Kapitel 10:
**Modelle und Modellbildung im Chemieunterricht**

**Lösungsskizzen zu den Aufgaben**

*Vorbemerkung: Die hier vorgestellten Lösungshinweise sind keine Musterlösungen, sondern beispielhafte Lösungsskizzen und -ideen. Adäquate alternative Lösungen sind natürlich möglich.*

*Zu einigen Aufgaben können keine Lösungshinweise angegeben werden. Meist handelt es sich dann um sehr individuelle Reflexionen oder Rechercheergebnisse*

**A10.1** Informieren Sie sich über die verschiedenen Modelle, die im Unterrichtsentwurf adressiert werden. Stellen Sie ein Wasserstoff- und ein Sauerstoff-Atom auf Basis der vier Modelle dar und kennzeichnen Sie die wesentlichen Merkmale anhand derer sich die Modelle unterscheiden.

**Lösungsskizze**

Im Entwurf werden die folgenden Modelle adressiert

* Dalton-Modell
* Rosinenkuchenmodell nach Thomson
* Kern-Hülle-Modell nach Rutherford
* Schalenmodell

Informationen zu diesen Modellen stehen in jedem Schulbuch, axiomatisch werden sie im Kapitel 10.2.5 Denkmodelle über den Aufbau von Stoffen (Auswahl) vorgestellt (Dalton: drittes, Rutherford: viertes und Schalenmodell: fünftes Denkmodell). Das *Thomson-Modell* postuliert Elektronen als negative Ladungsträger eingebettet in einem Atom aus gleichmäßig verteilter positiv geladener Masse. Nicht immer übermittelt wird, dass Thomson auf Basis der Annahme elektrostatischer Wechselwirkungen die Elektronen bereits auf konzentrischen Schalen beschrieb.

Darstellung Sauerstoff- und Wasserstoff-Atom (zweidimensional):



**A10.2** Nennen Sie *Phänomene*, bei denen eines der Modelle an Grenzen stößt und andere Modelle erklärungsmächtiger sind.

**Lösungsskizze**

Das Atommodell hat seine Grenzen in der Erklärung elektrochemischer Erscheinungen. Alle weiteren Modelle nehmen dieses Defizit auf.

**A10.3** In Molekülbaukästen werden Kugeln als Repräsentanten für Atome nach einem festgelegten Farbcode eingefärbt. Die Farbgebung erfolgt dabei vielfach nach der Farbe der Stoffe. So sind die Kugeln für Atome des Kohlenstoffs meist schwarz, die für den Schwefel gelb. Kugeln, die Metall-Atome darstellen, sind meist silbrig-grau eingefärbt. Diskutieren Sie Potenziale und Gefahren dieser Farbgebung und erläutern Sie, wie Sie im Unterricht die Farbgebung plausibel machen.

**Lösungsskizze**

Zunächst einmal sind Farben makroskopische Phänomene, die nicht auf die submikroskopische Ebene übertragbar ist. Atome haben also keine Farben. Die stetige Verwendung immer derselben Farbe für eine Atomsorte kann die Lernenden Glauben machen, dass sie doch eine Farbe hätten. Diese *Gefahr* ist umso größer, je plausibler die Farbgebung ist. So z.B. bei Schwefel-Atomen, wenn die Lernenden den gelben Schwefel kennengelernt haben.
Als *Potenzial* gilt aber der Symbolcharakter, der es in Abbildungen einfacher macht, die farbigen Kreise den entsprechenden Atomsorten zuzuordnen.

