

Struktur-Eigenschafts-Prinzipien

Roter Faden für den Chemieunterricht?

Von Ilka Parchmann, Lars Scheffel und Lutz Stäudel

Struktur-Eigenschafts-Beziehungen sind überall bedeutsam, im Alltag und in der Umwelt genauso wie in der Forschung und Lehre in den verschiedenen naturwissenschaftlichen Domänen. Denken wir etwa an die Wahl von Klebstoffen im Alltag (**Abb. 1**) oder an Farben und Lacke in der Industrie, an Gesteinsformationen in der Natur oder an die Entwicklung von Katalysatoren, Enzymen oder Medikamenten. Daraus leitet sich nicht nur ein großes Potenzial für die Forschungs- und Entwicklungsabteilungen naturwissenschaftlich-technisch ausgerichteter Unternehmen ab, sondern ebenso ein enormes Potenzial dieses Basiskonzepts für die naturwissenschaftliche Bildung, sei es zum Aufbau einer „Scientific Literacy“ oder eines berufs- oder wissenschaftspropädeutischen Fundaments.

Fachdidaktisch ist das Konzept im Prinzip ein „guter alter Hut“, der schon lange vor Einführung der Nationalen Bildungsstandards als bedeutsames Strukturprinzip für den Chemieunterricht diskutiert und gefordert wurde, exemplarisch für die zahlreichen Publikationen seien hier das fachdidaktische Standardwerk „Konkrete Fachdidaktik Chemie“ [1] und Themenhefte zu einzelnen Stoffklassen (Metalle, Kunststoffe, jüngst Fette und Öle u. v. a. m.) oder zu den Basiskonzepten genannt (vgl. z.B. Datenbank DChemLit).

Jedoch muss konstatiert werden, dass das Konzept für Schülerinnen und Schüler bisher wenig als Struktur gebendes Prinzip erkennbar ist; diesen Eindruck erhält man jedenfalls, wenn man Lehrpläne und Schulbücher sichtet oder Rückmeldungen von Studierenden auswertet. Einheiten zu Stoffklassen stehen oft isoliert für sich, ein durchgehendes Prinzip wird wenig explizit aufgebaut und aufgezeigt. Auch die Befragung von Lehrkräften, bisher nur als Interview-Fallstudie durchgeführt, sowie die Analyse von Schulbüchern zeigen im Gegensatz zum Stoff-Teilchen-Konzept [2] kein vorherrschendes Prinzip, sondern viele „Landkarten“ oder „Roadmaps“ [3].

Daher steht nach wie vor die Forderung im Raum, dieses Konzept als roten Faden auch für Schüler explizit aufzuzeigen. Dies hat nicht nur den Vorteil, dass die Lernenden ein verknüpfendes Strukturierungsprinzip für die Fülle an Einzelwissen erhalten, sondern bietet ihnen weiterhin einen regelhaften Zugang zu den verschiedenen Denk- und Sprachebenen der Chemie, die nachfolgend näher ausgeführt werden. Zudem stellt gerade das Struktur-Eigenschafts-Konzept eine mögliche Verbindung zu anderen Basiskonzepten dar, denkt man etwa an den Zusammenhang zwischen funktionellen Gruppen und dem Reaktionsverhalten (Konzept der Chemischen Reaktion) oder an Bindungsparameter und thermodynamische Größen (Energie-Konzept).

Erklärungsebenen der Chemie

Struktur-Eigenschafts-Beziehungen können auf verschiedenen Abstraktionsebenen gedeutet werden (vgl. S. 2 ff. in diesem Heft). Dies bedeutet für die Lernenden, dass sie sich aktiv und wiederkehrend mit diesen Ebenen auseinandersetzen müssen. Gerade der (fehlende oder fehlerhafte) Wechsel zwischen den Ebenen wird jedoch vielfach als, bei Untersuchungen immer wieder konstatierte, mögliche Ursache für inadäquate Schülervorstellungen verantwortlich gemacht. Hier bietet das Struktur-Eigenschafts-Konzept einen systematischen und bei geeigneter Beispielwahl sicher auch motivierenden Zugang, um diesen Lernschwierigkeiten zu begegnen und den Ebenenwechsel regelhaft und kontinuierlich zu üben.

