



**Fonds für Unterrichts- und Schulentwicklung
(IMST-Fonds)**

S2 „Grundbildung und Standards“

CPM

CHEMICAL PAPER MODELS

(CHEMICAL PERSONAL MODELS)

ID 1235

Andrea Beck-Mannagetta, Otto Beck

Akademisches Gymnasium Salzburg, 5020 Salzburg, Sinnhubstr.15

Salzburg, im Juli 2009

INHALTSVERZEICHNIS

ABSTRACT	3
1 EINLEITUNG	4
1.1 Ziele des Projektes	5
1.2 Technische Vorgangsweise	6
1.2.1 Technik für Sonderformen.....	7
2 ANWENDUNGSBEISPIELE	9
2.1 Grundschule	9
2.2 Unterstufe	10
2.2.1 Ionenbindung	10
2.2.2 Atombindung.....	11
2.2.3 Wasser und Luft.....	11
2.2.4 Kristallgitter	12
2.3 Oberstufe	12
3 EVALUIERUNG	14
4 RESÜMEE	15
LITERATUR	16

ABSTRACT

Bei diesem fächerübergreifenden Projekt aus **Chemie** und **Technischem Werken** werden selbstgefertigte **Papiermodelle** verwendet. Die Grundidee ist, dass jeder Schüler/ jede Schülerin die Möglichkeit haben sollte, zu einem erschwinglichen Preis mit dreidimensionalen Modellen zu arbeiten.

Kreisscheiben aus farbigen Papieren, ausgestanzt oder ausgeschnitten, werden zu gleichseitigen Dreiecken gefaltet und zu **Tetraedern** (bzw. Oktaedern für Gitterstrukturen) zusammengeklebt. Diese Tetraederbällchen erlauben an den **Spitzen**, den **Kreissegmenten** und den **Dreiecksflächen Einfach-, Zweifach- und Dreifachbindungen** mit Einzeichnung der Valenzelektronen bei **vorgegebenen Bindungswinkeln**. Das System ist bereits im Volksschulbereich spielerisch einsetzbar und erlaubt genauso 17/18 jährigen sehr komplexe Moleküle und Reaktionen räumlich darzustellen. Die **Anschlußfähigkeit** ist auf jeder Stufe gegeben.

Schulstufe: 4. Schulstufe(Volksschule), 7. und 8. bzw. 11. und 12. SchSt. AHS
Fächer: Technisches Werken und Chemie
Kontaktperson: Otto Beck und Andrea Beck-Mannagetta
Kontaktadresse: Akademisches Gymnasium Salzburg, Sinnhub Str. 15, 5020 Salzburg

1 EINLEITUNG

Bei diesem fächerübergreifenden Projekt aus Chemie und Technischem Werken werden Papiermodelle verwendet, die von den Schülern selbst gefertigt werden. Die Grundidee ist, dass jeder Schüler die Möglichkeit haben sollte, mit Modellen zu arbeiten, und das zu einem erschwinglichen Preis.

Kaum ein Chemiekustodiat ist so gut ausgestattet, dass jedes Kind einen eigenen Modellbausatz zur Verfügung hat oder diese Modelle gar mit nach Hause nehmen kann.

Kaum ein Kind hat aber in seiner Jugend nicht mit einem eigenen Legobaukasten gespielt. Das unterschiedliche Zusammenfügen von genormten Teilchen zu komplexen räumlichen Strukturen ist dem Kind also vertraut.

Wünschenswert wäre demnach ein Chemiemodellbaukasten für jedes Kind.

Solange das ein Wunsch bleibt, ist eine praktikable Lösung gefragt.

Papier ist billig und in vielen Farben erhältlich. Scheren und Klebstoff aus dem Lehrmittelbudget finanzierbar.

Knetmassen (Ton) und Zahnstocher (Strohhalme) waren lange die naheliegenden Mittel der Notlage.

Im Technischen Werken bzw. dem „Bastelunterricht“ der Volksschule ist das Werken mit Papier und Klebstoff für verschiedenste Bereiche üblich (Figuren, Objekte, Funktionsmodelle), weshalb hier auf gewisse Fertigkeiten vertraut werden kann.

