

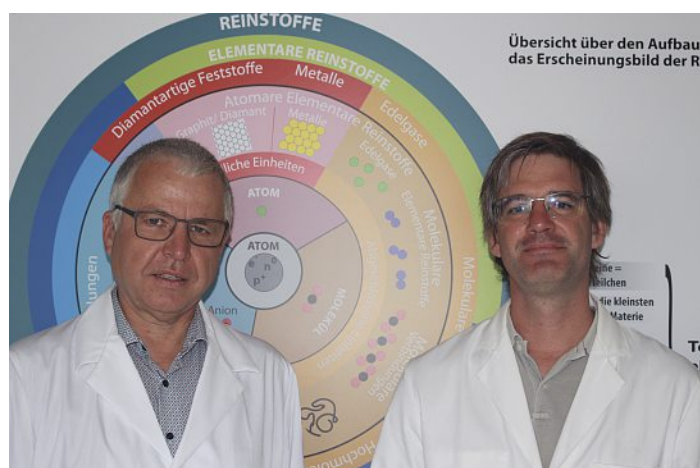
# Ein Lernposter zum Aufbau von Reinstoffen

Jann Frey\* und Johannes Hoffner\*

**Abstract:** Chemische Reinstoffe bieten ein klar umrissenes Lerngebiet, anhand dessen sich wesentliche chemische Grundkonzepte didaktisch erarbeiten lassen. Die Vielfalt der dazu notwendigen Konzepte kann jedoch leicht zur Bildung von Fehlvorstellungen führen. Eine graphische Visualisierung wird vorgestellt, die Lernenden hilft, die Gliederung und Abgrenzung der verschiedenen Konzepte zu erarbeiten.

**Abstract:** Pure chemical substances present a clearly defined area for teaching in which fundamental chemistry concepts can be treated didactically. However, the multitude of concepts involved can easily lead to misunderstandings. A graphical visualisation is presented that can help the students to understand the structure and the scope of the different concepts.

**Keywords:** Konzeptbildung · Reinstoffe



**Johannes Hoffner** (links) studierte an der ETH Zürich Chemie und hat 1998 bei Prof. Peter Chen promoviert. Danach arbeitete er als Medizinalchemiker in zwei Start-up Firmen in der Region Basel. Seit 2006 unterrichtet er Chemie am Gymnasium Liestal. Seine Interessen liegen in der Weiterentwicklung des Interdisziplinären Unterrichts und des Unterrichts im Chemiepraktikum. Er ist seit vielen Jahren Praktikumslehrer an der PH Bern.

**Jann Frey** (rechts) studierte an der Universität Bern Chemie und promovierte 2006 bei Prof. Samuel Leutwyler. Nach Post-Docs in Oxford und an der ETH Zürich unterrichtet er seit 2010 am Gymnasium Liestal. Seine speziellen Unterrichtsinteressen liegen in der Förderung des bilingualen Unterrichts und der Konzeption neuer Unterrichtsmodelle für den Praktikumsunterricht. Er ist langjähriger Praktikumslehrer für die FHNW.

## 1. Einleitung

Teil des Chemieunterrichts ist es, den Lernenden klar organisierte Konzepte über den Aufbau der Materie zu vermitteln. Dazu gehört die Entwicklung belastbarer Modelle zu den Eigenschaften chemischer Reinstoffe und deren Struktur auf der Ebene der kleinsten Teilchen. Da die dabei relevanten Objekte – Atome, Ionen und

Moleküle – nicht sinnlich erfahrbar sind, konstruieren die Lernenden diese Konzepte einzig mithilfe von Analogien und grafischen Repräsentationen. Die Unerfahrenheit der Schüler:innen bei der Entwicklung solcher abstrakter Konzepte wird als eine Ursache für die Entstehung von Fehlkonzepten angesehen, weswegen diese mit besonderer Vorsicht erarbeitet werden sollten.<sup>[1]</sup>

Die Diskussion der Reinstoffe bietet eine hervorragende Gelegenheit, mit Lernenden chemische Denkweisen zu erarbeiten und sowohl das Stoff-Teilchen als auch das Struktur-Eigenschafts-Basiskonzept zu vertiefen. Aufgrund der vielfältigen Arten von Reinstoffen und der Vielzahl möglicher Strukturen lauern dabei aber einige Fallstricke. Eine praxisorientierte Übersicht zu den didaktischen Schwierigkeiten, die sich bei der Einführung der kleinsten Teilchen von Reinstoffen ergeben, sind in Referenz [2] zusammengefasst.

