

---

## 4.1.3 Molekülgröße, Avogadro-Konstante

### Atommasse und Stoffmenge

Um ein System (Festkörper, Flüssigkeit oder Gas) bestimmter Zusammensetzung zu charakterisieren, muss man die Art der enthaltenen Teilchen und ihre Anzahl  $N$ , die sog. Stoffmenge, angeben. Wegen der Größe der dabei auftretenden Zahlen verwendet man in der Atomphysik eine geeignete Zählereinheit, das mol bzw. kmol. Es ist so definiert:

Definition: Ein Körper hat die Stoffmenge  $n = 1$  mol (1 kmol), wenn er aus ebenso vielen Teilchen besteht, wie Atome in exakt 12 g (12 kg) des Nuklids  $^{12}\text{C}$  enthalten sind. Die Teilchenzahl  $N$  ist der Stoffmenge  $n$  proportional; die Proportionalitätskonstante heißt Loschmidtsche Zahl (Avogadro-Zahl)  $N_A$ . Masse und Volumen spielen keine Rolle.

$$N_A = \frac{N}{n}.$$

Eine weitere wichtige Größe ist die relative Atommasse  $A_r$ , häufig auch "Atomgewicht" genannt:

Definition: Die relative Atommasse  $A_r(X)$  gibt an, wie viel mal so groß die Masse des betreffenden Atoms  $X$  ist wie  $\frac{1}{12}$  der Masse des  $^{12}\text{C}$ -Atoms. Entsprechendes gilt für die relative Molekülmasse  $M_r(X)$ . 1 mol eines chemischen Elements mit der relativen Atommasse  $A_r$  hat die Masse  $A_r$  Gramm.

Eine weitere Definition:

Definition: Unter der atomaren Masseneinheit 1 u versteht man die Masse des  $\frac{1}{12}$  Teils eines  $^{12}\text{C}$ -Atoms:

$$1\text{u} = \frac{1}{12} \cdot m_a(^{12}\text{C}) = 1,66 \cdot 10^{-27}\text{kg}.$$

Die tatsächliche Masse eines Atoms ergibt sich damit als Produkt aus relativer Atommasse und atomarer Masseneinheit:

$$m_a(X) = A_r(X) \cdot 1\text{u}.$$

### Atomgröße und Avogadrozahl

Neben der Masse eines Atoms oder Moleküls interessiert natürlich auch das Molekülvolumen und die Zahl der Moleküle pro Mol. Beides kann mit einem einfachen Versuch abgeschätzt werden:

Versuch (Ölfleckversuch): Auf eine mit Bärlappsporen bestreute Wasseroberfläche lässt man einen Tropfen Ölsäurelösung in Leichtbenzin fallen.

E.: Das Benzin verdunstet rasch, das Öl breitet sich zu einer kreisförmigen Schicht aus und schiebt dabei die Bärlappsporen zur Seite.

Auswertung: Unter der Annahme, dass die Schicht monomolekular ist, lässt sich aus dem Volumen des Öltropfens und dem Radius der kreisförmigen

---

Schicht (flacher Zylinder) die Dicke der Schicht berechnen und ein Schluss auf den Moleküldurchmesser ziehen.

Zur Bestimmung des geringen Ölvolumens stellt man eine Lösung aus Ölsäure ( $C_{17}H_{33}COOH$ ) in Leichtbenzin im Volumenverhältnis 1:1000 her und ermittelt die Zahl der Tropfen pro  $cm^3$  der Lösung.

Aus dem Ölvolumen  $V_{\text{Öl}} = \frac{1}{1000} \cdot V_{\text{Tropfen}}$ ,  $h_{\text{Schicht}}$ ,  $A_r(\text{Öl})$  und  $\rho_{\text{Öl}}$  kann zunächst die Schichtdicke  $d$  berechnet werden:

$$V = r^2 \cdot \pi \cdot h \Rightarrow h = \frac{V}{r^2 \cdot \pi}$$

Unter der weiteren stark vereinfachenden Annahme, dass ein Ölmolekül würfelförmige Gestalt mit der Kantenlänge  $h$  hat, folgt für das Würfelvolumen näherungsweise

$$V_{\text{Molekül}} = h^3$$

Für die Avogadrozahl  $N_A$  gilt

$$N_A = \frac{V_{\text{mol}}}{V_{\text{Molekül}}} = \frac{m_{\text{mol}}}{m_{\text{Molekül}}} = \frac{m_{\text{mol}}}{\rho_{\text{Öl}} \cdot h^3}$$

Für das obige Rechenbeispiel folgt daraus

$$N_A = \dots$$

Literaturwert:  $N_A = 6,023 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ .

Zusammenfassung: Die Avogadrokonstante  $N_A = \frac{N}{n}$  gibt die Zahl  $N$  der Teilchen in der Stoffmenge  $n = 1 \text{ mol}$  an. In der Stoffmenge  $n$  sind  $N = N_A \cdot n$  Teilchen enthalten.

Anmerkungen:

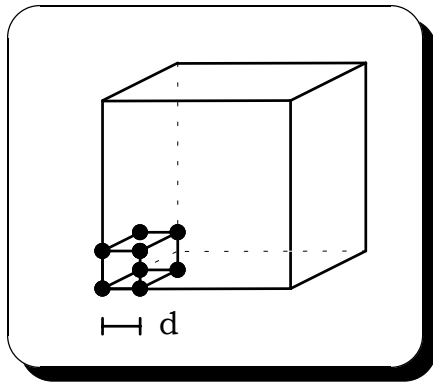
Den kleinen Wert des Moleküldurchmessers veranschaulichen einige Gedankenexperimente:

1. Ölmoleküle der Kantenlänge  $h = 10^{-6} \text{ mm}$  haben ein Volumen von etwa  $10^{-18} \text{ mm}^3$ . In einem Würfel der Kantenlänge  $1 \text{ mm}$  sind also  $10^{18}$  Moleküle enthalten. Reihte man alle diese Moleküle aneinander, so entstünde eine Kette von  $10^{-6} \text{ mm} \cdot 10^{18} = 10^9 \text{ m}$  Länge, wesentlich mehr als die Entfernung Erde - Mond!
2. Wenn die in einem Wasserglas unter normalen Bedingungen vorhandenen Gasteilchen erbsengroß wären, so könnte man ganz Europa damit  $100 \text{ m}$  hoch bedecken.
3. Der Physiker Th. Wulf (1868 - 1946) konstruierte in Gedanken eine Zählmaschine, die pro Sekunde  $10^6$  Moleküle zählen kann. Zum Zählen der Moleküle von  $2 \text{ g}$  Wasserstoff würde diese Maschine  $20$  Milliarden Jahre brauchen, länger, als unsere Erde besteht.

### **$N_A$ -Bestimmung mit Hilfe der Röntgenspektroskopie**

Mit dem Hilfsmittel der Röntgenspektroskopie kann die Avogadrokonstante derzeit am genauesten bestimmt werden.

Die Messung beruht auf folgendem Prinzip:



Es wird ein idealer Einkristall aus  $N$  gleichartigen Atomen der relativen Atommasse  $A_r$  betrachtet. Die Gitterstruktur sei einfach kubisch, die Gitterkonstante sei  $d$ . Der Kristall besitze die Masse  $m$  und das Volumen  $V$ .

Dann gilt:

$$\frac{N_A}{N} = \frac{m_{\text{molar}}}{m_{\text{Kristall}}} \cdot$$

Im Volumen  $V$  sind  $N$  Atome mit einem gegenseitigen Abstand  $d$  verteilt.

Dabei gilt der Zusammenhang

$$V = N \cdot d^3.$$

Löst man diese Gleichung nach  $N$  auf und setzt in obige Gleichung ein, so erhält man schließlich

$$N_A = \frac{V}{m_{\text{Kristall}}} \cdot \frac{m_{\text{molar}}}{d^3}.$$

$\frac{V}{m_{\text{Kristall}}}$  ist der Kehrwert der Kristalldichte  $\rho$ ; führt man diese Dichte zusätzlich ein, so nimmt die Gleichung für  $N_A$  die Form

$$N_A = \frac{m_{\text{molar}}}{\rho \cdot d^3}$$

an.

Anmerkung:

Die Bestimmung des Netzebenenabstands kann mit den Mitteln der Röntgenspektroskopie ("Bragg-Beziehung", "Drehkristallmethode") durchgeführt werden.