

Alles richtig – nichts verstanden? Wie der Fokus des Unterrichts auf das Verstehen gelenkt werden kann

Amadeus Bärtsch*^a und Lorenz Marti^b

Abstract: Dieser Artikel stellt Ideen aus der Praxis vor, wie das Verständnis ins Zentrum des Chemie-Unterrichts gestellt werden kann. Wir empfehlen von Schülern stets eine Begründung für die Aussagen einzufordern, chemische Formeln als Ausgangspunkt und Hilfsmittel für die Überlegungen zu verwenden und möglichst wenig Faktenwissen zu verlangen. Weil Aufgaben mit Berechnungen, Formeln und Reaktionsgleichungen rezeptartig gelöst werden können, sollten sie mit Verständnisfragen ergänzt werden. Wenn Schüler:innen Prozesse mit Skizzen auf Modellebene beschreiben und Erklärungen in eigenen Worten formulieren, wird besonders deutlich, ob sie das Konzept verstanden haben.

Abstract: This article presents ideas from our educational practice in chemistry teaching, focusing on understanding rather than just learning by heart. We recommend always asking students to justify statements, to use chemical formulae as a starting point and aid to reasoning, and to require as little factual knowledge as possible. Because tasks with calculations, formulae and reaction equations can be solved in a recipe-like manner, they should be supplemented with comprehension questions. If students describe processes with sketches at model level and formulate explanations in their own words, it becomes particularly clear whether they have understood the concept.

Keywords: Argumentieren statt memorieren · Aussagen begründen · Vorgänge skizzieren



Amadeus Bärtsch studierte Chemie an der Universität Zürich. Nach der Diplomarbeit in organischer Synthese untersuchte er im Rahmen eines Doktorats an der ETH die krebserzeugende Wirkung von 1,2-Dichloralkanen, die durch kovalente Bindung an die DNA zustande kommt. Zunächst unterrichtete er in Sargans, später an der Kantonsschule Freudenberg in Zürich. Seit 2009 arbeitet er in der Didaktischen Ausbildung von ETH und Universität Zürich, verantwortet die fachdidaktischen und praktischen Module in Chemie und gibt Weiterbildungskurse für Lehrpersonen.



Lorenz Marti arbeitete mehrere Jahre als Betreuer internationaler Konzerne bei einer Schweizer Grossbank, bevor er den akademischen Weg einschlug. 1996 begann er ein Biochemiestudium an der ETH Zürich, welches er nach einem Auslandsemester an der Université Paris Cité (ehemals Université Paris Diderot) im Jahr 2001 erfolgreich

abschloss. Gleich im Anschluss begann seine Tätigkeit als Chemielehrer. Im Jahr 2003 erhielt er das Lehrdiplom für Maturitätsschulen und seit 2004 unterrichtet er Chemie an der Kantonsschule Rämibühl in Zürich. Darüber hinaus ist er seit 2017 als Fachdidaktiker für Chemie an der Universität Zürich angestellt, wo er hauptsächlich für die praktischen Module zuständig ist.

1. Einleitung

In der Primarschule lernen die Kinder, wie man Texte zusammenfasst, wie man sich Fremdworte einprägt und wie man Definitionen auswendig lernt. Aufgaben in der Mathematik lösen sie nach Rezept. Ein Teil der Schüler:innen durchschauen das Vorgehen bei den Rechnungen, vielen reicht es aber, wenn sie das Rezept beherrschen, zum richtigen Resultat kommen und die Lehrerin zufrieden ist.

Am Gymnasium müssen Aussagen begründet, Zusammenhänge geknüpft und die Bedeutung von Konzepten erkannt werden. Es reicht nicht, wenn man die Fakten kennt und Rezepte anwenden kann. Die Schüler:innen sollen die Konzepte verstehen und nicht die Beispiele lernen! Wie ist das möglich? Anhand von Beobachtungen aus der Praxis stellt dieser Artikel Ideen vor, die zu einer vertieften Auseinandersetzung mit den Konzepten beitragen und das Verständnis der Chemie am Gymnasium fördern. Erzwingen kann man es nicht.