Im Unterricht sollten die Lernenden den Vorteil erfahren, über die Farbgebung schnell erkennen zu können, was in einer Abbildung dargestellt ist. Gleichsam sollten sie aber erkennen, dass sie den Atomsorten direkt diese Farbe nicht als Eigenschaft zuweisen dürfen. Dies kann bereits mit dem ersten Teilchenmodell geschehen, indem dort mit immer wechselnden Symbolen und Farben z.B. die Aggregatzustände oder Lösevorgänge dargestellt werden. Erst die Legende gibt den Symbolen die Bedeutung. Mit dem Atommodell nach Dalton kann dann kontinuierlich der Vorteil der Verwendung einheitlicher Farben thematisiert werden.

s.auch ersten Praxistipp in 10.2.6.1

**A10.4** Aufgabe zur Reflexion: Notieren Sie für sich eine Beschreibung für ein Modell in der Chemie. Vergleichen Sie diese mit den Charakterisierungen in (Tab. 10.1). Stellen Sie Gemeinsamkeiten oder Unterschiede heraus.

Zu dieser Aufgabe können keine Lösungshinweise gegeben werden, da die Aufgabe auf der individuellen Reflexion der Lesenden beruht.

**A10.5** Stellen Sie ausführlich dar, inwiefern die Definition eines Denkmodells aus Kap. 10.1. mit den drei Hauptmerkmale von Modellen nach Stachowiak vereinbar sind.

**Lösungsskizze**

Das *Abbildungsmerkmal* wird dadurch aufgegriffen, dass die Definition die Auseinandersetzung mit einem Sachverhalt – das können z.B. ein Gegenstand, die Manipulation eines Gegenstandes oder ein Prozess vorsieht. Die Fokussierung auf die wesentlichen Merkmale dieses gedanklichen Prozesses ist gleichbedeutend mit dem *Verkürzungsmerkmal*. Die Auseinandersetzung mit der mentalen Erfassung der Auseinandersetzung ist eine *pragmatische* Eigenschaft. Es wird nicht der Gegenstand selbst allumfassend betrachtet. Nur die für den gedanklichen Prozess wesentlichen Merkmale werden identifiziert und so systematisiert, dass sie anschlussfähig für weitere Betrachtung sind.

**A10.6** Aufgabe zur Reflexion

a) Stellen Sie aus Ihrer eigenen Schulerfahrung Lernsituationen dar, in denen eine oder mehrere dieser Merkmale (lernförderlich oder -hinderlich zum Tragen gekommen sind und fügen Sie diese aus.
b) Ziehen Sie Ihre Definition aus Aufgabe 10.3 heran: Inwiefern greift sie die Hauptmerkmale von Modellen nach Stachowiak auf?

Zu diesen Aufgaben können keine Lösungshinweise gegeben werden, da die Aufgabe auf der individuellen Reflexion der Lesenden beruht.

**A10.7** Informieren Sie sich über den sogenannten „Seifenbeutel-Versuch“, bei dem eine geringe Menge Ethanol oder Nagellackentferner in einen leeren Kunststoff-Beutel (oder auch Luftballon) gegeben wird. Nach Entfernen der Luft aus dem Beutel wird dieser verschlossen und mit heißem Wasser übergossen.

a Erklären Sie das beobachtbare Phänomen und stellen Sie einen Bezug zu Axiomen des Teilchenmodell (zweites Denkmodell) her.
b) Ein Lernender formuliert die Annahme, dass durch das Übergießen des Beutels mit heißem Wasser Luft in den Beutel gekommen sein könnte. Nehmen Sie dazu Stellung und beschreiben Sie eine Variation des Experiments, die diese Annahme weniger plausibel macht.

**Lösungsskizze**

a) Bei dem Seifenbeutelversuch nimmt das Volumen des Beutels nach Übergießen mit heißem Wasser schlagartig zu. Wird der Beutel aus dem Wasser genommen, so verringert sich das Volumen wieder mit zunehmender Abkühlung.
Durch die Energiezufuhr in Form von Wärme wechselt das Ethanol den Aggregatzustand von Flüssig zu gasförmig und nimmt damit mehr Volumen ein. Sobald sich das System abkühlt kondensiert das Ethanol wieder und nimmt weniger Volumen ein.

