Anhang: Absolute Maſse.

In dem von Gauss und Weber begründeten absoluten Maßsystem werden alle Größen durch die Einheiten der Länge (l), Masse (m) und Zeit (t) ausgedrückt. Die Benennung einer physikalischen Größe nach absolutem Maß wird auch ihre Dimension genannt. Die Einheiten der Länge und Masse können hierbei beliebig gewählt werden; so brauchten Gauss und Weber z. B. das Millimeter und Milligramm als Grundmaße. Gegenwärtig ist dasjenige absolute Maßsystem am gebräuchlichsten, dessen Einheiten Zentimeter, Gramm und Sekunde bilden. Spricht man von absolutem Maßsystem schlechthin, so meint man stets dieses Zentimeter-Gramm-Sekunden-(cm. gr. sec.- oder C.G.S.-) System. Im folgenden sind für einige wichtige Größen die Dimensionen — allgemein und im C.G.S.-System — abgeleitet.

Will man eine Größe, deren Wert im C. G. S.-System n ($cm^a gr^b sec^c$) beträgt, in einem absoluten Maßsystem ausdrücken, in dem die Längeneinheit u cm, die Maßeinheit v gr, die Zeiteinheit w sec beträgt, so hat man, da die neuen Maßeinheiten um $u^a v^b w^c$ größer sind, den ersten Zahlenwert hierdurch zu dividieren. Es ist also

$$n' = \frac{n}{u^a v^b w^c}.$$

Mechanische Maſse.

Länge. Einheit ist das Zentimeter, ursprünglich definiert als 10^9ter Teil des Erdquadranten, jetzt als hundertster Teil des mètre des archives [§ 5]. Dimension: l; bezw. cm.

Fläche. Einheit ist das Quadrat über der Längeneinheit, also das Quadratzentimeter. Dimension: l^2; bezw. cm^2.

Volumen. Einheit ist der Würfel über der Längeneinheit, also das Kubikzentimeter. Dimension: l^3; bezw. cm^3.

Masse. Einheit ist das Gramm, ursprünglich definiert als Masse eines Kubikzentimeters Wasser von 4°, jetzt als tausendster Teil des kilogramme des archives [§ 5]. Dimension m; bezw. gr.

Im absoluten Maßsystem wird durch Gramm also eine Masse bezeichnet. Dieses Massengramm darf nicht mit dem Grammgewicht verwechselt werden, das ein Kraftmaß repräsentiert und — entsprechend der Formel $P = mg$ [§ 11 u. 17] — 9,81 mal größer ist. Das Grammgewicht ist die Einheit des absoluten Längen-Zeit-Gewichtssystems, das besonders für praktische Zwecke zuweilen neben dem Längen-Zeit-Massensystem (dem absoluten Maßsystem κατ᾽ἐξοχήν) angewendet wird [s. u.] Das Massengramm hat an allen Orten der Erde dieselbe Größe, das Grammgewicht nicht [cf. Seite 12].

Zeit. Einheit ist die Sekunde, d. h. $\frac{1}{86400}$ des mittleren Sonnentages. Dimension: t; bezw. sec.

Geschwindigkeit. $v = \frac{s}{t}$ [§ 9]. Einheit derselben ist vorhanden, wenn die Längeneinheit in der Zeiteinheit zurückgelegt wird. Dimension: $\frac{l}{t} = l t^{-1}$ *); bezw. $\mathrm{cm\,sec}^{-1}$.

Beschleunigung. $\frac{v}{t}$ [§ 10]. Einheit derselben ist vorhanden, wenn die Einheit der Geschwindigkeit in der Zeiteinheit erreicht wird. Dimension $l t^{-2}$; bezw. $\mathrm{cm\,sec}^{-2}$.

Die Fallbeschleunigung beträgt z. B. $g = 981\ \mathrm{cm\,sec}^{-2}$.