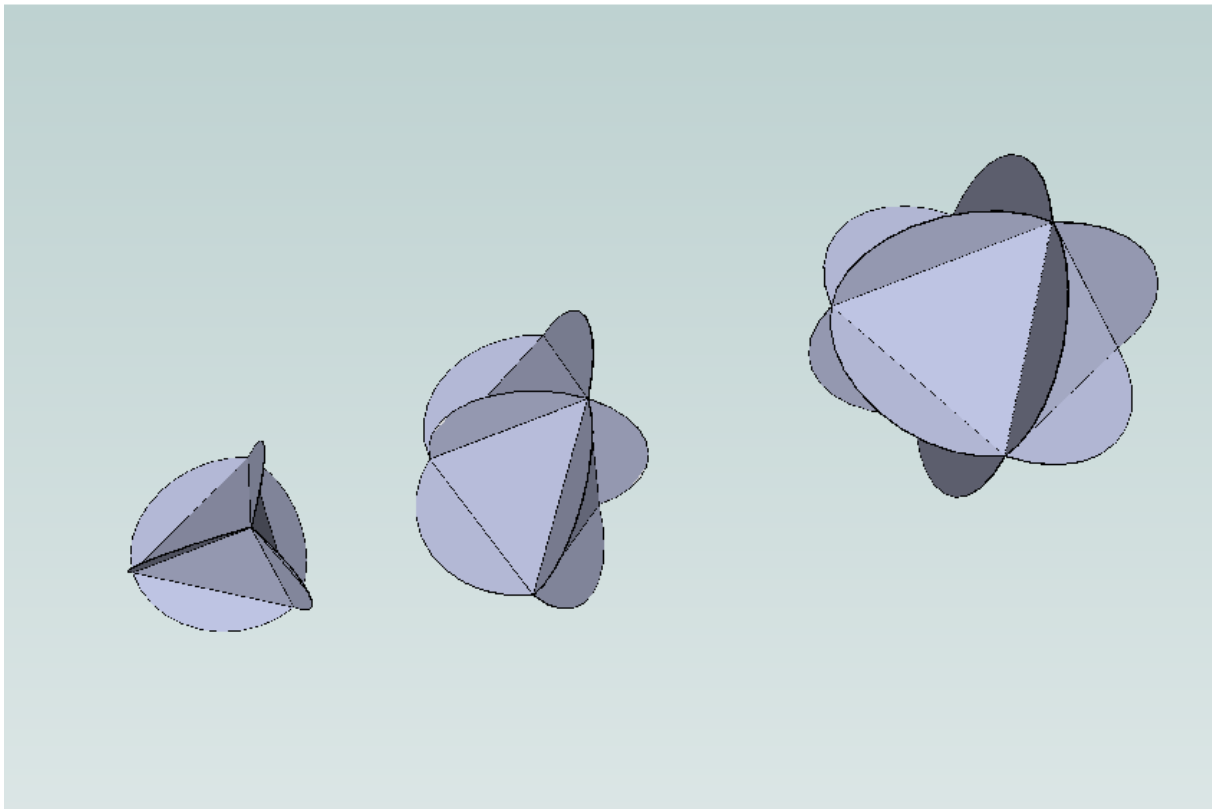
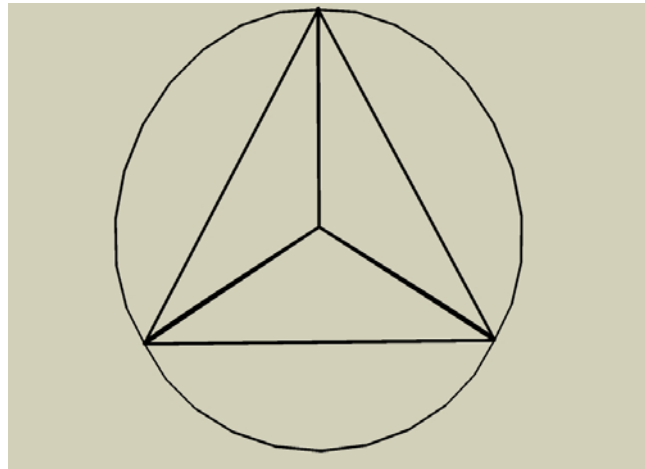
Die Vorgangsweise:

Farbige Kreisscheiben werden ausgeschnitten oder besser ausgestanzt: aus Kreisscheiben werden „Atome“ von Elementen der 2. (bzw. 3. Periode) gefertigt, die eine tetraedrische Struktur haben. Die tetraedrische Struktur entsteht dadurch, dass den Kreisscheiben ein gleichseitiges Dreieck eingeschrieben wird (Schablone!). Die an den drei Seiten aufgebogenen Kreissegmente (Klebelaschen) von 4 Scheiben werden verklebt, sodass von selbst ein Tetraeder entsteht mit den „abstehenden Ohren“ der zusammengeklebten Kreissegmente.

In diesen Modellen können Einfach-, Zweifach- und auch Dreifachbindungen dargestellt werden (Tetraederspitze, Laschen, Dreiecksflächen). Die tetraedrische Struktur gibt von selbst bestimmte Bindungswinkel vor, welche bestimmend sind für das chemische Verhalten von Verbindungen. Durch das Anfertigen von Molekülmodellen auf Grund vorgegebener Formeln im Werkunterricht der 7. Schulstufe werden Schüler vertraut mit der räumlichen Struktur von Molekülen und Bezeichnungen (Symbolfarben, Symbolbuchstaben, Bindungsarten usw.). Mit diesen Modellen werden bereits im Werkunterricht einfache chemische Reaktionen dargestellt. Im Chemie-Unterricht der 8. Schulstufe werden die Modelle verfeinert. Das Einzeichnen der Valenzelektronen ermöglicht nun, dass Schüler selbst die richtige Formel und Struktur einer einfachen Verbindung erkennen können. Zu den komplizierteren Molekülen, die nachgebaut werden können, gehören Aminosäuren und Benzol. Besonders anschaulich lassen sich diverse Arten von Isomerie darstellen.

Auch Kristallgitter (z.B. Diamant, Natriumchlorid) werden gefertigt.

Im Anhang oder: <http://www.akadgym.salzburg.at/download/> kann man sich Beispiele ansehen.



1.1 Ziele des Projektes

Was sollen die Schüler/innen können und wissen?

Die Schüler/innen sollen bei den Begriffen Atom, Molekül, Kristall bzw. Verbindung u. Ä. immer an räumliche Modelle denken, deren Einzelteile nicht ungerichtete Kügelchen sind, sondern „eigenwillige“ Individuen, die sich nur auf bestimmte Arten verbinden. Die Schüler/innen hören z. B. üblicherweise, dass Eiskristalle ihre unendlichen Variationen der Struktur des Wassermoleküls verdanken. Mit 2-3 selbstgebaute Moleküle wird das Abstrakte unmittelbar logisch und anschaulich. Abstraktes Wissen wird zu einem ich-nahen Wissen.

Warum sollen Schüler/innen solche Modelle selber bauen und mit nach Hause nehmen? Was man selber zusammengebaut hat, hat man besser „begriffen“ als ein vorgezeigtes Objekt. Was man zu Hause vor sich hat, prägt sich besser ein als ein kurzfristig aufgeschlagenes Buch oder eine Kopie. Wenn in mehreren Modellen das Prinzip einmal begriffen ist, bekommen auch die abstrakten Strukturen und Summenformeln mehr „Körper“. Wenn die Zehnjährigen „spielerisch“ solche Modelle bauen, kann im Unterricht (Chemie, Physik, Biologie ...) stufenweise der Schwierigkeitsgrad erhöht werden. Das Bauprinzip erlaubt auch sehr komplexe Strukturen, wie sie in der organischen Chemie der Oberstufe als „Formel“ verstanden werden sollen.

