

## **Universitäts- und Landesbibliothek Tirol**

### **Lehrbuch der praktischen Physik**

**Kohlrausch, Friedrich**

**Leipzig [u.a.], 1910**

Anhang. Das auf Längen-, Massen- und Zeiteinheit zurückgeführte Maßsystem, namentlich das CGS-System mit Anschluß einiger Gesetze und Erläuterungen

## Anhang.

### Das auf Längen-, Massen- und Zeiteinheit zurückgeführte Maßsystem, namentlich das CGS-System mit Anschluß einiger Gesetze und Erläuterungen.

Eine physikalische Größe wird gemessen, indem man ihr Verhältnis zu einer als bekannte Größe derselben Art gegebenen Einheit bestimmt. Als solche genügt jede unveränderliche Größe.

Als Einheiten dienen für die Länge und für die Masse die durch das Wasser zu einander in Beziehung gesetzten, im Normalmeter und Normalkilogramm des Bureau international verkörperten Einheiten des Meter-Gramm-Systems, für die Zeit die mittlere Umdrehungsdauer der Erde gegen die Sonne (der mittlere Sonnentag), bez. die Unterteile dieser Maße.

Solche als unveränderlich zu verbürgende, willkürliche Grundeinheiten lassen sich aber nur für wenige Größen aufstellen. Eine vollständige Maßkunde gibt es erst, seitdem man gelernt hat, die Einheiten der übrigen Größen mittels geometrischer, kinematischer und physikalischer Beziehungen auf wenige Grundeinheiten zurückzuführen, z. B. eine Geschwindigkeit auf Länge und Zeit, eine Kraft auf Geschwindigkeit und Masse, eine Wärmemenge auf den Temperaturgrad und das Wasser oder auf die äquivalente Arbeit und hierdurch auf Kraft und Länge, eine Elektrizitätsmenge auf die von ihr auf eine andere Menge ausgeübte Kraft.

Die Einführung dieser „abgeleiteten“ Einheiten bietet nicht nur den Vorteil, daß die Anzahl der willkürlichen Einheiten eingeschränkt wird, sondern sie dient zugleich dazu, dem mathematischen oder physischen Gesetz, welches zur Definition der Einheit gebraucht wird, eine einfache Gestalt zu geben. Denn jede Ableitung einer Einheit läßt sich benutzen, um die „Konstante“, welche in einem Gesetz die verschiedenen Größenarten verbindet und deren Zahlenwert eben von den Einheiten abhängt, auf den bequemsten Zahlenwert zu bringen.

Z. B. ist der von einem bewegten Körper zurückgelegte Weg  $l$  der Geschwindigkeit  $u$  und der Zeit  $t$  proportional, also  $l = \text{Const.} \cdot ut$ , wo der Zahlenwert Const. von den Einheiten abhängt. Würde als Geschw.-Einheit die Fall-Geschw.  $g$  am Ende der ersten Sekunde gelten, so wäre  $\text{Const.} = g$ . Setzt man aber als Einheit die Geschw., bei welcher in der Zeit Eins der Weg Eins zurückgelegt wird, so ist  $\text{Const.} = 1$ , und das Gesetz erhält die einfachste Gestalt  $l = ut$ .

Das System der abgeleiteten Einheiten hat sich an den elektrischen und magnetischen Größen entwickelt, weil für die meisten von diesen die Aufbewahrung von Grundmaßen unmöglich ist. Gaußs und Webers zuerst führten diese Größen auf Länge, Masse und Zeit zurück. Das so entstehende System heißt wohl das absolute<sup>1)</sup> Maßsystem. Und zwar werden vorzugsweise cm, gr u. sec als Grundeinheiten gewählt, und die hierauf zurückgeführten Einheiten heißen [cm-gr-sec]- oder CGS-Einheiten. Werden, um kleinere oder größere Einheiten zu erhalten, für Länge und Masse anstatt cm, gr andere Paare von Grundeinheiten vorgezogen, so bieten die Gaußs'schen Grundeinheiten mm, mg oder andererseits dm, kg oder endlich m, Tonne den Vorteil, daß ihr Zusammenhang durch das Wasser gewahrt bleibt.

Das Gramm ist hier als Masse von 1 cm<sup>3</sup> Wasser gemeint, während der gewöhnliche Sprachgebrauch unter Gramm usw. ein Gewicht, d. h. eine Kraft zu verstehen pflügt<sup>2)</sup>. Im CGS-System

1) Der Name absolut stammt aus der Abhandlung von Gaußs (1832) *Intensitas vis magneticae terrestri ad mensuram absolutam revocata* (Gaußs' Werke V, 81), worin im Gegensatz zu der bis dahin üblichen nur relativen Messung eine auf Länge, Masse und Zeit zurückgeführte absolute Einheit für die erdmagnetische Feldstärke gegeben wurde. Ein weitergehender Anspruch wird mit dem Worte „absolut“ nicht erhoben.

2) Auch Gaußs hat zeitweilig in seinem diesbezüglichen Aufsatz (Erdmagnetismus und Magnetometer, Schumacher's Jahrbuch 1836; Gaußs' Werke V, 329) die magn. Größen mittels des Grammes als einer Kraft-Einheit definiert, ist jedoch alsbald zu der Auffassung des Grammes als Masse übergegangen. Zweifellos war dieser für Physik und Technik so bedeutsam gewordene Schritt gerechtfertigt.

Denn da das Gewicht eines Körpers auf der Wechselwirkung mit einem anderen Körper beruht und daher schlechthin gar nicht existiert, da es ferner selbst an der Erdoberfläche um  $\frac{1}{2}\%$  veränderlich ist, so kann man nicht das Gewicht eines bestimmten Körpers als Einheit aufstellen. Genaue Gewichtseinheiten müßten vielmehr für jede geographische Breite

hat ein Körper von  $m$  gr das Gewicht nicht  $= m$ , sondern  $= gm$ , unter  $g$  die Schwerbeschleunigung verstanden. Die bei seiner Hebung um die Höhe  $h$  verrichtete Arbeit ist  $= ghm$ , das von ihm durch sein Gewicht im Abstände  $l$  von einer Drehaxe ausgeübte Drehmoment  $= glm$  zu setzen. Dagegen ist im letzteren Falle das Trägheitsmoment des Körpers, welches im „statischen“ Maßsystem gleich  $l^2 m/g$  sein würde, hier gleich  $l^2 m$ .

Innerhalb der Physik ist die Auffassung des Grammes usw. als Masse größtenteils durchgeführt. Der Gebiete, in denen die geographische Veränderlichkeit des Gewichts hinter andere Fehlerquellen zurücktritt oder wo aus Bequemlichkeit der frühere Gebrauch sich erhalten hat, wie Elastizität, Kapillarität, auch wohl Druck und Arbeitsleistung, gibt es nur noch wenige. Wir bezeichnen dort die Einheit als Grammgewicht usw.

**Dimensionen.** Einheiten, die aus anderen abgeleitet sind, stellen sich vermöge des zu ihrer Ableitung benutzten Gesetzes als Funktionen ihrer Grundeinheiten dar, bei uns also als Funktionen von Längeneinheit  $[L]$ , Masseneinheit  $[m]$  und Zeiteinheit  $[t]$ ; z. B. die Geschwindigkeitseinheit als  $[L]:[t]$ , die Volumeneinheit als  $[L]^3$ , die Kräfteinheit als  $[L] \cdot [m]:[t]^2$ . Diese Abhängigkeit soll in der Form  $[lt^{-1}]$ ,  $[l^3]$ ,  $[lmt^{-2}]$  usw. ausgedrückt und den Einheiten aller Größenarten zugesetzt werden. Der Exponent von  $l$ ,  $m$  oder  $t$  heißt die „Dimension“ der Größenart bezüglich Länge, Masse oder Zeit. Siehe Tab. 41.

Der Begriff der „Dimension“, bereits von Fourier aufgestellt, schließt sich in seiner sehr nützlichen Einführung in das Meßwesen an Maxwell und Jenkin an (Reports Brit. Assoc. 1863; Sonderabdruck: Reports of the Commiss. on el. Standards, London 1873, S. 59). Er rechtfertigt sich durch die Erwägung, daß eine Gleichung zwischen benannten Größen nicht nur aussagt, daß ihre linke und rechte Seite dem Zahlenwerte, sondern auch daß sie der Größenart nach gleich sind. Man kann nicht 1 Glas Wasser  $=$  1 Glas Wein setzen; bei der Anwendung des  $=$  Zeichens müssen nicht nur die Gläser gleich groß sein, sondern es müssen entweder beide Wasser oder beide Wein enthalten.

besonders angefertigt werden. Was man mit dem Namen „Gewichtssatz“ bezeichnet, ist aber nichts anderes als ein Massensatz; eine Wägung ist keine Gewichts-, sondern eine Massenbestimmung, die auch in der Tat fast immer den Zweck der Wägung bildet. Der Chemie, dem Handelsverkehr, der Medizin ist es nicht um den Druck der Körper auf ihre Unterlage zu tun, sondern um die Masse, durch welche die chemische Wirksamkeit, der Geld- oder der Nahrungswert usw. bedingt wird.

Eine benannte Zahl stellt nun das Produkt aus der reinen Zahl und der ihr zugesetzten Einheit vor;  $l\text{cm}$  bedeutet  $l \times$  die Länge des Centimeters. Drückt man jetzt z. B. das Galilei'sche Gesetz so aus: empfängt eine Masse  $m$  in einer Zeit  $t$  eine Geschw.  $u$ , so wirkt auf die Masse eine Kraft  $k = m \cdot u/t$ , so heißt dies nicht nur, daß  $k$  und  $mu/t$  numerisch gleich sind, sondern daß  $k$  Kräfteinheiten gleich gesetzt werden  $m$  Masseneinheiten mal  $u$  Geschw.- durch  $t$  Zeiteinheiten;  $[k] = [m][u][t]^{-1}$ . Da nun ferner bei der Zurückführung der Geschw. auf Länge und Zeit  $[u] = [l][t]^{-1}$  erhalten wird, so entsteht  $[k] = [m] \cdot [l] \cdot [t]^{-2} = [m]^1 \cdot [l]^1 \cdot [t]^{-2}$ . In ohne weiteres verständlichen Worten drückt man dies so aus: die Kräfteinheit hat bezüglich der Massen- und der Längeneinheit die Dimension  $+1$ , bezüglich der Zeiteinheit die Dimension  $-2$ .

Es steht auch frei, zu sagen, eine Kraft hat bezüglich Länge, Masse und Zeit die Dimensionen  $1, 1$  und  $-2$ .

Gegen das vorige wird eingewendet, daß die Multiplikation benannter Größen mit einander keinen ersichtlichen Sinn hat. Wenn dieser Einwand berechtigt wäre, so dürfte man Gleichungen, welche zu Produkten aus solchen Größen führen, überhaupt nicht aufstellen. Dadurch, daß dieses Multiplizieren aber niemals zu einem Widerspruch führt, beweist die Erfahrung, daß ihm in der Natur ein Sinn innewohnt.

Den Dimensionen einer Größenart kommt aber nicht eine absolute, ein für allemal bestimmte Bedeutung zu, sondern sie hängen im allgemeinen davon ab, welches Naturgesetz zur Ableitung der Einheit benutzt wird. Eine Elektrizitätsmenge  $\epsilon$  z. B. stellt sich, elektrostatisch aus dem Coulomb'schen Gesetz abgeleitet, dar als  $[\epsilon_s] = [l^{3/2} m^{3/2} t^{-1}]$ , elektromagnetisch aber, etwa aus dem elektrodynamischen Grundgesetz abgeleitet, als  $[\epsilon_m] = [l^{1/2} m^{1/2} t^0]$ . Die Dimensionen drücken also die gegenseitigen Beziehungen der Größenarten nur in dem gewählten Maßsystem aus, welches demnach in einer zusammenhängenden Betrachtung konsequent durchgeführt werden muß.

In dem eben angezogenen Falle hat übrigens die Vergleichung der Dimensionen von  $\epsilon_s$  und  $\epsilon_m$  zu einem fundamentalen Ergebnis geführt. Die Division der beiden Formeln ergibt  $[\epsilon_s/\epsilon_m] = [l/t]$ ; das Verhältnis der für eine El-Menge in den beiden Systemen entstehenden Ausdrücke hat also die Dimension einer Geschwindigkeit, deren Zahlenwert ( $3,00 \cdot 10^{10}$  cm/sec; vgl. Nr. 25) nun tatsächlich als „kritische Geschwindigkeit  $v$ “ oder in der Maxwell'schen elektromagnetischen Lichttheorie als die Lichtgeschwindigkeit im Äther auftritt.

Grundsätzlich sind die Dimensionen nicht auf Länge, Masse und Zeit beschränkt, sondern auf jede Größenart anwendbar. Z. B. kann man sagen, spez. Wärme hat die Dimensionen Wärmemenge/(Masse  $\times$  Temperatur).

Die Dimensionen als Prüfungsmittel für Gleichungen. Jede richtige Formel muß die Bedingung der Homogenität erfüllen, d. h. alle in ihr additiv vorkommenden Glieder, also auch ihre rechte und linke Seite, müssen von derselben Größenart sein. Hierzu ist nötig und aus-

reichend, daß diese Glieder, wenn man die in ihnen vorkommenden Größenarten durch ihre Dimensionen aus einem bestimmten Maßsystem ersetzt, gleiche Dimensionen zeigen. Man soll nie versäumen, auf das Resultat einer Formelrechnung dieses einfachste partielle Prüfungsmittel anzuwenden.

Beispiele. 1. Ein el. Strom  $i$  leistet zwischen zwei Querschnitten, deren Potentialdifferenz  $= E$  ist, in der Zeit  $t$  die Arbeit  $Q = Eit$ . Die Dimensionen (Tab. 41) aus dem el.-magn. System eingesetzt, erhält man  $Eit = [l^{3/2} m^{1/2} t^{-2}] \cdot [l^{1/2} m^{1/2} t^{-1}] \cdot [t] = [l^2 m t^{-2}]$ ; aus dem el.-stat. System  $[l^{1/2} m^{1/2} t^{-1}] \cdot [l^{3/2} m^{1/2} t^{-2}] \cdot [t] = [l^2 m t^{-2}]$ , also in beiden Fällen die Dimension einer Arbeit (vgl. Nr. 9). — 2. Die Schwingungsdauer  $t$  einer Masse vom Trägheitsmoment  $K$  hängt mit der Direktionskraft  $D$  durch die Gleichung zusammen  $t^2 \cdot \pi^2 = K : D$ . Setzt man, nach 12,  $K = [l^2 m]$  und nach 11a  $D = [l^2 m t^{-2}]$  ein, so entsteht rechts  $[l^2 m] : [l^2 m t^{-2}] = [t^2]$ , wie es sein muß, da  $\pi$  eine reine Zahl ist.

Die Dimension ermöglicht ferner sofort den Übergang von einer Gruppe von Grundeinheiten, etwa mm, mg, zu einer anderen, etwa cm, gr. Denn wenn die abgeleitete Einheit eine Grundeinheit zur  $p^{\text{ten}}$  Potenz enthält, so ändert sich, sobald die Grundeinheit im Verhältnis  $n$  geändert wird, die abgeleitete Einheit im Verhältnis  $n^p$ . Der Zahlwert einer in dieser Einheit ausgedrückten bestimmten Größe wird hierdurch also gegen früher im Verhältnis  $n^{-p}$  geändert.

Beispiel. Die Zahl, welche eine Geschwindigkeit  $l/t$  darstellt, wird bei dem Übergang von mm zu cm im Verhältnis  $10^{-1}$  geändert, beim Übergang von sec zu min im Verhältnis  $60^{+1}$ . Die Zahl für eine Kraft  $[lm/t^2]$  ändert sich, wenn man von mm-mg zu cm-gr übergeht, im Verhältnis  $10^{-1} \cdot 1000^{-1} = 1/10000$  (Tab. 41).

Nicht selten kann man aus einer Dimensionengleichung sogar auf ein Naturgesetz schließen. Wäre z. B. von der durch einen el. Strom  $i$  in einem Leiter innerhalb der Zeit  $t$  entwickelten Wärmemenge  $Q$  nur bekannt, daß sie durch  $i$ ,  $t$  und den Widerstand  $w$  des Leiters bestimmt ist, so läßt das Gesetz sich folgendermaßen aufstellen. Daß  $Q$  sowohl mit  $t$  wie mit  $w$  im einfachen Verhältnis steht (daß in jeder Längeneinheit eines bestimmten Drahtes oder in jeder Zeiteinheit die gleiche Wärmemenge entwickelt wird), läßt sich von vornherein sagen. Mithin hat das Gesetz die Form  $Q = wtf(i)$ , wo die Form der Funktion  $f$  zu bestimmen ist. Ersetzt man die Größen durch ihre Dimensionen (Tab. 41)  $Q = [l^2 m t^{-2}]$  und, aus dem el.-magn. System,  $w = [lt^{-1}]$ , also  $wt = [l]$  und  $i = [l^{1/2} m^{1/2} t^{-1}]$ , so entsteht die Dimensionengleichung  $[l^2 m t^{-2}] = [l]f[l^{1/2} m^{1/2} t^{-1}]$ . Man sieht sofort, daß man  $f(i) = i^2$  wählen muß, damit diese Gleichung erfüllt ist. — Vgl. ferner z. B. die Aufstellung eines Gesetzes über die Größe kapillar abfallender Tropfen durch Rayleigh, Ph. Mag. (5) 48, 322. 1899 oder Ann. d. Ph. 20, 802. 1906.

Auch für das technische elektromagnetische Maßsystem, welches mit den Benennungen Ohm, Ampere, Volt, Farad usw. Einheiten für Widerstand, Stromstärke, Spannung, Kapazität usw. enthält, gibt es ein System von Grundeinheiten, nämlich, außer der Sekunde, den Erdquadranten

=  $10^9$  cm als Längen- und  $10^{-11}$  gr als Masseneinheit. Stellt eine abgeleitete Größenart sich dar als  $[l^2 \cdot m^{\mu} \cdot t^{\tau}]$ , so ist also die Einheit im technischen Maßsystem im Verhältnis  $10^{9\lambda} \cdot 10^{-11\mu}$  größer als im CGS-System.

Beispiele. Eine Stromstärke ist  $= [l^{1/2} m^{1/2} t^{-1}]$ ; also die Einheit Ampere =  $10^{9/2} \cdot 10^{-11/2} = 10^{-1}$  CGS-Stromeinheiten (vgl. Nr. 24). — Die Arbeitseinheit ist  $= [l^2 m t^{-2}]$ ; also ist 1 Volt-Ampere-Sek. oder Watt-Sek. oder „Joule“ gleich  $10^{18} \cdot 10^{-11} = 10^7$  CGS-Arbeitseinheiten (vgl. Nr. 30).

Die Vorsätze Mega- oder Mikro- (z. B. Megohm oder Mikrofarad) bedeuten  $10^6$ mal größere oder kleinere Einheiten.

### Vollständigere Systeme abgeleiteter Einheiten.

Grundsätzlich, bisher aber noch nicht den Ansprüchen hoher Präzision genügend, läßt sich die Anzahl unserer drei (oder einschl. der Temperatur vier) willkürlich angenommenen Einheiten auf demselben Wege noch weiter einschränken, der die Willkür in den übrigen Einheiten beseitigt hat, nämlich dadurch, daß man Naturkonstanten gleich Eins setzt. So können wir mittels der Gravitationskonstante (S. 130) und des Verhältnisses der el.-magn. zur el.-stat. Elektr.-Einheit (d. i. der Geschwindigkeit der elektromagnetischen oder Licht-Wellen im Äther; **116a**) Einheiten für zwei von unseren drei Grundmaßen ableiten, so daß dann nur eine Einheit, für die man Länge, Masse oder Zeit wählen kann, willkürlich bleibt. Wollen wir z. B. das cm beibehalten, fordern aber, daß die Lichtgeschwindigkeit = 1 wird, so folgt für die Zeiteinheit die Zeit, in der das Licht 1 cm zurücklegt, mithin der  $3 \cdot 10^{10}$ te Teil der Sekunde. Wollen wir weiterhin die Masseneinheit so festsetzen, daß das Newton'sche Gesetz für die Gravitationskraft  $k$  die einfache Gestalt erhält  $k = m_1 m_2 / r^2$ , so ist als Masseneinheit die Masse zu wählen, die aus der Entfernung Eins [1 cm] einer anderen Masse in der Zeit Eins [d. i. jetzt in  $1/(3 \cdot 10^{10})$  Sek.] die Geschw. Eins [d. i.  $3 \cdot 10^{10}$  cm/sec] mitteilt. Nun bewirkt 1 gr aus 1 cm in 1 sec die Geschw.  $6,68 \cdot 10^{-8}$  cm/sec (S. 130), folglich ist die Masseneinheit im [Gravit., Lichtgeschw., cm]-System  $= (3 \cdot 10^{10})^2 / (6,68 \cdot 10^{-8}) = 1,35 \cdot 10^{28}$  gr (etwa  $2\frac{1}{2}$  Erdkörpermassen). — Diese Überlegung findet sich, mit nur äußerlichen Abweichungen, schon bei R. Kohlrausch u. W. Weber, Abh. Sächs. Ges. der Wiss. 3, 221. 1857.

Nach Planck fällt nun auch die einzige hier gebliebene Willkür auf folgendem Wege fort. Mit den wie oben benutzten Gesetzen der Lichtgeschwindigkeit und der Massengravitation wird ein aus der Theorie der Strahlung von Planck abgeleitetes Energieelement kombiniert, welches der Schwingungsfrequenz  $\nu$  der Welle proportional ist und somit  $= h\nu$  geschrieben werden kann. Diese Naturkonstante  $h$  beträgt im CGS-System  $6,55 \cdot 10^{-27}$  cm<sup>2</sup>grsec<sup>-1</sup>. Durch die Forderung, daß sie = 1 wird, entsteht das [Gravit., Lichtgeschw., Strahlungs]-System, in welchem die neuen Planck'schen Einheiten, durch die alten ausgedrückt, die Werte erhalten: Läng.-Einh. =  $4,03 \cdot 10^{-33}$  cm; Mass.-E. =  $5,42 \cdot 10^{-5}$  gr; Zeit-E. =  $1,34 \cdot 10^{-43}$  sec; oder 1 cm =  $2,48 \cdot 10^{32}$ ; 1 gr =  $1,84 \cdot 10^4$ ; 1 sec =  $7,46 \cdot 10^{42}$  Planck-Einh.

Vgl. Planck, Vorles. üb. d. Theor. d. Wärmestrahlung, Leipz. 1906, S. 163.

**Abgeleitete Einheiten für den Temperaturgrad.** 1) Ein origineller Vorschlag von L. Lorenz definiert den Temp.-Grad nach dem Dulong-Petit-schen Gesetz der spez. Wärme (S. 190) und dem Faraday-Weber'schen elektrochem. Äquivalent (S. 429) als die Temp.-Erhöhung, die durch die Wärme-(Arbeits-)Einheit in derselben Anzahl von Grundstoffatomen entsteht, welche durch die Elektr.-Einheit aus einem einwertigen Elektrolyt abgeschieden wird. Lorenz berechnet im [mm, mg, sec]-System 1 Centigrad =  $22 \cdot 10^6$  seiner Einheiten. Pogg. Ann. 147, 433. 1872.

2) Die Temp.-Strahlung bot schon im Stefan-Boltzmann'schen Gesetz der Gesamtstrahlung des schwarzen Körpers einen Weg. Die Strahlungsintensität wird (Gl. 1, S. 362) hier, wenn der Centigrad zugrunde liegt, =  $0,0000536 \cdot T^4$  oder =  $(0,0856 T)^4$  CGS. Soll der Zahlenfaktor = 1 werden, so ist die Temp.  $T$ , statt in Centigrad, in einer im Verhältnis  $1/0,0856 = 11,7$  mal größeren Einheit auszudrücken.

3) Eine noch fundamentalere Konstante ist seitdem im Wien-Planck-schen Grundgesetz der schwarzen Strahlung bekannt geworden, nämlich die Größe  $c$  im Exponenten  $c/\lambda T$  der Gl. 2, S. 362.

Diese Konstante  $c$  wurde experimentell (von Lummer u. Pringsheim) = 1,46 gefunden, wenn die Wellenlänge  $\lambda$  in cm und die abs. Temp.  $T$  in Centigraden gemessen ist. Verlangt man, daß  $c = 1$  wird, so hat man  $T$  1,46 mal kleiner, die Einheit von  $T$  mithin 1,46 mal größer zu wählen; also wäre 1,46 Centigrad die durch das Strahlungsgrundgesetz an das CGS-System angeschlossene Einheit des Temp.-Grades.

Im obigen Planck'schen System ist die Einheit für  $\lambda$   $2,48 \cdot 10^{32}$  mal kleiner als das cm, folglich muß hier, damit  $c = 1$  wird, die Einh. des Temp.-Grades  $1,46 \cdot 2,48 \cdot 10^{32} = 3,62 \cdot 10^{32}$  Centigrad werden.<sup>1)</sup>

Für den praktischen Gebrauch würde man solchen Einheiten durch Multiplikation mit vereinbarten Potenzen von 10 (wie bei Ohm, Volt usw.) geeignete Größen geben können; Meßzwecken indessen genügen sie noch nicht, denn wenn z. B. (nach Holborn-Valentiner)  $c = 1,42$  statt 1,46 gesetzt wird, so ändert sich die Einh. des Temp.-Grades um 3 %.

## Das CGS-System.

Die am Schluß jeder Definition in [ ] gegebenen Ausdrücke bedeuten die Einheit im CGS-System, häufig mit Angabe ihrer Benennung und ihres Größenverhältnisses zu anderen gebräuchlichen Einheiten.

1) Planck selbst knüpft bei der Ableitung dieses Resultates unmittelbar an die Theorie an, nämlich an den Faktor  $k$ , der in der universellen Gl.  $S = k \lg W$  die Entropie  $S$  mit der Wahrscheinlichkeit  $W$  eines Systems in einem bestimmten Zustand verbindet. Die Konstante  $c$  der Strahlung ist nach Planck gegeben als  $c = v h / k$  ( $v =$  Lichtgeschw.,  $h =$  Energieelement-Konstante; s. vor. S.). Planck setzt  $v, h$  und  $k = 1$ , was zum gleichen Resultat führt, wie unser, manchem wohl näherliegendes  $v, h$  und  $c = 1$ .

**Einheiten aus Raum und Zeit.**

1. **Fläche**  $f = [l^2]$ . Einheit ist das Quadrat über der Längeneinheit;  $[cm^2]$ .

2. **Raum**  $v = [l^3]$ . Einheit ist der Würfel über der Längeneinheit;  $[cm^3]$ .

3. **Winkel**  $\varphi = [l^0]$ . Einheit ist der Winkel, dessen Bogen gleich dem Halbmesser ist; [Winkel von  $57,296^\circ$ ].

Diese Einheit entspricht dem Gebrauche der Mechanik, einen Winkel gleich dem zugehörigen Kreisbogen, geteilt durch den Halbmesser zu setzen. Ein kleiner Winkel ist dann seinem Sinus oder seiner Tangente numerisch gleich. — Dimension  $= l/l = 1$ , d. h. von den Grundeinheiten unabhängig.

4. **Geschwindigkeit**  $u = [lt^{-1}]$ . Die Geschwindigkeit Eins besitzt ein Punkt, der in der Zeiteinheit die Längeneinheit zurücklegt;  $[cm/sec]$ .

Geschwindigkeit ist der zurückgelegte Weg geteilt durch die zum Zurücklegen gebrauchte Zeit.

5. **Beschleunigung**  $b = [lt^{-2}]$ . Einheit ist die Beschleunigung, bei welcher die Geschwindigkeit in der Zeiteinheit um Eins wächst;  $[cm/sec^2]$ .

Wächst die Geschwindigkeit in der Zeit  $t$  um die Größe  $u$ , so besitzt das bewegte Ding eine Beschleunigung  $b = u/t$ . — Die normale Fallbeschleunigung unter  $45^\circ$  geogr. Breite beträgt  $g = 980,62 cm/sec^2 = 9,8062 m/sec^2$ . — Eine Winkelbeschleunigung hat die Dimension  $[t^{-2}]$ .

**Mechanische und Wärme-Einheiten.**

6. **Dichte**  $s = [l^{-3}m]$ . Die Einheit besitzt ein Körper, der in der Raumeinheit die Masse Eins hat;  $[gr/cm^3]$  oder Wasser von  $+4^\circ$ .

Genauer hat Wasser von  $4^\circ$  in diesem Sinne  $0,999972$ ; s. Anm. S. 52.

7. **Kraft**  $k = [lmt^{-2}]$ ; vgl. S. 664 oben. Einheit ist die Kraft, welche der Masse Eins in der Zeiteinheit die Geschwindigkeit Eins mitteilt;  $[cm gr/sec^2 = 1 \text{ „Dyne“ (Clausius); } 1 \text{ gr-Gew. unter } 45^\circ \text{ ist } = 980,62 \text{ Dyne; } 1 \text{ Dyne} = 0,00101976 \text{ gr-Gew.}]$ .

Eine „Dyne“ ist also ein wenig größer als die Anziehung der Erde auf  $1 mg$ .

8. **Druck**  $p = [l^{-1}mt^{-2}]$ . Einheit ist der Druck, bei welchem auf die Flächeneinheit die Kraft Eins kommt;  $[gr/(cm sec^2)]$  oder  $Dyne/cm^2 = 0,9869 \cdot 10^{-6}$  Atmosph.].

Sind Kräfte gleichmäßig über eine Fläche verteilt, so nennt man Druck die auf die Flächeneinheit (senkrecht) wirkende Kraft. — Eine

Flüssigkeit von der Dichte  $s$  übt bei der Schwere  $g$  in der Tiefe  $h$  cm unter einer ebenen Oberfläche den Druck  $ghs$  cm<sup>-1</sup> gr sec<sup>-2</sup> oder Dyne/cm<sup>2</sup> aus. — Der Druck von 1 cm Quecksilber von 0° unter 45° geogr. Breite ist = 13,596 · 980,62 = 13333, also 1 Atm = 76 · 13333 = 1013300 Dyne/cm<sup>2</sup>.

**Genauere Berechnung.** Für Druckmessung hat man als normale Schwere einen etwas größeren Wert als den für 45° im Mittel geltenden international festgesetzt; nämlich 980,665. Genauere Angaben verstehen unter reduzierter Druckhöhe  $h_0$  die bei einer Schwere  $g$  beobachtete Höhe mal  $g/980,665$ . Mit Rücksicht darauf, daß die Dichte  $s$  auf Wasser von 4° bezogen ist, welches nicht 1 sondern 0,999972 gr/ccm enthält, wird aus  $h_0$  der Druck  $p = 980,665 h_0 \cdot 0,999972 s = 980,638 h_0 s$  Dyne/cm<sup>2</sup> erhalten. In normalen gr-Gew. (vgl. 7) kommt  $p = 980,638/980,62 \cdot h_0 s = 1,000018 h_0 s$  gr-Gew./cm<sup>2</sup>. Für  $h_0$  in Hg, 0° ( $s = 13,5956$ ), gilt  $p = 13332,4 h_0$  Dyne/cm<sup>2</sup> = 13,5958  $h_0$  gr-Gew./cm<sup>2</sup>; mithin 1 norm. Atm. = 1013260 Dyne/cm<sup>2</sup> = 1033,28 gr-Gew./cm<sup>2</sup>.

### 9. Arbeit, Energie, lebendige Kraft, Wärmemenge $Q = [l^2 mt^{-2}]$ .

Einheit der Arbeit ist die Arbeit, welche die Kraft Eins verrichtet, wenn sich ihr Angriffspunkt nach ihrer Richtung um die Längeneinheit verschiebt; [cm<sup>2</sup> gr/sec<sup>2</sup> = 1 Erg = 1,0197 · 10<sup>-3</sup> cm gr-Gew. = 10<sup>-7</sup> Wattsekunde oder Joule = 2,388 · 10<sup>-8</sup> Wassergr-Kal].

Allgemein ist Arbeit = Kraft  $\times$  Weg, ev. mit dem Cosinus des Richtungswinkels multipliziert. — Durch Hebung von 1 kg um 1 m (Meterkilogrammgleichgewicht des statischen Maßsystems) wird die Arbeit 1000 · 981 · 100 = 98 100 000 Erg geleistet. — Die elektrotechnische Arbeitseinheit „Wattsekunde“ oder „Joule“ ist = 10<sup>7</sup> Erg; vgl. Nr. 30.

Eine Volumvermehrung  $v$  unter dem konstanten Druck  $p$  bedeutet eine äußere Arbeit  $Q = vp$ . Ist der Druck  $h$  cm in Hg von 0° gemessen, so ist also  $Q = 13333 v h$  Erg. Einer Kubikcentimeter-Atmosphäre entspricht  $Q = 13333 \cdot 76 = 1013300$  Erg; vgl. Nr. 8.

Arbeitsfähigkeit oder potentielle Energie eines Körpers oder eines Systems ist die Arbeitssumme, die der Körper oder das System unter dem Einfluß der wirkenden Kräfte durch Verschiebung leisten kann.

Gleichwertig mit Arbeit ist die lebendige Kraft, Bewegungs- oder kinetische Energie  $\frac{1}{2} mu^2$  einer Masse  $m$ , die eine Geschwindigkeit  $u$  besitzt.

$mu^2 = [ml^2 t^{-2}]$  hat die Dimensionen der Arbeit.

**9a. Wärmemenge** Eins ist die der Arbeitseinheit äquivalente Wärmemenge; vgl. 51a. [1 Erg; vgl. oben].

Das mech. Äquivalent der Wassergr-Kalorie beträgt <sup>3</sup> in Hubarbeit 427,1 gr-Gew.  $\times$  m, also 427,1 · 980,6 · 100 = 4,188 · 10<sup>7</sup> Erg = 4,188 „Wattsekunden“ oder „Joule“. Der reziproke Wert 2,388 · 10<sup>-8</sup> ist das Wärmeäquivalent der CGS-Arbeitseinheit oder des Erg in gr-Kal.

Arbeit bei der Wärmeausdehnung eines vollkommenen Gases; vgl. 18. Die Masseneinheit eines Gases habe bei der absoluten Temperatur  $T$  unter dem Drucke  $p$  das Volumen  $v$ ; sie werde unter diesem konstanten Drucke um  $1^\circ$  erwärmt. Sie dehnt sich dabei um  $v/T$  aus, leistet mithin die äußere Arbeit  $p v/T$ , eine nach den Gasgesetzen konstante Größe, welche die Konstante des betr. Gases heißt und mit  $R$  bezeichnet wird. Die von der Masse  $m$  des Gases bei der Erwärmung um  $\Theta^\circ$  geleistete Arbeit beträgt folglich  $Q = R m \Theta$ .

Der Zahlenwert von  $R$  berechnet sich z. B. aus der Dichtigkeit  $s_0$  (d. h. dem Volumen  $1/s_0$ ) des Gases bei  $0^\circ\text{C}$  (d. h. bei  $T = 273,1$ ) unter dem Drucke von 1 Atm (d. h. von  $1013300$  Dyne/cm<sup>2</sup>) als  $1013300/273,1 s_0$  oder  $R = 3710,4/s_0$  [cm<sup>2</sup> gr sec<sup>-2</sup> Grad<sup>-1</sup>] oder [cm·Dyne·Grad<sup>-1</sup>].  $R$  ist also umgekehrt prop.  $s_0$ ; für Luft z. B. =  $3710,4/0,001293 = 2870000$ .

Allgemeine Gaskonstante  $R_0$ ; Arbeit bei der Vergasung. Werden die Größen nicht auf 1 gr, sondern auf 1 gr-Molekül (1 „Mol“) des Gases bezogen, so verliert die Gaskonstante ihren individuellen Charakter, denn jedes gr-Molekül eines vollkommenen Gases (z. B. 32 gr Sauerstoff oder 2,016 gr Wasserstoff) hat cet. par. ein gleiches Volumen, nämlich (vgl. S. 79) bei  $0^\circ$  und 1 Atm  $22410$  cm<sup>3</sup>, bei der abs. Temp.  $T$  und dem Drucke  $p$  CGS also  $22410 \cdot 1013300/p \cdot T/273,1 = 8,315 \cdot 10^7 T/p$  cm<sup>3</sup> (Avogadro'sches Gesetz). — Die bei der Vergasung eines gr-Moleküls unter Gleichgewichtsdruck bei der Temperatur  $T$  geleistete äußere Arbeit beträgt demnach  $8,315 \cdot 10^7 T$  Erg.

Dieser Koeffizient  $R_0 = 8,315 \cdot 10^7$  ist die für das gr-Mol. geltende allgemeine Gaskonstante im CGS-System, d. h. auf Erg bezogen. Bei der Wahl einer anderen Arbeitseinheit folgt aus den S. 669 gegebenen Umrechnungszahlen: bezogen auf cm $\times$ gr-Gew. 84790; auf cm $\times$ Atm 82,06; auf die Wassergrammkalorie 1,985. Siehe endlich die „elektrolytische Gaskonstante“ S. 495. — Dieselben Zahlen gelten für Stoffe, die in Lösung gehen und deren „osmotischer Druck“ den Gasgesetzen folgt (van't Hoff). 1,985 findet man häufig in 2 gekürzt.

Bei einem vollkommenen, d. h. bei einem Gase, in welchem die Ausdehnung nicht von einer inneren Arbeitsleistung begleitet ist, stellt die Differenz  $c_p - c_v$  der spezifischen Wärmen die Wärmemenge dar, die, wenn sich die Gasmenge Eins unter konst. Drucke durch  $1^\circ$  Temp.-Erhöhung ausdehnt, auf äußere Arbeit verwendet wird. 1,985 ist also gleich jener Differenz, wenn man  $c_p$  und  $c_v$  nicht auf 1 gr sondern auf ein Grammolekül bezieht.

