

# Praktikum T8

## Brownsche Bewegung

Alena Zwanzig (722348)

Harald Haakh (720708)

Messungen vom 04.05.2004

### 1 Brownsche Bewegung

Es wurde eine sehr dünne Emulsion aus Wasser und Kaffeesahne hergestellt. Ein Tropfen davon wurde unter dem Mikroskop beobachtet.

Zu sehen waren die feinen Fetttröpfchen, die unregelmäßige Zitterbewegungen durchführten.

Ursache ist die ständige thermische Bewegung der Wassermoleküle, deren Bewegung dem Gleichverteilungssatz folgt. Die Fetttröpfchen (als makroskopische Objekte) bewegen sich nicht von sich aus, führen also keine eigene thermische Bewegung durch, sondern werden infolge von Stößen der umgebenden Wassermoleküle beschleunigt. In ihrer Bewegung werden sie durch Stokesche Reibungskräfte gebremst, die der Geschwindigkeit und dem Radius proportional sind.

Aus einer größeren Anzahl von Messungen der Ortsveränderungen lässt sich dann die Diffusionskonstante  $D$  mitteln, die wiederum eine Bestimmung der Boltzmannkonstanten ermöglicht.

Die Boltzmannkonstante ist eine grundlegende Naturkonstante, die es ermöglicht die thermische Gesamtenergie eines Systems in Abhängigkeit von der Temperatur zu berechnen.

### 2 Bestimmung des Maßstabes

Mit der Mikroskopkamera wurde das Bild eines Objektmikrometers bei maximaler Vergrößerung aufgenommen und am PC vermessen. Für den Abstand fünfer Striche ergab sich  $\Delta x = 40\mu m \hat{=} 576px$ . Daraus lässt sich der Maßstab berechnen, der im weiteren das Vermessen anderer Objekte ermöglicht.

$$1px \hat{=} 6.94 \cdot 10^{-8}m$$

### 3 Diffusionskonstante

Es wurden im konstanten Abstand von  $\Delta t = 2500ms$  Aufnahmen gemacht. Aus den Positionen eines Fetttröpfchens wurden die Ortsveränderungen und das mittlere Verschiebungsquadrat errechnet:

$$\overline{\Delta x^2} = 1.13 \cdot 10^{-12}m^2$$

$$\overline{\Delta y^2} = 1.77 \cdot 10^{-12}m^2$$

Aus dem Quadrat der mittleren Verschiebung der Fetttröpfchen und dem konstanten zeitlichen Abstand zweier Aufnahmen der Kamera ergibt sich die Diffusionskonstante

$$D_x = \frac{\overline{\Delta x^2}}{2\Delta t} = 2.25 \cdot 10^{-13} \frac{m^2}{s}$$

$$D_y = \frac{\overline{\Delta y^2}}{2\Delta t} = 3.54 \cdot 10^{-13} \frac{m^2}{s}$$

## 4 Boltzmannkonstante

Die Boltzmannkonstante lässt sich aus der Diffusionskonstante errechnen:

$$k = \frac{6\pi\eta r D}{T}$$

Den Wert für den Radius des beobachteten Fetttropfchens gewannen wir aus der Mittelung über Durchmesser aus verschiedenen Messungen sowohl in Längs- als in Querrichtung, da das Bild des Tropfchens nicht immer exakt kreisförmig war. Möglicherweise handelte es sich auch um zwei kleinere Tropfchen. Wir erhielten:

$$r = 0.73 \cdot 10^{-6} \text{ m}$$

Mit  $\eta = 1.03 \cdot 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{m}\cdot\text{s}}$  und  $T = 301\text{K}$  ergibt sich:

$$k_x = 1.06 \cdot 10^{-23} \frac{\text{J}}{\text{K}}$$

$$k_y = 1.66 \cdot 10^{-23} \frac{\text{J}}{\text{K}}$$

Damit ergibt sich als Mittelwert:

$$k = 1.36 \cdot 10^{-23} \frac{\text{J}}{\text{K}}$$

Der Vergleich des gemittelten Wertes mit dem Tabellenwert von  $k_{th} = 1.3806503 \cdot 10^{-23} \frac{\text{J}}{\text{K}}$  (Kuchling, Taschenbuch der Physik) weist eine Abweichung von etwa 2% auf.

Diese gute Übereinstimmung ist zwar schön, aber leider nicht auf unsere gute Arbeit zurückzuführen, sondern wohl eher zufällig. Da die Messunsicherheit bei diesem Versuch beträchtlich sein dürften (auf eine explizite Berechnung wurde hier verzichtet), sind die Abweichungen der jeweils berechneten Werte deutlich aussagekräftiger. Diese betragen jeweils etwa 20%.

## 5 Abweichungen und mögliche Ursachen

Die vielen verschiedene Messgrößen, die in die Berechnungen Eingang fanden, können jede für sich Abweichungen zwischen theoretischem und gemessenem Wert verursachen. Gemessen wurden der Teilchenradius, die Zeitintervalle zwischen den Aufnahmen, die Verschiebungslängen und die Temperatur auf dem Objektisch. Von diesen Messgrößen sind wohl der Teilchenradius und die Temperatur am kritischsten. Zur Ermittlung des Teilchenradius s.o. Sollte das Teilchen aus zwei kleineren Tropfchen bestanden haben, so ist natürlich auch die Gleichung der Stokeschen Reibung, die von kugelförmigen Objekten ausgeht, nur in Näherung gültig.

Als weitere Hauptursache für die Abweichungen müssen Überlagerungen der Brownschen Bewegung durch Driftbewegungen angeführt werden. Solche Bewegungen können durch Kräfte parallel zur Bildebene verursacht werden, z.B. in Form von Hangabtriebskräften, wenn der Objektträger nicht völlig in der waagerechten steht oder durch Kapillareffekte.

Bei unserem Präparat kann der Einfluss von Kapillareffekten wohl ausgeschlossen werden.

Interessant ist aber, dass die Abweichungen in x- und y-Richtung unterschiedliche Vorzeichen aufweisen. Dies weist darauf hin, dass der Grund für die Abweichung nicht bei der Temperatur zu suchen ist, sondern dass eine geringe Driftbewegung aufgrund einer Hangabtriebskraft vorlag, was auch das Schirmbild erahnen ließ.

Anlagen:

- Messprotokoll
- Berechnungen mit StarCalc