

Ueber
das absolute Maasssystem.

Von

ALBERT v. OBERMAYER,
k. k. Major.

Zwei Vorträge,
gehalten am 27. Februar und 5. März 1884.

I.

Die Frage nach der Menge einer Grösse drängt sich uns im gewöhnlichen Leben unzählige Male auf; sie gewinnt aber in bestimmten Berufszweigen eine ganz besondere Bedeutung. Handel und Verkehr hatten es von jeher zur Voraussetzung, dass man die ihnen unterworfenen Gegenstände messen könne, und in noch höherem Grade sind alle Zweige der Industrie auf Messungen angewiesen. Es haben sich daher schon im Alterthume Einheiten für Länge, Volumen und Gewicht herausgebildet, aber in einer kaum zu erfassenden Vielfältigkeit. Es beginnt erst mit der allgemeineren Annahme des metrischen Maasssystemes eine allmähliche Vereinfachung hierin einzutreten.

Die fortschreitende Cultur drängt immer neue Gegenstände, neue Grössen in den Kreis des Bedarfes, die oft mit den schon bekannten gar nicht gleichartig sind, daher auch mit den vorhandenen Einheiten gar nicht gemessen werden können, für die also eigene Einheiten eronnen werden müssen. So sind uns durch die Anwendung von Maschinen, durch die Anwendung der Wärme für industrielle Zwecke Einheiten für Arbeit, für Effect, für Wärme nöthig geworden. Nun tritt in neuester Zeit die Elektrizität immer umfor-

mender in unsere Lebensverhältnisse ein, und die eigenartigen, damit in Beziehung stehenden Grössen bieten ein mannigfaltiges Gebiet in Bezug auf die Messungen. Die directe Nothwendigkeit, elektrische Grössen zu messen, ergab sich durch die Einführung der unterseeischen Telegraphie. Es war dieser Umstand auch die Veranlassung, dass die British Association ein Comité erwählte, welches den ersten Entwurf eines praktischen Systems elektrischer Maasseinheiten verfasste und der Versammlung derselben zu Glasgow, im Jahre 1869 vorlegte.

Die Mannigfaltigkeit der, durch die Anwendungen der verschiedenen Naturkräfte zu messenden Grössen lässt auf den ersten Blick glauben, dass durch die Wahl zahlreicher verschiedener Urmaasse neue Complicationen erwachsen, dies ist aber glücklicher Weise nicht so. Die Berücksichtigung der physikalischen Beziehung zwischen den verschiedenen Grössen gestattet, aus den gewählten Einheiten der Zeit, Länge und Masse (Gewicht), die Einheiten für alle übrigen Grössen abzuleiten. Es hätten sich die verschiedenen Einheiten auch aus anderen Fundamenteinheiten ableiten lassen; aber jene der Zeit, der Länge und der Masse bieten den Vortheil, dass sie einer sehr genauen Bestimmung fähig sind, sich leicht copiren und mit Copien zu allen Zeiten und an allen Orten vergleichen lassen.

Jede Messung einer Grösse soll die Bedingung erfüllen, dass die für dieselbe gefundene Zahl unabhängig ist, von der Natur des angewandten Instrumentes

und unabhängig von zufälligen Nebenumständen, so zwar, dass diese Zahl auch immer wieder gefunden wird, wenn auch andere Apparate, andere Methoden benützt werden, sofern nur die gewählten Einheiten der Zeit, der Länge und der Masse die gleichen sind.

Eine solche Messung heisst eine absolute, und ein System von abgeleiteten Einheiten, welches so gewählt ist, dass es absolute Messungen auszuführen gestattet, heisst ein absolutes Maasssystem.

Ich will versuchen, an einem Beispiele Ihnen den Begriff einer absoluten Messung zu erläutern.

Ein horizontal aufgehängener Magnet stellt sich bekanntlich unter dem Einflusse der horizontalen Componente der magnetischen Erdkraft in eine bestimmte Gleichgewichtslage ein. Wird der Magnet aus seiner Gleichgewichtslage abgelenkt und dann sich selbst überlassen, so geräth er in Schwingungen um seine Gleichgewichtslage. Die Dauer einer Schwingung ist theoretischen Untersuchungen gemäss verkehrt proportional der Quadratwurzel aus der Horizontalintensität der Erde und verkehrt proportional einer, von den magnetischen Eigenschaften und den Dimensionen des Magneten abhängigen Grösse, des magnetischen Momentes. Die Schwingungsdauer ist zweimal kleiner, wenn diese Horizontalintensität viermal so gross ist, und auch zweimal kleiner, wenn ich den Magnet in allen seinen Theilen viermal so stark magnetisiren könnte.

Lasse ich diesen Magnet frei schwingen, so finde ich eine Schwingungsdauer von 5.7 Secunden. Um-

gebe ich denselben mit einem Eisenblechmantel, dann hebe ich einen Theil der Erdkraft auf, er hat eine Schwingungsdauer von 7.5 Secunden.

Nach dem eben angeführten Gesetze ist die Horizontalintensität des Erdmagnetismus im Innern dieses Blechcylinders 0.57 von jenem in dem Zimmer überhaupt.

Sie sehen, dass ich durch diese beiden Versuche nicht erfahre, wie gross die Intensität in dem einen oder anderen Falle ist, sondern nur, um wie viel mal grösser in dem einen als in dem anderen Falle.

Ich könnte nun an verschiedenen Orten solche Schwingungsbeobachtungen anstellen und in ähnlicher Weise, wie dies soeben geschehen ist, ableiten, wie viel mal grösser die Horizontalintensität an diesen Orten ist wie in diesem Zimmer.

Es liegt sehr nahe, dass, im Falle der Magnet während des Transportes eine Aenderung seiner magnetischen Eigenschaften erlitten hätte und mir nicht genau bekannt ist, zu welcher Zeit diese Aenderung eingetreten ist, die gesammten Beobachtungen werthlos sind. Nach diesem Verfahren wurden thatsächlich die ersten Vergleichen der Horizontalintensität ausgeführt. Sie geschahen auf Veranlassung der Pariser Akademie im Jahre 1797 durch Paul Lamanon. Später hat sich Humboldt mit diesem Gegenstande beschäftigt. Es genügte auch damals überhaupt schon wenigstens angenähert die Verschiedenheit der Horizontalintensität zu zeigen.

Man kann von den magnetischen Eigenschaften des speciellen, zur Untersuchung verwendeten Magneten sich unabhängig machen, wenn man dieselben Fälle, statt sie als unveränderlich vorauszusetzen, bei jedem Versuche zu ermitteln trachtet und in geeigneter Weise in Rechnung stellt. Diese zu ermittelnden magnetischen Eigenschaften finden in dem sogenannten magnetischen Moment ihren Ausdruck. Das magnetische Moment lässt sich definiren als die Kraft, welche im Abstände Eins von der Achse des Magneten wirken muss, um den Magnet in der senkrechten Lage auf der Richtung der magnetischen Kraft, d. i. senkrecht auf dem magnetischen Meridian zu erhalten, und zwar an einem Orte, wo die Horizontalintensität Eins ist. In dem Maasse, als sich der Magnetismus des Stabes ändert, ändert sich auch jene Kraft im Abstand Eins, d. i. jenes Kraftmoment.

Wenn an einem Beobachtungsort, wie es für Wien der Fall, die Horizontalintensität nur 0·2 ist, dann ist jene Kraft im Abstände Eins, welche den Magnet senkrecht auf dem magnetischen Meridian zu erhalten vermag, ein wirkliches Kraftmoment und das 0·2fache des magnetischen Momentes.

Für die Schwingungen des Magneten ist weder das magnetische Moment allein, und auch nicht die Horizontalintensität allein, sondern nur das Product aus Horizontalintensität und magnetischem Moment massgebend. Es kann durch einen Schwingungsversuch nur gefunden werden, wie sich die Horizontalintensität

allein, bei unveränderlichem Momente oder das Moment bei unveränderlicher Horizontalintensität geändert hat.

Gauss ¹⁾ hat nun gezeigt, dass durch Anstellung eines zweiten Versuches (Ablenkungsversuches), wobei der, zu den Schwingungen benützte Magnet ablenkend auf einen zweiten beweglich aufgehängenen Hilfsmagneten wirkt, der Quotient aus dem magnetischen Momente und der Horizontalintensität erlangt werden könne, dass also die Verbindung beider Versuche, absolute Werthe für Horizontalintensität und magnetisches Moment liefern kann.

Es war dies die erste absolute Messung von magnetischen Grössen und damit war eine Reihe glänzender Entdeckungen eröffnet und der Grund zu den absoluten Maasssystemen gelegt.

Ich will nun zunächst Ihre Aufmerksamkeit auf die Einheiten der Zeit, der Länge und der Masse lenken und kann mir erlauben, mich über die Zeiteinheit, die Secunde, sehr kurz zu fassen.

Die Nothwendigkeit und das Bedürfniss einer genauen Zeitmessung ist ein so allgemeines, dass die Uhren, die Instrumente zur Zeitmessung, vielleicht von allen Messinstrumenten die ausgedehnteste Anwendung gefunden haben. Unsere Uhren gehen nach mittlerer Sonnenzeit und die Sternwarten liefern uns die richtige Zeit.

¹⁾ Gauss, *Intensitas vis magneticae ad mensuram absolutam revocata*. Göttingen, 1883.

Die Benützung der Einheiten, der Länge und der Masse ist nicht so allgemeines Bedürfniss wie jene der Zeit; allein für bestimmte Berufsklassen sind dieselben von um so grösserer Wichtigkeit.

Es soll nun das metrische System ins Auge gefasst und jene Vorkehrungen besprochen werden, welche getroffen wurden, um die Urmaasse beliebig zu vervielfältigen und die Unveränderlichkeit und Uebereinstimmung der Copien für alle Zeiten zu sichern.

Die ersten im Jahre 1798 den Archiven Frankreichs zur Aufbewahrung übergebenen Urmaasse, d. i. der Meter und das Kilogramm, waren mit Rücksicht auf ihre Unveränderlichkeit aus Platin gefertigt. Ist schon die Weichheit des Platins eine wenig entsprechende Eigenschaft, so war zu jener Zeit die Reindarstellung des Platins in grösserer Menge noch lange nicht auf dem heute erreichten Standpunkte, und so kam es, dass das angewendete Platin unrein, und zwar wahrscheinlich arsenhältig war. Es durfte z. B. das Urmaass des Kilogramms nicht in Wasser getaucht werden, weil man befürchten musste, es werde sein Gewicht ändern. Es konnte somit das specifische Gewicht des Platinkilogramms nicht ermittelt werden.

