläschchens ist hiernach zu vernachlässigen. Das Eisenoxyd wiegt . . . . .

8 ,940.



Stromstärke =		
1.	2.	3.
<sup>gr</sup> 11,565	<sup>gr</sup> 13,03	{ <sup>gr</sup> 14,76 <sup>gr</sup> 14,71
{ 11,52	{ 13,02	14,52
{ 11,51	{ 13,00	{ 14,57 14,58
11,53	{ 13,01 13,00 12,99 13,00	
Mittelwerthe:		
11,528	13,007	14,628
Magnetische Anziehung des Oxyds.		
0,704	2,183	3,804

Daraus leiten sich für die Anziehungen bei den verschiedenen Stromstärken folgende Verhältniszahlen ab:

$$1 : 3,10 : 5,40$$

$$1 : 1,79.$$

Der Unterschied zwischen diesen Verhältniszahlen und den früheren ist so klein, daß er, als innerhalb der Beobachtungsfehler fallend, anzusehen ist.

42.

2. Nickeloxyd,

von Hrn. Dr. C. Stammer rein dargestellt, wurde in das Fläschchen II bis zu der Marke des engeren Halses eingefüllt.

Tarirgewicht für das gefüllte Fläschchen . . . 14<sup>gr</sup>,296  
und hiernach Gewicht des Oxyds . . . 12,412.

Die folgende Tabelle giebt die zum Abziehen erforderlichen Gewichte.

Stromstärke =				Kette von 16 Elementen.
1.	2.	3.	4.	
<sup>gr</sup> 14,67	<sup>gr</sup> 15,60	<sup>gr</sup> 16,56		
{ 14,67	15,59			
{ 14,67				
{ 14,67				
{ 14,66				
14,655	{ 15,54	{ 16,64	{ <sup>gr</sup> 17,23	<sup>gr</sup> 18,05
	{ 15,53	{ 16,57	{ 17,26	
			17,18	

Mittelwerthe:

14,666	15,565	16,590	17,323	18,050
--------	--------	--------	--------	--------

Hieraus ergibt sich für die magnetische Anziehung des Nickeloxys

0,370	1,269	2,294	2,927	3,754
-------	-------	-------	-------	-------

und daraus folgen die nachstehenden Verhältniszahlen:

$$1 : 3,43 : 6,20 : 7,88 : . . : 10,15$$

$$1 : 1,81 : 2,30$$

$$1 : 1,27.$$

### 3. Kobaltoxyd-Hydrat<sup>1)</sup>.

43. Das chemisch reine Hydrat hatte Hr. Dr. Boediker die Güte für mich darzustellen. Dasselbe wurde bei einer Temperatur, welche 100° C. nicht viel überstieg, im Sandbade getrocknet und dann zu möglichst feinem Pulver zerrieben, in das Fläschchen II gefüllt.

Tarirgewicht für das gefüllte Fläschchen 8<sup>gr</sup>,335

mithin Gewicht der Füllung . . . . . 6,454.

Die folgende Tabelle giebt die zum Abziehen des Fläschchens von den Polen erforderlichen Gewichte.

	Stromstärke =				
1.	2.	3.	4.	Kette von 16 Elementen.	
9,82	13,90	19,52	23,28	28,21	
9,80	14,03	19,62	23,28	28,21	
9,77					

Mittelwerthe:

9,797	13,965	19,57	23,28	28,21
-------	--------	-------	-------	-------

Hieraus ergibt sich für die magnetische Anziehung des Kobaltoxydhydrats:

1,46	5,63	11,29	14,85	19,78
------	------	-------	-------	-------

1) Die Bestimmung der Kobaltoxyde, die in magnetischer Hinsicht Analogien mit den Eisenoxiden darbieten, bleibt einer spätern Mittheilung vorbehalten. Ich habe das Hydrat nur darum hier aufgeführt, weil es, ungeachtet seines stärkern specifischen Magnetismus, dennoch einen geringern magnetischen Widerstand zeigt als alle übrigen hier aufgeführte und noch aufzuführende magnetische oder diamagnetische Substanzen.

und daraus leiten sich die nachstehenden Verhältniszahlen ab:

$$1 : 3,85 : 7,73 : 10,17 : . . . : 13,55$$

$$1 : 2,01 : 2,64$$

$$1 : 1,31.$$

#### 4. Wismuth.

44. Das Wismuth nahm ich von jenen ausgezeichnet schönen Krystallen, die in Paris (*rue de l'Ecole de medecine*) durch oft wiederholte Umkrystallisirung mittelst Schmelzung erhalten und von da aus vielfach verbreitet worden sind. Die Krystalle wurden möglichst fein gepulvert, in das Fläschchen II. bis zur bestimmten Marke eingefüllt und dann mit dem eingeschliffenen hohlen Glasstöpsel verschlossen.

Tarirgewicht für das Fläschchen vor der Füllung . . . . .	1 <sup>gr</sup> ,884
für das gefüllte Fläschchen . . . . .	56 ,556
mithin Gewicht des Wismuths . . . . .	54 ,672.

Die folgende Tabelle giebt die Gewichte, bei welchen das auf den Polen aufliegende Fläschchen anfing, sich von denselben zu entfernen. Die Resultate zweier Beobachtungsreihen, die an zwei an einander folgenden Tagen gemacht wurden, waren:

Stromstärke =				Kette von 16 Elementen.
1.	2.	3.	4.	
<sup>gr</sup> 56,42	{ <sup>gr</sup> 56,07	{ <sup>gr</sup> 55,63	{ <sup>gr</sup> 55,32	<sup>gr</sup> 54,92
	{ 56,07	{ 55,63	{ 55,33	
56,425	{ 56,075	{ 55,625		
	{ 55,07	{ 55,635		

Mittelwerthe:

56,422		56,071		55,630		55,325		54,920
--------	--	--------	--	--------	--	--------	--	--------

Hieraus findet sich die diamagnetische Abstofsung des Wismuths

0,134		0,485		0,926		1,231		1,636
-------	--	-------	--	-------	--	-------	--	-------

und daraus erhalten wir die nachstehenden Verhältniszahlen:

$$1 : 3,62 : 6,91 : 9,19 : . . . : 12,21$$

$$1 : 1,91 : 2,51$$

$$1 : 1,31.$$

Am zweiten Tage war das Gewicht des Wismuths unverändert gefunden worden. Da genaue Zahlen mir gerade in diesem Falle sehr wünschenswerth erschienen, so wurden nach einem Zwischenraum von ein paar Tagen den beiden obigen Beobachtungen noch sechs neue hinzugefügt. Die Resultate erwiesen sich aber unbrauchbar, weil das Fläschchen mit Wismuth nicht jedesmal, vor Bestimmung der diamagnetischen Abstofsung desselben, von Neuem tarirt worden war. Das Versehen wurde erst entdeckt, als, 10 Tage nach der Füllung, das Gewicht des Wismuths bereits um 0<sup>gr</sup>,048 zugenommen hatte. Dasselbe hatte angefangen durch langsam eindringende Luft sich zu oxydiren. So wie die ursprünglichen Krystalle mit einer dünnen, die schönsten Farben zeigenden Oxydschicht überzogen waren, so hatten auch die im oberen Raume des Fläschchens befindlichen feinen Wismuththeilchen ihr Asehen durch eine Oxydation ihrer Oberfläche geändert.

#### 5. Phosphor.

45. Der Phosphor wurde unter Wasser geschmolzen und soviel desselben unter Wasser in das Gefäß II. gegossen, bis er etwa ein Millimeter unterhalb der festen Marke am engeren Halse desselben stand. Ueber demselben befand sich Wasser bis etwa ein Millimeter oberhalb der Marke, so dafs das Gewicht der Füllung sehr nahe dem Gewichte des Phosphors, wenn er bis zur Marke reichen würde, gleich war. Da der Stöpsel nicht vollkommen schlofs, so wurde das Fläschchen vor jeder Bestimmung tarirt. In der nachstehenden Tabelle ist das Tarirgewicht zugleich mit dem Gewichte, bei welchem das Fläschchen die Pole verläfst, aufgeführt.