Zweiter Hauptsatz der mechanischen Wärmetheorie (Clausius). Ein Körper oder ein System von Körpern durchlaufe einen vollkommenen, umkehrbaren thermodynamischen Kreisprozeß und nehme dabei die in Arbeitsmaß ausgedrückte Wärmemenge  $Q$  bei der abs. Temperatur  $T$  auf und gebe  $Q'$  bei  $T'$  ab. Dann ist erstens  $Q - Q'$  die von ihm geleistete äußere Arbeit oder die in Arbeitsmaß ausgedrückte, in Arbeit umgesetzte Wärmemenge; zweitens gilt

$$Q/Q' = T/T' \quad \text{oder} \quad (Q - Q')/Q = (T - T')/T.$$

**9b. Die thermodynamische Temperaturskale;** W. Thomson 1848. Die Zurückführung der Temp. auf Länge, Masse und Zeit läßt (so lange die Konstanten der Strahlungsgesetze noch nicht genügend genau feststehen, vgl. S. 667) eine Lücke. Die Temp.-Skale ist jedoch durch den zweiten Hauptsatz festgelegt, sobald man einen ihrer Punkte numeriert, z. B. den Eispunkt des Wassers mit  $T_0$  bezeichnet hat. Um eine andere Temp.  $T_1$  (etwa den Siedepunkt des Wassers) zu bestimmen, lassen wir einen umkehrbaren Kreisprozeß zwischen  $T_1$  und  $T_0$  arbeiten und messen die bei  $T_1$  aufgenommene Wärmemenge sowie den Bruchteil  $\mathfrak{n}$  dieser Menge, der bei dem Prozeß in mechanische Arbeit verwandelt wird. Dann gilt nach dem vorigen  $\mathfrak{n} = (T_1 - T_0)/T_1$ , also ist hierdurch  $T_1 = T_0/(1 - \mathfrak{n})$  bestimmt. Jeder andere Punkt kann durch einen ihm entsprechenden Versuch festgelegt werden. Die Temperatur, welche als untere Grenze des Kreisprozesses alle Wärme in mech. Arbeit verwandeln läßt, ist der absolute Nullpunkt.

Diese Definition ist identisch mit der gebräuchlicheren Form: wenn einem vollkommenen Gase (vgl. 18 und 42) bei den Temperaturen  $T$  und  $T'$  unter gleichem Drucke die Volumina  $v$  und  $v'$  oder bei gleichem Volumen die Drucke  $p$  und  $p'$  zukommen, so verhält sich  $T':T = v':v$  oder  $= p':p$ . Denn diese Proportion führt, auf einen mit dem Gase vorgenommenen umkehrbaren Kreisprozeß angewandt, zu der erstgenannten als Folgerung. Grundsätzlich ist die erste Definition vorzuziehen, weil über den Gaszustand eines Körpers von vorn herein nichts sicheres ausgesagt werden kann.

**10. Leistung**  $\mathcal{A} = [l^2 m t^{-3}]$ . Die Einheit der Leistung liegt vor, wenn in der Zeiteinheit die Arbeit Eins verrichtet wird; [ $\text{cm}^2 \text{gr}/\text{sec}^3 = \text{Erg}/\text{sec} = 10^{-7} \text{ Watt} = 1,36 \cdot 10^{-10} \text{ Pferdestärke}$ ].

Leistung nennt man die in der Zeiteinheit getane Arbeit. 1 Watt  $= 10^7$  CGS; 1 P.-S.  $= 75 \text{ kg-Gew. m}/\text{sec} = 735 \cdot 10^7$  CGS.

**10a. Wärmeleitvermögen.** Das W.-L. Eins hat ein Körper, wenn bei einem Temperaturgefälle Eins durch den Querschnitt Eins in der Zeiteinheit die Wärmemenge Eins senkrecht hindurchfließt; [ $\text{cm gr}/(\text{sec}^3 \times \text{Grad})$ ].

Die Einheit ist, weil die, nicht auf Länge, Masse und Zeit zurückgeführte Temperatur eingeht, nicht in das CGS-System einzureihen. — Messung der Wärmemenge in Wattsekunden bez. in Wasser-gr-Kalorien macht die Zahl für das W.-L.  $10^7$  mal, bez.  $4,188 \cdot 10^7$  mal kleiner, als in CGS.

**11. Drehmoment**  $\mathfrak{D} = [l^2 m t^{-2}]$ . Das D.-M. Eins wird dargestellt durch die Kraft Eins, welche senkrecht am Hebelarm Eins angreift; [ $\text{cm}^2 \text{gr}/\text{sec}^2 = \text{Dyne} \times \text{cm} = 0,00102 \text{ gr-Gew.} \times \text{cm}$ ].

Die Kraft  $k$  am Hebelarm  $l$  erzeugt das D.-M.  $\mathfrak{D} = kl$ .

**11a. Direktionskraft**  $D = [l^2 m t^{-2}]$ .

Diese mißt die Stabilität der Gleichgewichtslage eines um eine Axe drehbaren Körpers. Ablenkung aus der Gleichgewichtslage um den kleinen Winkel  $\varphi$  erzeugt ein mit  $\varphi$  proportionales Drehmoment  $\mathfrak{D}$ . Das konstante Verhältnis  $\mathfrak{D}/\varphi = D$  heißt Direktionskraft.

Die D.-K. eines Pendels von der Masse  $m = 1$  kg im Abstände  $l = 1$  m von der Drehaxe beträgt  $100 \cdot 1000 \cdot 981 = 98\,100\,000$  cm<sup>2</sup> gr sec<sup>-2</sup>, denn das Drehmoment für einen kleinen Ablenkungswinkel  $\varphi$  ist  $= l m g \cdot \varphi$ .

Die von der Schwere ausgeübte D.-K. einer bifilaren Aufhängung (27 a) von dem Fadenabstände 10 cm, der Fadenlänge 200 cm, der Masse 1000 gr ist  $\frac{1}{4} \cdot 10 \cdot 10 / 200 \cdot 1000 \cdot 980,6 = 122\,600$  CGS.

**12. Trägheitsmoment  $K = [l^2 m]$ .** Die Einheit wird dargestellt durch die Masse 1 gr im Abstände 1 cm von einer Drehaxe; [cm<sup>2</sup> gr].

Das T.-M. einer Masse  $m$  im Abstand  $l$  von einer Drehaxe ist  $K = l^2 m$ ; vgl. 29. Das T.-M. des Pendels unter 11 a ist also  $100^2 \cdot 1000 = 10^7$  cm<sup>2</sup> gr.

Drehmoment durch T.-M. gibt die Winkelbeschleunigung.

T.-M.  $K$ , Direktionskraft  $D$  und einfache Schwingungsdauer  $t$  hängen durch die Gleichung  $t^2/\pi^2 = K/D$  zusammen.

**13. Elastizitätsmodul  $E = [l^{-1} m t^{-2}]$ .** Die Einheit des E.-M. würde ein Körper haben, der in Stabform vom Querschnitt Eins sich durch eine dehnende Kraft um einen dieser Kraft numerisch gleichen Bruchteil verlängert; [gr/(cm sec<sup>2</sup>) =  $1,020 \cdot 10^{-8}$  kg-Gew./mm<sup>2</sup>].

Die (relativ kleine) Verlängerung eines Stabes von  $l$  cm Länge und  $q$  cm<sup>2</sup> Querschnitt durch eine dehnende Kraft von  $k$  Dynen beträgt  $1/E \cdot k l / q$ . —  $\sqrt{E/s}$  gibt die Schallgeschwindigkeit, wenn  $s$  die Dichte ist.

Die praktisch gebrauchten Elastizitätsmoduln kg-Gew./mm<sup>2</sup> sind, um für das CGS-System zu gelten, offenbar mit  $1000 \cdot 981 \cdot 100 = 98\,100\,000$  zu multiplizieren. Vgl. 52.

**13a. Diffusionskonstante  $k = [l^2 t^{-1}]$ .** Die Einheit besitzt ein gelöster Körper, von dem bei dem Konzentrationsgradienten Eins durch den dazu senkrechten Querschnitt Eins in der Zeiteinheit die Masseneinheit wandert.

Kompressibilität s. 55 b, Schallstärke 57 a, Kapillarkonstante 58, Reibungskoeffizient 58 a.

#### Elektrische Einheiten im elektrostatischen System.

**14. Elektrizitätsmenge  $\epsilon = [l^{3/2} m^{1/2} t^{-1}]$ .** „Elektrostatische“ oder „mechanische“ Einheit der E.-M. ist die Menge, welche eine ihr gleiche Menge aus der Entfernung Eins mit der Kraft Eins abstößt; [cm<sup>3/2</sup> gr<sup>1/2</sup>/sec =  $3,33 \cdot 10^{-11}$  el.-mg. CGS =  $3,33 \cdot 10^{-10}$  Amperesekunde oder „Coulomb“; vgl. 25].

Diese Einheit fordert also, auf das Coulomb'sche Gesetz angewandt, daß die Kraft  $k$  einer El.-Menge  $\epsilon$  auf eine andere  $\epsilon'$  aus dem Abstände  $l$  cm  $k = \epsilon \epsilon' / l^2$  Dynen wird.

Die Dimensionen ergeben sich folgendermaßen: Wenn eine E.-M.  $\epsilon$

eine gleiche Menge aus der Entfernung  $l$  mit der Kraft  $k$  abstößt, so ist  $\epsilon = l \cdot \gamma k$ . Die Dimensionen von  $k$  sind durch  $[m t^{-2}]$ , die von  $\epsilon$  also durch  $[l] \cdot [l^{1/2} m^{1/2} t^{-1}] = [l^{3/2} m^{1/2} t^{-1}]$  gegeben.

**14a Elektrische Flächendichte**  $\sigma = [l^{-1/2} m^{1/2} t^{-1}]$ . Die Dichte ist gleich Eins, wenn auf die Flächeneinheit die El.-M. Eins kommt;  $[\text{cm}^{-1/2} \text{gr}^{1/2} \text{sec}^{-1}]$ .

**14b. Elektrische Feldstärke**  $\mathcal{F} = [l^{-1/2} m^{1/2} t^{-1}]$ . Die an einem Orte auf die El.-Menge Eins ausgeübte Kraft heißt die el. Feldstärke daselbst. Die Einheit hat also ein Feld, in welchem auf die El.-M. Eins die Kraft Eins ausgeübt wird;  $[\text{gr}^{1/2}/(\text{cm}^{1/2} \text{sec})]$ .

Das von einer punktförmigen El.-M.  $\epsilon$  CGS bewirkte Feld hat in  $l$  cm Abstand von dieser El.-M. die Stärke  $\epsilon/l^2$   $[\text{cm}^{-1/2} \text{gr}^{1/2} \text{sec}^{-1}]$ . — Als Richtung des Feldes bezeichnet man die Richtung der auf die positive El. ausgeübten Kraft.

**14c. Kraftlinie**  $\mathcal{C} = [l^{3/2} m^{1/2} t^{-1}]$ . Die Kraftwirkung von El.-Mengen kann man darstellen durch Linien (Faraday). Die Richtung der Linien gibt die Krafrichtung, ihre Dichtigkeit, d. h. ihre Anzahl in einem Bündel vom senkrechten Querschnitt Eins gibt die Feldstärke an dem betr. Orte;  $[\text{cm}^{3/2} \text{gr}^{1/2}/\text{sec}]$ . Von jeder Elektrizitäts-Einheit gehen nach 14b also  $4\pi$  Einheitskraftlinien aus.<sup>1)</sup>

Von der El.-Menge  $\epsilon$  gehen  $N = 4\pi\epsilon$  Kraftlinien aus. Im Abstände  $l$  sind diese gleichmäßig über die Kugelfläche  $f = 4\pi l^2$  verteilt, ihre Dichtigkeit ist also  $N/f = \epsilon/l^2$ , gibt mithin die Feldstärke an dem Punkte. — Man sieht zugleich, daß eine konzentrisch kugelig verteilte El.-Menge nach außen ebenso wirkt, wie eine gleich große vom Mittelpunkt aus.

Feldstärke zwischen zwei el. Flächen. Die Flächen seien sehr groß im Verhältnis zu ihrem Abstand und seien gleichmäßig mit El. belegt von den Flächendichten die eine  $+\sigma$ , die andere  $-\sigma$ . Dann besteht zwischen ihnen ein el. Feld von der Stärke  $4\pi\sigma$ . Dies folgt aus 128, 1 oder auch daraus, daß die  $4\pi\sigma$  Kraftlinien, die von der Flächeneinheit ausgehen, bei hinreichend kleinem Abstände zu der gegenüberliegenden Flächeneinheit geradlinig hinübergehen. Vgl. auch magn. Feld, Nr. 21.

Über das Sichtbarmachen el. Kraftlinien s. z. B. C. Fischer, Ph. ZS 9, 221. 1908.

**15. Potential oder Spannung oder elektromotorische Kraft**, elektrostatisch gemessen  $V = [l^{1/2} m^{1/2} t^{-1}]$ . Die Einheit des Potentials hat eine mit der El.-M. Eins auf ihrer Oberfläche gleichmäßig geladene Kugel vom Halbmesser Eins;  $[\text{cm}^{1/2} \text{gr}^{1/2}/\text{sec} = 300 \text{V}^{\circ}; \text{vgl. 26}]$ .

1) Der Faktor  $4\pi$  ist unbequem. Indessen würde sein Beseitigen an diesem Orte zur Folge haben, daß z. B. unter 14b der Faktor  $1/4\pi$  her-einträte.

Wenn Massen vorhanden sind, welche anziehende oder abstoßende Kräfte nach dem umgekehrten Quadrate der Entfernung ausüben, so nennt man Potential dieser Massen auf einen in der Nachbarschaft befindlichen Punkt den Ausdruck, dessen Gefälle (Gradient) nach irgend einer Richtung die auf eine Masse Eins in dem Punkte nach dieser Richtung ausgeübte Kraft, bei El.-Mengen also die Feldstärke ergibt. Gefälle einer Größe ist der Betrag, um den sie abnimmt, wenn man von dem betrachteten zu einem nahe benachbarten Punkte übergeht, geteilt durch den Abstand beider Punkte; oder kurz der negative Differentialquotient der Größe nach der betrachteten Richtung. Danach ist das Potential der El.-Menge  $\epsilon$  auf einen Punkt im Abstände  $l$  gleich  $\epsilon/l$ ; denn es ist  $-\frac{d(\epsilon/x)}{dx} = \frac{\epsilon}{x^2}$ . — Aus  $V = \epsilon/l$  ergeben sich die Dimensionen von  $V$ . —

Die Einheit des Pot. läßt sich hiernach auch definieren als das von der El.-Menge Eins im Abstände Eins bewirkte Pot. — Die Pot. mehrerer El.-Mengen auf einen Punkt summieren sich einfach; El.-Mengen  $\epsilon_1, \epsilon_2, \dots$ , die von einem Punkte die Abstände  $l_1, l_2, \dots$  haben, bewirken also zusammen in diesem Punkte das Pot.  $\epsilon_1/l_1 + \epsilon_2/l_2 + \dots$ , und das Pot., welches eine auf einer Kugelfläche vom Halbmesser  $r$  gleichmäßig ausgebreitete El.-M.  $\epsilon$  auf den Mittelpunkt (und auf alle Punkte im Innern; vgl. 16) ausübt, ist  $= \epsilon/r$ .

Das Pot. hat die fernere wichtige Bedeutung, daß  $\epsilon(V_1 - V_2)$  die Arbeit angibt, welche die el. Kräfte leisten, wenn die El.-Menge  $\epsilon$  von einem Orte mit dem Pot.  $V_1$  zu einem Orte mit dem Pot.  $V_2$  übergeführt wird. Denn die Arbeit  $\int k dx$  (vgl. 9) beträgt in diesem Falle, weil  $k = -\epsilon dV/dx$  ist,  $-\epsilon \int_I^{II} dV = \epsilon(V_1 - V_2)$ .

**16. Elektrische Kapazität**, elektrostatisch gemessen  $c = [L]$ . Die Einheit der Kapazität hat ein Leiter, der durch die Einheit der El.-Menge zum Potential Eins geladen wird, z. B. eine einzeln in Luft befindliche Kugel vom Halbmesser Eins; [ $\text{cm} = 1,11 \cdot 10^{-6}$  Mikrofarad; vgl. 27].

Damit eine El.-Menge  $\epsilon$  auf einem Leiter im Gleichgewicht sei, muß sie sich so verteilen, daß das Potential  $V$  im Leiter konstant ist. Wenn die Umgebung keine el. Ladungen enthält (außer den etwa von dem Körper selbst influenzierten Ladungen), so sind Potential (Spannung) und El.-Menge einander proportional;  $\epsilon = c \cdot V$ . Das Verhältnis  $c = \epsilon/V$  heißt Kapazität des Leiters. — Beispiele, namentlich von Kondensatoren, s. 132I.

Die Kap. einer allein stehenden Kugel ist gleich deren Halbmesser  $r$ , denn die El.-Menge  $\epsilon$ , gleichmäßig über die Oberfläche verteilt, bewirkt in der Kugel ein konstantes Pot., welches wir z. B. aus der Wirkung auf den Mittelpunkt  $= \epsilon/r$  finden. — Das CGS-Potential irgend eines geladenen Leiters kann man hiernach numerisch gleich setzen der El.-Menge, die in einer mit ihm durch einen sehr dünnen Draht verbundenen entfernten Kugel vom Halbmesser 1 cm bei dieser Ladung des Körpers enthalten

wäre. — Umgekehrt läßt sich einem Leiter von bekanntem Pot. mittels einer so verbundenen Kugel eine bekannte El.-Menge entnehmen.

**17. Dielektrizitätskonstante**  $D = [l^0 m^0 t^0]$ . Die D.-K. Eins hat der leere Raum oder nahe auch ein Gas.

Von den Grundeinheiten ist  $D$  unabhängig. — Sätze über den Einfluß der D.-K. auf Kräfte und Kapazitäten s. 133.

**18. El. Stromstärke**  $i = [l^{3/2} m^{1/2} t^{-2}]$ . Die „elektrostatisch“ oder „mechanisch“ gemessene Einheit der el. Stromstärke hat ein Strom, bei welchem in der Zeit Eins die El.-M. Eins (vgl. 14) durch den Querschnitt des Leiters fließt;  $[cm^{3/2} gr^{1/2}/sec^2 = 3,33 \cdot 10^{-10} A$ ; vgl. 24].

**18a. El. Widerstand**  $w = [l^{-1} t]$ . Die el.-statisch gemessene Einheit hat ein Leiter, in dem die Potentialdifferenz (15) Eins zwischen seinen Enden den Strom Eins (18) hervorbringt;  $[sec/cm = 900 \cdot 10^9 \Theta$ ; vgl. 29].

1  $\Theta$  hat  $1,111 \cdot 10^{-12}$ , ein Quecksilberwürfel von 1 cm Seite bei 0° hat  $1,0453 \cdot 10^{-16}$  el.-stat.  $[cm^{-1} sec]$ -Widerstands-Einheiten.

#### Magnetische Einheiten.

Vgl. auch die zu den elektrostatischen Einheiten gemachten Bemerkungen, die großenteils auf den Magnetismus übertragen werden können.

**19. Freier Magnetismus oder Stärke eines Magnetpoles**  $m = [l^{3/2} m^{1/2} t^{-1}]$ . Einheit des freien Magnetismus (oder der Stärke des Magnetpoles) ist die Menge (oder der Magnetpol), welche auf eine gleiche aus dem Abstände Eins die Kräfteinheit ausübt;  $[cm^{3/2} gr^{1/2}/sec]$ .

**19a. Magnetische Flächendichte**  $\rho = [l^{-1/2} m^{1/2} t^{-1}]$ . Die Einheit ist gegeben, wenn die Flächeneinheit die Menge Eins an freiem Magnetismus besitzt.

**20. Stabmagnetismus oder magnetisches Moment**  $M = [l^{5/2} m^{3/2} t^{-1}]$ . Die Einheit würde dargestellt werden durch einen Magnet mit zwei Einheitspolen  $\pm 1$  im gegenseitigen Abstände 1 cm;  $[cm^{5/2} gr^{3/2}/sec]$ .

Jeder Magnet hat gleich viel positiven und negativen Magnetismus. Der einfachste Magnetstab würde aus zwei gleich starken punktförmigen Polen bestehen. Ein Magnet aus zwei Polen von der Stärke  $\pm m$  im gegenseitigen Abstände  $l$  hat das magnetische Moment  $M = ml$ .

Mit  $M$  sind die Wirkungen in die Ferne proportional.

Fernwirkung aus erster Hauptlage. Der Magnet  $ml$  wirke auf den im Abstände  $L$  von der Stabmitte befindlichen Magnetpol  $m'$ . Die gesamte Kraft  $k$

$$+ \frac{m}{l} \quad - \frac{m}{l}$$

$m'$

den im Abstände  $L$  von der Stabmitte befindlichen Magnetpol  $m'$ . Die gesamte Kraft  $k$

auf  $m'$  ist die Differenz der beiden Einzelkräfte, mithin

$$k = \frac{mm'}{(L - \frac{1}{2}l)^2} - \frac{mm'}{(L + \frac{1}{2}l)^2} = 2lm \cdot m' \cdot \frac{L}{(L^2 - \frac{1}{4}l^2)^2}$$

Im ist das magnetische Moment =  $M$ . Also wird

$$k = 2Mm' \frac{L}{(L^2 - \frac{1}{4}l^2)^2} = \frac{2Mm'}{L^3} \frac{1}{(1 - \frac{1}{4}l^2/L^2)^2} \quad 1.$$

oder durch Reihenentwicklung (vgl. S. 9, Gl. 5)

$$k = 2Mm'/L^3 \cdot (1 + \frac{1}{2}l^2/L^2 + \frac{3}{16}l^4/L^4 + \dots)$$

Man sucht aus so großen Entfernungen zu arbeiten, daß das dritte Glied zu vernachlässigen ist. Ist  $L$  so groß gegen  $l$ , daß man auch  $\frac{1}{2}l^2/L^2$  gegen 1 vernachlässigen kann, so wird einfach  $k = 2Mm'/L^3$ .

Zweite Hauptlage.  $m'$  sei wieder im Abstände  $L$  von der Mitte



des Magnets gelegen. Der ungleichartige Pol übt eine Anziehungskraft =  $mm'/(L^2 + \frac{1}{4}l^2)$ , der gleichartige eine gleich große Abstoßungskraft aus. Beide Kräfte setzen sich nach dem Parallelogramm in eine der Stabaxe parallele Kraft

$$k = mm'/(L^2 + \frac{1}{4}l^2) \cdot l\sqrt{L^2 + \frac{1}{4}l^2} = Mm'/L^3 \cdot (1 + \frac{1}{4}l^2/L^2)^{-3/2} \quad 2.$$

zusammen, wofür geschrieben werden kann

$$k = Mm'/L^3 \cdot (1 - \frac{3}{8}l^2/L^2 + \frac{15}{128}l^4/L^4 + \dots)$$

Bei sehr großer Entfernung  $L$  wird  $k = Mm'/L^3$ .

Wird der Pol  $m'$  durch eine auf der Krafrichtung senkrechte kurze Magnetnadel von der Länge  $l'$  mit den Polen  $\pm m'$  ersetzt, so erfährt die Nadel ein Drehmoment =  $kl'$ . Da  $m'l'$  das magn. Moment der Nadel =  $M'$ , so beträgt, unter Weglassung der Korrektionsglieder, das Dr.-Mom.  $\mathfrak{D}$  aus großer Entfernung  $L$

$$\text{in 1. H.-L. } \mathfrak{D} = 2MM'/L^3 \quad \text{und in 2. H.-L. } \mathfrak{D} = MM'/L^3.$$

Man kann also auch definieren: Die Einheit des magnetischen Moments hat ein Magnet, der auf einen gleichen aus der großen Entfernung  $L$  in 1. Hauptlage das Drehmoment  $2/L^3$ , oder in 2. Hauptlage  $1/L^3$  ausübt.

Bildet die kurze Nadel mit der Krafrichtung den Winkel  $\varphi$ , so kommt der Faktor  $\sin \varphi$  hinzu. — Über Korrekturen aus der Nadellänge s. 73II und über den theoretischen Ersatz wirklicher Magnete durch Idealmagnete mit Punktpolen S. 370.

Zerlegung eines Magnets in Komponenten. Einen Magnet  $M$ , der mit der Verbindungslinie  $L$  den Winkel  $\alpha$  bildet, darf man für Fernwirkungen in zwei Stäbe von der Stärke  $M \cos \alpha$ , bez.  $M \sin \alpha$  zerlegen, welche aus der 1., bez. der 2. Hauptlage wirken.

**20a. Spezifischer Magnetismus oder Magnetisierung  $\mathfrak{I}$**  =  $[l^{-1/2} m^{1/2} t^{-1}]$ . Die Einheit hat ein Magnet, dessen Moment geteilt durch sein Volumen gleich Eins ist.

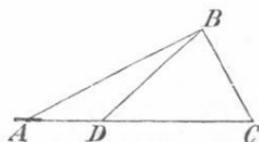
Sp. Magn. oder Magnetisierung nennt man das Verhältnis des magn. Moments zum Volumen des Magnets. Gute, sehr dünne Stahlmagnete haben

höchstens etwa 750 CGS auf 1 ccm (100 auf 1 gr). Die überhaupt (in Elektromagneten) erreichbare Grenze beträgt etwa 1500.

21. Magnetische Intensität eines Ortes oder magnetische Feldstärke  $H$  oder  $\mathfrak{H} = [t^{-1/2} m^{1/2} t^{-1}]$ . Die Einheit der Feldstärke herrscht an einem Orte, wo auf einen zur Richtung der Feldkraft senkrechten Magnet vom Moment Eins das Drehmoment Eins oder auf einen Einheitspol die Kraft Eins ausgeübt wird;  $[\text{gr}^{1/2}/(\text{cm}^{1/2}\text{sec}) = 1 \text{ Gaußs}]$ .

Der Ort eines Magnetpols übt im allgemeinen (durch Erdmagnetismus oder benachbarte Magnete oder elektrische Ströme) auf den Pol  $m$  eine mit  $m$  proportionale Kraft  $k$  aus,  $k = mH$ ; die Größe  $H$ , d. i. die Kraft auf einen Einheitspol, bedeutet unsere Feldstärke.

Die von einem kurzen Magnet  $M$  von  $A$  aus am Orte  $B$  bewirkte Feldstärke erhält man aus dem rechtwinkligen Dreieck  $ABC$ . Es sei  $AD = \frac{1}{3}AC$ . Dann ist  $BD$  die Richtung und  $M \cdot AB \cdot \frac{BD}{AD}$  die Intensität der Kraft in  $B$  (Gaußs), Beweis durch Zerlegung von  $M$  nach Nr. 20 am Schluß.



Wirkung eines magn. Feldes auf einen Magnet. Das Drehmoment auf einen zur Krafrichtung senkrechten Magnet mit zwei Polen  $\pm m$  vom Abstände  $l$ , also vom magn. Mom.  $M = ml$ , ist  $= mH \cdot l = MH$ ; wenn der Magnet im Winkel  $\varphi$  gegen die Krafrichtung liegt, kommt  $MH \sin \varphi$ . Also ist  $MH$  die Direktionskraft. Die (einfache) Schwingungsdauer  $t$  wird somit, wenn  $K$  das Trägheitsmoment (vgl. Nr. 12), gegeben durch  $t^2/\pi^2 = K/MH$ . — Für horizontal drehbare Magnete ist  $H$  die Horizontalkomponente der Feldstärke.

Z. B. sei  $H = 0,2 \text{ cm}^{-1/2} \text{ gr}^{1/2} \text{ sec}^{-1}$ . Ein dünner Magnet wiege 20 gr und habe 10 cm Länge, also  $K = 20 \cdot 10^2/12 = 167 \text{ cm}^2 \text{ gr}$ . Das Moment des Stabes sei  $M = 400 \text{ cm}^{3/2} \text{ gr}^{1/2} \text{ sec}^{-1}$ . Dann ist  $t = 3,14 \sqrt{167/(400 \cdot 0,2)} = 4,5 \text{ sec}$ .

Ablenkung einer kurzen Nadel durch einen Magnet. Ein Magnet  $M$  befinde sich in 1. Hauptlage zu einer Nadel vom Moment  $M'$  im Abstände  $L$ . Wenn  $\varphi$  der Ablenkungswinkel, so müssen für diesen Winkel die Drehmomente  $2MM'/L^3 \cdot (1 + \frac{1}{2}l^2/L^2) \cos \varphi$  vom Magnet (Gl. 1, S. 676) und  $M'H \sin \varphi$  vom Erdmagnetismus gleich sein. Also ist

$$\text{tg } \varphi = \frac{2}{L^3} \frac{M}{H} \left( 1 + \frac{1}{2} \frac{l^2}{L^2} \right).$$

In der 2. Hauptlage fällt der Faktor 2 weg, und anstatt  $\frac{1}{2}l^2$  kommt  $-\frac{3}{8}l^2$ . Die S. 374 ff. mit  $\eta$  bezeichnete Korrekptionsgröße hat die Bedeutung, daß bei kurzer Nadel in erster H.-L.  $\sqrt{2\eta}$ , in zweiter  $\sqrt{-\frac{8}{3}\eta}$  den Polabstand des Magnets darstellt.

Magnetische Potentialdifferenz oder „magnetomotorische Kraft“ zwischen zwei Punkten. Liegen zwei Punkte in einem magnetischen Felde  $\mathfrak{H}$  nach der Feldrichtung um die Länge  $l$  auseinander, so nennt man  $\mathfrak{H}l$  die zwischen ihnen bestehende magn. Potentialdifferenz oder magneto-

mot. Kraft. Diese Bezeichnung stammt aus der formalen Analogie des Gesetzes der Fortleitung von Magnetismus mit dem Ohm'schen Gesetz. Vgl. 22a.

**21a. Kraftlinie**  $\mathfrak{M} = [l^{3/2} m^{1/2} t^{-1}]$ . Kraft-Richtung und Stärke des magn. Feldes an irgend einem Orte werden gegeben durch Richtung und Dichte der Kraftlinien; unter Dichte deren Anzahl auf die senkrecht zu der Richtung gelegte Flächeneinheit verstanden. (Die Anzahl, welche durch eine anders gerichtete Flächeneinheit geht, gibt die Feld-Komponente senkrecht zu dieser Flächenrichtung.) — Von einem Magnetpol  $+m$  oder  $-m$  treten  $4\pi m$  positive oder negative Kraftlinien in den umgebenden Raum aus. Vgl. 14c und 26a; [ $\text{cm}^{3/2} \text{gr}^{1/2} / \text{sec} = \text{Einheitskraftlinie}$  oder Einheit des magnetischen Flusses = 1 „Maxwell“].

Magnetisches Feld zwischen zwei Magnetpolen. Zwei gleichmäßig entgegengesetzt magnetisierte breite, gleich große Pole, jeder von der Fläche  $f$  und der Gesamtstärke  $m$ , mögen sich in einem so kleinen Abstände gegenüberstehen, daß die  $4\pi m$  Kraftlinien von dem einen Pol, ohne merkliche „Streuung“ nach außen, geradlinig zum anderen hinüber gehen. Da diese Linien über die Fläche  $f$  ausgebreitet sind, so ist die Feldstärke zwischen den Polen  $\mathfrak{H} = 4\pi m/f = 4\pi \rho$ , wo  $\rho$  die Dichte  $m/f$  des freien Magnetismus auf den Polflächen bedeutet; vgl. 19a.

**22. Magnetisierungskoeffizient** („Suszeptibilität“)  $\kappa = [l^0 m^0 t^0]$ . Die Einheit des M.-K. hat ein Körper, dem die magnetisierende Intensität Eins das magnetische Moment Eins der Volumeinheit mitteilt.  $\kappa$  hat die Dimensionen Null, ist also eine unbenannte, von den Grundeinheiten unabhängige Zahl, kann somit auch zu einer solchen addiert werden; vgl. 22a.

$\kappa$  ist das Verhältnis der „Magnetisierung“  $\mathfrak{I}$  (Magn. Mom. geteilt durch Volumen; 20a) eines Körperelementes zu der auf dieses wirkenden magnetisierenden Intensität  $\mathfrak{H}$ ; letztere ist die Differenz der äußeren und der vom Magnetismus des Körpers herrührenden Kräfte (S. 522). Nur für diamagnetische und schwach (para-)magnetische Körper ist  $\kappa$  merklich konstant; Tab. 36a. Über Eisen s. 115 und Tab. 37.

**22a. Permeabilität**  $\mu = 1 + 4\pi\kappa = [l^0 m^0 t^0]$ . Die Einheit der P. hat die Luft oder strenger das Vakuum.  $1/\mu$  heißt magnetischer Widerstandskoeffizient des Körpers.

Erläuterung. Ein langer Stab vom Querschnitt  $f$ , der sich in einem magn. Felde  $\mathfrak{H}$  zum Betrage  $\kappa\mathfrak{H}$  per Volumeinheit magnetisiert, hat Pole von der Stärke  $f\kappa\mathfrak{H}$  und vereinigt in dieser Eigenschaft  $4\pi\kappa f\mathfrak{H}$  Kraftlinien. Hierzu die Kraftlinienzahl  $f\mathfrak{H}$  wegen des Feldes selbst addiert, gibt  $(1 + 4\pi\kappa)f\mathfrak{H} = \mu f\mathfrak{H}$  als die Zahl im Innern des Stabes. Sieht man nun  $\mu f\mathfrak{H}$  als einen Strom von Kraftlinien an, schreibt man ferner  $\mu f\mathfrak{H} = \mathfrak{H}l \cdot \mu f/l$ ,

wobei  $l$  die Länge zwischen zwei beliebigen Querschnitten des Stabes ist, so hat dieser Ausdruck dieselbe Form wie das Ohm'sche Gesetz für die Elektrizität, wenn man  $\mathfrak{H}l$  als magnetomotorische Kraft (S. 677),  $\mu$  als magn. Leitvermögen und  $l/(\mu f)$  als magn. Widerstand auffaßt.

**22b. Magn. Induktion**  $\mathfrak{B} = [l^{-1/2} m^{1/2} t^{-1}] = \mu \mathfrak{H} = (1 + 4\pi\kappa) \mathfrak{H}$ ;  
 $[\text{gr}^{1/2}/(\text{cm}^{1/2} \text{sec}) = 1 \text{ Gauss}]$ . Vgl. noch Induktionsfluß, 26a.

$\mathfrak{B}$  ist die Dichte der Kraftlinien im magnetisierten Körper.

### 23. Chemische Einheiten für Stromstärke und Elektrizitätsmenge.

1. Indem man das auf  $O = 16$  (nahe  $H = 1$ ) bezogene System der chemischen Atomgewichtszahlen annimmt, bezeichnet man als chemische CGS-Einheit für die Stromstärke den Strom, der in 1 sec 8 gr Sauerstoff oder, was dasselbe sagt, 1 gr-Äquivalent eines einwertigen Ions elektrolytisch abscheidet, und für die El.-Menge diejenige Menge, welche mit einem solchen gr-Äqu. elektrolytisch wandert. Diese Einheiten sind  $= 2,90 \cdot 10^{14}$  el.-stat. (18; 14) und  $= 9650$  el.-magnetischen CGS-Einheiten oder  $= 96500 \text{ A}$  bez. Coulomb (vgl. 24, 25, 96II, 87; s. auch Anm. S. 430).

2. Elektrisches Elementarquantum. Eine außerhalb jedes Maßsystems stehende, wirklich absolute Einheit ist die an ein einwertiges elektrolytisches Atom-Ion gebundene El.-Menge. Durch Multiplikation der vorigen Zahlen mit der wahrscheinlichen Atomgröße des  $H$ -Atoms  $= 1,63 \cdot 10^{-24}$  gr findet man dieses elektrische „Elementarquantum“  $e = 4,7 \cdot 10^{-10}$  el.-stat. CGS  $= 1,56 \cdot 10^{-20}$  el.-magn. CGS  $= 1,56 \cdot 10^{-10}$  Coulomb.

Dieselbe Menge gilt als (negative) Ladung eines Elektrons, dessen Masse  $m$  sich somit, insofern  $e/m = 1,8 \cdot 10^7$  elektro-magn. CGS ist (124 II),  $m = 1,56 \cdot 10^{-20}/1,8 \cdot 10^7 = 8,7 \cdot 10^{-28}$  gr berechnet, rund  $= 1/2000$  des  $H$ -Atoms.

Die fundamentale Hypothese elektrischer Atome, von denen je eins an je einem pond. Atom hafte, wurde schon von Weber (Abh. d. Sächs. Ges. d. Wiss. 10, 38. 1871) und im Zusammenhang mit der chemischen Valenz von Helmholtz (Faraday-Lecture 1881) ausgesprochen, aber lange wenig beachtet.

### Elektrische Einheiten im elektromagnetischen System.

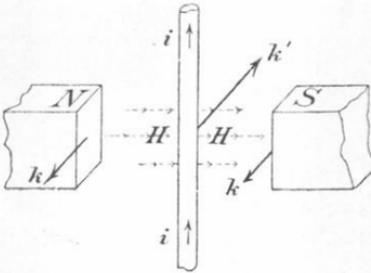
**24. Stromstärke, elektromagnetisch gemessen**  $i = [l^{1/2} m^{1/2} t^{-1}]$ , Weber'sche Einheit. Die Einheit ist durch den Strom gegeben, dessen Längeneinheit aus der Entfernung Eins auf einen Magnetpol Eins die (transversale) Kraft Eins ausübt; das wirkende Stromstück hat man sich zu einem Kreisbogen vom Halbmesser Eins gebogen zu denken  $[\text{cm}^{3/2} \text{gr}^{1/2}/\text{sec} = 3,00 \cdot 10^{10}$  el. CGS  $= 10 \text{ A}$ ; vgl. 18].

Die genauere zur Zeit wahrscheinlichste Zahl ist  $2,997 \cdot 10^{10}$ ; 116a. <sup>7</sup>

Biot-Savart'sches Gesetz. Ein kurzes Stück von der Länge  $l$  eines Stromes  $i$  bewirkt auf und erleidet durch einen in der Senkrechten auf  $l$  gelegenen Magnetpol  $m$  aus der Entfernung  $L$  die (transversale) Kraft  $k = im \cdot l/L^2$ . Daraus folgt die Dimension  $i = [lk m^{-1}]$  oder, wenn  $k = lmt^{-2}$  und  $m = l^{3/2} m^{1/2} t^{-1}$  eingesetzt wird,  $i = [l^{1/2} m^{1/2} t^{-1}]$ .

Ein ganzer Kreisstrom  $i$  vom Halbmesser  $R$  übt also auf einen Pol  $m$  im Mittelpunkt die Kraft  $k = m i \cdot 2\pi R/R^2 = m i \cdot 2\pi/R$  aus.

Die folgende Definition ist identisch mit der vorigen: Ein geradliniger Strom  $i$  von der Länge  $l$ , senkrecht zu den Kraftlinien in einem magn. Felde  $H$  fließend, erfährt die (transversale) Kraft:  $k' = H i l$ .



Die Richtung der Kraft, welche der Strom erhält, oder die er auf Magnetpole ausübt, welche das Feld  $H$  erzeugen, ist in der Figur dargestellt.

Bildet die Strom- mit der Feldrichtung den Winkel  $\varphi$ , so ist  $H i l \cdot \sin \varphi$  die zu beiden Richtungen senkrechte Kraft.