1.2 Technische Vorgangsweise

Am besten führt der Technische Werklehrer oder die Lehrerin für textiles Gestalten in ein bis zwei Doppelstunden in die Technik des Molekülbauens ein. Im Werkraum sind gewöhnlich die Arbeitsgeräte vorhanden (Scheren, Klebstoff u.U. Pressen und Stanzen).

Im Werkunterricht lässt sich dieser (2 bis 4 stündige) Modellbau beim Thema Architektur/ Materialkunde/ Form und Design, sowie „Arbeitsprozesse“ einbauen.

Aber auch ohne Unterstützung durch den Werkunterricht lässt sich das Modellbauen im Chemieunterricht bzw. Chemiesaal organisieren.

Der/Die zukünftige Chemielehrer/in der jeweiligen Klasse gibt zusammen mit der Werklehrer/in eine Einführung in das Fach Chemie und macht dazu möglichst einen eindrucksvollen Versuch. In unserem Fall ist das der auch von Schülern leicht zu handhabende Knallgasversuch. Da wir immer mit dem Bau des Wassermoleküls beginnen, ist die elektrolytische Zerlegung in das rote Sauerstoffatom und die zwei weißen Wasserstoffatome parallel zum Versuch deutlich zu zeigen: es werden dem „roten Kopf“ die zwei weißen „Ohren“ weggenommen und nach dem Knall wieder angefügt.

Jede/r Schüler/in bekommt eine (am besten durchsichtige) Schachtel (Verpackung für Obst bzw. Salat im Lebensmittelhandel!), mit Namen versehen, in welche sie die selbstgebaute Modelle tun kann für spätere, weitere Verwendung im Chemieunterricht.

Die farbigen Scheiben schneiden sich die Schüler/innen entweder mit der Schere selbst aus (Kopiervorlagen, farbiges Kopierpapier) oder, besser, man stanzt gleich viele Scheiben vorher mit Hilfe von Buttonstanzen (Schulbedarfshandel) oder noch besser mit einer Din A 4 großen Stanzform mittels einer Tiefdruckpresse, wenn vorhanden.

Da in einer Klasse auf diese Weise gleich viele Wassermoleküle entstanden sind, lassen sich im gleichen Atemzug "Eiskristalle" zusammensetzen, welche ihren Variationsreichtum genau der räumlich vorgegebenen Struktur verdanken.

Damit ist für alle einsichtig, dass die Formel H_2O "kein Bild macht", sondern nur ein Hilfsmittel ist zum späteren "schnelleren Rechnen".

All dies ist in einer Doppelstunde zu schaffen.

In der ggf. zur Verfügung stehenden weiteren Doppelstunde können dann von den Schüler/innen fast im Alleingang Luftmoleküle bis hin zu einer Aminosäure gebaut werden.

Besonders interessierte Schüler/innen konnten zu Hause nur auf Grund von Strukturformeln diverse Kohlenwasserstoffverbindungen zusammenbauen, weil bereits nach 4 Stunden das System "verinnerlicht" war.

1.2.1 Technik für Sonderformen

Selbstverständlich muss man fragen, wieweit diese Modelle der Realität entsprechen. Wären nicht längst und besser Modelle mit exotisch geformten Orbitalen angesagt?!

Solche im Computer generierten Bilder illustrieren zunehmend die Lehrbücher.

Abgesehen davon, dass solche haptischen Modelle für Orbitale (Baukästen) noch teurer sind als die üblichen Kugel/Stäbchen Kästen, würde man einige Grundstufen der Vorstellung vom Mikrokosmos überspringen.

Das chemische Einmaleins ist?

Es gibt kleine Einheiten, die sich verbinden können.

Sie verbinden sich an bestimmten Stellen und in bestimmten Richtungen.

Das macht ihre Eigenschaft bzw. Wirkungsweise aus. Davon bekommen sie ihre Namen.

Es gibt "gitterförmige" und "verschlungene" Anordnungen.

Veränderungen (Reaktionen) erfolgen an den mehr oder weniger festen Verbindungsstellen.

Dieses Einmaleins last sich mit den CPM Modellen leicht erlernen.

Differenziertere Verhältnisse können auf die Modelle gezeichnet/geschrieben werden, lassen sich aber schwer mit Papier darstellen.

In der Dokumentation (downloads) bzw. den Sketchupmodellen ist z.B. der Versuch des Baues des Benzolringes zu sehen.

Diesen Benzolring bauen Schüler in 20 Minuten.

Das bleiben individuelle Lösungen, denen die Phantasie und das Papier kaum Grenzen setzen. Trotzdem wäre in solchen Fällen der Schritt zum Computer und 3D Zeichenprogrammen naheliegend!

Das Google Sketchupprogramm (gratis download!) wurde von unseren Aufgewecktesten so rasch begriffen, dass sie am Computer Moleküle zerlegen und anders zusammensetzen konnten.

Ob das so schnell gegangen wäre, wenn sie die Modelle nicht zuerst aus Papier gebaut hätten, können wir nicht sagen.

Trotzdem hier einige Tipps für kompliziertere Verwendungen:

1. Ionen- und Kristallgitter werden aus Oktaedern (8 Papierscheiben) gebaut. Sie werden in (rechten) Winkeln durch Holzspießchen (Strohhalme) zusammengesteckt.

