

Werk

Titel: Encyklopädie der mathematischen Wissenschaften mit Einschluss ihrer Anwendungen

Jahr: 1903

Kollektion: Mathematica

Digitalisiert: Niedersächsische Staats- und Universitätsbibliothek Göttingen

Werk Id: PPN360709532

PURL: <http://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?PPN360709532>

OPAC: <http://opac.sub.uni-goettingen.de/DB=1/PPN?PPN=360709532>

LOG Id: LOG_0353

LOG Titel: Einheiten

LOG Typ: chapter

Übergeordnetes Werk

Werk Id: PPN360504019

PURL: <http://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?PPN360504019>

OPAC: <http://opac.sub.uni-goettingen.de/DB=1/PPN?PPN=360504019>

Terms and Conditions

The Goettingen State and University Library provides access to digitized documents strictly for noncommercial educational, research and private purposes and makes no warranty with regard to their use for other purposes. Some of our collections are protected by copyright. Publication and/or broadcast in any form (including electronic) requires prior written permission from the Goettingen State- and University Library.

Each copy of any part of this document must contain these Terms and Conditions. With the usage of the library's online system to access or download a digitized document you accept the Terms and Conditions.

Reproductions of material on the web site may not be made for or donated to other repositories, nor may be further reproduced without written permission from the Goettingen State- and University Library.

For reproduction requests and permissions, please contact us. If citing materials, please give proper attribution of the source.

Contact

Niedersächsische Staats- und Universitätsbibliothek Göttingen
Georg-August-Universität Göttingen
Platz der Göttinger Sieben 1
37073 Göttingen
Germany
Email: gdz@sub.uni-goettingen.de

Einheiten ³⁾.

a) Vorschläge ⁴⁾ zur Einführung absoluter Einheiten sind auf diesem Gebiet noch nicht in die allgemeine Praxis durchgedrungen. Bei vielen Beobachtungen wird sogar der Druck noch gegeben in *lokalen Millimetern Quecksilberdruck* (bei 0° C) oder *lokalen Atmosphären* (760 mm) ⁵⁾. *Atmosphäre* ohne weiteres wird theoretisch definiert als der Druck letztgenannter Säule am Meeresspiegel bei 45° N. B. ⁶⁾. In der Definition der *normalen Atmosphäre* ist vom Comité International des Poids et Mesures zunächst die normale Intensität der Schwerkraft gleich der Intensität der Schwerkraft im Bureau International dividirt durch 1,0003322 angenommen ⁷⁾. Sodann wurde in dieselbe die normale Dichte (vergl. Fussn. 14) des Quecksilbers ⁸⁾ = 13,59593, und die normale Intensität der Schwere ⁹⁾ = 980,665 cm/sk² aufgenommen. Um die jetzt eingebürgerte internationale Temperaturskala (vergl. c)

3) Bei Rechnungen über die Zustandsgleichung kommen öfters die geringen Unterschiede von etwas verschieden gewählten Einheiten wesentlich in Betracht. So z. B. der Einfluss des Unterschiedes der Schwere an verschiedenen Orten auf die Bestimmungen der spezifischen Masse von Gasen, vergl. *Leduc* [a] p. 25, sowie die Abhängigkeit des Siedepunktes von der Definition der Atmosphäre ¹⁰⁾ ¹¹⁾. (Vergl. auch Fussn. 915).

4) *H. Kamerlingh Onnes* [a] p. 6 (dasselbst ist die m.kg.sk-Druckeinheit, vergl. Fussn. 19, benutzt). *M. Planck*, Ann. Phys. Chem. 32 (1887) p. 479. Für ein System *natürlicher Einheiten* vergl. *M. Planck*, Ann. d. Phys. (4) 1 (1900) p. 120.

5) In der Technik verwendet man noch die von der Atmosphäre wenig verschiedene Einheit 1 kg*/cm².

6) Die Reduktion eines an einem bestimmten Ort beobachteten Druckes auf nach der theoretischen Definition bestimmten Atmosphären ändert sich also wenn man für das Verhältnis der Schwerkraftsintensität am Ort zu der bei 45° N. B., die durch Angabe der geographischen Länge noch näher zu präzisieren wäre, durch weitere Untersuchungen über die Schwerkraft einen andern Wert findet.