In der Chemiedidaktik hat sich das sogenannte „Johnstone-Dreieck“ als erstes Prinzip bewährt, das Lehrenden und Lernenden eine Verbindung zwischen den in der Chemie üblichen Deutungs- und Darstellungsebenen bietet (**Abb. 2**).

Diese drei Betrachtungsebenen werden von Bulte und anderen um eine vierte – die Mesoebene – ergänzt, die einen Übergang zwischen makroskopischen Eigenschaften und submikroskopischen Bausteinmodellen bilden soll [4].



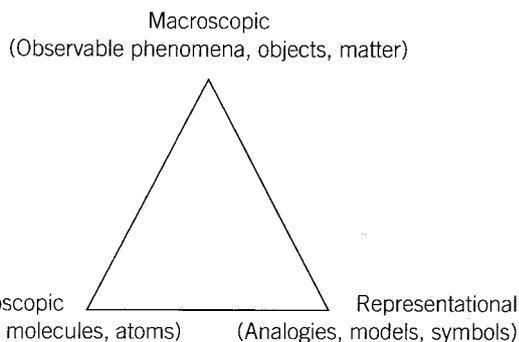
1 | Struktur-Eigenschafts-Beziehungen sind bei der Wahl von Klebstoffen bedeutsam.

Für die Basiskonzepte kann in das Johnstone-Dreieck – als Erweiterung – eine Schichtstruktur „hineingelegt“ werden, sodass die Schüler systematisch in zunehmend abstraktere Erklärungen hineingeführt werden (vgl. **Abb. 3**).

Diese Ebenen müssen an geeigneten Beispielen und in sinnvoller Reihenfolge mit den Schülerinnen und Schülern erschlossen, aber auch kontinuierlich miteinander verbunden und aufeinander bezogen werden, damit sich ein kumulatives und vernetztes Verständnis der komplexen Basiskonzepte der Chemie entwickeln kann (vgl. **Abb. 4**).

Natürlich müssen nicht in jedem Fall alle Ebenen Ziel der Betrachtung sein. Die entsprechend entwickelte Kompetenz erweist sich eben darin, die sinnvollste Beziehung zwischen zwei (oder auch mehr) Ebenen herzustellen, um spezifische Eigenschaften zu erklären bzw. zu verstehen.

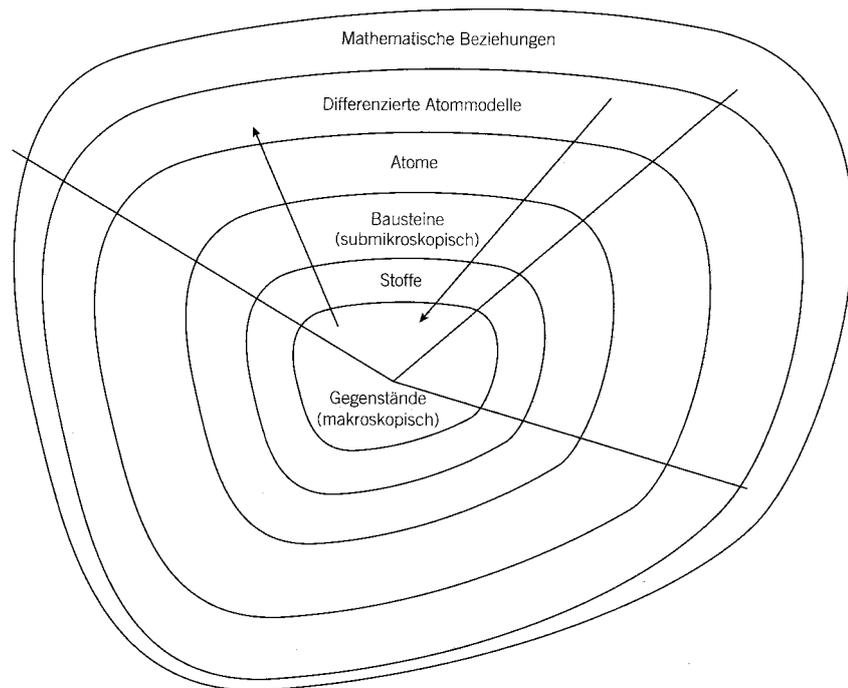
Die Schüler lernen somit Schritt für Schritt, Eigenschaften besser zu verstehen, zu deuten und vorherzusagen und müssen dabei gleichzeitig reflektieren, welche Modelle für welche Fragen geeignet, aber auch notwendig sind. Eine solche Vorgehensweise ist in hohem Maße kohärent mit aktuellen Modellen zur Erklärung von Schwierigkeitsstufen als Element von Kompetenz [7], denen ebenfalls eine zunehmende Vernetzung und Komplexität zugrunde liegt.



