

# 1 mol Quanten? Ja bitte, aber blaue!

## Ein didaktischer Wink von den Stoffen zum Licht

M. W. Tausch

### 1 Das Mol – die Einheit für die chemische Stoffmenge $n$

Es fehlt in keinem Schulbuch, das Bild mit jeweils einer Portion von  $n = 1$  mol unterschiedlicher Stoffe. Am häufigsten findet man je 1 mol Wasser (18 g), Kupfer (63,5 g), Schwefel (32 g) und Kohlenstoff (12 g) abgebildet. Warum eigentlich nicht auch Bleiodid (461 g)? 1 mol dieses Stoffs macht auf der Waage fast 26 mal mehr aus als 1 mol Wasser.

Vergleicht man Volumina, etwa das Volumen von 1 mol Wasser (18 mL) mit dem Volumen von 1 mol eines Gases (2241 mL), so ist der Unterschied noch deutlicher, der Faktor ist größer als 1246.

So unterschiedliche Massen von Stoffportionen, noch unterschiedlichere Volumina von Stoffportionen bezeichnet

man dennoch immer als die Menge von 1 mol des betreffenden Stoffes – was soll das? Wozu macht man das?

Vergleiche und provozierende Fragen dieser Art dienen im Unterricht häufig dazu, den Sinn und die Notwendigkeit der „Qual mit dem Mol“ zu diskutieren. Sie führen in stringenter Weise zur Rechtfertigung dafür, dass es sich lohnt, uns der Mühe mit der Einheit **Mol** zu unterziehen. Denn die Anzahl der elementaren Einheiten in 1 mol eines Stoffes ist immer die gleiche, nämlich  $N_A = 6,022 \cdot 10^{23}$  und für die Prozesse auf der Teilchenebene ist es eben entscheidend, wie viele Teilchen sich in einer Stoffportion befinden. Bei der Angabe in mol kommt es aber auf die Sorte (auf die Art) der Baueinheiten an. (Nebenbei: der Begriff *Baueinheit* erscheint geeigneter als der Begriff *Baustein*.) Dass diese genau angegeben werden müssen, wird durch Beispiele wie die oben genannten klar und sollte beim Gebrauch im

Unterricht stets berücksichtigt werden. In diesem Sinne ist es nützlich, wenn möglichst gleich mit der Einführung des Stoffmengenkonzepts auch die Angabe von Stoffmengen in Gleichungen des Typs  $n(\text{H}_2\text{O}) = 0,5 \text{ mol}$  eingeführt und für den ganzen Chemielehrgang in der Schule beibehalten wird.

## 2 Das Einstein – die Einheit für die chemische Strahlungsmenge $Q$

Man kann nach 1 mol Kochsalz oder 1 mol Traubenzucker verlangen – selbstverständlich nicht beim Verkäufer im Laden, wohl aber bei der Laborantin im Institut. Sie wüsste, was sie zu tun hat.

Kann man auch 1 mol Quanten verlangen? Man kann. Allerdings würde die Laborantin wissen wollen, welche Art von Quanten gewünscht werden, blaue, gelbe, grüne oder noch andere. Schließlich hat man ihr ja auch gesagt, welchen Stoff man haben wollte. Es gibt sogar eine Einheit für die Strahlungsmenge  $Q$  von  $N_A$  Lichtquanten einer bestimmten Wellenlänge  $\lambda$ ; diese Einheit heißt **Einstein**, ist allerdings nicht als SI-Einheit zugelassen.

Die optische Strahlung kann in *drei* Maßsystemen angegeben werden [1]. Der Vollständigkeit halber seien sie hier genannt:

Die *physikalische* Strahlungsmenge wird in der Maßeinheit **Joule** (J) angegeben. Aus ihr leiten sich weitere Strahlungsgrößen wie Strahlungsstärke, Strahlungsdichte etc. ab.

Die *chemische* Strahlungsmenge wird in **Einstein** angegeben. Die Definition und die Verknüpfung mit der physikalischen Einheit lauten:

$$1 \text{ Einstein} = N_A \cdot h\nu = \frac{N_A \cdot c \cdot h}{\lambda \text{ (nm)}} = \frac{119\,700}{\lambda \text{ (nm)}} \text{ kJ}$$

Danach ist für Blaulicht mit  $\lambda = 450 \text{ nm}$  1 Einstein die Strahlungsmenge (Lichtmenge) von  $N_A$  Lichtquanten dieser Wellenlänge und das entspricht einer Energie von 266 kJ. Bei Rotlicht mit  $\lambda = 680 \text{ nm}$  entspricht die Strahlungsmenge von 1 Einstein nur 176 kJ. Vereinfacht kann man also sagen, dass das Einstein die Energie von 1 mol Quanten bestimmter Wellenlänge angibt. Im praktischen Gebrauch ist die Einheit Einstein für das Licht sehr viel problematischer als das mol bei Stoffen, weil man nur in den seltensten Fällen streng monochromatische Lichtquellen hat.