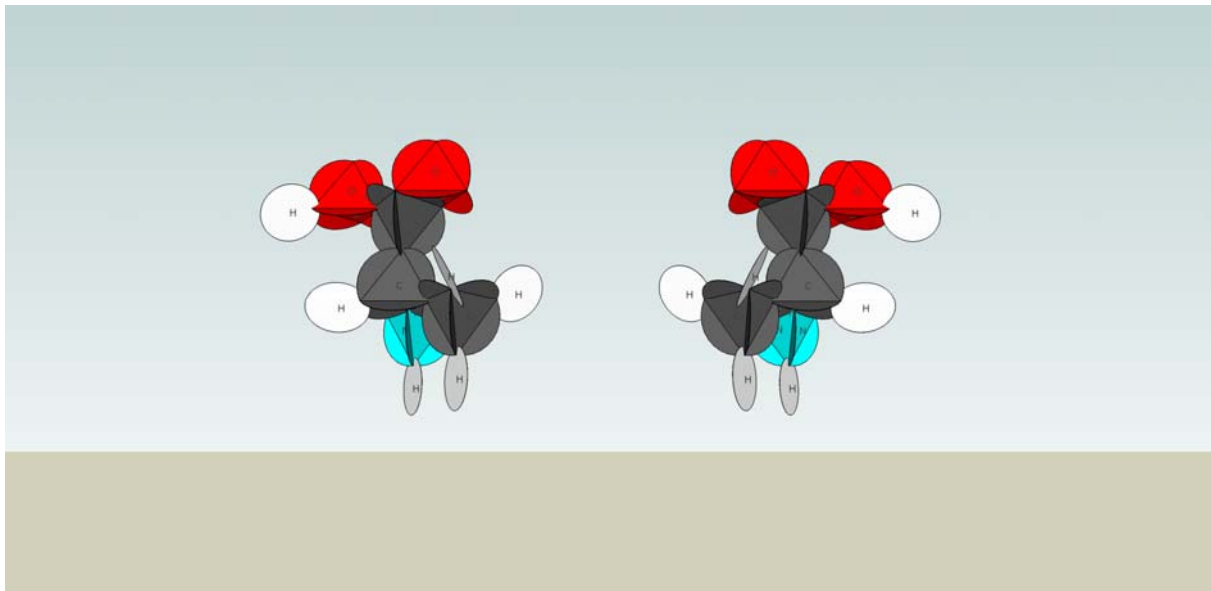
Hört man mit jeweils einem halben Oktaeder auf und fügt an den Seiten des Kristalles Spiegel an, ist die Illusion eines "unendlichen" Wachsens gegeben.

2. Verwendet man an Stellen, wo sich die Atome auf verschieden Art verbinden können, Zahnstocher und/oder Gummibändchen, dann lässt sich schneller eine "Mutation" zaubern.

3. Ionisierte Zustände lassen sich gut erkennbar mit roten Klebepunkten an den betroffenen Stellen anzeigen.

4. Unterschiedlich starke Bindungen kann man durch Einbau von z.B. Stäbchen oder Strohhalmen darstellen, auf denen die Atome weiter oder näher herangeschoben werden können.

5. Häufig zu Demonstrationszwecken zu lösende Verbindungen lassen sich am besten durch Ankleben von kleinen Knopfmagneten bauen. D. h. z..B. beim Sauerstoffatom des Wassermoleküls an zwei Eckpunkten ein Magnet, an den 2 Wasserstoffscheibchen je ein z.B. Beilagscheibchen und schon verbinden sich die Atome wie von selbst und nur an diesen Stellen. Zumindest der Chemiker sollte diesen Aufwand für ein Demonstrationsmodell treiben.



2 ANWENDUNGSBEISPIELE

2.1 Grundschule

Modelle in der Grundschule – den Kollegen entlockte diese Idee solche entmutigenden Statements wie „Viel Schaden wird man wahrscheinlich nicht anrichten!“. Auf Anregung des Vereins der Chemielehrer Österreichs findet seit Jahren eine Zusammenarbeit zwischen diversen Salzburger Volksschulen und dem Akademischen Gymnasium Salzburg statt.

Das Konzept baut auf 2 Säulen: eine experimentelle Lehr-Einheit wird begleitet von einer „Bastelstunde“.

Natürlich wird das Programm eingeleitet durch eine Begrüßung und durch eine Einführung von ca. 20 Minuten, die teilweise von Schülern des Gymnasiums gestaltet wird. Die Gymnasiasten spielen die Rolle von „Assistenten“. Sie sind mit dem Programm vertraut und instruieren die Volksschüler (im günstigsten Fall steht jedem Volksschüler je ein Gymnasiast zur Verfügung). Freilich steht die Aktivität der Volksschüler im Vordergrund! Für die Mittelschüler ist diese Assistentenrolle deshalb so wichtig, weil sie ihr eigenes Verständnis sehr genau überprüfen müssen.

Diese Einführung hat zunächst den Zweck, die Neugier zu wecken. Die Volksschüler werden als Naturdetektive angesprochen; denn das, was Detektive besonders gut können müssen, nämlich *kluge Fragen stellen und sinnvolle Antworten darauf finden*, das ist es auch, was wir mit unseren Experimenten machen. Wenn man übrigens dem Wort **Detektiv** auf den Grund geht, so stellt man fest, dass das lateinische Wort, von dem sich der Detektiv ableitet, *detegere, detexi, detectum*, auf Deutsch *aufdecken* heißt, *eine Decke wegziehen* oder *ein Geheimnis lüften*. Als Naturdetektive gehen wir also ans Werk. Das Zweite, das überlegt wird, ist die Geschichte von den griechischen Naturphilosophen – das sind die „Naturdetektive der Antike“. Ca. 2½ Jahrtausende ist es her, dass sie nachdachten über die Frage, ob die Materie aus kleinsten unteilbaren Teilchen bestünde. Hier kommt uns die schöne Erzählung zu Hilfe von Demokrit, der den Sandstrand einmal von der Ferne aus betrachtete – da sah der Strand ganz einheitlich aus (ähnlich wie ein Fels aus der Ferne), aber ganz aus der Nähe betrachtet, erkennt man die unzähligen kleinen Sandkörner. Demokrit nahm also an, dass jegliches *Material* aus unzähligen kleinen unteilbaren Teilchen besteht. Wenn man heute diese kleinen Teilchen, **Atome** genannt, bereits mit höchstkomplizierten Geräten sichtbar machen kann, so versuchen wir uns doch Modelle anzufertigen. In jeder Volksschulklasse werden im Werkunterricht Äpfel ausgeschnitten oder kleine Tiere gestrickt. Wenn man die Bitte äußert, es möge doch jemand in diesen „Apfel“ beißen, so wird sofort der Unterschied zwischen einem Modell und der Realität klar.