2. Ideen für Fragestellungen, die das Verständnis betonen

2.1 Abstrakte Aufgaben mit Verständnisfragen ergänzen

Oft können Schüler:innen abstrakte Aufgaben lösen, haben aber keine Vorstellung von Substanzen und Reaktionen. Deshalb sollten formale Aufgaben mit einfachen Fragen versehen werden, die ein vertieftes Verständnis erfordern.

*Correspondence: Dr. A. Bärtsch^a, E-mail: bamadeus@ethz.ch

^aKantonsschule Freudenberg, Gutenbergr. 15, CH-8002 Zürich; ^bMNG Rämibühl, Mathematisch-Naturwissenschaftliches Gymnasium, Rämistr. 58, CH-8001 Zürich

Beispiel 1

a) Wie viele Moleküle gibt es in 100 g CH₃CH₂OH? Bitte geben Sie die Zahl an.

Lösung: 100 g sind 2,17 mol Ethanol. 2,17 mol enthalten 1,3·10²⁴ Moleküle.

b) Wie viele Kohlenstoffatome gibt es in 100 g CH₃CH₂OH? Bitte geben Sie die Zahl an.

Lösung: Jedes Ethanol-Molekül besteht aus 2 C-Atomen. Resultat von a) verdoppeln.

Die Aufgabe a) wurde von vielen Lernenden gut gelöst. Das war auch zu erwarten: Die Schüler:innen hatten eine ähnliche Aufgabe im Unterricht bereits gelöst. Alles bestens, könnte man meinen. Leider nein. Viele Schüler:innen hatten Mühe mit der banalen Aufgabe b). Der neue Blickwinkel zeigte, dass viele das Rezept angewandt und die Problemstellung nicht erfasst hatten. (Abb. 1)

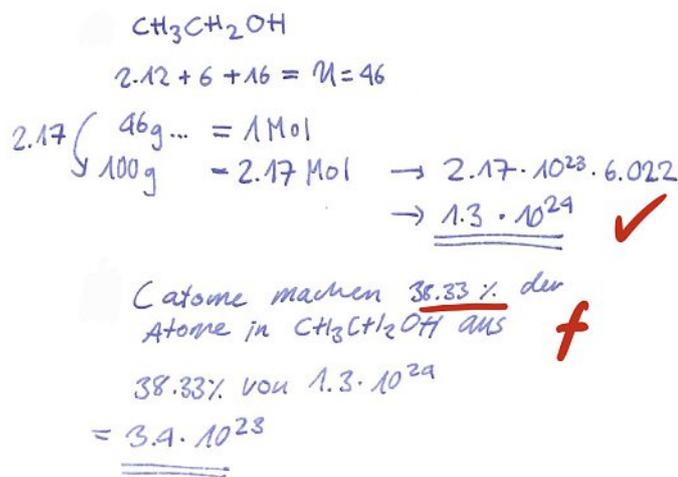


Abbildung 1. Die Standardaufgabe a) wurde gut gelöst. Viele haben die Zahl der Ethanolmoleküle richtig berechnet. In b) musste diese Zahl mit Faktor 2 multipliziert werden, weil jedes Molekül 2 C-Atome enthält. Das schaffen nur wenige. Erst die einfache, aber unbekannte Aufgabe b) zeigte, dass viele Schüler:innen rezeptartig vorgehen und die Problemstellung nicht verstanden hatten.

Beispiel 2

a) Wenn Bakterien Wein zu Essig machen, reagieren Ethanol CH₃CH₂OH und Sauerstoff zu Essigsäure CH₃COOH und Wasser. Wie viel Essigsäure kann im besten Fall aus 100 g Ethanol entstehen?

Lösung: CH₃CH₂OH + O₂ → CH₃COOH + H₂O
 Aus 100 g (2,17 mol) Ethanol kann 2,17 mol (130 g) Essigsäure entstehen.

b) Die Reaktion von Wein zu Essig wird in einer geschlossenen Flasche durchgeführt. Kann die Flasche explodieren? Bitte erklären Sie Ihre Antwort.

Lösung: Sauerstoff ist gasförmig, die anderen Stoffe flüssig. Weil Sauerstoff verbraucht wird, sinkt der Druck und die Flasche kann nicht explodieren.