Elektrodynamische Stromeinheit. Diese ist mit der elektromagnetischen identisch, wenn man das Ampère'sche Gesetz so ausspricht: Zwei gleichgerichtete Ströme  $i$  und  $i'$  in den geradlinigen Leitern  $l$  und  $l'$  in dem (relativ großen) gegenseitigen Abstände  $L$  ziehen sich mit der Kraft  $2 i \cdot l' / L^2$  an, wenn sie zur Verbindungslinie senkrecht stehen; sie stoßen sich mit der Kraft  $l i \cdot l' / L^2$  ab, wenn sie mit der Verbindungslinie zusammenfallen. In einer anderen gegenseitigen Lage zerlegt man sie parallelipipedisch in Komponenten, welche eine der obigen Stellungen haben oder auf einander senkrecht stehen. Die letzteren Teile wirken nicht auf einander.

1. Magn. Moment eines geschlossenen Stromes. Ein ebener, geschlossener, wie oben gemessener Strom  $i$  von der umflossenen Fläche  $f$  wirkt in die Ferne wie ein senkrecht durch  $f$  gesteckter Magnet  $M = f i$ . — Genauer gilt: Ein geschlossener Strom darf bezüglich seiner Wirkung nach außen durch zwei Blätter vom gegenseitigen kleinen Abstände  $a$  ersetzt werden, welche die Stromwindung ausfüllen und von denen das eine mit Nord-, das andere mit Südmagnetismus von der Flächendichte  $i/a$  bedeckt ist. Vgl. auch 3.

Man kann also auch sagen: Strom Eins ist der Strom, welcher die Flächeneinheit unfließend in die Ferne wie ein Magnet Eins wirkt.

Beweis für einen Kreisstrom vom Halbmesser  $r$ , welcher auf einen in seiner Axe im Abstände  $L$  gelegenen Magnetpol  $m$  wirkt. Jedes Stückchen  $\lambda$  übt die Kraft aus  $k = \lambda i m / (L^2 + r^2)$ . Die Komponente dieser Kraft nach der Axe ist  $= k \cdot r / \sqrt{L^2 + r^2} = \lambda \cdot r i m / (L^2 + r^2)^{3/2}$ . Die Summe aller dieser Komponenten ist  $= 2\pi r \cdot r i m / (L^2 + r^2)^{3/2}$  oder für ein großes  $L \Rightarrow 2 \cdot \pi r^2 i \cdot m / L^3$ . Die anderen Kraftkomponenten heben sich auf. Der Strom wirkt also (20) wie ein Magnet vom Moment  $\pi r^2 i$ ; q. e. d.

2. Drehmoment auf einen geschlossenen Strom. Die Windungsfläche  $f$  einer vom Strome  $i$  durchflossenen drehbaren Spule<sup>m</sup> in einem Magnetfelde, dessen Stärke senkrecht zur Drehaxe  $= H$  ist, bilde den Winkel  $\varphi$  mit der Richtung von  $H$ . Dann ist das Drehmoment  $= i f H \cos \varphi$ .

$fH \sin \varphi$  ist gleich der Anzahl magn. Kraftlinien, die durch die Stromfläche hindurchtreten.

3. Magn. Feld einer Stromspule. Eine gleichmäßig mit  $n$  Windungen auf jeder Längeneinheit bewickelte cylindrische Spule mit dem Strom  $i$  wirkt nach außen genau wie die Belegungen der beiden Endflächen mit freiem Magnetismus von der Flächendichte  $ni$ ; vgl. oben 1. Im Innern einer im Verhältnis zum Durchmesser langen Spule entsteht auf einer von den Enden hinreichend abstehenden Strecke ein homogenes magnetisches Feld von der Stärke  $4\pi ni$ . Näheres s. 114I.

Beweis. Das erste folgt aus dem Ersatz der Einzelströme nach Nr. 1 durch magnetische Belegungen. Indem man nämlich  $a$  gleich dem Abstände der Windungen wählt, neutralisieren sich die Wirkungen benachbarter Windungen bis auf die beiden übrigbleibenden äußersten Belegungen.  $a$  ist  $=1/n$ , also die Flächendichte  $=i/a=ni$ , q.e.d. — Die Feldstärke im Innern folgt, wenn man die Spule in zwei, links und rechts von dem betrachteten Querschnitt gelegene Teile zerschnitten denkt. Ein Punkt des Querschnitts befindet sich dann zwischen zwei Polflächen von der Flächendichte  $\rho = \pm ni$ , also ist die Feldstärke nach 21a gleich  $4\pi\rho$  oder  $4\pi ni$ .

4. Magn. Feld um einen Strom. Um einen einzelnen Stromleiter laufen geschlossene Kraftlinien. Ein langer gerader Strom  $i$  bewirkt ein zirkulares Feld, dessen Stärke in einem Punkte, der den Abstand  $r$  vom Drahte und einen gegen  $r$  großen Abstand von den Drahtenden hat,  $=2i/r$  ist. Einem geschlossenen Umlauf eines magn. Einheitspols um den Strom entspricht die Arbeit  $4\pi i$ . Dasselbe gilt für den Umlauf um irgend eine einzelne Strombahn eines geschlossenen Leitersystems.

„Praktische“ Einheit<sup>1)</sup>. 1 Ampere  $= 0,1 \text{ cm}^{1/2} \text{ gr}^{1/2} \text{ sec}^{-1} = 3,00 \cdot 10^9$  elektrostatische CGS oder 1,118 mg/sec Silber oder  $1/96500 = 1,036 \cdot 10^{-5}$  gr-Äquiv./sec.

1) Neben der CGS-Einheit eine 10mal kleinere einzuführen war un Zweckmäßig. Bei elektromagnetischen Beziehungen führt diese Durchbrechung des Maßsystems zu großen Unbequemlichkeiten, so daß man hier besser, anstatt nach  $\mathcal{A}$ , nach der Weber'schen CGS-Einheit rechnet, ein Weg, den die wissenschaftliche Elektrotechnik meist einschlägt.

Man kann voraussehen, daß früher oder später der Wunsch auftreten wird, die CGS-Einheit der Stromstärke überall durchzuführen. Damit würde dann, des Ohm'schen Gesetzes wegen, eine gleichzeitige Änderung entweder der Widerstands- oder der Spannungseinheit verbunden werden müssen. Die erstere zehnmal zu verkleinern wäre unbequem; die E. Kraft dagegen nach einer zehnmal größeren Einheit als das Volt zu rechnen, würde mehr Vorteile als Nachteile gewähren. Die Einheiten der Kapazität und Selbstinduktion ändern sich dabei nicht.

Wegen der Schwierigkeit einer genauen absoluten Strommessung ist der gesetzlichen Definition des Ampere die durch die Zahl 1,118 mg/sec Silber ausgedrückte chemische Stromwirkung zugrunde gelegt worden.

**25. Elektrizitätsmenge, elektromagn. gemessen**  $q = [l^{1/2} m^{1/2}]$ . Als Einheit gilt die von dem Strome Eins in der Zeiteinheit durch einen Querschnitt der Leitung beförderte Menge; [ $\text{cm}^{1/2} \text{gr}^{1/2} = 3,00 \cdot 10^{10}$  el.-st. CGS].

„Praktische“ Einheit ist die bei dem Strome 1 A in 1 sec durch einen Querschnitt der Leitung fließende El.-Menge. Sie heißt Amperesekunde oder Coulomb und entspricht also 0,1 CGS oder 1/96500 gr-Äquiv. Mithin 1 Coul. =  $3,00 \cdot 10^9$  el.-st. CGS.

Verhältnis der elektrostat. zur elektromagn. Einheit der El.-Menge (Weber u. R. Kohlrausch).  $3,00 \cdot 10^{10}$  el.-stat. CGS sind gleich einer elektromagnetischen CGS. Die Dimensionen stehen im Verhältnis  $v = [l^{3/2} m^{1/2} t^{-1}] : [l^{1/2} m^{1/2}] = [l/t]$ . Nach der Maxwell'schen elektromagn. Theorie des Lichtes ist dieses Verhältnis  $v$  gleich der Lichtgeschwindigkeit. Vgl. 116 a.

Zwei el.-mg. Einheiten bewirken also aus 1 cm Abstand die gegenseitige Kraft  $v^2 = 9 \cdot 10^{20}$  CGS oder Dynen =  $9,18 \cdot 10^{17}$  gr-Gew.

**26. Elektromotorische Kraft oder Spannung oder Potentialunterschied, elektromagnetisch gemessen**  $E = [l^{3/2} m^{1/2} t^{-2}]$ . Verschiedene Definitionen der Einheit s. unten. [ $\text{cm}^{3/2} \text{gr}^{1/2} / \text{sec}^2 = 10^{-8} \text{V} = 1 / (3,00 \cdot 10^{10})$  oder  $3,33 \cdot 10^{-11}$  el.-stat. CGS-Potentialeinheiten].

Auch im el.-magn. System nennt man Potential die Größe, deren Gefälle oder negativer Differentialquotient nach einer Richtung (vgl. Nr. 15) an einem Orte die daselbst auf eine El.-Menge Eins nach jener Richtung ausgeübte Kraft darstellt. Es folgt hieraus sofort, daß die el.-magn. gemessene CGS-Potentialeinheit  $3 \cdot 10^{10}$  mal kleiner ist, als die el.-stat. gemessene, denn die Krafteinheit soll dieselbe bleiben, die Einheit der El.-Menge aber ist (vgl. Nr. 25)  $3 \cdot 10^{10}$  mal größer.

Den Potentialunterschied zwischen zwei Punkten, z. B. in einem Stromkreise, nennt man die zwischen den Punkten stattfindende Spannung. — Ein zu beiden Seiten der Berührungsstelle verschiedener Leiter bestehender Potentialunterschied heißt elektromotorische Kraft daselbst. — E. K. eines galvanischen Elements nennt man die, im ungeschlossenen Zustande zwischen seinen Polen bestehende, aus den E. Kräften an den einzelnen Grenzflächen resultierende Spannung.

Anderer Art, nämlich über eine Strecke der Leitung verteilt, sind die durch Magnetismus induzierten E. Kräfte, aus denen die obige Einheit z. B. folgendermaßen definiert werden kann.

a) In einem magn. Felde von der Stärke 1 CGS werde ein gerader, zur Feldrichtung senkrechter Leiter mit der Geschwindigkeit 1 cm/sec senkrecht zu sich selbst und zur Feldrichtung bewegt. Die hierdurch in jedem cm des Leiters induzierte E. Kraft ist die el.-magn. CGS-Einheit.

Das zugrunde liegende Gesetz lautet: In einem magn. Felde  $H$  (21) erfährt ein gerader, zur Feldrichtung senkrechter Leiter von der Länge  $l$ , wenn er senkrecht zu sich selbst und zur Feldrichtung mit der Geschwindigkeit  $u$  verschoben wird, eine induzierte E. K.  $E = lHu$ .

Die E. Kraft stellt sich also hier dar als Länge  $\times$  magn. Feldstärke  $\times$  Geschwindigkeit  $= l \cdot t^{-1/2} m^{1/2} t^{-1} \cdot l t^{-1} = l^{3/2} m^{1/2} t^{-2}$ .

Bewegt man z. B. an einem Orte des mittleren Deutschlands, wo die gesamte erdmagn. Intensität  $= 0,45$  CGS ist, einen senkrecht zur Inklinationsrichtung gehaltenen geraden Draht von 1 m Länge mit der Geschwindigkeit 1 m/sec senkrecht zu sich und zu  $H$ , so wird die E. K.  $= 100 \cdot 0,45 \cdot 100 = 4500$  CGS  $= 45$  Mikrovolt induziert.

b) Statt des obigen kann man allgemeiner sagen: Bei der Wechselbewegung von Magnetismus und einem Leiter wird in diesem die E. K. Eins induziert, wenn er in der Zeiteinheit eine Kraftlinie schneidet.

c) Eine mit den vorigen identische Definition der E. K. läßt sich aus der Arbeitsleistung ableiten. Einheit ist nämlich die E. K., welche, wenn sie den Strom Eins hervorbringt, in der Zeiteinheit die Einheit der Arbeit verrichtet, z. B. in einem Drahte (welcher alsdann nach Nr. 29 den Widerstand Eins haben muß) die der Arbeitseinheit äquivalente Wärmemenge erzeugt. Vgl. 30.

„Praktische“ Einheit<sup>1)</sup>. 1 Volt  $= 10^8$  CGS.

1 el.-st. CGS-Potentialeinheit  $= 300 \text{ V}$ ; 1 Daniell etwa  $1,1 \text{ V}$ ; 1 Bunsen etwa  $= 1,9 \text{ V}$ ; 1 Akkumulator  $= 2,0 \text{ V}$ .

### Gesetze der Magnetoinduktion.

Dieselbe Einheit der E. K. liegt den folgenden Formen des Induktionsgesetzes zugrunde.

I. Nach Neumann. Ein beliebig gestalteter Leitungsdraht werde in einem magn. Felde bewegt, welches nicht homogen zu sein braucht, also etwa von beliebigen benachbarten Magneten oder Strömen erzeugt sein kann — oder es werde ein Magnet usw. in der Nachbarschaft eines ruhenden Leiters bewegt. Die Geschwindigkeit im einen oder anderen Falle sei  $= u$ .

Um die hierdurch induzierte E. K. zu erhalten, denke man ihn von der Stromeinheit durchflossen. Dann werden von dem Felde auf den Strom Eins oder von dem Strome Eins auf den Magnet mechanische („ponderomotorische“) Kräfte ausgeübt, und  $p$  sei in irgend einem Augenblicke deren Komponenten-Summe nach der Bewegungsrichtung. Die in diesem Augenblicke induzierte E. K. beträgt dann  $pu$ .

Im Falle drehender Bewegung ist für  $p$  das Drehmoment in der Drehungsebene und für  $u$  die Winkelgeschwindigkeit zu setzen.

II. Aus den geschnittenen Kraftlinien; vgl. 21a. Für viele Fälle übersichtlich ist das Gesetz in folgender Form: Wird ein Leiter in einem

1) Gesetzlich ist das Volt definiert als die E. K., welche in einem Leiter von 1  $\text{O}$  Widerstand (29) den Strom 1  $\text{A}$  erzeugt.

magn. Felde bewegt (oder auch ein Magnet usw. in der Nähe eines Leiters), so ist die E. K. gleich der Anzahl (Vorzeichen!) von Kraftlinien, die der Leiter in der Zeiteinheit schneidet; bei einem geschlossenen Leiter gleich der Änderung (Vorzeichen!) der ihn durchsetzenden Kraftlinienzahl in der Zeiteinheit.

III. Induktion durch ruhenden veränderlichen Magnetismus. Magnetismus, der in der Nähe eines Leiters entsteht (bez. verschwindet), erzeugt denselben Integralwert von E. K., wie wenn er aus großer Entfernung auf irgend einem Wege an seinen Ort bewegt würde (bez. umgekehrt). — Für einen geschlossenen Leiter ist dieser Integralwert gleich dem Zuwachs (bez. der Abnahme) der Zahl der Kraftlinien, welche die Fläche durchsetzen; vgl. oben. Bei mehrfachen Windungen sind alle Flächen zu rechnen (immer die Vorzeichen beachten!).

Gedrehte Spule im magn. Felde; Erdinduktor (111; 116). Das Feld sei homogen. Wir denken uns die Windungen auf eine zur Feldrichtung senkrechte Ebene projiziert. Die Summe  $f$  der Flächenprojektionen ändere in irgend einem Augenblick ihre Größe um den kleinen Betrag  $df$  in der kleinen Zeit  $dt$ . Dann ist die in diesem Augenblick induzierte E. K.  $E$  gleich der Feldstärke  $H$  multipliziert mit der Geschwindigkeit  $df/dt$  der Flächenänderung;  $E = Hdf/dt$ . — Wird der Multiplikator aus einer zur Richtung von  $H$  senkrechten Anfangsstellung um  $180^\circ$  gedreht, so beträgt der Integralwert  $\int E dt = 2fH$ . Daß  $2fH$  die Anzahl der von den Windungen hierbei geschnittenen Kraftlinien ist, sieht man sofort. — Die Sätze gelten auch, wenn die Drehaxe nicht zur Feldrichtung senkrecht steht, falls man als  $H$  die größte Feldkomponente in der Drehungsebene nimmt, also für eine vertikale Axe die Horizontalkomponente des Feldes.

Die Sätze sind in dem allgemeineren Satz enthalten: Ein geschlossener ebener Leiter von der Windungsfläche  $f$  werde in einem magn. Felde bewegt (welches nicht homogen zu sein braucht).  $H_1$  und  $H_2$  seien die Komponenten der Feldstärke senkrecht zur Windungsfläche (Vorzeichen!) zu Anfang und am Schluß der Bewegung. Dann ist der Integralwert  $\int E dt = f(H_1 - H_2)$ . — Wird also die Spule aus einer Stellung senkrecht zur Richtung eines Feldes  $H$  aus diesem herausgezogen, so ist  $\int E dt = fH$ . — Alle diese Sätze ergeben sich leicht aus dem Neumann'schen Induktionsgesetz oder aus dem Satz von den Kraftlinien, I u. II vor. S.

Über das Dämpfungsgesetz schwingender Spulen oder Magnete s. 108.

Magnetinduktor (112). In eine gegen ihren Durchmesser lange Spule von  $n$  Windungen auf der Längeneinheit werde aus großer Entfernung ein Magnet vom Moment  $M$  eingeschoben, so daß er sich schließlich der Spulenaxe parallel in der Spule hinreichend weit von ihren Enden (114 I) befindet (bez. er werde aus dieser Lage herausgezogen). Oder auch es entstehe (bez. verschwinde) innerhalb der Spule das magn. Moment  $M$ . Dann ist  $\int E dt = 4\pi n M$ .

Man kann diesen Satz aus der Form I des Induktionsgesetzes vor. S. leicht beweisen, wenn man berücksichtigt, daß der eine Pol  $m$  des

Magnets vom Moment  $M = m l$  in der Spule einen um  $l$  längeren Weg zurücklegt als der andere, und daß zweitens die vom Strome Eins im Innern der Spule auf den Pol  $m$  ausgeübte Kraft  $= 4\pi n \cdot m$  sein würde (Vgl. 24,3).

**26 a. Magn. Induktionsfluß (Kraftlinienfluß)  $\mathfrak{H} = [l^{3/2} m^{1/2} t^{-1}]$ .**  
Vgl. 20 a bis 22 b;  $[cm^{3/2} gr^{1/2} sec^{-1} = \text{magnet. Einheitskraftlinie} = 1 \text{ „Maxwell“}]$ .

$\mathfrak{H}$  ist die Gesamtzahl der Kraftlinien im Querschnitt. — Der Ind.-Fluß durch einen zur Feldrichtung senkrechten Querschnitt  $f$  in einem magn. Felde  $\mathfrak{H}$  ist somit  $= f \mathfrak{H}$ . In einem langen oder ringförmig geschlossenen Eisenstabe vom Querschnitt  $f$  mit dem Magn.-Koeffizienten  $\kappa$  oder der Permeabilität  $\mu$ , der durch die magn. Intensität  $\mathfrak{H}$  zur Magnetisierung  $\mathfrak{I}$  (20 a) erregt wird, beträgt er  $\mathfrak{H} = (\mathfrak{H} + 4\pi \mathfrak{I}) f = (1 + 4\pi \kappa) \mathfrak{H} f = \mu \mathfrak{H} f = \mathfrak{G} f$ ; vgl. 115 II u. 22 a. —  $\mathfrak{H}$  gibt zugleich das E. Kraft-Integral, welches während des Entstehens oder Verschwindens des Feldes und der Magnetisierung in einer den Stab dicht umgebenden Windung induziert wird.

**27. Kapazität, elektromagnetisch gemessen  $c = [l^{-1} t^2]$ .** Die Einheit der Kap. besitzt ein Leiter, der die El.-Menge Eins (25) enthält, wenn er zum Potential Eins oder von der E. K. Eins (26) geladen ist, während die Leiter der Umgebung das Potential Null haben. Vgl. 16 u. 17;  $[sec^2/cm = 9 \cdot 10^{20} \text{ el.-stat. Kap.-Einh.} = 10^9 \text{ Farad} = 10^{15} \text{ Mikrofarad}]$

Da hier die Einheit für die El.-Menge  $3 \cdot 10^{10}$  mal größer, die des Potentials  $3 \cdot 10^{10}$  mal kleiner ist als im elektrost. System, so wird die Einheit der Kapazität jetzt  $9 \cdot 10^{20}$  mal größer als dort. Ein Luftkondensator von 0,1 cm Plattenabstand, der die Kapazität von 1 el.-magn. CGS hätte, müßte also nach 132 I 3 eine Fläche haben  $f = 4\pi \cdot 0,1 \cdot 9 \cdot 10^{20} = 113 \cdot 10^{19} \text{ qcm} = 113 \cdot 10^9 \text{ qkm}$ , etwa 220 mal die Erdoberfläche.

Praktische Einheit. Die Kap. eines Kondensators, der durch die El.-Menge 1 Amperesekunde oder 1 Coulomb zur Spannung 1 V geladen wird, ist 1 Farad.

1 Farad  $= 10^{-9} [cm^{-1} sec^2]$  el.-magn. oder  $= 9 \cdot 10^{11} [cm]$  el.-stat. CGS.  
1 Mikrofarad  $= 10^{-6}$  Far.

**28. Induktions-Koeffizient oder elektrodynamisches Potential  $L = [l]$ .** Die Einheit ist in einem Leiter gegeben, in dem durch die Änderungsgeschwindigkeit Eins eines Stromes die E. K. Eins induziert wird;  $[cm = 10^{-9} \text{ Quadrant oder Henry}]$ .

$L di/dt$  gibt die Größe der durch die Änderungsgeschwindigkeit  $di/dt$  induzierten E. K., mithin  $L i$  das durch Entstehen oder Verschwinden des Stromes  $i$  bewirkte E. K.-Integral. Der induzierende Strom kann in dem Leiter selbst oder in einem benachbarten Leiter fließen; „Selbstind.- und gegenseit. Ind.-Koeff.“ Lehrsätze u. Formeln in 117 I u. 118 I.

Entstehungszeit eines Stromes. Wird eine konstante E. K.  $E$  durch einen Leiter vom Widerstande  $w$  und vom Selbstpot.  $L$  zur Zeit Null geschlossen, so ist zur Zeit  $t$  die Stromstärke  $i = E/w \cdot (1 - e^{-w/L \cdot t})$  (Helmholtz).  $L/w$  heißt Verzögerungskonstante.

Folgt aus  $w i + L di/dt = E$ .

Vgl. auch Kondensatorentladungen 125 I 1.

Die dem Ohm-Ampere-Volt-System entsprechende Einheit ist der Quadrant oder das Henry  $= 10^9$  [cm].

**29. Leitungswiderstand, elektromagn. gemessen**  $w = [lt^{-1}]$ . Der Widerstand des Leiters ist Eins, in welchem die elektromotorische Kraft Eins den Strom Eins erzeugt; [cm/sec  $= 1,11 \cdot 10^{-21}$  el.-stat. CGS  $= 10^{-9} \Theta$ ].

Widerstand = E. K./Strom  $= [l^{3/2} m^{1/2} t^{-2}] / [l^{1/2} m^{1/2} t^{-1}] = [l/t]$ , q. e. d. Der Widerstand erscheint also gleichbedeutend mit einer Geschwindigkeit und läßt sich in der Tat durch eine solche darstellen. Z. B. ist der Widerstand eines geradlinigen Drahtes von der Längeneinheit gegeben durch die Geschwindigkeit, mit der man ihn in einem magnetischen Felde Eins unter den S. 682 beschriebenen Verhältnissen bewegen muß, damit in ihm der Strom Eins entstände, wenn die Enden durch einen widerstandslosen Leiter (auf welchen natürlich keine Induktion stattfinden dürfte) mit einander verbunden wären.

Praktische Einheit. 1 Ohm  $= 10^9$  cm/sec  $= \frac{1}{900} 10^{-9}$  el.-stat. CGS  $= 1 \sqrt{\text{V/A}}$ ; gesetzlich als internat. Ohm  $= 1,0630$  m/mm<sup>2</sup> Hg 0°  $= 1,063$  Siem.-E.

**29a. Spezifischer Widerstand**  $\sigma = [l^2 t^{-1}]$ ; spez. Leitvermögen (Leitfähigkeit)  $\kappa = 1/\sigma = [l^{-2} t]$ . Die Einheit dieser Eigenschaften besitzt ein Leiter, der als Säule von der Länge und dem Querschnitte Eins den Widerstand Eins hat.

Quecksilber von 0° hat nach 29 als 1 cm lange Säule vom Querschnitt 1 cm<sup>2</sup> den Widerstand 94070 CGS. Diese Zahl gibt also seinen sp. Wid., und seine Leitföh. ist  $= 1/94070 = 1,063 \cdot 10^{-5}$  in CGS-Einh. Rechnet man den Wid. in  $\Theta$ , so ist der sp. Wid. von Hg 0°  $= 0,9407 \cdot 10^{-4}$  cm  $\cdot \Theta$ .

**30. Stromleistung**  $A = [l^2 m t^{-3}]$ . Die Einheit wird geleistet durch den Strom Eins im Widerstande Eins, oder auch durch die E. K. Eins, wenn sie den Strom Eins erzeugt; [cm<sup>2</sup> gr sec<sup>-3</sup>  $= 1$  Erg/sec  $= 10^{-7}$  Watt  $= 1,020 \cdot 10^{-8}$  Meterkilogrammgleichgewicht/sec  $= 1,36 \cdot 10^{-10}$  Pferdestärke  $= 2,388 \cdot 10^{-8}$  gr-Kal/sec].

Die Leistung ist allgemein  $A = E i$ ; sie ist  $= i^2 w$ , sobald sie ausschließlich in der Überwindung des Leitungswiderstandes besteht, also z. B. keine Elektrolyse, elektromagnetische Arbeit oder Induktion auf einen anderen Leiter vorliegt.

Die Stromarbeit in der Zeit  $t$  ist  $Q = Eit$ , oder mit obiger Einschränkung  $= i^2 wt$ . Dieser Satz gilt sowohl für das elektrostatische wie das elektromagnetische System. Daß das Produkt E. K. (Potential)  $\times$  Stromstärke  $\times$  Zeit in beiden Fällen die Dimension  $l^2 mt^{-2}$ , d. h. die einer Arbeit hat, ist S. 665 gezeigt worden. — Nennt man die Wärmemenge Eins, welche der Arbeitseinheit äquivalent ist, so ist  $Q$  auch die entwickelte Stromwärme (Clausius, W. Thomson).

Ableitung. Der obige Satz folgt z. B. aus den Gesetzen der Induktion in einem bewegten metallischen Leiter (S. 683) und der Erhaltung der Energie. Denn in einem geschlossenen, in einem Magnetfelde bewegten Leiter wird ein Strom induziert, auf den nun durch das Magnetfeld eine mechanische („ponderomotorische“) Kraft ausgeübt wird, die stets der wirklich ausgeführten Bewegung entgegenwirkt. Man verrichtet also durch diese Bewegung eine Arbeit, und deren Größe wird durch das Produkt aus dem Weg in die widerstehende Kraft gemessen. Nun ist der Weg = Geschwindigkeit  $\times$  Bewegungsdauer  $= ut$ ; die Kraft ist jedenfalls der Stärke  $i$  des induzierten Stromes proportional. Wir können also die Kraft  $= p \cdot i$  setzen und die verrichtete mechanische Arbeit  $= p \cdot iut$ .

Der Faktor  $p$  bedeutet die Kraft, die unter den gegebenen Verhältnissen auf unseren Leiter ausgeübt werden würde, wenn er vom Strome Eins durchflossen würde. Somit bedeutet nach dem Induktionsgesetz (I, S. 683)  $pu$  die bei dem Vorgang induzierte E. K.  $E$ . Es ist also  $p iut = Eit$ . Nach dem vorigen heißt dies: wenn wir einen Leiter so bewegen, daß durch Magnet-Induktion in ihm die E. K.  $E$  und der Strom  $i$  entsteht, so verrichten wir während der Zeit  $t$  die mechanische Arbeit  $Eit$  (oder  $i^2 wt$ ).

Da nun nach ausgeführter Bewegung als Wirkung dieser Arbeit in einem metallischen Leiter nur die durch den Strom im Leiter entwickelte Wärmemenge  $Q$  vorhanden ist, so folgt aus dem Gesetze der Gleichheit von Wärme und Arbeit, daß  $Eit$  (oder  $i^2 wt$ ) eben diese in Arbeitseinheiten gemessene Wärmemenge darstellt, in welche die mechanische Arbeit durch Vermittelung des Stromes umgesetzt worden ist.

Unmittelbar aber ist die in dem Leiter entwickelte Wärme doch nur eine innere Wirkung des Stromes, und so haben wir in  $i^2 wt$  oder  $Eit$  die Wärmemenge gegeben, die ein Strom  $i$  entwickelt, wenn er einen Leiter vom Widerstande  $w$  durchfließt, oder wenn er von der E. K.  $E$  hervor gebracht wird; mit anderen Worten  $i^2 wt$  oder  $Eit$  ist die von dem Strome verrichtete innere Arbeit.

Praktische Einheit der Stromleistung; 1 Watt  $= 1 \text{ V} \times 1 \text{ A} = 10^7$  CGS; 1 Wattsekunde oder 1 Joule  $= 10^7$  Erg.

Stromerzeugung durch chemische Prozesse; galvanische Elemente. Der Verbrauch von 1 gr-Äqu. im Element gibt (vgl. Nr. 23) die Strommenge  $it = 9650$  CGS, also bei der E. K.  $E$  die el. Arbeit (einschließlich der Stromwärme)  $Eit = 9650 E$  Erg. Würde die in Erg ausgedrückte also, wenn sie in gr-Kal. gemessen war, mit  $4,188 \cdot 10^7$  multiplizierte; 9 a).

Wärmeentwicklung  $Q$ , die dem chemischen Prozeß im Element pro gr-Äquivalent entspricht, ganz in elektrische Energie umgesetzt, so würde demnach die E. K.  $E = Q/9650 \text{ CGS} = Q/(9650 \cdot 10^8) \text{ V}$  sein müssen.

Beim Daniell-Element trifft dies nahe zu. Nach J. Thomsen gibt nämlich die gleichzeitige Auflösung von 1 gr-Äqu. Zn zu  $\text{ZnSO}_4$  und Abscheidung von Cu aus  $\text{CuSO}_4$  die Wärmetönung 25060 gr-Kal; also  $Q = 25060 \cdot 41900000 = 105 \cdot 10^{10} \text{ Erg}$ . Folglich ist  $Q/9650 = 1,09 \cdot 10^8$ . Die E. K. andererseits beträgt etwa  $E = 1,1 \text{ V} = 1,1 \cdot 10^8 \text{ CGS}$ , hat somit nahe den berechneten Wert. Ähnliches gilt vom Weston'schen Cadmium-Quecksilber-Element. — Bei den meisten Elementen aber, z. B. beim Clark-Element Zink-Quecksilber ist die E. K. kleiner als die aus der Wärmetönung berechnete.

Temperatureinfluß auf die E. K. eines Elements. Für ein „umkehrbares“ Element, d. h. ein Element, in welchem der Wechsel der Stromrichtung den chemischen Prozeß umkehrt (z. B. Cu-Zn mit  $\text{CuSO}_4$  und  $\text{ZnSO}_4$ , oder die „Normalelemente“ Hg-Zn bez. Hg-Cd mit  $\text{Hg}_2\text{SO}_4$  und  $\text{ZnSO}_4$  bez.  $\text{CdSO}_4$ ) gilt nach einer auf den zweiten Hauptsatz (S. 670) gegründeten Ableitung von Helmholtz die folgende Beziehung. Es seien  $E$  bez.  $E + dE$  die E. Kräfte des Elements bei den abs. Temperaturen  $T$  bez.  $T + dT$ ;  $Q$  habe die oben angegebene Bedeutung. Dann ist der Temp.-Koeffizient der E. K.  $dE/dT = 1/T \cdot (E - Q/9650)$ .

Die Temperatur ist mithin ohne Einfluß, wenn die E. K. genau der chemischen Wärmetönung entspricht. Nach dem vorigen haben also das Daniell- und das Weston-Element sehr kleine Temp.-Koeffizienten. Die meisten anderen, z. B. das Clark-Element, müssen, weil bei ihnen  $E < Q/9650$  ist, eine mit wachsender Temperatur abnehmende E. K. zeigen.

Über eine allg. Theorie der Berechnung E. Kräfte aus thermischen Größen vgl. Nernst, Sitz. Ber. Berl. Ak. 1909, 247.

**Stromwärme.** Der Strom  $1 \text{ cm}^{1/2} \text{ gr}^{1/2} \text{ sec}^{-1}$  im Widerstande  $1 \text{ } \Omega = 10^9 \text{ cm sec}^{-1}$  verrichtet in 1 sec die Arbeit  $10^9 \text{ cm}^2 \text{ gr sec}^{-2}$  oder Erg; er entwickelt folglich  $10^9 \cdot 2,388 \cdot 10^{-8} = 23,88$  Wasser-gr-Kal (vgl. Nr. 9 a). Nach dem Ausdruck  $Q = i^2 w t$ , und da  $1 \text{ } \Omega = 0,1 \text{ CGS}$  ist, entwickelt also der Strom  $1 \text{ } \Omega$  in  $w \text{ } \Omega$  während  $t \text{ sec}$  die Wärmemenge  $0,2388 i^2 w t \text{ gr-Kal}$ .

Oder: Die E. Kraft  $1 \text{ V} = 10^8 \text{ cm}^{3/2} \text{ gr}^{1/2} \text{ sec}^{-2}$  bringe (im Wid.  $1 \text{ } \Omega$ ) den Strom  $1 \text{ } \Omega = 0,1 \text{ cm}^{1/2} \text{ gr}^{1/2} \text{ sec}^{-1}$  hervor, erzeuge also in 1 sec die Arbeit  $10^7 \text{ cm}^2 \text{ gr sec}^{-2} = 10^7 \text{ Erg}$ . Diese entspricht einer Wärmeentwicklung von  $10^7 \cdot 2,388 \cdot 10^{-8} = 0,2388 \text{ gr-Kal}$ .

Es ist also 1 Wattsekunde oder Joule = 0,2388 gr-Kal; 1 Wattstunde = 860 gr-Kal. Eine 16 kerzige Kohlefadenlampe verbraucht etwa 50 Watt, entwickelt demnach  $50 \cdot 0,239 = 12 \text{ gr-Kal/sec}$ .

Übersicht: 1 Watt =  $10^7 \text{ Erg/sec} = 0,1020$  Kilogrammgewichtmeter/sec = 0,00136 Pferdestärke = 0,2388 gr-Kal/sec.

Die Weber'schen Einheiten des elektrischen Stromes lassen sich nach dem vorigen auf zwei Wegen ableiten. Die ursprünglichen Definitionen benutzen die Gesetze der elektromagnetischen Kraftwirkung und der Magnetoinduktion und bestimmen 1) als Stromeinheit den Strom, der unter normalen Verhältnissen elektromagnetisch die Einheit der Kraft ausübt oder erleidet; 2) als elektromotorische Kraft Eins die E. K., welche in einem Stromleiter durch die Einheit magnetoelektrischer Beeinflussung induziert wird. 3) Die Widerstandseinheit wird nach dem Ohm'schen Gesetz als der Widerstand eines Leiters definiert, in dem die E. K. Eins die Stromeinheit erzeugt.

Von den beiden ersten, auf die Wechselbeziehungen zwischen Elektrizität und Magnetismus gegründeten Definitionen genügt aber eine einzige, wenn man auf einem der folgenden Wege in die Grundlagen des Maßsystems die Stromleistung einführt.

Einerseits kann man davon ausgehen, die Stromeinheit nach Weber elektromagnetisch festzulegen. Daran anschließend läßt sich als zweite Einheit entweder die Einheit der E. K. definieren als die E. K., welche, wenn sie den Strom Eins erzeugt, die Einheit der Leistung verrichtet; oder aber die Widerstandseinheit als der Widerstand, dessen Überwindung für den Strom Eins die Leistung Eins bedingt.

Andrerseits kann man von der, oben auf die Magnetoinduktion gegründeten Einheit der E. K. ausgehen und daran als zweite Einheit entweder den Strom anschließen, durch dessen Erzeugung, oder den Widerstand, durch dessen Überwindung die E. K. Eins die Einheit der Arbeitsleistung verrichtet.

Den Abschluß bildet jedesmal die Zurückführung der dritten Einheit auf das Ohm'sche Gesetz. Das entstehende Maßsystem ist in allen Fällen das gleiche.

## Tabellen.

1. Reduktion einer mit Messinggewichten (Dichte = 8,4) in Luft (Dicht. = 0,00120) ausgeführten Wägung auf den leeren Raum.

s	k	s	k	s	k
0,7	+ 1,57	2,0	+ 0,457	8	+ 0,007
0,8	1,36	2,5	0,337	9	- 0,010
0,9	1,19	3,0	0,257	10	- 0,023
1,0	1,06	3,5	0,200	11	- 0,034
1,1	0,95	4,0	0,157	12	- 0,043
1,2	0,86	4,5	0,124	13	- 0,051
1,3	0,78	5,0	0,097	14	- 0,057
1,4	0,71	5,5	0,075	15	- 0,063
1,5	0,66	6,0	0,057	16	- 0,068
1,6	0,61	6,5	0,042	17	- 0,072
1,7	0,56	7,0	0,029	18	- 0,076
1,8	0,52	7,5	0,017	19	- 0,080
1,9	0,49	8,0	+ 0,007	20	- 0,083
2,0	+ 0,46			21	- 0,086

$$k = 1,20 \left( \frac{1}{s} - \frac{1}{8,4} \right).$$

Wiegt ein Körper von der Dichtigkeit  $s$  in der Luft  $m$  Gramm, so sind  $mk$  Milligramm hinzuzufügen, um die Wägung auf den leeren Raum zu reduzieren. Vgl. 13.

## 2. Dichte

(Gase s. Tab. 12a; Flüssigkeiten auch Tab. 11 u. 12b).