Bezug zum zweiten Denkmodell: Mit der Annahme, dass Stoffe aus Teilchen bestehen, die ständig in Bewegung sind sowie mit der dritten Annahme, dass die Bewegung mit Energiezufuhr zunimmt, wird dieser Versuch plausibel erklärt. Mehr Bewegung pro Zeit eines jeden Teilchens bedeutet gleichzeitig die Einnahme eines größeren Raumes pro Zeit was sich durch die Volumenzunahme des Beutels zeigt. Diese Zunahme kann nicht auf mehr Teilchen zurückführbar sein, da der Beutel verschlossen ist und das Volumen mit der Verringerung der Energie auch wieder abnimmt.

b) Eine Volumenzunahme wird oft auf eine Gaszufuhr zurückgeführt, wie z.B. das Aufblasen eines Ballons. Ein einfacher Versuch wäre das Übergießen des Seifenbeutels ohne Zugabe von Ethanol. Damit kann ausgeschlossen werden, dass Luft in den Beutel eindringt.

**A10.8** Im Teilchenmodell (zweites Denkmodell) wird im Unterschied zu manchen Schulbüchern bereits der Energiebegriff mit einbezogen. Arbeiten Sie mögliche Konsequenzen für den Unterricht für beide Varianten heraus.

**Lösungsskizze**

Wenn der Bezug der Energie zur Teilchenbewegung im Modell nicht explizit mit einbezogen wird, muss er zusätzlich erarbeitet werden. Es ist im Grunde nicht möglich, dass die Lernenden von sich aus ein Teilchenmodell postulieren; viel wahrscheinlicher ist der Weg, auf Basis erster Phänomene die Existenz von Teilchen anzunehmen und damit ein Modell vorzugeben, dass diese und weitere Phänomene plausibel erklärt. Wenn das Modell die Energie noch nicht mit einbezieht, lassen sich mit Energie verbundene Phänomene noch nicht behandeln (z.B. der Seifenbeutelversuch und andere weiteren Phänomene mit thermischer Veränderung); es bedarf einer Auseinandersetzung mit dem Zusammenhang zwischen Energie und Teilchenbewegung. Auch hier ist es nicht trivial für die Lernenden dies selbst zu erarbeiten. Wenn es nicht mit dem Teilchenmodell direkt eingeführt wird, muss es später ebenso vorgegeben werden und steht als weitere Modellannahme neben dem Teilchenmodell.

**A10.9** Im Teilchenmodell (zweites Denkmodell) werden nicht nur Anziehungskräfte, sondern Wechselwirkungen, die auch elektrostatische Abstoßung mit einbeziehen können, beschrieben. Machen Sie sich mit den Unterschieden und möglichen Konsequenzen für den Unterricht vertraut.

**Lösungsskizze**

Zunächst einmal bestehen für die ersten Phänomene wie die Aggregatzustände keine größeren Unterschiede, da hier das Überwinden der Anziehungskräfte durch Energiezufuhr als Erklärung genügen kann. Das Phänomen der Nicht-Mischbarkeit zweier Flüssigkeiten kann auch durch unterschiedlich starke Anziehungskräfte zwischen Teilchen einer Sorte im Vergleich zu denen zwischen Teilchen verschiedener Sorten erklärbar sein. Genauso plausibel ist aber auch die Hinzunahme der abstoßenden Kräfte, die zwischen den Teilchen verschiedener Sorten im Falle einer Nichtmischbarkeit herangezogen werden kann. Letztendlich werden für alle Bindungsphänomene die Anziehenden Kräfte für negative Ladung mit Atomkernen den abstoßenden Kräften gleicher Ladungen gegenübergestellt. Mit der allgemeinen Beschreibung der Existenz von Wechselwirkungen und einer differenzierten Betrachtung beider Arten von Wechselwirkungen wird dies also bereits vorbereitet.

**A10.10** Zur Hierarchie von Denkmodellen: Informieren Sie sich über eine Modellierung von (Un)-Löslichkeit und (Nicht)-Mischbarkeit nach der Kenntnis eines differenzierten Atommodells (Kern-Hülle-Modell) und der Beschreibung der verschiedenen Bindungstypen Ionen- und Elektronenpaarbindung. Prüfen Sie die Anschlussfähigkeit an das Teilchenmodell (s. A10.8 und A10.9).