Taringewicht.	Stromstärke =				Kette von 16 Elementen.
	1.	2.	3.	4.	
<sup>gr</sup> 16,581	<sup>gr</sup> 16,557	<sup>gr</sup> 16,490	<sup>gr</sup> 16,418		
16,580	16,5561	16,490	16,417		
16,5435	16,5206	16,461	16,386	<sup>gr</sup> 16,322	<sup>gr</sup> 16,244

## Diamagnetische Abstofsungen.

0,024	0,091	0,163		
0,025	0,090	0,163		
0,023	0,0825	0,157	0,2215	0,2995

## Mittelwerthe.

0,024	0,088	0,1615	0,2215	0,2995
-------	-------	--------	--------	--------

Hieraus leiten sich die nachstehenden Verhältniszahlen ab:

$$1 : 3,67 : 6,73 : 9,23 : . . . : 12,49$$

$$1 : 1,84 : 2,52$$

$$1 : 1,37.$$

Das Gewicht des Phosphors ergibt sich mit hinlänglicher Annäherung:

$$14^{\text{gr}},68.$$

## Eisen, Kobalt, Nickel.

46. Für die stark magnetischen Metalle, die in feinstem Pulver mit einer Mischung von Schmalz und Wachs verrieben wurden, waren drei, etwas stärkere Fläschchen III., IV. und V. bestimmt, mit kürzerem und weiterem Halse. Sie wurden sorgfältig gefüllt, am folgenden Tage, nachdem die Mischung sich zusammengezogen hatte, nachgefüllt und abgestrichen. Die Bestimmung der drei leeren Fläschchen ergab

Taringewicht.	Anziehung bei der Stromstärke =		
	1.	2.	3.
<sup>gr</sup> 3,591	<sup>gr</sup> 0,028	<sup>gr</sup> 0,1005	<sup>gr</sup> 0,169
2,247	0,019	0,067	0,113
3,167	0,029	0,100	0,1525

Diese Anziehungen heben sich zum größten Theil auf, wenn die Fläschchen mit der Schmalz- und Wachsmischung

ohne Metall gefüllt werden. Wir begehen keinen merklichen Fehler, wenn wir die beobachteten Anziehungen ganz auf das zu untersuchende Metall rechnen.

## 6. Eisen.

47. Das Eisen war aus dem Normaloxyde (1) durch Wasserstoffgas in der anfangenden Rothglühhitze reducirt und in einer zugeschmolzenen Glasröhre aufbewahrt worden. Es wurden innigst gemengt

Schmalzmischung . . . . . 24<sup>gr</sup>,97

Eisenpulver . . . . . 0 ,1450,

so dafs im Gemenge sich

0<sup>gr</sup>,5773

Proc. Eisen befand.

## a. Fläschchen III.

Tarirgewicht für das gefüllte Fläschchen 9<sup>gr</sup>,429

also Gewicht der Füllung . . . . . 5 ,838

und des darin enthaltenen Eisens . . . . 0 ,0339.

Das Fläschchen wurde von den Polen abgezogen durch die folgenden Gewichte

Stromstärke =				Kette von 16 Elem.
1.	2.	3.	4.	
<sup>gr</sup> 12,96	<sup>gr</sup> 19,38	<sup>gr</sup> 24,99		<sup>gr</sup> 33,45
13,00	19,15	25,06	<sup>gr</sup> 28,85	
12,97	19,14	24,98		

## Mittelwerthe:

12,98 | 19,22 | 25,01 | 28,85 | 33,45

Hieraus ergibt sich die magnetische Anziehung des Eisens

3,55 | 9,79 | 15,58 | 19,42 | 24,02

und daraus leiten sich die folgenden Verhältniszahlen ab

1 : 2,76 : 4,39 : 5,56 : . . : 6,77

1 : 1,59 : 2,01

1 : 1,27.

## 7. Kobalt.

48. Ein Theil der größeren Menge reinen Kobalt-oxdhydrats wurde geglüht und dann in einer Röhre von schwerflüssigem Glase, wie das Eisen, nur unter stärkerer Erhitzung mittelst des Blasetisches, durch Wasserstoffgas reducirt. In diesem Glase erkaltet, wurde es in einem Achatmörser möglichst fein gepulvert und dann mit der Schmalzmischung verrieben.

Schmalzmischung . . . . .	25 <sup>gr</sup> ,00
Kobaltpulver . . . . .	0 ,1435,
so dafs das Gemenge	
	0 <sup>gr</sup> ,5707

Proc. Kobalt enthielt.

## Fläschchen IV.

Tarirgewicht für das gefüllte Fläschchen	8 <sup>gr</sup> ,690
also Gewicht der Füllung . . . . .	6 ,423
und des darin enthaltenen Kobalts . . .	0 ,03689.

Die Abziehung des Fläschchens erfolgte bei den nachbenannten Gewichten.

1.	Stromstärke =			4.	Kette von 16 Elem.
12,43					
12,40					
12,53					
12,41					
12,42					
Mittel					
12,50					
12,44	18,62	23,95			
12,41					
Mittel					
12,38	18,50	23,65	27,29		30,70
12,30	18,15	23,35			

## Magnetische Anziehung des Kobalts.

3,75	9,93	15,26		
3,69	9,81	14,96	18,60	22,01
3,61	9,46	14,66		

## Mittelwerthe:

3,86	9,73	14,96	18,60	22,01
------	------	-------	-------	-------

woraus sich die nachstehenden Verhältniszahlen ergeben:

$$1 : 2,65 : 4,08 : 5,05 : . . . : 598$$

$$1 : 1,54 : 1,92$$

$$1 : 1,24.$$

Die beiden ersten Beobachtungen wurden an zwei auf einander folgenden Tagen angestellt, die dritte fiel ein paar Tage später. Die magnetischen Anziehungen zeigen unzweideutig, daß das Kobalt chemisch nicht ganz unverändert geblieben ist. Darum haben wir diese Anziehungen für jede Beobachtung einzeln genommen; wenn sich um die absolute Anziehung des Kobalts handelt, werden wir die erste Beobachtung zu Grunde legen. Die chemische Veränderung des Kobalts ist aber so gering, daß wir die Verhältniszahlen aus der mittleren Anziehung ableiten zu dürfen geglaubt haben.

#### b. Fläschchen III.

#### 49. Dasselbe Kobaltgemenge.

Tarirgewicht für das gefüllte Fläschchen	9 <sup>gr</sup> ,510
also Gewicht der Füllung . . . . .	5 ,919.

	Stromstärke		
	1.	2.	3.
Anziehung	3,59 <sup>gr</sup>	9,47 <sup>gr</sup>	14,39 <sup>gr</sup>

Hieraus ergeben sich die folgenden, den früheren gut entsprechenden Verhältniszahlen:

$$1 : 2,64 : 4,01.$$

#### 8. Nickel.

50. Das Metall ist durch Hrn. Dr. C. Stammer aus dem chemisch reinen oxalsauren Salze dargestellt worden.

Schmalzmischung . . . . .	24 <sup>gr</sup> ,98
Nickelpulver . . . . .	0 ,1564,
so daß in dem Gemenge sich	
	0 <sup>gr</sup> ,6222

Proc. Nickel befindet.



## a. Fläschchen V.

Tarirgewicht für das gefüllte Fläschchen 8<sup>gr</sup>,893  
 mithin Gewicht der Füllung . . . . . 5 ,726  
 und des in derselben enthaltenen Nickels 0 ,03575.

Das Fläschchen wurde von den Polen durch die nachstehenden Gewichte abgezogen.

Stromstärke =				Kette von 16 Elementen.
1.	2.	3.	4.	
10,52 <sup>gr</sup>	12,83 <sup>gr</sup>	14,58 <sup>gr</sup>		
10,51				
10,52				
10,52				
10,54				
10,49	12,72	14,55	15,68 <sup>gr</sup>	16,83 <sup>gr</sup>
10,52				
10,47				

Mittelwerthe:

10,511 | 12,775 | 14,565 | 15,68 | 16,83

Die resultirenden Anziehungen sind

1,62 | 3,88 | 5,67 | 6,79 | 7,94

was die folgenden Verhältniszahlen giebt:

1 : 2,40 : 3,50 : 4,19 : . . . . . : 4,90

1 : 1,48 : 1,75

1 : 1,21.

## b. Fläschchen III.

51. Dasselbe Nickelgemenge.

Tarirgewicht für das gefüllte Fläschchen . 9<sup>gr</sup>,584  
 also Gewicht der Füllung . . . . . 5 ,993.

Stromstärke =

	1.	2.	3.
Anziehung	1,83 <sup>gr</sup>	4,24 <sup>gr</sup>	6,21 <sup>gr</sup>

woraus sich die folgenden Verhältniszahlen ergeben:

1 : 2,43 : 3,39.

