



CHEMIE

Geistige Entwicklung/Fachdidaktik Chemie

Titel/Thema

Denken vom Kind aus – Das Konzept der Elementarisierung als inklusionsdidaktische Basis zur Strukturierung von Unterrichtsprozessen für den naturwissenschaftlichen Unterricht

Zu LBS 20: Denken vom Kind aus – Die starke Brausetablette

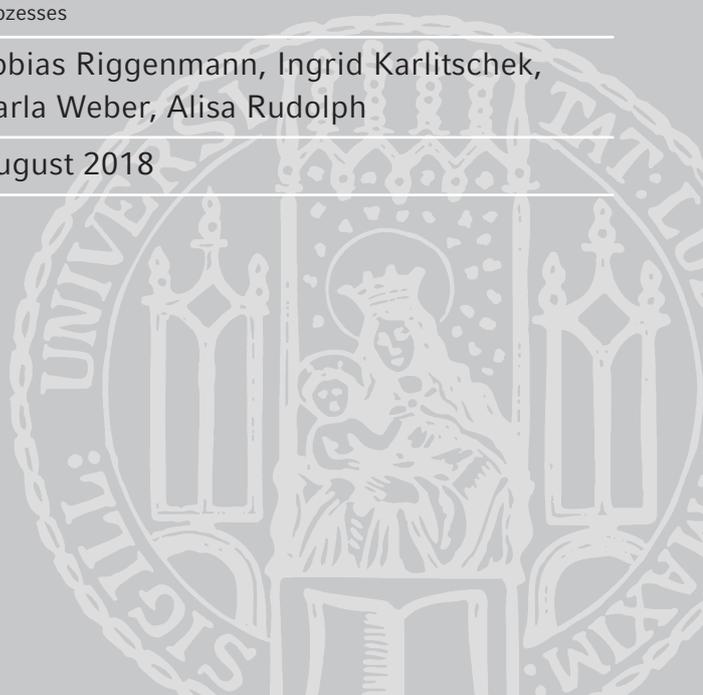
Exemplarische Ausarbeitung eines Experimentes aus dem Natur-und-Technik-Unterricht mit Hilfe des Elementarisierungsprozesses

Verfasser(innen)

Tobias Riggermann, Ingrid Karlitschek, Carla Weber, Alisa Rudolph

Erstellungsdatum

August 2018



Zu LBS 20: Denken vom Kind aus – Die starke Brausetablette

Exemplarische Ausarbeitung eines Experimentes aus dem Natur-und-Technik-Unterricht mit Hilfe des Elementarisierungsprozesses

Das vorliegende Dokument sowie seine assoziierten Schriften sind Ergebnis einer Zusammenarbeit der Fachdidaktik Chemie mit unterschiedlichen Lehrstühlen für Sonderpädagogik an der Ludwig-Maximilians-Universität München in der Zeit von Herbst 2015 bis Herbst 2017.

Tabelle entnommen aus dem Übersichtsdokument **LBS 20 Denken vom Kind aus**.

FÜR WEN?

Zielgruppe:

Das nachfolgende Dokument richtet sich an Studierende, schulische Lehrkräfte und universitär Lehrende, die sich mit dem grundständigen naturwissenschaftlichen Unterricht an Schulen beschäftigen.

WARUM?

Zielsetzung:

Durch die im Dokument vorgestellte Methode Unterrichtsinhalte aus der Perspektive der Schülerinnen und Schüler zu betrachten, soll eine inklusive Haltung vermittelt werden. Mithilfe des erläuterten Elementarisierungsprozesses besteht die Möglichkeit, die schon von Klafki geforderte Relevanz eines beliebigen Inhalts zu eruieren. In der Verknüpfung von theoretischer Behandlung und konkreten Beispielen soll die Methode transparent und reproduzierbar dargestellt werden. Im Folgenden wird der Elementarisierungsprozess als allgemeines, didaktisches Prinzip dargestellt, um das eigene Unterrichtsgeschehen auf seine Relevanz, den Gehalt sowie die Passung bezüglich der Lernendenklientele untersuchen zu können.

WAS?

Beschreibung:

Das Konzept der Elementarisierung wurde dem Förderschwerpunkt **Geistige Entwicklung** entlehnt. Mit diesem Konzept sind Lehrkräfte in der Lage, die Quintessenzen eines Bildungsinhalts zu eruieren. Es geht um die Konkretisierung der Bildungsinhalte im Sinne einer Rückführung des fachlichen Inhalts auf das Grundlegende, ähnlich eines didaktischen Reduktionsprozesses. Der Kerngedanke liegt im engen Zusammenhang zwischen Lehre und Lernerin bzw. Lerner. Das bedeutet, der Inhalt soll in die Sprache der Schülerinnen und Schüler übertragen werden. Die Lehrkräfte können anhand von Leitfragen in einem Reflexionsprozess möglichst geeignete Bedingungen für die Vermittlung des konkreten Unterrichtsinhalts antizipieren.

DAS EXPERIMENT

Benötigtes Material:

Eine leere Glasflasche oder eine Mehrweg-PET-Flasche, eine Brausetablette, ein Luftballon, ein tiefer Teller und ein Teelöffel, Wasser. Dokumentationsmaterial.

Durchführung:

- 1) Die Brausetablette wird auf dem Teller mit dem Teelöffel etwas zerstoßen.
- 2) Die Brausetablettenstücke werden nun in den Luftballon hineingefüllt.
- 3) Anschließend wird in die Glasflasche zwei Finger breit Wasser eingefüllt und dann der Luftballon so über die Öffnung gestülpt, dass die Brausetablettenstücke nicht in die Flasche fallen.
- 4) Sodann wird die Flasche mit Luftballon auf eine feste Unterlage gestellt und die Brausetablettenstücke aus dem Luftballon werden nun in die Flasche geschüttet.

Das Printmaterial für die Schülerinnen und Schüler findet sich im Dokument

ASUVA_04_Brausetablette_Material

Dieses ist angelehnt an die sprach- und erkenntniswegförderliche Struktur des Experiments „Die Kerze unter dem Glas“.

Aspekt Elementare Strukturen – Der sachorientierte Blickwinkel

LEITFRAGE



Wie kann ich sachlich richtig und passend vereinfachen?

Die Sachanalyse – Ausgehend von der Wahrnehmung

Beim Experiment „Die starke Brausetablette“ sind folgende Beobachtungen für die Lernenden festzustellen:

- A) Beim Zusammengeben von Natron mit Essig bildet sich Schaum und es ist ein Geräusch zu hören.
- B) Der Luftballon wird aufgeblasen.
- C) Das Gefäß wird dort wo sich der Schaum gebildet hat deutlich kälter.

Die Beobachtungen lassen darauf schließen, dass es sich bei diesem Vorgang um eine chemische Reaktion handelt. Zum einen werden zwei Stoffe mit unterschiedlichem Aggregatzustand, die Brausetablette als Feststoff und das Wasser als Flüssigkeit, zusammengegeben, wobei das Aufpusten des Luftballons die Entwicklung eines gasförmigen Stoffs anzeigt. Zudem wird deutlich, dass es sich mindestens um einen exergonen Vorgang handelt, da dieser freiwillig abläuft. Betrachtet man die Ausgangsstoffe aus chemischer Sicht genauer, so stellt man fest, dass es sich bei der Brausetablette um ein Gemisch aus vornehmlich Natriumcarbonat (Na_2CO_3), die konjugierte Base der Kohlensäure und Zitronensäure, handelt. Beim Kontakt mit Wasser dissoziieren die Zitronensäuremoleküle in Oxoniumionen und Dihydrogencitrationen. Erstere protonieren in einer Säure-Base-Reaktion die Carbonationen des Natriumcarbonats zunächst zu Hydrogencarbonationen und schließlich zu Kohlensäure. Diese zeigt sich bekanntermaßen unbeständig und zerfällt in Kohlenstoffdioxid und Wasser. Durch die starke Änderung der Entropie bei Generierung des als gasförmigem Stoff entweichenden Kohlenstoffdioxids läuft die Reaktion quantitativ ab. Die Gasbildung wird durch das Aufblähen des Luftballons deutlich sichtbar. Dieses Aufblähen ist auf die nun bei gleichbleibender Temperatur in großer Zahl von innen gegen die Luftballonmembran treffenden Kohlenstoffdioxidmoleküle zurückzuführen, denen von außen kein gleichwertiger Gegendruck gewährt wird. Es kommt zu einem Kräfteungleichgewicht der von innen und außen an die Gummimembran prallenden Teilchen und der Ballon dehnt sich so weit aus, bis die Spannkraft der Membran die zusätzlichen Kräfte nivelliert.

Die retrospektive Analyse nach den kindlichen Methoden der Welterschließung

METHODE: MODIFIZIEREN

„Was kann/darf man verändern?“



Aus chemischer Sicht stellt die Reaktion einen Prototyp folgender Reaktion dar: Carbonat-Salz mit Säure ergibt Kohlenstoffdioxid und Wasser. Dementsprechend kann auch Calciumcarbonat, Kalk, Magnesiumcarbonat oder Bittersalz mit unterschiedlichen Säuren oder sauren Lösungen (Zitronensaft, Apfelsaft etc.) versetzt werden, um die gleiche Wirkung zu erzielen. So kann mit den Schülerinnen und Schülern fragend erarbeitet werden, ob anstatt der verwendeten Substanzen andere eingesetzt werden könnten. Hier kann über ordentliche Hypothesenbildung zum Schluss gelangt werden, dass die saure Eigenschaft der einen Substanz von entscheidender Bedeutung ist. Beispielhaftes Formulieren: „Was glaubt ihr könnte man anstatt des Carbonatsalzes noch probieren? Warum glaubt ihr, dass das funktioniert?“

METHODE: ADAPTIEREN

„Was ist ähnlich?“

Beobachtungsähnlich-phänomendifferent



Die Schaumbildung erinnert die Schülerinnen und Schüler möglicherweise an Beobachtungen beim Spülen mit Spülmittel oder beim Waschen mit Seife oder auch an das Blubbern von siedenden Flüssigkeiten wie Wasser im Kochtopf. Diese Prozesse können vom vorliegenden Phänomen durch den genauen Hinweis auf die Beobachtungen abgegrenzt werden. Es wird zum einen nicht geschüttelt oder verrieben, wie beim Spülen oder Waschen, zum anderen wird das Gefäß nicht etwa warm, sondern kalt. Gezielt können die beiden ähnlichen Prozesse, Spülen und Kochen, aktiv als Erklärungsvorschläge präsentiert werden, um die Schülerinnen und Schüler gezielt diese Abgrenzung selbstständig aus den Beobachtungen herleiten zu lassen.

Beobachtungsähnlich-phänomenanalog

Die Entstehung von Gasbläschen in Flüssigkeiten ohne Erwärmung ist den Schülerinnen und Schülern möglicherweise von kohlenstoffhaltigen Getränken bekannt. Dort lässt sich auch beobachten, dass die Kohlenstoffdioxidbläschen von selbst in der Flüssigkeit aufsteigen. So eignet sich dieses Phänomen als Bezug zum Alltag und knüpft an das Vorwissen der Schülerinnen und Schüler an.

METHODE: MAGNIFIZIEREN

„Was kann man hinzufügen?“



Mit solchen Vergleichsversuchen lässt sich also die allgemeine Regel, dass Carbonate mit Säuren zu Kohlenstoffdioxid und Wasser reagieren untermauern. Erweiterbar ist das Experiment noch auf der quantitativen Ebene. Es kann versucht werden, das Verhältnis von Natron/Essig und gebildetem Gasvolumen zu messen und die Messwerte auf Abhängigkeiten zu untersuchen. So können zum Beispiel folgende Zusammenhänge gefunden werden:

- Die Menge an gebildetem Gas geht zurück, wenn weniger Natron verwendet wird und wenn nur ganz wenig Essig verwendet wird.
- Die Menge an gebildetem Gas steigt, wenn mehr Essig verwendet wird und wenn gleichzeitig mehr Natron verwendet wird.
- Die Menge an gebildetem Gas steigt, wenn anstatt Essig die gleiche Menge Essigessenz hergenommen wird.

Auf den Gasdruck, der durch den sich aufblähenden Luftballon beobachtbar ist, kann vertieft eingegangen werden. Dazu könnte man auf den Druck als physikalische Größe eingehen und feststellen, dass Druck definiert ist als die Kraft, die auf eine bestimmte Fläche wirkt. Somit muss nun die Kraft, die von innen gegen die Ballonmembran wirkt größer sein, als von außen. Um zu klären, wer für diese Kraft verantwortlich ist, muss nun auf die Teilchenebene gewechselt werden. Somit können die nun zusätzlich gebildeten Kohlenstoffdioxidmoleküle als die Ursache für die zusätzlichen Kräfte im inneren des Luftballons identifiziert werden

METHODE: MINIFIZIEREN

„Was kann man wegnehmen?“



Will man den Anspruch gering halten, so genügt auch die konkrete Feststellung, dass beim Zusammengeben der Brausetablette mit Essig ein Gas entsteht. Dies spiegelt den ersten Schritt auf dem Weg zur Reaktionsgleichung wieder: die Formulierung einer Wortgleichung.

METHODE: SEQUENZIEREN

„Wie kann/darf die Reihenfolge verändert werden?“



Ob die Reihenfolge der Zusammengabe entscheidend ist, kann in kleinen eigenen Experimenten überprüft werden. Dies ist sinnvoll, um den Schülerinnen und Schülern klar zu machen, dass es auf die Reihenfolge nicht ankommt, die Art und Weise der Ausführung aber Auswirkungen auf die Sauberkeit der Versuchsführung besitzt und es sich also immer lohnt, vom Ende her zu denken.

METHODE: REARRANGIEREN

„Was kann man vertauschen?“



Anstatt das Brausepulver in die Flasche zu schütten, könnte auch die Flasche samt Luftballon umgedreht werden, sodass das Wasser zum Brausetablettenmaterial läuft. Auch hier würde man die Gasentwicklung durch die Ausdehnung des Luftballons erkennen können. Allerdings erweist es als umständlich, die Flasche dann halten zu müssen.

METHODE: UMKEHREN

„Was ist das Gegenteil?“ bzw. „Was wäre, wenn nicht...?“



Die Umkehrung der Freisetzung von Kohlenstoffdioxid besteht in der Ausfällung schwerlöslicher Carbonate, z. B. von Erdalkalicarbonaten von Calcium, Barium oder Strontium aus neutralen oder basischen Lösungen. Somit können die Schülerinnen und Schüler mithilfe der Kalkwasserprobe einen Nachweis für Kohlenstoffdioxid kennenlernen.

METHODE: KOMBINIEREN

„Womit kann ich es verbinden?“ bzw. „Wovon kann ich es loslösen?“



Es wäre im Rahmen des Experiments auch sinnvoll, diesen in einem Folgeexperiment anzuschließen, um nachzuweisen, welches Gas sich im Luftballon sammelt, also bei der Reaktion entsteht. Somit kann der neue Inhalt „Die chemische Reaktion von Natron mit Essig zu Kohlenstoffdioxid und Wasser“ zielführend mit der Kalkwasserprobe kombiniert werden. Außerdem erweist sich die Reaktion als anschlussfähig für z. B. die Kalkprobe aus dem Bereich der Geographie/Geologie, bei der mithilfe von Salzsäure Gesteine auf ihren Carbonatgehalt getestet werden können.

Elementare Zugänge – Entwicklungspsychologischer Blickwinkel

LEITFRAGE



Welche Möglichkeiten haben die Schülerinnen und Schüler, um sich den Unterrichtsgegenstand anzueignen? Welche Lernvoraussetzungen bringen sie mit?

Motorische Aspekte



Kinder am Beginn der Sekundarstufe I zeigen wie auch später sehr heterogene motorische Fertigkeiten. Für das Experimentieren werden vor allem Fähigkeiten im Bereich der Auge-Hand-Koordination benötigt. Das saubere Entnehmen, Ein- und Umfüllen von Flüssigkeiten oder Feststoffen wird dabei geübt. Generell können die Versuchsgegenstände alle ertastet und spezifische Eigenschaften der Gegenstände ausgemacht werden.



Kognitive Aspekte



Kinder am Beginn der Sekundarstufe I können nach Piaget in die Zeit des Übergangs von der konkret in die formal operationale Phase eingeordnet werden. Es fällt ihnen also noch schwer, abstrakte Darstellungen zu verstehen. Die folgende 5-Stufen-Analyse ermöglicht die gezielte Beobachtung beim Experimentieren und ergibt zum einen diagnostische Hinweise auf den Entwicklungsstand, zum anderen können die Kinder dadurch an der passenden Stelle des kognitiven Prozesses abgeholt werden.

Erste Stufe: Bloße Wahrnehmung ohne Vernetzung (Wahrnehmung)

Das Kind nimmt die unterschiedlichen Reaktionspartner wahr. Ein farbloses Pulver, das etwas säuerlich riecht und eine nicht riechende Flüssigkeit. Es blubbert und schäumt. Der Ballon wird größer. Es findet keine sonstige Interaktion mit den Gegenständen statt, eher passive Perzeption.

Sich vorzustellende Situation: Kind (im Kinderwagen) werden die Versuchsgegenstände präsentiert und beim Versuch auf den Ballon hingewiesen mit den Worten „Schau mal, der wird größer!“.

Zweite Stufe: Vernetzte Wahrnehmung: Gefühle und Eindrücke (Beobachten)

Die Versuchsmaterialien werden als zusammengehörig betrachtet und für den Vorgang wichtig erkannt. Das Kind realisiert, dass mithilfe der Materialien ein bestimmtes Phänomen beobachtet werden kann. Das Pulver sticht etwas in der Nase und die Flüssigkeit riecht nach nichts, das Gas im Luftballon sticht auch etwas in der Nase. Die Gegenstände werden nun direkt erfahren durch Berühren, Schmecken etc. und mit bereits bekannten Eindrücken verglichen, obwohl diese noch nicht verbal kommunizierbar sind.

Sich vorzustellende Situation: Kind im Laufalter begreift die Versuchsgegenstände und zeigt emotionale Regungen, z. B. wenn es an Essig riecht.

Dritte Stufe: Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge erkennen (Sequenzieren)

Das Kind erkennt, dass nur Essig und das Natron zusammen die Schaumbildung verursachen und sich durch den Schaum der Luftballon aufbläht. Das Kind kann den Versuch selbstständig wiederholen und spielt mit der Reihenfolge der eingesetzten Substanzen. Am Ende kann die Aussage stehen: Wenn ich Natron und Essig zusammengebe, dann schäumt es und der Ballon bläst sich auf. Die Versuchsgegenstände werden intentional verwendet, um bestimmte Effekte zu wiederholen. Es wird getestet, ob die Reihenfolge geändert werden kann. In einfachen Worten werden die erkannten Zusammenhänge als proximate Wenn-Dann-Beziehungen formulierbar.

Sich vorzustellende Situation: Kind im Kindergartenalter kann Versuch nachmachen und herumspielen, freut sich, wenn die Wiederholung klappt, weil intrinsisch und eventuell noch nicht verbal formulierbar ein Zusammenhang erkannt wurde.

Vierte Stufe: Warum-Frage stellbar/erweiterbar/testbar (Hypothesieren, Experimentieren, Konzeptualisieren)

Das Kind entwickelt aus dem Ursache-Wirkungs-Zusammenhang die Fragestellung nach der Natur des Vorgangs. Die Frage, warum die Reaktion in beobachteter Weise abläuft, wird über Analogieexperimente gefestigt, auch um schon entwickelte Präkonzepte abzarbeiten und tragfähige Präkonzepte zu prüfen. So werden verschiedene Carbonate und verschiedene Säuren zu Verfügung gestellt. Mithilfe der Kalkwasserprobe und des naturwissenschaftlichen Erkenntniswegs wird das Gas als Kohlenstoffdioxid identifiziert. Am Ende kann die Aussage stehen: Gibt man zu carbonathaltigen Stoffen etwas Saures, so wird Kohlenstoffdioxid freigesetzt. (proximate Feststellung). Der proximate Wenn-Dann-Zusammenhang wird nun generalisierter gefasst und als Konzept gefestigt. Diese ist auch verbal formulierbar, jedoch noch konkret an der Sache orientiert.

Sich vorzustellende Situation: Kind im Grundschulalter macht den Versuch und probiert, mal mit mehr, mal mit weniger Substanzen oder anderen Substanzen, ob dasselbe herauskommt.

Fünfte Stufe: Darum-Aussage formulieren (Theoretisieren)

Die Darum-Aussage (ultimate Erklärung) erschließt sich erst auf der Teilchenebene. Hier erkennt das Kind, dass es sich bei dem Vorgang um eine chemische Reaktion handelt. Dabei reagiert die Substanz Natriumcarbonat mit Zitronensäure zu Kohlenstoffdioxid (und Wasser), weil die Säure mit dem Carbonat zu Kohlensäure reagiert, die sehr leicht in Kohlenstoffdioxid zerfällt. Mit einer ersten abstrakten Vorstellung von Stoffen im gasförmigen Zustand können die Kinder sich den größer werdenden Druck im Luftballon auf Teilchenebene erklären.

Sich vorzustellende Situation: Kind im Grundschulalter oder höher versucht sich den Sachverhalt zu erklären und stellt seine eigene Theorie auf, die nicht unbedingt mit der Lehrmeinung in Einklang steht. Im besten Fall jedoch wird mit Erwachsenen Rücksprache gehalten, die die Vorstellung/Theorie bestätigen oder die Entwicklung einer lehrmeinungskonformen Alternative anstoßen.

Sprachliche Aspekte

Kinder am Beginn der Sekundarstufe I weisen in der Regel bereits einen Wortschatz von mindestens 700 Wörtern auf, können ganze, grammatikalisch korrekte Sätze formulieren, die auch mit Relativsätzen erweitert werden können. Mit dem Passiv haben viele noch Probleme, genauso wie mit Nominalisierungen oder Komposita. Bei Fachwörtern sollte immer Rücksprache gehalten werden, ob diese bekannt sind und ggf. dann eingeführt werden. Besonders bei der Beschreibung vom Versuchsaufbau sind oft unbekannte Substantive, bei der Beobachtung fehlende Verben eine Herausforderung.



Emotionale Aspekte

Beim Experiment selbst tritt die spontane Gasentwicklung als Überraschungsmoment auf, wobei je nach verwendeter Menge die Schaumbildung für manche Kinder ein für sie subjektiv bedrohliches Ausmaß annehmen kann. Beim Versuch lernen die Kinder jedoch, dass der Prozess nicht ewig weitergeht, sondern von selbst langsamer wird und zum Erliegen kommt. Tatsächlich bietet dieser Teil des Experiments den emotionalen Höhepunkt. Von diesem muss durch Explizieren des Problems („Das ist ja seltsam, wieso wird denn der Ballon auf einmal aufgepustet?“) übergeführt werden. Es besteht hier sonst die Gefahr, dass die Kinder am Phänomen hängen bleiben.



Elementare Aneignungswege – Methodisch medialer Blickwinkel

LEITFRAGE



„Welche Möglichkeiten haben die Schülerinnen und Schüler, um sich den Unterrichtsgegenstand anzueignen?“ (Wahrnehmung mit allen Sinnen, handelnd, steuernd, bezeichnend, abbildend, reflektierend, transferierend)

Im Experiment können alle eingesetzten Chemikalien auf unterschiedliche Weise wahrgenommen werden. Die Brausetablette kann probiert werden, genauso wie das Wasser. Beim Riechen am Gas im Luftballon sticht es ein wenig in der Nase. Beim Experimentieren handeln die Kinder selbst. Sie zerstoßen selbstständig die Brausetablette und füllen die Stücke zuerst in den Ballon dann in die Flasche. Zudem können sie die Konsistenz der Brausetablette erfühlen. Für das Einfüllen steht ihnen auch ein Trichter zur Verfügung. Die Kinder gießen auch das Wasser selbstständig in die enge Flaschenöffnung und können dazu auch einen Trichter verwenden. Der Luftballon wird in Eigenarbeit über den Flaschenhals gestülpt. Bei der Reaktion können die Kinder die Kälte am Gefäß erspüren, das sich bildende Gas durch das Platzen der Schaumblasen akustisch wahrnehmen und den sich aufbauenden Druck im Luftballon durch die Spannung der Membran spüren. Insofern erfahren die Kinder alle Versuchsgegenstände und Chemikalien auf unterschiedlichste Weise, sodass das Experiment sehr eindrücklich wird. Im Sinne einer Protokollierung sind die Kinder dazu angehalten, ihre Beobachtungen schriftlich zu fixieren und den Versuchsaufbau auch anhand einer Skizze zu beschreiben. Dies unterstützt die Verbindung von konkreter sichtbarer Ebene und modellhafter Darstellung als Erinnerungshilfe und wichtigem Instrument des naturwissenschaftlichen Erkenntniswegs.

Elementare, lebensleitende Grundannahmen kulturell-gesellschaftlicher Blickwinkel sowie elementare Erfahrungen anthropologischer Blickwinkel

LEITFRAGEN



Welche grundlegende Bedeutung hat der Unterrichtsgegenstand für die Schülerin oder den Schüler für seine Bewältigung von alltäglichen, gesellschaftlichen Anforderungen? (praktisch, kulturell etc.)

Von welchen fundamentalen Erfahrungen bzgl. des Unterrichtsgegenstandes sind wir Menschen geprägt?

Dass bei chemischen Reaktionen unter anderem auch gasförmige Produkte entstehen können, war Voraussetzung für das Leben auf der Erde, wie wir es momentan kennen. Erst durch die Produktion von Sauerstoff als Stoffwechselabfallprodukt photosynthetischer Lebewesen wurde Leben in der heutigen Form möglich. Dass die spontane Produktion von gasförmigen Stoffen aus festen oder flüssigen ein hohes Gefahrenpotential bietet, zeigen viele, auch natürliche Explosionserscheinungen auf. Über die Kalkwasserprobe sowie den Kalknachweis schöpfen Chemiker wie Geologen immer noch Informationen über Reaktionsprodukte oder Inhaltsstoffe von Gesteinen auf einfache Art und Weise. Besonders eindrücklich sollten für die Schülerinnen und Schüler beim Experiment die Eigenheiten einer chemischen Reaktion herausgestellt werden. Vor allem die Tatsache, dass aus zwei Substanzen unterschiedlichen Aggregatzustands ein dritter Stoff im dritten Aggregatzustand entsteht, kann die Veränderung auf stofflicher Ebene eindrücklich veranschaulicht werden. So werden auch leicht andere Prozesse, bei denen sich offensichtliche stoffliche Änderungen vollziehen, leichter als chemische Reaktionen erkannt.