In diesem Artikel stellen wir eine grafische Übersicht vor, die Lernende bei der Bildung des Teilchenkonzepts der Reinstoffe unterstützen soll. Dabei führen wir nichts grundlegend Neues ein, sondern fassen eine Vielzahl bewährter chemiedidaktischer Konzepte und Ideen in einer Grafik zusammen.

## 2. Übersicht über den Aufbau und das Erscheinungsbild von Reinstoffen

Das Lernposter in Abbildung 1 stellt in acht konzentrischen Kreisen die Struktur- und Eigenschaftsvielfalt von Reinstoffen dar. Jeder Kreis ist dabei einem Aspekt gewidmet, wobei sich die ersten fünf Kreise auf die Ebene der kleinsten Teilchen und die letzten auf die Stoffebene beziehen.

Im innersten Kreis werden die Elementarteilchen Protonen, Neutronen und Elektronen dargestellt. Diese bilden zusammen die Atome, welche im zweiten Kreis als Grundbausteine der Materie vorgestellt werden.

Der dritte Kreis bildet die verschiedenen Arten kleinster Teilchen ab, die aus den Atomen aufgebaut werden können. Zum einen sind dies die Moleküle, die einen abgeschlossenen Verband mehrerer Atome bilden. Durch Aufnahme oder Abgabe von Elektronen können aus den neutralen Atomen elektrisch geladene Anionen respektive Kationen gebildet werden. Schliesslich können

\*Correspondence: Dr. J. Frey; E-mail: jann.frey@sbl.ch; Dr. J. Hoffner, E-mail: johannes.hoffner@sbl.ch