7) Procès Verbaux du Comité Internat. des Poids et Mesures, 1887, p. 86. Sanktionirt durch die Erste Allgemeine Konferenz „des Poids et Mesures“ [C. R. des Séances de la Première Conférence générale des Poids et Mesures (Trav. et Mém. du Bureau Internat. t. 12) p. 38].

8) Proc. Verb. du Comité Internat. etc. 1887 p. 86.

9) Proc. Verb. du Comité Internat. etc. 1901 p. 120; angenommen durch die Dritte Allgemeine Konferenz etc., C. R. des Séances de la Troisième Conf. gén. etc. (Trav. et Mém. etc. t. 12) p. 68 (vergl. Fussn. 10).

weiter strenge unverändert beibehalten zu können schlagen wir vor, an der ursprünglichen Sanktionierung ¹⁰⁾ (760 mm Quecksilber bei 0° C unter $g_{\text{norm}} = g_{\text{Bur. Int.}} : 1,0003322$) festzuhalten, und die in dieser Weise definierte Atmosphäre (vergl. auch Fussn. 15), welche als experimentelle Grundlage der Messungen brauchbar ist, *internationale Atmosphäre* zu nennen ¹¹⁾ in Analogie mit der Bezeichnung anderer realisierbarer Einheiten.

Die cgs-Einheit des Druckes nennt man nach dem Vorschlag der „Commission chargée de l'étude des propositions relatives aux unités physiques du Congrès International de Physique, Paris 1900,“ *Barye* ¹²⁾. Die Megabarye, 10^6 cgs-Druckeinheiten, ist auch kurz *Megabar* ¹³⁾ genannt worden. Nimmt man die *Dichte* ¹⁴⁾ des Quecksilbers nach

10) Das Internat. Bureau blieb auch in Übereinstimmung mit dieser Sanktionierung und nicht mit dem Wortlaut von Procès Verbaux etc. (1887) p. 86, in dem die normale Dichte (vergl. Fussn. 14) des Quecksilbers nach *Regnault* = 13,59593 gesetzt wurde, indem dasselbe die Temperatur des Quecksilbers stets auf 0° C reduzierte, und nicht auf $-0,1$ bzw. $-0,2$ C, wie bei Festhaltung an dieser Dichte nach den Bestimmungen von *Marek* ¹⁵⁾ bzw. *Thiesen* und *Scheel* ¹⁵⁾ der Fall sein sollte. Würde man an jenem Wortlaut festhalten, so wären alle Drucke, wenn sie in normalen Atmosphären oder in Quecksilberhöhe angegeben sind, sowie alle Temperaturen auf der internationalen Skala, so weit sie sich auf die Angaben des Bureau Internat. stützen, einer wenn auch kleinen Korrektur unterworfen (vergl. *F. Kohlbrausch*, Lehrbuch der praktischen Physik, 11te Aufl., Leipzig und Berlin 1910, p. 669). Dasselbe würde gelten, wenn man die Festsetzung der normalen Intensität der Schwere = $980,665 \text{ cm/sk}^2$ (Fussn. 9), die ohnehin mit der genannten Festsetzung der Ersten Konferenz nicht mehr verträglich ist, beibehalten würde (vergl. Fussn. 18).

11) Und dementsprechend *Siedepunkt* des Wassers die Temperatur, bei welcher es unter dem Druck einer internationalen Atmosphäre siedet. Neben dem Siedepunkt könnte man weiterhin die Temperatur betrachten, bei welcher eine Flüssigkeit unter 1 Kilotor (vergl. Fussn. 19) siedet und die man *Kilotorpunkt* nennen könnte.

12) *Travaux du Congrès Internat. de Phys.*, Paris 1900, t. 4, p. 63.

13) *Th. W. Richards* und *W. N. Stull*, *ZS. physik. Chem.* 49 (1904) p. 9; die Abkürzung zu *Bar*, von *V. Bjerknes* vorgeschlagen, siehe *V. W. Ekman*, *Publications de Circonstance du Conseil perman. intern. pour l'explor. de la mer* Nr. 43 (1908), p. 7, ist der Verwechslungsmöglichkeit mit *Barye* wegen, nicht zu empfehlen.

