

Stoffmenge und Teilchenzahl

Gegenstand:

Um Substanzmengen zu kennzeichnen, bevorzugen Chemiker und Physiker verschiedene Größen, die ersteren die Stoffmenge n , die letzteren die Teilchenzahl N .

Mängel:

Die Größe n nimmt in der Chemie eine zentrale Stellung ein. Der Begriff gilt dort als grundlegend nicht nur für die Berechnung der Umsätze und die Bestimmung der Zusammensetzung von Stoffen, sondern für das Verständnis stofflichen Verhaltens überhaupt. Viele Gesetze und Regeln nehmen mit Hilfe dieses Begriffes und der davon abgeleiteten Größen eine besonders einfache Gestalt an (stöchiometrische Gesetze, Gasgesetze, Massenwirkungsgesetze, Dulong-Petit-Regel, Pictet-Trouton-Regel usw.).

Neben der Teilchenzahl N erscheint nun die Stoffmenge n als überflüssige Zutat, ja nicht einmal als richtige Größe, deren Werte – wie bei Länge oder Dauer – wenigstens im Prinzip durch ein “ordentliches” Messverfahren festgelegt werden, sondern eher als bloßer Zählwert, in der die Avogadro-Konstante N_A wie Dutzend oder Schock als große Zählleinheit dient. Die Werte von n und N unterscheiden sich nur um den festen Faktor N_A , so dass sich allgemein alle von n abgeleiteten Größen auch als Abkömmlinge von N betrachten lassen. Die Größenwerte der letzteren Art sind allerdings um eine ganzzahlige Potenz von N_A kleiner oder größer als die Werte ihrer von n abgeleiteten Gegenstücke, was sie ziemlich unhandlich macht. Aber solch ein Argument überzeugt höchstens einen Praktiker, der mit den Werten umgehen muss, jedoch keinen grundsätzlich denkenden Physiker. Dass man mehr verliert als nur die Handlichkeit der Werte, wird erst erkennbar, wenn man n mit Größen aus anderen Bereichen vergleicht, etwa der Ladung Q . Auch sie ließe sich grundsätzlich in sämtlichen Gleichungen durch eine ganze Zahl, die Ladungszahl $z = Q/e$, ersetzen, ohne dass dadurch irgendein Ergebnis der Elektrodynamik verloren ginge. Das coulombsche Gesetz lautete etwa

$$F = \frac{z_1 \cdot z_2}{4\pi\epsilon^* r^2} \quad \text{mit} \quad \epsilon^* = 3,45 \cdot 10^{26} \text{ J}^{-1}\text{m}^{-1} \quad \text{im Vakuum.}$$

Alle elektrischen Einheiten wären in den neu zu bildenden Größen durch andere ersetzt (Ampere $\rightarrow \text{s}^{-1}$, Volt $\rightarrow \text{J}$, Ohm $\rightarrow \text{J} \cdot \text{s}$, Farad $\rightarrow \text{J}^{-1}$, Henry $\rightarrow \text{J} \cdot \text{s}^2$ usw.), während sich die Zahlenwerte um eine ganzzahlige Potenz von $1,602 \cdot 10^{-19}$ ändern würden. Die übliche Netzspannung betrüge $3,52 \cdot 10^{-17} \text{ J}$ und eine 100 W-Glühlampe würde bei einer Stromstärke von $2,84 \cdot 10^{18} \text{ s}^{-1}$ und einen Widerstand von $1,24 \cdot 10^{-35} \text{ Js}$ normal brennen. Übliche Werte von Stromstärke, Spannung, Widerstand usw. wären nicht nur unhandlich, sondern zusätzlich mit denen von Frequenz, Energie, Wirkung usf. verwechselbar. Bisher klar abgesetzte, durch verschiedene Einheiten betonte Konturen im Begriffssystem verschwimmen, was das Erkennen der zugrunde liegenden Strukturen sehr erschwert. Macht es bereits Mühe, Schülern den Unterschied zwischen Stromstärke und Spannung begrifflich zu machen, so käme jetzt z. B. noch die Schwierigkeit hinzu, Spannung, Energie und Leistung begrifflich voneinander zu trennen. Der natürliche Weg, einen Größenwert – etwa einen Widerstand – einzuschätzen, indem man versucht, sich eine Vorstellung vom Sinn der Einheit zu machen, wird ungangbar. Was soll man sich unter der Widerstandseinheit Js oder $\text{kg m}^2 \text{ s}^{-1}$ vorstellen? Auch solche Schwierigkeiten sind überwindbar, nur mit welchem zusätzlichen Aufwand!