Aluminium	2,7	Konstantan	8,8	KCl	1,98
Antimon	6,6	Kork	0,2	KNO <sub>3</sub>	2,09
Barium	3,7	Kupfer	8,9	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	2,65
Blei	11,3	Lithium	0,53	KOH	2,0
Braunstein	5,0	Magnesium	1,7	NaCl	2,15
Bronze	8,7	Mangan	7,4	NaNO <sub>3</sub>	2,24
Cadmium	8,6	Manganin	8,4	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , 10H <sub>2</sub> O	1,46
Calcium	1,5	Messing	8,1—8,6	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> , 10H <sub>2</sub> O	1,46
Caesium	2,4	Natrium	0,98	BaCl <sub>2</sub>	3,85
Chrom	6,5	Neusilber	8,5	SrCl <sub>2</sub>	3,05
Eis	0,917	Nickel	8,8	NH <sub>4</sub> Cl	1,52
Eisen, Schmiede-	7,8	Osmium	22,5	AgCl	5,55
Guß-	7,1—7,7	Palladium	12,0	MgSO <sub>4</sub> , 7H <sub>2</sub> O	1,68
Draht	7,7	Platin	21,4	ZnSO <sub>4</sub> , 7H <sub>2</sub> O	2,01
Gußstahl	7,8	Quarz	2,65	CuSO <sub>4</sub> , 5H <sub>2</sub> O	2,27
Elfenbein	1,9	Quarzglas	2,20	Zucker C <sub>12</sub> H <sub>22</sub> O <sub>11</sub>	1,59
Glas (s. 8, 5)	2,4—2,6	Rhodium	12,4	Flüssigkeiten bei 18°.	
Flint-	3,0—5,9	Schwefel	2,0	CO <sub>2</sub> 0,8; NH <sub>3</sub> 0,6; SO <sub>2</sub> 1,4	
Gold	19,2	Silber	10,5	Äther C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> O	0,717
Gips	2,32	Tantal	16	Alkohol C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> O	0,7911
Hartkautschuk	1,2	Wachs	0,96	Bromoform CHBr <sub>3</sub>	2,86
Holz, Eben-	1,2	Wismut	9,8	Jodmethylen CH <sub>2</sub> J <sub>2</sub>	3,3
Buchen-	0,7	Wolfрам	18	Olivenöl	0,91
Eichen-	0,7	Zink	7,1	Petroleum	0,8
Tannen-	0,5	Zinn	7,3	Rizinusöl	0,96
Iridium	22,4			Quecksilber 18°	13,552
Kalium	0,87			„ 0°	13,596
Kalkspat	2,71				

### 3. Spezifisches Gewicht wässriger Lösungen bei 18°, bezogen auf Wasser von 4°.

%	KOH	KCl	KBr	KJ	KNO <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	%
0	0,999	0,9986	0,9986	0,9986	0,9986	0,9986	0,9986	0,999	0
5	1,045	1,0308	1,0350	1,0363	1,0305	1,0395	1,0442	1,035	5
10	1,091	1,0638	1,0732	1,0762	1,0632	1,0813	1,0910	1,072	10
15	1,139	1,0978	1,114	1,1200	1,097		1,140	1,109	15
20	1,188	1,1335	1,157	1,1679	1,133		1,191		20
25	1,238		1,204	1,218			1,244		25
30	1,290		1,254	1,273			1,299		30
35	1,344		1,307	1,332			1,356		35
40	1,400		1,365	1,397			1,415		40
45	1,45		1,429	1,468			1,477		45
50	1,51			1,545			1,541		50
55	1,57			1,630					55
60				1,731					60

%	NH <sub>3</sub>	NH <sub>4</sub> Cl	NaOH	NaCl	NaNO <sub>3</sub>	NaAc	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	LiCl	%
0	0,999	0,9986	0,9986	0,9986	0,9986	0,999	0,999	0,9986	0
5	0,978	1,0142	1,0545	1,0345	1,0327	1,025	1,051	1,0274	5
10	0,959	1,0289	1,1098	1,0711	1,0681	1,051	1,104	1,0563	10
15	0,941	1,0430	1,1650	1,1090	1,105	1,078	1,159	1,085	15
20	0,924	1,0571	1,2202	1,1485	1,144	1,105	1,179	1,115	20
25	0,908	1,0710	1,2751	1,1897	1,185	1,132		1,147	25
30	0,893		1,3290		1,227	1,160		1,181	30
35	0,879		1,3811		1,270			1,217	35
40			1,4314		1,314			1,255	40
45			1,4794		1,365				45
50			1,5268		1,42				50

%	BaCl <sub>2</sub>	SrCl <sub>2</sub>	CaCl <sub>2</sub>	MgCl <sub>2</sub>	MgSO <sub>4</sub>	ZnSO <sub>4</sub>	CdSO <sub>4</sub>	CuSO <sub>4</sub>	%
0	0,999	0,9986	0,999	0,999	0,999	0,999	0,9986	0,999	0
5	1,044	1,0443	1,041	1,042	1,050	1,051	1,0486	1,051	5
10	1,093	1,0932	1,085	1,086	1,104	1,107	1,1026	1,107	10
15	1,147	1,1456	1,131	1,130	1,160	1,167	1,1607	1,167	15
20	1,204	1,2023	1,179	1,176	1,220	1,232	1,2245	1,23*	20
25	1,268	1,256	1,230	1,225	1,283	1,305	1,2950	* über-	25
30		1,320	1,284	1,278		1,379	1,3725	sättigt	30
35			1,342	1,332			1,4575		35
40			1,400						40

%	AgNO <sub>3</sub>	PbAc <sub>2</sub>	HCl	HNO <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	Alkohol	Zucker	%
0	0,9986	0,999	0,9986	0,999	0,9986	0,999	0,9986	0,9986	0
5	1,0422	1,036	1,0236	1,027	1,0323	1,027	0,9898	1,0183	5
10	1,0893	1,075	1,0482	1,056	1,0669	1,054	0,9824	1,0386	10
15	1,1404	1,118	1,0734	1,086	1,1030	1,083	0,9760	1,0597	15
20	1,1958	1,163	1,0989	1,118	1,1406	1,114	0,9696	1,0815	20
25	1,2555	1,212	1,1248	1,151	1,1796	1,145	0,9628	1,1042	25
30	1,3213	1,265	1,1508	1,184	1,2199	1,179	0,9551	1,1277	30
35	1,3945	1,322	1,1757	1,217	1,2614	1,214	0,9463	1,1520	35
40	1,4773	1,386	1,199	1,250	1,3043	1,251	0,9367	1,1773	40
45	1,5705			1,283	1,349	1,290	0,9264	1,2034	45
50	1,6745			1,314	1,397	1,330	0,9155	1,2304	50
55	1,7895			1,344	1,447	1,373	0,9043	1,2584	55
60	1,9158			1,372	1,500	1,418	0,8928	1,2874	60
65				1,397	1,555	1,464	0,8811	1,3173	65
70				1,418	1,612	1,512	0,8693	1,3482*	70
75				1,438	1,671	1,562	0,8574	1,380*	75
80				1,457	1,729	1,615	0,8452	* über-	80
85				1,473	1,781	1,672	0,8327	sättigt	85
90				1,489	1,817		0,8197		90
95				1,50	1,836		0,8060		95
100				1,52	1,833		0,7911		100

Größtenteils nach Gerlach (ZS f. anal. Chem. 8, 279. 1869) und Kohlrausch (Pogg. Ann. 159, 257. 1876; Wied Ann. 6, 38. 1879); auch Bousfield u. Lowry, Carius, Lunge, Mendeléeff, Schiff, Normal-Eichungskommission. H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ausführlich Wiss. Abh. d. NEK 5. Heft 1904; ZS f. anorg. Ch. 43, 125. 1905. Die Haupttabelle daselbst bezieht sich auf Wasser von 15°!

Der Prozentgehalt bedeutet die in 100 Gewichtsteilen der Lösung enthaltenen Gewichtsteile der überschriebenen wasserfreien Verbindung.

### 3a. Ausdehnungskoeffizient wässriger Lösungen von 18°.

Größtenteils nach Gerlach, Forch, Plato. — Die Zahlen geben  $10^5 \cdot \frac{1}{v} \frac{dv}{dt}$ .

	0%	5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100%
KCl . . . .	19	24	29	40								
NaCl . . . .	19	25	30	40								
LiCl . . . .	19	20	22	25	27	30						
KNO <sub>3</sub> . . . .	19	26	32									
NaNO <sub>3</sub> . . . .	19	30	36									
LiNO <sub>3</sub> . . . .	19	26	32									
K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> . . . .	19	25	27									
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> . . . .	19	26	30									
MgSO <sub>4</sub> . . . .	19	23	27	29								
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> . . . .	19	30	40	58	70	75	79	85	92	104	107	103
Alkohol . . . .	19	18	23	42	64	79	86	92	98	103	107	104
Zucker . . . .	19	20	21	25	29	32	35	37	39			

## 3b. Wässrige Normallösungen von 1 gr-Äqu./Liter bei 18°.

Gehalt  $A$ ,  $p$ ; Dichte  $s$ ; Wärmeausdehnung  $-ds/dt$ ; Leitvermögen  $\kappa$  mit Temp.-Koeffizient  $+\left(\frac{1}{\kappa} \frac{d\kappa}{dt}\right)_{18}$ ; Überföhrzahl  $n$  des Anions.

$A$  Äquivalentgewicht ( $O = 16,00$ ) oder Konzentration in gr/liter. (Zu Grunde liegen die Atomgewichte für 1908.)

$p$  Prozentgehalt in 100 Gewichtsteilen der Lösung,

$s$ ,  $\kappa$ ,  $-ds/dt$  u.  $d\kappa/dt$  meist nach F. K. mit M. Maltby, v. Steinwehr, Grüneisen;  $-ds/dt$  auch nach Gerlach und Forch;  $n$  meist nach Hittorf.

	$A$	$p$	$s_{18/4}$	$-\frac{ds}{dt}_{18}$	$\kappa_{18} = 10^{-3} A_{18}$	$\frac{1}{\kappa} \frac{d\kappa}{dt}_{18}$	$n$
KOH.....	56,16	5,359	1,048	0,00030	0,184	0,0186	0,74
KCl.....	74,60	7,139	1,0449	27	,09826	193	0,51
KBr.....	119,11	11,01	1,0814	29	,103	190	0,51
KJ.....	166,00	14,841	1,1187	33	,1036	190	0,51
KSCN.....	97,25	9,300	1,0457		,916	192	(0,5)
KF.....	58,15	5,553	1,0472	25	,0760	—	(0,4)
KNO <sub>3</sub> .....	101,19	9,544	1,0602	33	,0805	200	0,49
KC <sub>2</sub> H <sub>3</sub> O <sub>2</sub> .....	98,17	9,378	1,0468		,0634	215	0,33
$\frac{1}{2}$ K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> .....	87,18	8,178	1,0660	29	,07159	205	0,50
$\frac{1}{2}$ K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> .....	69,15	6,538	1,0577	27	,0707	215	0,43
$\frac{1}{2}$ K <sub>2</sub> C <sub>2</sub> O <sub>4</sub> .....	83,15	7,861	1,0577	29	,0737	205	(0,45)
NH <sub>4</sub> Cl.....	53,52	5,271	1,0153	24	,0970	194	0,51
NaOH.....	40,06	3,844	1,0418	31	,1575	199	0,83
NaCl.....	58,50	5,629	1,0392	28	,07435	212	0,64
NaNO <sub>3</sub> .....	85,09	8,070	1,0544	35	,0659	215	0,61
NaC <sub>2</sub> H <sub>3</sub> O <sub>2</sub> .....	82,05	7,897	1,040	22	,0412	250	0,42
$\frac{1}{2}$ Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> .....	71,08	6,703	1,0604	31	,0508	236	0,64
$\frac{1}{2}$ Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> .....	53,07	5,044	1,0515	29	,0455	246	0,55
LiCl.....	42,48	4,157	1,0226	22	,06336	220	0,74
LiNO <sub>3</sub> .....	69,07	6,651	1,0385	28	,0608	—	(0,7)
$\frac{1}{2}$ Li <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> .....	55,06	5,271	1,0446	24	,04135	230	(0,7)
$\frac{1}{2}$ BaCl <sub>2</sub> .....	104,15	9,563	1,0891	31	,0701	205	0,64
$\frac{1}{2}$ SrCl <sub>2</sub> .....	79,26	7,426	1,0674	28	,0685	207	0,65
$\frac{1}{2}$ Sr(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> .....	105,84	9,783	1,0819	33	,0521	220	(0,64)
$\frac{1}{2}$ CaCl <sub>2</sub> .....	55,50	5,319	1,0435	25	,0675	213	0,67
$\frac{1}{2}$ Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> .....	82,09	7,754	1,0587	32	,0559	215	0,63
$\frac{1}{2}$ MgCl <sub>2</sub> .....	47,63	4,589	1,0379	23	,0615	217	0,71
$\frac{1}{2}$ MgSO <sub>4</sub> .....	60,21	5,694	1,0574	26	,02891	225	0,7
$\frac{1}{2}$ CdSO <sub>4</sub> .....	104,23	9,501	1,0970	28	,0236	204	(0,7)
$\frac{1}{2}$ ZnCl <sub>2</sub> .....	68,15	6,442	1,0578		,055	22	(0,7)
$\frac{1}{2}$ ZnSO <sub>4</sub> .....	80,73	7,481	1,0791	27	,02621	218	0,68
$\frac{1}{2}$ CuSO <sub>4</sub> .....	79,83	7,407	1,0777	28	,02577	216	0,70
AgNO <sub>3</sub> .....	169,97	14,91	1,140		,0676	210	0,50
$\frac{1}{2}$ Pb(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> .....	165,5	14,53	1,1393		,0420	250	
HCl.....	36,46	3,587	1,0165		,300	159	0,17
HNO <sub>3</sub> .....	63,05	6,107	1,0325	31	,299	151	0,17
$\frac{1}{2}$ H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> .....	49,04	4,758	1,0307	30	,197	120	0,17
Zucker.....	342,2	30,30	1,1294	34			

## 4. Dichte des Wassers

für die Temperatur  $t$  des Wasserst.-Therm.  
(Thiesen, Scheel u. Diesselhorst, Wiss. Abh.  
der P. T. Reichsanst. III, 68. 1900; Chappuis,  
Trav. et Mém. Bur. int. 13, D. 30. 1907)

und

Volumen  $V$  eines Glasgefäßes bei  $18^{\circ}$ ,  
welches bei  $t^{\circ}$  mit Messinggewichten in  
Luft von der Dichtigkeit 0,00120 gewogen,  
scheinbar 1 gr Wasser faßt, in ccm.

Ausd.-Koeff. des Glases =  $\frac{1}{40000}$  gesetzt.

$t$	Dichte	Differenz	Glas- Volumen $V$	Diffe- renz
0 <sup>0</sup>	0,999 868		1,001 64	
1	0,999 927	+ 59	1,001 56	- 8
2	0,999 968	+ 41	1,001 49	- 7
3	0,999 992	+ 24	1,001 44	- 5
4	1,000 000	+ 08	1,001 41	- 3
		- 08		- 2
5	0,999 992	- 24	1,001 39	
6	0,999 968	- 39	1,001 39	+ 1
7	0,999 929	- 53	1,001 40	+ 3
8	0,999 876	- 67	1,001 43	+ 4
9	0,999 809	- 81	1,001 47	+ 6
10	0,999 728	- 95	1,001 53	+ 7
11	0,999 633	- 108	1,001 60	+ 8
12	0,999 525	- 121	1,001 68	+ 10
13	0,999 404	- 133	1,001 78	+ 11
14	0,999 271	- 145	1,001 89	+ 12
15	0,999 126	- 156	1,002 01	+ 13
16	0,998 970	- 168	1,002 14	+ 15
17	0,998 802	- 179	1,002 29	+ 15
18	0,998 623	- 190	1,002 44	+ 17
19	0,998 433	- 201	1,002 61	+ 17
20	0,998 232	- 211	1,002 78	+ 19
21	0,998 021	- 222	1,002 97	+ 20
22	0,997 799	- 232	1,003 17	+ 21
23	0,997 567	- 241	1,003 38	+ 22
24	0,997 326	- 252	1,003 60	+ 23
25	0,997 074	- 261	1,003 83	+ 23
26	0,996 813	- 271	1,004 06	+ 25
27	0,996 542	- 280	1,004 31	+ 26
28	0,996 262	- 289	1,004 57	+ 27
29	0,995 973	- 297	1,004 84	+ 27
30	0,995 676		1,005 11	

5. Spezifisches Volumen  
des Wassers,

Volum von 1 gr in ccm für  
Temperaturen des Wasser-  
stoffthermometers.

(Von 40 bis 102<sup>o</sup> nach Thiesen,  
oberhalb 102<sup>o</sup> von Pfandler  
nach Hirn, Ramsay u. Young  
und Waterston berechnet.)

Temp.	Volumen	Zunahme auf 1 <sup>o</sup> .
0 <sup>0</sup>	1,000 13	
4	1,000 00	
10	1,000 27	0,000 12
15	1,000 87	0,000 18
20	1,001 77	0,000 23
25	1,002 94	0,000 28
30	1,004 35	0,000 33
35	1,005 98	0,000 37
40	1,007 82	0,000 41
45	1,009 85	0,000 44
50	1,012 07	0,000 48
55	1,014 48	0,000 51
60	1,017 05	0,000 55
65	1,019 79	0,000 58
70	1,022 70	0,000 61
75	1,025 76	0,000 65
80	1,028 99	0,000 68
85	1,032 37	0,000 71
90	1,035 90	0,000 74
95	1,039 59	0,000 76
99	1,042 65	0,000 78
100	1,043 43	0,000 79
101	1,044 22	0,000 79
102	1,045 01	
110 <sup>o</sup>	1,051	180 <sup>o</sup> 1,128
120	1,060	190 1,143
130	1,069	200 1,159
140	1,079	210 1,177
15 <sup>o</sup>	1,090	220 1,195
160	1,102	230 1,215
170	1,114	240 1,236
		250 <sup>o</sup> 1,26
		260 1,28
		270 1,30
		280 1,34
		290 1,38
		300 1,42
		310 1,46

## 6. Spezifisches Gewicht der trockenen Luft,

bezogen auf Wasser von 4°,

bei  $t^\circ$  und dem Drucke  $H$  mm Quecksilber von  $0^\circ$  unter  $45^\circ$  Breite, berechnet als (18)  $\frac{0,0012932}{1 + 0,00367t} \frac{H}{760}$ .

Die Zahlen gelten für Zimmerluft vom Volumgehalt  $\frac{6}{10000}$  an Kohlen- säure; sie ändern sich auf  $\pm \frac{1}{10000}$  des Gehaltes um  $\pm \frac{1}{19000}$  ihres Wertes. — In mittlerer geogr. Breite ändern sie sich auf  $\pm 1^\circ$  Abweichung von  $45^\circ$  um  $\pm \frac{1}{11000}$  ihres Wertes. (Die Tab. kann somit auch als für  $\text{CO}_2$ -freie Luft unter  $48,5^\circ$  geogr. Br. gültig aufgefaßt werden.)

Bestandteile der atm. Luft (vgl. Ramsay, Proc. R. S. (A) 80, 599. 1908):

	Sauerst.	Stickst.	Argon	Krypton	Xenon	Neon	Helium	$\text{CO}_2$
n. Vol. . . .	21,0	78,05	0,95			0,00123	0,00040	0,03
n. Gew. . . .	23,2	75,5	1,3	0,028	0,005	0,00086	0,000056	0,046

$t$	$H$ in mm									P. P.	
	700	710	720	730	740	750	760	770	780		
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	17	
$0^\circ$	1191	1208	1225	1242	1259	1276	1293	1310	1327	mm	
1	1187	1204	1221	1238	1255	1272	1288	1305	1322	1	2
2	1182	1199	1216	1233	1250	1267	1284	1301	1318	2	3
3	1178	1195	1212	1229	1245	1262	1279	1296	1313	3	5
4	1174	1191	1207	1224	1231	1258	1274	1291	1308	4	7
										5	8
5	1170	1186	1203	1220	1236	1253	1270	1287	1303	6	10
6	1165	1182	1199	1215	1232	1249	1265	1282	1299	7	12
7	1161	1178	1194	1211	1228	1244	1261	1277	1294	8	14
8	1157	1174	1190	1207	1223	1240	1256	1273	1289	9	15
9	1153	1169	1186	1202	1219	1235	1252	1268	1285	16	
10	1149	1165	1182	1198	1215	1231	1247	1264	1280	mm	
11	1145	1161	1178	1194	1210	1227	1243	1259	1276	1	2
12	1141	1157	1173	1190	1206	1222	1239	1255	1271	2	3
13	1137	1153	1169	1186	1202	1218	1234	1251	1267	3	4
14	1133	1149	1165	1181	1198	1214	1230	1246	1262	4	6
										5	8
15	1129	1145	1161	1177	1193	1210	1226	1242	1258	6	10
16	1125	1141	1157	1173	1189	1205	1221	1238	1254	7	11
17	1121	1137	1153	1169	1185	1201	1217	1233	1249	8	13
18	1117	1133	1149	1165	1181	1197	1213	1229	1245	9	14
19	1113	1129	1145	1161	1177	1193	1209	1225	1241	15	
20	1110	1126	1141	1157	1173	1189	1205	1221	1236	mm	
21	1106	1122	1137	1153	1169	1185	1201	1216	1232	1	1
22	1102	1118	1134	1149	1165	1181	1197	1212	1228	2	3
23	1098	1114	1130	1145	1161	1177	1193	1208	1224	3	4
24	1095	1110	1126	1142	1157	1173	1189	1204	1220	4	6
										5	7
25	1091	1107	1122	1138	1153	1169	1185	1200	1216	6	9
26	1087	1103	1118	1134	1149	1165	1181	1196	1212	7	10
27	1084	1099	1115	1130	1146	1161	1177	1192	1208	8	12
28	1080	1096	1111	1126	1142	1157	1173	1188	1204	9	13
29	1077	1092	1107	1123	1138	1153	1169	1184	1200		
30	1073	1088	1104	1119	1134	1150	1165	1180	1196		

## 7. Reduktion eines Gasvolumens auf 0° und 760 mm.

Volumen  $v$  und Dichtigkeit  $s$  eines Gases, bei der Temperatur  $t$  und dem Drucke  $H$  gemessen, werden für 0° und 760 mm, wenn  $\alpha = 0,00367$  ist,

$$v_0 = \frac{v}{1 + \alpha t} \cdot \frac{H}{760} \quad \text{und} \quad s_0 = s(1 + \alpha t) \frac{760}{H}.$$

$t$	$1 + \alpha t$	$t$	$1 + \alpha t$	$t$	$1 + \alpha t$	$H$	$H/760$	$H$	$H/760$
0°	1,0000	40°	1,1468	80°	1,2936	mm		mm	
1	1,0037	41	1,1505	81	1,2973	700	0,9211	740	0,9737
2	1,0073	42	1,1541	82	1,3009	701	0,9224	741	0,9750
3	1,0110	43	1,1578	83	1,3046	702	0,9237	742	0,9763
4	1,0147	44	1,1615	84	1,3083	703	0,9250	743	0,9776
5	1,0183	45	1,1651	85	1,3119	704	0,9263	744	0,9789
6	1,0220	46	1,1688	86	1,3156	705	0,9276	745	0,9803
7	1,0257	47	1,1725	87	1,3193	706	0,9289	746	0,9816
8	1,0294	48	1,1762	88	1,3230	707	0,9303	747	0,9829
9	1,0330	49	1,1798	89	1,3266	708	0,9316	748	0,9842
10	1,0367	50	1,1835	90	1,3303	709	0,9329	749	0,9855
11	1,0404	51	1,1872	91	1,3340	710	0,9342	750	0,9868
12	1,0440	52	1,1908	92	1,3376	711	0,9355	751	0,9882
13	1,0477	53	1,1945	93	1,3413	712	0,9368	752	0,9895
14	1,0514	54	1,1982	94	1,3450	713	0,9382	753	0,9908
15	1,0550	55	1,2018	95	1,3486	714	0,9395	754	0,9921
16	1,0587	56	1,2055	96	1,3523	715	0,9408	755	0,9934
17	1,0624	57	1,2092	97	1,3560	716	0,9421	756	0,9947
18	1,0661	58	1,2129	98	1,3597	717	0,9434	757	0,9961
19	1,0697	59	1,2165	99	1,3633	718	0,9447	758	0,9974
20	1,0734	60	1,2202	100	1,3670	719	0,9461	759	0,9987
21	1,0771	61	1,2239	101	1,3707	720	0,9474	760	1,0000
22	1,0807	62	1,2275	102	1,3743	721	0,9487	761	1,0013
23	1,0844	63	1,2312	103	1,3780	722	0,9500	762	1,0026
24	1,0881	64	1,2349	104	1,3817	723	0,9513	763	1,0039
25	1,0917	65	1,2385	105	1,3853	724	0,9526	764	1,0053
26	1,0954	66	1,2422	106	1,3890	725	0,9539	765	1,0066
27	1,0991	67	1,2459	107	1,3927	726	0,9553	766	1,0079
28	1,1028	68	1,2496	108	1,3964	727	0,9566	767	1,0092
29	1,1064	69	1,2532	109	1,4000	728	0,9579	768	1,0105
30	1,1101	70	1,2569	110	1,4037	729	0,9592	769	1,0118
31	1,1138	71	1,2606	111	1,4074	730	0,9605	770	1,0132
32	1,1174	72	1,2642	112	1,4110	731	0,9618	771	1,0145
33	1,1211	73	1,2679	113	1,4147	732	0,9632	772	1,0158
34	1,1248	74	1,2716	114	1,4184	733	0,9645	773	1,0171
35	1,1284	75	1,2752	115	1,4220	734	0,9658	774	1,0184
36	1,1321	76	1,2789	116	1,4257	735	0,9671	775	1,0197
37	1,1358	77	1,2826	117	1,4294	736	0,9684	776	1,0211
38	1,1395	78	1,2863	118	1,4331	737	0,9697	777	1,0224
39	1,1431	79	1,2899	119	1,4367	738	0,9711	778	1,0237
40	1,1468	80	1,2936	120	1,4404	739	0,9724	779	1,0250
						740	0,9737	780	1,0263

### 8. Reduktion der Barometerablesung auf 0°.

Von einem Barometerstande  $h$ , der bei  $t^0$  an einem bei 0° richtigen Maßstabe abgelesen wird, ist  $(0,000182 - \beta)ht$  abzuziehen. Der Ausdehnungskoeffizient  $\beta$  des Maßstabes ist in den Zahlen der Tabelle (für Messing) = 0,000019 angenommen. — Für einen Glas-Maßstab sind die Zahlen um 0,008  $t$  zu vergrößern; s. die letzte Spalte.

$t$	Abgelesener Stand $h$ in mm											0,008 $\times t$ mm
	680	690	700	710	720	730	740	750	760	770	780	
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	
1°	0,11	0,11	0,11	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,13	0,13	0,01
2	0,22	0,22	0,23	0,23	0,23	0,24	0,24	0,24	0,25	0,25	0,25	0,02
3	0,33	0,34	0,34	0,35	0,35	0,36	0,36	0,37	0,37	0,38	0,38	0,02
4	0,44	0,45	0,46	0,46	0,47	0,48	0,48	0,49	0,50	0,50	0,51	0,03
5	0,55	0,56	0,57	0,58	0,59	0,59	0,60	0,61	0,62	0,63	0,64	0,04
6	0,67	0,67	0,68	0,69	0,70	0,71	0,72	0,73	0,74	0,75	0,76	0,05
7	0,78	0,79	0,80	0,81	0,82	0,83	0,84	0,86	0,87	0,88	0,89	0,06
8	0,89	0,90	0,91	0,93	0,94	0,95	0,96	0,98	0,99	1,00	1,02	0,06
9	1,00	1,01	1,03	1,04	1,06	1,07	1,09	1,10	1,11	1,13	1,14	0,07
10	1,11	1,12	1,14	1,16	1,17	1,19	1,21	1,22	1,24	1,26	1,27	0,08
11	1,22	1,24	1,26	1,27	1,29	1,31	1,33	1,34	1,36	1,38	1,40	0,09
12	1,33	1,35	1,37	1,39	1,41	1,43	1,45	1,47	1,49	1,51	1,53	0,10
13	1,44	1,46	1,48	1,50	1,53	1,55	1,57	1,59	1,61	1,63	1,65	0,10
14	1,55	1,57	1,60	1,62	1,64	1,67	1,69	1,71	1,73	1,76	1,78	0,11
15	1,66	1,69	1,71	1,74	1,76	1,78	1,81	1,83	1,86	1,88	1,91	0,12
16	1,77	1,80	1,83	1,85	1,88	1,90	1,93	1,96	1,98	2,01	2,03	0,13
17	1,88	1,91	1,94	1,97	2,00	2,02	2,05	2,08	2,11	2,13	2,16	0,14
18	2,00	2,02	2,05	2,08	2,11	2,14	2,17	2,20	2,23	2,26	2,29	0,14
19	2,11	2,14	2,17	2,20	2,23	2,26	2,29	2,32	2,35	2,38	2,42	0,15
20	2,22	2,25	2,28	2,31	2,35	2,38	2,41	2,45	2,48	2,51	2,54	0,16
21	2,33	2,36	2,40	2,43	2,46	2,50	2,53	2,57	2,60	2,64	2,67	0,17
22	2,44	2,47	2,51	2,55	2,58	2,62	2,65	2,69	2,73	2,76	2,80	0,18
23	2,55	2,59	2,62	2,66	2,70	2,74	2,77	2,81	2,85	2,89	2,92	0,18
24	2,66	2,70	2,74	2,78	2,82	2,86	2,89	2,93	2,97	3,01	3,05	0,19
25	2,77	2,81	2,85	2,89	2,93	2,97	3,02	3,06	3,10	3,14	3,18	0,20
26	2,88	2,92	2,97	3,01	3,05	3,09	3,14	3,18	3,22	3,26	3,31	0,21
27	2,99	3,04	3,08	3,12	3,17	3,21	3,26	3,30	3,34	3,39	3,43	0,22
28	3,10	3,15	3,19	3,24	3,29	3,33	3,38	3,42	3,47	3,51	3,56	0,22
29	3,21	3,26	3,31	3,36	3,40	3,45	3,50	3,55	3,59	3,64	3,69	0,23
30	3,33	3,37	3,42	3,47	3,52	3,57	3,62	3,67	3,72	3,77	3,81	0,24

### 9. Mittlerer Barometerstand $b$ in der Höhe $H$ Meter über dem Meeresspiegel.

Die Lufttemperatur = 10° und  $b_0 = 760$  mm angenommen. Vgl. 38.

$H =$	0	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000 m
$b =$	760	751	742	733	724	716	707	699	690	682	674 mm
$H =$	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600	1700	1800	1900	2000 m
$b =$	674	666	658	650	642	635	627	620	612	605	598 mm

### 10. Korrektion eines Thermometers auf das Gasthermometer.

Nach Chappuis, Thiesen, Scheel u. Sell, Wiebe u. Böttcher, Lemke vgl. Scheel, Wied. Ann. 58, 168. 1896; Grützmaker, ib. 68, 769. 1899.

Unter 100°: Korrektion des Luft- und der Quecksilber-Thermometer aus Glas XVI u. 59 sowie aus verre dur auf die Wasserstoffskale. Über 100°: Korr. auf das Luftthermometer; letzteres stets bei konst. Vol.

Die Zahlen korrigieren die Ablesungen an einem in sich richtigen Thermometer. — Vgl. S. 151, auch S. 160 die thermodynamische Skale.

Ables.	Luft auf Wasserstoff	Auf Wasserstoff			Ables.	Auf Luft		Ables.	Auf Luft XVI
		XVI	59	v. dur		XVI	59		
0°	±	±	±	±	100°	±	±	200°	—,04
5	—,002	—,03	—,01	—,03	105	+ ,01	—,00	205	—,07
10	—,003	—,06	—,02	—,05	110	+ ,03	—,00	210	—,11
15	—,004	—,08	—,03	—,07	115	+ ,04	—,01	215	—,16
20	—,005	—,09	—,04	—,08	120	+ ,05	—,02	220	—,21
25	—,006	—,10	—,04	—,10	125	+ ,06	—,03	225	—,26
30	—,007	—,11	—,04	—,10	130	+ ,07	—,04	230	—,33
35	—,007	—,12	—,04	—,11	135	+ ,08	—,06	235	—,39
40	—,008	—,12	—,03	—,11	140	+ ,09	—,08	240	—,47
45	—,008	—,12	—,03	—,11	145	+ ,10	—,10	245	—,55
50	—,008	—,12	—,03	—,10	150	+ ,10	—,13	250	—,63
55	—,008	—,11	—,02	—,10	155	+ ,10	—,16	255	—,73
60	—,007	—,10	—,02	—,09	160	+ ,10	—,19	260	—,83
65	—,007	—,09	—,01	—,08	165	+ ,09	—,23	265	—,93
70	—,006	—,08	—,01	—,07	170	+ ,08	—,28	270	—1,05
75	—,005	—,07	—,00	—,06	175	+ ,07	—,33	275	—1,17
80	—,004	—,06	—,00	—,05	180	+ ,06	—,39	280	—1,30
85	—,003	—,04	—,00	—,04	185	+ ,04	—,45	285	—1,44
90	—,002	—,03	—,00	—,03	190	+ ,02	—,52	290	—1,59
95	—,001	—,02	—,00	—,01	195	—,01	—,59	295	—1,74
100	±	±	±	±	200	—,04	—,67	300	—1,91

Unterhalb 0°  
(extrapoliert).

Ables.	XVI	59	v. dur	Ables.	XVI	59	v. dur
0°	±	±	±	—20°	+ ,19	+ ,10	+ ,17
— 5	+ ,04	+ ,02	+ ,03	—25	+ ,25	+ ,14	+ ,23
—10	+ ,08	+ ,04	+ ,07	—30	+ ,32	+ ,18	+ ,30
—15	+ ,13	+ ,07	+ ,12	—35	+ ,40	+ ,23	+ ,38
—20	+ ,19	+ ,10	+ ,17				

An Einschlußthermometern mit gewöhnlicher Milchglasskale, die sich nach oben frei ausdehnt, entsteht ferner aus der ungleichen Ausdehnung der Gläser die Korrektion (Wiebe u. Moeller, ZS f. Instr. 1908, 139):

	bei	50°	100	150	200	250	300	350	400°
für Glas XVI		—,003	±	+ ,01	+ ,02	+ ,04	+ ,07	+ ,10	+ ,14
„ „ 59		—,008	±	+ ,02	+ ,07	+ ,13	+ ,21	+ ,32	+ ,44

## II. Feste Körper: Wärmeausdehnung; Spezifische Wärme; Wärmeleitvermögen; Schmelzpunkt; Schmelzwärme. (Dichte s. Tab. 2.)

Verunreinigungen erniedrigen das Leitvermögen meistens erheblich.  
Geklammerte Zahlen bedeuten die Grenzen von Angaben verschiedener Beobachter.

	Ausd.-Koeff.		Spezif. Wärme um 18°	Wärmeleit. b. 18°		Schmelzpunkt (*, unscharf)	Schmelzwärme
	um 18°	zw. 0° u. 100°		gr-Kal	in Grad. cm. sec		
Aluminium . . . . .	0,0216	242	0,214	0,48		*657°	77
Antimon . . . . .	097	105	0,050	0,04		630	
Blei . . . . .	275	290	0,031	0,08		327	6
Cadmium . . . . .	286	316	0,055	0,22		321	14
Eisen . . . . .	11	12	0,105	,14 bis ,17		1500 bis 1600	etwa 30
Stahl . . . . .	10	11	0,114	,06 bis ,12		bis 1400	
Gußeisen . . . . .						1100 bis 1300	
Invar, 64 Fe, 36 Ni	< 02						
Gold . . . . .	138	147	0,031	0,70		1064	
Iridium . . . . .	065	067	0,032	0,34		2400	
Kobalt . . . . .	123	127	0,11			1500	
Konstantan . . . . .		152	0,098	0,054			
Kupfer . . . . .	161	171	0,091	0,90		1084	42
						1065 mit Luft	
Magnesium . . . . .	245	32	0,25	0,38		630	
Mangan . . . . .			0,12			1245	
Messing . . . . .	18	19	0,093	,15 bis ,30		etwa 900	
Neusilber . . . . .		18	0,095	,07 bis ,09		etwa 1000	
Nickel . . . . .	124	135	0,106	0,14		1470	
Palladium . . . . .	117	119	0,058	0,17		(1541) (1575)	36
Platin . . . . .	089	090	0,032	0,17		(1744) (1790)	27
Pt-Irid. (10% Ir)	087	088				1850	
Rhodium . . . . .	083	086	0,058	0,30		1900	
Schwefel . . . . .	6	9	,16 bis ,24			monoklin 119	10
Silber . . . . .	184	194	0,055	1,01		961	21
						*955 mit Luft	
Tantal . . . . .	079		0,036			2900	
Wismut . . . . .	128	137	0,029	0,019		269	13
Wolfram . . . . .						3000	
Zink . . . . .	286	297	0,092	0,27		419	28
Zinn . . . . .	213	230	0,052	0,15		232	13
Rose's Metall . . . . .			0,04	0,04		95	7
Wood's Metall . . . . .			0,04	0,03		65 bis 70	8
Berliner Porzellan	028	030				1550	
Glas, Jenaer XVI	078	080	0,19	0,0023			
"  "  59 . . . . .	058	059	0,19	0,0022			
Berg- kristall { ⊥ Axe . . . . .	137	144		<del>0,0001</del>			
"  "  "  " {    " . . . . .	074	080	0,190			*(1400) (1700)	
s. S. 170 ( verglast	004	0045	0,174				
		bis 1000°					
Holzfasern . . . . .	03 bis 09			0,0003			
Hartkautschuk . . . . .	8						
Kalkspat . . . . .	14 (kub.)		0,21				
KNO <sub>3</sub> . . . . .			0,23			335	48
NaNO <sub>3</sub> . . . . .			0,27			310	63
KCl . . . . .			0,17			775	
NaCl . . . . .			0,21			805	
K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> . . . . .			0,19			1060	

## 12. Flüssigkeiten:

Dichte; Wärmeausdehnung; Spez. Wärme; Schmelzpunkt  $t$ und Erniedrigung  $\Delta t$  durch Lösen von 1 gr-Mol. in 100 ccm.

	Dichte bei 18°	Ausd.- koeff. um 18°	Spez. Wärme um 18°	Schmelz- punkt $t$	$\Delta t$	Schmelz- wärme
		0,00				Kal
Aceton.....	0,79	131		-95°		
Äthylacetat ...	0,90	137				
Äthylalkohol ...	0,791	110	0,58	-110		
Äthyläther .....	0,717	163	0,56	-118		
Äthylbenzoat ...	1,06	091				
Äthylbromid ...	1,46	137	0,21	-125		
Äthyljodid .....		116	0,16			
Ameisensäure ...	1,22	099	0,53	+8,0	-2,8°	56
<i>i</i> -Amylacetat ...	0,88					
Amylalkohol ...	0,81	093	0,55	-117		
Amylbenzoat ...	1,01	085				
Anilin .....	1,02	085	0,50	-6		
Benzol .....	0,881	124	0,41	+5,5	-5,1	30
Bromoform .....	2,9			+7,6		
Chlorbenzol .....	1,1		0,32	-40		
Chloroform .....	1,493	126	0,23	-64		
Essigsäure .....	1,053	107	0,50	+16,6	-3,9	45
Glycerin .....	1,26	050	0,58	-20		
Jodmethylen ...	3,3			+5		
Methylacetat ..	0,93					
Methylalkohol ..	0,80	122	0,60	-95		
Methylbenzoat ..	1,10	090				
Methyljodid .....	2,3	121		+5		
Nitrobenzol .....	1,21	085	0,34	+5,7	-7,0	22
Olivenöl .....	0,91	072				
Petroleum .....	0,8	092	0,51			
Schw.-Kohlenst.	1,265	121	0,24	-113		
Terpentinöl ....	0,87	094	0,42			
Toluol .....	0,89	109	0,40	-100		
Wasser .....	0,999	018	0,999	0	-1,84°	80
<i>m</i> -Xylol .....	0,87	101	0,40	+13,2		39
Quecksilber .....		0181	0,0333	-38,8°		2,8
Phenol.....	1,08		0,56	+40,5°	7,5°	26
Naphtalin .....	1,14		0,31	+80,0	7,0	36
Benzophenon ...				+47,8	9,5	21
Stearinsäure....	1,0		0,40	+68	4,4	48
Diphenyl.....	1,16			+69,0		
Brombenzol .....	1,52					
Bromnaphtalin	1,50			+68		
Schwefel .....				+119		
Selen .....				+217		
Cadmium .....				+321		
Zink .....				+419°		

## 12 fortgesetzt.

Siedepunkt  $t_1$ ; Verdampfungswärme; Kritische Daten.Erhöhung des Siedepunkts:  $\delta t_1$  durch Druckzunahme um 1 mm Quecksilber und  $\Delta t_1$  durch Lösen von 1 gr-Mol. in 100 ccm.