Für jede Schulstufe der Volksschule wurde ein Programm mit einem Thema zusammengestellt, entsprechend den 4 Elementen des Aristoteles. In der ersten Klasse werden diverse Experimente, allerdings ohne Modelle durchgeführt. Das Thema der 2.Klasse ist das „Wasser“, in der 3. Klasse geht es um die „Luft“, und für die 4.Klasse wurde als Thema „Feuer und Erde“ aufbereitet. Es wird jeweils eine Klasse in 2 Gruppen geteilt, die eine davon beginnt mit Experimenten, während die andere Modelle anfertigt, zum Thema passend, und nach ca. 40 – 50 Minuten wird gewechselt. In Zusammenhang mit dem Thema „Wasser“ werden Wassermoleküle gebastelt; die Drittklässler basteln diverse Modelle von Molekülen, die in der Luft vorkommen, und

die Großen unter den Volksschülern versuchen ein Natriumchlorid – Kristallgitter anzufertigen.

Dieses Programm wird in den beiden letzten Schulwochen präsentiert, und zwar jedes Jahr in denselben Klassen. Daher kann dieses naturwissenschaftliche Projekt so durchgeführt werden, dass jede der ausgewählten Klassen im Abstand je eines Jahres insgesamt 4 Mal betreut wird.

2.2 Unterstufe

Die Unterstufenschüler des Gymnasiums lernen die Modelle im Werkunterricht der 3.Klasse kennen. (Das ist zwar eine sehr angenehme, aber keine unbedingt notwendige Voraussetzung).

Es muss an dieser Stelle betont werden, dass wir nicht *Atommodelle* anfertigen, (solche Modelle müssten Atomkern und Orbitale enthalten), sondern **Modelle von Molekülen und Kristallgittern**. Es geht um die räumliche Anordnung der Atome und Ionen zueinander.

Im Zuge der Besprechung der chemischen Bindungen kommen die Modelle zur Anwendung.

2.2.1 Ionenbindung

Für die Einführung in die Theorie der Ionenbindung eignet sich die Anfertigung eines Natriumchlorid – Kristallgitters in besonderer Weise. Dazu wird von jedem Schüler ein „Oktaederbällchen“ angefertigt. Ein solches entsteht, wenn 6 Kreisscheiben zusammengeklebt werden, wie in der Einleitung beschrieben (einer ausgestanzten Kreisscheibe wird mit Hilfe einer Schablone ein gleichseitiges Dreieck eingeschrieben, die Kreissegmente umgebogen und 6 Kreisscheiben, die auf diese Weise vorbereitet wurden, an den Laschen zusammengeklebt, so dass ein Oktaeder entsteht; die Laschen stehen dabei nach außen, denn das erweckt den Eindruck einer Kugel.) Man verwendet dabei kleinere dunkelblaue Scheiben für die *Natrium-Ionen* und größere hellgrüne Scheiben für die *Chlorid-Ionen*. Schließlich werden die Ionen auf Holzspieße gesteckt. Schon bald ergibt sich ein 3-dimensionales Kristallgitter-Modell. Etwa lässt sich die Sprödigkeit ionischer Verbindungen mit Hilfe dieses Modells erklären, sowie der Begriff der Koordinationszahlen sehr anschaulich verdeutlichen. Wir haben zuletzt noch Spiegelflächen links und rechts dazu gefügt. Natürlich muss man am Rand „*halbe Oktaederbällchen*“ einfügen, damit die Symmetrie stimmt!

Die folgenden Statements von Schülern sind ein bemerkenswertes Zeichen, wie Schüler, die mit dem Modell arbeiten, anfangen, über diese Strukturen nachzudenken: „*Nach dem Herstellen eines Kristallgitter-Modells fragte ich nach einer Formel. NaCl schien uns nicht sehr treffend. Vorschlag von Navi: Man sollte es so machen wie in der Mathematik bei den unendlichen Dezimalzahlen, mit je einem Punkt über dem Na-Symbol und über dem Cl-Symbol.*“ Das wirklich Geniale an der Idee ist, dass man auf einen Blick sieht, ob es sich bei dieser Formel um ein Molekül oder um eine ionische Verbindung mit schier unendlich vielen Ionen in einem Ionengitter handelt. Ein paar Tage später in einer Parallelklasse: „*Der Vorschlag mit den Punkten wird einer Kritik unterzogen: diese Schreibweise sei doch nicht so genau, so der Einwand, weil unendliche Dezimalzahlen haben auf der linken Seite einen Anfang, auf der rechten Seite seien sie tatsächlich unbegrenzt; ein Ionenkristall hingegen habe links und rechts Grenzen.*“

2.2.2 Atombindung

In ganz besonderer Weise eignet sich die Anfertigung von Modellen für die Theorie der Atombindung. Wir arbeiten jetzt immer mit „**Tetraederbällchen**“. Die „**Atome**“ des Kohlenstoffs sind dunkelgrau, Sauerstoff ist wie international üblich rot, Stickstoff hellblau, Chlor seinem Namen entsprechend hellgrün, etc. Nur die **Wasserstoffatome** sind kleine weiße Kreisscheiben, nicht zusammengeklebt, sondern jedes Wasserstoffatom eine weiße Kreisscheibe ($d = 2,5 \text{ cm}$). Um diese an ein anderes Atom anfügen zu können, bekommt sie einen kleinen Einschnitt (ca. $1/2 \text{ cm}$ lang). 2 Wasserstoffatome ineinander gesteckt lassen uns erahnen, wie Molekülorbitale aus Atomorbitalen entstehen.