Wie in Abbildung 2 zu sehen, wurde die abstrakte Rechnung oft korrekt durchgeführt. Erst die vertiefende Frage b) offenbarte, dass die Schüler:innen keine Vorstellung von der Reaktion hatten. Sie merkten nicht, dass Gas verbraucht wird und der Druck in der Flasche abnimmt, weil die Produkte flüssig sind.

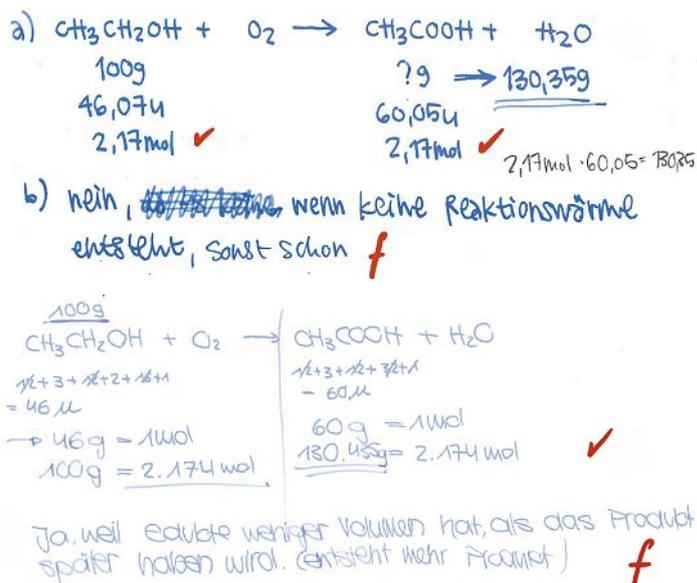


Abbildung 2. Die abstrakte Rechnung wurde oft korrekt durchgeführt, weil sich die Schüler auf die Prüfung über Stöchiometrie vorbereitet hatten. Alles richtig – aber nichts verstanden. Dass viele Schüler:innen keine Vorstellung von der Reaktion hatten, zeigte sich erst mit der neuartigen Frage b). Sie merkten nicht, dass Gas verbraucht wird und der Druck in der Flasche sinkt, weil die Produkte flüssig sind.

2.2 Kognitive Konflikte verlangen überzeugende Erklärungen

Frage: Warum hat Wasser einen höheren Siedepunkt als Fluorwasserstoff, obwohl die Partialladungen in HF grösser sind als in H₂O?

Antwort: Im Wasser können sich mehr Wasserstoffbrücken bilden. Weil HF nur eine positive H-Brücke aufweist, können im Mittel maximal 2 Wasserstoffbrücken pro Molekül entstehen.^[1]

Frage: Der Siedepunkt von Ammoniak (NH₃) ist mit –33°C nicht sehr hoch, was auf mässig starke zwischenmolekulare Kräfte schliessen lässt. Trotzdem löst sich Ammoniak hervorragend in Wasser. Erklären Sie diesen Widerspruch.

Antwort: Ammoniak kann zwar 3 positive aber nur 1 negative H-Brücke eingehen. Durchschnittlich sind pro Molekül also höchstens 2 H-Brücken möglich. Dies erklärt den relativ tiefen Siedepunkt. Gelöst in Wasser, kann Ammoniak aber alle Möglichkeiten nutzen und 4 H-Brücken machen.

Widersprüche schreien nach Erklärung.^[2] Oft gelingt die Provokation und die Schüler:innen beginnen selbständig zu denken. Sie erleben die Aussagekraft der Konzepte und können sich an gelöste Konflikte gut erinnern, weil die Erklärung einer Erlösung gleichkommt.

2.3 Skizzen verraten mangelndes Verständnis

Frage: Wie kann man mit Gold und Magnesium eine Batterie bauen?

a) Erklären Sie die Batterie mit einer Skizze und schreiben Sie alle Bestandteile an.

b) Welche Reaktionen laufen ab?

Lösung gemäss Redoxreihe.

Pluspol: Au³⁺ + 3 e⁻ → Au

Minus-Pol: Mg → Mg²⁺ + 2 e⁻

c) Welche Spannung erreicht die Batterie?