14) Masse der Substanz dividirt durch die Masse eines gleichen Volumens destillirten Wassers bei der Temperatur seiner grössten spezifischen Masse ¹⁶⁾. Die Definitionen von *Dichte* und *spezifischer Masse* ¹⁶⁾ sind in Anschluss an *Benoit* ¹⁷⁾ und *Guillaume* [*Rev. gén. des Sc.* 19 (1908) p. 262] genommen, im Gegensatz zu den früheren (*Trav. Congr. Internat. de Phys. Paris 1900*, t. 4, p. 61; *Guillaume*, *Rapp. Congr. Internat. etc. 1900*, t. 1, p. 99, siehe die ebenda p. 100 zugefügte Bemerkung), die noch *Enc. V 1*, Art. *Runge*, Nr. 8 beibehalten worden sind.

Thiesen und *Scheel* ¹⁵⁾ 13,59545, für die *spezifische Masse* ¹⁶⁾ des Wassers bei der Temperatur seiner grössten spezifischen Masse unter einer Atmosphäre 0,999973 ¹⁷⁾, und die normale Intensität der Schwerkraft $g_{\text{norm}} = 980,625 \text{ cm/sk}^2$ ¹⁸⁾, so wird die internationale Atmosphäre = $1,01321 \times 10^6$ Baryen. Unser p ist immer in internat. Atmosphären (weiter kurz Atmosphären) gemessen.

Für praktische Zwecke dürfte das m.kg.sk-System Vorteile vor dem cgs-System haben. Ein durch eine Quecksilbersäule an bestimmter Stelle (Bur. Intern. des Poids et Mesures) zu realisirender Druck der praktisch gleich 1 m.kg.sk-Druckeinheit ist, ist von der Commission der Association Internationale du froid in Analogie mit dem praktischen elektromagnetischen Maasssystem ein *internationales Centitorricelli*, abgekürzt *Centitor* genannt worden ¹⁹⁾.

b) Einige Beobachter geben in ml (Milliliter) ²⁰⁾ das auf das Gramm als

15) *Thiesen* und *Scheel*, ZS. für Instrumentenk. 18 (1898) p. 138. *W. J. Marek*, Trav. et Mém. du Bureau Internat. 2 (1883), fand 13,5956. Im Wortlaut der Definition der internationalen Atmosphäre haben wir den Einfluss der Kompressibilität des Quecksilbers durch sein eigenes Gewicht aufgenommen entsprechend der Sachlage, dass es sich nur um das genaue Angeben eines realisirten Druckes handelt. Dieser Einfluss ist aber bei den bis jetzt in Betracht gezogenen Genauigkeitsgrenzen zu vernachlässigen.

16) Masse eines dm^3 der Substanz, gemessen in kg (Enc. V 1, Art. *Runge*, Nr. 5 und 7). Vergl. Fussn. 14.

17) *Benoit*, Trav. et Mém. du Bur. Internat. 14 (1910). Die spezifische Masse des Quecksilbers bei 0°C ist dann 13,5951.

18) Nach der Definition im Text (vergl. Fussn. 10) berechnet aus $g_{\text{Bur. Int.}} = 980,951$ (*Ch. Ed. Guillaume*, Rapport présenté à la Quatr. Conf. Gén. des Poids et Mesures, Paris 1907, p. 29). Vergl. Enc. V 1, Art. *Runge*, p. 7, Fussn. 4.

19) Bull. Ass. Internat. du froid 2 (1911) p. 38. Die Bezeichnung *Centitor* statt *Tor* ist gewählt um die Benennung der vielfach vorkommenden Drucke zu vereinfachen. Nach dieser Bezeichnung wäre z. B. ein Kilotor = 75,009 cm Quecksilber (vergl. *Guillaume* Fussn. 18) unter $g_{\text{norm}} = g_{\text{Bur. Int.}} = 1,0003322$, oder 74,984 cm im Bureau International, sowie im Bureau International: 1 mm Quecksilber = 1,3336 Tor, 0,001 mm wie in *Röntgenröhren* = 1,3336 Millitor. Nach dem jetzigen Stande der Wissenschaft wäre 1 Tor = 1 Kilobar, 1 Kubikmetercentitor = 1 Joule (vergl. Fussn. 20).

20) Da das Volumen von Gasen und Flüssigkeiten, an denen die genauen Messungen über die Zustandsgleichung bis jetzt hauptsächlich gemacht worden sind, durch auskalibrieren des sie enthaltenden Gefässes ermittelt wird, behalten wir als absolute Volumeneinheit in diesem Art. das ml bei. Übrigens kommt nur bei einigen sehr genauen zur Zeit vorliegenden Beobachtungen der Unterschied zwischen ml und cm^3 (vergl. a) in Betracht (z. B. Fussn. 23).