Kraft. $\frac{m\,v}{t}$ [§ 11]. Einheit ist diejenige Kraft, die der Masseneinheit in der Zeiteinheit die Geschwindigkeit 1, oder mit anderen Worten, die der Masseneinheit die Beschleunigung 1 erteilt. Diese absolute Krafteinheit heißt Dyne oder Dyn [δύναμις Kraft]. Dimension: $m l t^{-2}$; bezw. $\mathrm{cm\,gr\,sec}^{-2}$.

Kräfte werden im praktischen Leben oft durch Gewichte ausgedrückt [§ 11]. Die Krafteinheit im Gewichtssystem [s. o.] ist das Gramm, und zwar das Grammgewicht, d. h. die Masseneinheit, der durch die Erdanziehung die Beschleunigung $g = 981\ \mathrm{cm\,sec}^{-2}$ erteilt ist. Um daher ein Grammgewicht in Dynen (also die Krafteinheit des Gewichtssystems in die des Massensystems) umzuwandeln, oder auch, um das Gewicht einer Masse zu finden, hat man mit 981 zu multiplizieren. Will man umgekehrt Dynen durch Grammgewichte ausdrücken oder die einem Gewichte entsprechende Masse finden, so hat man durch 981 zu dividieren. Es ist also:

1 (Gewichts-)Gramm = 981 Dynen; 1 kg = 981000 Dynen.

$$1\ \text{Dyne} = \frac{1}{981}\ \text{Gramm} = 1{,}02\ \text{Milligramm}.$$

Arbeit. Energie. Wärmeeinheit. Fs [§ 12]. Einheit der Arbeit ist vorhanden, wenn die Krafteinheit die Leistung 1, bei Bewegungsarbeit also die Verschiebung um die Längeneinheit bewirkt. Diese absolute Arbeitseinheit heißt Zentimeterdyn oder Erg (ἔργον Werk). Dimension: $m l^2 t^{-2}$; bezw. $\mathrm{cm^2\,gr\,sec}^{-2}$.

---

*) Es ist bekanntlich $\frac{1}{a^m} = a^{-m}$; $a^m . a^n = a^{m+n}$; $\frac{a^m}{a^n} = a^{m-n}$; $\sqrt{a^m} = a^{\frac{m}{2}}$; 10^m eine Zahl, die aus 1 und m Nullen besteht.

1 Million oder 10^6 Erg heißen Megaerg [cf. Anm. S. 3]. 10^7 Erg = 10 Megaerg bezeichnet man in der Praxis als 1 Joule. Dieses ist äquivalent mit 1 Volt-Coulomb [s. u.]. Das gewöhnliche praktische Arbeitsmaß, das Meterkilogramm, ist = 98,1 Megaerg = 9,81 Joule. Es ist nämlich 1 Meterkilogramm = 100000 Zentimetergramm; da es sich hier um Grammgewichte handelt, hat man zur Umwandlung in das absolute Massensystem mit 981 zu multiplizieren [s. o.], mithin 1 mkg = 98100000 Erg. Es ist also:

1 Meterkilogramm = 9,81 Joule.
1 Joule = 0,1019 Meterkilogramm.

Durch die absolute Einheit der mechanischen Arbeit ist auch die absolute Einheit der Wärmeenergie gegeben, da ja 1 (große) Kalorie äquivalent ist 427 Meterkilogrammen [§ 78].

Die Wärmeeinheit einer Grammkalorie beträgt demnach in absolutem Maß $427 \cdot 981 \cdot 100 = 4{,}19 \cdot 10^7$ Erg. Andererseits ist 1 Erg = 1 Grammkalorie dividiert durch $4{,}19 \cdot 10^7$; diese Größe heißt absolute Kalorie.

Effekt. $\frac{F \cdot s}{t}$ [§ 13]. Einheit ist vorhanden, wenn die Einheit der Arbeit in der Zeiteinheit geleistet wird. Diese absolute Einheit des Effektes wird Sekundenerg genannt. Dimension: ml^2t^{-3}; bezw. $cm^2\,gr\,sec^{-3}$.

