

---

## 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:

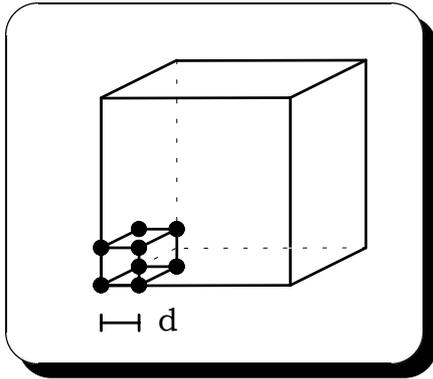
Den kleinen Wert des Moleküldurchmessers veranschaulichen einige Gedankenexperimente:

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.