Zur Erhaltung der angestrebten Unveränderlichkeit der Urmaasse wurden dieselben in späterer Zeit nicht mehr zu directer Vergleichung verwendet, sondern es mussten hiezu Copien benützt werden.

Da nun bei der Vergleichung der Copien mit den Copien der verschiedenen Staaten, nicht nach Methoden

vorgegangen wurde, deren Schärfe dem heutigen, durch die Vollkommenheit der Instrumente erreichbaren Genauigkeitsgrade entsprach, kam es, dass die in verschiedenen Staaten, ja in verschiedenen Landestheilen desselben Staates angewendeten Copien des Meters und des Kilogramms, mit Rücksicht auf die erreichbare Genauigkeit erhebliche Abweichungen zeigten. Die erreichbare Genauigkeit möge aus folgenden Angaben entnommen werden.

Ein Längencomparator von Gebrüder Brunner in Paris gestattet, Meterstäbe mit einem Fehler von $\frac{1}{30.000}$ Millimeter, d. i. bis auf ein Dreissigmillionstel der ganzen Länge, zu vergleichen. Mit einer Wage von Rüprecht in Wien ist es möglich, Kilogramme mit einem Fehler von $\frac{1}{200}$ Milligramm, d. i. bis auf ein Zweihundertmillionstel der zu wägenden Grösse zu vergleichen.¹⁾ Als Beispiel zur Grösse der Fehler von Copien möge eine Vergleichung des Bergkrystallkilogramms und des Messingmeters des physikalischen Centralobservatoriums in Petersburg dienen, welche auf Veranlassung des Directors Wild mit dem neuen Pariser Urmaasse aus Platiniridium bewirkt wurde.

Das Bergkrystallkilogramm wiegt im luftleeren Raume 20·2 Milligramm mehr, als das Originalkilogramm, und der Meterstab ist um 0·008 Millimeter länger als der Archivmeter.

Ein von Gambey construirtes Platinkilogramm *E* wurde mit den Kilogramme des Archives durch Prof.

¹⁾ W. J. Marek, Carl. Rep. d. Phys. XVII, S. 596.

Miller verglichen; es war um 1.56 Milligramm leichter als dasselbe. Ein zweites Kilogramm aus vergoldetem Geschützmetall *K* wog 1.47 Milligramm weniger als *E* und war um 3.04 Milligramm leichter als das Kilogramm des Archives, dagegen blos um 0.06 Milligramm leichter als das französische Messingkilogramm.

Es steht erfahrungsgemäss fest, dass das Maass- und Gewichtssystem eines Landes nur dann auf die Dauer in Ordnung gehalten werden kann, wenn an einem dazu eingerichteten Amte, nebst den erforderlichen Instrumenten auch sachverständige Beamte zum Zwecke von Maass- und Gewichtsvergleichen angestellt sind, und wenn die verschiedenen Copien nach Verlauf einiger Jahre immer aufs Neue mit den Originalmaassen verglichen werden.

In Oesterreich wurde mit Rücksicht hierauf im Jahre 1872 die Normalaichungs-Commission gegründet. Dieselbe hat sich zu befassen:

1. Vorschriften über Material, Gestalt, Bezeichnung und sonstige Beschaffenheit der Maasse und Gewichte etc.,
2. die Anfertigung und Beglaubigung der Copien, der Urmaasse, der Normalmaasse und Gewichte und der Aichungsnormalien, ferner die Ausrüstung der Aichämter mit den Aichungsnormalien und den erforderlichen Aichungsapparaten zu veranlassen,
3. das bei der Aichung und Stempelung einzuhaltende Verfahren zu bestimmen.

Das Urmaass des österreichischen Meters ist ein Glasstab bei 0° C. in der Richtung seiner Achse

gemessen oder 999·9976 Millimeter des Mètre prototype.

Urgewicht: Bergkrystall 999·9978 Milligramm des Kilogramm prototype.

Den Aichungsämtern stehen zur Verfügung: Gebrauchsnormale, Controlnormale und Hauptnormale. Die letzteren dienen zur Richtighaltung der Controlnormale und diese zur zeitweiligen Vergleichung mit dem Gebrauchsnormale.

Die Hauptnormale werden von der Normalaichungs-Commission zeitweilig einer erneuerten Vergleichung unterzogen.

In England besteht bereits seit dem Jahre 1866 ein solches Amt.

Nachdem das metrische Maasssystem seiner Einfachheit wegen in so vielen Staaten Eingang gefunden hatte, war es von grosser Wichtigkeit, die Urmaasse der einzelnen Staaten möglichst genau mit dem Pariser Normalmaasse verglichen zu haben. Es wurde zu diesem Zwecke von einer internationalen Commission die Herstellung neuer Urmaasse berathen und auf Grund eines im Jahre 1876 geschlossenen Vertrages ein internationales Maass- und Gewichtsbureau in Paris creirt.¹⁾

Dieses Bureau wurde im Pavillon de Breteuil zu St. Cloud etablirt und enthält nebst der Wohnung für die Beamten eine mechanische Werkstätte, ein chemi-

¹⁾ H. Wild, „Bericht über den Stand der Arbeiten, welche durch die internationale Metercommission veranlasst worden sind.“ Carl's Rep., Bd. XVI, S. 648.

sches Laboratorium, ein Beobachtungsgebäude und ein Maschinenhaus.

Das Beobachtungsgebäude enthält sechs grosse Säle mit Präcisionstemperirung und zwei übereinander befindliche Kellerräume, die sich in constanter Temperatur befinden und in denen die internationalen metrischen Urmaasse aufbewahrt werden.

Das Maschinenhaus enthält die Dampfmaschinen und die Apparate zur Erwärmung und Abkühlung der Luft und des Salzwassers, welche mittelst Ventilatoren und Pumpen durch Röhrenleitungen zu den Sälen des Beobachtungsgebäudes führen. Die Luft wird direct in die Säle nach Oeffnung entsprechender Klappen eingeblasen; das Salzwasser aber fliesst auf allen Seiten über die cannelirten Zinkwände hinunter, mit welchen die ebenfalls mit Zink bekleideten Wände des Zimmers in einem Abstände von ungefähr $\frac{1}{2}$ Fuss ringsum bekleidet sind. Durch diese Einrichtung wird es möglich, jeden Saal binnen kurzer Zeit auf eine zwischen -1° C. und $+30^{\circ}$ C. liegende Temperatur zu bringen und darin zu erhalten. Der Wechsel der äusseren Temperatur hat keinen Einfluss auf die Temperatur der Säle, da dieselben ringsum von einem gleichmässig temperirten Corridor umgeben sind und ihr Licht von oben durch hohe, in das Dach des Hauses eingesetzte Laternen erhalten.

In den Zimmern des Beobachtungshauses sind die Waagen, Comparatoren und die Barometer, Thermometer und Hygrometer aufgestellt. Unter den Wagen

befindet sich auch die bereits erwähnte Waage von Rüprecht in Wien zur Gewichtsvergleihung im luftgefüllten Raume, dann eine Waage von Sacré in Paris zur hydrostatischen Wägung und endlich eine Waage von Bunge zur Wägung im luftleeren Raume. Auch der bereits erwähnte Comparator von Gebrüder Brunner in Paris ist dort aufgestellt.

Die Arbeiten der in diesem Etablissement Angestellten bilden eine eigene Publication. Es erschien vor nicht gar langer Zeit der I. Band unter dem Titel: *Travaux et Mémoires du Bureau international des poids et mesures.*

Die bedeutenden Kosten, welche mit der Schaffung solcher Institute zur Instandhaltung des Maasssystems verbunden sind, erweisen sich im höchsten Grade gerechtfertigt, wenn man in Betracht zieht, wie tief alle diese Fragen ins praktische Leben eingreifen.

Besonders tritt die Wichtigkeit, genaue Maasse zu besitzen, in der Maschinenmechanik hervor. Genaue Arbeit ist dort nicht nur nothwendig, sondern geradezu ökonomisch, und es ist die Wichtigkeit dieser Thatsache nicht leicht irgendwo in so treffender Weise wie von Sir Joseph Witworth hervorgehoben worden. Wollen Sie mir daher gestatten, einen Blick auf die Leistungen dieses bedeutenden Mannes in Bezug auf die Ausführung von mechanischen Arbeiten nach genauen Maassen zu werfen.

Die Grundlage aller genauen Arbeit in der ausübenden Mechanik ist die Herstellung einer vollkommenen Ebene. Mit der Ausführung dieses Problems beschäftigte

sich Sir Joseph Witworth schon vor dem Jahre 1840.¹⁾ Im Jahre 1840 legte er vollkommene Ebenen aus Metall bei der Zusammenkunft der British Association in Glasgow vor und gab die Art und Weise ihrer Herstellung bekannt. An die Herstellung einer ebenen Richtplatte reihen sich jene eines Lineales und einer Stange.

Einen besonderen Fortschritt hat Sir Joseph Witworth durch die Construction seiner Messmaschine herbeigeführt, welche an Endmaassen noch einen Unterschied von $\frac{1}{200}$ Millimeter zu messen gestattet. Diese Messmaschine gestattet nun die Differentiallehre mit einer bis dahin unbekanntenen Genauigkeit anzufertigen. Die Vortheile dieser genauen Leeren mögen schon daraus sich ergeben, dass man heutzutage im Stande ist, die Bestandtheile einer Maschine, z. B. eines Gewehres, in fast gleichen Dimensionen herzustellen. Man kann z. B. aus mehreren Haufen der verschiedenen nöthigen Gewehrbestandtheile je einen herausgreifen und in wenigen Minuten ein Gewehr zusammensetzen, ohne dass viel eingepasst zu werden braucht. Die Spindeln einer Spinnmaschine sind sofort durch neue zu ersetzen, ohne dass besonderes Einpassen nöthig wäre. Vor etwa fünfzig Jahren mussten die tausende von Spindeln einer Spinnerei jede für sich in ein Lager gepasst werden, und es ist noch nicht lange her, dass die Gewehrbestandtheile auch alle zusammengepasst werden mussten.

¹⁾ Sir Joseph Witworth, „Die Messmaschine“ von Goodeve und Shelley; deutsch von Schröter.

Für die Güte und Dauerhaftigkeit ist die äusserste Genauigkeit in allen Fabrikationszweigen von äusserster Wichtigkeit und führt zu nicht unbeträchtlichen ökonomischen Vortheilen.