	Siedepunkt $t_1$	$\delta t_1$	$\Delta t_1$	Verdampf.-Wärme	Krit. Temp.	Krit. Druck
						m Hg
$C_3H_5O$ . . . . .	56,7 <sup>0</sup>	+ ,039 <sup>0</sup>	+1,7 <sup>0</sup>	125	233 <sup>0</sup>	40
$C_4H_8O_2$ . . . . .	77,1		+2,5	88	250	29
$C_2H_5O$ . . . . .	78,3	+ ,034	+1,16	202	243	48
$C_4H_{10}O$ . . . . .	34,5		+2,1	90	194	27
$C_9H_{10}O_2$ . . . . .	213					
$C_2H_5Br$ . . . . .	38		+2,8	59	226	
$C_2H_5J$ . . . . .	73		+5,2	47	(281)	
$CH_2O_2$ . . . . .	101	+ ,048		120		
$C_7H_{14}O_2$ . . . . .	140					
$C_5H_{12}O$ . . . . .	130		+3,2	121	(348)	
$C_{12}H_{18}O_2$ . . . . .	260					
$C_6H_7N$ . . . . .	184,2	+ ,051	+3,2	104	426	40
$C_6H_6$ . . . . .	80,3	+ ,045	+2,7	94	288	36
$CHBr_3$ . . . . .	150,5					
$C_6H_5Cl$ . . . . .	131,8	+ ,049			360	34
$CHCl_3$ . . . . .	62		+3,6	58	260	42
$C_2H_4O_2$ . . . . .	118		+2,5	90	322	43
$C_3H_8O_3$ . . . . .	290					
$CH_3J_2$ . . . . .	181					
$C_3H_6O_2$ . . . . .	57,2		+2,1	97	234	35
$CH_4O$ . . . . .	65	+ ,037	+0,9	265	240	60
$C_8H_8O_2$ . . . . .	199,5					
$CH_3J$ . . . . .	43		+4,3	46		
$C_6H_5O_2N$ . . . . .	210		+5,0			
Olivenöl . . . . .						
Petroleum . . . . .						
$CS_2$ . . . . .	46,2	+ ,041	+2,4	85	273	55
$C_{10}H_{16}$ . . . . .	161			70	(376)	
$C_7H_8$ . . . . .	110,8			87	320	32
$H_2O$ . . . . .	100	+ ,037	+0,52 <sup>0</sup>	538	365	150
$C_8H_{10}$ . . . . .	138,5	,051		81	358 <sup>0</sup>	27
Hg . . . . .	357,0 <sup>0</sup>	,074 <sup>0</sup>		68		
$C_6H_6O$ . . . . .	183 <sup>0</sup>	+ ,050 <sup>0</sup>	+3,0 <sup>0</sup>		419 <sup>0</sup>	
$C_{10}H_8$ . . . . .	218,0	,059			468	30
$C_{13}H_{10}O$ . . . . .	306,1	,064				
$C_{18}H_{36}O_2$ . . . . .	370					
$C_{12}H_{16}$ . . . . .	255,4	+ ,061			496	24
$C_6H_5Br$ . . . . .	156,1	,051			397	34
$C_{10}H_7Br$ . . . . .	280,4	,061				
S . . . . .	445,0	+ ,091				
Se . . . . .	690	,10				
Cd . . . . .	778	,11				
Zn . . . . .	918	,12 <sup>0</sup>				
			Metallsiedepunkte s. noch Greenwood, Proc. R. S. 82, 408. 1909:			
			Fe 2450 Al 1800	362		
			Cu 2310 Pb 1525			
			Sn 2270 Sb 1140			
			Cr 2200 Bi 1420			
			Ag 1950 Mg 1120			
			Mn 1900			

## 12 a. Gase:

## Dichte; Wärmeausdehnung (Spannungskoeffizient); Spezifische Wärme; Kritische Daten.

Über die zugrundeliegenden Einzelbeobachtungen und Literatur siehe die im Vorwort angeführten Quellen. — Atomgewichte s. Tab. 42.

	Dichte			Spann- Koeff. 0—100° $p_0 = 1 \text{ m}$	Sp. Wärme 0—200° $c_p$	$c_p$ $c_v$	Krit. Temp.	Krit. Druck
	0°; 1 norm. Atm. Wasser = 1	Luft = 1	(s. S. 131) Sauerst. = 16					
	0,00			0,00				m Hg
Luft, CO <sub>2</sub> -frei	12928	1,0000	14,473	3674	0,238	1,40	—140°	30
Wasserstoff	008985	0,06950	1,006	3663	3,41	1,41	—241	15
Helium	0177	0,137	1,98	3662	1,25	1,66	—267	2
Stickstoff	12507	0,9674	14,002	3675			—149	21
Stickstoff, atm.	12567	0,9721	14,069		0,244	1,41		
Sauerstoff	14292	1,1056	16,000	3674 <sup>1)</sup>	0,220	1,40	—119	44
Fluor	169	1,31	18,9					
Chlor	32197	2,4905	36,046		0,121	1,32	+143 Unter	68
Neon	0890	0,688	9,96			1,66	—210	
Argon	17809	1,3776	19,938	3668 <sup>2)</sup>	0,124	1,66	—117	40
Krypton	3645	2,820	40,81			1,66	—63	41
Xenon	572	4,42	64,0			1,66	+15	43
Chlorwasserstoff	16398	1,2684	18,357		0,190	1,40	+52	64
Kohlenoxyd	12503	0,9671	13,997	3667 <sup>1)</sup>	0,243	1,41	—136	25
Kohlensäure	19768	1,5291	22,131	3726	0,218	1,30	+31	55
Acetylen	11759	0,9096	13,164			1,26	+36	50
Äthylen					0,404	1,24	+11	41
Methan	07168	0,5545	8,025		0,593	1,32	—82	42
Äthan	13567	1,0494	15,188	$p_0 =$ <sup>1)</sup> 760 <sup>2)</sup> 517		1,22	+32	37
Propan						1,14	+97	34
Äthylchlorid	2869	2,219	32,11			1,16	+183	40
Methylchlorid	23045	1,7825	25,799			1,24	+143	50
Ammoniak	07708	0,5962	8,629	3802	0,52	1,32	+132	83
Stickoxydul	19777	1,5298	22,140	368 <sup>1)</sup>	0,225	1,28	+37	59
Stickoxyd	13402	1,0367	15,003		0,232	1,40	—94	54
Schwefelwasserst.	15392	1,1906	17,231		0,243	1,26	+100	69
Schwefl. Säure	29266	2,2638	32,764	385 <sup>1)</sup>	0,154	1,25	+157°	59

## 12 a fortgesetzt.

Schmelzpunkt; Siedepunkt; Dichte als Flüssigkeit; Verdampfungswärme; Reibungskoeffizient (18°); Lichtbrechungsexponent (0°, 760 mm) aus Vakuum für Na-Licht; Dielektrizitätskonstante (0°); Magnetisierungskoeffizient; Absorption in Wasser.

	Schm.- punkt	Siede- punkt	Am atm. Siedep. Dichte Ver- als dampf- Flüss. Wärme	Reib- Koeff. 18° CGS	Brech- Exp. (Na)	Diel- Konst. 0°	Magn. Koeff. 10 <sup>3</sup> z	1 l Wasser löst b. 760 mm Druck ccm (0°; 760 mm) bei 0° bei 20°		
Luft	0	0		Kal	0,000	1,000				
H <sub>2</sub>		-193		(50)	185	292	0059	+29	29	19
He	-259	-252,6	0,06	123	090	139	0026	-0,5	21,1	18,1
N <sub>2</sub>		-268	0,15		198	034	0007	-11	15,0	13,9
N <sub>2</sub> „ atm.	210,5	-195,7	0,79	48	18	297		+1		
					18				23,5	15,4
O <sub>2</sub>	-227	-182,8	1,13	51	205	271		+142	48,9	31,0
F <sub>2</sub>	-223	-187	1,11			195				
Cl <sub>2</sub>	-102	-33,4	1,51	70	145	773		-0,6	4600	2300*
Ne		-243?				069				
Ar	-188	-186	1,21		225	283		-2	55	36
Kr	-169	-152	2,15			419				
X	-140	-109	3,52			682				
HCl	-113	-80			15	447		-0,3	500 000	440 000*
CO	-207	-190	0,79		18	335	0069	0	35,4	23,2
CO <sub>2</sub>	-57	-78,2	1,53 <sup>3</sup> * fest	142	150	451	0097	+0,2	1800	900*
C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	-81,5	-83,6	0,61			610			1730	1030
C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	-169	-105			10	72	014	-2	226	122
CH <sub>4</sub>	-186	-165	0,42		12	444	0095	-2	55,6	33,1
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	<153	-93				75			98,7	47,2
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	<190	-44,5								
C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> Cl					10	118	16			
CH <sub>3</sub> Cl		-24			11	87				
NH <sub>3</sub>	-78	-33,5	0,68	341	105	379	084	-4	1 200 000	700 000*
N <sub>2</sub> O	-103	-90			16	516	011	+2	1300	650
NO	-167	-150			185	294		+47	73,8	47,1
H <sub>2</sub> S	-85	-51,5			13	623			4500	2700
SO <sub>2</sub>	-76°	-10°	1,46	96	14	67	10		79800	39 400*

## 12b. Zusammensetzung der Flüssigkeit und des Dampfes siedender Gemische aus Stickstoff und Sauerstoff am Siedepunkte $t$ bei 1 Atm.

\*) Prozente nach Volumen im Gaszustande gemessen.

Stickstoff	$t =$	— 195,7 <sup>0</sup>	193,0	192,2	190,8	189,0	186,5	184,8	182,8 <sup>0</sup>
mit Sauerst.	$s =$	0,79	0,92	0,95	1,00	1,05	1,10	1,12	1,13
Proz.*	Flüss.	0	36	43	55	68	83	91	100
Sauerst.	Dampf	0	13	18	27	40	60	76	100

## 13. Gesättigter Wasserdampf.

Sättigungsdruck  $e$  in mm Quecksilber (unterhalb 0° über Eis), nach Juhlin, Marvin, Thiesen u. Scheel; oberhalb 30° nach Holborn u. Henning (Ann. d.

Ph. 26, 882. 1908), unterhalb 0° nach Scheel u. Heuse (ib. 29, 723. 1909).

Masse  $f$  eines Kubikmeters in Gramm.

$t$	$e$	$f_{\text{flüss}}$	$t$	$e$	$f_{\text{flüss}}$	$t$	$e$	$f_{\text{flüss}}$	$t$	$e$	$t$	$e$
	mm	gr cbm		mm	gr cbm		mm	gr cbm		mm		mm
—60	,007	,009	—30	0,29	0,34	0	4,6	4,8	30	31,6	60	149,2
—59	,009	,011	—29	0,32	0,38	1	4,9	5,2	31	33,5	61	156,2
—58	,010	,013	—28	0,35	0,41	2	5,3	5,6	32	35,5	62	163,6
—57	,012	,016	—27	0,39	0,46	3	5,7	6,0	33	37,6	63	171,2
—56	,014	,019	—26	0,43	0,51	4	6,1	6,4	34	39,7	64	179,1
—55	,016	,021	—25	0,48	0,56	5	6,5	6,8	35	42,0	65	187,4
—54	,018	,024	—24	0,53	0,62	6	7,0	7,3	36	44,4	66	195,9
—53	,020	,027	—23	0,59	0,68	7	7,5	7,8	37	46,9	67	204,8
—52	,023	,030	—22	0,65	0,75	8	8,0	8,3	38	49,5	68	214,0
—51	,026	,034	—21	0,71	0,82	9	8,6	8,8	39	52,3	69	223,6
—50	,030	,039	—20	0,78	0,89	10	9,2	9,4	40	55,1	70	233,5
—49	,034	,044	—19	0,86	0,98	11	9,8	10,0	41	58,1	71	243,8
—48	,038	,049	—18	0,95	1,08	12	10,5	10,7	42	61,3	72	254,5
—47	,043	,055	—17	1,04	1,18	13	11,2	11,3	43	64,6	73	265,6
—46	,048	,061	—16	1,14	1,28	14	11,9	12,0	44	68,1	74	277,1
—45	,053	,068	—15	1,25	1,40	15	12,7	12,8	45	71,7	75	289,0
—44	,060	,076	—14	1,37	1,53	16	13,6	13,6	46	75,4	76	301,3
—43	,068	,085	—13	1,50	1,66	17	14,5	14,4	47	79,4	77	314,0
—42	,076	,095	—12	1,64	1,81	18	15,4	15,3	48	83,5	78	327,2
—41	,085	,106	—11	1,80	1,98	19	16,4	16,2	49	87,8	79	340,9
—40	,096	,119	—10	1,96	2,15	20	17,4	17,2	50	92,3	80	355,1
—39	,108	,133	—9	2,14	2,34	21	18,5	18,2	51	97,0	81	369,7
—38	,120	,148	—8	2,34	2,55	22	19,7	19,3	52	101,9	82	384,9
—37	,135	,165	—7	2,55	2,77	23	20,9	20,4	53	107,0	83	400,5
—36	,151	,184	—6	2,78	3,01	24	22,2	21,6	54	112,3	84	416,7
—35	,168	,204	—5	3,02	3,26	25	23,5	22,9	55	117,9	85	433,5
—34	,188	,227	—4	3,29	3,53	26	25,0	24,2	56	123,6	86	450,8
—33	,209	,252	—3	3,58	3,83	27	26,5	25,6	57	129,6	87	468,6
—32	,233	,280	—2	3,89	4,15	28	28,1	27,0	58	135,9	88	487,1
—31	,259	,310	—1	4,22	4,48	29	29,8	28,5	59	142,4	89	506,1
—30	,288	,342	0	4,58	4,84	30	31,6	30,1	60	149,2	90	525,8

## 14. Sättigungsdruck des Wasserdampfes

zwischen 90 und 200° in mm Hg von 0° u. norm. Schwere; Holborn u. Henning, Ann. d. Ph. 26, 882. 1908. Oberhalb 200° s. Tab. 15.

	90°	91°	92°	93°	94°	95°	96°	97°	98°	99°	100°
,0	525,8	546,1	567,1	588,7	611,0	634,0	657,7	682,1	707,3	733,3	760,0
,1	27,8	48,1	69,2	90,9	13,3	36,3	60,1	84,6	09,8	35,9	62,7
,2	29,8	50,2	71,3	93,1	15,6	38,7	62,5	87,1	12,4	38,5	65,4
,3	31,8	52,3	73,5	95,3	17,9	41,0	64,9	89,6	15,0	41,2	68,2
,4	33,8	54,4	75,6	97,5	20,1	43,4	67,4	92,1	17,6	43,8	70,9
,5	35,8	56,4	77,8	99,7	22,4	45,8	69,8	94,6	20,2	46,5	73,7
,6	37,9	58,5	80,0	601,9	24,7	48,1	72,3	97,1	22,8	49,2	76,4
,7	39,9	60,6	82,1	04,2	27,0	50,5	74,7	699,7	25,4	51,9	79,2
,8	42,0	62,8	84,3	06,4	29,4	52,9	77,2	702,2	28,0	54,6	82,0
,9	44,0	64,9	86,5	08,7	31,7	55,3	79,2	04,7	30,6	57,3	84,8
1,0	546,1	567,1	588,7	611,0	634,0	657,7	682,1	707,3	733,3	760,0	787,5

	100°	110°	120°	130°	140°	150°	160°	170°	180°	190°
0	760,0	1075	1489	2026	2710	3569	4633	5937	7514	9404
1	787,5	111	537	087	787	665	752	6081	688	612
2	815,9	149	586	150	866	764	874	229	7866	9823
3	845,1	187	636	214	2948	865	4998	379	8046	10038
4	875,1	227	688	280	3031	3968	5124	533	230	256
5	906,1	268	741	348	115	4073	253	689	417	479
6	937,9	310	795	417	202	181	384	6848	608	705
7	970,6	353	850	487	291	290	518	7010	802	10934
8	1004,3	397	907	560	381	402	655	175	8999	11168
9	1038,8	442	1966	634	474	517	794	343	9200	406
10	1074,5	1489	2026	2710	3569	4633	5937	7514	9404	11647

14a. Siedetemperatur des Wassers bei dem Barometerstande  $b$ .  
Tabelle von Wiebe.

		$b$ in mm												
		680	690	700	710	720	730	740	750	760	770	780	790	
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
0	9	6,92	7,32	7,71	8,11	8,49	8,88	9,26	9,63	10	0,00	0,37	0,73	1,09
1		6,96	7,36	7,75	8,14	8,53	8,91	9,29	9,67		0,04	0,40	0,76	1,12
2		7,00	7,40	7,79	8,18	8,57	8,95	9,33	9,70		0,07	0,44	0,80	1,16
3		7,04	7,44	7,83	8,22	8,61	8,99	9,37	9,74		0,11	0,48	0,84	1,19
4		7,08	7,48	7,87	8,26	8,65	9,03	9,41	9,78		0,15	0,51	0,87	1,23
5		7,12	7,52	7,91	8,30	8,69	9,07	9,44	9,82		0,18	0,55	0,91	1,26
6		7,16	7,56	7,95	8,34	8,72	9,10	9,48	9,85		0,22	0,58	0,94	1,30
7		7,20	7,60	7,99	8,38	8,76	9,14	9,52	9,89		0,26	0,62	0,98	1,33
8		7,24	7,63	8,03	8,42	8,80	9,18	9,56	9,93		0,29	0,66	1,02	1,37
9		7,28	7,67	8,07	8,45	8,84	9,22	9,59	9,96		0,33	0,69	1,05	1,41
10		7,32	7,71	8,11	8,49	8,88	9,26	9,63	0,00		0,37	0,73	1,09	1,44

### 15. Sättigungsdruck von Gasen und Dämpfen.

CO<sub>2</sub> (von -60° abwärts fest): Amagat, Kuenen u. Robson, Zeleny u. Smith;

NH<sub>3</sub> (bei -80° fest): Brill, Davies, Regnault; SO<sub>2</sub>: Regnault.

H<sub>2</sub>O: ber. nach Cailletet, Ramsay; Hg: ber. von Laby (Ph. Mag. 16, 789.

1908) nach Cailletet, Collardeau u. Rivière, Callendar u. Griffiths, Gebhardt,

Hertz, Morley, Pfandler, Ramsay u. Young.

	CO <sub>2</sub>	NH <sub>3</sub>	SO <sub>2</sub>		Äthyl- Äther	Schwefel- Kohlenst.	Chloro- form	Methyl- Alkoh.	Äthyl- Alkoh.	Benzol	Chlor- benzol	Queck- silber
0	mm	mm	mm	0	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
-120	14			-20	66	47		6,3	3,3	6		
-110	43			-10	113	79		13,5	6,5	14		
-100	119			0	185	128		28	12,5	26	2,6	0,0004
-90	288			+20	440	298	160	91	44,1	75	8,8	0,0011
-80	657	35		+40	920	618	369	260	133,6	182	25,7	0,006
-70	1440	80		60	1740	1160	755	630	351	389	64,8	0,025
-60	3000	170		80	3000	2030	1408	1260	812	753	145	0,09
-50	5070	310		100	4900	3320	2430	2400	1690	1342	293	0,28
-40	7480	560	160	120	7600	5150	3930	4300	3220	2240	543	0,76
-30	10700	870	300	140	11100	7600	6000	7300	5670	3520	939	1,89
-20	14800	1390	480	160	15800		8700		9400	5280	1528	4,30
-10	19700	2150	760	180	21800				14800	7620	2367	8,91
0	26100	3170	1160	200					22200	10660	3518	17,8
+10	33600	4590	1720									
+20	42300	6430	2460									
30	53700	8760	3440									
40		11680	4670									
60		19500	8120									
80		30800	13700									
100		46000	21200									

Wasser (Tab. 14) u. Quecksilber, fortgesetzt								
	H <sub>2</sub> O		Hg		H <sub>2</sub> O		Hg	
0	mm	mm	0	mm	mm	0	mm	
200	11650	17,8	340	112000	559	600	16900	
220	17370	33,0	360	144000	806	650	26000	
240	25060	58	380	Krit.	1130	700	38000	
260	35100	98	400	Temp.	1570	750	55000	
280	47930	158	450	365°	3230	800	77000	
300	64000	249	500	—	6080	850	104000	
320	86400	378	550	—	10500			

### 16. Sättigungsdruck von Wasserstoff, Stickstoff und Sauerstoff.

Nach Fischer u. Alt, Olszewski, Travers.

Wasserstoff		Stickstoff				Sauerstoff			
	mm		mm		mm		mm		mm
-259°	60	-210°	90	-195°	800	-194°	198	-180°	1000
-258	114	-205	206	-190	1370	-191	298	-170	2470
-257	172	-202	308	-185	2170	-189	380	-160	4740
-256	250	-200	435	-180	3290	-187	484	-150	8340
-255	350	-198	566	-170	6720	-185	608	-140	15700
-254	470	-197	635	-160	12200	-184	680	-130	25200
-253	650	-196	720	-150	20000	-183	748	-120	38000

### 17. Löslichkeit in Wasser.

Als Bodenkörper gilt die bei der Temperatur stabile Kristallform.  
In 100 Gewichtsteilen Wasser sind im Sättigungszustande gelöst Gewichtsteile wasserfreien Salzes:

Bei der Temp. 0°			Bei der Temp. 0°				
	18°	100°		18°	100°		
KCl	28	34	57	CaCl <sub>2</sub>	50	71	155
KJ	128	142	209	CaSO <sub>4</sub>	0,18	0,202	0,17
KClO <sub>3</sub>	3	6,9	56	MgCl <sub>2</sub>	52	56	—
KNO <sub>3</sub>	13	29	250	MgSO <sub>4</sub>	27	35	74
K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	8	10,5	26	ZnCl <sub>2</sub>	210	360	610
K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	5	11	94	ZnSO <sub>4</sub>	43	51	95
K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	89	111	156	CdSO <sub>4</sub>	75	76	61
NH <sub>4</sub> Cl	28	36	73	CuSO <sub>4</sub>	18	23	75
NaCl	35,5	36,0	39,6	NiSO <sub>4</sub>	29	39	—
NaNO <sub>3</sub>	73	86	180	AgNO <sub>3</sub>	122	220	900
NaClO <sub>3</sub>	82	98	204	Pb(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	38	51	130
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	7	20	45	Hg <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	—	0,05	—
LiCl	64	79	130	BaSO <sub>4</sub>	0,0,17	0,0,23	—
Li <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	1,5	1,3	0,8	BaC <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	0,005	0,008	—
TiCl	—	0,304	—	CaC <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	0,0,40	0,0,55	—
BaCl <sub>2</sub>	31	35	59	AgCl	0,0,06	0,0,13	—
SrCl <sub>2</sub>	44	52	102	Rohrzucker	179	201	490

### 18. Kapillarkonstante $\alpha$ in mg-Gew./mm bei 18°.

9,81  $\alpha$  gibt die Kapillarkonstante in CGS.

Wasser	7,7	Glyzerin	6,6	Quecksilber	50
Methylalkohol	2,4	Olivenöl	3,3	Flüss. Luft — 190°	1,2
Äthylalkohol	2,0	Petroleum	3	„ O — 183°	1,3
Amylalkohol	2,4	Terpentinöl	2,7	„ N — 195°	0,85
Äthyläther	1,7	Schwefelsäure 10%	7,7	„ Cl — 72°	3,4
Benzol	3,0	„ 50%	8,3	„ SO <sub>2</sub> — 29°	3,4

### 18a. Kapillardepresion des Quecksilbers.

Interpoliert nach Mendeléeff und Gutkowsky. Vgl. aber S. 252.

Durchmesser	Höhe des Meniskus in mm							
	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8
mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
4	0,83	1,22	1,54	1,98	2,37			
5	0,47	0,65	0,86	1,19	1,45	1,80		
6	0,27	0,41	0,56	0,78	0,98	1,21	1,43	
7	0,18	0,28	0,40	0,53	0,67	0,82	0,97	1,13
8		0,20	0,29	0,38	0,46	0,56	0,65	0,77
9		0,15	0,21	0,28	0,33	0,40	0,46 <sup>1</sup>	0,52
10			0,15	0,20	0,25	0,29	0,33	0,37
11			0,10	0,14	0,18	0,21	0,24	0,27
12			0,07	0,10	0,13	0,15	0,18	0,19
13			0,04	0,07	0,10	0,12	0,13	0,14

19. Reibungskoeffizient  $[\eta]$  des Wassers in CGS,d. h. in Dyne·sec/cm<sup>2</sup>. Der R.-K. in gr-Gew. sec/cm<sup>2</sup> ist =  $[\eta]/981$ . $[\eta]_{20}$  nach Beobachtungen von Gartenmeister, Heydweiller, Noack, Pacher, Poiseuille, Slotte, Sprung, Thorpe u. Rodger; Temperaturgang auch nach Grotrian, O. E. Meyer, Wagner. Berechnet von Heydweiller.

$t$	$10^2[\eta]$	auf +1°	$t$	$10^2[\eta]$	auf +1°	$t$	$10^2[\eta]$	auf +1°	$t$	$10^2[\eta]$	auf +1°
0°	1797		19°	1029		30°	803		100°	284	
		-56	20	1004	-25	40	655	-15	110	256	-2,8
5	1518		21	980	-24	50	551	-10	120	232	-2,4
		-42	22	957	-23	60	470	-8,1	130	212	-2,0
10	1307		23	936	-21	70	407	-6,3	140	196	-1,6
		-33	24	915	-21	80	357	-5,0	150	184	-1,2
15	1140		25	895	-20	90	317	-4,0	160	174	-1,0
		-30			-18	100	284	-3,3			
16	1110										
17	1082										
18	1055		30	803							
19	1029										

19a. Zusammendrückbarkeit  $\kappa$  durch 1 Atm. (55b II) und Reibungskoeffizient  $[\eta]$  bei 18° und Änderung dieser Größen in der Nachbarschaft von 18° auf +1°.

\* bedeutet  $\kappa$  für kleine Drucke.

	$\kappa$	$10^6 \frac{dz}{dt}$	$[\eta]$	$10^4 \frac{d[\eta]}{dt}$
		0,000		
Wasser* . . .	049	-0,2	0,0106	-2,7
Methylalkoh.	12	+0,8	0,0064	-0,9
Äthylalkoh.*	120	+0,6	0,0130	-2,5
Amylalkoh. .	09	+0,6	0,05	-10
Äther* . . . .	184	+1,7	0,0026	-0,25
Benzol . . . .	090	+0,8	0,0066	-1,1
Schw.-Kohlenst.	090	+0,7	0,0038	-0,25
Glyzerin . . .	024		11	
Rizinusöl . .	047			
Quecksilber .	0039		0,0159	-0,5

19b. Zusammendrückbarkeit  $\kappa$  in Atm<sup>-1</sup> für Wasser und Äther als Funktion von Druck und Temperatur in Millionteln. Nach Amagat.

Zwischen	1 u. 50	50 100	100 200	200 300	300 400	400 500	500 1000	1000 2000	2000 3000	Atm.
Wasser 0°	52,0	50,5	49,2	48,0	46,6	45,5	41,6	34,1	27,6	
20	48,3	45,4	44,2	43,4	42,4	41,5	38,1	32,3	26,7	
40		44,9	42,9	41,4	40,7	40,4	37	32	26	
60		45,5	42,7	41,5	40,6	39,4	37			
80			43,6	42,2	40,8	38				
100		47,8	46,8	45,9	44,6	43,4	39			
198			80,0	76,3	72,5	67,7	61			
Äther 0°	147	133	121	109	99	89	71	50	35	
20	176	158	145	125	114	100	78	53	37	
40	208	203	170	148	129	115	89			
60		252	205	174	150	131	99			
80		315	254	204	172	149	110			
100		393	308	241	194	174	120			
198				565	393	299	187			

## 20. Elastizitätsmodul $E$ , Torsionsmodul $F$ , Poisson'sche Zahl $\mu$ , Kompressibilität $\kappa$ , Tragkraft $C$ , Schallgeschwindigkeit $u$ bei 18°.

Ferner Änderung  $\Delta$  von  $E$  und  $F$  mit der Temperatur von 0° auf 100°.

Die größeren  $E$  und  $F$  gelten i. allg. für reines, möglichst dichtes Material bei kleiner Deformation. Dünne gezogene Drähte können die Zahlen noch überschreiten. Weiches, geglühtes oder angelassenes Material hat häufig kleinere  $E$  und  $F$ . — Die Tragkraft gilt i. allg. für gezogenes Metall.

	$s$	El.-Mod. $E$	$\Delta E$	Tors.-M. $F$	$\Delta F$	$\mu$	$\kappa \cdot 10^6$	$C$	$u$
		$\frac{\text{kg-Gew.}}{\text{mm}^2}$	%	$\frac{\text{kg-Gew.}}{\text{mm}^2}$	%		$\frac{\text{cm}^2}{\text{kg-G.}}$	$\frac{\text{kg-G.}}{\text{mm}^2}$	$\frac{\text{m}}{\text{sec}}$
Aluminium	2,7	6300–7200	-20	2300–2700	-21	0,33	1,4	20–30	5000
Blei	11,3	1500–1700		550	-80	0,43	2,4	2	1300
Cadmium	8,6	5000–7000		2400	-50	0,3	2		2600
Eisen:									
Schmiede-	7,8	20 000–22 000	} -2	7000–8300	-2bis5	0,28	0,6	40–60	} 5100
Stahl	7,8	20 000–22 000		8000–8300	-2bis5	0,28	0,6	80–130	
Stahlsaite	7,7							bis 250	
Guß- (grau)		7500–13 000		5000		,23–,27		12–23	
Guß- (weiß)		18 000							
Gold	19,2	7600–8100	-3	2800	-3	0,41	0,7	27	2100
Iridium	22,4	53 000							4900
Konstantan	8,8	16 600		6200		0,33	0,6		4300
Kupfer	8,9	10 000–13 000	-2bis4	3900–4800	-4bis6	0,34	0,8	40	3600
Magnesium	1,7	4000		1700			3		4800
Manganin	8,4	12 600		4700		0,33	0,8		3900
Messing	8,4	8000–10 000	-4	2700–3700	-5	0,3–0,4	1,0	60	3200
Neusilber	8,5	11 000		4000	-4	0,37			3600
Nickel	8,8	20 000–22 000	-2	7800	-3	0,30	0,6		4900
Palladium	12,0	10 000–11 500	-2	4000–5000	-3	0,39	0,6	36	3000
Platin	21,4	16 000–17 500	-1bis2	6000–7000	-2	0,38	0,4	30	2800
Rhodium	12,4	30 000							4900
Silber	10,5	7000–8000	-4	2500–2900	-7bis8	0,37	1,0	29	2700
Tantal	16	19 000						93	3400
Wismut	9,8	3200		1200–1400		0,33	3,0		1800
Zink	7,1	8000–13 000		4000	-40	0,2–0,3	1,5–0,9	13	3900
Zinn	7,3	4000–5500		1700		0,33	1,9	2	2600
Glas	2,5	5000–8000	bis -4	2000–3000		0,2–0,3	1,3–2,9		5000
Quarzglas	2,2	6000							
Holzfaser		500–1200						7–12	3–4000

## 21. Tonhöhe und Schwingungszahl in 1 Sekunde

für gleichschwebende Stimmung:  $a_1 = 435$ . Über reine Stimmung s. S. 244.

	$C_{-2}$	$C_{-1}$	$C$	$c$	$c_1$	$c_2$	$c_3$	$c_4$
C . . . .	16,17	32,33	64,66	129,3	258,7	517,3	1035	2069
Cis . . . .	17,13	34,25	68,51	137,0	274,0	548,1	1096	2192
D . . . .	18,15	36,29	72,58	145,2	290,3	580,7	1161	2323
Dis . . . .	19,22	38,45	76,90	153,8	307,6	615,2	1230	2461
E . . . .	20,37	40,74	81,47	162,9	325,9	651,8	1304	2607
F . . . .	21,58	43,16	86,31	172,6	345,3	690,5	1381	2762
Fis . . . .	22,86	45,72	91,45	182,9	365,8	731,6	1463	2926
G . . . .	24,22	48,44	96,89	193,8	387,5	775,1	1550	3100
Gis . . . .	25,66	51,32	102,65	205,3	410,6	821,2	1642	3285
A . . . .	27,19	54,37	108,75	217,5	<b>435,0</b>	870,0	1740	3480
Ais . . . .	28,80	57,61	115,22	230,4	460,9	921,7	1843	3687
H . . . .	30,52	61,03	122,07	244,1	488,3	976,5	1953	3906

## 22. Haupt-Spektrallinien. Flammen; Geißler'sche Röhren; Sonne.

Skale von Bunsen-Kirchhoff; Natriumlinie auf 50;  
Spaltbreite = 1 Sk.-T.

Obere Zahl = Mittellage; untere Zahl = Breite der Linie, wenn diese von 1 Sk.-T. abweicht. Römische Zahl = Helligkeit bei dauerndem Spektrum.

*S* bedeutet ganz scharf begrenzt, *s* mäßig scharf. Die übrigen Linien der Flammenspektren sind mehr oder weniger verwaschene Banden.

Die für die Analyse wichtigsten Linien sind fett gedruckt.

Das Spektrum erscheint (ungefähr):

rot bis 48, gelb bis 52, grün bis 80, blau bis 120, violett von 120 an.

<i>K</i>	<b>17,5</b> II <i>S</i>	Schwachtes Spektrum von 55 bis 120.								153,0 IV <i>S</i>	
<i>Li</i>	<b>32,0</b> I <i>S</i>			45,2 IV <i>s</i>							
<i>Ca</i>	33,1 IV 2	36,7 IV	<b>41,7</b> I 1,5	46,8 III 2	49,0 III	52,8 IV	54,9 IV	<b>60,8</b> I 1,5	68,0 IV 2	<b>135,0</b> IV <i>S</i>	
<i>Sr</i>	29,8 III	<b>32,1</b> II	<b>33,8</b> II	36,3 II	39,0 III	41,8 III	<b>45,8</b> I <i>S</i>			<b>105,0</b> III <i>S</i>	
<i>Ba</i>	35,2 IV 2	41,5 III 3	45,6 III 1,5	52,1 IV	56,0 III 2	<b>60,8</b> II <i>s</i>	66,5 III 3	<b>71,4</b> III 3	<b>76,8</b> III 2	82,7 IV 4	<b>89,3</b> III 2
<i>Tl</i>						68 I <i>S</i>					
<i>He</i>	32,7 III		<b>50,4</b> I				<b>82,6</b> I	87,1 III		<b>113,6</b> II	
Sonne	A	a	B	C( <i>H</i> )	D( <i>Na</i> )	E	b	F( <i>H</i> )	f( <i>H</i> )	G	H( <i>H</i> )
$\lambda =$	762	718	687	656	589	527	517	486	434	431	397 $\mu\mu$
	18,5	24	29	35	50,0	71,3	75	90	125	128	162

## Zu Tab. 23. Umrechnung von Wellenlängen in Gasen; vgl. S. 300.

1) Die Wellenlänge  $\lambda_0$  im Vakuum ist  $\lambda_0 = \lambda(1 + \delta)$ , wo  $1 + \delta$  das Br.-V. in Luft von 20° u. 760 mm; für  $\lambda =$  0,2 0,4 0,6 0,8  $\mu$   
 $\delta = 0,000$  318 277 272 270.

2) In einem Gase von  $t^\circ$  u.  $p$  mm Hg gilt  $\lambda_{t,p} = \frac{\lambda_0}{1 + c \cdot p / (1 + 0,00367 t)}$ ,  
wo für H N O CO<sub>2</sub>; Luft  
 $c$  nahe = 0,0<sub>6</sub> 18 39 36 59; 0,0<sub>6</sub>39, genauer 0,00141  $\delta$ .

23. Lichtwellenlängen  $\lambda$  in Luft von 20° und 760 mm Quecksilberdruck (Dichte = 0,001205), gemessen in  $\mu = 0,001$  mm.

Nach Beobachtungen von Rowland, Kayser u. Runge, Ames, Cornu, Hartley u. Adeney, Liveing u. Dewar, Mascart, Müller u. Kempf, Fabry u. Perot, Rayleigh u. A., gemäß den Messungen der Cd-Linien von A. Michelson (65 IV) reduziert auf  $D_1 = 0,58960 \mu$ ; meist Auszug aus den Tabellen von Dufet in Recueil de Données numériques, publ. par la Société Française de Physique; Optique T. I. — Jährlicher Bericht über neue Messungen in den Reports der Brit. Assoc.

Die Buchstaben geben die gebräuchlichen Namen der Linien im Fraunhofer'schen (etwa von 0,77 bis 0,39  $\mu$ ), im ultraroten und im ultraviolettten Sonnenspektrum, oder (kursiv) die chemischen Elemente, in deren Dämpfen die Linien auftreten. Zur geometrischen Orientierung vgl. die Zeichnungen von G. Müller (Publ. 6 des Astrophys. Observ. Potsdam).