**Lösungsskizze**

Die (Nicht)-Mischbarkeit wird auf die Existenz diskreter Ladung (Ionen) oder überwiegend polarer und unpolarer Ladungsanteile im Molekül zurückgeführt und mit den Wechselwirkungen (sowohl Anziehung als auch Abstoßung) der verschiedenen Bausteine begründet. Durch die Annahme von Wechselwirkungen bereits im Teilchenmodell wird dies bereits anschlussfähig vorbereitet.

**A10.11** Mitunter werden im Zusammenhang mit dem Atommodell nach Dalton (drittes Denkmodell) auch die Begriffe Elementmolekül und Verbindungsmolekül eingeführt. Nehmen Sie kritisch Stellung zu Potenzialen und Risiken dieser Begriffe.

**Lösungsskizze**

Auf der makroskopischen Ebene lassen sich chemische Reaktionen danach differenzieren, dass aus mehreren Edukten nur ein Produkt entsteht oder umgekehrt, dass Stoffe sich zerlegen lassen und dabei mindestens ein Stoff entsteht, dass nicht weiter in andere Stoffe zerlegbar ist. Dies legt eine Klassifizierung in zusammengesetzte Stoffe und Grundstoffe nahe, die in der Regel (historisch) Verbindungen und Elemente genannt werden. Lediglich die Edelgase treten aber einatomig in der Natur auf. Mit der Einführung der Begriffe Elementmolekül und Verbindungsmolekül kann einer Unterscheidung von mehratomigen Bausteinen Rechnung getragen werden, die sich darin unterscheiden, dass diese aus einer oder mehreren Atomsorten aufgebaut werden (Potenzial). Wie aber schon bei der Begriffsbildung von Verbindungen als zusammengesetzte Stoffe impliziert der Begriff *Verbindung*smolekül ein Wissen über Bindungen zwischen Atomen, das mit dem Atommodell nach Dalton nicht adressiert wird. Es ist quasi ein Vorgriff auf Wissen, das erst mit einem differenzierten Atommodell (z.B. dem Kugelwolkenmodell) vollumfänglich plausibel gemacht werden kann (Risiken). Dessen muss sich die Lehrkraft bewusst sein.

**A10.12** Recherchieren Sie in verschiedenen Quellen Definitionen und Darstellungen des Schalenmodells und des Bohr-Modells. Stellen Sie die Unterschiede (auch zum Energiestufenmodell) dar.

**Lösungsskizze**

Die Antwort hängt maßgeblich vom Rechercheergebnis ab. Es kann aber erwartet werden, dass in manchen Quellen

* das Schalenmodell und das Bohr-Modell synonym verwendet werden,
* eines der Modelle eingeführt wird, jedoch die Visualisierung eher auf das andere Modell referiert oder
* beide Visualisierungsformen verwendet werden, ohne diese zu differenzieren (Elektronen *auf* oder *zwischen* den Kreisbahnen).

Die Unterschiede zum Energiestufenmodell liegen insbesondere darin, dass die beiden Modelle direkt eine Veranschaulichung der Elektronenverteilung im Raum bzw. aus Gründen der Vereinfachung zunächst im Zweidimensionalen vornehmen. Dies ist nachvollziehbar, wenn auf das Dalton-Modell aufgebaut werden möchte. Die Frage nach der Anordnung von Elektronen in der Hülle könnte aber an dieser Stelle völlig neu gedacht werden z.B. unter Hinzunahme des Aspekts der Wechselwirkungen. Dem tragen beide Modelle insbesondere in der Visualisierung explizit nicht Rechnung.

**A10.13** Notieren Sie Modelle, die Sie in der Schulzeit oder in Ihrer Ausbildung kennengelernt haben. Ordnen Sie, sofern hier noch nicht verortet, diese in die Übersicht (Abb. 10.9) ein. Leiten Sie eventuelle Potenziale der Modelle ab und nehmen Sie begründet Stellung dazu, welche aus Ihrer Sicht unbedingt im Chemieunterricht entwickelt werden sollen und welche verzichtbar sind.

**Lösungsskizze**

Die Antwort hängt maßgeblich davon ab, welche weiteren Modelle die Lernenden mit einbringen, bedeutet aber eine gute Übung darin, sich damit auseinanderzusetzen, wie genau diese Modelle beschrieben werden und sich von den anderen abgrenzen. Erwartbar sind z.B. das Kugel-Teilchenmodell, das Thomson-Modell, Atomrumpfmodell evtl. auch alchemistische Modelle und das wellenmechanische Atommodell.

**A10.14** In der rechten Box in Abb. 10.11 ist eine Öffnung zu sehen. Die Lernenden können unterschiedlich große Kugeln in die Öffnung geben. Wofür stehen die Kugeln und die Kugelgröße?

**Lösungsskizze**

Die Kugeln stehen für ein Messinstrument. Über das Verhalten der Kugel innerhalb der Box bekommen wir Informationen über mögliche Laufwege der Kugel und indirekt über das Innere der Box. Die Laufgeräusche (Reibung) Sind Informationen/Daten, die ausgewertet werden können.

Die Größe der Kugeln steht für die Messgenauigkeit. Es ist denkbar, dass eine kleinere Kugel andere Laufwege hat. Damit ist diese nicht unbedingt geeigneter; wenn eine breitere Kugel einen Laufweg nicht beschreiten kann, gibt das Auskunft über die Dimension möglicher Barrieren.

**A10.15** Eine Schülerin äußert nach einiger Zeit der Untersuchung der Box mit einer Kugel zu einer Stelle im inneren der Box: „Hier ist eine Wand“.
a) Nehmen Sie Stellung zur Aussage.
b) Formulieren Sie eine adäquate Aussage, die basierend auf mögliche Beobachtungen zu treffen ist.

**Lösungsskizze**

a) Die Aussage ist sehr Anschauungsgebunden. Die Informationen, die die Schülerin z.B. über eine Kugel erhält. Lassen es plausibel erscheinen, dass sich in der Box Hindernisse befinden, die die Form einer Wand einnehmen. Das sich tatsächlich so etwas dort drin verbirgt ist aber sehr schwer mit Sicherheit abzuleiten. Es besteht mit dieser anschaulichen Umschreibung eher die Gefahr, offen dafür zu sein, diese Hindernisse weiter zu untersuchen: Es könnte ja auch ein perforierter Gegenstand sein, der andere (kleinere) Kugeln durchließe. Oder es kann auch sein, dass die Kugel das Hindernis passiert, wenn die Box „auf den Kopf“ gestellt würde (um 180° gedreht).

b) Bei Neigung der Box (von einer hier zu beschreibenden Stelle in eine hier anzugebende Richtung) ist deutlich zu spüren, dass sich die Kugel in der Box in die Neigungsrichtung bewegt. Diese Bewegung endet an einer bestimmten Stelle, die nicht die Außenwand der Box ist, jäh. Es davon auszugehen, dass sich an dieser Stelle etwas befindet, dass die Kugel hindert die Bewegung fortzusetzen. Das Aufprallgeräusch unterscheidet sich deutlich von dem mit der Außenwand der Box. Vergleiche mit Material wie Pappe, Kunststoff und Metall lassen auf Kunststoff schließen. Die räumliche Ausprägung dieses Hindernisses kann durch Neigung der Box auf folgenden Bereich eingrenzen ...

**A10.16** Eine Lerngruppe möchte unbedingt die Box öffnen, um abzugleichen, wie gut sie den Inhalt beschrieben haben. Nehmen Sie Stellung dazu vor dem Hintergrund der Analogie zur submikroskopischen Ebene.