Ein ganz musterhaftes Etablissement wurde uns in der elektrischen Ausstellung zur Anschauung gebracht. Es war der Pavillon von Steinlein und Ducommun in Mühlhausen. Die gesammten Maschinen waren Meisterwerke der Präcisionsmechanik und gestatteten die Ausführung der genauesten Arbeit. Je sechs gefräste Würfel hintereinandergeschichtet geben abgemessen eine bestimmte Länge; wurden nun diese Würfel beliebig gegeneinander verdreht, so variirte ihre Gesammtlänge doch nur um 0·01 bis 0·03 Millimeter.

Geradezu selbstverständlich scheint es uns, dass die Metallpatronen, mit denen unsere Hinterladgewehre geladen werden, in die Verschlüsse passen, und doch ist die Möglichkeit, Millionen solcher Patronen immer in gleicher Weise zu erzeugen, ein Meisterstück der Präcisionsmechanik und nur durch Anwendung aller Sorgfalt in der richtigen Herstellung der Dimensionen, basirt auf die genauesten Leeren bis auf 0·05 Millimeter, möglich.

Ein grossartiger Erfolg der Witworth'schen Bestrebungen ist das von ihm im Jahre 1871 angegebene Gewindesystem. Es hat allgemein im Maschinenbau Eingang gefunden, es ist geradezu ein internationales Maass geworden und über alle Theile der Erde verbreitet. Wir haben hier ein ausgezeichnetes Beispiel

vor uns, wie ein Maasssystem beliebig vervielfältigt und in seiner ursprünglichen Grösse erhalten wird.

Den Vortheil, welcher aus bestimmter Dimensionierung von Handelsgegenständen entspringt, hat Sir Joseph Witworth selbst in einem Vortrage auseinandergesetzt, worin es unter Anderem heisst:

„Im engen Zusammenhange mit der Frage des correcten Messens steht eine andere — ich meine die Einführung richtiger Grössenabstufungen in allen Zweigen des Maschinenbaues und der verwandten Gewerbe. Es lässt sich gar nicht ermessen, wie sehr unser Nationalvermögen durch die zu starke Anhäufung von Grössenabstufungen geschädigt wird. Nehmen wir nur einmal die verschiedenen Grössen von Dampfmaschinen, stationärer sowohl als Schiffs- und Locomotivmaschinen; bis zu 100 Pferdekraften gibt es gewiss dreissig Abstufungen, während zehn schon mehr als genug wären und alles Geld für Zeichnung und Ausführung der übrigen als Verschwendung betrachtet werden muss. Und dies ist noch nicht einmal Alles: wenn anstatt dreissig nur zehn verschiedene Grössen vorhanden wären, so würden von jeder Gattung dreimal so viel Stück gemacht, und Sie wissen ja, dass die Seele der Fabrikation in der Wiederholung von Gleichen liegt.

„Auf diese Weise würde z. B. der Inhaber eines Schiffes eine Maschine zu geringerem Preise bekommen; ebenso möchte ich den Ingenieuren der grossen Bahnen dringend empfehlen, dieser Frage mit Bezug auf Locomotive und Wagen ihre Aufmerksamkeit zuzuwenden.

Ich möchte denselben vorschlagen, sich nicht nur mit Bezug auf Grössenabstufungen der Locomotive und Wagen auf das möglichste Minimum zu beschränken, sondern auch für jedes einzelne Detail die Abmessungen ganz genau festzusetzen. In der Dimensionirung sollte alle Willkür vermieden und alle Maasse thunlichst abgerundet werden; mit zunehmender, resp. abnehmender Grösse der Maschine müssten auch die Stufen grösser, resp. kleiner werden. Auch für Architekten ist diese Frage von Bedeutung. Wenn z. B. für die Hauptfenster und Hauptthüren unserer Häuser nur drei- oder vier Normalgrössen festgesetzt wären, so liesse sich ihre Herstellung ohne Rücksicht auf specielle Fälle sofort fabrikmässig betreiben; man könnte stets auf Lager arbeiten und die besten Specialmaschinen dafür verwenden, so dass wir mit einem Minimum von Kosten bessere Fenster und Thüren bekommen.“

So weit der Vortrag. Der Rath an die grossen Eisenbahngesellschaften scheint in der That in den Normalien, welche dieselben aufstellen, ihren Ausdruck gefunden zu haben. Nicht so scheint es mit unseren Fenstern und Thüren zu stehen. Die Erfindung eigener Luftverschliessungscylinder deckt einen argen Mangel in der Anfertigung auf.

Ich habe mich absichtlich längere Zeit dabei aufgehalten, auf die Wichtigkeit hinzuweisen, über genaue Maasse zu verfügen oder sich dieselben wenigstens leicht verschaffen zu können. Es ist die Verbreitung möglichst genauer Maasse geradezu ein öffentliches Interesse und

sollte bei allen öffentlichen und sonstigen aus Staatsmitteln erhaltenen Schulen und Anstalten auf diesen Punkt grosses Gewicht gelegt werden und alle Bestrebungen Unterstützung finden, welche den Gebrauch, die Erhaltung und die Vergleichung genauer Maasse zum Zwecke haben. Allen Präcisionswerkstätten sollte Gelegenheit gegeben sein, auf eine leichte Weise die Richtigkeit ihrer Maasse zu sichern.

Auch sind alle wissenschaftlichen Untersuchungen, an die sich der Fortschritt und die Weiterentwicklung der Wissenschaft knüpft, an genaue Maasse gebunden und deren Vorhandensein, sowie jenes guter Messapparate wesentliche Bedingungen der Brauchbarkeit und Vergleichbarkeit der Resultate.

Wie aus den einmal angenommenen Einheiten andere abgeleitet werden, dafür gibt uns das Messen von Flächen und von Hohlräumen ein Beispiel. Statt eigene Einheiten zu wählen, bedient man sich geometrischer Beziehungen. Die Einheit der Fläche ist hiernach ein Quadrat von 1 Meter Seitenlänge des mtr.², die Einheit des Volumens ein Würfel von 1 Decimeter Seitenlänge des dcm.³, der Liter oder ein Würfel von 1 Meter Seitenlänge des mtr.³

Dort, wo es sich um die geometrischen Bewegungen handelt, kommt nebst der Längeneinheit auch die Zeiteinheit in Betracht. So nennt man Geschwindigkeit den bei einer gleichförmigen Bewegung in einer Secunde zurückgelegten Weg. Eine Geschwindigkeit ist also defnirt durch den Quotienten aus einem Wege

und einer Zeit. Die Einheit der Geschwindigkeit ist

also $\frac{1 \text{ Meter}}{1 \text{ Secunde.}}$

Eine andere abgeleitete Einheit bietet die gleichförmig beschleunigte Bewegung; bei derselben nimmt die Geschwindigkeit fortwährend, und zwar in gleichen Zeiten um gleich viel zu.

Man nennt Beschleunigung den Geschwindigkeitszuwachs in der Secunde; es ist dies also ein Quotient aus einer Geschwindigkeit durch eine Zeit. Die Einheit der Beschleunigung ist somit $\frac{1 \text{ mtr.}}{\text{sec.}^2}$

Die Beschleunigung des freien Falles ist $9\cdot80 \frac{\text{mtr.}}{\text{sec.}^2}$ oder $980\cdot5 \frac{\text{cm.}}{\text{sec.}^2}$

Die Beschleunigung der Schwere wird aus Pendelbeobachtungen abgeleitet. Aus den genau bekannten Gesetzen der Pendelbewegung weiss man, dass die Schwingungsdauer eines Pendels direct proportional der Quadratwurzel aus der Pendellänge und verkehrt proportional der Beschleunigung der Schwere ist. Will man also diese Grösse im absoluten Maasse berechnen, so muss man die Pendellänge messen, die Schwingungsdauer des Pendels beobachten und ausserdem noch den durch die theoretischen Untersuchungen bekannten Proportionalfactor kennen. Dieser ist gleich der bekannten Zahl π .

Indem man also die Pendellänge mit dem Quadrate von π multiplicirt und durch das Quadrat der

Schwingungsdauer dividirt, erhält man die Beschleunigung der Schwere im absoluten Maasse. Jeder aus einem mehrere Meter langen, an seinem Ende eine Kugel tragenden Drahte bestehende Pendel liefert, wenn aus der Zahl der etwa in fünf Minuten gemachten Durchgänge durch die Gleichgewichtslage die Schwingungsdauer berechnet wird, eine auf wenige Zehntelprocente genaue Zahl für die Beschleunigung der Schwere.

Die Gewichtseinheit ist im metrischen Systeme definirt als das Gewicht eines cm.^3 destillirten Wassers von 4°C . Auch hierüber glaube ich keine weiteren Bemerkungen machen zu sollen. Dasjenige, was ich hiebei hervorheben will, ist aber, dass, sofern wir einen Kilogrammetalton vor uns haben und den Druck desselben auf die Unterlage, das ist dessen Gewicht auch als Krafterinheit ansehen, wir kein absolutes Maass für die Krafterinheit geschaffen haben, das heisst, die Kräfte, welche das Kilogramm an verschiedenen Punkten der Erdoberfläche gerade aufzuheben vermögen, sind nicht gleich, sondern verschieden.

Das Kilogramm drückt thatsächlich um nahe 5 Gramm, d. i. $\frac{1}{2}$ Procent stärker auf seine Unterlage in der Nähe des Poles als in der Nähe des Aequators. Auch nahe der Erdoberfläche ist der Druck ein anderer wie in grösserer Höhe über derselben. Der Nachweis der Veränderlichkeit des Gewichtes gelingt uns aber nicht mit einer Schalenwage; dort ist stets Gleichgewicht, wo wir die Wage sammt den auf-

gelegten Gewichtsstücken hinbringen mögen, denn hier vergleichen wir die Anziehung der Erde auf gleiche Massen und diese ändert sich stets für beide Massen in gleicher Weise.

Eine Federwage dagegen würde uns den fraglichen Unterschied anzeigen, denn hier vergleichen wir die veränderliche Anziehung auf eine Masse mit der unveränderlichen elastischen Kraft einer Feder.

Der directe experimentelle Nachweis, dass der Druck des Kilogramms in der Nähe des Poles grösser als in der Nähe des Aequators sei, lässt sich indessen nicht führen.

Dagegen ist der Nachweis der Abnahme der Schwere mit der Höhe experimentell von Jolly ¹⁾ mit Hilfe einer Wage geführt worden, auf deren einer Schale das Gewicht entweder direct aufgelegt werden konnte, oder an die es sich mit Hilfe eines langen Drahtes anhängen liess. Die Unterschiede, um die es sich hier handelt, fallen allerdings in die Grenzen des Messbaren. Für ein Kilogrammgewicht in 5·2 Meter Höhendifferenz wie in den Jolly'schen Versuchen beträgt der Gewichtsunterschied etwa 1·5 Milligramm, eine allerdings nachweisbare Grösse.

