absorption durch die Kohlensäure allein, im zweiten Falle dagegen bekommt man die Höhe infolge der Absorption durch Kohlensäure und Wasserdampf; aus der Differenz der beiden Höhen könnte man dann auf den Gehalt an Wasserdampf schliessen, wenn die Absorptionsverhältnisse des Wasserdampfes durch vorhergehende Versuche bekannt sind.

Physik. Laborat. d. Univ. Giessen, October 1881.

VII. *Zum absoluten Maasssystem; von Paul Volkmann.*

Das von Gauss und W. Weber zunächst für die electrischen und magnetischen Begriffe eingeführte absolute Maasssystem hat besonders in letzter Zeit vielfache Verbreitung gefunden. Die Ausdehnung desselben auf das Gesamtgebiet der Physik lag nahe, und es war von Herwig¹⁾ gewiss zeitgemäss die gebräuchlichsten physikalischen Begriffe zusammenzustellen und in absolutem Maass auszudrücken.

Bei der Zurückführung auf absolutes Maass gewährt es Bequemlichkeit jeden physikalischen Begriff als eine gewisse Function von Masse (m), Länge (l) und Zeit (t) aufzufassen, oder wie sich Maxwell und Jenkin ausdrücken, jedem physikalischen Begriff eine gewisse Dimension beizulegen. So bezeichnet man z. B. die Dimension des Begriffes lebendige Kraft mit $[m l^2 t^{-2}]$.

In vielen Fällen können wir über die Dimension eines Begriffes mit einer gewissen Willkür verfügen; in solchen Fällen sollte es Regel sein, den Begriff so anschaulich wie möglich zu fassen. Diese Bemerkung scheint um so nöthiger, als man sonst zu falschen Vorstellungen über physikalische Begriffe veranlasst werden kann, insofern man durch Verbindung von Begriffen mit nicht anschaulichen Dimensionswerthen auf andere Begriffe mit zufällig anschaulichen Di-

1) H. Herwig, Physikal. Begriffe und absolute Maasse. Leipzig 1880.
Ann. d. Phys. u. Chem. N. F. XVI.

mensionswerthen geführt werden kann. Die Ausdrücke für electromotorische Kraft (E) und Stromstärke (J) im electromagnetischen und electrodynamischen Maasssystem¹⁾ entbehren gewiss jeder Vorstellung und Anschauung, es ist:

$$(\dim E) = [m^{1/2} l^{3/2} t^{-2}], \quad (\dim J) = [m^{1/2} l^{1/2} t^{-1}].$$

Die Dimension eines galvanischen Widerstandes folgt daraus:

$$(\dim R) = \left(\dim \frac{E}{J} \right) = [l t^{-1}].$$

Man gelangt hier zufällig zu einem anschaulichen Dimensionswerth, aber es wäre nicht richtig, damit nun eine Vorstellung über den Begriff des Widerstandes zu verbinden.

Die nachfolgenden Bemerkungen beabsichtigen, auf einige Fälle aufmerksam zu machen, in denen, wie mir scheint, über die Dimension gewisser Begriffe nicht zweckmässig verfügt ist. Ich habe versucht, dieselben anschaulicher zu fassen, überhaupt die Vorstellbarkeit der Begriffe möglichst weit zu treiben.

Die Einheit der Kraft wird als die Kraft definiert, welche der ponderablen Masseneinheit, wenn sie darauf wirkt, in der Zeiteinheit die Geschwindigkeit 1 mittheilt. — Die Dimension des Begriffes Kraft ist demnach $[m l t^{-2}]$, und man hat dadurch bereits über die Dimension der Constanten des Newton'schen Gravitationsgesetzes verfügt; es ist dieselbe $[m^{-1} l^3 t^{-2}]$, wobei zu bemerken ist, dass dieselbe numerisch nur von der Zeiteinheit abhängt, sobald wie gewöhnlich die Einheit der Dichtigkeit durch die Einheiten der Masse und Länge gegeben ist.

Man hat dieselbe Definition der Krafteinheit auch auf die electrischen Erscheinungen ausgedehnt: Die auf ein electrisches Theilchen ausgeübte electrische Kraft ist 1, wenn der ponderablen Masseneinheit, an welcher das electrische Theilchen haftet, die Einheit der Beschleunigung dadurch ertheilt wird.

