

Die chemische Symbolsprache im Unterricht – Denkanstöße und Hinweise

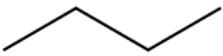
Die folgenden Angaben dienen der fachlichen Klärung zur Normierung und zu den Lesarten der chemischen Symbol- und Formelsprache.

Die chemische Symbolsprache – Wesentliches in aller Kürze

„Chemische Formeln beruhen auf dem Teilchenbild der Materie. Sie beschreiben die Zusammensetzung von Stoffen oder von einzelnen Teilchen, z.B. Molekülen oder Ionen, nach Art und Anzahl der sie aufbauenden Atome. [...] Formeln werden bewusst als Mittel der Abstraktion eingesetzt und können der Darstellungsabsicht und Kenntnistiefe angepasst werden“ [1, S. 2]. Regeln zu Schreibweisen chemischer Formeln und von Reaktionsgleichungen sind heute international über die IUPAC festgelegt [2] in diese Regelungen sind große Teile der mittlerweile zurückgezogenen DIN 32641 (Chemische Formeln) und der DIN 32642 (Symbolische Beschreibung chemischer Reaktionen) eingeflossen. Die Angaben in Tab. 1 sind ein Vorschlag, der auf diesen Regelungen basiert und sich an [3] und [4] anlehnt.

Tab. 1: Arten chemischer Formeln, die im Chemieunterricht der Sek. I verwendet werden

Formelart	Beschreibung	Beispiele
Formeln ohne hinreichenden Bezug zur Verknüpfung der Atome/Ionen		
<i>Verhältnisformel</i> IUPAC: empirical formula	Das kleinstmögliche geradzahlige Anzahlverhältnis der Arten von Atomen oder Atom-Ionen in einer Verbindung ohne Berücksichtigung der jeweils tatsächlich vorliegenden Anzahl der den Stoff aufbauenden Atom- bzw. Ionenarten.	CH CH ₂ O NaCl
<i>Ionenschreibweise</i>	Aus der Verhältnisformel abgeleitete Darstellung, in der die Art und Anzahl der Atome von Kationen und Anionen nebst ihren Ladungszahlen angegeben werden.	Ca ²⁺ NO ₃ ⁻ Ca ²⁺ (Cl ⁻) ₂
<i>Molekülformel*</i>)	Tatsächlich in einem Molekül vorliegende Arten und Anzahlen der Atome.	C ₆ H ₆ C ₆ H ₁₂ O ₆
Formeln mit Angaben zur Verknüpfung der Atomarten in den Teilchen)**		
<i>Konstitutionsformeln</i> (Halbstrukturformeln)	Eingeschränkte Angaben zur Verknüpfung der Atome untereinander durch Mehrfachangabe von Atomartensymbolen und Verknüpfung von Atomartensymbolen zu Atomgruppen (z.B. funktionelle Gruppen, Molekülionen) ggf. über Striche und Klammern. Konstitutionsformeln und Strukturformeln können kombiniert werden.	CH ₃ COOH CH ₃ -CH ₂ -CHO Al ₂ (SO ₄) ₃
<i>Valenzstrichformel</i> IUPAC: line formula (syn. Strukturformel)	Symbolisierung von bindenden und freien Elektronenpaaren durch Striche, wobei die Bindungswinkel nicht empirischen Daten entsprechen müssen. Im Chemieunterricht sollte es vermieden werden, freie Elektronenpaare wegzulassen. Nach DIN und IUPAC ist dies jedoch zulässig.	$ \begin{array}{cccc} \text{H} & \text{H} & \text{H} & \text{H} \\ & & & \\ \text{H}-\text{C} & -\text{C} & -\text{C} & -\text{C}-\text{H} \\ & & & \\ \text{H} & \text{H} & \text{H} & \text{H} \end{array} $
<i>Keil-Strich-Formel</i>	Perspektivische Darstellung der 3D-Struktur eines Moleküls. Bindungen, die aus der Zeichenebene nach vorne zeigen, werden über Keile, solche, die hinter der Zeichenebene liegen, werden über unterbrochene Linien (Strichlinien) gekennzeichnet.	

<i>Skelettformel</i>	Formeln ohne Darstellung von CH _n -Gruppen. C–C-Bindungen werden als Striche dargestellt, der C–C-Bindungswinkel wird beachtet. Heteroatome werden hingegen dargestellt.	
Beschreibungen chemischer Reaktionen		
<i>Reaktionsschema</i>	Qualitative Beschreibung einer chemischen Reaktion in a) Worten oder b) in Formeln, wenn die Stöchiometrie der Reaktion nicht bekannt oder nicht von Bedeutung ist.	Wasserstoff + Sauerstoff → Wasser
<i>Reaktionsgleichung</i>	Quantitative Beschreibung einer chemischen Reaktion unter Angabe von chemischen Formeln, stöchiometrischen Koeffizienten, Phasensymbolen und ggf. Änderungen von Enthalpie oder innerer Energie. Der angegebene Teilchenumsatz ist der Formelumsatz.	$2 \text{ H}_2 (\text{g}) + \text{O}_2 (\text{g}) \rightarrow 2 \text{ H}_2\text{O} (\text{l}); \text{ exotherm}$ $2 \text{ H}_2 (\text{g}) + \text{O}_2 (\text{g}) \rightarrow 2 \text{ H}_2\text{O} (\text{l}); \Delta H < 0$

*) Die noch immer gebräuchlichen Formulierungen Summenformel und Bruttoformel sollten aus Gründen der Einheitlichkeit nicht mehr verwendet werden.