Die Verschiedenheit der Anziehung ist uns aus der Verschiedenheit der Grösse, der Beschleunigung, der Schwere bekannt, wie dieselbe mit dem Pendel experimentell nachgewiesen und gemessen worden ist.

¹⁾ Ann. der Physik. Neue Folge, Bd. V, S. 112. Naturforscher, Bd. XI, S. 415.

Indem also das Kilogramm als Gewichtseinheit festgesetzt ist, haben wir keine absolute Einheit für die Kraft erlangt, wir haben blos ein Maass für dasjenige, was die Eigenschaft besitzt, von der Erde angezogen zu werden, d. i. von der Masse. Das Kilogramm ist also eigentlich Masseneinheit. Mit der Schalenwage vergleichen wir Massen, nicht Gewichte.

Wenn also das Kilogramm oder das Gramm Masseneinheiten sind, wie ist dann die Krafteinheit zu wählen?

Es werde hiezu die Wirkung der Schwerkraft auf eine Masse, z. B. von 1 Gramm betrachtet. Liegt das Gramm auf einer Unterlage auf, dann drückt es auf dieselbe; wir nennen dies Gewicht. Fällt die Masse frei herab, dann besitzt sie allerdings kein Gewicht. Die Anziehung der Schwerkraft äussert sich dann in Bewegung. Der Körper erlangt beim freien Fall eine stets wachsende Geschwindigkeit und damit die Fähigkeit, beim Auftreffen auf dem Boden einen Stoss auszuüben. Die Grösse dieses Stosses wächst mit der erlangten Geschwindigkeit und mit der Grösse der bewegten Masse. Das Maass für diesen Stoss ist die der Masse innewohnende Bewegungsgrösse, d. i. das Product aus Masse und Geschwindigkeit.

Das Gewicht eines Körpers ist eine mit der Zeit unveränderliche Grösse, die Bewegungsgrösse wächst mit der Zeit des Falles; dieselbe ist daher noch nicht das richtige Maass für die Bewegungswirkung der Schwere.

Nachdem aber der Zuwachs der Geschwindigkeit in der Secunde, d. i. die Beschleunigung des freien Falles in erster Annäherung constant angesehen wird, so ist dies auch mit dem Zuwachs der Bewegungsgrösse in der Secunde der Fall. Man nennt denselben die Beschleunigung der Bewegungsgrösse und dies ist das, dem Gewichte äquivalente Maass für die Bewegungswirkung der Schwerkraft.

Es ist die Beschleunigung der Bewegungsgrösse

$$= \frac{\text{Zuwachs der Bewegungsgrösse}}{\text{Zeit}}$$

$$= \frac{\text{Masse} \times \text{Zuwachs der Geschwindigkeit}}{\text{Zeit}}$$

$$= \text{Masse} \times \text{Beschleunigung}$$

$$= \frac{\text{Masse des Grammes} \times \text{cm.}}{\text{sec.}^2}$$

Das Gewicht und die Beschleunigung der Bewegungsgrösse sind also die beiden Aeusserungen der Schwerkraft, je nachdem ihr das Gleichgewicht gehalten oder durch dieselbe Bewegung erzeugt wird.

Wollen wir also die Aeusserungen derselben Kraft auch durch dieselbe Zahl ausdrücken, dann haben wir, das Gramm als Masse vorausgesetzt, festzustellen, das Gramm drücke mit 980·5 absoluten Krafteinheiten auf seine Unterlage.

Diese Wahl der Krafteinheit macht uns unabhängig von allen Nebenumständen, wie der verschiedenen Grösse der Beschleunigung, der Schwere. Indem wir solche absolute Krafteinheiten zur Messung des Ge-

wichtiges anwenden, ergibt sich der Druck eines Grammes in der Nähe des Aequators zu 978, in der Nähe der Pole zu 983 absoluten Kräfteinheiten, wie es thatsächlich der Fall ist. Die Anwendung dieses Kräfte-maasses rührt von Gauss her und wurde zur Messung magnetischer Kräfte verwendet.

Man nennt in neuerer Zeit diese absolute Kräfte-einheit ein Dyne; dieselbe ist sehr klein, es ist die Kraft, welche etwa ein Milligramm gerade zu heben vermag.

Man definiert das Dyne als jene Kraft, welche der Masse eines Grammes in der Secunde die Geschwindigkeit von $1 \frac{\text{cm.}}{\text{sec.}}$ ertheilt. Die absolute Einheit für die Kraft ist eine abgeleitete Einheit; sie ist $\frac{\text{Masse des Grammes} \times \text{cm.}}{\text{sec.}^2}$.

Man verwandelt den in gewöhnlicher Weise als Gewicht angegebenen Druck in Grammen in Dyne, indem man diesen Druck mit der Beschleunigung der Schwere multiplicirt.

Das Gewicht ist also die Druckwirkung, die Beschleunigung der Bewegungsgrösse die Bewegungswirkung der Schwerkraft; auch für jede andere Kraft gilt ein solcher Zusammenhang zwischen Druck- und Bewegungswirkung.

Ich will noch an einem Versuche auseinanderzusetzen suchen, welche Berechtigung es habe, Kräfte durch die, an eine Masse übertragene Bewegungsgrösse

zu messen, und hiezu das Gewicht des Körpers in etwas anderer Weise, und zwar auch durch die Bewegungsgrösse definiren.

Fällt ein Körper frei herab, so tritt die Beschleunigung der Bewegungsgrösse am Körper auf; liegt er aber auf einer festen Unterlage, dann überträgt diese auf den Körper per Secunde so viel Bewegungsgrösse nach aufwärts, als der Körper zufolge seiner Schwere nach abwärts überträgt; es ist Gleichgewicht vorhanden, es kommt keine Bewegungsgrösse zum Vorscheine.

Weicht die Unterlage mit Beschleunigung aus, und zwar mit einer kleineren als der Beschleunigung der Schwere, dann überträgt die Unterlage nach aufwärts nur einen Theil der vom Gewichte ausgeübten Beschleunigung, es existirt zwischen Körper und Unterlage ein Druck, dieser ist aber der Differenz der Beschleunigungen proportional; es ist:

Maasse \times (Beschleunigung der Schwere — Beschleunigung der Unterlage), der Körper erscheint leichter.

Bewegt sich die Unterlage mit Beschleunigung nach aufwärts, dann überträgt sie nebst der Beschleunigung der Schwere noch ihre eigene Beschleunigung nach aufwärts, der Druck des Körpers ist dann:

Maasse \times (Beschleunigung der Schwere + Beschleunigung der Unterlage), der Körper erscheint schwerer.

Die Anordnung zu dem früher erwähnten Versuche ist folgende: Statt die Unterlage beweglich zu

machen, soll der auf derselben befindliche Körper durch Gestaltveränderung die Lage seines Schwerpunktes ändern.

Ein zusammengerollter Kautschukschlauch liegt zwischen zwei Brettern und ist in Verbindung mit einer Marey'schen Trommel, welche jedoch statt eines Zeigers einen Spiegel bewegt. Auf diesen Spiegel lasse ich das Licht einer Duboscq'schen Laterne fallen und erhalte mit Hilfe einer vor dem Spiegel befindlichen Linse auf dem Plafond in einem Punkte *A* ein deutliches Bild des Kreuzes, welches sich in der Oeffnung der Laterne befindet. Sobald ich auf das obere Brett trete, wird der Kautschukschlauch zusammengedrückt, die Membran der Marey'schen Kapsel bläht sich auf, das Bild wandert auf der Decke von *A* hinweg und nimmt eine neue Einstellung in einem Punkte *B* an. Es ist wieder Gleichgewicht. Mein Körper überträgt an den Kautschukschlauch so viel Bewegungsgrösse, als dieser zufolge seiner elastischen Kraft nach aufwärts abgibt.

Wenn ich nun plötzlich meine Kniee beuge, so sinken Theile meines Körpers mit Beschleunigung herab; es wird an den Kautschukschlauch jene Bewegungsgrösse weniger übertragen, welche in meinem Körper zum Vorscheine kommt; der Kautschukschlauch dehnt sich daher sofort aus, denn das Gleichgewicht ist gestört, ich wiege während der Bewegung weniger. Sie erkennen dies an einer Bewegung des Lichtbildes gegen die ursprüngliche Stellung *A* hin. Aber dies ist

nicht das Einzige, was eintritt, das Lichtbild wandert sodann wieder über *B* hinaus, im Sinne einer noch grösseren Belastung, und erst dann stellt es sich wieder in *B* ein.

Dieser zweite Ausschlag ist durch den Stoss bedingt, welchen mein Körper ausübt, indem er zur Ruhe kommt. Die Bewegungsgrösse, welche sich in demselben während der Bewegung angesammelt hatte und weniger auf den Schlauch übertragen wurde, wird nun, während der Körper zur Ruhe kommt, mehr übertragen.

Die Unterlage muss also alle Bewegungsgrössen aufnehmen, welche die Schwere in meinem Körper erzeugt, so lange ich mich auf der Unterlage befinde und nicht auf einen andern Gegenstand stütze. Durch die vorgeführte Versuchsanordnung ist es mir gelungen, die Bewegungsgrösse ungleichmässig in der Zeit zu vertheilen, so dass Druckschwankungen eintreten, obgleich die Wirkung der Schwere auf meinen Körper stets dieselbe Grösse besitzt.

Wenn ich mich aus der gebeugten Stellung wieder erhebe, dann muss ich meinem Körper eine Beschleunigung nach aufwärts ertheilen; während dieser Zeit bin ich schwerer, weil ich hiezu einen grösseren Druck auf die Unterlage ausüben muss. Wenn ich aber nahe der aufrechten Stellung anlange, dann hebt sich der Körper zufolge der erlangten Bewegungsgrösse das letzte Stück der Bewegung von selbst, dasjenige, was also vorher zu viel an die Unterlage übertragen wurde, das kommt zuletzt zu wenig zum Vorschein.

Der Spiegel der Marey'schen Trommel schlägt also jetzt zuerst im Sinne einer grösseren Belastung, also über *B* hinaus, dann im Sinne einer kleinen Belastung, d. i. gegen *A* hin aus, ehe er in *B* zur Ruhe kommt.

Auch die Bewegung eines Armes oder eines Fusses allein, hat die besprochenen Wirkungen.