Schwierigkeiten derselben Art handelt man sich ein, wenn man die Größe Stoffmenge übergeht. Die ausgeprägten Analogien zu anderen Bereichen der Physik werden dadurch bis zur Unkenntlichkeit verwischt, was wiederum mancherlei Sonderbildungen fördert, die die Andersartigkeit noch übersteigert. Was ein Stück normaler, gewohnter Bahnen folgender Physik sein könnte, wird zu einem anspruchsvollen, neue Ansätze und Denkweisen erfordernden Spezialgebiet, der “statistischen Physik”. Die Darstellung hat sich inzwischen soweit auseinander entwickelt, dass eine Zusammenfassung geradezu unmöglich erscheint. Dass man in der Physik Photonen in einem Hohlraum oder Phononen in einem Festkörper, Elektronen im Leitungsband oder Löcher im Valenzband, das Einfrieren einer Molekelschwingung oder die Maxwell-Verteilung der Geschwindigkeiten, Fermi-Energie, Einstein-Kondensation und Boltzmannsches Satz mit demselben Begriffsrepertoire erfassen kann, mit denen der Chemiker das makroskopische Verhalten von Stoffen beschreibt, bleibt dadurch völlig im Dunkel.

Herkunft:

Solange man die Masse m einer Stoffportion als der Stoffmenge proportional ansehen konnte, lag es nahe, die durch Wägung leicht bestimmbare Größe m auch als Maß für Stoffmengen aller Art zu verwenden. Die in der Chemie wichtige Frage, wann man die Mengen zweier verschiedener Stoffe als gleich anzusehen hat, wurde in der Physik gar nicht erst gestellt. Als "Molzahl" mit der stoffspezifischen Masseneinheit mol (soviel Gramm eines Stoffes, wie sein Molekulargewicht angibt), als die die Stoffmenge n in der Chemie ursprünglich eingeführt worden war, galt n in der Physik nur als illegitimer Abkömmling der Masse, der nicht in den Kreis ordentlicher physikalischer Größen passte. In der mechanischen Wärmetheorie, in der die Atome als kleine, den Gesetzen der Mechanik unterworfenen Körperchen aufgefasst werden, oder in der Quantenstatistik, wo Verteilungen von Teilchen über verschiedene Quantenzustände gezählt werden, erscheint zudem die Teilchenzahl N als der gegenüber der Stoffmenge n natürlichere Begriff.

Entsorgung:

Wenn man in der Physik auch chemische Umsetzungen (als zur Chemie gehörig) ausklammert, so werden doch stoffliche Vorgänge wie Schmelzen, Sieden, Lösen, Verdunsten, Verteilen usw. durchaus angesprochen. Auch Gesamtheiten von Elektronen, Löchern, Fehlstellen, Photonen, Phononen, α -Teilchen usw. lassen sich wie Stoffe behandeln. Für die Erscheinungen in diesen Bereichen spielt die Stoffmenge n eine ähnliche Rolle wie die Ladung Q in der Elektrizitätslehre. n fungiert als Grundgröße, von der sich zahlreiche Größen ableiten und zu einem Begriffssystem zusammenfügen lassen, das viele Parallelen zu anderen Teilen der Physik aufweist, die das Verstehen und Behalten der Zusammenhänge sehr erleichtert. So untunlich es ist, den Begriff der Ladung zu umgehen, so nachteilig wirkt sich der Verzicht auf die Größe n aus. Dabei empfiehlt es sich, n wie Länge, Dauer, Masse durch direkte Metrisierung des zugrunde liegenden Begriffes einzuführen und nicht über die Teilchenzahl N , so gewohnt und daher verführerisch dieser Weg auch sein mag.

G. J.