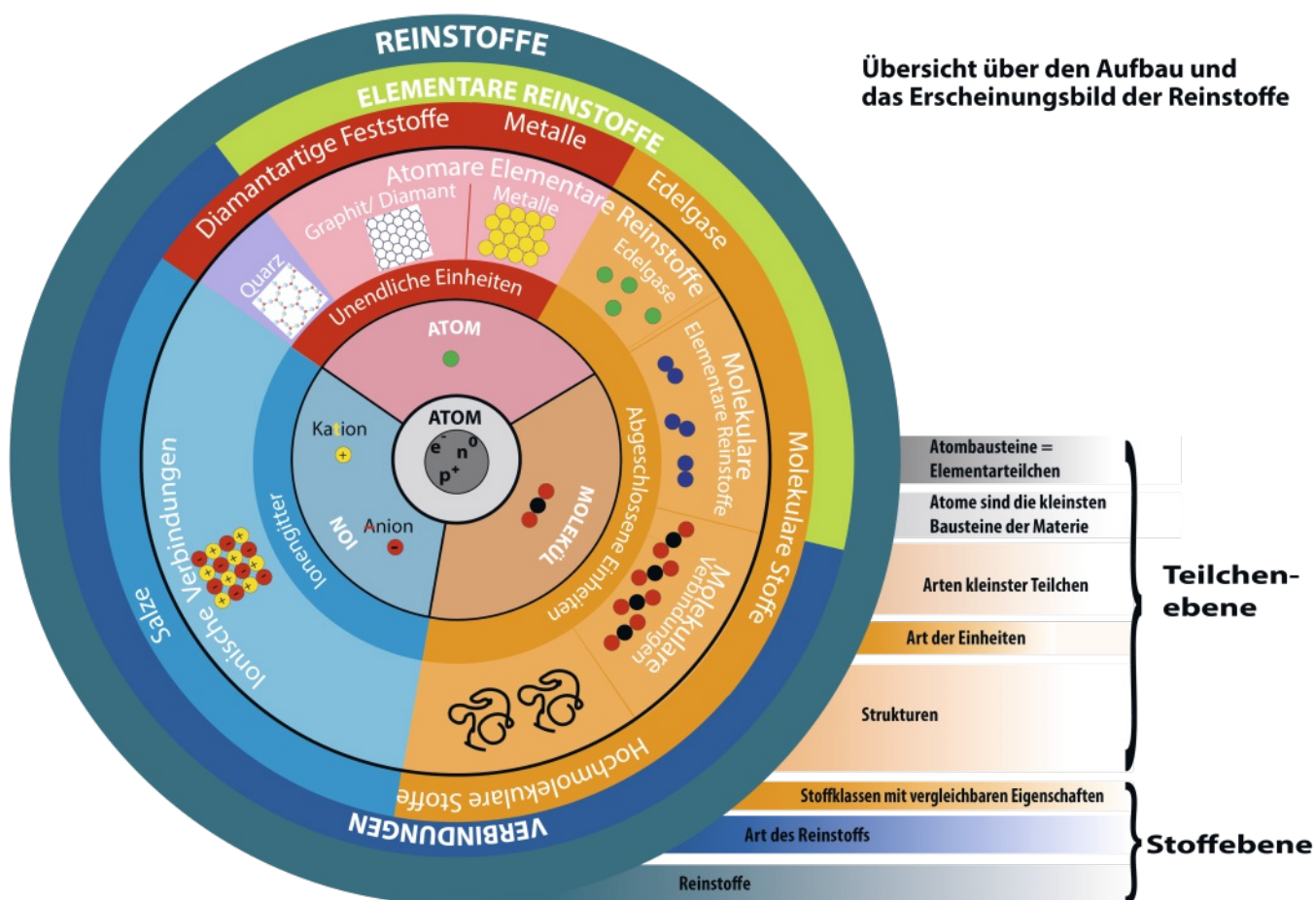


Abbildung 1. Abbildung des Lernposters. Copyright: Johannes Hoffner, Jann Frey 2022. Das Poster ist in den Supplementary Material erhältlich.

auch einzelne Atome direkt die Funktion kleinster Teilchen von Reinstoffen wahrnehmen. Der Begriff «Atom» wird in der chemischen Denkweise also mehrdeutig gebraucht: einmal bezeichnet er den Grundbaustein aller Materie, zum anderen aber auch eine Art kleinster Teilchen. Zum dritten sind Atome auch Bausteine von Molekülen. Diese begriffliche Uneindeutigkeit kann zu einer Quelle von Fehlvorstellungen werden, wenn Lernende das Konzept der kleinsten Teilchen mit der Atomidee gleichsetzen. Unsere Darstellung wirkt diesem Prozess entgegen, indem einerseits der Begriff «Atom» auf zwei unterschiedlichen Hierarchiestufen explizit genannt wird.

Die Darstellung dreier verschiedenen Arten kleinster Teilchen nebeneinander wirkt auch der häufigen Fehlvorstellung, alle kleinsten Teilchen seien Moleküle, entgegen.<sup>[2]</sup>

Der vierte Kreis unterscheidet nun die Art der Einheiten, die aus den kleinsten Teilchen gebildet werden. Die Ionen lagern sich zu regelmäßigen Ionengittern zusammen, die prinzipiell endlos in ihrer räumlichen Ausdehnung sind. Dagegen bilden Moleküle räumlich abgeschlossene Einheiten. Atome können sowohl abgeschlossene Einheiten bilden, zum Beispiel wenn sie als kleinste Teilchen der Edelgase fungieren. Andererseits können sie aber auch regelmäßige Atomgitter aufbauen, und so quasi unendlich ausgedehnte Einheiten bilden.

Der fünfte Kreis fasst die möglichen Strukturtypen der kleinsten Teilchen zusammen. Es ist dies der letzte Kreis, der die Reinstoffe auf Teilchenebene charakterisiert. Der Übergang zwischen der Teilchenebene und der Stoffebene, die im sechsten Kreis zum ersten Mal auftritt, wird hier vorbereitet.

Die sachlogische Verknüpfung dieser beiden Kreise wird im folgenden beginnend mit den abgeschlossenen Einheiten erläutert.