So lange der Körper ruhig ist, ist auch sein Gewicht constant; sobald er sich bewegt, ändert sich sein Gewicht, aber die gesammte an die Unterlage übertragene Bewegungsgrösse ist doch die gleiche, sie vertheilt sich nur ungleich über die Zeit.

Indem wir festsetzen, die Kraft sei durch die übertragene Bewegungsgrösse zu messen, geben wir eine viel umfassendere Erklärung der Kraftwirkung, als wenn wir von Druck oder Zug allein sprechen; eine Vorstellung, welche indessen eine viel allgemeinere Verbreitung gefunden hat.

Noch ein Beispiel über die Bedeutung des absoluten Maasses für die Kraft will ich hier anführen.

Wenn es sich darum handelt, den Druck der Luft zu messen, so bedient man sich bekanntlich der Barometer, und man misst den Luftdruck durch die Höhe einer Quecksilbersäule, welche dem Luftdrucke das Gleichgewicht zu halten vermag.

Es ist der Druck der Quecksilbersäule zufolge ihrer Schwere, welche mit dem Luftdrucke verglichen wird.

Denken wir uns nun, an zwei verschiedenen Stationen, eine nahe dem Aequator, die andere nahe dem

Pole, sei nach Anbringung der gewöhnlichen Correctionen der gleiche Barometerstand beobachtet worden, so folgt hieraus noch nicht, dass in beiden Stationen der Luftdruck auch der gleiche sei. Gleich hohe Quecksilbersäulen drücken ja in verschiedenen Breiten verschieden stark, weil die Schwerkraft von der geographischen Breite abhängig ist. Es wird also in einem solchen Falle der Luftdruck in der Nähe des Aequators kleiner gewesen sein. Dieses würde sich sofort verathen, wenn der Luftdruck in absoluten Kraftereinheiten gemessen wird, d. h. wenn wir die Höhe der Quecksilbersäule mit dem specifischen Gewichte des Quecksilbers und noch mit der Beschleunigung der Schwere des Beobachtungsortes multipliciren. Erst jetzt erhalten wir ein absolutes Maass für den Luftdruck.

Bei der barometrischen Höhenmessung mit dem Quecksilberbarometer wird thatsächlich auf die Veränderlichkeit der Schwerkraft Rücksicht genommen.

Wenn man aber mit Aneroiden beobachten wollte, dann würde, vorausgesetzt, die Aneroide seien gleich und haben sich auch gleich erhalten, der gleich beobachtete Barometerstand wirklich gleichem Luftdrucke entsprechen, denn hier wird der Luftdruck mit der Kraft einer Feder verglichen.

Wenn es sich aber darum handelt, die absolute Grösse des Luftdruckes aus den Ablesungen eines Aneroides zu finden, dann ist es nothwendig, zu wissen, wo die Vergleichung mit dem Quecksilberbarometer stattgefunden hat, und die Ablesungen in Millimetern des

Aneroides müssen mit dem specifischen Gewichte des Quecksilbers und mit der Beschleunigung der Schwere des Vergleichsortes multiplicirt werden.

Von den Wirkungen einer Kraft haben wir zunächst die Druckwirkung und Erzeugung von Beschleunigung der Bewegungsgrösse ins Auge gefasst. Wir wollen nun den Fall betrachten, wo eine Kraft einen Widerstand während eines bestimmten Weges überwindet, ohne Geschwindigkeit zu erzeugen. Ein solcher Fall ist z. B. die Erhebung eines Gewichtes. Hiezu ist offenbar umsomehr zu leisten, je grösser das Gewicht ist und auf eine je grössere Höhe dasselbe erhoben wird. Diese Leistung einer Kraft wird ihre Arbeit genannt, und diese ist bekanntlich durch das Product aus Kraftintensität in den Weg gemessen. Das Kilogrammometer ist die Einheit der Arbeit im mechanischen Maasse, d. i. jene Arbeit, bei welcher ein Kilogramm einen Meter hoch gehoben wird.

Die absolute Einheit der Arbeit ist wesentlich kleiner. Es ist jene Arbeit, bei welcher ein Widerstand von 1 Dyne durch einen Weg von 1 Centimeter überwunden wird. Diese Arbeitseinheit führt den Namen Erg.

$$1 \text{ Erg} = \frac{\text{Masse des Gramms cm.}^2}{\text{sec.}^2}$$

Der Erg ist eine sehr kleine Maasseinheit. Ein Kilogrammometer ist gleich 98,050.000 Erg.

Es gibt noch eine andere absolute Arbeitseinheit, nämlich jene, bei welcher eine absolute Kraft

$$\frac{\text{Masse des Kilogramms. mtr.}}{\text{sec.}^2}$$

einen ihr gleichen Widerstand durch eine Strecke von 1 Meter in der Secunde überwindet; diese Arbeitseinheit wird zeitweilig ein Watt genannt:

$$1 \text{ Watt} = \frac{\text{Masse des Kilogramms. mtr.}^2}{\text{sec.}^3}$$

Es sei hier bemerkt, dass die elektrische Arbeitseinheit, ein Volt-Ampère, dieser Grösse gleich ist.

$$1 \text{ Watt} = 10,000.000 \text{ Erg. per Secunde.}$$

$$1 \text{ Kilogramm-meter} = 9.80 \text{ Watt.}$$

In den Arbeitseinheiten wird alle Form der Energie gemessen. Man versteht unter Energie die Fähigkeit eines Körpers, Arbeit zu leisten; und die Grösse der zu leistenden Arbeit ist das Maass seiner Energie.

Zum Beispiel ein auf eine Höhe gehobenes Gewicht kann, indem es auf den Boden herabsinkt, Arbeit leisten; es besitzt Energie. Die Arbeit, die aufgewendet werden musste, um das Gewicht zu heben, ist in demselben enthalten, sie kann beim Herabsinken wieder gewonnen werden.

Ein aus einem Gewehre abgeschossenes Projectil hat Bewegungsenergie, lebendige Kraft. Die Arbeit, welche die Pulvergase geleistet haben, um das Geschoss auf die Geschwindigkeit zu bringen, mit welcher es den Lauf verlässt, ist in dem Geschosse enthalten; sie kann zur Ueberwindung eines Widerstandes beim Auftreffen durch eine gewisse Strecke hindurch benützt werden. Das Maass für die Grösse des zu überwindenden

Widerstandes bildet die Bewegungsgrösse; es ist das Maass für die Intensität des Stosses.

Die lebendige Kraft kann sich aber beim Auftreffen in Wärme umsetzen. Wärme ist auch eine Form der Energie. Ebenso kommt einem elektrischen Körper Energie zu. Alle diese Formen der Energie sind äquivalent, sie werden in denselben Einheiten gemessen.

Die Verwandlung einer Form der Energie in eine andere ist stets mit Arbeitsleistung verbunden, und es tritt Arbeit bei jeder derartigen Verwandlung auf, und zwar stets die Grösse der verwandelten Energie messend.

Nie kann Arbeit entstehen, ohne dass gleichzeitig irgend etwas Aequivalentes verbraucht würde, aber auch nicht, ohne dass etwas Aequivalentes geschaffen würde.

Es ist dieser Satz der Ausdruck eines Naturgesetzes; des Satzes von der Erhaltung der Energie, dessen Erkenntniss den bedeutendsten Fortschritt der Physik in neuerer Zeit bezeichnet und zu dessen Ergründung Messungen in absoluten Maassen die wesentliche Bedingung sind; der uns aber auch die Beziehungen liefert, nach welchen die absoluten Einheiten für die verschiedensten Grössen zu finden sind, und wovon ich in einem zweiten Vortrage zu Ihnen zu sprechen die Ehre haben werde.

II.

Ich habe in einem ersten Vortrage die Ehre gehabt, Ihnen auseinanderzusetzen, dass alle in der Natur vorkommenden Grössen sich im absoluten Maasse, d. i. unabhängig von der Natur der angewandten Methode und Instrumente messen lassen, wenn drei Einheiten angenommen und mit Hilfe der bekannten physikalischen Beziehungen die Abhängigkeiten der verschiedenen Grössen von den gewählten Einheiten aufgesucht werden. Ich habe hiebei hervorgehoben, dass die Einheiten der Masse, der Länge und der Zeit diejenigen sind, welche sich mit Rücksicht auf Erhaltung ihrer Unveränderlichkeit besonders empfehlen. Auch habe ich von den Massregeln gesprochen, welche nöthig sind, damit sich die Einheiten der Länge und Masse unverändert erhalten, und ich glaubte dabei nicht unerwähnt lassen zu sollen, wie tief alle diese Massregeln in das tägliche Leben einschneiden.

Als zwei der wichtigsten abgeleiteten Einheiten habe ich Ihnen die absolute Krafteinheit und die absolute Arbeitseinheit hingestellt, und den Schluss meiner damaligen Auseinandersetzungen bildete der Hinweis, dass die absolute Arbeitseinheit das Maass für alle jene Grössen sei, welche unter dem Namen der Energie zusammengefasst werden und das Vermögen

eines Körpers, zufolge seines Zustandes Arbeit zu leisten, bezeichnen.

Ich will noch einmal zur Energie zurückkehren und zur besseren Versinnlichung des darauf Bezüglichen ein sehr naheliegendes Beispiel wählen. Um ein Gewicht zu erheben, ist Arbeit zu leisten, diese Arbeit ist in dem erhobenen Gewichte enthalten als potentielle Energie oder als Energie der Lage, insofern sie zur Ueberwindung der Schwere aufgewendet wurde.

Die Arbeit ist die gleiche, ob ich ein Gewicht vertical erhebe oder längs einem beliebigen anderen Wege; sie ist immer die gleiche, so oft ich das Gewicht aus einem Horizont in denselben zweiten Horizont bringe. Die in gleichen Abständen gezogenen Horizontalebene stellen daher Flächen vor, in denen die Energie der Lage gleichen Werth besitzt. Die Richtung der Schwerkraft steht auf diesen Flächen senkrecht. Dies gilt auch dann noch, wenn die Krümmung der Erdoberfläche in Betracht gezogen wird; die Horizontalebene gehen dann in Flächen über, welche angenähert die Kugelgestalt besitzen. Der Höhenunterschied zweier solchen Flächen ist das Maass für den Unterschied der potentiellen Energie; er gibt nämlich direct die Zunahme der Energie der Gewichtseinheit an. Das, was man Gefälle nennt, ist somit auch ein Maass für den Unterschied an potentieller Energie.

Ein System solcher in gleichem Abstände gezogener Horizontalebene schneidet die wirkliche Erd-

oberfläche in einem Systeme von Curven, welche uns unter dem Namen Schichtenlinien bekannt sind und in der Kartographie eine wichtige Rolle spielen. Indem nämlich die Schnittcurven auf der Ebene des Papieres verzeichnet werden, erhalten wir ein Bild von der Terraininformation. Hier habe ich Ihnen einen solchen Schichtenplan der Gegend aufgezeichnet.