Die tetraedrisch geformten „**Atome**“ erhalten nun **Valenzelektronen**. Mit einem Feinliner zeichnen wir in die Ecken der Tetraeder die Elektronen oder Elektronenpaare. Da in jeder Ecke drei Kreise zusammenstoßen, wird das entsprechende Elektron/Elektronenpaar natürlich auf alle 3 Kreisscheiben gezeichnet (denn wir wollen es ja von allen Seiten sehen!). Wenn die Schüler ein Tetraederbällchen in der Hand haben, bereitet es normalerweise keine Schwierigkeiten, die Valenzelektronen richtig einzuzeichnen. Allerdings sollte man nicht den Fehler machen, die Valenzelektronen auf die Kreise zu zeichnen, bevor man sie zusammengeklebt hat. An dieser Stelle verstehen die Schüler die Bedeutung der Stellung der Elemente im Periodensystem, und zugleich auch die Bedeutung der Valenzelektronen für die Bindungen. Nun werden „**Moleküle**“ gebaut.

Wenn der Auftrag erteilt wird, die **Wasserstoffverbindungen** der Elemente Kohlenstoff, Stickstoff, Sauerstoff und Fluor zu erstellen, so gelingt es allen Schülern, die richtige Zusammensetzung zu finden (Modellbau und Formel!). Nun tritt auch der große Vorteil gegenüber den Plastilin- oder anderen Kügelchen zutage: automatisch ergeben sich die richtigen räumlichen Strukturen der Moleküle, wenn man die Wasserstoffatome in die Ecken der entsprechenden Tetraederbällchen klebt. Das Wassermolekül wird ein gewinkeltes Molekül, anders geht es gar nicht. Diese Tatsache ist, - jeder Chemiker und Biologe weiß das, - ganz ungeheuer wichtig für das Leben auf der Erde, hängen doch der hohe Schmelz- und Siedepunkt sowie die Anomalie des Wassers damit zusammen.

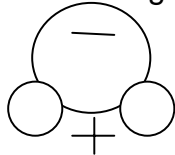
In weiterer Folge werden Atome der **Elemente der 2. Periode** zusammengefügt. Hier lernen die Schüler die **Einfach- und Mehrfachbindungen** kennen. Um 2 Fluor- oder 2 Sauerstoffatome zusammenzufügen, muss je eine Ecke präpariert werden: durch 3 kleine Einschnitte in der Ecke entsteht eine schmale Kerbe; jetzt können die 2 Tetraederbällchen ineinandergesteckt werden, und zwar dort, wo die Kerbe ist. Das Fluormolekül, das Sauerstoff- und das Ozonmolekül entstehen so.

Eine **Doppelbindung** wird dargestellt, indem 2 „**Atome**“ entlang einer Kante zusammengefügt werden (verschiedene Möglichkeiten). Man beachte, dass etwa beim Kohlendioxidmolekül wieder ganz von selbst (dh. es geht gar nicht anders) die richtige gestreckte Molekülgeometrie entsteht. Für die **Dreifachbindung** kleben wir zwei Flächen zusammen, dh. 3 Eckpunkte sind da einbezogen.

2.2.3 Wasser und Luft

Oben wurde beschrieben, wie die Modelle die Bindungstheorien auflockern, begreifbar und verständlich machen können. An dieser Stelle wird aufgezeigt, dass der Einsatz lohnend ist bei unseren Überlegungen zu den Themen Wasser und Luft.

Eines der „Paradeexperimente“ ist die **Elektrolyse des Wassers** und anschließend die Knallgasprobe. V. Obendrauf entwickelte eine Methode, dieses Experiment so zu gestalten, dass es von Schülern selbst durchgeführt werden kann. Was aber spielt sich auf molekularer Ebene ab bei diesen Reaktionen? Alle Chemie – Lehrbücher, die mir bekannt sind, veranschaulichen mit Abbildungen von Modellen die Reaktionsgleichung $2 \text{H}_2\text{O} \longrightarrow 2 \text{H}_2 + \text{O}_2$. Diese Reaktionsgleichung mit allen ihren Symbolen, Zahlen und Indices kann durch Modelle *begreifbar* werden. Das Wassermolekül als elektrischer Dipol lässt sich verifizieren, wenn man Partialladungen einzeichnet. Damit kann die Hydratation ionischer Verbindungen im Wasser sehr anschaulich mit Hilfe von Modellen dargestellt werden.



Zum Thema **Luft** soll angemerkt werden, dass die Zusammensetzung der Luft sehr deutlich präsentiert wird, wenn das Thema mit Modellen aufbereitet wird. Dazu sollen etwa 4/5 der Schüler einer Klasse je ein Stickstoffmolekül, 1/5 der Klasse je ein Sauerstoffmolekül anfertigen; je ein Flotter wird gebeten, zusätzlich noch ein Edelgasatom, bzw. ein CO_2 -, H_2O - und ein Ozon – Molekül anzufertigen. Es wird auch schon daran gearbeitet, eine Vitrine zu gestalten, die die Zerstörung des Ozons durch die FCKW mit einigen Reaktionsabläufen darstellt.

Durch die unterschiedlichen Farben der „*Tetraederbällchen*“ lassen sich diverse Gase, die zu den Luftverschmutzungen zählen, sehr eindrucksvoll zeigen.

2.2.4 Kristallgitter

Es ist nicht immer ganz leicht für Schüler, zu verstehen, dass bei allen Arten der chemischen Bindungen Kristallgitter auftreten. Wir bauen solche Kristallgitter: ein Natriumchlorid-Kristallgitter für die Ionenbindung und ein Diamantgitter bei der Atombindung. Metallgitter mit den hohen Koordinationszahlen sind noch im Entstehen. Es fällt auf, dass jene Schüler, die beim Bau eines Diamantgitters mitgewirkt haben, dieses auch mit bemerkenswerter Richtigkeit in ihr Heft zeichnen können. Im Vergleich dazu wird das Grafitgitter skizziert. Die unterschiedlichen Gitter und die verschiedenen Koordinationszahlen sind verantwortlich für die extrem unterschiedlichen Eigenschaften dieser beiden Stoffe, die ja beide nur aus Kohlenstoff bestehen – ein Phänomen, das doch sehr erstaunlich ist.