Es gibt mehrere *physiologische* Lichtgrößen, darunter die Lichtstärke (Einheit: candela cd), der Lichtstrom (Einheit: Lumen lm) und Beleuchtungsstärke (Einheit: Lux lx). Verblüffenderweise hat ausgerechnet eine dieser Größen eine SI-Einheit zugesprochen bekommen. Die **Candela** (cd) ist laut IUPAC [2] die Lichtstärke in einer gegebenen Richtung, die eine Lichtquelle mit monochromatischer Strahlung der Frequenz von  $540 \times 10^{12}$  Hertz emittiert und die Strahlungsintensität von  $1/683$  Watt pro Steradian hat. Hand aufs Herz: Wer kann sich das konkret vorstellen? Zur Beruhigung: Es ist in etwa die Lichtstärke einer Kerze.

## 3 Verbindendes schafft Durch- und Überblick

In pädagogischen Sternstunden haben Schüler Aha-Erlebnisse. Ein solches tritt erfahrungsgemäß ein, wenn ihnen

beispielsweise das Donator-Akzeptor Prinzip bewusst wird und sie nun nach dem gleichen Muster alle Protolysen und Redoxreaktionen, also die meisten Reaktionen, mit denen sie in der Schule zu tun haben, beschreiben und erklären können. Wenn ein übergeordnetes Prinzip, ein allgemeines Denkmuster, erkannt wird, ist das von besonderem Bildungswert auch über die Chemie hinaus.

Eine Analogie wie die zwischen Redoxreaktionen und Protolysen gibt es auch zwischen den Einheiten Mol und Einstein. Während 1 mol eines Stoffes die Menge dieses Stoffes bezeichnet, die aus  $N_A$  elementaren Einheiten dieses Stoffes besteht, bezeichnet 1 Einstein einer bestimmten Lichtsorte die Strahlungsmenge von  $N_A$  Lichtquanten dieser Lichtsorte, d. h. Lichts dieser Wellenlänge. In der Kategorie „mol“ denken heißt, eine mentale Brücke zwischen dem Kontinuum der sinnlich wahrnehmbaren (äußerst unterschiedlichen) Stoffe und den diskreten, submikroskopischen Baueinheiten dieser Stoffe zu bauen. Die gleiche Brücke verbindet auch das Kontinuum des sinnlich wahrnehmbaren (in seinen Farben äußerst unterschiedlichen) Lichts und seine elementaren Einheiten, die Quanten.

Es wird nicht empfohlen, die Einheit Einstein in der Schule einzuführen. Es macht aber Sinn, im Oberstufenunterricht mit der Teilchenvorstellung des Lichts, also den Photonen oder Lichtquanten zu arbeiten. Im Zusammenhang mit photochemischen Reaktionen sollte erarbeitet werden, dass bestimmte Reaktionen bestimmte Arten von Licht benötigen (klassisches Beispiel: Bromierung und Chlorierung von Alkanen – es gibt aber auch zahlreiche andere Beispiele, vom Sehprozess und der Photosynthese bis zur Ozonchemie). Es schadet nicht, wenn man dazu auch einige (nicht viele!) Berechnungen durchführt, bei denen man beispielsweise aus der molaren Bindungsenergie von Chlor die maximale Wellenlänge ausrechnet, mit der die photochemische Chlorierung eines Alkans ausgelöst werden kann [3]. Man wird dann auf die oben angegebene Gleichung zurückgreifen, in der  $h\nu$ , die Energie eines Lichtquants nach *Planck*, mit der *Avogadro*-Konstanten  $N_A$  multipliziert wird, um die Energie der Lichtmenge von 1 mol Quanten zu berechnen. Das Denken im Stoffmengenkonzept und das Arbeiten mit der Einheit Mol können dadurch erweitert und gefestigt werden.

### Literatur

- [1] H.G.O. Becker, Einführung in die Photochemie, Deutscher Verlag der Wissenschaften, Berlin 1991
- [2] International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC), Größen, Einheiten und Symbole in der Physikalischen Chemie, VCH-Verlagsgesellschaft, Weinheim 1996
- [3] M. Tausch, M. v. Wachtendonk (Hrsg.), Chemie S II, C.C. Buchner, 2001

### Anschrift der Verfasser:

Prof. Dr. Michael W. Tausch, Universität Duisburg-Essen, Institut für Chemie, Lotharstr. 1, 47057 Duisburg, e-mail: M.Tausch@uni-duisburg.de