Unsre Einheit des p_{V} ist die *Milliliteratmosphäre* = $1,01323 \times 10^6$ Erg; 1 Literatmosphäre = $1,01323 \text{ dm}^3\text{-Megabarye}$ = $1,01323 \text{ Kubikmeter}$ ²¹⁾ ¹⁹⁾.

Masseneinheit (vergl. Enc. V 3, Art. *Bryan*, p. 73) bezogene *spezifische Volumina* v_{Γ} , oder die Dichte $\rho_{\Gamma} = v_{\Gamma}^{-1}$, andere das auf das Grammmolekül ²¹⁾ bezogene *Molekularvolumen* $v_M = Mv_{\Gamma}$. Für Gase ist, um beobachtete Volumina möglichst unabhängig von anderen Daten anzugeben, als Einheit das *Normalvolumen* ²²⁾ N (als griechische Majuskel aufzufassen) sehr geeignet, d. h. jenes welches die untersuchte, sonst nicht festgesetzte, Menge bei 0° C und 1 Atm einnimmt. Wir schreiben das in dieser Einheit gemessene Volumen $v_N = v_{\Gamma}q_{\Gamma, 0^{\circ}C, p=1}$. Für Vergleichen verschiedener Stoffe dagegen ist das *theoretische Normalvolumen* ²³⁾, das Volumen Θ , welches die untersuchte Quantität einnehmen würde, wenn sie bei 0° C aus dem *Avogadro'schen* Zustande (Nr. 39a) nach dem *Boyle'schen* Gesetz auf 1 Atm gebracht gedacht wird, besser geeignet. Wir nennen das so gemessene Volumen v_{Θ} . Es ist $v_{\Theta} = v_N N_{\Theta}$, $N_{\Theta} = Mq_{\Gamma, 0^{\circ}C, p=1}^{-1} \Theta_M^{-1}$ (siehe Fussn. 23).

c) Zu der Definition der absoluten oder *thermodynamischen* Tem-

21) Bei genauen Rechnungen wären die Atomgewichte anzugeben oder wenn dieselben der Tabelle, welche von der Internationalen Atomgewichtskommission festgestellt wird, entlehnt sind, die Jahreszahl beizufügen. Wir legen letzterer entsprechend den Atomgewichten O = 16 zu Grunde, H ist also 1,008 (1911), vergl. Enc. V 3, Art. *Bryan*, Nr. 22.

Verschiedene Autoren bezeichnen das Grammmolekül mit *Mol*, und dementsprechend dessen Volumen, Wärmekapazität ²⁰⁾ u.s.w. mit *Molvolumen*, *Molwärme* (vergl. Nr. 55b), u.s.w.

22) Diesen Namen finden wir in dieser Bedeutung zuerst bei *J. E. Verschaefelt*, Leiden Comm. Nr. 47 (1899) p. 12.

23) Im Gegensatz zu Normalvolumen bei *J. E. Verschaefelt*, Leiden Comm. Nr. 47 (1899) p. 12. Schon bei *Rankine*, Phil. Mag. (4) 2 (1851) p. 527, findet sich der Begriff als *theoretical density*. Auch schon benutzt von *Sarrau*, Paris C. R. 94 (1882) p. 639, 101 (1885) p. 941; *volume normal* bei *D. Berthelot* Paris C. R. 126 (1898) p. 1415; dem entspricht *Normaldensität* bei *van der Waals* [e] Nov. 1898 p. 258.

Das *Avogadro* könnte man das theoretische Volumen des Grammmoleküls bei 0° C und unter einem Kilotor (= Megabar, vergl. Fussn. 19) nennen.

Nach *D. Berthelot*, ZS. f. Elektrochemie, 1904, p. 621 ist das theoretische Normalvolumen eines Grammmoleküls $\Theta_M = 22412$ ml. Dieselbe Zahl geben die Daten von *Kamerlingh Onnes* [e] Nr. 74 (1901) p. 5. Das *Avogadro* wird dann 22708 ml. Die *molekulare Gaskonstante* R_M (Nr. 18a, vergl. auch Fussn. 32a) ist (*Berthelot* l. c., vergl. Enc. V 8, Art. *Boltzmann* und *Nabl*, Nr. 4) 82,07 Milliliteratmosphäre/1°K (vergl. c) [= 83,15 Litertor/1°K ²⁰⁾ = 8,315 Clausius (vergl. e) = 1,985 cal/1°K (vergl. d und Fussn. 28)].