		$\lambda$		$\lambda$		$\lambda$		$\lambda$
Y		,899		<i>Tl</i> , ,53505	(g)	<i>Ca</i> , ,42268	S	<i>Fe, Ni</i> , ,3101
X <sub>4</sub>		,8805		<i>Cd 3</i> , ,53381	(h)	<i>H</i> , ,41018		<i>Al</i> , ,30928
X <sub>3</sub>		,866	E {	<i>Fe, Ca</i> , ,52704		<i>Hg</i> , ,40780		<i>Al</i> , ,30822
X <sub>2</sub>		,854		<i>Fe</i> , ,52696		<i>Hg</i> , ,4047		<i>Zn</i> , ,3074
X <sub>1</sub>		,849		<i>Ag</i> , ,52091		<i>K, Fe</i> , ,4046	s	<i>Fe</i> , ,30476
Z		,822		<i>Mg</i> , ,51837		<i>Cd 8</i> , ,3982		<i>Zn</i> , ,30358
			b <sub>1</sub>	<i>Mg</i> , ,51727	H	<i>H, Ca</i> , ,3968		<i>Cd 14</i> , ,29807
	K	,7699	b <sub>2</sub>	<i>Fe</i> , ,51690		<i>Al</i> , ,39616		<i>Cd 15</i> , ,28808
	K	,7665	b <sub>3</sub>	<i>Mg, Fe</i> , ,51674		<i>Al</i> , ,39440		<i>Cd 16</i> , ,28369
	A	,7628	b <sub>4</sub>	<i>Cd 4</i> , ,50858		<i>Ba</i> , ,3935		<i>Zn</i> , ,28008
		,7621	(c)	<i>He</i> , ,50157	K	<i>Ca</i> , ,39337		<i>Zn</i> , ,27708
a		,7594		<i>Fe</i> , ,49576		<i>Hg</i> , ,3902		<i>Cd 17</i> , ,27484
		,7185		<i>He</i> , ,49219				<i>Zn</i> , ,27125
	<i>He</i>	,70652		<i>Hg</i> , ,4916		<i>Mg</i> , ,38383		<i>Zn</i> , ,26842
B	<i>O</i>	,6870	F	<i>H</i> , ,48614	L	<i>Fe</i> {		<i>Al</i> , ,25751
	<i>Li</i>	,67079		<i>Zn</i> , ,48105			,38205	
	<i>He</i>	,66782		<i>Cd 5</i> , ,47999		,38159		<i>Al</i> , ,25680
C	<i>H</i>	,65629		<i>Zn</i> , ,47222	M	<i>Fe</i> {		<i>Al</i> , ,23731
	<i>Cd 1</i>	,64385		<i>He</i> , ,47131			,37349	
	<i>Zn</i>	,63623		<i>Zn</i> , ,46801	N	<i>Cd 9</i> , ,3611		<i>Cd 22</i> , ,23293
	<i>O</i>	,62781		<i>Cd 6</i> , ,46782			,35812	
	<i>Ba</i>	,6183	(d)	<i>Fe</i> , ,4668	O	<i>Cd 10</i> , ,3467		<i>Al</i> , ,22691
	<i>Hg</i>	,61521		<i>Sr</i> , ,46074			<i>Fe</i> , ,3441	
	<i>Li</i>	,61036		<i>In</i> , ,4511	P	<i>Cd 11</i> , ,3404		<i>Cd 25</i> , ,21946
	<i>Ba</i>	,5988		<i>He</i> , ,44715			,3360	
D <sub>1</sub>	<i>Na</i>	,58960		<i>Cd 7</i> , ,44130		<i>Zn</i> , ,33450		<i>Zn 27</i> , ,2099
D <sub>2</sub>	<i>Na</i>	,58900	(e)	<i>Fe</i> , ,43836	Q	<i>Zn</i> , ,3303		<i>Zn 28</i> , ,2062
D <sub>3</sub>	<i>He</i>	,58757		<i>Hg</i> , ,43584			,3287	
	<i>Hg</i>	,57906		<i>Hg</i> , ,4348		<i>Zn</i> , ,3282		<i>Al 30</i> , ,1990
	<i>Hg</i>	,57695	(f)	<i>H</i> , ,43405	Cd 12 {	,3261		<i>Al 31</i> , ,1935
	<i>Ag</i>	,54654		<i>Fe</i> , ,43258			,3250	
	<i>Hg</i>	,54608	(G')	<i>Fe, Ca</i> , ,43079	R	<i>Ca</i> , ,3180		,1862
	<i>Cd 2</i>	,53790	G				,3145	

## 24. Lichtbrechungsverhältnis einiger Körper bei 18°, bezogen auf Luft. Drehvermögen des Quarzes bei 1 mm Dicke.

Das B.-V. nimmt auf +1° ab: in mittlerer Temperatur für Schwefelkohlenstoff um 0,0008 für D, um 0,0009 für H; für Alkohol um 0,0004; für Wasser bei 5° um 0,00003, bei 10° um 0,00005, bei 15° um 0,00007, bei 20° um 0,00009, bei 25° um 0,00010. --

Wasser für ultrarote Wellen s. bei Rubens u. Ladenburg, Verh. D. Ph. Ges. 1909, 25. — Gase in Tab. 12a.

Wellenlänge in $\mu$	A	B	C(H)	D(Na)	E	F(H)	f(H)	G	H(H)
	0,760	,687	,6563	,5893	,5270	,4861	,4341	,4308	,3968
Wasser	1,3292	,3306	,3314	,3332	,3354	,3373	,3406	,3408	,3437
Alkohol	1,3587	,3600	,3609	,3625	,3646	,3665	,3703	,3705	,3736
Schw.kohlenstoff	1,6102	,6165	,6199	,6291	,6421	,6541	,6767	,6787	,7016
Cassiaöl	1,586	,592	,596	,605	,619	,634	,663	,665	,701
Kron-   leicht	1,5099	,5118	,5127	,5153	,5186	,5214	,5264	,5267	,5312
glas   schwer	1,6097	,6117	,6126	,6152	,6185	,6213	,6262	,6265	,6308
Flint-   leicht	1,5986	,6020	,6038	,6085	,6145	,6200	,6302	,6308	,6404
glas   schwer	1,7351	,7406	,7434	,7515	,7623	,7723	,7910	,7922	,811
Kalkspat   ord.	1,6500	,6530	,6545	,6585	,6635	,6679	,6755	,6762	,6833
extr.	1,4827	,4840	,4846	,4864	,4887	,4908	,4943	,4946	,4978
Quarz   ord.	1,5391	,5409	,5418	,5442	,5471	,5496	,5539	,5543	,5581
extr.	1,5481	,5500	,5509	,5533	,5563	,5589	,5634	,5637	,5677
Gips, mittl. Str.	1,517	,519	,520	,523	,525	,528	,532	,532	
Arragonit „	1,672	,676	,678	,682	,686	,691	,698	,698	,705
Topas (sibir.) „	1,608	,610	,611	,614	,617	,619	,624	,624	,627
Drehung in Quarz bei 18° .....	12,7°	15,7°	17,3°	21,71°	27,5°	32,7°	42,0°	42,6°	51,2°
Aceton .....	1,36								Glimmer .....
Äther .....	1,36								1,56 bis 1,60
Arsenbromür .....	1,78								Methylenjodid .....
Benzol .....	1,503								1,74
Beryll .....	1,57								Monobromnaphtalin .....
Canadabalsam .....	1,54								1,66
Chloroform .....	1,45								Phosphor in CS <sub>2</sub> .....
Eis .....	1,31								1,97
Feldspat .....	1,52								Rüböl .....
Flintglas, schwerstes .....	1,9								1,47
									Terpentinöl .....
									1,48
									Turmalin .....
									1,64
									KNO <sub>3</sub> .....
									1,50
									NaNO <sub>3</sub> , für Na, extr. 1,335; ord. 1,584
									Zucker .....
									1,56
Die drei Hauptbrechungsverhältnisse des Natronlichtes betragen für									
Gips .....	1,530	1,523	1,520						
Ostindischen Glimmer ..	1,600	1,594	1,561						
Arragonit .....	1,686	1,682	1,530						
Baryt .....	1,648	1,637	1,636						
Aus Vakuum: Luft 0° und 760 mm, $1,0002879 + 0,0_3 132/\lambda^2 + 0,0_7 32/\lambda^4$ ; Kayser u. Runge, Wied. Ann. 50, 312. ( $\lambda$ in $\mu = 0,001$ mm gemessen.)									

## 24a. Brechungsverhältnis $n$ von Quarz, Flußspat, Steinsalz und Sylvin bei $18^\circ$ .

Im Ultraviolett nach Sarasin (Quarz, Flußspat); Martens (Steinsalz, Sylvin). Im Ultrarot nach Paschen (Flußspat, Steinsalz, Sylvin); Rubens (Quarz); Rubens mit Nichols u. Trowbridge (Sylvin, Steinsalz von  $16 \mu$  an).

Der Temperaturkoeffizient  $-dn/dt$  beträgt nach Fizeau, Stefan, Pulfrich, Dufet u. A. für Natrium-Licht in Luft von konstanter Temperatur: Quarz ord.  $0,0,062$ , Flußspat  $0,0,142$ , Steinsalz  $0,0,37$ , Sylvin  $0,0,36$ ; in gleich temperierter Luft ist von diesen Zahlen  $0,0,011$  abzuziehen.

Die Wellenlängen  $\lambda$  (in  $\mu$  gemessen) sind auf  $D_1 = 0,58960$  zurückgeführt.

Die Differenzen unter  $d$  bei Quarz und Flußspat bedeuten den mittleren Abfall  $-\Delta n$  in Einheiten der 4. Dezimale auf  $\Delta\lambda = +0,01 \mu$ .

Quarz (ord. Strahl)				Flußspat				Steinsalz				Sylvin			
$\lambda$	$n$	$d$		$\lambda$	$n$	$d$		$\lambda$	$n$	$d$		$\lambda$	$n$	$d$	
Al	0,1857	1,6750	188	Al	0,1857	1,5094	98,5	Al	0,1854	1,8935		Al	0,1854	1,8271	
Al	0,1990	1,6507	132	Al	0,1990	1,4963	76,0	Al	0,1990	1,7960		Al	0,1990	1,7244	
Cd	0,2144	1,6304	97	Cd	0,2144	1,4866	55,6	Cd	0,2144	1,7324		Cd	0,2144	1,6619	
Cd	0,2313	1,6140	69	Cd	0,2313	1,4752	40,0	Cd	0,2313	1,6886		Cd	0,2313	1,6204	
Cd	0,2573	1,5962	49,7	Cd	0,2573	1,4648	29,7	Cd	0,2573	1,6462		Cd	0,2573	1,5812	
Cd	0,2748	1,5875	30,6	Cd	0,2748	1,4596	18,0	Cd	0,2748	1,6271		Cd	0,2748	1,5639	
Cd	0,3404	1,5674	16,5	Cd	0,3404	1,4478	10,0	Cd	0,3404	1,5862		Cd	0,3404	1,5273	
H	0,3968	1,5581	11,3	H	0,3968	1,44214	7,10	Al	0,3944	1,5692		Al	0,3944	1,5122	
f	0,4341	1,5539	8,21	f	0,4341	1,4395	4,71	f	0,4341	1,5610		f	0,4341	1,5050	
F	0,4861	1,54963	5,24	F	0,4861	1,43705	3,05	F	0,4861	1,5543		F	0,4861	1,4984	
D	0,5893	1,54422	3,57	D	0,5893	1,43390	2,03	D	0,5893	1,5443		D	0,5893	1,4904	
C	0,6563	1,54183	2,55	C	0,6563	1,43254	1,47	C	0,6563	1,5407		C	0,6563	1,4873	
K	0,7682	1,5390	1,55	K	0,7682	1,4309	0,736	K	0,7682	1,5367		K	0,7682	1,4858	
	1,160	1,5329	1,25	2N <sub>a</sub>	1,179	1,4279	0,492	1 $\frac{1}{2}$ N <sub>a</sub>	0,9822	1,5324		1 $\frac{1}{2}$ N <sub>a</sub>	0,9822	1,4801	
	1,617	1,5272	1,59	3N <sub>a</sub>	1,768	1,4250	0,509	2N <sub>a</sub>	1,179	1,5304		2N <sub>a</sub>	1,179	1,4783	
	1,969	1,5216	1,68	4N <sub>a</sub>	2,357	1,4220	0,627	3N <sub>a</sub>	1,768	1,5274		3N <sub>a</sub>	1,768	1,4739	
	2,327	1,5156	2,09	5N <sub>a</sub>	2,947	1,4183	0,76	4N <sub>a</sub>	2,357	1,5259		4N <sub>a</sub>	2,357	1,4748	
	2,59	1,5101	2,48	6N <sub>a</sub>	3,536	1,4138	0,90	6N <sub>a</sub>	3,536	1,5232		6N <sub>a</sub>	3,536	1,4730	
	2,84	1,5089	2,74	7N <sub>a</sub>	4,125	1,4085	1,05	8N <sub>a</sub>	5,009	1,5190		8N <sub>a</sub>	4,714	1,4711	
	3,03	1,4987	2,87	8N <sub>a</sub>	4,714	1,4023	1,20	11N <sub>a</sub>	6,482	1,5136		10N <sub>a</sub>	5,893	1,4688	
	3,18	1,4944	2,93	9N <sub>a</sub>	5,304	1,3952	1,37	13N <sub>a</sub>	7,661	1,5083		14N <sub>a</sub>	8,250	1,4637	
	3,40	1,4879	3,48	10N <sub>a</sub>	5,893	1,3871	1,51	15N <sub>a</sub>	8,840	1,5020		17N <sub>a</sub>	10,018	1,4567	
	3,63	1,4879	3,47	11N <sub>a</sub>	6,482	1,3782	1,73	17N <sub>a</sub>	10,018	1,4947		20N <sub>a</sub>	11,786	1,4492	
	3,80	1,4740	3,81	12N <sub>a</sub>	7,072	1,3680	1,90	20N <sub>a</sub>	11,786	1,4818		22N <sub>a</sub>	12,965	1,4435	
	3,96	1,4679	4,54	13N <sub>a</sub>	7,661	1,3568	2,11	22N <sub>a</sub>	12,965	1,4717		24N <sub>a</sub>	14,143	1,4372	
	4,09	1,4620	4,64	14N <sub>a</sub>	8,250	1,3444	2,31	24N <sub>a</sub>	14,143	1,4605		27N <sub>a</sub>	15,91	1,4262	
	4,20	1,4569		15N <sub>a</sub>	8,840	1,3308	2,49	27N <sub>a</sub>	15,911	1,4410			18,10	1,4106	
				16N <sub>a</sub>	9,429	1,3161			17,93	1,4150			20,60	1,3882	
									20,57	1,3735			22,50	1,3692	
									22,30	1,3403					

25. Absorption ultraroter Strahlen von der Wellenlänge  $\lambda$  in einigen Mitteln.

1. Merritt; 2. Rubens u. Trowbridge; 3. Aschkinass; 4. Paschen; Rubens u. Aschkinass. Ozon und N-Verbindungen bei Warburg u. Leithäuser, Sitz.-Ber. Berl. Ak. 1908, 150.

1. Kalkspat Schichtdicke = 0,1 cm			Quarz			2. Stein- salz Syl- vin Fluß- spat			
$\lambda$	ord. extr.		$\lambda$	ord. extr.		$\lambda$	Schichtd. = 1 cm		
$\mu$	%	%	$\mu$	%	%	$\mu$	%	%	%
1,02	0	0	1	0	0	7	0	—	1,0
1,45	0	0	1,5	0	0	8	0	—	15,6
2,07	1,0	0	2	0	0	9	0,5	0	45,7
2,30	17,3	0	2,5	0	0	10	0,5	1,2	83,6
2,44	25,7	0	2,72	1,6	0	11	0,5	1,0	99,0
2,53	17,3	1,0	2,83	4,3	0	12	0,7	0,5	100
2,60	11,2	0,5	2,95	5,4	2,2	13	2,4	0,5	
2,65	15,7	0	3,07	3,0	2,5	14	6,9	2,5	
2,74	21,0	0	3,17	1,6	1,0	15	15,4	4,6	
2,83	12,4	0,5	3,38	1,3	3,5	16	33,9	6,4	
2,90	6,6	1,0	3,67	11,5	16	17	48,4	7,8	
2,95	16,2	2,0	3,82	14,6	12	18	72,5	13,8	
3,04	37,4	5,0	3,96	18,3	10	19	90,4	24,2	
3,30	90	12	4,12	29	20	20,7	99,4	41,5	
3,47	86	11	4,36	—	55	23,7	100	84,5	
3,62	61	17	4,50	48					
3,80	84	16							
3,98	100	9							
4,35	48	1							
4,52	76	3							
4,66	68	15							
4,83	45	17							
4,96	42	13							
5,25	55	29							
5,50		73							

4. Absorptionsbanden			
Kohlen- säure	Von $\lambda$	bis $\lambda$	Max. $\lambda$
Schwach	2,36	3,02	2,71
Stark	4,01	4,80	4,27
Stark*	13,5	16	14,7
* Breite abh. von Schichtdicke.			
Wasser- dampf			
Schwach	1,14	1,73	1,46
Schwach	1,73	2,24	1,92
Stärker	2,24	3,27	2,66
Stark	4,8	6,25	
Maxima:	5,25	5,90	6,07
Stark	6,25	8,54	
Stärkstes	Max. bei	6,53	
Absorpt.-Gebiet v. 11 $\mu$ an:			
Max. bei	11,6	12,4	13,4
	14,3	15,7	u. 17,5 $\mu$ .

## 25a. Reflexionsvermögen von Metallen

in Prozenten, bei nahe senkrechtem Einfall; Hagen u. Rubens.

3. Wasser		
Dicke	$\lambda$	%
1 m	0,77	91
1 cm	1,00	35
	1,25	71
0,005 cm	1,50	18
	1,71	5
	1,94	46
	2,2	14
	2,7	88
0,001 cm	1,8	2
	3,1	94
	3,8	19
	4,7	42
	5,3	27
	6,1	92
	7,1	56
	8,4	50

$\lambda$	Spiegelmetalle						R	B	M	Cu Rosse = 65,2 + 31,8 Sn Mach = 67 Al + 33 Mg
	Ag	Pt	Ni	Stahl	Au	Cu*				
0,251	34,1	33,8	37,8	32,9	38,8	25,9	29,9	35,8	67,0	
0,288	21,2	38,8	42,7	35,0	34,0	24,3	37,7	37,1	70,6	
0,305	9,1	39,8	44,2	37,2	31,8	25,3	41,7	37,2	72,2	
0,316	4,2	—	—	—	—	—	—	—	—	
0,326	14,6	41,4	45,2	40,3	28,6	24,9	—	39,3	75,5	
0,338	55,5	—	46,5	—	—	—	—	—	—	
0,357	74,5	43,4	48,8	45,0	27,9	27,3	51,0	43,3	81,2	
0,385	81,4	45,4	49,6	47,8	27,1	28,6	53,1	44,3	83,9	
0,420	86,6	51,8	56,6	51,9	29,3	32,7	56,4	47,2	83,3	
0,450	90,5	54,7	59,4	54,4	33,1	37,0	60,0	49,2	83,4	
0,500	91,3	58,4	60,8	54,8	47,0	43,7	63,2	49,3	83,3	
0,550	92,7	61,1	62,6	54,9	74,0	47,7	64,0	48,3	82,7	
0,60	93,6	64,2	64,9	55,4	84,4	71,8	64,3	47,5	83,0	
0,65	95,9	66,5	66,6	56,4	88,9	80,0	65,4	51,5	82,7	
0,70	96,2	69,0	68,8	57,6	92,3	83,1	66,8	54,9	83,3	
0,80	—	70,3	69,8	58,0	94,9	88,6	—	63,1	84,3	
1,0	97,5	72,9	72,0	63,1	—	90,1	70,5	69,8	84,1	
1,5	—	77,7	78,6	70,8	—	93,8	75,0	79,1	85,1	
2,0	97,8	80,6	83,5	76,7	96,8	95,5	80,4	82,3	86,7	
3,0	98,1	88,8	88,7	83,0	—	97,1	86,2	85,4	87,4	
5,0	98,1	93,5	94,4	89,0	97,0	97,9	89,1	87,3	89,0	
9,0	98,7	95,4	95,6	92,9	98,0	98,4	92,2	90,3	90,6	
14,0	98,3	96,4	97,2	96,0	97,9	—	93,6	90,3	92,2	

\*) Reinstes Handelskupfer. Elektrolytisches Cu etwa 8 Proz. mehr.

## 26. Farben Newton'scher Ringe,

welche im reflektierten und durchgehenden weißen Licht für senkrecht auffallende Strahlen eine Luftschicht von der Dicke  $d$  zeigt. Nach Quincke.

$d$	Reflektiert	Durchgehend	$d$	Reflektiert	Durchgehend
$\frac{\text{mm}}{10^6}$	<b>1. Ordnung.</b>		$\frac{\text{mm}}{10^6}$	<b>3. Ordnung.</b>	
0	Schwarz	Weiß	564	Hell bläulich Violett	Gelblich Grün
20	Eisengrau	Weiß	575	Indigo	Unrein Gelb
48	Lavendelgrau	Gelblich Weiß	629	Blau (grünl.)	Fleischfarben
79	Graublau	Bräunl. Weiß	667	Meergrün	Braunrot
109	Klareres Grau	Gelbbraun	688	Glänzend Grün	Violett
117	Grünl. Weiß	Braun	713	Grünlich Gelb	Graublau
129	Fast Weiß	Klares Rot	747	Fleischfarbe	Meergrün
133	Gelblich Weiß	Karminrot	767	Karminrot	Schön Grün
137	Blaß Stroh- gelb	Dunkel Rot- braun	810	Matt Purpur	Matt Meergrün
140	Strohgelb	Dunkel Violett	826	Violett Grau	Gelblich Grün
153	Klares Gelb	Indigo		<b>4. Ordnung.</b>	
166	Lebhaft. Gelb	Blau	841	Graublau	Grünlich Gelb
215	Braungelb	Graublau	855	Matt Meergrün	Gelbgrau
252	Rötlich Orange	Bläulich Grün	872	Bläulich Grün	Malv. Graurot
268	Warmes Rot	Blaß Grün	905	Schön Hell- grün	Karminrot
275	Tieferes Rot	Gelblich Grün	963	Hell Graugrün	Graurot
	<b>2. Ordnung.</b>		1003	Grau, fast Weiß	Graublau
282	Purpur	Helleres Grün	1024	Fleischrot	Grün
287	Violett	Grünlich Gelb		<b>5. Ordnung.</b>	
294	Indigo	Goldgelb	1169	Matt Blaugrün	Matt Fleisch- rot
332	Himmelblau	Orange	1334	Matt Fleisch- rot	Matt Blaugrün
364	Grünlichblau	Bräunl Orange			
374	Grün	Hell Karminrot			
413	Helleres Grün	Purpur			
421	Gelblich Grün	Violett-Purpur			
433	Grünlich Gelb	Violett			
455	Reines Gelb	Indigo			
474	Orange	Dunkel Blau			
499	Lebhaft rötlich Orange	Grünlich Blau			
550	Dunkel Vio- lettrot	Grün			

**Zu Tab. 25.** Die dort genannten Körper zeigen in einigen ultra-roten Spektralbezirken metallische Reflexion, verbunden mit Undurchlässigkeit in sehr dünnen Schichten. Die Maxima liegen

für Quarz bei  $\lambda = 8,85$  u.  $20,7 \mu$  (jenseits  $50 \mu$  ist Quarz wieder durchlässig);

für Flußspat bei  $26,0$  u.  $31,6$ ; für Kalkspat bei  $6,7$ ,  $11,4$  und  $29,4$ ;

für Steinsalz bei  $51,2$ ; für Sylvin bei  $61,1 \mu$ . Sylvin zeigt, wahrscheinlich von  $\text{MgCl}_2$ -Gehalt herrührend, auch bei  $3,2$  u.  $7,1 \mu$  Absorptionsstreifen.

## 27. Zur Reduktion einer Schwingungsdauer auf unendlich kleine Schwingungen.

Von der bei einem ganzen Schwingungsbogen  $\alpha$  beobachteten Schwingungsdauer  $t$  eines Magnets oder Pendels ist abzuziehen  $kt$  (28).

$\alpha$	$k$	$\alpha$	$k$	$\alpha$	$k$	$\alpha$	$k$
0°	0,00000	10°	0,00048	20°	0,00190	30°	0,00428
1	000	11	058	21	210	31	457
2	002	12	069	22	230	32	487
3	004	13	080	23	251	33	518
4	008	14	093	24	274	34	550
5	012	15	107	25	297	35	583
6	017	16	122	26	322	36	616
7	023	17	138	27	347	37	651
8	030	18	154	28	373	38	686
9	039	19	172	29	400	39	723
10	0,00048	20	0,00190	30	0,00428	40	0,00761

## 28. Reduktion des an einer Skale beobachteten Ausschlages, wenn der Abstand vom Spiegel $A$ Skalenteile beträgt (25).

Durch Subtraktion der Zahlen wird der beobachtete Skalenausschlag dem Ablenkungswinkel proportional. Die Korrektion auf die Tangente beträgt  $\frac{3}{4}$ , auf den Sinus  $\frac{3}{8}$ , auf den Sinus des halben Winkels  $\frac{33}{32}$  der Zahlen.

$A$	$e=50$	100	150	200	250	300	350	400	450	500
1000	0,04	0,33	1,11	2,60	5,02	8,54	13,33	19,5	27,1	36,3
1200	0,03	0,23	0,77	1,82	3,53	6,03	9,45	13,9	19,5	26,2
1400	0,02	0,17	0,57	1,34	2,61	4,47	7,03	10,4	14,6	19,7
1600	0,02	0,13	0,44	1,03	2,00	3,44	5,43	8,0	11,3	15,4
1800	0,01	0,10	0,35	0,82	1,59	2,73	4,30	6,4	9,0	12,3
2000	0,01	0,08	0,28	0,66	1,29	2,22	3,51	5,21	7,37	10,05
2200	0,01	0,07	0,23	0,55	1,07	1,83	2,91	4,32	6,12	8,35
2400	0,01	0,06	0,19	0,46	0,90	1,54	2,45	3,64	5,16	7,05
2600	0,01	0,05	0,16	0,39	0,77	1,32	2,09	3,11	4,42	6,03
2800	0,01	0,04	0,14	0,34	0,66	1,14	1,81	2,69	3,82	5,21
3000	0,00	0,04	0,12	0,29	0,58	0,99	1,58	2,35	3,33	4,55
3200	0,00	0,03	0,11	0,26	0,51	0,87	1,38	2,07	2,93	4,01
3400	0,00	0,03	0,10	0,23	0,45	0,77	1,23	1,83	2,60	3,56
3600	0,00	0,03	0,09	0,21	0,40	0,69	1,10	1,64	2,32	3,18
3800	0,00	0,02	0,08	0,18	0,36	0,62	0,98	1,47	2,09	2,86
4000	0,00	0,02	0,07	0,17	0,32	0,56	0,89	1,33	1,88	2,58

## 29. Zur Rechnung an gedämpften Schwingungen. (Vgl. 27 u. 108.)

$T$  und  $\alpha_1$  = Schwingungsdauer u. Ausschlag bei dem Dämpfungsverhältnis  $k$ ,  
 $\tau$  und  $\alpha$  = entsprechende Schwingungsdauer u. Ausschlag ohne Dämpfung;  
 dann gilt  $T/\tau = \sqrt{1 + A^2/\pi^2}$ ;  $\alpha/\alpha_1 = k^{1/\pi} \cdot \arctg \pi/A$ .

$\lambda =$ log $k$	$A =$ lg nat $k$	$k$	$\sqrt{1 + \frac{A^2}{\pi^2}}$	$\frac{1}{k^{\frac{1}{\pi}}} \arctg \frac{\pi}{A}$	$\lambda =$ log $k$	$A =$ lg nat $k$	$k$	$\sqrt{1 + \frac{A^2}{\pi^2}}$	$\frac{1}{k^{\frac{1}{\pi}}} \arctg \frac{\pi}{A}$
0.00	0.0000	1,000	1,0000	1,0000	0.44	1.0131	2,754	1,0507	1,5008
.01	.0230	1,023	,0000	,0115	.46	.0592	2,884	,0553	,5219
.02	.0461	1,047	,0001	,0231	.48	.1052	3,020	,0601	,5428
.03	.0691	1,072	,0002	,0347	.50	.1513	3,162	,0650	,5635
.04	.0921	1,096	,0004	,0463	.52	.1973	3,311	,0702	,5839
.05	.1151	1,122	,0007	,0578	.54	.2434	3,467	,0755	,6041
.06	.1382	1,148	,0010	,0694	.56	.2894	3,631	,0810	,6240
.07	.1612	1,175	,0013	,0811	.58	.3355	3,802	,0866	,6437
.08	.1842	1,202	,0017	,0927	.60	.3816	3,981	,0924	,6630
.09	.2072	1,230	,0022	,1044	.62	.4276	4,169	,0984	,6820
.10	.2303	1,259	,0027	,1160	.64	.4737	4,365	,1046	,7008
.11	.2533	1,288	,0032	,1277	.66	.5197	4,571	,1109	,7193
.12	.2763	1,318	,0039	,1393	.68	.5658	4,786	,1173	,7375
.13	.2993	1,349	,0045	,1510	.70	.6118	5,012	,1239	,7554
.14	.3224	1,380	,0052	,1626	.72	.6579	5,248	,1307	,7730
.15	.3454	1,413	,0060	,1743	.74	.7039	5,495	,1376	,7904
.16	.3684	1,445	,0069	,1859	.76	.7500	5,754	,1447	,8074
.17	.3914	1,479	,0077	,1975	.78	.7960	6,026	,1519	,8241
.18	.4145	1,514	,0087	,2091	.80	.8421	6,310	,1592	,8406
.19	.4375	1,549	,0097	,2208	.82	.8881	6,607	,1667	,8567
.20	.4605	1,585	,0107	,2324	.84	.9342	6,918	,1743	,8726
.21	.4835	1,622	,0118	,2440	.86	1.9802	7,244	,1821	,8882
.22	.5066	1,660	,0130	,2555	.88	2.0263	7,586	,1900	,9035
.23	.5296	1,698	,0142	,2670	.90	.0723	7,943	,1980	,9185
.24	.5526	1,738	,0155	,2785	.92	.1184	8,318	,2061	,9332
.25	.5756	1,778	,0167	,2900	.94	.1644	8,710	,2144	,9476
.26	.5987	1,820	,0180	,3014	.96	.2105	9,120	,2228	,9617
.27	.6217	1,862	,0194	,3128	.98	.2565	9,550	,2312	,9756
.28	.6447	1,905	,0208	,3242	1.00	.3026	10,00	,2396	1,9892
.29	.6677	1,950	,0223	,3356	.1	.5328	12,59	,2845	2,0531
.30	.6908	1,995	,0239	,3469	.2	.7631	15,85	,3318	,1108
.31	.7138	2,042	,0255	,3582	.3	2.9934	19,95	,3813	,1627
.32	.7368	2,089	,0271	,3694	.4	3.2236	25,12	,4328	,2093
.33	.7599	2,138	,0288	,3806	.5	.4539	31,62	,4862	,2512
.34	.7829	2,188	,0306	,3918	.6	.6841	39,81	,5412	,2888
.35	.8059	2,239	,0324	,4029	.7	3.9144	50,12	,5976	,3226
.36	.8289	2,291	,0342	,4140	.8	4.1447	63,10	,6554	,3530
.37	.8520	2,344	,0361	,4250	1.9	4.3749	79,43	,7144	,3803
.38	.8750	2,399	,0381	,4360	2.0	4.6052	100,0	1,7745	,4050
.39	.8980	2,455	,0401	,4469	2.5	5.7565	316,2	2,0875	,4978
.40	.9210	2,512	,0421	,4578	3.0	6.9078	1000	2,4155	,5562
.41	.9441	2,570	,0442	,4686	4.0	9.2103	10 <sup>4</sup>	3,0976	,6214
.42	.9671	2,630	,0463	,4794	5.0	11.513	10 <sup>5</sup>	3,7987	,6544
.43	0.9901	2,692	,0485	,4901	10.0	23.026	10 <sup>10</sup>	7,3972	,7015
.44	1.0131	2,754	1,0507	1,5008	$\infty$	$\infty$	$\infty$	$\infty$	2,7183

30. Spezifischer elektrischer Widerstand  $\sigma$  von Metallen bei 18°.

	$10^4 \sigma$	$10^5 \alpha$		$10^4 \sigma$	$10^5 \alpha$
Silber	0,016	+4,0	Blei	0,21	+4,0
Kupfer	0,017	4,0	Antimon	0,45	4,1
Gold	0,023	4,0	Tantal	0,15	3,3
Aluminium	0,032	3,6	Wismut	1,2	4,2
Iridium	0,053	4,1	Quecksilber	0,958	+0,92
Rhodium	0,060	4,4			
Zink	0,061	3,7	Konstantan	0,49	-,03 bis +,05
Cadmium	0,076	4,0	Manganin	0,42	bis +0,03
Osmium	0,10	4	Neusilber	0,16—,40	+0,6 bis +,23
Palladium	0,107	3,8	Nickelin	0,42	0,23
Platin, rein	0,108	3,9	Patentnickel	0,33	0,2
„ käuflich	0,14	2 bis 3	20 Pt, 80 Ag	0,20	0,3
Nickel	0,08—,11	bis 6	10 Rh, 90 Pt	0,20	1,7
Eisen	0,09—,15	bis 6	Messing	0,07—,09	
Stahl	0,15—0,5		Gaskohle	etwa 50	-,02 bis —,8

31. Leitvermögen  $\kappa$  wässriger Lösungen bei 18° in  $\Omega^{-1} \text{cm}^{-1}$ .

Lösung	KCl		NH <sub>4</sub> Cl		NaCl		K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>		MgSO <sub>4</sub>		ZnSO <sub>4</sub>		CaSO <sub>4</sub>	
	$\kappa$	$\Delta \kappa$	$\kappa$	$\Delta \kappa$	$\kappa$	$\Delta \kappa$	$\kappa$	$\Delta \kappa$	$\kappa$	$\Delta \kappa$	$\kappa$	$\Delta \kappa$	$\kappa$	$\Delta \kappa$
5%	,069	2,0	,092	2,0	,067	2,2	,046	2,2	,0263	2,3	,0191	2,2	,0146	2,1
10	,136	1,9	,178	1,9	,121	2,1	,086	2,0	,0414	2,4	,0321	2,2	,0247	2,1
15	,202	1,8	,259	1,7	,164	2,1			,048	2,5	,0415	2,3	,033	2,1
20	,268	1,7	,337	1,6	,196	2,2			,048	2,7	,047	2,4	,039	2,1
25			,403	1,5	,214	2,3			,042	2,9	,048	2,5	,043	2,2
30											,044	2,7	,044	2,4
35													,042	2,5
Max. = bei									0,0492 17,4%		0,0481 23,5%		0,044 28%	

Lösung	CuSO <sub>4</sub>		AgNO <sub>3</sub>		KOH		NaOH		HCl		HNO <sub>3</sub>		H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	
	$\kappa$	$\Delta \kappa$	$\kappa$	$\Delta \kappa$	$\kappa$	$\Delta \kappa$	$\kappa$	$\Delta \kappa$	$\kappa$	$\Delta \kappa$	$\kappa$	$\Delta \kappa$	$\kappa$	$\Delta \kappa$
5%	,0189	2,2	,0256	2,2	,172	1,9	,195	2,0	,395	1,58	,258	1,50	,209	1,21
10	,0320	2,2	,0476	2,2	,315	1,9	,309	2,2	,630	1,56	,461	1,45	,392	1,28
15	,0421	2,3	,068	2,2	,425	1,9	,349	2,5	,745	1,55	,613	1,40	,543	1,36
20			,087	2,1	,499	2,0	,328	3,0	,762	1,54	,711	1,38	,653	1,45
25			,106	2,1	,540	2,1	,272	3,7	,723	1,53	,770	1,38	,717	1,54
30			,124	2,1	,542	2,3	,207	4,5	,662	1,52	,785	1,39	,740	1,62
35			,141	2,1	,509	2,4	,156	5,5	,591	1,51	,769	1,43	,724	1,70
40			,157	2,1	,450	2,7	,121	6,5	,515	—	,733	1,49	,680	1,78
50			,186	2,1			,082	9			,631	1,6	,541	1,93
60			,210	2,1							,513	1,6	,373	2,13
70											,396	1,5	,216	2,56
80											,267	1,3	,111	3,49
Max. = bei					0,544 28%				0,767 18,3%		0,785 29,7%		0,740 30,0%	

**Zu Tab. 30.** Widerstand eines cm-Würfels =  $\sigma \cdot \Theta = \sigma \cdot 10^9$  CGS; eines 1 m langen Drahtes von 1 qmm =  $10000 \sigma \cdot \Theta$ ;  $\alpha$  = relative Zunahme von  $\sigma$  auf  $+1^\circ$ . — Im allgemeinen gilt für weiche reine Metalle; Härte und namentlich Verunreinigung erhöht  $\sigma$  und verkleinert  $\alpha$ .

**Zu Tab. 31.** Gehalt: Gewichtsprozente der Lösung; die Salze wasserfrei gerechnet.  $\Delta \alpha$  = mittl. Zunahme von  $\alpha$  zw. 18 u.  $25^\circ$  auf  $+1^\circ$  in Proz. von  $\alpha_{18}$ . — Vollständiger bei K. u. Holborn, Leitvermögen der Elektrolyte.

### 32. Äquivalentleitvermögen $A = \alpha/\eta$ wässriger Lösungen bei $18^\circ$ . Vgl. 96 II.

gr-Äq. Liter	KCl	NaCl	LiCl	KNO <sub>3</sub>	AgNO <sub>3</sub>	$\frac{1}{2}$ MgCl <sub>2</sub>	$\frac{1}{2}$ K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	$\frac{1}{2}$ {Mg SO <sub>4</sub> }	$\frac{1}{2}$ {Zn SO <sub>4</sub> }	$\frac{1}{2}$ {Cu SO <sub>4</sub> }	HCl	$\frac{1}{2}$ {H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> }
0	130,1	109,0	98,9	126,5	115,8	111,4	133,1	114	115	115	380	383
0,0001	129,1	108,1	98,1	125,5	115,0	109,4	130,8	109,9	109,5	109,9	378	
0,0002	128,8	107,8	97,8	125,2	114,6	108,9	130,1	108,1	107,5	107,9	378	
0,0005	128,1	107,2	97,2	124,4	113,9	107,7	128,6	104,2	103,2	103,6	377	368
0,001	127,3	106,5	96,5	123,6	113,1	106,3	126,9	99,9	98,4	98,6	376	361
0,002	126,3	105,6	95,6	122,6	112,1	104,5	—	94,1	92,0	91,9	375	351
0,005	124,4	103,8	93,9	120,5	110,0	101,3	120,3	84,5	81,8	81,0	373	330
0,01	122,4	102,0	92,1	118,2	107,8	98,1	115,8	76,2	72,8	71,7	369	308
0,02	120,0	99,6	89,9	115,2	—	94,3	110,4	67,7	63,7	62,4	366	286
0,05	115,8	95,7	86,1	109,9	99,5	88,5	101,9	56,9	52,7	51,2	358	253
0,1	112,0	92,0	82,4	104,8	94,3	83,4	94,9	49,7	45,3	43,8	351	225
0,2	108,0	87,7	77,9	98,7	—	77,8	87,8	43,2	39,1	37,7	342	214
0,5	102,4	80,9	70,7	89,2	77,5	69,5	78,5	—	—	—	327	205
1	98,3	74,3	63,4	80,5	67,6	61,4	71,6	28,9	26,2	25,8	301	198

### 33. Ionenbeweglichkeiten $l$ im Wasser und ihr Temp.-Koeff. $\alpha$ bei $18^\circ$ ; 96 II. Vgl. F. K., ZS f. Elektroch. 1907, 342; 1908, 131.