Zunächst werden einzelne Edelgasatome dargestellt. Wenig überraschend liegt diese Teilchenstruktur auf der Stoffebene der Stoffklasse der Edelgase zu Grunde.

Daneben treten molekulare Strukturen auf, die wir aufgrund ihrer Zusammensetzung in «molekulare elementare Reinstoffe» und «molekulare Verbindungen» einteilen. Diese beiden Kategorien bilden auf der Stoffebene die Klasse der «Molekularen Stoffe».

Als letzte Struktur unter den abgeschlossenen Einheiten werden schliesslich die Makromoleküle schematisch dargestellt, die auf der Stoffebene zur Klasse der «Hochmolekularen Stoffe» führen.

Als Nächstes folgen die Strukturen «ionische Verbindungen», die auf der Stoffebene zur Klasse der Salze führen.

Die unendlichen Einheiten werden in drei Strukturen eingeteilt. Zum einen sind dies Atomkristalle, die aus mehreren Atomsorten aufgebaut sind, wie der Quarz, und solche, die aus nur einer Atomsorte gebildet werden, wie der Diamant oder Graphit. Zusammen bilden diese beiden Strukturen die Stoffklasse der «Diamantartigen Stoffe».

Die Metallgitter, schliesslich, führen zu der Stoffklasse der «Metalle».

Die Verknüpfung der Strukturen auf Teilchenebene mit den Stoffklassen ist mit Abstand der komplexeste Teil dieser Darstellung. Im nachfolgenden, siebten Kreis wird nun noch die Art der Reinstoffe unterschieden. Dabei gehören alle Stoffe mit homotomaren Strukturen zu den «Elementaren Reinstoffen», während Stoffe mit heteroatomaren Strukturen zu den «Verbindungen» gehören.

Der letzte, alles umfassende Kreis ordnet die gesamte Stoff- und Strukturvielfalt den Reinstoffen zu.

### 3. Einsatzmöglichkeiten und Grenzen

Im Gymnasium Liestal haben wir diese Abbildung als Poster (1 m × 1.4 m) im Klassenzimmer direkt neben dem Periodensystem angebracht. Die Schüler:innen erhalten die Abbildung auch elektronisch als PDF-File und wir haben einen Klassensatz davon ausgedruckt und laminiert. Diese Ausdrucke stellen wir in der konkreten Unterrichtssituation zur Verfügung.

Während des dreijährigen Kurses an unserer Schule beginnen wir mit der Unterscheidung Stoffebene bzw. Beobachtungsebene und Teilchenebene bzw. Modellebene schon in den ersten Lektionen. Wir können daher immer wieder auf dieses Poster zurückgreifen, um klar zu machen, welchen Aspekt wir im Chemieunterricht gerade behandeln: geht es um kleinste Teilchen oder Stoffe?

Eine Hürde für das Verständnis sind die Symbole, die in der Fachsprache für die Elementaren Reinstoffe verwendet werden. Bei den Edelgasen steht He für einen atomaren gasförmigen Reinstoff, H<sub>2</sub> für einen molekularen gasförmigen Reinstoff, Na für einen metallischen Reinstoff und C für Diamant oder Graphit als einen atomaren Reinstoff, der ein unendliches Gitter bildet. Mit Hilfe des Posters haben es die Schüler:innen leichter, die verschiedenen Stoffgruppen abzugrenzen.

Hilfreich ist dieses Poster auch bei den ersten Gehversuchen zum Thema Struktur-Eigenschafts-Beziehung, beispielsweise:

- Molekulare Verbindungen, Molekulare Elementare Reinstoffe und Edelgase gehören zu den flüchtigen Stoffen. Sie leiten den elektrischen Strom nicht, weder im flüssigen noch festen Zustand.
- Ionische Stoffe leiten den elektrischen Strom im festen Zustand nicht, aber leiten ihn im gelösten oder flüssigen Zustand.
- Abschätzung von Siedepunkten verschiedener Stoffklassen. Edelgase und Elementare Molekulare Reinstoffe können nur Van-der-Waals Kräfte ausbilden, während Molekulare Verbindungen auch Dipolkräfte und Wasserstoffbrücken bilden können und somit tendenziell höhere Siedepunkte haben. Die Anziehungskräfte der Ionen im Salz sind noch stärker und daher haben Salze noch höhere Schmelz- und Siedepunkte.