In der That diene Weber sein Grundgesetz, nachdem

1) Herwig, l. c. p. 76. 77. F. Kohlrausch, Leitfaden der prakt. Physik. Leipzig 1880. p. 272. 275. 277. 299.

er die darin vorkommende constante Geschwindigkeit c zu 59320 Meilen in der Secunde bestimmt hatte, Stromintensitäten, electromotorische Kräfte und Widerstände mit Hülfe der obigen Definition auf die bekannten Maasse der Mechanik zurückzuführen. Nach dem Weber'schen Gesetz ist die Kraft, welche die electrischen Massen ee_1 , in der Entfernung r bei der relativen Geschwindigkeit dr/dt und der relativen Beschleunigung d^2r/dt^2 aufeinander ausüben:

$$\frac{ee_1}{r^2} \left(1 - \frac{1}{c^2} \left(\frac{dr}{dt} \right)^2 + \frac{2r}{c^2} \frac{d^2r}{dt^2} \right).$$

Indem man nun die Dimension der electrischen Masse offen lassen zu müssen meinte und der Constanten in dem Coulomb'schen (also auch Weber'schen) Gesetz den Zahlenwerth 1 gab, hat man — wie mir scheint — dem Begriff der electrischen Masse jede fassbare Vorstellung geraubt. Ich muss wenigstens gestehen, dass ich mit dem Begriff der electrischen Masse als Masse mehr Vorstellung verbinde, als mit dem durch die Dimension $[m^{1/2} l^{3/2} t^{-1}]$ gegebenen. Der Raum- und Zeitbegriff scheinen mir dem Begriff der electrischen Masse ebenso fremd, wie die $1/2$. Potenzen von m und l .

Inwiefern ich berechtigt bin, die electrische Masse als Masse schlechtweg zu fassen, bedarf noch einer Erörterung: Man bezeichnet häufig ponderable Masse als Quantität der darin wohnenden Trägheit, und jedenfalls hat diese Bezeichnung bei der Einführung in die Wissenschaft didactischen Werth. Praktisch aber macht man von ihr keinen Gebrauch, überall misst man ponderable Massen durch ihre Wirkungen auf andere ponderable Massen. Die Auffassung von ponderabler Masse als Maass für die Quantität der Wirkung, als Träger des Wirkenden kommt daher dem praktischen Bedürfniss näher und gestattet, was die Hauptsache ist, noch dazu eine Verallgemeinerung auf die electrischen und magnetischen Massen.

Die absolute Masseneinheit der ponderablen Materie wird nach dem Vorgang von Gauss in folgender Weise gewonnen:

Die absolute Masseneinheit der ponderablen Materie ist diejenige auf einen Punkt concentrirte Masse, welche, wenn sie auf eine ihr gleiche, ebenfalls auf einen Punkt concen-

trirte Masse eine Secunde lang aus der Entfernung der Längeneinheit einwirkt, eine relative Geschwindigkeit beider Massen von der Längeneinheit erzeugt.

Die Masseneinheit käme in diesem Maasssystem auf circa 15,2 kg (Längeneinheit = 1 mm), und die Constante des Newton'schen Gesetzes wäre $[m^{-1}l^3 \text{ sec}^{-2}]$. Die Krafteinheit wäre gleichfalls durch diese Masseneinheit gegeben.

Entsprechend lässt sich die electricische Masseneinheit definiren als diejenige Electricitätsmenge, welche, wenn sie auf eine ihr gleiche Electricitätsmenge von derselben Art, die fest mit der ponderablen Masseneinheit verbunden ist, eine Secunde lang aus der Entfernung der Längeneinheit einwirkt, jener ponderablen Masseneinheit eine Geschwindigkeit von der Längeneinheit ertheilt (von der Einwirkung der ponderablen Massen auf einander ist hierbei abgesehen).