10^7 Sekundenerg = 10 Sekunden-Megaerg werden in der Praxis 1 Watt genannt. 1 Watt kann auch definiert werden als 1 Joule pro Sekunde; äquivalent damit ist ein Volt-Ampère [s. u.]. 1 Pferdekraft = 75 Meterkilogramm pro Sekunde = 75 . 98,1 Megaerg pro Sekunde = 7360 Sekunden-Megaerg = 736 Watt = 0,736 Kilowatt. — Multipliziert man den Effekt mit der Zeit, so erhält man natürlich wieder die Arbeit während der betreffenden Zeit. In diesem Sinne spricht man daher in der Praxis von Wattstunden, Kilowattstunden usw.

Drehungsmoment. Produkt aus Kraft in ihren Hebelarm, $F \cdot l$ [§ 25]. Einheit ist vorhanden, wenn die Krafteinheit an einem Hebelarm von der Längeneinheit angreift. Die Dimension ist ml^2t^{-2}, also dieselbe wie bei der Arbeit [s. o.].

Trägheitsmoment. mr^2 [§ 30]. Einheit ist vorhanden, wenn die Masseneinheit sich im Abstande 1 von der Drehungsachse befindet. Dimension: ml^2; bezw. $cm^2\,gr$.

Bei den nun folgenden elektrischen Maßen hat man zwei Hauptgruppen zu unterscheiden. Je nachdem man nämlich die Elektrizität im Zustande der Ruhe betrachtet oder von ihren magnetischen Wirkungen ausgeht, erhält man die elektrostatischen oder elektromagnetischen Maße, von denen hauptsächlich letztere in Gebrauch sind.

Elektrostatische Maſse.

Elektrizitätsmenge. Elektrostatische Einheit der Elektrizitätsmenge ist diejenige, die auf eine ihr gleiche im Abstande 1 die Kraft einer Dyne ausübt. Dimension: $m^{\frac{1}{2}} l^{\frac{3}{2}} t^{-1}$; bezw. $cm^{\frac{3}{2}} gr^{\frac{1}{2}} sec^{-1}$.

Aus $F = \frac{e\,e'}{r^2}$ [§ 154] folgt nämlich für $e = e'$ $F = \frac{e^2}{r^2}$ und $e = \sqrt{F r^2}$.

Daraus ergibt sich die Dimension $\sqrt{m\,l\,t^{-2} \,.\, l^2} = m^{\frac{1}{2}} l^{\frac{3}{2}} t^{-1}$.

Elektromotorische Kraft. Potential(differenz). $V = \frac{e}{r}$ [§ 156]. Einheit ist das Potential der Elektrizitätsmenge 1 auf einen Punkt im Abstande 1. Dimension: $m^{\frac{1}{2}} l^{\frac{1}{2}} t^{-1}$; bezw. $cm^{\frac{1}{2}} gr^{\frac{1}{2}} sec^{-1}$.

Kapazität. $\varkappa = \frac{e}{V}$ [§ 157]. Einheit der Kapazität besitzt der Körper, der durch die Elektrizitätsmenge 1 zum Potential 1 geladen wird. Dimension: l; bezw. cm.

Stromstärke. $J = \frac{e}{t}$ [§ 171]. Einheit derselben ist vorhanden, wenn die Elektrizitätsmenge 1 in der Zeiteinheit durch den Querschnitt des Leiters fließt. Dimension: $m^{\frac{1}{2}} l^{\frac{3}{2}} t^{-2}$; bezw. $cm^{\frac{3}{2}} gr^{\frac{1}{2}} sec^{-2}$.

Widerstand. $W = \frac{E}{J}$ [§ 171]. Einheit ist vorhanden, wenn bei der Potentialdifferenz 1 die Stromstärke 1 entsteht. Dimenion: $l^{-1} t$; bezw. $cm^{-1} sec$.