Wenn ein neuer Gesichtspunkt im fortlaufenden Unterricht eingeführt wird, wie zum Beispiel die Polymere oder Salze, kann die Lehrperson immer sofort im Unterricht auf bereits bekannte Konzepte hinweisen. Es hat sich bewährt, bei Fragen oder Unsicherheiten der Schüler:innen anhand des Posters zu klären, worin die Unsicherheit liegt.

Dieses Poster kann also sowohl im Anfangsunterricht als auch bei speziellen Themen wie Kunststoffen eingesetzt werden. Das Poster kann sowohl von aussen nach innen als auch umgekehrt gelesen werden. Im Anfängerunterricht beginnen wir mit der Beobachtung von Phänomenen, also auf der Stoffebene, und arbeiten uns dann durch die Einteilung der Stoffe nach Innen bis zum Atom als Grundbaustein der Materie vor. Durch die Verknüpfung der Atome erarbeiten wir danach mit den Schüler:innen den Aufbau der verschiedenen Stoffklassen, die wir dann anhand ihrer Strukturen und Eigenschaften vergleichen.

Neben den vielfältigen Einsatzmöglichkeiten gibt es auch unterrichtsrelevante Aspekte, die nicht mit dem Poster abgebildet werden können. So können zum Beispiel die Molekülionen nicht eingeordnet werden. Diesen müsste ein eigener Sektor zwischen den Molekülen und den Ionen gewidmet werden. Bisher haben wir aufgrund der jetzt schon sehr hohen Komplexität der Abbildung darauf verzichtet.

Einen weiteren Ansatz zur Entwicklung des Posters sehen wir in der Aufnahme des Konzepts der «Elementarzelle». Mit diesem könnte das Konzept der kleinsten Teilchen der unendlichen atomaren Einheiten schärfer abgegrenzt werden.<sup>[3]</sup>

Da wir an unserer Schule auch Chemieunterricht in englisch anbieten, stellte sich die Frage nach den korrekten Begriffen in der Fachsprache für ein englischsprachiges Poster. Dabei fiel uns auf,

dass in der angelsächsischen Fachdidaktik die von uns verwendeten Konzepte zum Teil anders gewichtet werden.<sup>[4]</sup>

### 4. Schlussbetrachtungen

Das vorliegende Lernposter vereint zahlreiche anspruchsvolle Konzepte auf engem Raum. Damit ermöglicht diese Darstellung, einzelne Konzepte zu verorten und einander gegenüberzustellen.

Dass unsere Schüler:innen gerne mit dieser Darstellung arbeiten, hat uns zu diesem Artikel motiviert.

### Acknowledgements

Wir danken der Fachschaft Chemie des Gymnasium Liestal für die Unterstützung bei der Erstellung dieses Posters sowie Lukas Bothe für seine Hilfe bei der grafischen Umsetzung unserer Ideen.

### Supplementary Material

Das Poster ist unter [https://www.chimia.ch/chimia/article/view/2023\\_676](https://www.chimia.ch/chimia/article/view/2023_676) erhältlich.

Received: August 15, 2023

- [1] A. H. Johnstone, 'Why is science difficult to learn? Things are seldom what they seem', *J. Comp. Assist. Learn.* **1991**, 7, 75, <https://doi.org/10.1111/j.1365-2729.1991.tb00230.x>.
- [2] H. Thielen-Redlich, M. Kremer, C. Tittel, 'DIE «KLEINSTEN TEILCHEN» DER REINSTOFFE', 4 August **2018**, <https://www.mnu.de/fachbereiche/didaktischer-pruefstand/478-die-kleinsten-teilchen-der-reinstoffe>. [Zugriff am 10 August 2023].
- [3] H.-D. Barke, 'Elementarzelle – Stiefkind neben dem Molekül', *Chemkon*, **1996**, Bd. 3, Nr. 1, pp. 19-24.
- [4] M. Clugston, R. Flemming, 'Advanced Chemistry', Oxford: Oxford University Press, **2000**.

### 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.2023.676>