In beiden Definitionen, wie sie von Gauss und Weber herrühren, ist die Masse als Träger der Wirkung gefasst; in beiden Definitionen ist ausserdem die Wirkung als zur Ausführung kommend gedacht, und darum ist noch die Aufnahme der ponderablen Masseneinheit in die Definition der electricischen Masseneinheit erforderlich. Fasst man die Definition gedoch so, dass durch zweckmässig angebrachte Gegenkräfte (Torsionskraft bei der Coulomb'schen Drehwage) die Wirkung nicht zur Ausführung kommt, so fällt die Einführung der ponderablen Masseneinheit in die Definition der electricischen Masseneinheit fort. Wir können dann ganz allgemein sagen:

Zwei Masseneinheiten wirken auf einander in der Einheit der Entfernung bei relativer Ruhe mit der Einheit der Kraft.

Die Einheit der Kraft, durch die Einführung der ponderablen Masseneinheit bestimmt, dient dazu, die electricischen Massen durch ponderable Massen zu messen. Wir können so eine gegebene electricische Masse einer gewissen ponderablen Masse äquivalent setzen.

Ist also die ponderable Masseneinheit in diesem Sinne zu 15,2 kg festgesetzt, so hat die Constante im New-

ton'schen und Coulomb'schen oder allgemein Weber'schen Gesetz den Werth:

$$1 [m^{-1} l^3 \text{sec}^{-2}].$$

Die Bestimmung der absoluten Masseneinheit zu 15,2 Kilogramm ist bei der Unsicherheit der Kenntniss der mittleren Erddichte nur angenähert ausführbar. Ein praktischer Werth kann demnach bei der erreichbaren Präcision der Gewichtsbestimmungen dieser absoluten Masseneinheit nicht zukommen. Praktisch definirt man bekanntlich die Masseneinheit als die Masse einer bestimmten in der Volumeneinheit enthaltenen Substanz (Wasser bei 4° C.). Dann haben wir in den obigen Gesetzen die Constante zu setzen:

$$65.10^{-9} [m^{-1} l^3 \text{sec}^{-2}].$$

Wie wir weiter sehen werden, und wie sich theilweise schon aus dem Weber'schen Gesetz ergibt, haben wir diesen Werth auch der Constanten in dem Coulomb'schen Gesetz für magnetische Massen, in dem Ampère'schen und Biot-Savart'schen Gesetz zu geben.

Nachdem der Begriff der electricen Masse (ϵ) als Masse gefasst ist ($\dim \epsilon = [m]$), gehe ich zunächst die hauptsächlichsten anderen electricen Begriffe durch. Der Begriff der Stromintensität¹⁾ ergibt sich am besten aus dem Weber'schen Gesetz. Bezeichnen wir die Geschwindigkeiten der in der Längeneinheit enthaltenen electricen Massen e und e_1 mit u und u_1 , so ist die entsprechende Stromintensität $J = eu/c$, worin c die in dem Weber'schen Gesetz vorkommende constante Geschwindigkeit bedeutet. Die Dimension einer Stromstärke ist demnach die einer Masse ($\dim J = [m]$); es entspricht dieses völlig der Auffassung von Masse als Träger des Wirkenden, insofern ja Stromintensitäten Wirkungen ausüben.

Der Begriff der electricen Dichte und der Stromdichte ist dem Begriff der specifischen Dichte ganz analog zu bilden, also:

1) Herwig fasst auf Grund der gewöhnlichen Definition der Stromintensität ($\dim J = [\epsilon t^{-1}]$); vergl. auch Kohlrausch.

$$(\dim \varrho) = [m l^{-2}].$$

Der Begriff des electrischen Potentials¹⁾ ergibt sich aus der Definition des Potentials, also durch Integration aus dem Kraftbegriff:

$$(\dim V) = [m l^2 t^{-2}].$$

Es sind demnach, wie es auch sein muss, Potential und lebendige Kraft äquivalente Begriffe.