Man erhält diese Dimension, wenn man die Dimension des Potentials durch die der Stromstärke dividiert.

Elektromagnetische Maſse.

Zur Ableitung der hier angeführten elektromagnetischen Maße ist es zunächst nötig, die Dimension zweier magnetischer Größen zu kennen, der Polstärke und des magnetischen Momentes.

Polstärke (Magnetische Menge). Einheit ist vorhanden, wenn ein Magnetpol auf einen anderen, ihm gleichen, im Abstande 1 die Kraft 1 Dyne ausübt. Dimension: $m^{\frac{1}{2}} l^{\frac{3}{2}} t^{-1}$; bezw. $cm^{\frac{3}{2}} gr^{\frac{1}{2}} sec^{-1}$.

Dies folgt analog wie für die elektrostatische Einheit der Elektrizitätsmenge aus dem Coulomb'schen Gesetze [§ 146].

Magnetisches Moment (Stabmagnetismus). ml [§ 146]. Einheit des magnetischen Moments besitzt der Magnetstab, dessen beide Pole die Stärke 1 besitzen und voneinander um die Länge 1 entfernt sind. Dimension: $m^{\frac{1}{2}}\, l^{\frac{5}{2}}\, t^{-1}$; bezw. $\mathrm{cm}^{\frac{5}{2}}\, \mathrm{gr}^{\frac{1}{2}}\, \mathrm{sec}^{-1}$.

Stromstärke. Ein elektrischer Strom von der Intensität i übt auf einer Strecke l auf einen Magnetpol m im Abstande r eine Kraft aus, $\mathrm{F} = \frac{\mathrm{l\,i\,m}}{\mathrm{r}^2}$ (Gesetz von Biot-Savart). Demnach hat derjenige Strom die Einheit der Intensität, der beim Durchfließen der Längeneinheit auf einen Magnetpol von der Stärke 1 im Abstande 1 die Kraft einer Dyne ausübt. Dimension: $m^{\frac{1}{2}}\, l^{\frac{1}{2}}\, t^{-1}$; bezw. $\mathrm{cm}^{\frac{1}{2}}\, \mathrm{gr}^{\frac{1}{2}}\, \mathrm{sec}^{-1}$.

Es ist nämlich $\mathrm{i} = \frac{\mathrm{F\,r}^2}{\mathrm{m\,l}} = \frac{\text{Kraft} \times \text{Länge}}{\text{Polstärke}}$. Daraus folgt die Dimension $\frac{m\,l\,t^{-2}\,.\,l}{m^{\frac{1}{2}}\,l^{\frac{3}{2}}\,t^{-1}} = m^{\frac{1}{2}}\,l^{\frac{1}{2}}\,t^{-1}$. Da nun ein Kreisstrom ebenso wirkt wie ein durch die Mitte der Stromebene gesteckter Magnetstab, dessen magnetisches Moment gleich dem Produkt aus Stromstärke und der vom Strome umflossenen Fläche ist, so kann man auch definieren: die Intensität 1 besitzt ein Strom, der, die Flächeneinheit (1 qcm) umfließend, in der Ferne so wirkt wie ein zur Stromebene senkrechter Magnetstab vom magnetischen Moment 1. Auch hieraus kann die Dimension abgeleitet werden. Es ist nämlich $\mathrm{i} = \frac{\text{magnetisches Moment}}{\text{Fläche}}$, die Dimension also $\frac{m^{\frac{1}{2}}\,l^{\frac{5}{2}}\,t^{-1}}{l^2} = m^{\frac{1}{2}}\,l^{\frac{1}{2}}\,t^{-1}$. Das praktische Maß der Stromintensität, 1 Ampère, ist = 0,1 absoluten Einheiten.