*) Nicht dargestellt sind hier die Elektronenformeln (auch Lewis-Formeln), in denen die Valenzelektronen für jedes Atom in einem Molekül um das jeweilige Elementsymbol notiert werden (z.B. H : H für ein H₂-Molekül).

Lesarten der chemischen Symbolsprache

Auch wenn die chemische Symbolsprache im Kern auf die Teilchen rekurriert, die einen Stoff aufbauen, lassen sich aus der chemischen Formel auch Angaben über den Stoff selbst ableiten. Die chemische Symbolsprache ist also auf mehreren Ebenen interpretierbar. So kann das Symbol Fe von Lernenden einerseits als Repräsentant für ein Eisen-Atom mit den entsprechenden Atomeigenschaften gesehen werden, andererseits können sie dies als Repräsentant für den Stoff Eisen oder aber eine Portion Eisen betrachten. Diese Doppeldeutigkeit ergibt sich auch für *Reaktionsgleichungen*. Während ein *Reaktionsschema* sich eindeutig auf die makroskopische Ebene beschränkt, zeigen sich in der Reaktionsgleichung erneut beide Blickwinkel auf: Einerseits werden die an der Reaktion beteiligten Stoffe und die Stoffänderung angezeigt, andererseits auch die bei der Reaktion erfolgende Neuverknüpfung von Atomen (Dalton-Modell) bzw., sofern eine differenzierte Atomvorstellung vorliegt, die Veränderungen der Atome durch Elektronenübergang oder Bildung einer Elektronenpaarbindung. Eine weitere Lesart ergibt sich durch das Stoffmengenkonzept (vgl. Tab. 2): Die stöchiometrischen Faktoren beschreiben auf der submikroskopischen Ebene die Anzahl der reagierenden Entitäten; auf der makroskopischen Ebene geben diese Faktoren die Stoffmengen an, aus denen sich über die molaren Größen die Masse sowie das Volumen einer Stoffportion ermitteln lassen.

Tab. 2: Lesarten einer Reaktionsgleichung (verändert nach [4])

Reaktionsgleichung (abstrakte Symbolebene)	$2 \text{ Mg} (\text{s}) + \text{O}_2 (\text{g}) \rightarrow 2 \text{ MgO} (\text{s}); \text{ exotherm}$
makroskopische Ebene	Die Elementsubstanzen Magnesium und Sauerstoff reagieren zum salzartigen Stoff Magnesiumoxid. Dieser Stoff ist eine chemische Verbindung.
submikroskopische Ebene	<p><i>Dalton-Theorie:</i> Es erfolgt eine Neuverknüpfung der Atome. Mg-Atome lösen sich aus dem Gitterverband. Die O₂-Moleküle werden in O-Atome gespalten. Beide Atomsorten verknüpfen sich dann zu einem neuen Gitterverband.</p> <p><i>Redox-Theorie:</i> O₂-Moleküle werden in O-Atome gespalten; jedes O-Atom entzieht einem Mg-Atom die beiden Valenzelektronen. So entstehen O²⁻- und Mg²⁺-Ionen; aufgrund der elektrostatischen Anziehung zwischen den entgegengesetzt geladenen Ionen entsteht ein stabiles Ionengitter.</p>

Teilchenbild nach der Daltonschen Atomvorstellung; die schwarz markierten Atomsymbole sollen den Formelumsatz bzw. die Formeleinheit kenntlich machen.			
Interpretation auf der submikroskopischen Ebene	2 Mg-Atome im Magnesiumgitter	1 O ₂ -Molekül	2 Formeleinheiten Mg ₁ O ₁ im Magnesiumoxidgitter bzw. 2 Ionengruppen Mg ²⁺ O ²⁻ im Magnesiumoxidgitter
Verknüpfung mit dem Stoffmengenkonzept und ...	2 mol Mg-Atome	1 mol O ₂ -Moleküle	2 mol MgO-Formeleinheiten bzw. 2 mol Mg ²⁺ O ²⁻ -Ionengruppen
...Übergang zur makroskopischen Ebene.	48,6 g Magnesium	32 g Sauerstoff (= 24 l bei 1013 hPa und 20 °C)	80,6 g Magnesiumoxid

Literatur:

- [1] DIN 32641 und DIN 32642: Online unter: <https://www.beuth.de/de/norm/din-32642/1800067> und <https://www.beuth.de/de/norm/din-32641/3356993> (Abrufdatum: 04.10.2024)
- [2] IUPAC (2019): Compendium of Chemical Terminology (Gold book). Online unter: <https://goldbook.iupac.org/> (Abrufdatum: 04.10.24)
- [3] ISB (2018): Ergänzende Informationen zum LehrplanPLUS: Symbolschreibweisen für chemische Formeln. Online unter: https://www.lehrplanplus.bayern.de/sixcms/media.php/71/8-12_LB1_I_Formeldarstellungen_1401.pdf (Abrufdatum: 05.10.24)
- [4] Sieve, B. (2012): Wirrwarr um die chemische Formelsprache, PdN-ChiS, Heft 2, 61. Jahrgang, S. 41-45