## 9. Sauerstoffgas.

52. Zu diesen Bestimmungen diente dieselbe Kugel mit Glashähnchen, die ich früher schon bei meinen Ver-

suchen über das magnetische Verhalten der Gase angewendet habe. Das Sauerstoffgas wurde in gleicher Weise entwickelt und, nachdem die Kugel mit diesem Gase zuvor ausgewaschen, in dieselbe hineingebracht und zwar um etwa  $\frac{1}{10}$  Atmosphärendruck comprimirt, um sicher zu seyn, daß keine Luft eindringen sondern höchstens etwas Sauerstoffgas entweichen könnte. Daß letzteres keinesweges stattfand, bewiesen die Abwägungen

Tarirgewicht für die leere Kugel . . . . .	2 <sup>gr</sup> ,8353
für die gefüllte Kugel . . . . .	2,9026
mithin Gewicht des Sauerstoffgases . . . . .	0,0673.

Die leere Kugel zeigte keinen bestimmbaren Magnetismus. Die zum Abziehen der Sauerstoffkugel erforderlichen Gewichte, die sich genau und mit der größten Sicherheit durch Hülfe des 0<sup>gr</sup>,01 schweren Reuters bestimmen ließen, waren die folgenden:

Stromstärke =				Kette von 16 Elementen.
1.	2.	3.	4.	
<sup>gr</sup> 2,9051	<sup>gr</sup> 2,9113	<sup>gr</sup> 2,9195		
2,9051	2,9115	2,9201	<sup>gr</sup> 2,9260	<sup>gr</sup> 2,9331
} 2,9049				
} 2,9048				
} 2,9050				

Mittelwerthe:

2,9050		2,9114		2,9198		2,9260		2,9331
--------	--	--------	--	--------	--	--------	--	--------

Hieraus ergibt sich für die magnetische Anziehung des Sauerstoffgases

0,0024		0,0089		0,0172		0,0234		0,0305
--------	--	--------	--	--------	--	--------	--	--------

was zu den folgenden Verhältniszahlen führt

1	:	3,71	:	7,17	:	9,75	:	. . . . .	:	12,71
		1	:	1,93	:	2,63				
				1	:	1,36.				

## §. 3.

Discussion der erhaltenen Resultate und allgemeine  
Folgerungen.

53. Die numerischen Resultate, die wir im vorigen Paragraphen mitgeteilt haben, lassen sich übersichtlich durch Curven darstellen. Diese Curven sind unmittelbarer Ausdruck der Beobachtung, unabhängig von jeder Hypothese und jeder theoretischen Auffassung.

Die Coordinaten der Punkte dieser Curven geben die Anziehung, welche die untersuchten Substanzen durch den Elektromagneten erleiden, die Abscissen derselben, die entsprechende Stromstärke, welche zur Erregung des Elektromagneten angewendet worden ist. Als Einheit der Stromstärke nehmen wir die Stromstärke eines unserer Grove'schen Elemente, wenn dasselbe durch den langen und dicken Draht, welcher um den Eisenkern unseres Elektromagneten gewickelt ist, geschlossen wird; als Einheit der Anziehung für jede der verschiedenen von uns untersuchten Substanzen diejenige, welche bei der Einheit der Stromstärke, also, bei Anwendung eines Grove'schen Elementes, stattfindet. Die Einheit der Anziehung ist also für verschiedene Substanzen eine verschiedene.

54. Hiernach gehen alle Curven durch den Anfangspunkt der Coordinaten,  $O$ , weil Stromstärke und Anziehung gleichzeitig verschwinden, und durch einen zweiten Punkt,  $M$ , welcher den Einheiten der Stromstärke und der Anziehung entspricht. Außerdem geben unsere Beobachtungen unmittelbar noch drei andere Punkte jeder einzelnen Curve, welche der doppelten, dreifachen und vierfachen Stromstärke entsprechen. Endlich ist noch ein letzter entfernter liegender Punkt jeder Curve, welcher der Anwendung einer Kette von 16 einzelnen Grove'schen Elementen entspricht, bestimmt worden. Um jedoch diesen Punkt construiren zu können, müssen wir zuvor die Stromstärke einer solchen durch denselben Leitungsdraht geschlossenen Kette in der von uns angenommenen Einheit ausdrücken.

55. Es ist hierbei unerlässlich, das Verhältniß des Widerstandes in dem Schließungsdrahte zu dem Widerstande in unsern Grove'schen Elementen zu kennen. Aber wir können uns auch hier, wie bisher, jeder directen Messung solcher Widerstände überheben. Zu diesem Ende schalte ich hier die Beobachtung ein, welche den im vorigen Paragraphen mitgetheilten Beobachtungen unmittelbar vorherging, und durch welche, unter genau denselben Umständen wie später, die Anziehung des mit dem Eisenoxyde gefüllten Normalfläschchens bestimmt wurde, wenn nach einander der Strom durch eine Kette von sechs Elementen durch eine Kette von drei derselben, durch eine Kette von zwei der übrigen und endlich durch das letzte Element allein, hervorgerufen wurde. Diese Anziehungen betragen in umgekehrter Aufeinanderfolge

0<sup>er</sup>,663      1<sup>er</sup>,913      3<sup>er</sup>,113      4<sup>er</sup>,913

also, auf unsere Einheit bezogen

1,00      2,88      4,69      7,41.

Wenn wir diese Werthe als Ordinaten der Curve für Eisenoxyd (Taf. I, Fig. 1, Curve IV) betrachten, so finden wir aus der Construction für die, durch die entsprechenden Abscissen dargestellten Stromstärken

1      1,85      2,65      4,35.

Nach dem Ohm'schem Gesetze sind diese Stromstärken in unserer Einheit ausgedrückt durch

$$1 \quad \frac{1+\omega}{1+\frac{1}{2}\omega} \quad \frac{1+\omega}{1+\frac{1}{3}\omega} \quad \frac{1+\omega}{1+\frac{1}{6}\omega}$$

wobei  $\omega$  die zu bestimmende Constante ist, welche ausdrückt, wie viel Mal der Widerstand im Schließungsdrahte größer ist als in dem einzelnen Elemente. Setzen wir

$$\omega = 12$$

so geben die letzten Ausdrücke die nachstehenden Zahlen

1      1,86      2,60      4,33

Stromstärken, welche sämmtlich mit den aus der Construction abgeleiteten gut stimmen.

Für eine Kette von 16 Elementen giebt der so bestimmte Werth von  $\omega$  die Stromstärke

7,43.

Somit können wir alle unsere Curven bis zu diesem Abscissenwerthe fortführen. <sup>1)</sup>

56. In der ersten Figur sind die Curven für *Nickel* (I), *Kobalt* (II), *Eisen* (III), *Eisenoxyd* (IV), *Nickeloxyd* (V), *Wismuth* und *Phosphor* (VI), für *Sauerstoffgas* (VII), und endlich für *Kobaltoxydhydrat* (VIII) zusammengestellt. Die Curven für Wismuth und Phosphor, der beiden einzigen von uns vollständig bestimmten diamagnetischen Substanzen, fallen so nahe zusammen, daß sie, mit Rücksicht auf die unvermeidlichen Beobachtungsfehler, als eine einzige construirt worden sind. Diese Curve ist in der Zeichnung von den übrigen unterschieden worden, weil ihre Ordinate diamagnetische Abstofsung, statt magnetischer Anziehung, bedeuten; es erschien nicht angemessen ihnen aus diesem Grunde eine entgegengesetzte Lage zu geben.

57. Das endliche Ziel, das wir erstreben, besteht darin, daß wir die Anziehung, die eine gegebene Substanz erleidet, als Function der auf sie einwirkenden magnetischen Kraft, nicht als Function der Stromstärke, welche diese Kraft hervorruft, bestimmen. Es kommt dieses darauf hinaus, daß wir unsere Curven so umformen, daß die zu jeder Ordinate gehörige Abscisse nicht mehr, wie bisher, die Stromstärke, sondern die, dieser Stromstärke entsprechende auf die untersuchte Substanz ausgeübte Kraft des Elektromagneten bedeutet. Als Einheit dieser magnetischen Kraft nehmen wir diejenige, welche durch ein Grove'sches Element hervorgerufen wird.