Kationen				Anionen						
$l$	$\alpha$	$l$	$\alpha$	$l$	$\alpha$	$l$	$\alpha$			
Cs	68	,0212	$\frac{1}{2}$ Ba	55	,0239	J	66,5	,0213	JO <sub>4</sub>	48
Rb	67,5	214	$\frac{1}{2}$ Sr	51	247	Br	67,0	215	ClO <sub>4</sub>	64
K	64,6	217	$\frac{1}{2}$ Ca	51	247	Cl	65,5	216	CHO <sub>2</sub>	47
Na	43,5	244	$\frac{1}{2}$ Mg	45	256	SCN	56,6	221	C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> O <sub>2</sub>	35,0238
Li	33,4	265	$\frac{1}{2}$ Zn	46	254	F	46,6	238	C <sub>3</sub> H <sub>5</sub> O <sub>2</sub>	31
NH <sub>4</sub>	64	222	$\frac{1}{2}$ Cd	46	245	NO <sub>3</sub>	61,7	205	OH	174 180
Ag	54,3	229	$\frac{1}{2}$ Cu	46	246	JO <sub>3</sub>	33,9	234	$\frac{1}{2}$ SO <sub>4</sub>	68 227
Tl	66,0	215	$\frac{1}{2}$ Pb	61	240	BrO <sub>3</sub>	46	—	$\frac{1}{2}$ CrO <sub>4</sub>	72
H	315	,0154	$\frac{1}{2}$ Ra	58	,0239	ClO <sub>3</sub>	55,0	,0215	$\frac{1}{2}$ C <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	63,0231

### 34. Elektrochemische Äquivalente. Vgl. 87.

	Der Strom 1 A = 0,1 CGS zersetzt oder scheidet aus				
	mg Silber	mg Kupfer	mg-Äquivalente	mg Wasser	ccm Knallgas v. 0° u. 760 mm
in 1 sec	1,118	0,3294	0,01036	0,0933	0,1740
in 1 min	67,08	19,76	0,6215	5,60	10,44
in 1 h	4025	1186	37,29	335,9	626

### 35. Entladungsspannung $P$

in Kilovolt zur Schlagweite  $s$  cm;  
zwischen Kugeln vom Halbmesser  
 $r$  cm mit dünnen Zuleitungen,  
bei langsamer Aufladung, belichteter  
Gasstrecke und Vermeidung störender  
Influenzwirkungen (namentlich bei  
großem  $s$ ),

in atm. Luft von 18° u. 745 mm Hg;  
 $P$  wächst auf je  $-3^\circ$  oder  $+8$  mm  
um  $1\%$ .

Berechnet von Heydweiller, meist nach  
Algermissen, Heydweiller, Paschen,  
E. Voigt, M. Toepler.

$s$	$r=0,25$	$0,5$	$1,0$	$2,5$ cm
cm				
0,1	$P=4,8$	4,8	4,7	
0,2	8,4	8,4	8,1	
0,3	11,3	11,4	11,4	
0,4	13,8	14,4	14,5	
0,5	15,7	17,3	17,5	18,4
0,6	17,2	19,9	20,4	21,6
0,7	18,3	22,0	23,2	24,6
0,8	19,0	24,1	26,0	27,4
0,9	19,6	25,6	28,6	30,1
1,0	20,2	26,7	30,8	32,7
1,5	22,3	31,6	39,3	46
2,0	23,2	36	47	58
3,0	24	42	57	77
4,0	25	45	64	92
5,0	25	47	69	105

### 36 a. Magnetisierungs- Koeffizienten $\alpha \cdot 10^6$ bei 18°.

S. Landolt-B.-M. Tab. 248.

Wismut	-14
Gold	-3
Quecksilber	-2
Silber	-1,5
Zink	-0,9
Wasser	-0,77
Kupfer	-0,7
Aluminium	+1,8
Platin	+29
Palladium	+55
Mangan	+300
$Fe_2Cl_6$ i. wässr. Lös. $s=1,5$	+60

### 36. Dielektrizitätskonstante

bei 18° (vgl. 133).

Ausführlich mit Lit. bei Landolt-Börn-  
stein-Meyerhoffer Tab. 239 u. 240.

-  $\Delta D$  relative Abnahme auf  $+1^\circ$ .

	$D$	$-\Delta D$
Aceton	21	,006
Äthylacetat	6	
Äthyläther	4,4	,0046
Äthylalkohol	26	
Äthylchlorid	10	,005
Ameisensäure	58	
Anilin	7,2	,0035
Benzol	2,3	,0007
Brom	3,1	
Bromoform	4,5	
Chloroform	5,1	
Methylalkohol	33	
Nitrobenzol	36	,005
o-Nitrotoluol	27,8	,0055
Petroleum	2,0	
Ricinusöl	4,6	,01
Schwef.-Kohlenst.	2,6	,001
Terpentinöl	2,3	
Toluol	2,3	,001
Wasser	81	,0045
Xylol, Ortho	2,6	
"    Meta	2,37	,0005
"    Para	2,2	
Flußspat	6,8	
Gips, $\perp$ Spaltfl.	5,2	
Glas, gewöhnl.	5 bis 7	
Optische Gläser	bis 10	
Glimmer	5 bis 8	,0000
Guttapercha	2,5	
Hartkautschuk	2,7	
Kautschuk	2,2 bis 3	
Holz, lufttrocken	2 bis 8	
Kalkspat $\parallel$	8	
$\perp$	8,5	
Marmor	8,3	
Paraffin	1,8 bis 2,3	
Porzellan	5	
Quarz $\perp$	4,4	
$\parallel$	4,7	
Schellack	3 bis 3,7	
Schwefel	3,6 bis 4,3	
Steinsalz	5,6	
Sylvin	4,9	
Luft, bezogen auf d. Vakuum	1,0006	

### 37. Magnetisierbarkeit einiger Eisensorten.

Nach Beobachtungen in der P. T. Reichsanstalt von Gumlich u. E. Schmidt.

Magnetische Permeabilität  $\mu$ , bez. magn. Induktion  $\mathfrak{B} = \mu \mathfrak{H}$  des Materials für die innere magnetisierende Feldstärke  $\mathfrak{H}$  Gaußs.

$\mathfrak{B}$  ist die Dichte der von  $\mathfrak{H}$  durch das Material getriebenen Kraftlinien.

Magnetisierung  $\mathfrak{I} = (\mathfrak{B} - \mathfrak{H})/4\pi$ ; Magn.-Koeff.  $\kappa = \mathfrak{I}/\mathfrak{H} = (\mu - 1)/4\pi$ .

$\mathfrak{H}_0$  = Koerzitivkraft, d. h. Feldstärke, die zur Beseitigung einer starken Magnetisierung nötig ist.

$\mathfrak{B}_0$  = Remanenz der Induktion, d. h. Dichte der nach Aufhören einer starken magnetisierenden Kraft im geschlossenen Eisen bleibenden Kraftlinien; also  $\mathfrak{B}_0/4\pi$  = remanentes magn. Moment der Volumeinheit.

$Q_e$  = Arbeit („Energievergeudung“) in Erg/cm<sup>3</sup> bei einem magnetisierenden Kreisprozeß zwischen den Grenzen  $\pm \mathfrak{H}_e$ , denen die Induktionen  $\pm \mathfrak{B}_e$  entsprechen.

Alle Größen in CGS-Einheiten. Vgl. 115 und Anh. 21 bis 22b u. 26a.

$\mathfrak{H}$	Magnetisch weiches Eisen				Magnetisch hartes Eisen			
	Schwed. Schmied-eisen	Stahlguß 5mal gegläht	Stahlguß gegläht	Stahlguß ungegläht	Guß-eisen	Wolfram-Magnet-stahl	Magnet-stahl gehärtet	
0,5	$\mu = 2500$	1450	—	490				
0,75		3120	—	710				
1,0		3710	820	970				
1.25		3680	1220	1270				
1,5		3560	1840	1600				
2		3300	3280	2060				
2,5		3020	2990	2630				
3		2760	2750	2520				
4		2350	2380	2260				
5		2060	2100	2020	81			
7,5		1600	1630	1580	110			
10		1300	1320	1290	141	80		
15		942	953	945	181	94	68	
20		736	747	740	182	119	78	
25		603	615	610	173	159	91	
30		513	524	520	163	203	108	
40		396	405	403	145	233	155	
50		323	331	330	129	222	194	
60		274	280	280	117	204	193	
80		210	216	216	99	170	164	
100		172	177	177	85	144	138	
150		120	123	123	65	105	100	
50 $\mathfrak{B}$		16140	16540	16500	15740	6450	11100	9700
60		16440	16790	16790	16190	7000	12220	11570
80		16800	17270	17270	16800	7880	13600	13090
100		17200	17700	17700	17300	8500	14400	13800
150		17950	18490	18500	18230	9800	15750	15000
$\mathfrak{H}_0 =$	0,8	0,97	1,63	2,08	11,3	27,5	52,6	
$\mathfrak{B}_0 =$	4000	7100	8500	9000	4230	9880	11700	
$\int \mathfrak{H}_e =$	200	151	165	156	155	505	234	
$\int \mathfrak{B}_e =$	18650	18500	18660	18320	9900	18720	16220	
$Q_e =$	6700	11700	13300	20400	34300	116000	211000	

## Erdmagnetismus im mittleren Europa für 1910,0.

Nach einer neuen Aufstellung der Deutschen Seewarte.

Mittlere jährliche Änderung: Horiz.-Int. + 0,00014 bis 0,00034 CGS;  
Dekl. im Mittel für das Gebiet — 0,07°; Inkl. — 0,02 bis — 0,05°.

### 38. Horizontal-Intensität in CGS-Einheiten oder Gaufs.

Nördl. Breite	Länge östlich von Greenwich										
	2°	4°	6°	8°	10°	12°	14°	16°	18°	20°	22°
45°	0,217	0,218	0,220	0,221	0,222	0,224	0,226	0,227	0,228	0,230	0,231
46	,212	,213	,215	,216	,217	,219	,221	,222	,223	,225	,226
47	,207	,208	,210	,211	,212	,214	,216	,217	,218	,220	,221
48	,202	,203	,205	,206	,207	,209	,211	,212	,213	,215	,216
49	,198	,199	,200	,201	,202	,204	,206	,207	,208	,210	,211
50	,194	,195	,196	,197	,198	,199	,201	,202	,203	,205	,206
51	,190	,191	,192	,193	,194	,195	,197	,198	,199	,200	,201
52	,185	,187	,188	,189	,190	,191	,193	,194	,195	,196	,196
53	,181	,182	,184	,185	,186	,187	,189	,190	,191	,192	,192
54	,177	,178	,180	,181	,182	,183	,185	,186	,187	,188	,188
55	,173	,174	,176	,177	,178	,179	,181	,182	,183	,184	,184

### 39. Westliche Deklination.

N. Br.	Länge östlich von Greenwich												
	0°	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°	10°	11°	12°
45°	14,3°	13,9	13,5	13,1	12,7	12,2	11,8	11,4	11,1	10,7	10,3	9,9	9,5
50	15,3	14,9	14,4	13,9	13,5	13,0	12,6	12,1	11,6	11,1	10,7	10,2	9,7
55	16,4	15,9	15,3	14,8	14,3	13,8	13,3	12,8	12,2	11,6	11,0	10,4	9,9
	13°	14°	15°	16°	17°	18°	19°	20°	21°	22°	23°	24°	25°
45°	9,1°	8,7	8,2	7,7	7,3	6,9	6,5	6,0	5,6	5,1	4,7	4,3	3,8
50	9,2	8,7	8,2	7,7	7,2	6,6	6,2	5,7	5,2	4,7	4,2	3,7	3,2
55	9,3	8,8	8,2	7,7	7,2	6,6	6,1	5,5	4,8	4,2	3,6	3,1	2,5

### 40. Nördliche Inklination.

Östl. v. Greenw.	Nördliche Breite										
	45°	46°	47°	48°	49°	50°	51°	52°	53°	54°	55°
5°	61,2°	62,2	63,0	63,8	64,6	65,3	65,9	66,5	67,1	67,7	68,3°
10	60,4	61,4	62,3	63,2	64,0	64,7	65,3	65,9	66,6	67,2	67,9
15	59,8	60,8	61,7	62,6	63,4	64,1	64,8	65,5	66,2	66,8	67,5
20	59,3	60,3	61,2	62,0	62,8	63,7	64,5	65,2	65,8	66,5	67,2

**Quellen für weitere Gebiete:** 1. Weltkarten. Linien gleicher Dekl.; gl. Inkl.; gl. Hor.-Int. f. 1905,0, entworfen v. d. D. Seewarte. Berl., Dietr. Reimer. 3 Karten, je 1 M. — Curves of equal magn. Variation 1907; Engl. Admiralty. London, Potter. 4 sh. — The Variation of the Compass 1910. U. S. Dep. of the Navy. Wash. 1907. 50 cts.

2. Zusammenstellungen. K. Schering, Berichte üb. d. Fortschr. usw. im Geogr. Jahrbuch. — L. A. Bauer, United St. magn. Tables and magn. Charts 1905. Wash. 1908. — Terrest. Magn. and atm. Electr., an internat. quart. Journ. (Bauer), Baltimore.

## 41. Einheiten des absoluten Maß- systems.

Grundgrößen: Länge  $l$ ,  
Masse  $m$ , Zeit  $t$ . Die übrige  
Größen drücken sich  
hierdurch in der Form aus:

$$l^\lambda \cdot m^\mu \cdot t^\tau;$$

$\lambda, \mu, \tau$  sind die Dimensio-  
nen der Größenart bezüg-  
lich Länge, Masse u. Zeit.  
Zeiteinheit = 1 sec.

Zusammengehörige Ein-  
heiten für Länge und  
Masse:

dm, kg; cm, gr; mm, mg.

Die Zahlen unter  $N$   
geben das Verhältnis an,  
in dem eine Einheit  
wächst, wenn man von  
mm, mg zu cm, gr oder von  
cm, gr zu dm, kg übergeht.  
Angaben in mm, mg sind  
also durch  $N$  zu dividieren,  
um sie auf cm, gr zu re-  
duzieren.

In der vorletzten Spalte  
Namen gebräuchlicher  
Einheiten und Angabe,  
wie viele von diesen auf  
die CGS-Einheit gehen.

Das Größenverhältnis:  
elektromagn. Einh. ist =  
elektrostat. Einh.

$v$  für El.-Menge od. Strom,  
 $1/v$  „ elektr. Potential,  
 $v^2$  „ elektr. Kapazität,  
 $1/v^2$  „ elektr. Widerstand,  
wo im CGS-System

$$v = 300 \cdot 10^8.$$

Zahlen, die in beiden  
Systemen dieselbe Größe  
darstellen, verhalten sich  
umgekehrt.

	$\lambda$	$\mu$	$\tau$	1 CGS-Einh. ist gleich	$N$
Winkel	0	0	0		1
Länge	1	0	0	1 Centim.	10
Lineare Krümmung.	-1	0	0		0,1
Fläche	2	0	0		$10^2$
Volumen	3	0	0		$10^3$
Masse	0	1	0	1 Gramm	$10^3$
Dichtigkeit	-3	1	0		1
Zeit, Schwingdauer	0	0	1	1 Sekunde	1
Geschwindigkeit	1	0	-1		10
Wink.-Geschwind.	0	0	-1		1
Beschleunigung	1	0	-2		10
Winkelbeschleunig.	0	0	-2		1
Kraft	1	1	-2	1 Dyne	$10^4$
Drehmoment, } Direktionskraft } ...	2	1	-2		$10^5$
Druck	-1	1	-2		$10^2$
Elastizitätsmodul	-1	1	-2		$10^2$
Kapillarkonstante	0	1	-2		$10^3$
Inn. Reibungskoeff.	-1	1	-1		$10^2$
Trägheitsmoment	2	1	0		$10^5$
Arbeit, Energie, } Lebend. Kraft, } Wärmemenge }	2	1	-2	1 Erg $10^7$ Joule	$10^5$
Leistung	2	1	-3	$10^{-7}$ Watt	$10^5$
Schwingungszahl, } Tonhöhe }	0	0	-1		1
Lichtbrech.-Verh.	0	0	0		1
Lichtdreh.-Konst.	-1	0	0		0,1
Elektrostat. System:					
Elektr.-Menge	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{3}$	-1	$\frac{1}{3} 10^{-9}$ Coul.	$10^3$
Potential	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{3}$	-1	300 $\nabla$	$10^2$
Kapazität	1	0	0	$\frac{1}{3} 10^{-11}$ Far.	10
Dielektr.-Konst.	0	0	0		1
Elektr. Strom	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{3}$	-2	$\frac{1}{3} 10^{-9}$ A	$10^3$
Widerstand	-1	0	1	$9 \cdot 10^{11}$ $\Theta$	0,1
Elektromagn. System:					
Magnetpol } Induktionsfluß } ...	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{3}$	-1	1 Maxwell	$10^3$
Magn. Potential	1	$\frac{1}{3}$	-1		$10^2$
Magn. Moment	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{3}$	-1		$10^4$
Magn. Feldstärke } Magn. Induktion }	-1	$\frac{1}{3}$	-1	1 Gauß	10
Spez. Magn. (Vol.) } Magnetisier.-Koeff. }	0	0	0		1
Mag. Permeabilität } Elektr. Strom	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{3}$	-1	1 Web. = $10^9$ A	$10^2$
Stromdichte	-1	$\frac{1}{3}$	-1		1
Elektr.-Menge	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{3}$	0	10 Coul.	$10^2$
Elm. Kraft, Potential	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{3}$	-2	$10^{-8}$ $\nabla$	$10^3$
Kapazität	-1	0	2	$10^9$ Farad	0,1
Widerstand	1	0	-1	$10^{-9}$ $\Theta$	10
Spez. Widerstand	2	0	-1		$10^2$
Stromleistung	2	1	-3	$10^{-7}$ Watt	$10^5$
EL.-dyn. Potential } Selbstind.-Koeff. }	1	0	0	$10^{-9}$ { Quadr. Henry }	10

### 42. Internationale Atomgewichte für 1909.

Die kleingedruckten galten seither.

Ag	107,88	,93	H	1,008	Ra	226,4	5,0
Al	27,1		He	4,0	Rb	85,45	,5
Ar	39,9		Hg	200,0	Rh	102,9	3,0
As	75,0		J	126,92	S	32,07	,06
Au	197,2		Ir	193,1	Sb	120,2	
B	11,0		K	39,10	Se	79,2	
Ba	137,37	,4	Li	7,00	Si	28,3	,4
Bi	208,0	,5	Mg	24,32	Sn	119,0	
Br	79,92	,96	Mn	54,93	Sr	87,62	,6
C	12,00		N	14,01	Ta	181,0	
Ca	40,09	,10	Na	23,00	Te	127,5	,6
Cd	112,40		Ne	20	Th	232,42	,5
Cl	35,46	,45	Ni	58,68	Ti	48,1	
Co	58,97	9,0	O	16,00	Tl	204,0	,1
Cr	52,1		Os	190,9	U	238,5	
Cs	132,81	,9	P	31,0	W	184,0	
Cu	63,57	,6	Pb	207,10	X	128	
F	19,0		Pd	106,7	Zn	65,37	,4
Fe	55,85	,9	Pt	195,0	Zr	90,6	

### 43. Schwere $g$ unter der geogr. Breite $\varphi$ .

$$g_{45} = 980,62 \frac{\text{cm}}{\text{sec}^2}$$

$\varphi$	$g$	$\frac{g}{g_{45}}$
0	$\frac{\text{cm}}{\text{sec}^2}$	
0	978,1	0,9974
10	978,2	0,9976
20	978,7	0,9980
30	979,3	0,9987
40	980,2	0,9995
50	981,1	1,0005
60	981,9	1,0013
70	982,6	1,0020
80	983,0	1,0024
90	983,2	1,0026

### 44. Ortstabelle.

Geogr. Länge  $l$  östl. Greenwich (ab Ferro + 17,66°); Breite  $\varphi$ ; Meereshöhe  $h$ .  
Berechnete Schwere  $g = 980,62 (1 - 0,00264 \cos 2\varphi - 0,0,3 h) \text{ cm/sec}^2$ .

	$l$	$\varphi$	$h$	$g$		$l$	$\varphi$	$h$	$g$
	o	o	m	98		o	o	m	98
Aachen <sup>1)</sup>	6,1	50,78	180	1,09	Jena	11,6	50,94	160	1,11
Amsterdam	4,9	52,37		1,28	Innsbruck	11,4	47,27	570	0,66
Baltimore	276,6	39,30		0,11	Karlsruhe	8,4	49,01	120	0,95
Basel	7,6	47,56	260	0,77	Kiel	10,2	54,34		1,45
Berlin	13,4	52,50	40	1,28	Köln	7,0	50,94	40	1,14
Bern	7,4	46,95	550	0,63	Königsberg	20,5	54,71		1,48
Bonn	7,1	50,73	50	1,12	Kopenhagen	12,6	55,69		1,56
Braunschweig	10,5	52,27	100	1,24	Leiden	4,5	52,16		1,26
Bremen	8,8	53,08		1,34	Leipzig	12,4	51,34	100	1,16
Breslau	17,0	51,11	130	1,13	Madrid	- 3,7	40,41	660	0,01
Brüssel	4,4	50,85	90	1,12	Mailand	9,2	45,47	130	0,62
Cambr. Engl.	0,1	52,22	30	1,26	Marburg <sup>2)</sup>	8,8	50,81	210	1,08
Cambr. Mass.	288,9	42,38	20	0,59	Marseille	5,4	43,30		0,47
Cassel	9,5	51,32	160	1,14	Moskau	37,6	55,76	140	1,53
Christiania	10,7	59,91		1,91	München	11,6	48,15	530	0,75
Danzig	18,7	54,35		1,45	Münster	7,6	51,97	60	1,23
Darmstadt	8,7	49,87	140	1,02	New-York	-74,0	40,72		0,23
Dorpat	26,7	58,38	50	1,77	Oxford	- 1,3	51,76	60	1,20
Dresden	13,7	51,04	100	1,13	Paris	2,3	48,83	60	0,95
Edinburgh	-3,2	55,92		1,58	Pest	19,1	47,50	70	0,82
Erlangen	11,0	49,60	320	0,94	Petersburg	30,3	59,94		1,91
Florenz	11,3	43,77	70	0,49	Potsdam	13,1	52,38	90	1,25
Frankfurt/M.	8,7	50,11	90	1,05	Prag	14,4	50,09	200	1,02
Freiburg i. B.	7,8	48,00	280	0,81	Rom	12,4	41,90	30	0,33
Genf	6,2	46,2	370	0,62	Rostock	12,1	54,09		1,43
Gießen	8,6	50,59	140	1,08	Stockholm	18,1	59,34		1,86
Glasgow	-4,3	55,88		1,58	Straßburg	7,8	48,58	150	0,90
Göttingen	9,9	51,53	130	1,17	Stuttgart	9,2	48,78	270	0,88
Graz	15,4	47,08	360	0,70	Tübingen <sup>3)</sup>	9,1	48,52	350	0,83
Greenwich	0,0	51,48		1,20	Turin	7,7	45,07	270	0,55
Greifswald	13,4	54,10		1,43	Utrecht	5,1	52,08		1,25
Halle	12,0	51,49	100	1,17	Washington	-77,0	38,89	200	0,07
Hamburg	10,0	53,55		1,38	Wien	16,4	48,23	180	0,86
Hannover	9,7	52,38	70	1,25	Würzburg	9,9	49,79	170	1,00
Heidelberg	8,7	49,41	100	0,99	Zürich <sup>4)</sup>	8,6	47,38	460	0,70

1) 160 bis 200 m. 2) 180 bis 240 m. 3) 320 bis 380 m. 4) 420 bis 500 m.

### 45. Deklination der Sonne, Zeitgleichung und Sternzeit für den mittleren Mittag des 15. Meridians östl. von Greenwich (mitteleuropäische Zeit). S. noch die Korrektionstabelle 46.

Ausführlicher im Anhang zu Bremiker, fünfstellige Logarithmen.

Die Sternzeit am Mittag wächst in einem Tage um  $3^{\text{min}} 56,6^{\text{sec}} = 236,6^{\text{s}}$ .

Mittlere Ortszeit = Sonnenzeit + Zeitgleichung.

\* Die kleingedruckten Daten gelten für Schaltjahre.

	Dekli- nation der Sonne	Diff. für 1 Tag	Zeit- gleichung	Sternzeit am Mittag		Dekli- nation der Sonne	Diff. für 1 Tag	Zeit- gleichung	Sternzeit am Mittag
	0	0	m s	h m s		0	0	m s	h m s
Jan. 0	1 -23,10		+ 3 15	18 38 42	Juli 4	+22,92	,068	+ 4 0	6 48 4
5	6 -22,64	,092	5 34	58 24	9	22,41	,102	4 49	7 7 47
10	11 -21,99	,130	7 42	19 18 7	14	21,73	,136	5 29	27 30
15	16 -21,16	,166	9 36	37 50	19	20,91	,164	5 58	47 13
20	21 -20,16	,200	11 13	57 33	24	19,94	,194	6 13	8 6 56
25	26 -19,01	,230	12 33	20 17 16	29	18,83	,222	6 13	26 38
30	31 -17,71	,260	13 32	36 58			,248		
Feb. 4	5 -16,27	,288	14 10	56 41	Aug. 3	17,59		5 57	46 21
9	10 -14,73	,308	14 27	21 16 24	8	16,23	,272	5 27	9 6 4
14	15 -13,08	,330	14 25	36 7	13	14,76	,294	4 42	25 47
19	20 -11,34	,348	14 5	55 49	18	13,19	,314	3 44	45 29
24	25 -9,52	,364	13 28	22 15 32	23	11,54	,330	2 33	10 5 12
		,374			28	9,81	,346	+ 1 11	24 55
März 1	- 7,65	,384	12 36	35 15	Sep. 2	8,01	,360	- 0 20	44 38
6	- 5,73	,390	11 31	54 58	7	6,16	,370	- 1 59	11 4 21
11	- 3,78	,394	10 15	23 14 41	12	4,27	,378	- 3 41	24 3
16	+ 1,81	,394	8 52	34 23	17	2,35	,384	- 5 26	43 46
21	+ 0,16	,394	7 23	54 6	22	+ 0,40	,390	- 7 12	12 3 29
26	2,13	,390	5 52	0 13 49	27	- 1,55	,390	- 8 55	23 12
31	4,08	,384	4 19	33 32	Okt. 2	- 3,49	,388	-10 34	42 54
April 5	6,00	,374	2 49	53 14	7	- 5,42	,386	-12 4	13 2 37
10	7,87	,364	1 23	1 12 57	12	- 7,32	,380	-13 24	22 20
15	9,69	,352	+ 0 4	32 40	17	- 9,19	,374	-14 31	42 3
20	11,45	,334	- 1 5	52 23	22	-10,99	,360	-15 23	14 1 45
25	13,12	,318	- 2 4	2 12 5	27	-12,73	,348	-16 0	21 28
30	14,71	,296	- 2 52	31 48	Nov. 1	-14,38	,330	-16 18	41 11
Mai 5	16,19	,276	- 3 27	51 31	6	-15,94	,312	-16 16	15 0 54
10	17,57	,250	- 3 48	3 11 14	11	-17,38	,288	-15 52	20 37
15	18,82	,224	- 3 53	30 57	16	-18,71	,266	-15 7	40 19
20	19,94	,196	- 3 45	50 39	21	-19,89	,236	-14 2	16 0 2
25	20,92	,164	- 3 23	4 10 22	26	-20,92	,206	-12 36	19 45
30	21,74	,136	- 2 49	30 5	Dez. 1	-21,79	,174	-10 53	39 28
Juni 4	22,42	,100	- 2 4	49 48	6	-22,49	,140	- 8 54	59 10
9	22,92	,068	- 1 11	5 9 30	11	-23,00	,102	- 6 40	17 18 53
14	23,26	,034	- 0 10	29 13	16	-23,32	,064	- 4 17	38 36
19	23,43	,000	+ 0 55	48 56	21	-23,45	,026	- 1 49	58 19
24	23,43	,034	+ 2 0	6 8 39	26	-23,39	,012	+ 0 41	18 18 2
29	+23,26	,068	+ 3 2	6 28 22	31	-23,12	,054	+ 3 8	18 37 44

46. Korrek-  
tions-  
tafel für den An-  
fang des Jahres.

Jahr	Korrek- tion $k$
	Tage
1908	+ 0,034
09	— ,208
10	— ,450
11	— ,693
12	+ ,065
13	— ,177
14	— ,419
15	— ,662
16	+ ,096
17	— ,146
18	— ,388
1919	— 0,631

47. Halbmesser  
der Sonne.

Datum	Halb- messer
	0
Januar 1.	0,272
Februar 1.	,271
März 1.	,269
April 1.	,267
Mai 1.	,265
Juni 1.	,263
Juli 1.	,263
August 1.	,263
Septbr. 1.	,265
Oktbr. 1.	,267
Novbr. 1.	,269
Dezbr. 1.	0,271

48. Mittlere  
Refraktion eines  
Gestirns.

Höhe	Refrak- tion
0	0
5	0,16
7	,12
10	,09
15	,06
20	,044
30	,028
40	,019
50	,013
60	,009
70	,006
80	,003
90	0,000

## 49. Mittlere Örter einiger Hauptsterne für 1910,0.

	Rektaszen- sion	Jährl. Zuwachs	Deklination	Jährl. Zuwachs
	h min sec	sec	0 ' "	"
$\alpha$ Cassiopeiae .....	0 35 23,5	+ 3,38	56 2 38	+ 19,8
$\alpha$ Arietis .....	2 2 5,8	+ 3,37	23 2 14	+ 17,1
$\alpha$ Persei .....	3 17 53,4	+ 4,27	49 32 29	+ 13,0
$\alpha$ Tauri (Aldebaran) .	4 30 45,3	+ 3,44	16 19 44	+ 7,4
$\alpha$ Aurigae (Capella) ..	5 10 2,3	+ 4,43	45 54 26	+ 3,9
$\alpha$ Orionis ....	5 50 17,9	+ 3,25	7 23 27	+ 0,9
$\alpha$ Can. maj. (Sirius) ..	6 41 11,0	+ 2,64	— 16 35 32	— 4,8
$\alpha$ Gemin. (Castor) ...	7 28 51,4	+ 3,84	32 5 13	— 7,7
$\alpha$ Can. min. (Procyon)	7 34 35,5	+ 3,14	5 27 23	— 9,1
$\alpha$ Hydrae ...	9 23 9,9	+ 2,95	— 8 16 5	— 15,5
$\alpha$ Leonis (Regulus) ...	10 3 34,8	+ 3,20	12 24 27	— 17,5
$\alpha$ Ursae maj. ....	10 58 11,0	+ 3,73	62 14 13	— 19,4
$\beta$ Leonis .....	11 44 28,2	+ 3,06	15 4 31	— 20,1
$\alpha$ Virginis (Spica) ...	13 20 27,0	+ 3,16	— 10 41 31	— 18,9
$\alpha$ Bootis (Arcturus) .	14 11 33,4	+ 2,74	19 39 2	— 18,8
$\alpha$ Coronae (Gemma) ..	15 30 52,6	+ 2,54	27 1 1	— 12,2
$\alpha$ Scorpii (Antares) ...	16 23 53,2	+ 3,67	— 26 13 59	— 8,2
$\alpha$ Ophiuchi .....	17 30 45,4	+ 2,78	12 37 30	— 2,8
$\alpha$ Lyrae (Wega) .....	18 33 53,5	+ 2,03	38 41 58	+ 3,2
$\alpha$ Aquilae (Atair) ....	19 46 23,5	+ 2,93	8 37 48	+ 9,4
$\alpha$ Cygni .....	20 38 21,8	+ 2,04	44 57 30	+ 12,8
$\alpha$ Piscium (Fomalhaut)	22 52 40,8	+ 3,32	— 30 5 58	+ 19,0
$\alpha$ Pegasi .....	23 0 16,6	+ 2,99	14 43 15	+ 19,3
$\alpha$ Urs. min. (Polaris) ..	1 26 55,9	+ 27,4	88 49 33	+ 18,6
$\delta$ Ursae minoris .....	18 1 17,8	— 19,5	86 36 51	+ 0,2

## 50. Verschiedene Zahlen.

$\pi = 3,1416$  ( $\frac{22}{7}$ );  $\pi^2 = 9,8696$ ;  $1/\pi = 0,31831$ ;  $\lg \pi = .49715$ .  
 $4\pi = 12,566$  ( $\frac{100}{8}$ );  $1/4\pi = 0,079577$ ;  $\lg 4\pi = 1.09921$ .  
 Basis d. nat. Logar.  $e = 2,7183$ ;  $\lg e = .43429$ ;  $\lg \lg e = .63778 - 1$ .  
 Modul der nat. Logarithmen  $M = 1/\lg e = 2,3026$ ;  $\lg M = .36222$ .  
 Der Winkel, für welchen der Bogen dem Halbmesser gleich ist:  
 $= 57,2958^\circ = 3437,75' = 206265''$ .  
 $\lg = 1.758123 \quad 3.536274 \quad 5.314425$ .

1 Pariser Fuß ( $12''$ ;  $144''$ ) =  $0,32484$  m; 1 m =  $3,0784$  Pariser Fuß.  
 1 Rhein. Fuß ( $12''$ ;  $144''$ ) =  $0,31385$  m; 1 m =  $3,1862$  Rhein. Fuß.  
 1 Engl. Fuß ( $12''$ ;  $120''$ ) =  $0,30479$  m; 1 m =  $3,2809$  Engl. Fuß.  
 1 Engl. (auch U. S. A.) Pfund (a. d. p.) = 16 Ounces = 256 Drachm.  
 =  $453,6$  gr; 1 Ton = 2240 Pound.

1 Geogr. Meile =  $7,4204$  km; 1 km =  $0,13476$  Geogr. Meile.

1 Seemeile =  $1,852$  km; 1 km =  $0,5400$  Seemeile.

1 Engl. Meile =  $1,609$  km; 1 km =  $0,6214$  Engl. Meile.

(Die geogr. Meile entspricht 4 Bogenminuten des Äquators;  
die Seemeile entspricht der mittleren Bogenminute des Meridians.)

Die halbe große Axe der Erde =  $6378,0$  km,

die halbe kleine Axe „ „ =  $6356,8$  km.

Masse des Erdkörpers =  $6,00 \cdot 10^{27}$  gr.

Mittlere Länge des bürgerlichen Jahres =  $365$  t  $5$  h  $48,8$  min.

Sternstag = mittlerer Tag —  $3$  min  $55,9$  sec =  $0,99727$  mittl. Tag.

Schallgeschwindigkeit bei  $0^\circ$  in trockener Luft =  $331$  m/sec.

Ausdehnungskoeffizient der Gase =  $0,00367 = \frac{1}{273}$ .

Ausd.-Koeffizient des Wassers um  $18^\circ$  =  $0,000185 = 1/5400$ .

1 gr-Gew. unter  $45^\circ$  Breite =  $980,6$  cm grsec $^{-2}$  =  $980,6$  Dyne.

1 norm. Atm. Druck =  $1033,3$  gr-Gew./cm $^2$  =  $1013300$  cm $^{-1}$  grsec $^{-2}$ .

1 Wasser-gr.-Kal. ( $15^\circ$ ) =  $427$  gr-Gew. · m =  $41890000$  cm $^2$  grsec $^{-2}$ .

Schmelzwärme des Wassers =  $80,0$ ; Dampfwärme =  $538$ .

Spezifische Wärme der Luft bei konstantem Druck =  $0,238$ .

$c_p/c_v$  für vollkommene 1-atomige Gase =  $1,67$ ; für 2-atom. =  $1,40$ .

Verhältnis des Molekulargewichtes zur Dampfdichte =  $28,98$ .

Wellenlänge des Natriumlichtes (*D* Fraunhofer) =  $0,0005893$  mm.

Lichtgeschwindigkeit im leeren Raume  $v = 3,00 \cdot 10^{10}$  cm/sec.

Lichtstärke von 1 qmm des schwarzen Körpers (72a) etwa:

bei  $1500^\circ$   $0,1$  HK; bei  $1700^\circ$   $0,5$  HK; bei  $1800^\circ$   $1,0$  HK.

Masse des Wasserstoffatoms =  $1,6 \cdot 10^{-24}$  gr; eines Moleküls vom

Mol.-Gew.  $M = 1,6 \cdot 10^{-24} M$ .

Anzahl der Moleküle eines Gases bei  $0^\circ$  u.  $760$  mm im ccm =  $2,8 \cdot 10^{19}$ .

Elektr. Elementarquantum (El.-Menge, die mit 1 einwertigen elek-

trolyt. Atom wandert, oder El.-Menge eines Elektrons)

=  $1,56 \cdot 10^{-20}$  el.-magn. CGS =  $4,7 \cdot 10^{-10}$  el.-stat. CGS.

Masse eines Elektrons =  $8,7 \cdot 10^{-28}$  gr.

Zahlen für elektr. Maße, Strom, Widerstand, Spannung, Kapazität,

Leistung, s. S. 397 u. 400 ff., Anh. 24—30, Tab. 34 u. 41.

## 50a. Einfache mathematische Formeln.

Vollständiger z. B. in: Des Ingenieurs Taschenbuch, herausgegeben von dem Verein „Hütte“; Ligowski, Taschenbuch der Mathematik; Meyer Hirsch, Integraltafeln. — Elementare Formeln mit Ableitung auch in Ernst u. Schönflies, Einführung in die math. Behandl. d. Naturwissenschaften.

Tafeln der Hyperbelfunktionen  $\text{Sin}$  usw. siehe u. a. bei Ligowski oder Des Ing. Taschenb. — Über Fourier'sche Reihen s. S. 559.