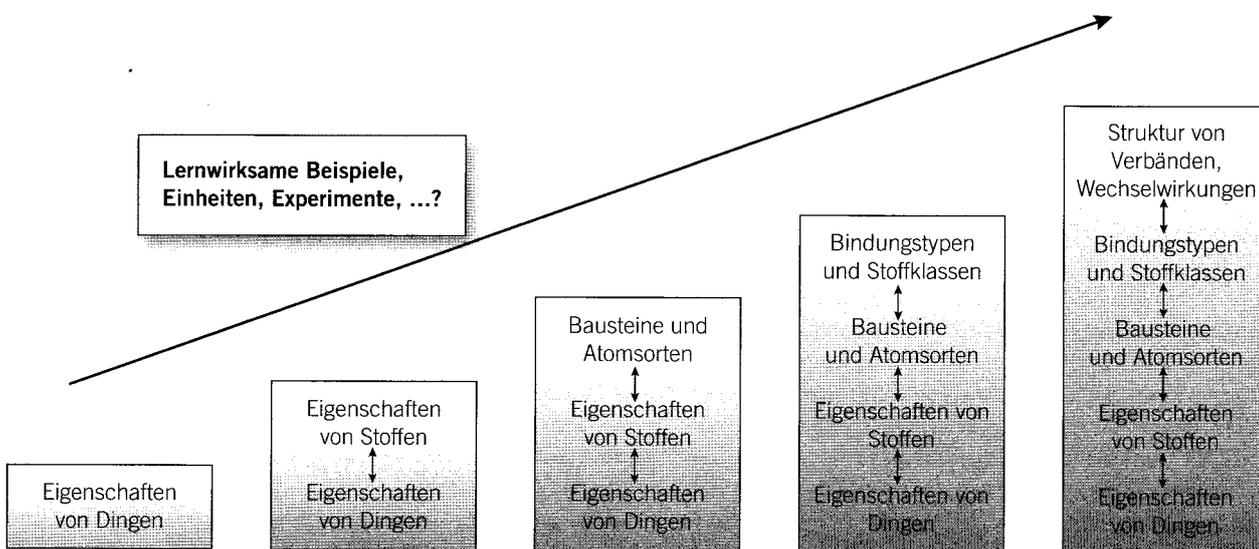
2 | Erklärungsebenen nach Johnstone (nach [6])

Struktur-Eigenschafts-Beziehungen im Unterricht

Geeignete Beispiele zur Thematisierung von Eigenschaften und zugrunde liegenden Strukturmerkmalen finden sich in jedem Schulbuch, stellvertretend seien die Stoffklassen der Metalle und Salze genannt und, aus der Organischen Chemie, insbesondere die Kunststoffe. Wenn es gelingt, diese Beispiele systematisch entlang der in **Abbildung 3** dargestellten „Erklärungstreppe“ anzuordnen, kann auch im Bewusstsein der Lernenden ein stimmiges Konzept entstehen, das Eigenschaften und Strukturen verknüpft. Darüber hinaus können die genannten Beispiele wie in **Info 1** genutzt werden, um die



3 | Erklärungsebenen der Schulchemie



4 | Skizze einer möglichen curricularen Entwicklung des Struktur-Eigenschafts-Konzepts durch zunehmende Deutungsebenen und geeignete Beispiele als Lern- und Übungsanlässe [5]

Eigenschaften und Modelle

▼ AUFGABE 1

Sammelt in eurer Lerngruppe chemisch bedeutsame Eigenschaften (von Stoffen) und überlegt dann, welche Merkmale der Strukturen chemischer Verbindungen für welche Eigenschaften wichtig sein können!

▼ AUFGABE 2

Diskutiert am Beispiel von Metallen und Salzen, welche Modelle welche Eigenschaften am besten erklären.

Zu Aufgabe 1:

Welche Merkmale sind bedeutsam?