1) Ich habe es bei den Bestimmungen des vorigen Paragraphen für überflüssig gehalten, eine Tangentenboussole einzuschalten oder ein anderes directes Verfahren anzuwenden, um die Constanz der Stromstärke zu constatiren. Es war vollkommen hinreichend und unserem speciellen Zwecke mehr entsprechend, die Constanz der magnetischen Kraft durch die Anziehung, welche der Elektromagnet auf das mit dem Eisenoxyde gefüllte Normalfläschchen ausübt, nachzuweisen. Die Erörterungen der 55. Nummer zeigen, daß wir auch vermittelst der Curve IV unsere Stromstärken vergleichen und messen können und daß diese Curve, für unsere Zwecke, Apparate, die zum Messen der angewandten Stromstärken dienen, in jeder Hinsicht ersetzt.

58. Hiernach würden die neuen Curven mit den alten zusammenfallen, wenn im Kerne des Elektromagneten kein Widerstand sich fände, das heißt, wenn die auf die untersuchte Substanz wirkende magnetische Kraft der Stärke des zu ihrer Hervorrufung angewandten Stromes proportional wäre. Unter derselben Voraussetzung würde, wenn es eine Substanz gäbe, welche keinen Widerstand darböte, die dieser Substanz entsprechende Curve eine Parabel seyn (IX), deren Ordinate die Quadrate der Abscissen sind. Gäbe es endlich eine Substanz, die mit Magnetismus gesättigt wäre, die immer dasselbe Maafs von Magnetismus behielte, so ginge die entsprechende Curve in eine gerade Linie (X) über. In der Wirklichkeit, wo die magnetische Erregung der Stromstärke *nicht* proportional ist, verwandelt sich jene Parabel und diese gerade Linie, indem die Abscissen ihre ursprüngliche Bedeutung behalten, in zwei solche Curven, welche die beiderseitigen Gränzen der Curven-Gruppe I bis VIII bilden.

59. Ich wende mich zunächst zu einigen geometrischen Erörterungen über diese Curven-Gruppe.

Wenn es sich ergäbe, daß Kobaltoxydhydrat, welches unter den bisher untersuchten Substanzen den *geringsten* magnetischen Widerstand zeigt, *gar keinen* Widerstand darböte — eine Annahme, die übrigens keinesweges wahrscheinlich ist — so müßte die Curve VIII mit der Parabel IX zusammenfallen, wenn wir von den ursprünglichen Abscissen zu den neuen übergängen, und dann wäre VIII eine der fraglichen Gränzcurven. Dann könnten wir überhaupt jede Curve, die in dem einen der beiden Systeme gegeben ist, in die entsprechende Curve des andern Systems umformen. Wir wollen insbesondere, in der gemachten Voraussetzung, die gerade Linie X in dem zweiten Systeme in die entsprechende Curve des ersten Systems umformen. Nehmen wir zu diesem Ende irgend zwei solche Punkte,  $Q$  und  $Q'$ , auf der Parabel und der Curve VIII an, die gleiche Ordinate,  $QP$  und  $Q'P'$  haben, so sind die zugehörigen Abscissen  $OP$  und  $OP'$ , zwei einander

entsprechende Abscissen in dem zweiten und ersten Systeme. Der Punkt  $q$  der geraden Linie  $OP$ , welcher auf der Linie  $X$ , der Abscisse  $OP$  entspricht, giebt hiernach, indem wir eine gerade Linie parallel mit der Abscissenaxe ziehen, sogleich den Punkt  $q'$  der zu construierenden Curve, welcher der Abscisse  $OP'$  entspricht. Auf diesem Wege erhalten wir unmittelbar beliebig viele Punkte einer Curve  $XI$ , welche, in der Voraussetzung, das Kobaltoxydhydrat keinen magnetischen Widerstand darböte, einer mit Magnetismus gesättigten Substanz angehören würde. In dieser Voraussetzung wären also VIII und XI die beiden Gränzcurven, zwischen welchen die Curve für jede neu zu untersuchende Substanz nothwendig hindurch gehen müfste.

60. Die Curve  $XI$  müfste, wenn sie wirklich die untere Gränzcurve wäre, selbst zu den Curven unserer Gruppe gehören und den allgemeinen Lauf dieser Curven haben, insbesondere keine der anderen Curven je schneiden. Diese Curve ist aber nur eine Gränze, *unter* welcher die wirkliche Gränzcurve *nicht* liegen kann. Diese kann nur höher liegen, sie darf aber auch, über den Punkt  $M$  hinaus, für wachsende Stromstärken, die gerade Linie  $X$  nicht schneiden.

Von dieser Curve, die Substanzen entspricht, die mit Magnetismus gesättigt sind, können wir durch dieselbe Construction, die wir oben angewandt haben, zu der obern Gränzcurve, der Curve keines Widerstandes, zurückgehen. Wäre  $XI$  diese Curve, so kämen wir zu der Curve VIII zurück. Es ist von vorne herein klar, das für irgend eine Substanz gefundene Curve nie die untere Gränzcurve erreichen kann, am wenigsten wenn die Substanz, wie Nickel, ohne ursprünglichen Magnetismus, bald schon so stark magnetisch wird. Auch hält die Curve, welche der Curve für Nickel, wenn wir diese als untere Gränzcurve nehmen, als obere Gränzcurve entspricht, keinesweges den allgemeinen Lauf unserer Curvengruppe ein. Die wahre untere Gränzcurve liegt also zwischen den Curven I und XI. Nach den vorstehenden Bemerkungen werden diese Gränzen noch viel enger gezogen und wir machen keinen grofsen Fehler, wenn

wir für diese Curve die Curve XII nehmen und dann die entsprechende obere Gränzcurve, wofür wir die Curve XIII erhalten, construiren.

Diese Annahme werden wir den nachfolgenden Rechnungen zu Grunde legen und durch dieselben gerechtfertigt finden. Die Curven XII und XIII sind also unsere *wahren Gränzcurven*; sollten spätere Beobachtungen und sorgfältigere Rechnungen eine Modification dieser Curven verlangen, so müssen beide Gränzcurven zugleich höher oder tiefer rücken, die obere aber bedeutend mehr, als die untere.

61. Die Curve XIII, die in dem ursprünglichen Coordinaten-Systeme, wo die Abscissen Stromintensitäten bedeuten, die relative Zunahme der magnetischen Anziehung als Function von diesen giebt, hat noch eine zweite Bedeutung. Die Anziehung einer Substanz durch den Elektromagneten ist nämlich als das Product der magnetischen Erregung dieses letztern und des in der Substanz hervorgerufenen Magnetismus zu betrachten. Wenn also eine Substanz mit Magnetismus gesättigt ist, so ist diese Anziehung der Intensität der magnetischen Kraft des Elektromagneten proportional. Setzen wir demnach diejenige Intensität dieser Kraft, die der Einheit der Stromstärke entspricht, ebenfalls der Einheit gleich, so stellt die Curve XIII sowohl die relative Zunahme der magnetischen Anziehung der fraglichen Substanz, als auch der magnetischen Kraft des Elektromagneten als Function der Stromstärke dar.

62. Auf diesem Wege sind wir glücklicher Weise der Nothwendigkeit überhoben, irgend ein theoretisches Gesetz über die Abhängigkeit der Kraft des Elektromagneten von der angewandten Stromstärke zu Grunde zu legen. Es steht nicht zu erwarten, daß ein Gesetz dieser Art, wenn es auch für den einzelnen Fall der magnetischen Induction durch den galvanischen Strom seine volle Gültigkeit haben mag, auf unsern Elektromagneten eine unmittelbare Anwendung finde, weil die Wirkung desselben, in unsern Bestimmungen, hauptsächlich von den einander gegenüber-



stehenden und naheliegenden Stellen der auf den Polflächen liegenden Halbanker ausgeht und zu ihrer Hervorrufung die gegenseitige Induction dieser Halbanker überwiegend beiträgt. Wir haben im ersten Paragraphen (27, 28) ein solches Gesetz aus dem allgemeinen Gesetze der magnetischen Induction abgeleitet und zugleich, für unsere Anwendung, die Quelle der Störungen bezeichnet.