2.3 Oberstufe

Selbstverständlich wird die Anfertigung dieser Modelle den Unterstufenschülern überlassen. Für die Schüler der **7.Klasse/11. Schulstufe** werden die Modelle aus unseren Schaukästen geholt. Das trifft vor allem für die Kristallgitter zu.

Da Oberstufenschüler doch ein viel diffizileres Atommodell begreifen sollen, können unsere Papiermodelle eher begrenzt eingesetzt werden. Allerdings leisten sie auch hier das, wofür sie besonders geeignet sind: sie geben die richtige Molekülgeometrie bzw. die Geometrie des Kristallgitters wieder. An der Stelle, wo die Struktur entscheidend ist für die Eigenschaften eines Stoffes, (ich denke da besonders an die Wasserstoffverbindungen der Elemente der 2. Periode, sowie an das Kristallgitter von Diamant), regen die Modelle an zum selbständigen Denken.

In der **8.Klasse/12.** Schulstufe sind die Einsatzmöglichkeiten doch in wesentlich größerem Ausmaß gegeben. Wir verwenden wieder *Kohlenstoffmodelle bzw. Tetraederbällchen*, die in der Unterstufe angefertigt werden. Sie dienen zunächst, um diverse Arten der **Isomerie** zu erfassen. So lassen sich unterschiedliche Strukturen der Alkane bauen – damit erklärt sich die Struktur-Isomerie; wenn man weiters ein Chloratom dazu nimmt, kann man sehr einprägsam das Phänomen der Cis-Trans-Isomerie verdeutlichen. Auch lässt sich sofort erkennen, warum die zuletzt genannte Art der Isomerie nur in Zusammenhang mit Doppelbindungen auftritt.

Wie oben erwähnt haben wir auch Möglichkeiten gefunden, Einfach- und Mehrfachbindungen unterschiedlich anzufertigen. Alkane, Alkene und Alkine lassen sich auf diese Weise sofort erkennen.

Die Farben wiederum ermöglichen uns eine viel einprägsamere Darstellung von Heteroatomen (damit sind zunächst Sauerstoff und Stickstoff) als die Formeln. Die Sauerstoffverbindungen mit den leuchtend roten Sauerstoffatomen sowie die blauen Stickstoffatome – diese Farben entsprechen den international verwendeten Standards, lassen sich ganz leicht erlernen. Im Plan ist, dass alle 20 (21) Aminosäuren nachgebaut werden. Auch für den **Benzolring** wurde eine Möglichkeit gefunden, die Orbitale für die delokalisierten Pi-Elektronen zu modellieren.

Weiters lassen sich die asymmetrischen Kohlenstoffatome gut erkennen und Modelle der links- bzw. rechtsdrehenden Milchsäure anfertigen. In diesem Fall werden die Kohlenstoffatome durch einen elastischen Faden verknüpft. Dadurch wird die freie Drehbarkeit an einer Einfachbindung dargestellt. So stellt man das Phänomen der **Chiralität** fest, dh. dass es von der Milchsäure (oder auch von einer einfachen Aminosäure) ein *Bild und ein Spiegelbild* gibt.

In der 8. Klasse gibt es, wie gezeigt wurde, sehr viele Möglichkeiten des Einsatzes. Dass Schüler nach der Verwendung dieser Modelle ein deutlich höheres Verständnis haben als vorher, konnte in folgender Weise überprüft werden: Einige Fragen zum Thema Isomerie wurden auf einem Arbeitsblatt niedergeschrieben. Zunächst war dieses Thema nur mit Formeln behandelt. Die Fragen sollten vor und nach der Verwendung von Modellen beantwortet werden. Eine Steigerung der richtigen Antworten um mehr als 50 % zeigte die Notwendigkeit der Verwendung von Modellen.

Es soll noch einmal ausdrücklich festgehalten werden: Alle diese Erkenntnisse lassen sich auch mit den herkömmlichen Molekülbaukästen gewinnen. Der große Vorteil dieser Modelle ist, dass **jeder Schüler** sie in die Hand bekommt und zu Hause selbst anfertigen kann.

3 EVALUIERUNG

Es wurde eine Schülerbefragung durchgeführt in Zusammenhang mit der Verwendung der Modelle in den 4. Klassen. Ein Fragenkatalog, erstellt von Prof. Michael Anton von der Universität München, bildete die Grundlage. Im Folgenden werden die Statements (gekürzt) und die Zustimmung (ausgewertet) wiedergegeben.

Das Interesse der Schüler am Chemieunterricht ist ziemlich groß.

Die von der Lehrkraft gezeigten Versuche finden viel Zustimmung, aber die von Schülern selbst durchgeführten Versuche begeistern noch mehr; wenn Schüler jedoch die Chance haben, die Versuche jüngeren Schülern zu zeigen, ist der Eindruck besonders nachhaltig.

Die Auswertung der Versuche auf mündlicher Basis ist sehr anregend, die Verschriftlichung weniger. Einige wollen ganz genau wissen, wie sich das Gesehene erklären lässt.

Nur ganz wenige beschäftigen sich gerne mit der chemischen Theorie.

Der Unterschied zwischen Atomen und Molekülen ist den meisten Schülern klar.

Mit dem Periodensystem der Elemente kennt sich ein Großteil der Schüler aus.

In der Unterstufe können die meisten Schüler mit Vorstellungen vom Aufbau der Atome bzw. mit Atommodellen erstaunlich viel anfangen, allerdings die Zuordnung zu Namen wie Dalton, Rutherford bzw. Bohr gelingt kaum. Computersimulierte Modelle sind für viele Schüler nützlich.

Da die wenigsten Schüler Kugel–Stab-Modelle in die Hand bekommen, lässt sich eine Vorliebe für das eine oder andere System von Modellen nicht evaluieren.