Diese Schichtenlinien sind Linien gleichen Potentials. Zur Bewegung in denselben ist keine Arbeit zur Ueberwindung der Schwere zu leisten. Um einen Wagen längs einer Schichtenlinie, d. i. einer, auf dem Terrain gezogenen horizontalen Strasse zu bewegen, brauchen blos die Reibungswiderstände überwunden zu werden; wie derselbe auf einer ansteigenden Strasse gegen die nächste Schichtenlinie geführt wird, muss sofort Arbeit zur Ueberwindung der Schwere geleistet werden.

Auf einem See ist zur Fortbewegung eines Schiffes blos die Ueberwindung des Wasserwiderstandes nöthig. Die Oberfläche des Sees ist eben horizontal, eine Fläche gleichen Potentials. Auf einem Flusse hilft das Gefälle zum Transporte mit, wenn man stromabwärts fährt, oder es zwingt zu grösserer Anstrengung, wenn das Schiff stromaufwärts gezogen werden soll.

Wir kennen noch eine zweite Terraindarstellung, jene mittelst Schraffen; das sind Linien, welche senkrecht auf den Schichtenlinien gezogen sind; sie fallen in die Richtung des grössten Gefalles. Die Schraffen geben uns die Richtung der Schwere auf das Terrain

bezogen an, oder die Richtung, in der ein Körper sich unter dem Einflusse der Schwere bewegt, wenn er dabei keine merkliche Geschwindigkeit erlangt; sie sind die Richtung der Wasserabflusslinien.

Die Schraffen werden aber auch verschieden stark gezogen. Je nachdem sie den 0·1., 0·2. 0·3. . . . 0·9. Theil eines schmalen Flächenstreifens erfüllen, zeigen sie einen Böschungswinkel von 5° , 10° , 15° . . . 45° an. Je grösser aber das Gefälle, desto grösser ist auch die Componente der Schwere, welche die Bewegung an der Erdoberfläche vermittelt.

Diese Ihnen geläufigen Methoden der Kartographie spielen eine wichtige Rolle, wenn es sich darum handelt, darzustellen, wie in der Umgebung eines elektrischen oder magnetischen Körpers die Kraft auf ein elektrisches oder magnetisches Theilchen gerichtet ist, welche Grösse sie besitzt und wie gross die Energie der Lage eines solchen Theilchens in Bezug auf den anwesenden elektrischen Körper ist.

Ein Raum, in dem sich ein elektrischer oder magnetischer Körper befindet, ist derart verändert, dass man einen zweiten elektrischen oder des Magnetismus fähigen Körper nicht nach jeder Richtung verschieben kann. Es ist zu einer solchen Verschiebung Arbeit nothwendig, weil die beiden Körper eine Kraft aufeinander ausüben, die überwunden werden muss, gerade so wie die Schwerkraft, wenn man ein Gewicht erhebt.

Man nennt einen solchen veränderten Raum ein magnetisches oder ein elektrisches Feld.

Wir wollen zuerst beim magnetischen Felde bleiben. Wir befinden uns unausgesetzt in dem magnetischen Felde der Erde. Dieses magnetische Feld wird homogen genannt, weil die erdmagnetische Kraft in der Nähe desselben Beobachtungsortes überall als gleich gross und als gleich gerichtet angesehen werden kann.

Wollen wir uns eine Vorstellung vom magnetischen Felde bilden, so können wir Flächen legen, welche auf der Erdkraft senkrecht stehen; es sind die Flächen gleichen Potentials, sie entsprechen den Horizontalflächen unseres Schichtenplanes.

Wir können uns den Raum aber auch von Linien erfüllt denken, welche den Schraffen ähnlich in die Richtung der Kraft fallen und die wir jetzt Kraftlinien nennen wollen.

Diese Kraftlinien haben an einem bestimmten Beobachtungsorte die Richtung der Achse eines im Schwerpunkte frei aufgehängenen Magneten; sie schliessen mit dem Horizonte einen Winkel, Inclination genannt, für Wien nahe 62° , ein und jede durch eine solche Kraftlinie gelegte Verticalebene schliesst mit der Ebene des astronomischen Meridians einen Winkel, Declination, für Wien 12° westlich, ein.

Um uns auch eine Vorstellung von der Intensität der Erdkraft zu bilden, könnten wir mit den Kraftlinien, ähnlich wie mit den Schraffen verfahren; wir wollen nun dies in der Weise thun, dass wir an einem Orte so viel Kraftlinien durch die Flächeneinheit gezogen denken, als die Grösse der Intensität beträgt.

Für Wien ist diese Intensität 0·45 absolute Einheiten. Wir hätten also auf 20 Flächeneinheiten der Flächen gleichen Potentials 9 Kraftlinien zu ziehen, um die Totalintensität des Erdmagnetismus zum Ausdrucke zu bringen.

Die Zahl 0·45 besagt, dass die Erde in Wien auf die magnetische Menge Eins eine Kraft von 0·45 Dyne ausübe.

Die magnetische Masse Eins lässt sich nicht so wie etwa das Gramm in Form eines Etalons festsetzen, wir müssen dieselbe irgendwie zu definiren suchen. Es folgt nun aus den bezüglichen physikalischen Untersuchungen, dass die Kraft zwischen zwei magnetischen Massen direct proportional dem Producte der Massen und verkehrt proportional dem Quadrate der Entfernung ist. Jene Masse wird nun Eins genannt, welche auf eine gleich grosse Masse, aus der Entfernung 1 Centimeter wirkend, die absolute Kräfteinheit, ein Dyne, ausübt.

Jede solche auf einem Magnet befindliche magnetische Masse wird mit einer absoluten Kraft 0·45 von der Erde in Wien angezogen oder abgestossen.

Die theoretische Benennung der magnetischen Masse ergibt sich daraus, dass das Quadrat einer magnetischen Masse ein Product aus einer Kraft in das Quadrat einer Länge repräsentirt, also gleich ist

$$\frac{\text{Masse des Gramms cm.}^3}{\text{sec.}^2}$$

Die magnetische Masse selbst ist daher $\frac{\text{gr.}^{1/2} \text{ cm.}^{3/2}}{\text{sec.}^1}$

Die Intensität des magnetischen Feldes wurde als Kraft auf die magnetische Masse Eins definirt, ist also

durch den Quotienten aus einer Kraft durch eine magnetische Masse gegeben.

Der theoretische Name der Intensität eines magnetischen Feldes ist daher

$$\text{gr. } \frac{1}{2} \text{ cm.} - \frac{1}{2} \text{ sec.}^{-1}.$$

Neben jene 0.45 ist also diese Bezeichnung zu setzen.

Wie das magnetische Feld eines Magneten beschaffen ist, lässt sich durch einen sehr bekannten Versuch veranschaulichen. Wenn nämlich über die Pole eines Magneten ein Papier gelegt und dann Eisenfeile aufgestreut werden, so gruppieren sich diese nach bestimmten Linien, es sind die Kraftlinien. Dieselben sind dichter, wo die Kraft grösser ist; es sind ihrer aber nicht so viele per Flächeneinheit gezogen, als die Intensität der Kraft beträgt.

Das Bild, welches uns ein solcher Versuch liefert, verhält sich zu jenem, welches dadurch erhalten wird, dass man per Flächeneinheit die der Intensität entsprechende Anzahl von Kraftlinien zieht, so wie eine bezüglich der Richtung der Schraffen genaue, der Stärke der Schraffen nach beiläufige Aufnahme eines Terrains zu einer in dem genauen Schichtenplane derselben Gegend mit sorgfältigster Berücksichtigung des Gefälles gezogenen Schraffirung.

Jede Kraftlinie, welche von einem nordmagnetischen Theilchen ausgeht, endet an einem südmagnetischen Theilchen und kann nie an einem nordmagnetischen enden. Eine einzelne magnetische, z. B. bloss nordmagnetische Masse würde sich nach der Richtung

der Kraftlinien so bewegen, wie etwa das Wasser nach der Richtung der Schraffen.

Wir wollen uns nun mit dem elektrischen Felde einer Kugel beschäftigen. In der Tafel sehen sie die Flächen gleichen Potentials als concentrische Kugelflächen verlaufen, an der Oberfläche der Kugel sehr dicht, in grösserer Entfernung von der Oberfläche weit auseinander. Die Oberfläche der Kugel selbst ist auch eine Fläche gleichen Potentials, genau so, wie es eine Wasserfläche bezüglich der Schwere sein müsste.

Der Kraftlinien sind nach unserer Voraussetzung per Flächeneinheit so viele gezogen, als die Intensität der Kraft beträgt; an der Oberfläche z. B. 24. Dass die Kraft einer solchen Kugel mit der Entfernung abnimmt, kommt hier auch zum Ausdrucke. Auf die Flächeneinheit einer Kugel vom doppelten Halbmesser kommt nur der vierte Theil der Anzahl der Kraftlinien, d. i. sechs, weil die Oberfläche dieser Kugel viermal so gross ist.

Den elektrischen Zustand der Kugel oder eines Körpers überhaupt misst man durch Angabe des Potentialwerths auf der Oberfläche. Man versteht hierunter die Arbeit, welche nöthig ist, um eine elektrische Masse Eins von der Oberfläche hinweg aus dem Bereiche des Körpers zu führen. Es ist dabei vorausgesetzt, dass sich an der Vertheilung der Elektrizität nichts ändert.

Diese Definition des elektrischen Zustandes scheint auf den ersten Blick sehr fremdartig zu sein; einige

Beispiele werden Sie aber sogleich überzeugen, dass dies nicht der Fall ist.

Durch die Erhebung einer Masse von der Erdoberfläche auf eine bestimmte Höhe ist der Masse potentielle Energie ertheilt worden. Fragen wir aber jetzt: ist dies die ganze potentielle Energie, die der Masse zukommt, oder nicht? so werden wir gewahr, dass dies blos ein Zuwachs an Energie ist, jener Energie, die der Körper mehr besitzt als früher da er auf dem Boden des Zimmers auflag. Ja wir bemerken bei näherer Ueberlegung, dass wir den absoluten Inhalt an potentieller Energie nie angeben können, weil ja der Körper sammt der Erde gegen die Sonne hingezogen wird und die Sonne sammt ihrem Planeten gegen ein anderes unbekanntes Anziehungscentrum gravitirt.