Den Begriffen electromotorische Kraft (E), Widerstand (R), Capacität (C) können wir die Dimensionen geben:

$$(\dim E) = [m l^2 t^{-2}]; (\dim R) = [l^2 t^{-2}]; (\dim C) = [l^{-2} t^2].$$

Alles, was ich von electrischen Massen gesagt, lässt sich in gleicher Weise auf magnetische übertragen. Auch sie sind als Massen zu fassen in dem Sinne, dass ihre Wirkungen aufeinander denen von ponderablen Körpern untereinander äquivalent zu setzen sind. Die Constante im Coulomb'schen Gesetz wird:

$$65 \cdot 10^{-9} [m^{-1} l^3 \text{sec}^{-2}].$$

Die beiden Gleichungen zur Bestimmung eines magnetischen Moments (μ) und der Horizontalintensität des Erdmagnetismus (H) nach der Gauss'schen Methode werden:

$$65 \cdot 10^{-9} [m^{-1} l^3 \text{sec}^{-2}] \frac{\mu}{H} = \frac{1}{2} \frac{l^5 \text{tg } \varphi - l_1^5 \text{tg } \varphi_1}{l^2 - l_1^2}, \quad \mu H = \frac{\pi^2 K}{r^2}.$$

Die Dimension des magnetischen Potentials (V) ist:

$$(\dim V) = [m l^2 t^{-2}],$$

des magnetischen Moments (μ):

$$(\dim \mu) = [m l],$$

der Horizontalintensität des Erdmagnetismus (H):

$$(\dim H) = [l t^{-2}] - \text{also eine Beschleunigung.}$$

Es erübrigt zum Schluss noch die Anführung des Ampère'schen und Biot-Savart'schen Gesetzes, es ist die betreffende Wirkung:

1) Herwig und Kohlrausch setzen $(\dim V) = [\varepsilon l^{-1}]$. Es sind dann stillschweigend gewisse Factoren = 1 gesetzt, dasselbe ist der Fall bei der von Herwig angeführten Gleichung $4\pi q = -(dV/dN)$.

$$\text{Const. } \frac{d i d i_1}{r^2} (\cos \varepsilon - \frac{2}{3} \cos \vartheta \cos \vartheta_1), \quad \text{Const. } \frac{d i \mu \sin(r d i)}{r^2 \sqrt{2}}.$$

Ich setze $d i$ gleich $i \cdot ds$ per Längeneinheit. Die Constante bestimmt sich in beiden Gesetzen nach dem Obigen zu:

$$65 \cdot 10^{-9} [m^{-1} l^3 t^{-2}].$$

Ich glaube damit eine einigermassen consequente und anschauliche Bezeichnungsweise der Dimensionswerthe der electricischen Begriffe angedeutet zu haben. Das Maasssystem, dem die Auffassung von Masse als Träger der Wirkung, der Bewegungserscheinungen zu Grunde liegt, könnte als dynamisch bezeichnet werden. Bewegungserscheinungen werden veranlasst durch ponderable, electricische, magnetische Massen und durch Stromintensitäten. Alle diese Begriffe sind dem entsprechend in dem Vorigen als Massen gefasst, und zwar sind ihre Wirkungen unter einander denen von ponderablen Massen äquivalent gesetzt. Der Unsicherheit des Factors $65 \cdot 10^{-9}$ wegen dürfte es sich in Praxi empfehlen, bei allen numerischen Angaben electricischer Beobachtungen noch eine unbestimmte Zahl a als Factor hinzuzufügen, die also nahezu $= 1$ die Unsicherheit andeutet.

Anhangsweise seien mir in Kürze noch einige-Bemerkungen über die Begriffe in der Wärmetheorie gestattet. Die Begriffe Temperatur und specifische Wärme setzen den Begriff der Wärmemenge voraus und ergeben sich aus der Gleichung:

$$dQ = mcd\vartheta,$$

hierin bedeutet dQ die einem Körper (von der Masse m) mitgetheilte Wärmemenge, $d\vartheta$ die dadurch veranlasste Temperaturerhöhung, c die specifische Wärme des Körpers.

Eine Wärmemenge ist in absolutem Maass eine Arbeit, eine lebendige Kraft und hat mithin die Dimension $[ml^2 t^{-2}]$. Es bleibt also für $cd\vartheta$ die Dimension $[l^2 t^{-2}]$.

Herwig¹⁾ setzt nun den Temperaturbegriff gleich dem Quadrat einer Geschwindigkeit, die specifische Wärme bedeutet dann nur eine Zahl. Auch Maxwell²⁾ setzt die

1) Herwig, l. c. p. 39.