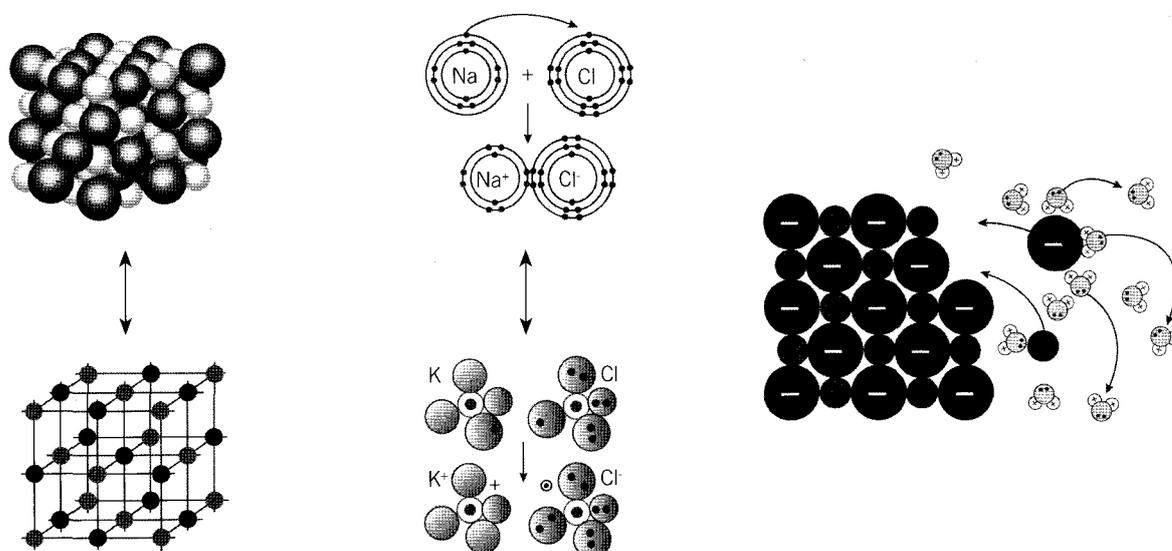
- Atomsorte, z. B. Radius, Masse; Ladung, EN ...
- Kräfte zwischen den Teilchen, z. B. ionische/kovalente Bindung; zwischenmolekulare Kräfte
- Anordnung der Atome/Ionen, z. B. Form von Molekülen (Primär- bis Quartärstruktur); Ionen- und Metallgitter

Welche Eigenschaften sind bedeutsam?

- Sinnliche Eigenschaften, z. B. Farbe; Geruch ...
- messbare Eigenschaften, z. B. Siede- und Schmelztemperatur, Zersetzungstemperatur, Flammtemperatur; Leitfähigkeiten; Löslichkeit, Mischbarkeit; Dichte; ...

Zu Aufgabe 2:

Atom- und Bindungsmodelle? – Welche Modelle erklären welche Eigenschaften?



Schülerinnen und Schüler zum Nachdenken über (chemisch) bedeutsame Eigenschaften und Strukturmerkmale anzuregen oder sie – weiterführend – in eine Diskussion über geeignete Modelle einzubeziehen [8]. Damit wird nicht nur das Basis-konzept erschlossen, sondern vielmehr der reflektierte Umgang mit Modellen allgemein geübt. Letzteres erfolgt bislang im Chemieunterricht vorrangig anhand des Stoff-Teilchen-Konzepts, das Konzept der Struktur-Eigenschafts-Beziehungen stellt hier eine wertvolle Ergänzung dar.

Auch moderne Forschungsthemen lassen sich entlang dieses Konzepts erarbeiten, bspw. die Frage danach, was „Nanochemie“ eigentlich ausmacht, wie derzeit an Speichermaterialien für Wasserstoff geforscht wird und welche Eigenschaften diese Materialien haben müssen oder wie man Farbsysteme auf Knopfdruck verändern kann (s. S. 33 ff. in diesem Heft).