Lösung: 1,4 V – (–2,36 V) = 3,76 V

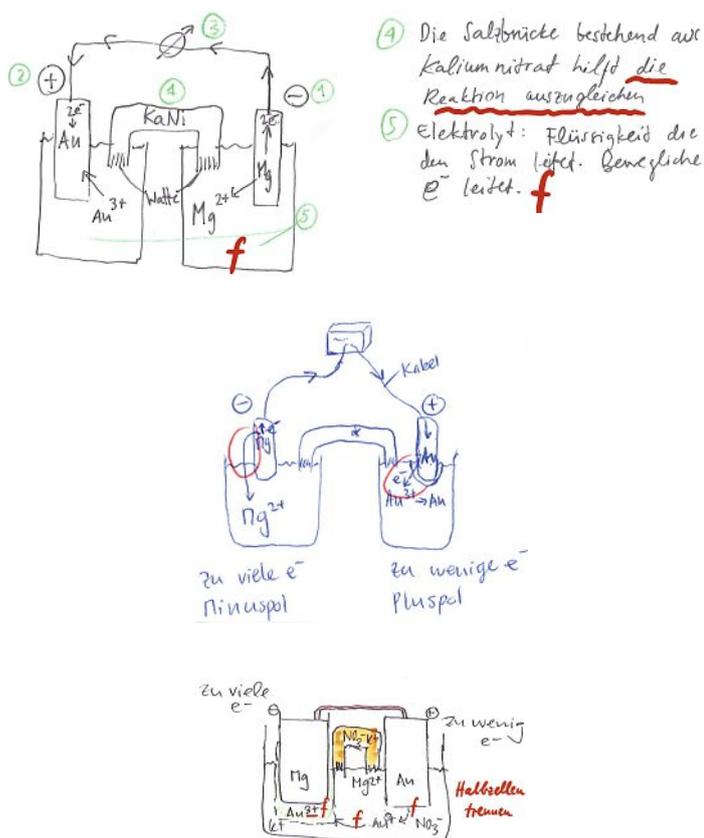


Abbildung 3. Viele Schüler:innen konnten Reduktion, Oxidation und Spannung der Batterie problemlos angeben. Die Skizzen zeigten jedoch, dass die Kenntnisse oberflächlich und die Vorgänge nicht wirklich verstanden waren (Fehlvorstellungen sind rot markiert).

Teilaufgabe b) und c) wurden gut gelöst. Viele Schüler:innen konnten abstrakte Formeln einwandfrei notieren, hatten aber Mühe, die Prozesse zu erklären. Erst die Skizzen von Teilaufgabe a) zeigten die Mängel. (Abb. 3)

2.4 Alltagsbezüge konkretisieren die Theorie

Wenn die Lernende chemische Prinzipien im Alltag erkennen, erleben sie die Bedeutung der Theorie.^[2] Vielleicht erklären sie den Freunden die Hintergründe. Auf jeden Fall repetieren sie die Theorie, wenn sie den Konzepten im Alltag begegnen.

Ein einfaches Beispiel: Ein Holzofen soll angefeuert werden. Formulieren Sie zu den in diesem Zusammenhang gestellten Fragen kurze Begründungen.

a) Zum Anfeuern verwendet man oft Zeitungen, da sie schneller brennen. Weshalb?

Antwort: Zerknüllte Zeitungen haben eine grosse Oberfläche. Das erhöht die Reaktionsgeschwindigkeit und erzeugt die Aktivierungsenergie für grössere Holzstücke.

b) Durch sanftes Blasen zu Beginn kann man das Feuer unterstützen. Was geschieht dabei chemisch gesehen?

Antwort: Es wird zusätzlicher Sauerstoff (ein Edukt) zugeführt.

c) Warum muss das Holz trocken sein?

Antwort: Feuchtes Holz erwärmt sich weniger, weil ein Teil der Verbrennungswärme zum Verdampfen des Wassers benötigt wird.

d) Warum erlischt ein im Ofen lodernd brennendes Holzsplit bald, wenn man es aus dem Feuer nimmt?

Antwort: Alleine verliert das Split so viel Energie an die Umgebung, dass die Aktivierungsenergie bald nicht mehr überwunden wird.