$\lg x$  bedeutet  $\lg \text{nat} x$ ;  $i = \sqrt{-1}$ . — Die mit \*) bezeichneten Reihen gelten für  $+1 > x > -1$ ; die Reihe  $\text{tg} x$  gilt für  $\frac{1}{2}\pi > x > -\frac{1}{2}\pi$ .

$$(1+x)^m = 1 + \frac{m}{1!}x + \frac{m(m-1)}{2!}x^2 + \frac{m(m-1)(m-2)}{3!}x^3 + \dots^*);$$

$$e^x = 1 + \frac{x}{1!} + \frac{x^2}{2!} + \frac{x^3}{3!} + \dots; \quad a^x = e^{x \lg a};$$

$$\lg(1+x) = \frac{x}{1} - \frac{x^2}{2} + \frac{x^3}{3} - \dots^*); \quad \lg(a+x) = \lg a + \lg\left(1 + \frac{x}{a}\right);$$

$$\frac{1}{2} \lg \frac{1+x}{1-x} = \frac{x}{1} + \frac{x^3}{3} + \frac{x^5}{5} + \dots^*); \quad \lg^a x = \lg x \cdot \lg^a e = \frac{\lg x}{\lg a};$$

$$\sin x = \frac{e^{xi} - e^{-xi}}{2i} = \frac{x}{1!} - \frac{x^3}{3!} + \frac{x^5}{5!} - \dots; \quad \text{Sin} x = \frac{e^x - e^{-x}}{2};$$

$$\cos x = \frac{e^{xi} + e^{-xi}}{2} = 1 - \frac{x^2}{2!} + \frac{x^4}{4!} - \dots; \quad \text{Cos} x = \frac{e^x + e^{-x}}{2};$$

$$\text{tg} x = x + \frac{x^3}{3} + \frac{2x^5}{15} + \frac{17x^7}{315} + \dots^*); \quad \text{Tg} x = \frac{e^x - e^{-x}}{e^x + e^{-x}};$$

$$\text{arc tg} x = \frac{x}{1} - \frac{x^3}{3} + \frac{x^5}{5} - \dots^*); \quad \text{arc sin} x = x + \frac{x^3}{6} + \frac{3}{40}x^5 + \dots^*);$$

$$f(x + \Delta x) = f(x) + \Delta x f'(x) + \frac{1}{2!} \Delta x^2 f''(x) + \frac{1}{3!} \Delta x^3 f'''(x) + \dots \text{ (Taylor);}$$

$$d(x^m) = m x^{m-1} dx; \quad d(e^x) = e^x dx; \quad d(a^x) = \lg a \cdot a^x dx;$$

$$d \lg x = \frac{dx}{x}; \quad d \lg^a x = \frac{dx}{x} \frac{1}{\lg a} = \frac{dx}{x} \lg^a e;$$

$$d \sin x = \cos x dx; \quad d \cos x = -\sin x dx; \quad d \text{tg} x = \frac{dx}{\cos^2 x} = (1 + \text{tg}^2 x) dx;$$

$$d \text{arc sin} x = \frac{dx}{\sqrt{1-x^2}}; \quad d \text{arc tg} x = \frac{dx}{1+x^2};$$

$$d(uv) = v du + u dv; \quad d\left(\frac{u}{v}\right) = \frac{v du - u dv}{v^2};$$

$$\int u dv = uv - \int v du; \quad \int_a^b f(kx) dx = \frac{1}{k} \int_{ka}^{kb} f(z) dz;$$

$$\frac{d}{db} \int_a^b f(x) dx = f(b); \quad \frac{d}{da} \int_a^b f(x) dx = -f(a);$$

## 50a. Formeln, fortgesetzt.

Die Werte der unbestimmten Integrale sind zu ergänzen durch + Const.

$$\int (a + bx)^n dx = \frac{1}{n+1} \frac{(a + bx)^{n+1}}{b}; \quad \int x^n dx = \frac{1}{n+1} x^{n+1};$$

$$\int \frac{dx}{a + bx} = \frac{1}{b} \lg(a + bx); \quad \int \frac{dx}{x} = \lg x;$$

$$\int \frac{dx}{a + bx^2} = \frac{1}{\sqrt{ab}} \operatorname{arctg} x \sqrt{\frac{b}{a}}; \quad \int \frac{dx}{1 + x^2} = \operatorname{arctg} x;$$

$$\int \frac{dx}{a - bx^2} = \frac{1}{2\sqrt{ab}} \lg \frac{\sqrt{a + x}\sqrt{b}}{\sqrt{a - x}\sqrt{b}}; \quad \int \frac{dx}{1 - x^2} = \frac{1}{2} \lg \frac{1 + x}{1 - x};$$

$$\int \frac{dx}{\sqrt{a + bx^2}} = \frac{\lg(x\sqrt{b} + \sqrt{a + bx^2})}{\sqrt{b}}; \quad \int \frac{dx}{\sqrt{1 + x^2}} = \lg(x + \sqrt{1 + x^2});$$

$$\int \frac{dx}{\sqrt{a - bx^2}} = \frac{1}{\sqrt{b}} \operatorname{arcsin} x \sqrt{\frac{b}{a}}; \quad \int \frac{dx}{\sqrt{1 - x^2}} = \operatorname{arcsin} x;$$

$$\int \frac{dx}{(a \pm bx^2)^{3/2}} = \frac{1}{a} \frac{x}{\sqrt{a \pm bx^2}}; \quad \int \frac{dx}{(1 \pm x^2)^{3/2}} = \frac{x}{\sqrt{1 \pm x^2}};$$

$$\int \sqrt{a + bx^2} dx = \frac{1}{2} x \sqrt{a + bx^2} + \frac{1}{2} \frac{a}{\sqrt{b}} \lg(x\sqrt{b} + \sqrt{a + bx^2});$$

$$\int \sqrt{a - bx^2} dx = \frac{1}{2} x \sqrt{a - bx^2} + \frac{1}{2} \frac{a}{\sqrt{b}} \operatorname{arcsin} x \sqrt{\frac{b}{a}};$$

$$\int a^x dx = \frac{a^x}{\lg a}; \quad \int e^x dx = e^x; \quad \int x a^x dx = \frac{x a^x}{\lg a} - \frac{a^x}{\lg^2 a};$$

$$\int x^n \lg x dx = \frac{x^{n+1}}{n+1} \left( \lg x - \frac{1}{n+1} \right); \quad \int \lg x dx = x \lg x - x;$$

$$\int \sin x dx = -\cos x; \quad \int \cos x dx = \sin x; \quad \int \operatorname{tg} x dx = -\lg \cos x;$$

$$\int \frac{dx}{\sin x} = \lg \operatorname{tg} \frac{x}{2}; \quad \int \frac{dx}{\cos x} = \lg \operatorname{tg} \left( \frac{\pi}{4} + \frac{x}{2} \right); \quad \int \frac{dx}{\sin^2 x} = -\operatorname{ctg} x;$$

$$\int \sin^2 x dx = \frac{x}{2} - \frac{\sin x \cos x}{2}; \quad \int x \sin x dx = -x \cos x + \sin x;$$

$$\int \sin x \cos x dx = \frac{\sin^2 x}{2}; \quad \int \frac{dx}{\sin x \cos x} = \lg \operatorname{tg} x;$$

$$\int e^{ax} \sin bx dx = e^{ax} \frac{a \sin bx - b \cos bx}{a^2 + b^2}; \quad \int_{-\infty}^{\infty} e^{-ax^2} dx = \frac{\sqrt{\pi}}{a};$$

$$\int \operatorname{arcsin} x dx = x \operatorname{arcsin} x + \sqrt{1 - x^2}.$$

Wenn  $\int f(x) dx = F(x)$ , so ist  $\int_a^b f(x) dx = F(b) - F(a)$ .

51. 2<sup>te</sup> u. 3<sup>te</sup> Potenzen; Reziproke, Quadrat- u. Kubikwurzeln; natürliche Logarithmen. Es ist  $\lg \text{nat}(n \cdot 10^p) = \lg \text{nat } n + \lg \text{nat}(10^p)$ ;

$n$	$n^2$	$n^3$	$\frac{1}{n}$	$\sqrt{n}$	$\sqrt[3]{n}$	$n \frac{\pi}{180}$	$n^2 \frac{\pi}{4}$	$\lg \text{nat } n$
1	1	1	1,0000	1,000	1,000	0,0175	0,785	0.0000
2	4	8	0,5000	1,414	1,260	0,0349	3,142	0.6931
3	9	27	,3333	1,732	1,442	0,0524	7,069	1.0986
4	16	64	,2500	2,000	1,587	0,0698	12,57	1.3863
5	25	125	,2000	2,236	1,710	0,0873	19,64	1.6094
6	36	216	,1667	2,449	1,817	0,1047	28,27	1.7918
7	49	343	,1429	2,646	1,913	0,1222	38,48	1.9459
8	64	512	,1250	2,828	2,000	0,1396	50,27	2.0794
9	81	729	,1111	3,000	2,080	0,1571	63,62	2.1972
10	100	1000	,10000	3,162	2,154	0,1745	78,54	2.3026
11	121	1331	,09091	3,317	2,224	0,1920	95,03	2.3979
12	144	1728	,08333	3,464	2,289	0,2094	113,1	2.4849
13	169	2197	,07692	3,606	2,351	0,2269	132,7	2.5649
14	196	2744	,07143	3,742	2,410	0,2443	153,9	2.6391
15	225	3375	,06667	3,873	2,466	0,2618	176,7	2.7081
16	256	4096	,06250	4,000	2,520	0,2793	201,1	2.7726
17	289	4913	,05882	4,123	2,571	0,2967	227,0	2.8332
18	324	5832	,05556	4,243	2,621	0,3142	254,5	2.8904
19	361	6859	,05263	4,359	2,668	0,3316	283,5	2.9444
20	400	8000	,05000	4,472	2,714	0,3491	314,2	2.9957
21	441	9261	,04762	4,583	2,759	0,3665	346,4	3.0445
22	484	10648	,04545	4,690	2,802	0,3840	380,1	3.0910
23	529	12167	,04348	4,796	2,844	0,4014	415,5	3.1355
24	576	13824	,04167	4,899	2,884	0,4189	452,4	3.1781
25	625	15625	,04000	5,000	2,924	0,4363	490,9	3.2189
26	676	17576	,03846	5,099	2,962	0,4538	530,9	3.2581
27	729	19683	,03704	5,196	3,000	0,4712	572,6	3.2958
28	784	21952	,03571	5,292	3,037	0,4887	615,8	3.3322
29	841	24389	,03448	5,385	3,072	0,5061	660,5	3.3673
30	900	27000	,03333	5,477	3,107	0,5236	706,9	3.4012
31	961	29791	,03226	5,568	3,141	0,5411	754,8	3.4340
32	1024	32768	,03125	5,657	3,175	0,5585	804,2	3.4657
33	1089	35937	,03030	5,745	3,208	0,5760	855,3	3.4965
34	1156	39304	,02941	5,831	3,240	0,5934	907,9	3.5264
35	1225	42875	,02857	5,916	3,271	0,6109	962,1	3.5553
36	1296	46656	,02778	6,000	3,302	0,6283	1018	3.5835
37	1369	50653	,02703	6,083	3,332	0,6458	1075	3.6109
38	1444	54872	,02632	6,164	3,362	0,6632	1134	3.6376
39	1521	59319	,02564	6,245	3,391	0,6807	1195	3.6636
40	1600	64000	,02500	6,325	3,420	0,6981	1257	3.6889
41	1681	68921	,02439	6,403	3,448	0,7156	1320	3.7136
42	1764	74088	,02381	6,481	3,476	0,7330	1385	3.7377
43	1849	79507	,02326	6,557	3,503	0,7505	1452	3.7612
44	1936	85184	,02273	6,633	3,530	0,7679	1521	3.7842
45	2025	91125	,02222	6,708	3,557	0,7854	1590	3.8067
46	2116	97336	,02174	6,782	3,583	0,8029	1662	3.8286
47	2209	103823	,02128	6,856	3,609	0,8203	1735	3.8501
48	2304	110592	,02083	6,928	3,634	0,8378	1810	3.8712
49	2401	117649	,02041	7,000	3,659	0,8552	1886	3.8918
50	2500	125000	,02000	7,071	3,684	0,8727	1964	3.9120

## Kreisbogen aus Bogengraden; Kreisfläche aus Durchmesser;

lg nat 10 = 2.3026; lg nat 100 = 4.6052; lg nat 1000 = 6.9078; lg nat 10000 = 9.2103.

$n$	$n^2$	$n^3$	$\frac{1}{n}$	$\sqrt{n}$	$\sqrt[3]{n}$	$n \frac{\pi}{180}$	$n^2 \frac{\pi}{4}$	lg nat $n$
50	2500	125000	,02000	7,071	3,684	0,873	1964	3.9120
51	2601	132651	,01961	7,141	3,708	0,890	2043	3.9318
52	2704	140608	,01923	7,211	3,733	0,908	2124	3.9512
53	2809	148877	,01887	7,280	3,756	0,925	2206	3.9703
54	2916	157464	,01852	7,348	3,780	0,942	2290	3.9890
55	3025	166375	,01818	7,416	3,803	0,960	2376	4.0073
56	3136	175616	,01786	7,483	3,826	0,977	2463	4.0254
57	3249	185193	,01754	7,550	3,849	0,995	2552	4.0431
58	3364	195112	,01724	7,616	3,871	1,012	2642	4.0604
59	3481	205379	,01695	7,681	3,893	1,030	2734	4.0775
60	3600	216000	,01667	7,746	3,915	1,047	2827	4.0943
61	3721	226981	,01639	7,810	3,936	1,065	2922	4.1109
62	3844	238328	,01613	7,874	3,958	1,082	3019	4.1271
63	3969	250047	,01587	7,937	3,979	1,100	3117	4.1431
64	4096	262144	,01563	8,000	4,000	1,117	3217	4.1589
65	4225	274625	,01538	8,062	4,021	1,134	3318	4.1744
66	4356	287496	,01515	8,124	4,041	1,152	3421	4.1897
67	4489	300763	,01493	8,185	4,062	1,169	3526	4.2047
68	4624	314432	,01471	8,246	4,082	1,187	3632	4.2195
69	4761	328509	,01449	8,307	4,102	1,204	3739	4.2341
70	4900	343000	,01429	8,367	4,121	1,222	3848	4.2485
71	5041	357911	,01408	8,426	4,141	1,239	3959	4.2627
72	5184	373248	,01389	8,485	4,160	1,257	4072	4.2767
73	5329	389017	,01370	8,544	4,179	1,274	4185	4.2905
74	5476	405224	,01351	8,602	4,198	1,292	4301	4.3041
75	5625	421875	,01333	8,660	4,217	1,309	4418	4.3175
76	5776	438976	,01316	8,718	4,236	1,326	4536	4.3307
77	5929	456533	,01299	8,775	4,254	1,344	4657	4.3438
78	6084	474552	,01282	8,832	4,273	1,361	4778	4.3567
79	6241	493039	,01266	8,888	4,291	1,379	4902	4.3694
80	6400	512000	,01250	8,944	4,309	1,396	5027	4.3820
81	6561	531441	,01235	9,000	4,327	1,414	5153	4.3944
82	6724	551368	,01220	9,055	4,344	1,431	5281	4.4067
83	6889	571787	,01205	9,110	4,362	1,449	5411	4.4188
84	7056	592704	,01190	9,165	4,380	1,466	5542	4.4308
85	7225	614125	,01176	9,220	4,397	1,484	5675	4.4427
86	7396	636056	,01163	9,274	4,414	1,501	5809	4.4543
87	7569	658503	,01149	9,327	4,431	1,518	5945	4.4659
88	7744	681472	,01136	9,381	4,448	1,536	6082	4.4773
89	7921	704969	,01124	9,434	4,465	1,553	6221	4.4886
90	8100	729000	,01111	9,487	4,481	1,571	6362	4.4998
91	8281	753571	,01099	9,539	4,498	1,588	6504	4.5109
92	8464	778688	,01087	9,592	4,514	1,606	6648	4.5218
93	8649	804357	,01075	9,644	4,531	1,623	6793	4.5326
94	8836	830584	,01064	9,695	4,547	1,641	6940	4.5433
95	9025	857375	,01053	9,747	4,563	1,658	7088	4.5539
96	9216	884736	,01042	9,798	4,579	1,676	7238	4.5643
97	9409	912673	,01031	9,849	4,595	1,693	7390	4.5747
98	9604	941192	,01020	9,899	4,610	1,710	7543	4.5850
99	9801	970299	,01010	9,950	4,626	1,728	7698	4.5951
100	10000	1000000	,01000	10,000	4,642	1,745	7854	4.6052

## 52. Zur Wheatstone-Kirchhoff'schen

$a$	0	100	200	300	400	500	600	700	800	900
0	0,0000	0,1111	0,2500	0,4286	0,6667	1,0000	1,500	2,333	4,000	9,00
1	,0010	,1123	,2516	,4306	,6694	1,0040	1,506	2,344	4,025	9,10
2	,0020	,1136	,2531	,4327	,6722	1,0080	1,513	2,356	4,051	9,20
3	,0030	,1148	,2547	,4347	,6750	1,0121	1,519	2,367	4,076	9,31
4	,0040	,1161	,2563	,4368	,6779	1,0161	1,525	2,378	4,102	9,42
5	,0050	,1173	,2579	,4388	,6807	1,0202	1,532	2,390	4,128	9,53
6	,0060	,1186	,2594	,4409	,6835	1,0243	1,538	2,401	4,155	9,64
7	,0070	,1198	,2610	,4430	,6863	1,0284	1,545	2,413	4,181	9,75
8	,0081	,1211	,2626	,4451	,6892	1,0325	1,551	2,425	4,208	9,87
9	,0091	,1223	,2642	,4472	,6921	1,0367	1,558	2,436	4,236	9,99
10	,0101	,1236	,2658	,4493	,6949	1,0408	1,564	2,448	4,263	10,11
11	,0111	,1249	,2674	,4514	,6978	1,0450	1,571	2,460	4,291	10,24
12	,0121	,1261	,2690	,4535	,7007	1,0492	1,577	2,472	4,319	10,36
13	,0132	,1274	,2706	,4556	,7036	1,0534	1,584	2,484	4,348	10,49
14	,0142	,1287	,2723	,4577	,7065	1,0576	1,591	2,497	4,376	10,63
15	,0152	,1299	,2739	,4599	,7094	1,0619	1,597	2,509	4,405	10,76
16	,0163	,1312	,2755	,4620	,7123	1,0661	1,604	2,521	4,435	10,90
17	,0173	,1325	,2771	,4641	,7153	1,0704	1,611	2,534	4,464	11,05
18	,0183	,1338	,2788	,4663	,7182	1,0747	1,618	2,546	4,495	11,20
19	,0194	,1351	,2804	,4684	,7212	1,0790	1,625	2,559	4,525	11,35
20	,0204	,1364	,2820	,4706	,7241	1,0833	1,632	2,571	4,556	11,50
21	,0215	,1377	,2837	,4728	,7271	1,0877	1,639	2,584	4,587	11,66
22	,0225	,1390	,2853	,4749	,7301	1,0921	1,646	2,597	4,618	11,82
23	,0235	,1403	,2870	,4771	,7331	1,0964	1,653	2,610	4,650	11,99
24	,0246	,1416	,2887	,4793	,7361	1,1008	1,660	2,623	4,682	12,16
25	,0256	,1429	,2903	,4815	,7391	1,1053	1,667	2,636	4,714	12,33
26	,0267	,1442	,2920	,4837	,7422	1,1097	1,674	2,650	4,747	12,51
27	,0277	,1455	,2937	,4859	,7452	1,1142	1,681	2,663	4,780	12,70
28	,0288	,1468	,2953	,4881	,7483	1,1186	1,688	2,676	4,814	12,89
29	,0299	,1481	,2970	,4903	,7513	1,1231	1,695	2,690	4,848	13,08
30	,0309	,1494	,2987	,4925	,7544	1,1277	1,703	2,704	4,882	13,29
31	,0320	,1507	,3004	,4948	,7575	1,1322	1,710	2,717	4,917	13,49
32	,0331	,1521	,3021	,4970	,7606	1,1368	1,717	2,731	4,952	13,71
33	,0341	,1534	,3038	,4993	,7637	1,1413	1,725	2,745	4,988	13,93
34	,0352	,1547	,3055	,5015	,7668	1,1459	1,732	2,759	5,024	14,15
35	,0363	,1561	,3072	,5038	,7699	1,1505	1,740	2,774	5,061	14,38
36	,0373	,1574	,3089	,5060	,7731	1,1552	1,747	2,788	5,098	14,63
37	,0384	,1587	,3106	,5083	,7762	1,1598	1,755	2,802	5,135	14,87
38	,0395	,1601	,3123	,5106	,7794	1,1645	1,762	2,817	5,173	15,13
39	,0406	,1614	,3141	,5129	,7825	1,1692	1,770	2,831	5,211	15,39
40	,0417	,1628	,3158	,5152	,7857	1,1739	1,778	2,846	5,250	15,67
41	,0428	,1641	,3175	,5175	,7889	1,1786	1,786	2,861	5,289	15,95
42	,0438	,1655	,3193	,5198	,7921	1,1834	1,793	2,876	5,329	16,24
43	,0449	,1669	,3210	,5221	,7953	1,1882	1,801	2,891	5,369	16,54
44	,0460	,1682	,3228	,5244	,7986	1,1930	1,809	2,906	5,410	16,86
45	,0471	,1696	,3245	,5267	,8018	1,1978	1,817	2,922	5,452	17,18
46	,0482	,1710	,3263	,5291	,8051	1,2026	1,825	2,937	5,494	17,52
47	,0493	,1723	,3280	,5314	,8083	1,2075	1,833	2,953	5,536	17,87
48	,0504	,1737	,3298	,5337	,8116	1,2124	1,841	2,968	5,579	18,23
49	,0515	,1751	,3316	,5361	,8149	1,2173	1,849	2,984	5,623	18,61
50	0,0526	0,1765	0,3333	0,5385	0,8182	1,2222	1,857	3,000	5,667	19,00

Drahtbrücke. Zahlenwerte für  $a/b$ , wenn  $a + b = 1000$ .

$a$	0	100	200	300	400	500	600	700	800	900
50	0,0526	0,1765	0,3333	0,5385	0,8182	1,2222	1,857	3,000	5,667	19,00
51	,0537	,1779	,3351	,5408	,8215	1,2272	1,865	3,016	5,711	19,41
52	,0549	,1792	,3369	,5432	,8248	1,2321	1,874	3,032	5,757	19,83
53	,0560	,1806	,3387	,5456	,8282	1,2371	1,882	3,049	5,803	20,28
54	,0571	,1820	,3405	,5480	,8315	1,2422	1,890	3,065	5,849	20,74
55	,0582	,1834	,3423	,5504	,8349	1,2472	1,899	3,082	5,897	21,22
56	,0593	,1848	,3441	,5528	,8382	1,2523	1,907	3,098	5,944	21,73
57	,0604	,1862	,3459	,5552	,8416	1,2573	1,915	3,115	5,993	22,26
58	,0616	,1876	,3477	,5576	,8450	1,2624	1,924	3,132	6,042	22,81
59	,0627	,1891	,3495	,5601	,8484	1,2676	1,933	3,149	6,092	23,39
60	,0638	,1905	,3514	,5625	,8519	1,2727	1,941	3,167	6,143	24,00
61	,0650	,1919	,3532	,5649	,8553	1,2779	1,950	3,184	6,194	24,64
62	,0661	,1933	,3550	,5674	,8587	1,2831	1,959	3,202	6,246	25,32
63	,0672	,1947	,3569	,5699	,8622	1,2883	1,967	3,219	6,299	26,03
64	,0684	,1962	,3587	,5723	,8657	1,2936	1,976	3,237	6,353	26,78
65	,0695	,1976	,3605	,5748	,8692	1,2989	1,985	3,255	6,407	27,57
66	,0707	,1990	,3624	,5773	,8727	1,3041	1,994	3,274	6,463	28,41
67	,0718	,2005	,3643	,5798	,8762	1,3095	2,003	3,292	6,519	29,30
68	,0730	,2019	,3661	,5823	,8797	1,3148	2,012	3,310	6,576	30,25
69	,0741	,2034	,3680	,5848	,8832	1,3202	2,021	3,329	6,634	31,26
70	,0753	,2048	,3699	,5873	,8868	1,3256	2,030	3,348	6,692	32,33
71	,0764	,2063	,3717	,5898	,8904	1,3310	2,040	3,367	6,752	33,48
72	,0776	,2077	,3736	,5924	,8939	1,3364	2,049	3,386	6,813	34,71
73	,0787	,2092	,3755	,5949	,8975	1,3419	2,058	3,405	6,874	36,04
74	,0799	,2107	,3774	,5974	,9011	1,3474	2,067	3,425	6,937	37,46
75	,0811	,2121	,3793	,6000	,9048	1,3529	2,077	3,444	7,000	39,00
76	,0823	,2136	,3812	,6026	,9084	1,3585	2,086	3,464	7,065	40,67
77	,0834	,2151	,3831	,6051	,9120	1,3641	2,096	3,484	7,130	42,48
78	,0846	,2165	,3850	,6077	,9157	1,3697	2,106	3,505	7,197	44,45
79	,0858	,2180	,3870	,6103	,9194	1,3753	2,115	3,525	7,264	46,62
80	,0870	,2195	,3889	,6129	,9231	1,3810	2,125	3,545	7,333	49,00
81	,0881	,2210	,3908	,6155	,9268	1,3866	2,135	3,566	7,403	51,63
82	,0893	,2225	,3928	,6181	,9305	1,3923	2,145	3,587	7,475	54,56
83	,0905	,2240	,3947	,6207	,9342	1,3981	2,155	3,608	7,547	57,82
84	,0917	,2255	,3966	,6234	,9380	1,4038	2,165	3,630	7,621	61,50
85	,0929	,2270	,3986	,6260	,9417	1,4096	2,175	3,651	7,696	65,67
86	,0941	,2285	,4006	,6287	,9455	1,4155	2,185	3,673	7,772	70,43
87	,0953	,2300	,4025	,6313	,9493	1,4213	2,195	3,695	7,850	75,92
88	,0965	,2315	,4045	,6340	,9531	1,4272	2,205	3,717	7,929	82,33
89	,0977	,2330	,4065	,6367	,9569	1,4331	2,215	3,739	8,009	89,91
90	,0989	,2346	,4085	,6393	,9608	1,4390	2,226	3,762	8,091	99,00
91	,1001	,2361	,4104	,6420	,9646	1,4450	2,236	3,785	8,174	110,1
92	,1013	,2376	,4124	,6447	,9685	1,4510	2,247	3,808	8,259	124,0
93	,1025	,2392	,4144	,6474	,9724	1,4570	2,257	3,831	8,346	141,9
94	,1038	,2407	,4164	,6502	,9763	1,4631	2,268	3,854	8,434	165,7
95	,1050	,2422	,4184	,6529	,9802	1,4691	2,279	3,878	8,524	199,0
96	,1062	,2438	,4205	,6556	,9841	1,4752	2,289	3,902	8,615	249,0
97	,1074	,2453	,4225	,6584	,9881	1,4814	2,300	3,926	8,709	332,3
98	,1086	,2469	,4245	,6611	,9920	1,4876	2,311	3,950	8,804	499,0
99	,1099	,2484	,4265	,6639	,9960	1,4938	2,322	3,975	8,901	999,0
100	0,1111	0,2500	0,4286	0,6667	1,0000	1,5000	2,333	4,000	9,000	$\infty$

## 53. Logarithmen.

N.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Diff.
10	0000	0043	0086	0128	0170	0212	0253	0294	0334	0374	42
11	0414	0453	0492	0531	0569	0607	0645	0682	0719	0755	38
12	0792	0828	0864	0899	0934	0969	1004	1038	1072	1106	35
13	1139	1173	1206	1239	1271	1303	1335	1367	1399	1430	32
14	1461	1492	1523	1553	1584	1614	1644	1673	1703	1732	30
15	1761	1790	1818	1847	1875	1903	1931	1959	1987	2014	28
16	2041	2068	2095	2122	2148	2175	2201	2227	2253	2279	26
17	2304	2330	2355	2380	2405	2430	2455	2480	2504	2529	25
18	2553	2577	2601	2625	2648	2672	2695	2718	2742	2765	24
19	2788	2810	2833	2856	2878	2900	2923	2945	2967	2989	22
20	3010	3032	3054	3075	3096	3118	3139	3160	3181	3201	21
21	3222	3243	3263	3284	3304	3324	3345	3365	3385	3404	20
22	3424	3444	3464	3483	3502	3522	3541	3560	3579	3598	19
23	3617	3636	3655	3674	3692	3711	3729	3747	3766	3784	19
24	3802	3820	3838	3856	3874	3892	3909	3927	3945	3962	18
25	3979	3997	4014	4031	4048	4065	4082	4099	4116	4133	17
26	4150	4166	4183	4200	4216	4232	4249	4265	4281	4298	16
27	4314	4330	4346	4362	4378	4393	4409	4425	4440	4456	16
28	4472	4487	4502	4518	4533	4548	4564	4579	4594	4609	15
29	4624	4639	4654	4669	4683	4698	4713	4728	4742	4757	15
30	4771	4786	4800	4814	4829	4843	4857	4871	4886	4900	14
31	4914	4928	4942	4955	4969	4983	4997	5011	5024	5038	14
32	5051	5065	5079	5092	5105	5119	5132	5145	5159	5172	13
33	5185	5198	5211	5224	5237	5250	5263	5276	5289	5302	13
34	5315	5328	5340	5353	5366	5378	5391	5403	5416	5428	13
35	5441	5453	5465	5478	5490	5502	5514	5527	5539	5551	12
36	5563	5575	5587	5599	5611	5623	5635	5647	5658	5670	12
37	5682	5694	5705	5717	5729	5740	5752	5763	5775	5786	12
38	5798	5809	5821	5832	5843	5855	5866	5877	5888	5899	11
39	5911	5922	5933	5944	5955	5966	5977	5988	5999	6010	11
40	6021	6031	6042	6053	6064	6075	6085	6096	6107	6117	11
41	6128	6138	6149	6160	6170	6180	6191	6201	6212	6222	10
42	6232	6243	6253	6263	6274	6284	6294	6304	6314	6325	10
43	6335	6345	6355	6365	6375	6385	6395	6405	6415	6425	10
44	6435	6444	6454	6464	6474	6484	6493	6503	6513	6522	10
45	6532	6542	6551	6561	6571	6580	6590	6599	6609	6618	10
46	6628	6637	6646	6656	6665	6675	6684	6693	6702	6712	9
47	6721	6730	6739	6749	6758	6767	6776	6785	6794	6803	9
48	6812	6821	6830	6839	6848	6857	6866	6875	6884	6893	9
49	6902	6911	6920	6928	6937	6946	6955	6964	6972	6981	9
50	6990	6998	7007	7016	7024	7033	7042	7050	7059	7067	9
51	7076	7084	7093	7101	7110	7118	7126	7135	7143	7152	8
52	7160	7168	7177	7185	7193	7202	7210	7218	7226	7235	8
53	7243	7251	7259	7267	7275	7284	7292	7300	7308	7316	8
54	7324	7332	7340	7348	7356	7364	7372	7380	7388	7396	8
55	7404	7412	7419	7427	7435	7443	7451	7459	7466	7474	8
56	7482	7490	7497	7505	7513	7520	7528	7536	7543	7551	8
57	7559	7566	7574	7582	7589	7597	7604	7612	7619	7627	8
58	7634	7642	7649	7657	7664	7672	7679	7686	7694	7701	7
59	7709	7716	7723	7731	7738	7745	7752	7760	7767	7774	7
60	7782	7789	7796	7803	7810	7818	7825	7832	7839	7846	7
N.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Diff.

## Logarithmen.

N.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Diff.
60	7782	7789	7796	7803	7810	7818	7825	7832	7839	7846	7
61	7853	7860	7868	7875	7882	7889	7896	7903	7910	7917	7
62	7924	7931	7938	7945	7952	7959	7966	7973	7980	7987	7
63	7993	8000	8007	8014	8021	8028	8035	8041	8048	8055	7
64	8062	8069	8075	8082	8089	8096	8102	8109	8116	8122	7
65	8129	8136	8142	8149	8156	8162	8169	8176	8182	8189	7
66	8195	8202	8209	8215	8222	8228	8235	8241	8248	8254	7
67	8261	8267	8274	8280	8287	8293	8299	8306	8312	8319	6
68	8325	8331	8338	8344	8351	8357	8363	8370	8376	8382	6
69	8388	8395	8401	8407	8414	8420	8426	8432	8439	8445	6
70	8451	8457	8463	8470	8476	8482	8488	8494	8500	8506	6
71	8513	8519	8525	8531	8537	8543	8549	8555	8561	8567	6
72	8573	8579	8585	8591	8597	8603	8609	8615	8621	8627	6
73	8633	8639	8645	8651	8657	8663	8669	8675	8681	8686	6
74	8692	8698	8704	8710	8716	8722	8727	8733	8739	8745	6
75	8751	8756	8762	8768	8774	8779	8785	8791	8797	8802	6
76	8808	8814	8820	8825	8831	8837	8842	8848	8854	8859	6
77	8865	8871	8876	8882	8887	8893	8899	8904	8910	8915	6
78	8921	8927	8932	8938	8943	8949	8954	8960	8965	8971	6
79	8976	8982	8987	8993	8998	9004	9009	9015	9020	9025	5
80	9031	9036	9042	9047	9053	9058	9063	9069	9074	9079	5
81	9085	9090	9096	9101	9106	9112	9117	9122	9128	9133	5
82	9138	9143	9149	9154	9159	9165	9170	9175	9180	9186	5
83	9191	9196	9201	9206	9212	9217	9222	9227	9232	9238	5
84	9243	9248	9253	9258	9263	9269	9274	9279	9284	9289	5
85	9294	9299	9304	9309	9315	9320	9325	9330	9335	9340	5
86	9345	9350	9355	9360	9365	9370	9375	9380	9385	9390	5
87	9395	9400	9405	9410	9415	9420	9425	9430	9435	9440	5
88	9445	9450	9455	9460	9465	9469	9474	9479	9484	9489	5
89	9494	9499	9504	9509	9513	9518	9523	9528	9533	9538	5
90	9542	9547	9552	9557	9562	9566	9571	9576	9581	9586	5
91	9590	9595	9600	9605	9609	9614	9619	9624	9628	9633	5
92	9638	9643	9647	9652	9657	9661	9666	9671	9675	9680	5
93	9685	9689	9694	9699	9703	9708	9713	9717	9722	9727	5
94	9731	9736	9741	9745	9750	9754	9759	9763	9768	9773	5
95	9777	9782	9786	9791	9795	9800	9805	9809	9814	9818	5
96	9823	9827	9832	9836	9841	9845	9850	9854	9859	9863	5
97	9868	9872	9877	9881	9886	9890	9894	9899	9903	9908	4
98	9912	9917	9921	9926	9930	9934	9939	9943	9948	9952	4
99	9956	9961	9965	9969	9974	9978	9983	9987	9991	9996	4
100	00000	0043	0087	0130	0173	0217	0260	0303	0346	0389	43
101	00432	0475	0518	0561	0604	0647	0689	0732	0775	0817	43
102	00860	0903	0945	0988	1030	1072	1115	1157	1199	1242	42
103	01284	1326	1368	1410	1452	1494	1536	1578	1620	1662	42
104	01703	1745	1787	1828	1870	1912	1953	1995	2036	2078	42
105	02119	2160	2202	2243	2284	2325	2366	2407	2449	2490	41
106	02531	2572	2612	2653	2694	2735	2776	2816	2857	2898	41
107	02938	2979	3019	3060	3100	3141	3181	3222	3262	3302	40
108	03342	3383	3423	3463	3503	3543	3583	3623	3663	3703	40
109	03743	3782	3822	3862	3902	3941	3981	4021	4060	4100	40
110	04139	4179	4218	4258	4297	4336	4376	4415	4454	4493	39
N.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Diff.

54. Trigonometrische Zahlen.

Reduktion auf Bogenwert s. Tab. 51.

°	Sinus		Tangens		Cotangens		Cosinus	
0°	0,0000		0,0000		∞		1,0000	90
1	,0175	175	,0175	175	57,29		0,9998	02 89
2	,0349	174	,0349	174	28,64		,9994	04 88
3	,0523	174	,0524	175	19,08		,9986	08 87
4	,0698	175	,0699	175	14,30		,9976	10 86
5	,0872	174	,0875	176	11,43		,9962	14 85
6	,1045	173	,1051	176	9,514		,9945	17 84
7	,1219	174	,1228	177	8,144		,9925	20 83
8	,1392	178	,1405	177	7,115		,9903	22 82
9	,1564	172	,1584	179	6,314	801	,9877	26 81
10	,1736	172	,1763	179	5,671	643	,9848	29 80
11	,1908	172	,1944	181	5,145	526	,9816	32 79
12	,2079	171	,2126	182	4,705	440	,9781	35 78
13	,2250	171	,2309	183	4,331	374	,9744	37 77
14	,2419	169	,2493	184	4,011	320	,9703	41 76
15	,2588	169	,2679	186	3,732	279	,9659	44 75
16	,2756	168	,2867	188	3,487	245	,9613	46 74
17	,2924	168	,3057	190	3,271	216	,9563	50 73
18	,3090	166	,3249	192	3,078	193	,9511	52 72
19	,3256	166	,3443	194	2,904	174	,9455	56 71
20	,3420	164	,3640	197	2,747	157	,9397	58 70
21	,3584	164	,3839	199	2,605	142	,9336	61 69
22	,3746	162	,4040	201	2,475	130	,9272	64 68
23	,3907	161	,4245	205	2,356	119	,9205	67 67
24	,4067	160	,4452	207	2,246	110	,9135	70 66
25	,4226	159	,4663	211	2,145	101	,9063	72 65
26	,4384	158	,4877	214	2,050	95	,8988	75 64
27	,4540	156	,5095	218	1,963	87	,8910	78 63
28	,4695	155	,5317	222	1,881	82	,8829	81 62
29	,4848	153	,5543	226	1,804	77	,8746	83 61
30	,5000	152	,5774	231	1,732	72	,8660	86 60
31	,5150	150	,6009	235	1,664	68	,8572	88 59
32	,5299	149	,6249	240	1,600	64	,8480	92 58
33	,5446	147	,6494	245	1,540	60	,8387	93 57
34	,5592	146	,6745	251	1,483	57	,8290	97 56
35	,5736	144	,7002	257	1,428	55	,8192	98 55
36	,5878	142	,7265	263	1,376	52	,8090	102 54
37	,6018	140	,7536	271	1,327	49	,7986	104 53
38	,6157	139	,7813	277	1,280	47	,7880	106 52
39	,6293	136	,8098	285	1,235	45	,7771	109 51
40	,6428	135	,8391	293	1,192	43	,7660	111 50
41	,6561	133	,8693	302	1,150	42	,7547	113 49
42	,6691	130	,9004	311	1,111	39	,7431	116 48
43	,6820	129	,9325	321	1,072	39	,7314	117 47
44	,6947	127	,9657	332	1,036	36	,7193	121 46
45	,7071	124	1,0000	343	1,000	36	,7071	122 45° ↑

Cosinus      Cotangens      Tangens      Sinus

Alphabetisches Verzeichnis siehe S. XXI.