

10. *Notiz zu Brown's Molecularbewegung;  
von Felix M. Exner.*

(Aus dem physiologischen Institut der Wiener Universität.)

Ueber die von Brown 1827 entdeckte sogenannte Molecularbewegung wurden im Laufe der Jahre die verschiedensten Ansichten und Hypothesen aufgestellt; thatsächliche Messungen aber, mit Ausnahme der von meinem Vater<sup>1)</sup> und der von G. Cantoni<sup>2)</sup> im Jahre 1867 ausgeführten, meines Wissens nicht vorgenommen. Hingegen wurden sehr viele Substanzen, auch Metalle, auf ihre Fähigkeit, Molecularbewegung zu zeigen, untersucht, so von G. Cantoni<sup>3)</sup>, J. B. Dancer<sup>4)</sup> und Gouy.<sup>5)</sup> Nach diesen Untersuchungen zeigt jede genügend fein verteilte Substanz Molecularbewegung, wenn sie nicht in einer zu dicken, öligen Flüssigkeit suspendirt ist, in welcher die zitternden Bewegungen der Teilchen von sehr geringer Elongation sind oder ganz verschwinden. Die Theorien über die Ursache der Molecularbewegung seien hier kurz zusammengefasst: S. Exner<sup>6)</sup> nimmt Strömchen in der Flüssigkeit, welche die suspendirten Partikeln mit sich fortreissen, als Ursache ihrer Bewegung an, G. Cantoni<sup>7)</sup> findet eine Abhängigkeit der Intensität der Bewegung von der specifischen Wärme der Substanz. Nimmt man nicht Temperaturdifferenzen in der Flüssigkeit als Ursache der Strömchen an, so liessen sich diese beiden Anschauungen auf Grund einer kinetischen Theorie der Flüssigkeiten wohl vereinigen.

1) S. Exner, Sitzungsber. d. k. Akad. d. Wissensch. zu Wien 56. Abt. 2. 1867.

2) G. Cantoni, Nuovo Cimento 27. p. 156. 1867. Citirt nach „Fortschritte der Physik“.

3) G. Cantoni, l. c. und Rend. Lomb. (2) 22. 1889.

4) J. B. Dancer, Proc. Manch. Soc. 7. p. 162—164. Citirt nach „Fortschritte der Physik“.

5) Gouy, Compt. rend. 109. 1889.

6) S. Exner, l. c.

7) G. Cantoni, l. c.

v. Nägeli<sup>1)</sup> stellt die Ansicht auf, dass die Brown'sche Bewegung durch Kräfte bedingt sei, welche zwischen den oberflächlichen Moleculen der Flüssigkeit und der Partikeln wirken. Nach einem Vortrage von Meade Bache<sup>2)</sup> sollen Licht und Wärme, wie Elektrizität und Magnetismus, keinen Einfluss auf die Bewegung haben. Endlich behauptet G. Quincke in einem Vortrage<sup>3)</sup>, dass die Brown'sche Molecularbewegung fehle, sobald die Flüssigkeit und ihre Umgebung gleiche Temperatur haben, ein Ausspruch, den ich nicht bestätigen kann. Auch fand ich denselben nicht, wie Quincke angiebt, in der Abhandlung von S. Exner. Weiter sagt Quincke: „Ich glaube, dass allgemein der Grund der Brown'schen Molecularbewegung zu suchen ist in periodischer Erwärmung durch continuirliche oder periodische Belichtung und periodische Ausbreitung der erwärmten Flüssigkeit an der Oberfläche dünner Schichten Gas oder anderer Flüssigkeit, welche die schwebenden Teilchen bekleiden oder an ihnen haften.“

Ich habe nun nach dem Vorgange von S. Exner Gummigutt in Alkohol gelöst, mit Wasser gefällt und diese Emulsion unter dem Mikroskop auf die Abhängigkeit der Molecularbewegung von der Temperatur geprüft, wobei ich versuchte, die Grösse der Partikeln und ihre Geschwindigkeit zu messen. Zu diesem Zwecke wurde das Mikroskop bis zur Hälfte des Tubus in einem Blechkasten mit doppelten Wänden eingeschlossen, und durch heisses Wasser, das durch Bleiröhren floss, das Innere des Kastens auf eine beliebige, ziemlich constante Temperatur gebracht. Zur Schätzung der Grösse der Partikeln befand sich im Ocular eine Teilung, während ich die zurückgelegten Wege mittels eines Abbe'schen Zeichenapparates auf berussten Glasplatten mit einer Nadel nachzeichnete. Diese Zeichnungen wurden fixirt, ein Bild von ihnen durch eine Projectionslinse auf einem Schirm entworfen und mit einem Curvenmesser ausgemessen; der Weg durch

1) v. Nägeli, Münchener Ber. p. 389—453. 1879. Citirt nach „Fortschritte der Physik“.

2) Meade Bache, Proc. Amer. Phil. Soc. 33. 1894. Citirt nach „Fortschritte der Physik“.