Elektrizitätsmenge. $\mathrm{J} = \frac{\mathrm{e}}{\mathrm{t}}$; $\mathrm{e} = \mathrm{J}\,.\,\mathrm{t}$ [§ 171]. Einheit der Elektrizitätsmenge liefert ein Strom von der Stärke 1 in der Zeiteinheit. Dimension: $m^{\frac{1}{2}}\, l^{\frac{1}{2}}$; bezw. $\mathrm{cm}^{\frac{1}{2}}\, \mathrm{gr}^{\frac{1}{2}}$.

Das praktische Maß der Elektrizitätsmenge, 1 Coulomb, ist = 0,1 absoluten Einheiten. 1 Coulomb = 1 Ampère × 1 Sekunde.

Elektromotorische Kraft. Potentialdifferenz. Einheit ist diejenige, die mit einem Strom von der Intensität 1 die Einheit des Effektes erzeugt [§ 173]. Dimension: $m^{\frac{1}{2}}\, l^{\frac{3}{2}}\, t^{-2}$; bezw. $\mathrm{cm}^{\frac{3}{2}}\, \mathrm{gr}^{\frac{1}{2}}\, \mathrm{sec}^{-2}$.

Es ist nämlich nach § 173 Potentialdifferenz = $\frac{\text{Effekt}}{\text{Intensität}}$. Daraus ergibt sich die Dimension $\frac{m\,l^2\,t^{-3}}{m^{\frac{1}{2}}\,l^{\frac{1}{2}}\,t^{-1}} = m^{\frac{1}{2}}\,l^{\frac{3}{2}}\,t^{-2}$.

Man kann auch definieren: Einheit der elektromotorischen Kraft ist die, welche in einem Leiter vom Widerstande 1 die Intensität 1 erzeugt [§ 171].

Das praktische Maß für elektromotorische Kräfte und Potentialdifferenzen, das Volt, ist $= 10^8$ absoluten Einheiten.

Widerstand. $W = \frac{E}{J}$ [§ 171]. Einheit des Widerstandes besitzt ein Leiter, in dem die Einheit der elektromotorischen Kraft die Stromstärke 1 erzeugt. Dimension: lt^{-1}; bezw. cm sec^{-1}.

Die Dimension ergibt sich unmittelbar aus $\frac{m^{\frac{1}{2}} l^{\frac{3}{2}} t^{-2}}{m^{\frac{1}{2}} l^{\frac{1}{2}} t^{-1}}$. Die praktische Einheit des Widerstandes, 1 Ohm, ist $= 10^9$ absoluten Einheiten. 1 Ohm $= 1{,}06$ Siemens-Einheiten.

Kapazität. S. o. Dimension: $l^{-1} t^2$; bezw. $cm^{-1} sec^2$.

Aus $\varkappa = \frac{\text{Elektrizitätsmenge}}{\text{Potential}}$ folgt nämlich die Dimension $\frac{m^{\frac{1}{2}} l^{\frac{1}{2}}}{m^{\frac{1}{2}} l^{\frac{3}{2}} t^{-2}} = l^{-1} t^2$.

Die praktische Einheit der Kapazität, 1 Farad, ist $= 10^{-9}$ absoluten Einheiten. Anders ausgedrückt, die absolute Einheit der Kapazität ist $= 10^9$ Farad.

Stromarbeit. Stromenergie. Potentialdifferenz $\times$ Elektrizitätsmenge [§ 156]. Einheit derselben ist vorhanden, wenn die Einheit der Elektrizitätsmenge beim Durchströmen eines Leiters den Potentialverlust 1 erleidet. Diese mit 1 Erg äquivalente Einheit muß natürlich auch die Dimension der Arbeit haben: $ml^2 t^{-2}$; bezw. cm^2 gr sec^{-2}.

Dies folgt unmittelbar aus $m^{\frac{1}{2}} l^{\frac{3}{2}} t^{-2} \times m^{\frac{1}{2}} l^{\frac{1}{2}}$. Man kann übrigens die Dimension der Stromarbeit, speziell der Stromwärme, auch aus der Formel $Q = J^2 . W . t$ [§ 174] ableiten.