63. Ich muß hier hervorheben, daß dieses Gesetz Herrn Prof. Müller in Freiburg gehört, der zu demselben implicite gelangte, indem er das Gesetz über die Stärke des durch den Strom in Eisenstäben von verschiedener Dicke hervorgerufenen Magnetismus, aus Messungen ableitete. <sup>1)</sup> Dieses Gesetz wurde von den Herren Buff und Zaminer, welche, wie früher die Herren Lenz und Jacobi, die Proportionalität von Stromstärke und erregtem Magnetismus behaupteten, bestritten, aber von Herrn W. Weber, unter den nothwendigen Beschränkungen, aufser Zweifel gesetzt. <sup>2)</sup> Für mich war es eine unerwartete Bestätigung des von mir bereits erhaltenen allgemeinen Gesetzes über magnetische und diamagnetische Induction.

Herr Müller beschränkt sein Gesetz ausdrücklich auf die magnetische Erregung, hervorgebracht durch die inducirende Kraft des galvanischen Stromes, im Gegensatze der Erregung durch eine magnetische Kraft. Er sagt nämlich:

«Lenz und Jacobi nahmen an, daß die Tragkraft der Elektromagnete dem Quadrate des erregten Magnetismus proportional seyn müsse, und diese Annahme ist auch ohne allen Zweifel richtig, nur ist die Stärke des Magnetismus nicht der Stromstärke proportional, wie dies jetzt genügend dargethan ist.»

Fortschritte, S. 531.

1) Für uns war das Gesetz eine unmittelbar gebotene, rein theoretische Uebertragung, die ohne Kenntniß der interessanten Arbeit des Hrn. Müller gemacht wurde. Der erste Paragraph wurde vor längerer Zeit niedergeschrieben, nachdem zwar die Resultate des zweiten Paragraphen, aber noch nicht die vollständige Discussion derselben vorlag.

2) Weber, Maafsbestimmungen III. Heft S. 566. Müller, Fortschritte.

64. Wir sind im Stande die Gröfse der Abweichungen, welche für die Bedingungen, unter welchen wir unsere Bestimmungen gemacht haben, das fragliche Gesetz erleidet, zu ermitteln. Unsere Curve XII zeigt, dafs die magnetische Kraft, welche von dem grofsen Elektromagneten ausgeht, bis zur Anwendung von zwei, ja fast von drei Grove'schen Elementen der Intensität des inducirenden Stromes sehr nahe proportional ist. Von da an gilt das Gesetz der Herren Lenz und Jacobi nicht mehr, aber, wie wir sogleich sehen werden, bald hört auch das neue Gesetz, welches wir durch die nachstehende Gleichung ausgedrückt haben,

$$\frac{M}{K} = \text{arc} \left( \text{tang} = \frac{S}{C} \right),$$

auf, eine hinlängliche Genauigkeit zu geben.

Unsere empirische Curve giebt die nachstehenden einander entsprechenden Stromstärken und magnetischen Kräfte:

$S =$	0	1	2	3	4	7,43
$M =$	0	1	2	2,9	3,45	4

Verfahren wir wie in der 29. Nummer angegeben worden ist, so können wir die durch die letzte Gleichung dargestellte Curve bestimmen, indem wir sie der Bedingung unterwerfen, dafs sie, aufser durch den Punkt  $M$ , noch durch einen zweiten Punkt, für welche wir den Punkt

$$(S = 3 \quad M = 2,9)$$

nehmen wollen, gehe. Wir finden alsdann

$$\frac{1}{C} = \text{tang} \frac{1}{K} = \text{tang} 6^\circ 30'$$

und hiernach für die berechneten Werthe von  $M$

0	1	1,98	2,9	3,77	5,96.
---	---	------	-----	------	-------

Wir sehen hieraus, dafs die wirklich hervorgerufene magnetische Kraft schon bei vierfacher Stromstärke hinter derjenigen Kraft, welche durch die Tangential-Curve angezeigt wird, merklich zurückbleibt und dafs für gröfsere Kräfte kaum noch von Annäherung die Rede seyn kann. Eine Aenderung der Curve XII, soweit sie nach dem Vorergehenden etwa noch stattfinden könnte, würde hierin einen Unterschied machen.

65. Wir sind also lediglich auf das durch die Curve XII ausgedrückte *empirische* Gesetz hingewiesen.

Nach diesem Gesetze können wir aus den Curven I—VIII der ersten Figur, welche die unmittelbaren Beobachtungen darstellen, sogleich andere Curven ableiten, *welche die beobachteten Anziehungen als Function der magnetischen Kraft des Elektromagneten ausdrücken*. Wir brauchen nur diejenigen Punkte, durch welche die ursprünglichen Curven bestimmt worden sind, mit solchen Punkten zu vertauschen, die ihre Ordinaten beibehalten, ihre Abscissen aber, welche Stromstärken,  $S$ , bedeuten, so ändern, daß sie nun die Bedeutung der entsprechenden magnetischen Intensitäten  $M$  erhalten. Auf diesem Wege finden wir die auf empirischem Wege abgeleiteten Curven der obern Gruppe der Fig. 2, Taf. I. Alle diese Curven liegen zwischen der *Parabel*, der Gränzcurve für solche Substanzen, die der Magnetisirung keinen Widerstand entgegensetzen, und der geraden *Linie*, die auf Substanzen sich bezieht, die mit Magnetismus gesättigt sind.

66. Wenn wir endlich die Ordinaten der eben beschriebenen Curven, das heißt die beobachtete Anziehung der magnetischen, oder die beobachtete Abstofsung der diamagnetischen Substanzen, durch die entsprechenden Abscissen, das heißt die Kraft des Elektromagneten, dividiren, so stellen die Quotienten die Intensität des in der Substanz hervorgerufenen Magnetismus dar. Und dieses ist der Fall bei beiden genannten Klassen von Substanzen, die sich nicht in der Art ihres magnetischen Zustandes, sondern nur durch die entgegengesetzte Art von Induction, welche diesen Zustand hervorruft, unterscheiden. So erhalten wir auf empirischem Wege eine neue Gruppe von Curven (die untere Gruppe von Curven der Figur 2), *welche die Intensität der in den untersuchten Substanzen durch eine magnetische Kraft hervorgerufenen Magnetismus als Function dieser Kraft darstellen*. Diese Curven werden mit aller zu verlangenden Genauigkeit durch Gleichungen von der Form

$$\frac{J}{k} = \text{arc} \left( \text{tang} = \frac{M}{c} \right)$$

ausgedrückt, wobei die Abscissen  $M$  den von dem Elektromagneten aus wirkenden, die Ordinaten  $J$  den in der Substanz inducirten Magnetismus bedeuten, und  $k$  und  $c$  zwei Constanten, die für jede einzelne Substanz besonders zu bestimmen sind.

67. Um die vorstehende Behauptung zu begründen, müssen wir die Curven für die verschiedenen Substanzen berechnen. Wir nehmen dazu, aufer dem Punkte  $M$ , als zweiten Punkt jeder einzelnen Curve, denjenigen, welcher der doppelten Stromstärke entspricht. Für diesen Punkt erhalten wir, wenn wir beispielsweise Eisen nehmen,

$$M = 2 \quad J = 1,38.$$

Demnach ist

$$\log \text{tang} \left( \frac{1}{k} \right) + \log 2 = \log \text{tang} \left( (1,38) \frac{1}{k} \right)$$

woraus wir ohne Mühe, durch Hülfe der Logarithmentafeln,

$$\frac{1}{k} = 47^\circ$$

erhalten, und allgemein ist demnach

$$J = \frac{\text{arc} (\text{tang} = M \text{ tang } 47^\circ)}{47^\circ}$$

wobei der Bogen des Nenners in Graden anzudrücken ist.

Für die verschiedenen untersuchten Substanzen finden wir in gleicher Weise die folgenden Werthe des Hülfs winkels  $\frac{1}{k}$  in Graden ausgedrückt:

Kobaltoxydhydrat	11° 30'	Eisenoxyd	34°
Sauerstoffgas	16 36	Eisen	47
Wismuth	19 30	Kobalt	51 40'
Nickeloxyd	25 18	Nickel	68.

68. Durch diese Hülfswinkel berechnet sich leicht die Intensität des inducirten Magnetismus für jede inducirende Kraft und so ergibt sich die nachstehende Tabelle, in welcher für die in der oberen Horizontal-Columne bezeichneten magnetischen Kräfte die beobachteten und berechne-

ten Intensitäten des inducirten Magnetismus zusammengestellt sind.