3. Empfehlungen für einen sinnstiftenden Unterricht **Bitte nicht auswendig lernen!**

Wenn die Schüler:innen das Periodensystem zum ersten Mal sehen, kommt sofort die bange Frage, ob man die Symbole der Elemente auswendig lernen muss.

Was für eine absurde Idee! Das Periodensystem ist ein Spick, aus dem die Schüler:innen so viel Information wie möglich herausziehen sollen. Wenn die Lernende erleben, dass sie Kern und Hülle der Atome, den Bindungstyp, die Ladungen der Ionen, Lewisformeln, die Partialladungen usw. aus dem Periodensystem entwickeln können, werden sie den Fokus auf das Verständnis legen. Auch die Säure-Base-Tabelle und Redox-Reihe dienen als Basis für die Arbeit.

Ich gehe sogar so weit, dass die Schüler:innen bei der Nomenklatur organischer Stoffe jederzeit eine Tabelle mit den Namen der Alkane und der funktionellen Gruppen benutzen dürfen und positioniere die Chemie als Fach, in dem man fast nichts Auswendiglernen soll.

Im Klassengespräch Begründungen einfordern

Bei falschen Antworten lohnt es sich nach den Überlegungen zu fragen, weil man so die Schülersicht kennenlernt und Fehlvorstellungen korrigieren kann.

Bei richtigen Antworten lohnt es sich eine Begründung zu verlangen, weil erst die Begründung zeigt, dass der Schüler:innen die Sache verstanden hat. Zudem erfahren die anderen, warum die Antwort richtig ist und die Argumente werden in Erinnerung gerufen.

Oft ist die Begründung wichtiger als die Aussage

Mischt sich Diethylether mit Wasser? Viel wichtiger als die Antwort ist die Begründung und eine korrekte Beschreibung der Faktoren, welche die Mischbarkeit bestimmen. Wenn die Schüler:innen wissen, dass es auf die Begründung ankommt, werden sie sich mit dem Konzept befassen und nicht sinnlos auswendiglernen, welche Stoffe sich im Wasser lösen.

Formeln machen Aussagen

Chemische Formeln verraten Eigenschaften der Stoffe. Wenn man die Formel von Ascorbinsäure $C_6H_8O_6$ weiss, hat man nichts gewonnen. Erst die Strukturformel erklärt, warum dieses Vitamin wasserlöslich ist und eine Überdosierung weniger problematisch ist als bei anderen Vitaminen.

Die Schüler:innen müssen erleben, dass chemische Formeln auf kleinstem Raum sehr viel über die Substanz erzählen.

Ein charakteristisches Beispiel aus der mündlichen Prüfung am Ende des Gymnasiums

a) Erklären Sie die Eigenschaften von Na_2S und H_2S .

Antwort: Obwohl die Formeln ähnlich aussehen, sind die Eigenschaften äusserst unterschiedlich. Na_2S ist ein Salz, weil es aus Metall- und Nichtmetallatomen besteht. Aufgrund der Coulombkräfte sind Salze bei Raumtemperatur fest und lösen sich – im Falle von Alkalimetallsalzen – leicht in Wasser.

H_2S ist molekular aufgebaut, weil es aus Nichtmetallatomen besteht. Da die Moleküle keine Wasserstoffbrücken eingehen, siedet Schwefelwasserstoff bei tiefer Temperatur und löst sich schlecht in Wasser.

b) Wie kann man H_2S aus Na_2S herstellen?

Antwort: Na_2S wird in Wasser gelöst und mit einer starken Säure versetzt. Die Sulfid-Ionen nehmen 2 H^+ auf und werden zu H_2S

Die Schüler:innen muss die Ladung der Ionen bestimmen, die Reaktionsgleichung formulieren, aufgrund der Säure-Base-Tabelle die Lage des Gleichgewichts angeben und mit dem Prinzip von Le Chatelier begründen, ob diese Reaktion bei erhöhtem Druck besser abläuft.

Die Formeln sind also Ausgangspunkt und ausgezeichnete Hilfe für die Beantwortung der Fragen.