Die praktische Einheit der Stromarbeit, 1 Volt-Coulomb, ist $= 10^7$ absoluten Einheiten, also äquivalent mit 1 Joule.

Stromeffekt. Potentialdifferenz $\times$ Intensität [§ 173]. Einheit des Stromeffektes ist vorhanden, wenn eine Stromarbeit von 1 Erg in 1 Sekunde geleistet wird. Diese Einheit entspricht dem Sekundenerg und hat natürlich auch die Dimension des Effektes: $ml^2 t^{-3}$; bezw. cm^2 gr sec^{-3}.

Die Dimension ergibt sich unmittelbar aus $m^{\frac{1}{2}} l^{\frac{3}{2}} t^{-2} \times m^{\frac{1}{2}} l^{\frac{1}{2}} t^{-1}$. Die praktische Einheit des Stromeffektes, 1 Volt-Ampère, ist $= 10^7$ absoluten Einheiten, also äquivalent mit 1 Watt.

Im Folgenden sind die wichtigsten elektrischen Größen nochmals zusammengestellt. Die erste Reihe enthält die elektrostatischen, die zweite die elektromagnetischen Dimensionen, die dritte die Quotienten beider, die vierte die praktischen Einheiten mit Angabe ihres Unterschiedes gegen die absoluten elektromagnetischen Einheiten und ihre gebräuchlichen Abkürzungen.

Größe	Elektrostatisch	Elektromagnetisch	Quotient beider	Praktische Einheiten
Elektrizitätsmenge	$m^{\frac{1}{2}} l^{\frac{3}{2}} t^{-1}$	$m^{\frac{1}{2}} l^{\frac{1}{2}}$	$\frac{l}{t} = v$	1 Coulomb $= 10^{-1}$ abs. E. Cb.
Stromstärke	$m^{\frac{1}{2}} l^{\frac{3}{2}} t^{-2}$	$m^{\frac{1}{2}} l^{\frac{1}{2}} t^{-1}$	$\frac{l}{t} = v$	1 Ampère $= 10^{-1}$ " " A
Kapazität	l	$l^{-1} t^2$	$\left(\frac{l}{t}\right)^2 = v^2$	1 Farad $= 10^{-9}$ " " Φ
Potential(differenz)	$m^{\frac{1}{2}} l^{\frac{1}{2}} t^{-1}$	$m^{\frac{1}{2}} l^{\frac{3}{2}} t^{-2}$	$\frac{t}{l} = \frac{1}{v}$	1 Volt $= 10^8$ " " V
Widerstand	$l^{-1} t$	$l\, t^{-1}$	$\left(\frac{t}{l}\right)^2 = \frac{1}{v^2}$	1 Ohm $= 10^9$ " " Ω

Wie aus dieser Tabelle hervorgeht, unterscheiden sich die beiden elektrischen absoluten Maßsysteme durch eine Größe, die einer Geschwindigkeit bezw. einer Potenz derselben entspricht. Diese kritische Geschwindigkeit ist nun, wie viele Messungen ergaben, nahezu gleich der Lichtgeschwindigkeit [cf. § 191]. Es ist also $v = 300\,000$ km pro Sekunde $= 3 \,.\, 10^{10}\,\mathrm{cm\,sec}^{-1}$.

Man kann daher mit Hilfe der obigen Tabelle sofort elektrostatische Maße durch elektromagnetische ausdrücken und umgekehrt; auch kann man die praktischen Einheiten in elektrostatischem Maße angeben. So entspricht z. B. die elektromagnetische Einheit der Elektrizitätsmenge 30 Milliarden oder $3 \,.\, 10^{10}$, 1 Coulomb 3 Milliarden oder $3 \,.\, 10^9$ elektrostatischen Einheiten. Ferner ist z. B. 1 Volt $= \frac{10^8}{3 \,.\, 10^{10}} = \frac{1}{300}$ elektrostatischen Einheiten, oder, anders ausgedrückt, die elektrostatische Einheit des Potentials ist $= 300$ Volt.