## Inducirender Magnetismus =

		2.	2,9.	3,45	4.	$\infty$
Kobaltoxydhydrat	Beob.	1,925	2,66	2,95	3,39	
	Ber.	1,925	2,64	3,05	3,40	7,826
Sauerstoffgas	Beob.	1,855	2,47	2,82	3,18	
	Ber.	1,855	2,46	2,76	3,015	5,422
Wismuth	Beob.	1,81	2,39	2,66	3,05	
	Ber.	1,81	2,35	2,60	2,81	4,615
Nickeloxyd	Beob.	1,715	2,14	2,28	2,54	
	Ber.	1,715	2,15	2,31	2,46	3,516
Eisenoxyd	Beob.	1,575	1,88	2,03	2,23	
	Ber.	1,575	1,85	1,96	2,06	2,647
Eisen	Beob.	1,38	1,51	1,61	1,69	
	Ber.	1,38	1,54	1,59	1,64	1,915
Kobalt	Beob.	1,325	1,41	1,465	1,49	
	Ber.	1,325	1,445	1,49	1,525	1,742
Nickel	Beob.	1,20	1,21	1,22	1,225	
	Ber.	1,156	1,207	1,225	1,239	1,324

69. Die Resultate der Rechnung und der Beobachtung weichen so wenig von einander ab, daß die Abweichungen innerhalb der Beobachtungsfehler fallen. Sie sind am größten für Nickel, was sich auch schon in der entsprechenden Curve der obern Gruppe der Fig 2. Taf. I. darin zeigt, daß der der Abscisse 2,9 entsprechende Punkt zu hoch liegt. Aber wir brauchen nur einen Fehler von etwa  $\frac{1}{25}$  in der Bestimmung der bezüglichen Anziehung des Nickelgemisches anzunehmen — wie wir es bei der obigen Berechnung gethan haben — um selbst hier die desfallsige Nichtübereinstimmung aufzuheben. Es erscheint mir einstweilen noch nicht an der Stelle, durch einen größern Aufwand von Rechnung die Abweichungen noch zu verringern. Diese scheinen überwiegend in dem Sinne stattzufinden, daß, für wachsende Kräfte, die beobachtete Anziehung um ein Geringes gegen die berechnete zurückbleibt. Namentlich zeigt sich dieses in *regelmäßiger* Weise, wenn wir die, durch die bei weitem größere Anzahl sorgfältiger Beobachtungen erhaltene Curve für Eisenoxyd ins Auge fassen. Es würde dieser Umstand sogar die Annahme bekräftigen, *daß unser*

mathematisches Gesetz nicht nur ein Gesetz der Annäherung, sondern das wahre Gesetz der Natur sey, sobald wir dasselbe auf die auf einen körperlichen Punkt ausgeübte magnetische Induction beziehen. Denn offenbar müssen dann die Abweichungen von diesem Gesetze, wenn wir den Punkt mit einer endlichen Masse vertauschen, im obigen Sinne ausfallen.

Für die verschiedenen Substanzen haben wir den Sättigungspunkt berechnet und in der letzten Verticalcolumnne die entsprechenden Werthe von  $J$ , welche zum Ausdruck  $\frac{1}{2}\pi k$  haben und für welche  $M = \infty$ , zusammengestellt.

70. In der nachstehenden Tafel haben wir die Werthe von  $\frac{1}{c}$  und  $\frac{1}{k}$ , so wie die daraus abgeleiteten Werthe der Inductions-Constante  $\lambda$  und der Widerstands-Constante  $\mu$  vereinigt. Die in der 67. Nummer zusammengestellten Bogen geben, wenn wir dieselben auf den Radius, als Einheit, beziehen die Werthe von  $\frac{1}{c}$ , die entsprechenden trigonometrischen Tangenten die Werthe von  $\frac{1}{k}$ . Ferner ist  $\lambda = \frac{k}{c}$  und  $\mu = \frac{1}{3k^2}$ . (26; 32).

Magnetische Constanten.

	$\frac{1}{c}$	$\frac{1}{k}$	$\lambda$	$\mu$
Kobaltoxydhydrat	0,2035	0,2007	1,00135	0,01383
Sauerstoffgas	0,2981	0,2897	1,02896	0,02799
Wismuth	0,3541	0,3434	1,04048	0,03861
Nickeloxyd	0,4727	0,4468	1,05791	0,06654
Eisenoxyd	0,6745	0,5934	1,1367	0,11738
Eisen	1,0723	0,8203	1,3074	0,2243
Kobalt	1,2647	0,9017	1,4025	0,27105
Nickel	2,4751	1,1868	2,0855	0,4588

71. Es folgt aus dem Vorhergehenden, daß der spezifische Magnetismus einer Substanz von der Größe der inducirenden Kraft abhängig ist, und daß die Aenderung desselben, mit dieser Kraft, für verschiedene Substanzen eine verschiedene ist. Um ihn für eine gegebene Kraft zu bestimmen, füllen wir nach einander in dasselbe Fläschchen

die zu vergleichenden Substanzen. So haben wir in das Fläschchen III zuerst das Eisengemenge, dann das Kobaltgemenge gefüllt und die beidesmalige Anziehung, bei Anwendung eines Grove'schen Elements, bestimmt. Daraus können wir die Anziehung berechnen, die einmal 1<sup>er</sup> Eisen, das andere Mal 1<sup>er</sup> Kobalt, gleichmäfsig in der Form von feinstem Pulver durch den ganzen innern Raum des Fläschchens vertheilt, erfährt. Die Daten dazu liefern die 47. und 49. Nummer. Die Anziehung des Eisens, getheilt in die Anziehung des Kobalts, ist alsdann der specifische Magnetismus des letztern. Diesen Quotienten wollen wir mit 1000000 multipliciren, d. h. den specifischen Magnetismus des Eisens einer Million statt der Einheit gleich setzen. Ebenso erhalten wir den specifischen Magnetismus des Nickels aus den Daten der 47. und 51. Nummer.

Um den specifischen Magnetismus des Eisenoxyds zu bestimmen, wurde das ursprünglich mit dem Eisengemenge gefüllte Fläschchen III mit diesem Oxyde gefüllt. Das Gewicht desselben ergab

6<sup>er</sup>,520,

die magnetische Anziehung desselben, bei Anwendung eines Grove'schen Elementes,

0<sup>er</sup>,521,

nachdem von der ganzen Anziehung die Anziehung des Glases (das hier dicker genommen werden mußte, als bei den beiden Fläschchen I und II), welche 0,028 betrug, abgezogen worden war. Stellen wir diese Beobachtung mit der Beobachtung der 47. Nummer zusammen, so finden wir für den specifischen Magnetismus des Eisenoxyds die Zahl 759.

Durch die Zusammenstellung der Resultate der 40. Nummer mit den Resultaten der 42., 43., 44., 45. Nummer ergeben sich die folgenden Zahlen

0,3776    2,8718    0,0311    0,0217

für den specifischen Magnetismus des Nickeloxyds, des Kobaltoxydhydrats, des Wismuths und des Phosphors, wenn wir den Magnetismus des Eisenoxyds für einen Augenblick

als Einheit nehmen. Durch Hülfe der vorhergehenden Zahl führen wir die letzten Zahlen auf andere zurück, welche sich auf die frühere Annahme beziehen, daß der Magnetismus des Eisens eine Million sey.

Wir haben in dem Vorstehenden vorausgesetzt, daß die inducirende magnetische Kraft der Einheit gleich sey. Um für andere inducirende Kräfte den specifischen Magnetismus einer Substanz zu erhalten, müssen wir die, für die Einheit der Kraft erhaltene Zahl mit  $\frac{J}{J'}$  multipliciren. Wir bezeichnen hierbei durch  $J$  und  $J'$ , bei der jedesmaligen Kraft, die Intensitäten des in der zu bestimmenden Substanz und im Eisen inducirten Magnetismus. Die Tabelle der 68. Nummer giebt diese Intensitäten für die inducirenden magnetischen Kräfte 1, 2, 2,9, 3,45 und 4, denen die Stromstärken 1, 2, 3, 4 und die Stärke des Stromes einer 16elementigen Kette entsprechen. Der Werth des Quotienten  $\frac{J}{J'}$  bleibt auch für unendlich große magnetische Kräfte ein endlicher, ebenso für unendlich kleine Kräfte. Im ersteren Falle ist er durch  $\frac{J_m}{J'_m}$ , im letztern durch  $\frac{\lambda}{\lambda'}$ , zu ersetzen, wobei wir  $J'_m$  und  $\lambda'$  auf Eisen beziehen.

Hiernach ist die nachstehende Tabelle berechnet.



**Specificher Magnetismus bei verschiedenen magnetischen  
Kräften.**

Größe der inducirenden Kraft =

	0	1	2	2,9	3,45	4	$\infty$
Eisen	1000 000	1000 000	1000 000	1000 000	1000 000	1000 000	1000 000
Kobalt	1082 500	1009 000	968 800	946 700	945 500	938 200	917 800
Nickel	743 100	465 800	408 500	382 200	375 700	368 400	321 900
Kobaltoxydhydrat	1 687	2 178	3 058	3 733	4 178	4 500	7 070
Eisenoxyd	660	759	866	911	935	953	1 048
Nickeloxyd	193	287	356	400	416	430	455
Wismuth	18,7	23,6	31,0	36,0	38,6	40,5	56,9
Phosphor	13,1	16,5	21,6	25,1	26,9	28,2	39,5

72. Ich knüpfe nur wenige Bemerkungen an die vorstehende Tabelle an.

Ich habe früher <sup>1)</sup>, bei Anwendung von sechs Elementen, den specifischen Magnetismus des Eisenoxyds bestimmt und für denselben

891

erhalten, während unsere Tabelle die Gränzen

660            1048

giebt. Für die damals angewandte Stromstärke,  $4\frac{1}{3}$ , was, wenn damals auch die Einheit der inducirenden magnetischen Kraft dieselbe als in den vorstehenden Bestimmungen gewesen wäre, für diese 3,6 geben würde, gäbe dann die Tabelle nahe

940.

Aber die frühere Einheit war kleiner, weil das frühere Glasgefäß eine dickere Wandung und eine gröfsere Krümmung hatte. Dadurch wird die Uebereinstimmung der beidesmaligen Resultate ganz befriedigend.

Sobald wir überhaupt unsere Gefäße, in welchen die Bestimmungen gemacht werden, mit andern vertauschen, sobald wir die beiden Halbanker anders auf die Polflächen unseres grofsen Elektromagneten auflegen, sobald wir an einer andern Stelle die Anziehungen bestimmen — ändert sich die Einheit unserer inducirenden Kraft und somit unsere Constanten-Bestimmung. Unter verschiedenen Verhältnissen angestellte Bestimmungen werden erst vergleichbar, nachdem die fragliche Einheit vorher ermittelt worden ist.

Die Aenderung dieser Einheit durch Vertauschung der Gefäße I und II sowie der Gefäße III, IV und V, unter einander, ist nur sehr gering; sie wird für unsere Untersuchungen merklich, obwohl nicht bedeutend, wenn wir eins der beiden ersten Gefäße mit einem der drei letzten vertauschen. Darum haben wir nothwendig einen kleinen Fehler gemacht, indem wir, nachdem im Gefäße II der specifische Magnetismus von Kobaltoxydhydrat, Nickeloxyd,

1) Numerische Vergleichung des Magnetismus des Sauerstoffgases und des Magnetismus des Eisens. Ann. LXXXIII, p. 113.

Wismuth und Phosphor einerseits und Eisenoxyd andererseits, und in dem Gefäße III der specifische Magnetismus von Eisen und Eisenoxyd verglichen worden war, aus der Zusammenstellung dieser Bestimmungen den specifischen Magnetismus der zuerst genannten vier Substanzen abgeleitet haben.

Aus demselben Grunde bedarf auch meine Bestimmung des specifischen Magnetismus des Sauerstoffgases <sup>1)</sup> einer kleinen Correction, deren Sinn, bei der großen Verschiedenheit der beiden angewandten Gefäße, ich nicht von vorne herein bestimmen möchte und deren Belang jedenfalls schwer zu schätzen ist. Darum habe ich auch die früher, bei Anwendung von sechs Elementen, gefundene Zahl

3500

nicht ohne Weiteres hier aufgenommen. Wir erhalten für die extremen Werthe des specifischen Magnetismus des Sauerstoffgases, bei steigender inducirender Kraft, das Verhältniß

$$1 : \frac{J_m}{J'_m} \cdot \frac{\lambda'}{\lambda}$$

indem wir  $J_m$  und  $\lambda$  auf Sauerstoffgas und  $J'_m$  und  $\lambda'$  auf Eisen beziehen, also nahe

$$1 : 3,6.$$

73. Schliesslich resumire ich die gewonnenen Resultate.

1) Für alle magnetischen und diamagnetischen Substanzen giebt ein und dasselbe allgemeine Gesetz die Intensität des inducirten Magnetismus als Function der erregenden Kraft. Für jede besondere Substanz particularisirt sich dieses Gesetz durch die Werthe zweier Constanten. Von diesen beiden Constanten giebt die eine, bei verschwindender inducirender Kraft, das Verhältniß dieser Kraft zum inducirten Magnetismus (Inductions-Constante), und die zweite bestimmt den Widerstand, welcher sich dem entgensetzt, daß der inducirte Magnetismus der inducirenden Kraft proportional wächst (Widerstands-Constante).

2) Für jede Substanz giebt es einen Sättigungspunkt,

1) S. die eben citirte Abhandlung, S. 114.

dem sie sich bei zunehmender inducirender Kraft immer mehr nähert.

3) Die diamagnetischen Substanzen (Wismuth, Phosphor) verhalten sich, bei gerade entgegengesetzter Wirkung auf die inducirenden Magnetpole, was das Gesetz über die Intensität ihrer Erregung betrifft, vollkommen ebenso wie die magnetischen Substanzen. Dieses gleiche Verhalten zwingt uns, nach meiner Ansicht, anzunehmen, daß der Zustand eines diamagnetisch erregten Körpers von dem Zustande eines magnetisch erregten, an und für sich, in keiner Weise verschieden ist, daß ferner Polarität auch bei der Erregung diamagnetischer Substanzen vorhanden ist, diese aber durch eine Induction, entgegengesetzt derjenigen, welche bei magnetischen Körpern stattfindet, hervorgerufen wird.

4) Die das Gesetz der Induction darstellenden Curven für die diamagnetischen Substanzen werden von beiden Seiten von Curven für magnetische Substanzen umgeben. Sie zeigen, daß der Widerstand, welcher sich der Erregung diamagnetischer Substanzen entgegenstellt, geringer ist als bei den meisten magnetischen Substanzen; daß er aber keinesweges verschwindet, im Gegentheile größer ist als beim Sauerstoffgase und beim Kobaltoxydhydrat. Herr W. Weber setzt den Unterschied der magnetischen und diamagnetischen Substanzen darin, daß in letztern die elektrischen Molecularströme, einmal erregt, keinen «Widerstand» finden und gründet darauf seine Theorie des Diamagnetismus. Er sagt auch, daß «kein Scheidungswiderstand» in diamagnetischen Körpern vorhanden ist.<sup>1)</sup> Darüber aber habe ich keinen Aufschluß gefunden, ob er diesen Scheidungswiderstand (der eben unser Widerstand ist) mit dem, was er schlechthin Widerstand nennt, als gleichbedeutend betrachtet, oder wenigstens das gleichzeitige Verschwinden beider im Wismuth als eine theoretische Nothwendigkeit ansieht. In diesen Voraussetzungen würden unsere Resultate mit seiner Theorie im Widerspruche seyn.

1) Maafsbestimmungen p. 543 und 545.