So wie wir die Erdoberfläche als den Nullpunkt des Potentials gewählt haben, so könnten wir auch eine andere Stellung im Raume als Nullpunkt wählen, z. B. eine von der Erde so weit abgelegene Entfernung, dass die Anziehungskraft der Erde auf jene Masse bereits verschwindet.

Wir würden dann die potentielle Energie messen als die Arbeit, welche nöthig ist, um die Masse aus ihrer Stellung an der Erdoberfläche bis ins Unendliche verschieben zu müssen, und wir hätten genau dasselbe Verfahren eingeschlagen, welches zur Kenntniss des elektrischen Zustandes eines elektrischen Körpers führt. Eine Verschiebung von der Erdoberfläche hinweg ergibt dann dieselbe Aenderung des Potentials wie jetzt;

diese Aenderung erscheint nur als die Differenz jener zwei Arbeiten, welche nöthig sind, um die Masseneinheit aus jeder der beiden Positionen ins Unendliche zu entfernen.

Die Nützlichkeit, den elektrischen Zustand gerade so und nicht anders zu definiren, wird Ihnen noch ein zweites Beispiel erkennen lassen, worin wir den Vorgang, eine Wärmemenge zu messen, einer näheren Betrachtung unterziehen.

Den Wärmezustand eines Körpers bezeichnen wir als seine Temperatur. Diese letztere bestimmen wir mit dem Thermometer, d. h. wir bringen mit dem Körper das Thermometer in Berührung und entziehen dem Körper eine sehr kleine Wärmemenge; diese wird vom Quecksilber aufgenommen, das Quecksilber dehnt sich aus und die Grösse der Ausdehnung ist das Maass für den Wärmezustand. Zur Temperaturbestimmung, d. i. zur Bestimmung des Wärmezustandes muss also auch eine Wärmemenge entzogen werden, die Temperatur ist aber ein willkürliches Maass und lässt sich in keine Abhängigkeit von den Einheiten der Masse, Länge und Zeit bringen.

Es seien zwei solche Temperaturbestimmungen an einer bestimmten Menge Wasser, z. B. ein Kilogramm ausgeführt worden. Ich habe z. B. 10° C. und 15° C. gefunden. Ich weiss dann auch, dass in dem Wasser von 15° C. 5 Wärmeeinheiten mehr enthalten sind als in dem Wasser von 10° C., denn zur Erwärmung eines Kilogramms Wasser um eine Einheit ist gerade eine Wärmeeinheit nöthig.

Handelt es sich um einen anderen Körper als Wasser, so muss ich seine Capacität für Wärme kennen, d. h. ich muss wissen, wie viel Wärme nöthig ist, ihn um 1° C. zu erwärmen, um aus der beobachteten Temperaturerhöhung auf die Wärme zu schliessen. Das, was der Körper an Wärme aufzunehmen vermag, wächst mit der Masse des Körpers und ist von jener Eigenschaft abhängig, welche als spezifische Wärme oder Wärmecapacität im engeren Sinne bezeichnet wird.

Nun ist Wärme auch eine Form der Energie; Sie sehen aber, dass die Wärme durch die Wahl der Temperatur als Definition des Wärmezustandes in Einheiten erhalten wird, welche keine Arbeitseinheiten sind. Wenn wir also wissen wollen, wie viel Energie das Kilogramm Wasser von 15° mehr in sich aufgenommen hat als jenes von 10° , so ist es nöthig, zu wissen, wie viele Kilogramm-meter einer Wärmeeinheit entsprechen; es bedarf eines experimentell zu bestimmenden Verwandlungsfactors. Dieser Factor ist unter dem Namen des mechanischen Wärmeäquivalentes bekannt und ist 425, d. h. einer Wärmeeinheit entspricht eine Arbeit von 425 Kilogramm-meter oder $425.9.805$ Watts oder $425.98,050.000$ Ergs.

Kehren wir wieder zur elektrischen Kugel zurück und untersuchen wir, ob für dieselbe aus dem bekannten elektrischen Zustande auch auf die Elektrizitätsmenge geschlossen werden kann, die sich auf der Kugel befindet. Theoretische Untersuchungen lehren nun, dass die Elektrizitätsmenge proportional dem Halb-

messer und dem Potentiale auf der Kugeloberfläche wächst. Es ist also möglich, aus den Dimensionen der Kugel und dem Potentiale an ihrer Oberfläche die auf der Kugel befindliche Elektrizitätsmenge zu bestimmen. Man nennt die beim Potentiale Eins auf der Kugel befindliche Elektrizitätsmenge die Capacität der Kugel.

Es wird sich nun sofort erweisen, welchen Vortheil die früher gegebene Definition des elektrischen Zustandes besitzt.

Wird nämlich nach und nach alle Elektrizität von der Kugel hinweggenommen, so entspricht jede entfernte Elektrizitätseinheit einer bestimmten Arbeit. Je mehr Elektrizität bereits weggenommen ist, desto kleiner wird das Potentiale, desto kleiner wird die Arbeit, die eine neuerdings entfernte Elektrizitätsmenge liefert. Es ist gerade so, wie wenn Wasser aus einem Bassin durch eine Oeffnung im Boden ausfließt; so lange das Bassin gefüllt ist, erhalte ich für jedes Kilogramm Wasser eine grössere Arbeit, als wenn sich das Bassin schon nahezu entleert hat.

Setzen wir ein cylindrisches Bassin voraus, so ist die im Bassin erhaltene Energiemenge das Product aus dem Wassergewichte in die Erhöhung seines Schwerpunktes über der Ausflussöffnung, d. i. das halbe Product aus Wassergewicht in die halbe Höhe des anfänglichen Wasserstandes.

Wenn der elektrische Körper unelektrisch geworden ist, dann ist die demselben entzogene Energie sofort in Arbeitseinheiten ausdrückbar, sie ist das Pro-

duct aus dem halben anfänglichen Potentiale in die anfänglich vorhanden gewesene Elektrizitätsmenge.

Zur Berechnung der elektrischen Energie eines Körpers sind also keine Verwandlungsfactoren nöthig so wie zur Berechnung der calorischen Energie; wenn nur das Potentiale und die Elektrizitätsmenge oder die Capacität des Körpers im absoluten Maasse gemessen waren.

Es fragt sich nun: wie ist man im Stande, eine Potentialdifferenz zu messen? Zur beiläufigen Schätzung dieser Grösse gibt es ein sehr einfaches und wohlbekanntes Instrument; es ist das Elektroskop.

Ich habe hier ein aus zwei leichten, an einem Messingconductor aufgehängenen Papierkörperchen bestehendes Elektroskop. Den Papierkörperchen stehen zwei isolirte Metallwände entgegen. Der Ausschlag eines solchen Elektroskops ist von der Differenz der elektrischen Zustände, also auch von der Potentialdifferenz abhängig. Sie bemerken einen Ausschlag der Papierkörperchen, wenn ich den Conductor mit dem geriebenen Glasstabe berühre, sie bemerken aber einen ebensolchen Ausschlag, wenn ich die Metallwände allein lade und den Conductor durch Berührung zur Erde ableite. Schliesslich zeigt sich kein Ausschlag, wenn ich den Conductor und die Metallwände in Verbindung bringe; da gibt es keine Potentialdifferenz und somit auch keinen Ausschlag. Alle die Instrumente, in denen die wechselseitige Anziehung oder Abstossung elektrisirter Körper in Anwendung kommt, sind zur Be-

urtheilung der Potentialdifferenz geeignet, und durch Anwendung geeigneter Formen wurde das Elektroskop zum Elektrometer und gestattet eine absolute Messung der Potentialdifferenz.

Ich gehe nun zur Betrachtung der Bewegung der Elektrizität über. Es werden zwei durch einen dünnen Draht miteinander verbundene Conductoren auf constanter Potentialdifferenz erhalten, etwa dadurch, dass man jeden derselben mit dem einen Pol einer Kette verbindet.

Alsdann fliesst bekanntlich durch den Draht ein elektrischer Strom. Man nennt Stromstärke die Elektrizitätsmenge, welche in der Zeit Eins durch den Querschnitt des Drahtes fliesst.

Von den mannigfaltigen Wirkungen eines solchen elektrischen Stromes wollen wir zunächst jene auf einen Magnet ins Auge fassen.

Jeder Kreisstrom oder eine grössere Anzahl zu einer Spule vereinigter Kreisströme zieht einen Magneten, welcher senkrecht auf der Ebene des Kreises steht, in den Kreis hinein, oder stösst ihn aus dem Kreise heraus, je nach der Richtung, in welcher der Strom einläuft.

Ebenso stösst auch der Magnet die Spule ab oder zieht sie an.

Da der Strom auf den Magneten zu wirken vermag, so gibt er offenbar für sich allein auch ein magnetisches Feld. Die Kraft zwischen einem geradlinigen Strome und dem Magnetpole wirkt aber nicht nach der

Richtung der Verbindungslinie, sondern steht senkrecht auf der Ebene, welche durch den Magnetpol und den Strom gelegt wird.

Es wird der Nordpol des Magneten durch den Strom zur linken Hand einer mit dem Strome schwimmenden Figur abgelenkt, welche nach dem Magneten blickt. Die Kraftlinien eines Stromes sind daher rund um den Strom herumgelegt; sie sind Kreise um den Strom als Achse.

Wären wir im Stande, uns einen einzelnen Magnetpol, also einen Südpol oder Nordpol allein zu verschaffen, so würde dieser, der Richtung der Kraft folgend, welche der Strom auf denselben ausübt, beständig um den Strom herumgetrieben werden.

Die Flächen gleichen Potentials sind Ebenen, welche durch den Strom als Achse gelegt werden.

Einen einzelnen Pol können wir uns nicht verschaffen, wohl aber können wir einen Strom so führen, dass bloß ein Pol auf denselben wirkt.

Ich nehme den Pol eines langen Magnets fest und als beweglichen Strom das Funkenband eines Ruhmkorff'schen Apparates in einem elektrischen Ei. Der bewegliche Theil dieses Stromes beginnt oberhalb des Magneten und endet über dem Indifferenzpunkte desselben; derselbe ist daher der Wirkung des einen Poles viel stärker ausgesetzt wie jener des andern, er wird also der Einwirkung des ersteren folgen. So stark als nämlich der Magnet vom Strome abgestossen wird, so stark stösst auch der Magnet den Strom ab.

Sie sehen also den Strom sich um den Magnetpol herum-bewegen; die Richtung der Bewegung wechselt, wenn die Stromrichtung umgekehrt wird.