2) Maxwell, Theorie d. Wärme, übers. v. Auerbach. p. 61. 1877.

specifische Wärme einem Zahlenwerthe gleich. Abgesehen davon, dass mit dem so gefassten Temperaturbegriff keine Vorstellung zu verbinden ist, wird man dadurch noch zu anderen Missständen geführt: Die Schmelz-, Verdampfungs-, Verbrennungswärme ergeben sich dann als Temperaturen, während unserer Vorstellung nach diese Begriffe der specifischen Wärme analog sein müssten.

Gewöhnlich betrachtet man, wie es auch Riemann¹⁾ thut, die Temperatur als Zahl. Dann bedeutet specifische Wärme das Quadrat einer Geschwindigkeit oder, wie wir uns auch ausdrücken können, um der Vorstellung näher zu kommen, eine Wärmemenge dividirt durch eine Masse:

$$(dim c) = [l^2 t^{-2}] = \left[\frac{m l^2 t^{-2}}{m} \right].$$

Der Begriff der specifischen Wärme hat dann eine gewisse Analogie mit dem Begriff der specifischen Dichte, des specifischen Gewichts. Die Schmelz-, Verdampfungs-, Verbrennungswärme haben dann dieselbe Dimension, wie die specifische Wärme. Der Ausdehnungscoefficient ist eine Zahl. Eine anschauliche Bedeutung erhält endlich auch die von Maxwell und H. Weber eingeführte Temperaturleitungsconstante, nämlich die einer Flächengeschwindigkeit $[l^2 t^{-1}]$.

Königsberg i. Pr., den 20. Januar 1882.

Nachtrag. Der Güte des Hrn. G. Wiedemann verdanke ich es, mit zwei Schriften bekannt geworden zu sein, die sich gleichfalls auf absolute Maasssysteme beziehen:

Everett, Units and Physical Constants. Lond. 1879.

Sundell, Bemerkungen über absolute Maasssysteme in der Physik (Aus der Finnischen Literaturgesellschaft) Helsingfors 1881.

Das Buch von Everett kommt einem lang gefühlten Bedürfniss entgegen, insofern es eine reiche physikalische Constantensammlung in absolutem Maass enthält. Die Entwicklung der physikalischen Einheiten und des absoluten

1) Riemann, partielle Diffgl, herausg. v. Hattendorff p. 118. 1876.

Maasssystems ist bei Everett theilweise ausführlicher, theilweise aber unvollständiger, als bei Herwig.¹⁾ So ist über den Temperaturbegriff mit Stillschweigen hinweggegangen. Die specifische Wärme fasst Everett wie Herwig und Maxwell als Zahl.

In der Schrift von Sundell werden verschiedene Maasssysteme betrachtet, bei denen eine verschieden grosse Anzahl fundamentaler Einheiten zu Grunde gelegt wird; ein grosser Theil der Arbeit beschäftigt sich mit der Transformation der verschiedenen Maasssysteme aufeinander.

Bei der Festsetzung der Dimensionswerthe, durch welche die physikalischen Begriffe erst eine präzise Fassung erhalten, hat man bisher sich nicht von physikalischen Vorstellungen leiten lassen. Ich glaubte in der vorliegenden Arbeit gerade darauf Gewicht legen zu müssen.

Königsberg i. P., den 22. Februar 1882.

VIII. *Ableitung des Grundgesetzes der Krystallographie aus der Theorie der Krystallstructur;* von L. Sohncke.

Das Grundgesetz der beschreibenden Krystallographie, welches unter dem Namen des „Gesetzes der rationalen Axenabschnitte“ oder „der rationalen Flächenindices“ oder schlechtweg als „Rationalitätsgesetz“ bekannt ist, betrifft einen Zusammenhang zwischen allen Flächen, welche an einer gegebenen Substanz als Krystallflächen auftreten können. Versteht man unter „möglicher Kantenrichtung“ die Richtung einer — sei es wirklich vorhandenen, sei es nur möglichen — Schnittlinie von irgend zwei bei derselben Substanz beobachteten Krystallflächen, so lässt sich jenes Gesetz so aussprechen:

„Wählt man für die geometrische Betrachtung der Kry-

1) Das Werk von Everett wird demnächst vervollständigt in deutscher Uebersetzung erscheinen.

Die Red.