Das *thermodynamische Molekül* nach *Planck* ⁴⁾ = $1,2026 \times 10^{-8}$ Grammmolekül (vergl. Fussn. 21). Für dasselbe mit den Einheiten ml und Barye wird (vergl. Nr. 18) $R_{\Pi} = 1$.

peratur (Enc. V 3, Art. *Bryan*, Nr. 9) ist näher hinzuzufügen, dass (vgl. Nr. 82) *D. Berthelot*²⁴⁾ $T_0^\circ \text{C} = 273,09$ findet. Wir werden den absoluten Temperaturgrad ein *Kelvingrad* nennen, und geben also z.B. den Siedepunkt des Wassers (vergl. Fussn. 11) auf der *Kelvinskala* mit $373,09 \text{ K}$ (elvin) an. Als *normale* oder *internationale Temperaturskala*²⁵⁾ ist angenommen die des Wasserstoffthermometers bei konstantem Volumen unter $\frac{1000}{760} = 1,3158 \text{ Atm}$ bei 0°C ²⁶⁾. Die Abweichungen der Angaben von der absoluten Temperatur (siehe Nr. 82) sind bei *diesem Thermometer* zwischen 0° und 100°C zu vernachlässigen. Über 200°C wird aus experimentellen Gründen auf Stickstoff übergegangen; bis 1000°C würde die Korrektur dieser Skala (bei $p_0^\circ \text{C} = 1,3$) nach Gl. (37) Nr. 36 nur $0,4$ erreichen²⁷⁾. Bei tiefen Temperaturen sind die Abweichungen der Angaben des Wasserstoffthermometers von der absoluten Temperatur nicht zu vernachlässigen. Es ist also wünschenswert, der Feststellung hinzuzufügen, dass für Temperaturen unter 0°C auf Helium übergegangen wird³⁴⁾.

d) Betreffs der Einheit des Wärmequantums, der Kalorie, ist hinzuzufügen (vergl. Enc. V 3, Art. *Bryan*, Nr. 2), dass wir unsren Rechnungen²⁸⁾ die 15° -Kalorie ($14,5$ — $15,5$ auf der internationalen Temperaturskala, das Wasser unter konstantem Druck = 1 Atm, bei Verhinderung oder Eliminierung von Verdampfung) zu Grunde legen.

Eine praktisch gleich der m.kg.sk-Wärmeeinheit ($= 10^7 \text{ Erg}$) zu

24) *D. Berthelot*. ZS. f. Elektrochemie, 1904, p. 621.

25) Da der Normalzustand sich bezieht auf 0°C und 1 Atm (vergl. b), ziehen wir den Namen *internationale Temperaturskala* vor [*Kamerlingh Onnes* [e] Nr. 102b (1907), vergl. auch *Harker*, London Proc. Roy. Soc. A 78 (1906) p. 225, *Wiebe*, ZS. f. Instrumentenk. 28 (1908) p. 293].

26) Procès-Verbaux du Comité Internat. des Poids et Mesures, 1887, p. 85. Sanktioniert durch die Erste Allgemeine Konferenz, l. c. Fussn. 7. Vergl. Fussn. 10. Vergl. auch Enc. V 1, Art. *Runge*, Nr. 2.

27) Vergl. Nr. 82a und *D. Berthelot* [b] p. 102. Für die Strahlungsskala vergl. Enc. V 1, Art. *Runge*, Nr. 2.

28) Wir entlehnen für dieselben (vergl. Fussn. 600) dem Art. von *Scheel* und *Luther*, Elektrotechnische ZS. 29 (1908) p. 746, Verh. d. D. physik. Ges. 10 (1908) p. 584 (vergl. auch *Graetz*, *Winkelmann's* Handbuch 2te Aufl. III p. 561), die spezifische Wärme des Wassers bei 15°C in Arbeitsmaass (Enc. V 3, Art. *Bryan*, Nr. 2) $J = 4,188 \cdot 10^7$ [nach *Diesselhorst*, Elektrotechn. ZS. 1909 p. 337—339, wäre $4,187 \cdot 10^7$ vorzuziehen, der Ausschuss für Einheiten und Formelgrößen, Verh. d. D. physik. Ges. 12 (1910) p. 476, hat $4,189 \cdot 10^7$ angenommen].