Um zu definiren, was Strom Eins ist, benützen wir die experimentell erwiesene Thatsache, dass die Kraft, welche ein Kreisstrom auf einen Magnetpol im Mittelpunkte ausübte, proportional ist der Stromstärke, der Intensität der in jenem Pole vorhandenen magnetischen Masse und verkehrt proportional dem Halbmesser des Kreises.

Es wird jener Strom Eins genannt, welcher, einen Kreis vom Halbmesser 1 Centimeter durchfliessend, auf eine magnetische Masse Eins im Mittelpunkte 2π absolute Krafteinheiten ausübt (6·3 Milligramm).

Die theoretische Benennung der Stromstärke ist

$$\text{gr.}^{\frac{1}{2}} \text{ cm.}^{\frac{1}{2}} t^{-1}$$

Die praktische absolute Einheit ist das Ampère und es ist:

$$1 \text{ Ampère} = 10^{-1} \text{ gr.}^{\frac{1}{2}} \text{ cm.}^{\frac{1}{2}} \text{ sec.}^{-1}$$

Die Elektrizitätsmenge selbst, welche durch den Leiter fliesst, ist das Product aus Stromstärke in die Zeit; die theoretische Benennung ist $\text{gr.}^{\frac{1}{2}} \text{ cm.}^{-\frac{1}{2}}$

Die praktische Einheit für die Elektrizitätsmenge überhaupt ist der Coulomb; es ist:

$$1 \text{ Coulomb} = 10^{-1} \text{ gr.}^{\frac{1}{2}} \text{ cm.}^{\frac{1}{2}}$$

Die Messung einer Stromstärke im absoluten Maasse geschieht durch Vergleichung des Kraftmomentes, welches ein im Meridian befindlicher Kreisstrom, dessen Dimensionen vollkommen bekannt sind,

auf einen kleinen, in seinem Mittelpunkte aufgehängenen Magnet ausübt, mit dem Moment, welcher der Erdmagnetismus auf den abgelenkten Magneten ausübt.

Die Horizontalcomponente des Erdmagnetismus ist also jene Kraft, welche mit der ablenkenden Kraft des Stromes verglichen wird, diese Horizontalcomponente muss somit für den Beobachtungsort bekannt sein; sie ist für Wien nahe 0.21 absolute Einheiten.

Der Uebergang einer Elektrizitätsmenge von einem Conductor auf einen andern von niederem Potentiale entspricht einer bestimmten Arbeitsleistung. Da wir die Potentialdifferenz als die Arbeit definirt haben, um die Einheit der Elektrizitätsmenge von einem Conductor von bestimmtem Potentiale auf einen andern Conductor von anderem Potentiale zu bringen, und die Stromstärke uns angibt, wie viel Elektrizität in der Secunde durch den Leiter übertragen wird, so ist die elektrische Arbeit in der Secunde offenbar durch das Product aus der Potentialdifferenz in die Stromstärke gemessen.

Genau in derselben Weise verfahren wir auch, um die secundliche Arbeit zu messen, welche in einem zwischen zwei Bassins befindlichen Wasserlaufe zum Vorschein kommt. Auch dort multipliciren wir die Gefällshöhe, d. i. den Potentialunterschied der Gewichtseinheit in den Oberflächen der beiden Bassins mit der Wassermenge, welche per Secunde überfließt.

Mit Hilfe der bereits aufgestellten Definition der Arbeit und der Stromstärke können wir nun die Potentialdifferenz näher bestimmen.

Die Potentialdifferenz ist nach den vorhergehenden Betrachtungen der Quotient aus der secundlichen Arbeit und der Stromstärke; die theoretische Benennung der Potentialdifferenz ist somit:

$$\text{gr.}^{1/2} \text{ cm.}^{3/2} \text{ sec.}^{-2}$$

Die praktische Einheit der Potentialdifferenz wird Volt genannt und es ist:

$$1 \text{ Volt} = 10^8 \text{ gr.}^{1/2} \text{ cm.}^{3/2} \text{ sec.}^{-1}$$

Um also von einem Conductor, der mit einem Volt geladen ist, eine elektrische Masseneinheit wirklich zu entfernen, ist eine secundliche Arbeit von 10^8 Erg nöthig.

Eine Potentialdifferenz von 1 Volt liefert nahezu ein Daniel'sches Element, d. i. Zink in Zinkvitrol und Kupfer in Kupfervitrol, die beiden Flüssigkeiten durch ein Diaphragma getrennt.

Die im Stromkreise verbrauchte Energie kommt bekanntlich in Form von Wärme zum Vorschein, der Leiter erwärmt sich.

Wenn sich auf einem Conductor beim Potential 1 Volt gerade eine Elektrizitätsmenge von 1 Coulomb befindet, dann besitzt dieser Körper eine Capacität von 1 Farad.

Die Capacität entspricht dem Quotienten aus einer Elektrizitätsmenge durch ein Potential. Es ist also der theoretische Ausdruck:

$$\frac{\text{gr.}^{1/2} \text{ cm.}^{1/2}}{\text{gr.}^{1/2} \text{ cm.}^{3/2} \text{ sec.}^{-2}} = \text{cm.}^{-1} \text{ sec.}^{+2}$$

$$\text{Ein Farad} = 10^{-9} \text{ cm.}^{-1} \text{ sec.}^{+2}$$

Ein Farad ist ein so grosses Maass, dass sich die Anwendung eines kleineren Maasses empfiehlt; dieses ist

der millionste Theil eines Farad, Microfarad, und selbst dieses Maass ist noch immer sehr gross. Die ganze Erde hat nur 708 Microfarad Cap., wenn sie als eine zum Potentiale Eins geladene Kugel aufgefasst wird:

$$1 \text{ Microfarad} = 10^{-15} \text{ cm.}^{-1} \text{ sec.}^2$$

Das Product Volt-Ampère ist das Maass der elektrischen secundlichen Arbeit oder des elektrischen Effectes:

$$1 \text{ Volt-Ampère} = 10^8 \text{ gr.}^{1/2} \text{ cm.}^{3/2} \text{ sec.}^{-2} \cdot 10^{-1} \text{ gr.}^{1/2} \text{ cm.}^{1/2} \text{ sec.}^{-1}$$

$$1 \text{ Volt-Ampère} = 10^7 \text{ gr.}^1 \text{ cm.}^2 \text{ sec.}^2$$

d. i. 10 Millionen Erg = 1 Watt per Secunde.

Dieses Product kann mit einem Instrumente, Ergometer, direct gemessen werden.

Nun lassen Sie uns den Unterschied betrachten, welcher darin liegt, dass zwei Conductoren von bestimmter Potentialdifferenz durch Drähte von verschiedener Beschaffenheit verbunden werden. Die Erfahrung lehrt dann, dass verschiedene Stromstärken zum Vorscheine kommen.

Diese vom Material und den Dimensionen des Drahtes abhängige Eigenschaft heisst Widerstand.

Wir bezeichnen jenen Widerstand als Eins, den ein Leiter haben muss, damit eine Potentialdifferenz Eins an seinen Enden eine Stromstärke Eins in demselben erzeuge.

Nach dem Ohm'schen Gesetze ist die Stromstärke in einem Leiter der Quotient aus Potentialdifferenz und Widerstand; der Widerstand kann somit als Quotient einer Potentialdifferenz und einer Stromstärke

aufgefasst werden. Es ist also die theoretische Benennung des Widerstandes $\text{cm.}^1 \text{sec.}^{-1}$

Die praktische Einheit des Widerstandes heisst Ohm.

$$1 \text{ Ohm} = 10^9 \text{ cm.}^1 \text{sec.}^{-1}$$

Der Widerstand überhaupt kann in Form eines Etalons dargestellt werden. Ein bestimmter ganz ausgezeichneter Vorschlag hiezu wurde von Werner Siemens gemacht. Es wurde der Widerstand eines Quecksilberfactors von 1 mm. Länge und 1 mm.² Querschnitt, bei 0° Celsius, als Etalon vorgeschlagen. Thatsächlich hat dieses Maass in die Praxis Eingang gefunden, und man kann jetzt Widerstandseinsätze kaufen, ähnlich wie man Gewichtseinsätze kauft.

Mit dem absoluten Maasse steht die Siemenseinheit jedoch in keiner Beziehung. Es liegt indessen nahe, das Ohm gleichfalls durch eine Quecksilbersäule zu messen, nur füllt diese Quecksilbersäule statt 1 Meter nahe 1·0615 Meter aus.

$$1 \text{ Ohm} = 1·0615 \text{ Siemenseinheit.}$$

Es ist auch möglich, durch bestimmte Versuchsanordnungen einen Widerstand in Ohm direct zu messen, und zwar dienen hiezu Inductionsversuche.

Nachdem nun die Siemenseinheit einen stets wieder auffindbaren, mit grosser Genauigkeit herstellbaren Etalon abgibt, so liegt die Frage nahe: warum wählt man doch das Ohm als Widerstand? Diese Frage ist eigentlich schon früher beantwortet, als es sich um die Wahl der Einheit für die Potentialdifferenz handelte;

ich glaube aber doch noch einmal darauf zurückkommen zu sollen.

Die in einem Leiter entwickelte Arbeit ist durch das Product aus potentieller Energie in die Stromstärke gemessen. Mit Hilfe des Ohm'schen Gesetzes verwandelt sich dieses Product in jenes aus dem Quadrat der Stromstärke in den Widerstand. Dies Gesetz ist unter dem Namen des Lenz-Joule'schen Gesetzes bekannt. Misst man die Stromstärke in Ampère, den Widerstand in Ohm, so erhält man die Energie unmittelbar in absoluten Arbeitseinheiten. Wird der Widerstand in Siemenseinheiten angegeben, dann ist die Kenntniss des Verwandlungsfactors von Siemenseinheit in Ohm nothwendig.

Somit habe ich Ihnen die Einheiten des absoluten elektromagnetischen Systems und ihren Zusammenhang vorgeführt. Der Gegenstand ist kein einfacher, allein es scheint mir, dass der Versuch, diese Begriffe in allgemein verständliche Form zu bringen, von Nutzen sei, und andererseits glaube ich auch, dass zum Verständniss Alles dessen, was in der Elektrizitätslehre vor sich geht, die Kenntniss dieser Maasse eine unerlässliche Nothwendigkeit sei. Von diesem Standpunkte aus bitte ich die Wahl dieses Themas aufzufassen.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Schriften des Vereins zur Verbreitung naturwissenschaftlicher Kenntnisse Wien](#)

Jahr/Year: 1884

Band/Volume: [24](#)

Autor(en)/Author(s): Obermayer Albert von

Artikel/Article: [Ueber das absolute Maasssystem. 653-706](#)