

**Erkenntnisgewinn durch Modellexperimente im
Chemieunterricht**

Diplomarbeit

zur Erlangung des akademischen Grades
einer Magistra der Naturwissenschaften

an der Naturwissenschaftlichen Fakultät
der Karl-Franzens-Universität Graz

vorgelegt von

Adam Nadine Elena

Am Institut für Chemie

Begutachterin: Mag.^a Dr.ⁱⁿ Helga Voglhuber

Graz, 2014

Ehrenerklärung

Ich erkläre hiermit an Eides statt durch meine eigenhändige Unterschrift, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel verwendet habe. Alle Stellen die wörtlich oder inhaltlich den angegebenen Quellen entnommen wurden, sind als solche kenntlich gemacht.

Unterschrift:

Datum:

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei jenen Menschen und Institutionen bedanken, die mich während des Schreibens an dieser Diplomarbeit unterstützt haben.

Zuerst möchte ich mich bei meiner Betreuerin Frau Dr. Helga Voglhuber bedanken. Durch ihr Engagement konnte ich mich bei Schwierigkeiten immer an sie wenden und ihre Begeisterung für mein Thema half mir oft, meine Motivation aufrecht zu erhalten.

Der Bildungseinrichtung BG/BRG Lerchenfeldstraße möchte ich für die Möglichkeit der Nutzung des Labors danken.

Ein großes Anliegen ist es mir auch, mich bei meiner Familie zu bedanken. Sie hat mich nicht nur während des Schreibens an dieser Arbeit unterstützt, sondern stärkte mir während des gesamten Studiums den Rücken.

Ein besonderer Dank geht auch an meine gute Freundin und Kollegin Ines Mader, die meine Arbeit mit ihrer Kritik und guten Ideen in vielerlei Hinsicht bereichert hat.

Zuletzt danke ich allen Freunden/innen und Kollegen/innen, die mir durch ihre Anregungen und Hilfestellungen durch schwierigere Phasen während des Schreibprozesses geholfen haben.

Inhaltsverzeichnis

EHRENERKLÄRUNG	2
DANKSAGUNG	3
INHALTSVERZEICHNIS	4
ZUSAMMENFASSUNG	6
ABSTRACT	7
1. EINLEITUNG	8
2. THEORETISCHER TEIL	11
2.1. Modelle und Modellexperimente: ein Versuch der Begriffsdefinition	11
2.2. Arten von Modellen- eine Betrachtung der Einteilung	17
2.2.1. Einteilung in Denkmodelle und Anschauungsmodelle	18
2.3. Grundvoraussetzungen für den Erkenntnisgewinn- Analogiedenken und Reduktion auf „das Wesentliche“	29
2.4. Modellexperimente als Methode im Unterricht	34
2.4.1. Unterrichten mit Konzepten	34
2.4.2. Schüler/innen zentrierter, forschender Unterricht	35
2.4.3. Unterrichtsphasen mit Modellexperimenten	37
2.4.4. Die Rolle des/der Lehrenden	40
2.5. Grenzen der Modelle und Modellexperimente	42
2.5.1. Die Beziehung zwischen Modell und Realität	43
2.5.2. Adressatengerecht?	45
2.5.3. Fachgerecht?	48
2.5.4. Ein umstrittenes Modellexperiment	54

2.6. Didaktische Grundsätze: Förderung von Kompetenzen durch Modellexperimente	55
2.7. Modellaufgaben und Modellexperimente	59
3. SCHULPRAKTISCHER TEIL	63
3.1. Modellexperiment zum chemischen Gleichgewicht	64
3.1.1. Lehrerblatt – Modellexperiment 1	66
3.2. Modellexperiment zum Durchtritt von Teilchen durch eine Membran	73
3.2.1. Lehrerblatt – Modellexperiment 2	75
3.3. Resorption von Arzneistoffen	82
3.3.1. Lehrerblatt – Modellexperiment 3	82
4. FAZIT	91
LITERATURVERZEICHNIS	93
WEBVERZEICHNIS	101
ABBILDUNGSVERZEICHNIS	102
APPENDIX	104
Schülerblatt - Modellexperiment 1	104
Schülerblatt - Modellexperiment 2	108
Schülerblatt - Modellexperiment 3	110

Zusammenfassung

Modellexperimente haben im Chemieunterricht einen positiven Effekt auf den Erkenntnisgewinn der Schüler/innen, da sie der Chemie die Abstraktheit und Komplexität nehmen. Chemische Prozesse und naturwissenschaftliche Phänomene können durch geeignete Modellexperimente veranschaulicht werden und darauf aufbauend den Erwerb von Kompetenzen und einer naturwissenschaftlichen Denkweise fördern. Da Modelle und Modellexperimente immer eine vereinfachte Darstellung eines Originals repräsentieren, hat jedes Modellexperiment auch Grenzen, die wiederum eine Möglichkeit zur Reflektion und Diskussion über das Modellexperiment und das Original selbst zulassen. Durch das Herausarbeiten der Unterschiede zwischen Modell und Wirklichkeit ist eine adäquatere Beschreibung des Originals möglich. Somit können die vermeintlichen Schwächen der Modellexperimente genutzt werden, um den Erkenntnisgewinn zu fördern. Basierend auf diesen positiven Aspekten von Modellexperimenten wurde eine Unterrichtssequenz mit drei Modellexperimenten erstellt (ein Gedankenexperiment und zwei Anschauungsmodelle). Das Ziel dabei ist, dass die Schüler/innen Fähigkeiten im Umgang mit chemischen Denkmodellen erwerben, um zu einem Erkenntnisgewinn zu gelangen. Dazu wurden Ausschnitte von biochemischen Prinzipien unter Berücksichtigung der Erfahrungswelt der Schüler/innen ausgewählt.

Abstract

Model experiments have a positive effect on the acquisition of knowledge in chemistry lessons since they take away the abstraction and complexity of chemical phenomena. Chemical processes and natural scientific phenomena are made visible by using selected models and model experiments. Thus, they enhance the understanding of chemical processes and contribute to the development of a natural scientific way of thinking. Since models and model experiments always depict a simplified version of the reality, they all have restrictions which have to be reflected and therefore, provide a deeper understanding of the model and the reality. Working out the differences between the model and the reality allows better conclusions and explanations of the original. Therefore, the alleged weaknesses of models and model experiments can be used to benefit the acquisition of competences and scientific rationale. