II. *Ueber absolute Maasssysteme für electriche und magnetische Grössen; von H. Helmholtz.*

Die Physiker haben bisher zwei verschiedene Systeme electriche absoluter Maasse brauchen müssen, das electrostatische und electromagnetische, während für magnetische Grössen bisher immer nur eins, nämlich das von Gauss eingeführte gedient hat, an welchem nur die als Einheiten der Länge und Masse gebrauchten Theile des Meter und Gramm gewechselt haben. Die Anwendung jener zwei electriche Maasssysteme war schon aus dem praktischen Grunde bisher nicht zu umgehen, weil die Bestimmung des Factors, der zur Reduction der electrostatischen auf electromagnetische Maasse zu dienen hat, nämlich der kritischen Geschwindigkeit Weber's, noch nicht mit dem gleichen Grade der Genauigkeit ausgeführt werden konnte, der innerhalb des Kreises der electromagnetischen Messungen einerseits und der electrostatischen Messungen andererseits zu erreichen war. Es war deshalb vortheilhafter, wenn bei jeder Experimentaluntersuchung dasjenige Maasssystem angewendet wurde, auf welches die gemessenen Grössen mit der grösseren Genauigkeit zu beziehen sind.

Dazu kommt dann noch die Rücksicht auf die Vermeidung allzu langer Zahlen, welche vielleicht bewirken wird, dass wir fortfahren werden, für electrostatische und galvanische Phänomene zweierlei, wenn auch aufeinander zurückführbare Maasse anzuwenden. Zur Zeit sind die electromagnetischen Messungsmethoden am meisten ausgebildet, sie sind unverkennbar die praktisch wichtigsten für eine in riesigen Schritten wachsende Technik, und ich habe es deshalb ganz zweckentsprechend gefunden, dass der im vorigen Jahre in Paris tagende internationale Congress ein electromagnetisches System von absoluten Maassen festzustellen gesucht hat. Hätte es sich um rein wissenschaftliche Zwecke gehandelt, so würde ich das bisher gebräuchliche electrostatische System vorgezogen haben, da dieses, wie mir scheint, die

wesentlichen Analogien der Erscheinungen durch analoge Formeln am besten darstellt, und ihnen den übersichtlichsten und fasslichsten Ausdruck gibt. Es war dieses auf Principien von Gauss gestützte System, welches bisher den meisten physikalisch mathematischen Abhandlungen dieses Gebietes zu Grunde gelegen hat.

Eben deshalb würde es mir sehr wenig wünschenswerth erscheinen, wenn dieses System nun gänzlich fallen und sogar seinen Namen an ein neues abgeben sollte, wie es Hr. Clausius¹⁾ in seinem kürzlich veröffentlichten Aufsätze vorgeschlagen hat. Vervielfältigung der Maasssysteme ohne ganz dringende Gründe würde ich überhaupt nicht empfehlen. Uebertragung aber eines bisher schon gebrauchten und vielfach benutzten Namens auf ein neues System würde unausbleiblich wieder unnöthige und verdriessliche Verwirrung in der physikalischen Literatur hervorbringen, auch abgesehen von jeder Werthschätzung des aufgegebenen im Verhältniss zu dem neuen System.

Jede Feststellung eines neuen absoluten Maasses muss auf die messende Beobachtung eines natürlichen Vorganges oder Verhaltens basirt werden, wie schon unter den drei Grundeinheiten das Gramm mittels der Dichtigkeit des reinen Wassers von 4° C. auf die beiden anderen reducirt worden ist. Das Maass der magnetischen Quanta, welches bisher ausschliesslich angewendet wurde, ist auf die von Gauss aufgestellte Definition gegründet, wonach die abstossende Kraft zwischen zwei magnetischen Quantis, m_1 und m_2 , die in der Entfernung r voneinander sich befinden, nicht blos proportional, sondern gleich dem Werthe $(m_1 \cdot m_2 / r^2)$ gesetzt wird. Da die Kraft und die Länge r nach bekannten Methoden zu messen sind, ist dadurch der Werth des Productes $(m_1 \cdot m_2)$ in absoluten Maassen bestimmt, und wenn also aus anderen Thatsachen das Verhältniss (m_1 / m_2) bestimmt werden kann, sind m_1 und m_2 einzeln zu bestimmen.

Genau dasselbe Princip wendet Gauss im Anfang seiner

---

1) Clausius, Verhandl. des naturh. Vereins d. preuss. Rheinl. u. Westfal. 39. 6. März. 1882. — Wied. Ann. 16. p. 529. 1882.

Abhandlung: „Allgemeine Lehrsätze in Beziehung auf die im verkehrten Verhältnisse des Quadrats der Entfernung wirkenden Anziehungs- und Abstossungskräfte“¹⁾ auch auf die electricischen Quanta und die gravitirenden Massen an. Wenn er in den beiden letzteren Fällen das Princip auch nicht in praktische Ausführung gesetzt hat, so würde es doch gerechtfertigt sein, alle drei Methoden mit seinem Namen, als dem ihres geistigen Autors, zu bezeichnen. Die, welche sich auf die Electricität bezieht, gibt das electrostatische System, wie es bisher angewendet worden ist. Die dritte, welche sich auf die gravitirenden Massen bezieht, wird vielleicht in Zukunft eine wichtige Rolle spielen, wenn es gelungen sein wird genauere Bestimmungen der Gravitationskraft auszuführen. Bezeichnen wir, wie Maxwell, durch eckige Klammern die Dimensionen des von denselben eingefassten Ausdrucks, mit M eine Masse, mit L eine Länge, mit T eine Zeit, so ist nach Gauss die Anziehung zwischen zwei schweren Massen m in der Entfernung r :

$$\left[\frac{m^2}{r^2} \right] = \left[\frac{M \cdot L}{T \cdot T} \right] \quad \text{oder} \quad \left[\frac{M}{L^3} \right] = \left[\frac{1}{T^2} \right].$$

Links steht eine Dichtigkeit, rechts eine Function der Zeit. Setzen wir also, wie bisher, die absolute Dichtigkeit des Wassers gleich eins, während die Einheit der Masse nach Gravitationsmaass bestimmt ist, so ist dadurch ein von der wahrscheinlich veränderlichen Rotation der Erde unabhängiges Zeitmaass gegeben, und es bliebe nur die Ueberlieferung eines einzigen Maasses, des Meter, der Tradition überlassen. Aber auch dieses liesse sich absolut definiren, wenn man eine unveränderliche Geschwindigkeit, z. B. die Lichtgeschwindigkeit im freien Aether zu Hülfe nähme.

So würde z. B. die Umlaufszeit T eines kleinen Trabanten, der dicht an der Oberfläche einer Kugel aus reinem Wasser von normaler Dichtigkeit D umlief, sich unabhängig von dem Radius der Kugel in Gravitationsmaass finden:

$$T^2 = \frac{3\pi}{D},$$

und die Lichtgeschwindigkeit:

1) Resultate aus den Beobachtungen des magnet. Vereins 1839.

$$v = \frac{L}{T} = L \sqrt{\frac{D}{3\pi}},$$

durch welche letztere Gleichung die Länge L gegeben wäre. Dieses System würde uns also von der Ueberlieferung jedes traditionellen Maasses frei machen.

Im Gauss'schen magnetischen und electrostatischen Maasse sind die Dimensionen des magnetischen Quantum m und des electrostatischen Quantum e bestimmt durch die Gleichungen:

$$[m] = [e] = [M^{\frac{1}{2}} L^{\frac{3}{2}} T^{-1}],$$

beide basirt auf das Phänomen der Abstossung zwischen ruhenden magnetischen, beziehlich ruhenden electrischen Quantis.

Für die electromagnetischen Bestimmungen wurde dagegen die ponderomotorische Wirkung eines geschlossenen electrischen Stromes auf einen Magnetpol benutzt, deren Gesetze hauptsächlich und vollständig von Ampère formulirt worden sind.

Die Componenten der magnetischen Kräfte, die ein electrischer Strom in seiner Nachbarschaft hervorbringt, lassen sich ebenso wie die eines Magneten als Differentialquotienten einer Potentialfunction darstellen, welche dieselben Differentialgleichungen erfüllt, wie die der Magnete, und sich von denen der letzteren nur dadurch unterscheidet, dass sie periodisch um die gleiche Grösse in ihrem Werthe wächst, so oft man mit nur einem Pole einen ganzen Umlauf um den Stromleiter macht. Da die electromagnetischen Kräfte der Stromintensität des Leiters proportional sind, so ist auch die Periode des Potentials dieser Intensität proportional und unabhängig von der Form des Leiters. Maxwell benutzt deshalb den Werth der Periode des Potentials Ω als Maass für die Intensität des Stromes C und setzt deshalb in § 623 seines Treatise on Electricity and Magnetism die Dimensionen beider gleich:

$$[\Omega] = [C].$$

Die feste Zahlenbeziehung zwischen beiden ergibt sich aus einer früheren Stelle des genannten Buches § 479, wo T die magnetische Kraft eines sehr langen geraden Stromleiters

in der kleinen Entfernung r von seiner Axe bezeichnet, und J für C gesetzt ist:

$$Tr = 2J.$$

Da:

$$\Omega = T \cdot 2\pi r,$$

so ist:

$$\Omega = 4\pi J,$$

wodurch Maxwell's Bestimmung bei Benutzung des Gauss'schen magnetischen Maasses gleich dem von W. Weber vorgeschlagenen electromagnetischen Maasse wird.

Zu Ampère's Zeiten lag eine ausgeführte Theorie der Potentialfunctionen noch nicht vor. Er hat aber, was wir jetzt in der angegebenen Weise naturgemäss ausdrücken können, durch eine geschickt gewählte Fiction durchaus genau dargestellt, indem er sich eine vom Stromleiter begrenzte Trennungsfläche des in diesem Falle doppelt zusammenhängenden Raumes mit einer magnetischen Doppelschicht belegt construiert dachte. Wenn das magnetische Moment jeder Flächeneinheit der Doppelschicht mit μ bezeichnet wird, so muss nach bekannten Sätzen der Potentialsprung zwischen den beiden Seiten sein:

$$\Omega = 4\pi\mu, \text{ also: } \mu = J.$$

Bei dieser Ausdrucksform des Ampère'schen Gesetzes ist Hr. Clausius stehen geblieben.

Beide Ausdrucksformen sind vollkommen gleichbedeutend und vollkommen gleichberechtigt, solange wir die magnetischen Quanta nach Gauss'scher Vorschrift messen. Das erkennt auch Hr. Clausius an; aber er glaubt eine erweiterte Anwendung des Maxwell'schen Ausdrucks auf andere Maasssysteme verwerfen zu dürfen; er erklärt dies für ein Versehen von Maxwell und die daraus hergeleiteten Gleichungen und Dimensionsbestimmungen für falsch.

Der einzige Grund, den er in dieser Beziehung gegen Maxwell's Definition anführt, ist der folgende in § 3 der oben citirten Abhandlung: „Nun ist aber die Kraft, welche ein Strom auf einen Magnetpol ausübt, eine electrodynamische, und daraus folgt, dass eine Gleichung, deren Ableitung sich auf diese Kraft stützt, nur in dem auf die electrodynamischen Kräfte gegründeten Maasssysteme als gültig betrachtet werden darf, aber nicht im statischen

Maasssysteme, welches auf die electrostatischen Kräfte gegründet ist.“

Aber selbst, wenn man als Anhänger von Ampère's Hypothese gegen den ersten Theil dieses Satzes keine Zweifel hegte, sehe ich nicht ein, warum der Schluss nur gegen Maxwell und nicht gegen die von Hrn. Clausius selbst adoptirte Fassung des Ampère'schen Gesetzes angewendet werden soll, da letztere doch nichts als eine andere Ausdrucksweise derselben Thatsachen ist. Beide Grössen, sowohl Maxwell's Potentialperiode Ω , wie Ampère's magnetisches Moment der Flächeneinheit sind im Gauss'schen Maasssystem von der Dimension $[m/L]$; beide haben eine physikalische Bedeutung nur in „der Darstellung der Kraft, welche ein Strom auf einen Magnetpol ausübt.“

Auch scheint mir der eigentliche Grund der Differenz in einem ganz anderen Umstande zu stecken, nämlich in Maxwell's Definition des magnetischen Potentials Ω . Dies ist bei ihm nicht die Rechnungsform $\Sigma[m/r]$, sondern er definirt es in diesem Falle, wie auch in den entsprechenden Anwendungen auf Electrostatik und Electrodynamik dadurch, dass $\Omega \cdot m$ eine Arbeit ist, welche Bestimmung auch der Gauss'schen Bestimmung von m zu Grunde liegt.

Der Differentialquotient $-d\Omega/dx$ ist dem entsprechend die Kraft, welche auf die Einheit des Magnetismus wirkt, und $(-\Omega)$ also Jacoby's Kräftefunction. Wenn wir für m eine andere Maasseinheit einführen und mit dieser messend m_1, Ω_1, J_1 statt m, Ω, J erhalten, so muss nach Maxwell's Definition:

$$m \Omega = m_1 \Omega_1$$

also auch:

$$m J = m_1 J_1$$

sein. Die Einheit des Stromes wächst also umgekehrt wie die neugewählte Einheit des Magnetismus im Verhältniss zur alten; die Kraft, welche die Stromeinheit auf die Einheit des Magnetismus ausübt, bleibt aber constant. Bei Hrn. Clausius wachsen dagegen m und J beide in demselben, nicht im umgekehrten Verhältnisse, und die Kraft, wie m^2 oder J^2 . Nach seinen Festsetzungen bringt die fingirte Ampère'sche Fläche immer noch einen dem Momente der Flächeneinheit gleichen Sprung in der Function $\Sigma(m/r)$

hervor; aber diese Function hat dann nicht mehr die Bedeutung der Kräftefunction für die neugewählten magnetischen Einheiten.

Ein Versehen von Maxwell kann ich in allem diesen nicht erkennen, und seine aus der von ihm gewählten Formulirung des Grundphänomens abgeleiteten Gleichungen sind durchaus in sich ebenso folgerichtig und richtig, wenn sie im Sinne ihres Autors verstanden werden, wie die von Hrn. Clausius. Vielmehr zeigt dieser Fall, dass wenn wir die Gauss'sche Bestimmung der magnetischen Einheit verlassen, wir wieder in mindestens zwei verschiedene und gleichberechtigte Systeme von Maasseinheiten verfallen, und ich für meinen Theil würde daraus den beiden Autoren Maxwell und Clausius gegenüber die praktische Folgerung ziehen, dass wir die genannte Methode von Gauss überhaupt nicht verlassen sollten, ehe nicht ganz besonders wichtige Gründe und ein ganz bestimmter Zweck zu solchem Verfahren vorliegen, wobei dann auch wahrscheinlich die Wahl zwischen Maxwell's und Clausius' System durch sachliche Gründe sich entscheiden würde.

Wenn ich nun auch Maxwell gegen die Beschuldigung, dass er infolge eines Versehens unrichtige Gleichungen aufgestellt habe, in Schutz nehmen muss: so ist doch zu erwähnen, dass in der Redaction des Textes von § 623 seines angeführten Werkes, wo er die Dimensionen sämmtlicher übrigen electrischen und magnetischen Grössen auf die Dimensionen einer beliebig gewählten unter ihnen zurückführt, eine Lücke vorkommt, welche den Leser leicht in die Irre führen könnte, wenn er den Zusammenhang der etwas verwickelten Gleichungssysteme des § 622 und 623 nicht genau untersucht, und welche den Sätzen des § 623 eine grössere Tragweite zu geben scheint, als Maxwell selbst wahrscheinlich ihnen hat geben wollen. Er spricht nämlich im Anfang seines Capitel X, in § 620, zwar von electrostatischen und electromagnetischen Einheiten, aber nicht von magnetischen, gibt übrigens Definitionen, wonach die electrokinetischen Einheiten ganz ohne Berücksichtigung des Magnetismus bestimmt werden. Dann aber kommen in § 621 auch

magnetische Grössen hinein, welche er einführt, ohne irgendwie ausdrücklich zu sagen, dass in allen seinen Bestimmungen des Verhältnisses zwischen electrischen und magnetischen Grössen durchaus die in den vorliegenden Capiteln von ihm besprochene electromagnetische Bestimmung:

$$4\pi J = \Omega$$

festgehalten werden solle.

In dieser Beziehung ist Maxwell's Absicht in der Entwerfung verschiedener Systeme genau dieselbe und ebenso beschränkt gewesen, wie die neuerlich von Hrn. Clausius durchgeführte, wenn auch die Ausführung dieser Absicht bei beiden aus dem besprochenen Grunde verschieden ausgefallen ist.

Bei der Wichtigkeit der Sache erlaube ich mir, hier eine Uebersicht von dem Zusammenhang der Gleichungen der entsprechenden Paragraphen (621 bis 623) von Maxwell's Treatise on Electricity and Magnetism zu geben. In § 621 dieses Buches stellt Maxwell die Grössen zusammen, für welche die Dimensionen der Einheit zu bestimmen sind. Ich lasse dieselben hier in etwas anderer Ordnung und mit den in Deutschland gebräuchlicheren Bezeichnungen ihres Sinnes folgen. Es sind dies vier electrostatische, nämlich:

e) electrisches Quantum,

E) electrostatische Potentialfunction,

D) dielectriche Polarisirung (gemessen durch die electrische Dichtigkeit an der Oberfläche des Dielectricums),

℄) electrische Kraft in einem Punkte (wirkend auf die Einheit von e).

Die vier entsprechenden magnetischen Grössen bezeichnet er in derselben Reihenfolge mit m , Ω , $\mathfrak{B}$, $\mathfrak{H}$.

Dazu kommen noch vier entsprechende Grössen, die sich auf electrische Ströme beziehen, nämlich:

C) Intensität eines Stromes,

℄) Stromdichtigkeit,

p) electrokinetisches Moment eines Stromes,

℘) Vectorpotential electrischer Ströme.

Was den Sinn der beiden letzten Grössen betrifft, so ist p das Neumann'sche electrodynamische Potential der

vorhandenen anderen Ströme bezogen auf den von der Strom-einheit durchzogenen ganzen Leiter, für den es berechnet wird, und $\mathcal{A}.ds$ ist dasselbe Potential bezogen auf ein an einem bestimmten Orte liegendes Leiterelement ds .

Ich bemerke noch, dass die mit grossen deutschen Buchstaben bezeichneten Grössen „Vectoren“ sind, d. h. gerichtete, und nach dem Gesetz des Parallelogramms der Kräfte in Componenten zerlegbare Grössen, und dass die Auswahl derselben durch Maxwell's Streben, nur möglichst direct beobachtbare Grössen in die Rechnung einzuführen und Hypothesen fern zu halten, bedingt ist.

In § 622 stellt Maxwell Dimensionsbestimmungen auf für Producte und Quotienten dieser zwölf Grössen, wie sie unmittelbar durch den Sinn derselben gegeben sind. Es sind dies fünfzehn Bestimmungen, in denen die einerseits auf Electricität und andererseits auf Magnetismus bezüglichen Grössen vollständig getrennt bleiben, sodass, was wohl zu bemerken ist, aus diesen fünfzehn Bestimmungen keine Beziehung zwischen Electricität und Magnetismus hervorgeht. Ich stelle sie tabellarisch zusammen, indem ich Maxwell's schon oben angewendete Bezeichnung der Dimensionen beibehalte.

Nr.	Dimension	Electrische Grössen		Magnetische Grössen
1	$L^2 M / T^2$	$[e \cdot E]$,	$[p \cdot C]$	$[m \cdot \Omega]$
2	$M / (L T^2)$	$[\mathfrak{D} \cdot \mathfrak{E}]$,	$[C \cdot \mathcal{A}]$	$[\mathfrak{B} \cdot \mathfrak{S}]$
3	T	$[e / C]$,	$[p / E]$, $[\mathcal{A} / \mathfrak{E}]$	—
4	L	$[E / \mathfrak{E}]$,	$[p / \mathcal{A}]$	$[\Omega / \mathfrak{S}]$
5	L^2	$[e / \mathfrak{D}]$,	$[C / \mathfrak{C}]$	$[m / \mathfrak{B}]$

Die Bestimmungen der letzten Reihe folgen aus der ersten, wenn man sie durch das Product der betreffenden Grössen der zweiten und vierten Reihe dividirt.

Die fünfte Reihe kann also als überflüssig weggelassen werden; dann bleiben noch folgende identische Gleichungen zwischen den in den vier ersten Zeilen vorkommenden Grössen:

$$\left[\frac{p}{E}\right] = \left[\frac{p \cdot C}{e \cdot E}\right] \cdot \left[\frac{e}{C}\right],$$

$$\left[\frac{\mathfrak{A}}{\mathfrak{E}}\right] = \frac{\left[\frac{p \cdot C}{e \cdot E}\right] \cdot \left[\frac{e}{C}\right]}{\left[\frac{p}{\mathfrak{A}}\right]} \cdot \left[\frac{E}{\mathfrak{E}}\right]$$

Dann sind schliesslich also noch drei unabhängige Bestimmungen für die vier magnetischen Grössen m , Ω , $\mathfrak{B}$ und $\mathfrak{H}$ übrig, und sieben solche für die acht electrischen Grössen e , E , p , C , $\mathfrak{D}$, $\mathfrak{E}$, $\mathfrak{C}$, $\mathfrak{A}$. Wenn also je eine Grösse dieser beiden Gruppen durch andere Feststellungen bestimmt wird, z. B. m und e , das Quantum des Magnetismus und der Electricität, so sind die anderen alle vollständig bestimmt, nämlich:

	Electrisch	Electrokinetisch	Magnetisch
Potentiale . . .	$[E] = \left[\frac{L^2 M}{e T^2}\right]$	$[p] = \left[\frac{L^2 M}{C T^2}\right]$	$[\Omega] = \left[\frac{L^2 M}{m T^2}\right]$
Kräfte	$[\mathfrak{E}] = \left[\frac{L M}{e T^2}\right]$	$[\mathfrak{A}] = \left[\frac{L M}{C T^2}\right]$	$[\mathfrak{H}] = \left[\frac{L M}{m T^2}\right]$
Dichtigkeiten . .	$[\mathfrak{D}] = \left[\frac{e}{L^2}\right]$	$[\mathfrak{C}] = \left[\frac{C}{L^2}\right]$	$[\mathfrak{B}] = \left[\frac{m}{L^2}\right]$
	$[e] = [CT]$		

Dies sind die Bestimmungen, die ohne weitere beschränkende Gleichungen aus den obigen fünfzehn herfolgen. Diese lassen sich auf jede beliebige Festsetzung der Einheiten von m und e , also auch auf das electrostatisch-magnetische System von Gauss anwenden.

Nun folgt bei Maxwell in § 623 der Passus: „Diese fünfzehn Gleichungen sind nicht voneinander unabhängig, und um aus ihnen die Dimensionen aller darin enthaltenen zwölf Einheiten abzuleiten, brauchen wir noch eine Gleichung.“ In der That brauchen wir zwei, da e und m einzeln bestimmt werden müssen, dadurch, dass man auf zwei als Fundamentalphänomene betrachtete Beobachtungsthatsachen zurückgeht. Die eine hier fehlende, von Maxwell nicht ausdrücklich angeführte, sondern aus dem Zusammenhange als selbst-

verständlich vorausgesetzte Gleichung können wir wie oben schreiben:

$$[\Omega] = [C].$$

Hr. Clausius hat dafür die andere minder durchsichtige:

$$[p] = [m]$$

gewählt. Aber da eine der fünfzehn Bestimmungen des § 622 lautet:

$$[m \cdot \Omega] = [p \cdot C],$$

so folgt jede von beiden aus der anderen.

Eben deshalb müssen nun aber die Schlussworte des § 623: „Alle die oben gegebenen Bestimmungen sind richtig für jedes beliebige System von Einheiten, welches wir wählen mögen“, geändert und auf electromagnetische Systeme beschränkt werden, und zwar auch nur auf solche, welche aus der von Maxwell definirten Bedeutung des electromagnetischen Grundgesetzes hergeleitet sind. Denn jener Schlusssatz passt weder auf das electrostatische System, noch auf die Systeme, welche Hr. Clausius aufgestellt hat. An die Möglichkeit, dass eine andere Fassung des electromagnetischen Grundgesetzes hier zu anderen Consequenzen führen könne, hat Maxwell wohl nicht gedacht, und in dieser Beziehung gibt die neueste Arbeit des Hrn. Clausius in der That eine dankenswerthe Bereicherung unserer Einsichten.

Schliesslich wäre noch zu reden von dem Grunde, weshalb Hr. Clausius das bisherige, nach den Principien von Gauss entworfene electrostatische System fallen lassen will. Das einzige, was er darüber sagt, ist in § 1 seiner Abhandlung enthalten. Nachdem er erwähnt hat, dass die von geschlossenen electrischen Strömen aufeinander ausgeübten Kräfte als unzweifelhaft bekannt angesehen werden können, fährt er fort: „Da ferner die kleinen, nach Ampère im Inneren eines Magnets anzunehmenden electrischen Ströme ebenfalls geschlossen sind, so hat man es beim Magnetismus mit Kräften derselben Art zu thun“. Darauf folgt eine Auseinandersetzung, wonach die Kräfte zweier magnetischer Quanta als dynamische zu betrachten seien.

Dieser Grund würde aber doch nur dann entscheidend

sein, wenn sicher constatirt wäre, dass die Ampère'sche Annahme der Wirklichkeit entspräche, während man bisher kaum sagen kann, dass dieselbe klar und consequent für alle Arten diamagnetischer und ferromagnetischer Körper durchgeführt sei. Namentlich würde diese Hypothese auch erfordern, dass die hypothetischen Molecularströme der magnetisirten Körper die durch electrodynamische Induction zu erzeugenden Veränderungen zeigten, wie dies Hr. W. Weber in seiner bekannten Erklärung der diamagnetischen Polarisation in der That folgerichtig angenommen hat. Wie dies mit den Eigenschaften der ferromagnetischen Körper vereinigt werden könne, überlasse ich den Anhängern dieser Theorie auseinanderzusetzen. Vorläufig können wir diese Theorie, so interessant sie auch ist, weder als bewiesen noch auch nur als vollständig durchgeführt ansehen.

Neben den electrodynamischen Theorien, welche directe Fernwirkung annehmen, deren Grösse und Richtung von den absoluten oder relativen Bewegungen je zweier electricischer Quanta abhängen soll, steht die von Faraday-Maxwell. Sie hat vor jenen ersten mindestens den Vorzug, dass sie weder das Princip von der Endlichkeit und Constanz der Energie, noch das von der Gleichheit der Action und Reaction verletzt, und ausserdem noch eine von manchen Schwierigkeiten der bisherigen Undulationstheorie freie Theorie des Lichts auf dieselben Annahmen begründet, die der Electrodynamik zu Grunde liegen. Um den wesentlichen Charakter der Kräfte der Electricität und des Magnetismus zu finden, schliesst Maxwell diejenigen Processe aus, bei denen nach Art der Reibung Wärme erzeugt und electriche oder magnetische Energie verloren wird, und legt seiner Theorie nur die conservativen Vorgänge zu Grunde. Namentlich schliesst er die Leitung der Electricität in Leitern und die Coërcitivkraft in Magneten aus. Dann bleibt aber in seinen Grundgleichungen die vollkommenste Analogie nicht zwischen Magneten und bewegter Electricität, sondern zwischen ruhender dielectriche und ruhender magnetischer Polarisation stehen. Gerade dieser Analogie passt sich Gauss' electrostatisches Maasssystem vollkommen an.

Ich will noch bemerken, dass wenn man nach Analogie des Hamilton'schen Princip's dasjenige nach der Zeit genommene Integral zu bilden sucht, dessen Variation die Bewegungsgleichungen nach Maxwell gibt, an Stelle des electrodynamischen Potentials von Clausius (electrokinetischer Energie Maxwell's), eine bilineare Function der Componenten der electricischen Strömung einerseits und der Componenten der magnetischen Momente andererseits auftritt, in welcher die letzteren aber nicht als Geschwindigkeiten zu behandeln sind. Diesen letzteren Punkt behalte ich mir vor nächstens an einem anderen Orte zu behandeln.

Vorläufig kommt es mir nur darauf an daran zu erinnern, dass der Grund, auf den hin Hr. Clausius das bisherige electrostatische System verwerfen will, eine zwischen verschiedenen Theorien streitige hypothetische Annahme ist, und ich möchte die Physiker bitten, den Namen des von Gauss ausgehenden, in mathematischen Arbeiten bisher vorzugsweise gebrauchten electrostatischen Systems nicht auf ein anderes zu übertragen. In diesem System sind die Potentiale (m^2/r) und (e^2/r) Arbeitsgrößen, ihre ganze physikalische Wichtigkeit beruht darauf, dass sie das sind. Die Theorie der Potentialfunctionen bildet eines der entwickeltsten und interessantesten Capitel der mathematischen Physik, welches gut und vollständig gekannten physikalischen Vorgängen entspricht. Aendert man die Gauss'schen Einheiten, so muss man sich gewöhnen, allen Potentialfunctionen Factoren hinzuzufügen, damit sie Arbeitsgrößen bleiben und ihre Differentialquotienten die Kräfte geben. Ob dagegen J^2 eine Kraft ist, und mJ eine Arbeit, oder ob wir dafür zu schreiben haben A^2J^2 und AmJ , scheint mir viel unerheblicher zu sein, namentlich da wir von dem Gebiete der electromagnetischen Wirkungen doch erst einen Theil, nämlich den der geschlossenen Ströme gut und genau kennen, im Gebiete der ungeschlossenen Ströme aber noch die üppigste Flora von Hypothesen wuchert.