**Lösungsskizze**

Die Analogie zur submikroskopischen Ebene lässt es nicht zu, in die Box hineinschauen zu können. Es wird nie absolute Gewissheit über den tatsächlichen Aufbau der submikroskopischen Ebene geben. Es muss den Lernenden also deutlich werden, DASS und WARUM die Box nicht einsehbar ist. Es ist daher geboten, die Box möglichst lang geschlossen zu halten. Sie sollte frühestens dann geöffnet werden, wenn die Lerngruppe mit Sicherheit sagen kann, wofür die Box steht und warum sie eigentlich nicht einsehbar ist.

**A10.17** Recherchieren Sie die Stufen der Lernentwicklung (*levels of learning progressions*) in Schwarz et al. 2009 und gleichen sie diese mit den Teilkompetenzen der Erkenntnisgewinnungskompetenz aus den derzeit gültigen Bildungsstandards ab.

**Lösungsskizze**

Der Abgleich hängt von den verwendeten Bildungsstandards ab. Die Levels of Learning Progression sind folgende:

A learning progression for understanding models as generative tools for predicting and explaining (aus Schwarz et al 2009, Tabelle 3, S 640)

Level 4

Students construct and use models spontaneously in a range of domains to help their own thinking.
Students consider how the world could behave according to various models.
Students construct and use models to generate new questions about the behavior or existence of phenomena.

Level 3

Students construct and use multiple models to explain and predict more aspects of a group of related phenomena.
Students view models as tools that can support their thinking about existing and new phenomena.
Students consider alternatives in constructing models based on analyses of the different advantages and weakness for explaining and predicting these alternative models possess.

Level 2

Students construct and use a model to illustrate and explain how a phenomenon occurs, consistent with the evidence about the phenomenon.

Students view models as a means of communicating their understanding of a phenomenon rather than a tool to support their own thinking.

Level 1

Students construct and use models that show literal illustrations of a single phenomenon.
Students do not view a model as tool to generate new knowledge, but do see models as a means of showing others what the phenomenon looks like.

**A10.18** Im Beispiel Modellierung eines Fahrradreifens mit dem Teilchenmodell wird das Aufpumpen eines Fahrradreifens simuliert. Im Online-Material werden zu jeder Modellierung Sequenzen von jeweils drei Bildern gezeigt. Beschreiben Sie auf Basis der Bildsequenz den Verlauf des Prozesses. Stellen Sie die Unterschiede beider Prozesse dar und beurteilen Sie das didaktische Potenzial der Überprüfung dieser Modellvarianten.

**Lösungsskizze**

Die Bildsequenzen zeigen sehr gut auf, dass die Teilchen eine gleichförmige Bewegung beibehalten, wenn keine Wechselwirkungen zwischen den Teilchen angenommen werden. Diese gleichförmige Bewegung hätte eine pulsierende Druckänderung auf der makroskopischen Ebene zur Konsequenz, die als solche aber nicht erkennbar sein würde. Ein weiterer Unterschied ist der energetische Zustand der Teilchen: Während sie bei Annahme einer fehlenden Wechselwirkung immer gleichbleiben, ändern sich die energetischen Zustände einzelner Teilchen; immer aber so, dass die Energie im Mittel gleich ist. Dies kann herangeführt werden, um in einem offenen System (Flüssigkeit in einem Glas) das Verdunsten der Flüssigkeit unterhalb einer Siedetemperatur plausibel zu machen. Damit ist das Modell mit der Annahme existierender Wechselwirkungen plausibler mit möglichen Beobachtungen. Das didaktische Potenzial besteht an dieser Stelle darin, den kreativen Prozess einer Modellierung unmittelbar zu erfahren. Mit Bezug auf die Definition eines Modells aus diesem Lehrbuch stellt dieser Prozess eine „Auseinandersetzung mit einem Sachverhalt in der Art [dar], dass ... Merkmale für weitere Denkprozesse zur Verfügung stehen“. Wissenschaftliche Denkmodelle haben sich in verschiedenen Anwendungssituationen bewährt. Es sind damit sehr gute und tragfähige Modelle, bleiben aber niemals *die* Modelle für die Beschreibung unserer Umgebung.