Bedeutung vermitteln – eine Daueraufgabe für Lehrkräfte

Wie bei den meisten anderen Inhalten, Konzepten oder Modellen reicht es nicht aus, dass eine Lehrkraft nur sich selbst Klarheit über die Ziele und die mit dem konkreten Unterricht verbundenen Absichten verschafft, vielmehr kommt es darauf an, den Schülerinnen und Schülern selbst zu verdeutlichen, um welches Konzept es hier geht. Dies kann sich in der Art der Aufgabenstellung manifestieren, wie es die beiden Beispiele in diesem Artikel zeigen; in einer anderen, vielleicht nicht ganz so offensichtlichen Situation sollten die Lernenden dennoch explizit darauf hingewiesen werden, wenn im aktuellen Fall ein entsprechender Zusammenhang hergestellt wird. Das kann der edlere bzw. unedlere Charakter zweier

Metalle sein, also die „Festigkeit“, mit der Elektronen an den Atomrumpf gebunden sind, wenn es um Red-Ox-Reaktionen geht, oder später der elektrophile oder nukleophile Angriff bei einer Reaktion. Auf die Beziehung zwischen (beobachtbaren) Eigenschaften und – in diesem Fall zunächst angenommenen – Strukturen kann auch verwiesen werden, wenn es um Fragen geht wie etwa „Warum schmeckt Zucker süß?“. Rezeptoren und Agenzien passen offenbar so gut zusammen, dass ein Reiz ausgelöst werden kann.

Explizit-Werden – „Dies ist/war wieder ein Beispiel, bei dem die Vorstellung von Struktur-Eigenschaftsbeziehungen hilfreich war.“ – im Sinne von Metakommunikation hilft nachweislich, das Gelernte einzuordnen und trägt zum Aufbau der gewünschten Verstehensstrukturen bei.

Die Beiträge in diesem Heft

Um die vielfältigen Anknüpfungspunkte für die Entwicklung des Basiskonzeptes Struktur und Eigenschaften sichtbar zu machen, ist in diesem Heft eine Vielzahl von Beiträgen zusammengestellt, die thematisch den wichtigsten Inhaltsbereichen des Chemieunterrichts folgen. Eine Übersicht gibt zunächst der fachliche Basisartikel (s. S. 2 ff. in diesem Heft): Vom Anfangsunterricht bis hin zu anspruchsvollen Aspekten der Oberstufe zeigen die Autoren auf, an welchen Stellen und in welchen Zusammenhängen jeweils Beziehungen zwischen manifesten Eigenschaften und zugrunde liegenden Strukturen herausgearbeitet werden können. Mit Hilfe dieser Beispiele kann den Lernenden immer wieder aufgezeigt werden, wie Naturwissenschaft versucht, die Phänomene der makroskopischen Welt zu deuten, indem sie Strukturen untersucht bzw. annimmt und experimentell zu belegen versucht. In der Chemie – auch dies zeigt diese Übersicht – geschieht dies auf höchst unterschiedlichen Ebenen der stofflichen und modellhaften Betrachtung.

Als klassische Beispiele für Struktur-Eigenschafts-Betrachtungen werden zunächst die Salze sowie die Metalle thematisiert. In den entsprechenden Beiträgen (s. S. 12 ff. und S. 17 ff. in diesem Heft) werden die Strukturen dieser Stoffklassen in bekannter Weise vorgestellt und eine Beziehung hergestellt zwischen Teilchen- und Phänomenebene. In ähnlicher Weise nähert sich P. Slaby dem Boden und seinem komplexen Aufbau (s. S. 49 f. in diesem Heft). In allen drei Fällen werden einfache Modelle für den atomaren bzw. ionischen Aufbau der Stoffe eingesetzt, die von den Schülerinnen und Schülern selbst hergestellt und für die Erklärung experimentell zugänglicher Eigenschaften genutzt werden können.

Die Beiträge von P. Pfeifer sowie G. Streckert und P. Rau erschließen Aspekte aus dem Bereich der organischen Chemie. Strukturen haben hier ja unmittelbaren Einfluss auf die Eigenschaften der Verbindungen, umgekehrt wurden bereits im Verlauf der Entwicklung der Organischen Chemie stets die Eigenschaften von Stoffen herangezogen, um Rückschlüsse auf deren Struktur zu ermöglichen – man denke nur an den Streit um die *Vis Vitalis* (F. Wöhler/J. Liebig) und die Strukturunterschiede zwischen Harnstoff und Ammoniumcyanat sowie die mit der Strukturveränderung einhergehenden

grundlegenden stofflichen Veränderungen. Konkret geht es in den beiden Artikeln um Strukturisomerie beim Propanol und deren experimentelle unterrichtliche Aufbereitung bzw. um die Polyole, für die Materialien für ein Gruppenpuzzle vorgestellt werden.