5) Von dem specifischen Magnetismus einer Substanz kann, in der allgemeinen Bedeutung, wie man von specifischem Gewichte spricht, *nicht* die Rede seyn. — Kobalt ist gerade so stark magnetisch als Eisen, wenn wir einer bestimmten magnetischen Kraft uns bedienen, welche, ihrer Gröfse nach, zwischen denjenigen beiden liegt, welche durch ein Grove'sches Element und durch zwei Elemente hervorgerufen werden. Bei einer gröfsern magnetischen Kraft ist Eisen, bei einer kleinern, Kobalt *stärker* magnetisch. Vergleichen wir den specifischen Magnetismus des Kobaltoxydhydrats mit demjenigen des Nickels, so erhalten wir Zahlen, die nahe um das  $2\frac{2}{3}$ fache von einander verschieden sind, je nachdem wir ein einzelnes Element oder eine Kette von 16 Elementen anwenden. Der specifische Magnetismus (Eisen als Vergleichungspunkt genommen) des Hydrats ist, bei der letztgenannten Erregung, doppelt so grofs als bei der ersten. Für Sauerstoffgas und Wismuth sinkt dieses Verhältnifs auf etwa 1,9 und 1,8. Hieraus erklärt sich, zum Theil, dafs, während Herr Faraday's Schätzung des Magnetismus des Sauerstoffgases, bei nahe gleicher Kraft (und gleicher Beobachtungsweise) mit meiner Bestimmung gut stimmt, andere Physiker für Sauerstoffgas und Wismuth viel kleinere Zahlen finden. <sup>1)</sup>

6) Der Wechsel von magnetischer Anziehung und diamagnetischer Abstofsung bei Gemengen von magnetischen und diamagnetischen Substanzen erklärt sich vollständig aus der Aenderung des specifischen Magnetismus mit der Gröfse der inducirenden Kraft. — Wenn wir 10 Millionen Theile Wismuth und 310 Theile Eisen mengen und mit dem Gemenge unsere Fläschchen füllen, so beobachten wir weder Anziehung noch Abstofsung, falls wir einen Strom an-

1) Ich kann meine Bedenken gegen die Anwendung der Schwingungsmethode zur Bestimmung des specifischen Magnetismus der Körper nicht unterdrücken. Diese bestehen nämlich 1) in der dabei stets sich ändernden Intensität des inducirten Magnetismus und 2) in der Hervorbringung endlicher elektrischer Strömungen im Innern des schwingenden Körpers, auf welche der inducirende Magnet einwirkt.

wenden, der doppelt so stark ist als derjenige, der einem Grove'schen Elemente entspricht; bei einer kleinern Kraft wird das Gemenge *angezogen*, bei einer größern *abgestofsen*. Diese Abstofsung, wie jene Anziehung, können, wir für eine *gegebene Kraft berechnen*. Bei Anwendung *eines Grove'schen Elementes* ist die Anziehung nahe ein Drittel Mal so groß als diejenige Abstofsung, welche, bei gleicher Kraft, stattfinden würde, wenn das ganze Gefäß mit Wismuth gefüllt wäre; bei Anwendung einer Kette von 6 Elementen erhalten wir, statt der eben bestimmten Anziehung, eine ihr nahe gleiche Abstofsung; bei einer Kette von 16 Elementen endlich eine Abstofsung, die ungefähr  $\frac{2}{3}$  derjenigen ist, die reines Wismuth bei einem Elemente erfährt <sup>1)</sup>. Die Resultate würden stärker hervortreten, wenn Wismuth mit Nickel, statt mit Eisen, gemengt würde. Sie würden, bei einer Mischung mit Kobaltoxydhydrat, im entgegengesetztem Sinne auftreten; das heißt, wenn bei irgend einer Stromstärke Wismuth und das Hydrat in solcher Proportion gemengt würden, daß Abstofsung und Anziehung sich aufheben, so würde, bei geringerer Stromstärke, Abstofsung, bei größerer Anziehung des Gemenges stattfinden.

7. Diejenigen Substanzen, welche der Magnetisirung einen geringeren Widerstand entgegensetzen, scheinen auch den einmal angenommenen Magnetismus leichter (im Sinne des Stahls) festzuhalten. Wenigstens finde ich vom reinen Nickel angegeben, daß es keinen Magnetismus behalte, während unser Kobaltoxydhydrat dieses thut; ebenso Sauerstoffgas, das, wie ich zuerst bemerkt habe, in einer indifferenten Glaskugel durch Commutation der Pole, von dem Elektromagneten nach unserem Belieben angezogen und abgestofsen wird. Dasselbe habe ich endlich für Wismuth aus meinen Versuchen gefolgert, wogegen nur der Zwei-

1) Die genauen Verhältniszahlen sind nach der letzten Tabelle:

$$\frac{310 - 236}{236} = 0,32$$

$$\frac{405 - 310}{236} = 0,40$$

fel erhoben worden ist, ob nicht vielleicht die beobachtete Erscheinung inducirten galvanischen Strömen zuzuschreiben sey. Doch ich will hier einer späteren Mittheilung »über das Wesen der Coërcitivkraft« nicht vorgreifen.

8. Nach Abschluß der gegenwärtigen Abhandlung wurde ich darauf aufmerksam gemacht, daß Herr Lallemand, um die Intensität eines durch einen galvanischen Strom in einer Spirale hervorgerufenen Inductionsstroms auszudrücken, dieselbe Function der inducirenden Kraft gefunden hat, als nach dem Vorhergehenden sich für die Intensität des durch Induction hervorgerufenen Magnetismus ergibt <sup>1)</sup>. Diese Uebereinstimmung mußte mich überraschen. Wenn die beiderseitigen Resultate nicht bloß Annäherungsgesetze, sondern wirkliche Gesetze der Natur sind, so ist bewiesen, daß, wenn wir Magnetismus durch Ampère'sche Molecularströme erklären, diese Ströme denselben Erregungsgesetzen unterworfen sind, als endliche galvanische Ströme. Was aber auch, abgesehen von jeder Theorie, die geheimnißvolle Thätigkeit, die im galvanischen Strome einerseits, im Magnetismus andererseits sich offeu-

1) *Ann. de Chimie et Physique 3<sup>me</sup> série, T. XXII., p. 19.* In der deutschen Uebersetzung »Ueber die gegenseitige Anziehung und Abstossung augenblicklicher Ströme« heisst es

»Nach mehreren fruchtlosen Versuchen, durch ein empirisches Gesetz das Verhalten der beiden Intensitäten mit hinreichender Annäherung auszudrücken, fand ich, daß der Bogen, dessen Tangente gleich der Intensität des inducirenden Stromes ist, mit großer Genauigkeit die Intensität des secundären Stromes ausdrückt. Wenn man bedenkt, daß die Versuche von dieser Art unter ziemlich ungünstigen Bedingungen angestellt werden, so ist die Uebereinstimmung so vollkommen, daß ich nicht anstehe, das so bestimmte Verhältniß als den wahren Ausdruck des Phänomens zu betrachten; man hat also, wenn man durch  $J$  die Intensität des inducirenden, durch  $D$  die Intensität des secundären Stromes und durch  $K$  eine Constante bezeichnet:

$$J = K T_g D.$$

Krönig Journal für Physik des Auslandes, Bd. III., p. 147.

Eine neue Prüfung dieses Resultats scheint mir sehr wünschenswerth und dann eine Wiederholung der Versuche mit Strömen, die in Drähten von verschiedenen Metallen und überhaupt von verschiedener Leitungsfähigkeit inducirt werden, in theoretischer Hinsicht von großer Bedeutung.

bart, ihrem wahren Wesen nach seyn möge: so viel steht hiernach fest, dafs sie immer Aeufserung ein und derselben Naturkraft ist.

Indem ich diese Abhandlung schliesse, kann ich nicht unerwähnt lassen, dafs Herr Th. Meyer mir in meinen Experimentaluntersuchungen mit unermüdlichem Eifer als Assistent behülflich gewesen ist.

Bonn, den 24. October 1853.

---

## II. *Theorie des elektrischen Rückstandes in der Leidener Flasche; von R. Kohlrausch.*

---

Die Lösung eines wichtigen elektrischen Problemes machte es nothwendig, ein Gesetz für die Bildung des elektrischen Rückstandes in der Leidener Flasche aufzusuchen. Nachdem zu diesem Zwecke das in diesen Annalen Bd. 88, S. 497 beschriebene Sinuselektrometer construirt, und mit dessen Hülfe und mit Hülfe eines im gegenwärtigen Aufsatze angeführten Multiplicators das Thatsächliche der Erscheinung einem genauen Studium unterworfen war (§. 1 bis 8), ergab sich bald (§. 9), dafs die bisherige Erklärungsweise schwerlich Anspruch auf Richtigkeit machen könne. Es wurde deswegen versucht (§. 10), einen anderen Grund für die Entstehung des elektrischen Rückstandes aufzusuchen, und es gelang (§. 11), auf die neuen Annahmen gestützt, ein Zahlengesetz für die Bildung desselben aufzufinden, welches zu practischen Anwendungen (§. 12) zu gebrauchen war.

Die neue Hypothese wird einer strengen Kritik bestens empfohlen, denn solche Hypothesen, welche, wie diese, durch ihre ziemlich ausgedehnte Anwendbarkeit etwas Besteheudes haben, müssen unter guter Aufsicht gehalten werden, gesetzt auch, die Anwendungen würden aus Bescheidenheit noch nicht versucht. Mag man aber auch die in §. 10