Immer etwas Altes prüfen

Neben dem gerade in den Theorie- und Laborstunden erarbeiteten Stoff prüfen wir immer ein wichtiges Kapitel, das länger zurückliegt. Entscheidend ist, dass die Lernende wissen, welches Kapitel sie repetieren müssen. Bis zur Matura befassen sie sich auf diese Weise mehrmals mit Lewisformeln, Salzen, zwischenmolekularen Kräften, Stöchiometrie, Gleichgewicht, Protolysen und Redox-Reaktionen. Wir erklären unseren Klassen, warum immer etwas Altes geprüft wird. Die Schüler:innen lassen sich leicht von diesem Vorgehen überzeugen.

Vorteile

- Schüler:innen befassen sich so mehrmals mit wichtigen Themen
- Nachhaltiges Lernen wird belohnt
- Für die Maturaprüfung liegen die Themen nicht so weit zurück
- Es lohnt sich die Unterlagen zu ordnen
- Prüfungsdaten müssen lange im voraus festgelegt werden. Mit den alten Kapiteln kann der Prüfungsstoff flexibel ergänzt werden. Wenn man beispielsweise wenig Stoff erarbeitet hat, kann man ein grosses Thema ein zweites Mal prüfen.

Persönliche Gespräche

Es lohnt sich Schüler:innen, die schlechte Noten schreiben auf den Misserfolg anzusprechen. Manchmal vereinbaren wir ein persönliches Gespräch und erfahren, dass viel zu viel auswendig-gelernt wurde. Dann betonen wir, worauf es ankommt, und machen Mut sich auf das Wesentliche zu beschränken und der Kraft der Argumente zu vertrauen.

4. Fazit

Wenn die Schüler:innen an allen Ecken und Enden des Unterrichts erleben, dass eine überzeugende Argumentation zentral ist und sie mit dem Memorieren von Formeln und Fakten nicht ans Ziel kommen, werden sie sich vermehrt mit den Erklärungen auseinandersetzen. An Prüfungen empfehlen wir den Erklärungen – neben Aufgaben zu Formeln und Reaktionen – genügend Raum zu geben und geschlossene Fragen mit offenen zu kombinieren.^[3] Skizzen der Vorgänge auf atomarer Ebene zeigen besonders gut, ob Schüler:innen die Reaktion verstanden haben. So entwickeln viele Lernende eine lebendige Vorstellung von Atomen, Ionen und Molekülen und benützen die Kräfte und Bewegung der Teilchen, um Beobachtungen zu erklären. Wenn sie merken, dass sich Phänomene auf wenige Prinzipien zurückführen lassen, hat sich der Unterricht gelohnt.

4. Conclusions

If the students experience that convincing argumentation is key and that they cannot pass by memorising formulae and facts, they learn to formulate explanations. In exams, we recommend giving sufficient space to explanations – in addition to tasks on formulae and reactions – and combining closed questions with open ones.^[3] Sketches of the processes at the atomic level show particularly well whether students have understood the reaction. Thus, many students develop a vivid idea of atoms, ions and molecules and use the forces and motion of particles to explain observations. If they realise that phenomena can be traced back to a few principles, the lessons have been worthwhile.

Received: August 17, 2023

- [1] C. E. Mortimer, U. Müller, 'Chemie', 10. Auflage, Verlag Thieme, Stuttgart, 2010, S.173.
- [2] H.-D. Barke, G. Harsch, S. Kröger, A. Marohn, 'Chemiedidaktik kompakt', 2. Auflage, Verlag Springer, Berlin, 2015, S. 49–55.
- [3] P. Edelsbrunner, S. Hofer, L. Schalk, 'Lernleistung bewerten', in 'Professionelles Handlungswissen für Lehrerinnen und Lehrer', P. Greutmann, H. Saalbach, E. Stern (Hrsg.), Verlag W. Kohlhammer, Stuttgart, 2021, S. 144.

License and Terms



This is an Open Access article under the terms of the Creative Commons Attribution License CC BY 4.0. The material may not be used for commercial purposes.

The license is subject to the CHIMIA terms and conditions: (<https://chimia.ch/chimia/about>).

The definitive version of this article is the electronic one that can be found at <https://doi.org/10.2533/chimia.2023.672>