Ebenfalls im Bereich der organischen Chemie angesiedelt ist die Auseinandersetzung mit den verschiedenen Klassen von Kunststoffen (T. Rau, H. Schmidkunz, L. Stäudel). Gezeigt wird hier am Beispiel von Makromolekülen, wie der Vernetzungsgrad die Eigenschaften verändert, experimentell wie auch im gedanklichen Modell. Besonders herausgestellt werden die Eigenschaften von Elastomeren sowie deren scheinbar atypisches Verhalten beim Erwärmen unter mechanischer Belastung und die entsprechenden Interpretationsansätze.

M. Nashan et al. geben ein Beispiel, das, betreffend der Auseinandersetzung mit dem Basiskonzept Struktur-Eigenschaften, sowohl Einstiegscharakter hat als auch noch einmal verschiedene mögliche Ebenen der Betrachtung thematisiert: Die Farbigkeit von Stoffen eignet sich, wie die Autoren zeigen, hierzu in ganz besonderer Weise. So wird an verschiedenen Beispielen gezeigt, wie sich das Phänomen Farbe auf Strukturen beziehen lässt, wie aus der zugrunde liegenden Wechselwirkung von Materie und Licht ein Brücke geschlagen werden kann zur Vorstellung von Energiestufen und welche atomaren bzw. molekularen Bedingungen hier wiederum strukturgebend sind.

Zum Abschluss stellen B. Sieve und S. Schanze Experimente zu den bekannten Phänomenen im Bereich Grenzflächenaktivität/Tenside/Emulgatoren dar; jedoch gewinnen sie die Substanzen für die entwickelten Versuchsreihen aus Waschnüssen, was einen interessanten Ausflug in ein spezielles Feld von nachwachsenden Rohstoffen bedeutet.

Wir hoffen, dass dieses Heft mit seiner Akzentsetzung auf ein einzelnes Basiskonzept, wie schon zuvor die Themenhefte zur Kompetenzorientierung und zu den Basiskonzepten insgesamt, geeignet ist, das Potenzial der seit 2004 existierenden Bildungsstandards für das Lernen sichtbar zu machen, und ebenso, dass dieses Basiskonzept dazu beitragen wird, dem Chemieunterricht in einer Weise „Struktur“ zu geben, die auch für die Schülerinnen und Schüler erkennbar und nachvollziehbar ist – und somit beiträgt zum Aufbau einer gesicherten naturwissenschaftlichen Grundbildung.

Literatur

- [1] Pfeifer, P.; Lutz, B.; Bader, H. J.: Konkrete Fachdidaktik Chemie. Oldenburg, 3. Aufl., München 2002
- [2] Bindernagel, J.; Eilks, I.: Lehr(er)wege zu Teilchen und Atomen. In: NiU-Chemie 20(2009) Nr. 114, S. 9-15
- [3] Scheffel, L.: Das Basiskonzept Struktur-Eigenschaftsbeziehungen. Eine didaktische Rekonstruktion in der Chemiedidaktik. BIS Verlag, Oldenburg 2010
- [4] Van Berkel, B.; Pilot, A.; Bulte, A. M. W.: Micro-Macro-Thinking in Chemistry Education. Why and How to Escape. In: Gilbert, J. K.; Treagust, D. (Hrsg.): Multiple Representations in Chemical Education. Springer, Berlin 2009
- [5] Parchmann, I.; Bündler, W.; Demuth, R.; Freienberg, J.; Klüter, R.; Ralle, B.: Lernlinien zur Verknüpfung von Kontextlernen und Kompetenzentwicklung. In: CHEMKON 13/3 (2009), S. 124-131
- [6] Barke, H. D.; Harsch, G.: Chemiedidaktik heute. Springer, New York 2001
- [7] Bernholt, S.; Walpuski, M.; Sumfleth, E.; Parchmann, I.: Kompetenzentwicklung im Chemieunterricht. NiU-Chemie 20(2009) Nr. 111/112, S. 78-85
- [8] Rehm, M.; Parchmann, I. (Hrsg.): Atome - Vorstellungen entwickeln. NiU-Chemie 20(2009) Nr. 114