Große Zustimmung findet die These, dass man sich mit dem Papiermodell Verbindungen vorstellen kann, die man wegen ihrer Kleinheit nicht direkt betrachten kann,

Ob sich das Papiermodell bequem erstellen lässt, hängt ab von der Beschaffenheit des vorbereiteten Materials.

Mit anderen Modellen würden etliche Schüler lieber arbeiten.

Das Erstellen von Computersimulationen wird im Informatik–Unterricht eingebaut.

Die Verwendung der Sketch Up–Programme in Zusammenhang mit den CPM–Modellen gelingt bereits den Schülern der 3.Klasse im Werkunterricht. Es trifft auf keinen einzigen Schüler zu, dass er keine Modelle braucht, um sich den atomaren bzw. molekularen Aufbau von Stoffen vorstellen zu können. Den Übergang von Modellen zur Wirklichkeit und zurück finden Schüler selbst einfach (größtenteils), jedoch stellt sich die Frage, wie die Bewältigung dieses Übergangs getestet werden kann.

„Ich finde, dass die Theorie zu einem Experiment äußerst wichtig ist“, wurde zunächst von vielen Schülern verneint. Im Anschluss an die Befragung überlegte ein Schüler folgendes: Jene Fernsehsendungen, bei welchen die Zaubertricks „entlarvt“ werden (die Theorie zu einem chemischen Experiment geht in die Richtung), haben besonders hohe Zuschauerzahlen.

4 RESÜMEE

Wir fragen uns immer wieder, warum bisher noch keine anderer Chemielehrer, oder im Falle des Akademischen Gymnasiums der Chemie unterrichtenden Biologielehrer im Laufe der letzten 2 bis 3 Jahre „aufgesprungen“ ist. Von manchen Kollegen außerhalb der Schule haben wir auf direktes Ansprechen nicht einmal eine Reaktion.

Hätten wir nicht einerseits von den Schüler/innen und Schülern aus allen Schulstufen jenes für erfahrene Lehrer unmittelbar an den Gesichtern ablesbare „Ja, ich habe verstanden“, „Ach so geht das!“ usw. müssten wir eigentlich am Projekt zweifeln.

Wie schon mehrmals erwähnt, ist der Zuspruch von Prof. Anton und seinen Mitarbeiter/innen ganz entscheidend für unser Weitermachen.

Zwischen der Basis (Schüler) und der Fachdidaktik (Universität) liegt das Feld der Schulpraxis.

Den Lehrer/innen wollen viele Lehrmittelanbieter zur Hand gehen mit diversen Angeboten von Molekülbaukästen. In diesen Baukästen steckt viel Denkarbeit und Entwicklungsgeld. Wenn man annehmen kann, dass diese Firmen nicht leichtfertig Geld ausgeben, und die Chemiker und Designer der Baukästen sich viel gedacht haben, dann liegen wir schon deshalb nicht falsch?!

Erklärungsgrund für das Zögern könnte sein, dass die Chemielehrer/innen gar keinen organisatorischen Weg sehen, die mit dem Molekülbau verbundenen „Materialschlachten“ zu bewerkstelligen. Der Werklehrer/innen, die Lehrer/in für textiles Gestalten haben jeweils nur kleine Gruppen zu organisieren und müssen immer handwerkliche Abläufe überblicken. D.h. Material herbeischaffen, einteilen, deponieren und, nicht zuletzt, Ergebnisse beurteilen.

Der Chemieunterricht müsste wie der Werkunterricht zu einem zumindest teilweise „handwerklichen“ Unterricht transformiert werden.

In halbierten Klassen mit geeigneten Arbeitsplätzen sieht die Situation schon ganz anders aus.

Klassen mit 30 Schülern, noch dazu in einem unruhigen Alter, in auf Frontalunterricht ausgelegten Räumen mit minimalen Schreibflächen,

mutet man sich eine „Bautätigkeit“ im Umfang der CPM vielleicht nicht zu?

Insofern steckt in diesem Projekt nicht nur die Aufforderung nach mehr

modellhafter Vorstellung sondern auch die Vision eines Chemieunterrichtes der praktischen Handhabung, wie er sonst nur in Wahlpflichtfächern und Pluskursen stattfinden kann.

Dann aber sind viele, potentiell interessierte Schüler bereits von der geballten Ladung unanschaulicher „mathematischer“ Chemie verschreckt.

Wenn also in diesem Fall (CPM) gefragt wird, wie kann ich beweisen (messen!), ob der Schüler nach dem Anfertigen des z.B. Wassermoleküls nachher mehr vom Wasser versteht, dann ist zurück zu fragen, was er verstanden hat, wenn er die Formel H_2O aufschreiben kann.

Das eine wie das andere ist notwendig.

Resümieren wir vielleicht mit unserem Goethe? Begriffe ohne Anschauung sind leer, Anschauung ohne Begriff ist blind.

LITERATUR

ALTRICHTER, H. & POSCH, P. (1998). Lehrer erforschen ihren Unterricht. Eine Einführung in die Methoden der Aktionsforschung. Dritte erw. Aufl. Bad Heilbrunn: Klinkhardt.

ATKIN, M. & BLACK, P. (1997). Policy Perils of International Comparisons - The TIMSS Case. Phi Delta Kappan, Vol. 79 (1), September 1997, 22-28.

FULLAN, M. (1993). Change Forces. Probing the Depths of Educational Reform. London, New York & Philadelphia: Falmer Press.

KÜHNELT, H. (2002). Physikalische Grundbildung – eine Annäherung in Beispielen. In: Krainer, K., Dörfler, W., Jungwirt, H., Kühnelt, H., Rauch, F., Stern, Th. (Hrsg.). Lernen im Aufbruch: Mathematik und Naturwissenschaften. Pilotprojekt IMST². Innsbruck, Wien, München, Bozen: StudienVerlag.

Sonstige Quellen:

IFF (Hrsg.) (2001). Endbericht zum Projekt IMST² – Innovations in Mathematics, Science and Technology Teaching. Pilotjahr 2000/01. Klagenfurt : Im Auftrag des BMBWK. IFF.