setzende Wärmeeinheit definiren wir durch $1 \text{ cal} = 4,188 \text{ internationale Thermojoule}$ ²⁹⁾.

e) Für die durch die Bestimmungen von c und d für Kelvingrad und Thermojoule mit Enc. V 3, Art. *Bryan*, Gl. (14) festgelegte Entropieeinheit ($1 \text{ Thermojoule}/1^\circ\text{K}$) ³⁰⁾ ist der Name *Clausius*, für dieselbe pro Sekunde, die Einheit der Änderung der Entropie mit der Zeit, der Name *Carnot* vorgeschlagen ³¹⁾.

I. Allgemeines über thermodynamische Zustandsgleichungen und Diagramme.

a) Thermodynamische Zustandsgleichungen.

1. Bestimmung der thermodynamischen Grössen einer Phase ³²⁾ durch ihre Komponenten und ihren Zustand. Bemerkungen über ihre Bestandteile und ihre Molekülarten. a) Wir beschränken uns zunächst ³³⁾ auf die Betrachtung von mit der Zeit unveränderlichen ³⁴⁾,

29) International, weil es als realisirte Einheit dienen soll um die Ergebnisse genauer Wärmemessungen möglichst unabhängig von anderen Daten anzugeben, Thermojoule im Gegensatz zu dem auf elektrischem Wege realisirten *internationalen Elektrojoule*. Es ist das internationale Thermojoule, bis spätere Messungen einen anderen Wert für J liefern (vergl. z.B. Fussn. 28 Schluss), gleich $10^{-2} \text{ dm}^3\text{-Megabarye}$, oder Fussn. 20 entsprechend $1 \text{ m}^3\text{-Centitor}$.

30) Die von *Th. W. Richards*, Proc. Amer. Acad. 36 (1904), p. 327, vorgeschlagene gleichdimensionale Einheit von Wärmekapazität, der *Mayer* ($1 \text{ Joule}/1 \text{ Grad}$), bezieht sich auf Temperaturdifferenzen, nicht auf absolute Temperaturen. Unter *Wärmekapazität* eines bestimmten Körpers verstehen wir die Wärmemenge, die nötig ist, um diesen Körper 1 Grad zu erwärmen. Um Zweideutigkeiten (vergl. Fussn. 599) zu vermeiden, wäre es besser, den Namen *Wärmungswert* des Körpers einzuführen.

31) *H. Kamerlingh Onnes*. Bull. Ass. Internat. du froid 2 (1914), p. 68. In Verbesserung des Rapp. 1er Congr. Internat. du froid (1908) t. 2, p. 439 von ihm gegebenen Vorschlags. Es wäre dem von der Commission der Ass. Internat. du froid ¹⁹⁾ gemachten Vorschlag entsprechend Centitor ¹⁹⁾, Kubikmeter ²⁰⁾, Kelvingrad, Joule [wenn es sich um eine Wärmeeinheit handelt präziser Thermojoule ²⁹⁾], Clausius, Carnot, das für die praktische Thermodynamik geeignete *internationale Maasssystem*.

32) Wir sprechen kurz von einer Phase auch in der Bedeutung des strengeren Ausdrucks: Stoff, der sich in einer Phase befindet.

33) Für den weiter von uns betrachteten Fall des gesättigten Gleichgewichts koexistirender Phasen siehe Nr. 3c, 7 u.s.w., für Betrachtungen über statistische Mechanik Nr. 46 (vergl. Fussn. 38).

34) Die Zeit, während welcher wir eine Phase betrachten, soll also noch klein sein, verglichen mit der Zeit, in welcher eine aus einer solchen Zahl von Atomen bestehende Menge, dass in deren Mittelwertseigenschaften die individuellen (generalisirten) Koordinaten und (generalisirten) Geschwindigkeiten der Atome nicht mehr bestimmend auftreten (vergl. Fussn. 38), eine merkliche Änderung erleiden kann (*J. J. Thomson*, Electricity and Matter, Westminster 1904, p. 103), gross aber verglichen mit der mittleren Zeit, die zwischen den aufeinanderfolgenden Zusammenstössen eines Moleküls mit anderen verläuft. Vergl. auch Fussn. 52.