3) G. Quincke, Versammlung deutscher Naturforscher und Aerzte zu Düsseldorf 1898.

die Vergrößerung des Mikroskopes und der Linse und durch die Beobachtungszeit dividirt, gab die Geschwindigkeit. Natürlich sind die Werte nicht sehr genau; die kleinsten Elongationen der zitternden Bewegung liessen sich nicht immer wiedergeben, und so dürften die Messungen im allgemeinen zu klein ausgefallen sein. Versuche, die durch Ablendung des ins Mikroskop central einfallenden Lichtbündels auf dunklem Hintergrunde leuchtend gemachten Partikeln und ihre Bewegung zu photographiren, scheiterten an der ungenügenden Leuchtkraft bez. an der Unempfindlichkeit der Platten. Was die Grösse der Teilchen betrifft, so ist eine Messung derselben, wenn sie unter gewissen Dimensionen sind, deswegen unmöglich, weil das Mikroskop nur noch Beugungsbilder, dunkle Kreisringe mit hellem Innern, von ihnen zeigt; die folgenden Angaben der Durchmesser der Teilchen können daher nur als obere Grenze derselben gelten.

Es wurden zunächst verschiedene Grössen der Teilchen bei gleicher Temperatur auf ihre Geschwindigkeit untersucht. Aus einer grossen Anzahl von Messungen mit schätzungsweise je gleich grossen Partikeln ergaben sich folgende Werte  $v$  der Geschwindigkeit. ( $s$  bedeutet den Durchmesser der Teilchen,  $t$  die Temperatur des Raumes in Celsiusgraden.)

$t$	$v$ für $s = 0,0004$ mm	$v$ für $s = 0,0009$ mm	$v$ für $s = 0,0013$ mm
23°	0,0038 mm	0,0033 mm	0,0027 mm
34	—	0,0034 „	0,0028 „
56	0,0040 „	0,0037 „	0,0033 „

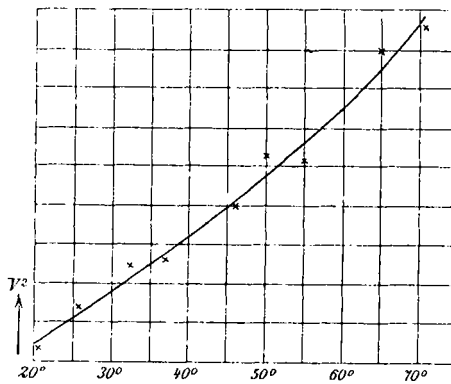
Es zeigt sich durchgehends eine Abnahme der Geschwindigkeit mit zunehmender Grösse der Teilchen.

Zur Messung der Geschwindigkeit bei verschiedenen Temperaturen wurden nur Partikeln einer Grösse verwendet und zwar hatten sie einen Durchmesser von circa 0,0007 mm. Sämtliche Werte von  $v$ , die die folgende Tabelle enthält, sind Mittelwerte aus je circa 10 Messungen, deren Dauer  $\frac{1}{2}$ —1 Min. betrug.

$t$ in Celsius- graden	$v$ in $\frac{\text{mm}}{\text{sec}}$	$t$ in Celsius- graden	$v$ in $\frac{\text{mm}}{\text{sec}}$
20	0,0032	50	0,0044
26	0,0035	55	0,0044
32	0,0038	65	0,0050
37	0,0039	71	0,0051
46	0,0042		

In der untenstehenden Curve habe ich als Ordinaten die Quadrate der Geschwindigkeiten als Maass der lebendigen Kräfte der Teilchen, die Temperaturen als Abscissen aufgetragen.

Wie zu erwarten war, fallen die Werte von  $v$  zum Teil sehr unregelmässig aus. Nichtsdestoweniger lässt sich eine



Gesetzmässigkeit nicht leugnen. Wenn man von der Ansicht ausgeht, dass die suspendirten Partikeln an der Wärmebewegung der Flüssigkeitsmolecüle participiren, so könnte man zunächst eine Proportionalität von lebendiger Kraft und absol. Temperatur voraussetzen; man müsste dann die

Curve als Gerade ansehen, und sie müsste durch den absoluten Nullpunkt gehen; thatsächlich schneidet sie aber, als Gerade verlängert, die Abscissenaxe schon bei circa  $-20^{\circ}$  C. Man wird also in Anbetracht der thatsächlich vorhandenen schwachen Krümmung der Curve annehmen dürfen, dass sie vom absoluten Nullpunkt an langsam aufsteigend verläuft. Die einfachen Annahmen, als wären die Partikeln analog den Molecülen der Flüssigkeit anzusehen, reichen daher nicht aus. Ich habe unter der Annahme gleicher lebendiger Kräfte für die suspendirten Partikel und die Flüssigkeitsmolecüle als Geschwindigkeit der letzteren bei  $20^{\circ}$  C. circa 30 cm ge-

funden. Dieser Wert stimmt mit einer Berechnung von G. Jäger <sup>1)</sup> auch nicht annähernd überein. Wenn daher die uns durch die Molecularbewegung gegebenen Daten auch nicht so einfach verwertet werden können (die Annahme trifft nur für materielle Punkte bei Vernachlässigung der inneren Molecularkräfte und der Reibung zu), so mag es doch immer denkbar sein, dass, wenn man überhaupt von der Ansicht eines Zusammenhanges der Bewegung der Flüssigkeitsmolecüle mit der der suspendirten Partikel ausgeht, die einzigen, uns die innere Bewegung einer Flüssigkeit veranschaulichenden, sichtbaren Bewegungen und ihre Maasszahlen einmal von Wert sein können.

---

1) G. Jäger, Sitzungsber. d. k. Akad. d. Wissensch. zu Wien. 99. 1890. Derselbe fand für  $v$  bei  $0^{\circ}$  C. 270 Meter.

(Eingegangen 25. Juni 1900.)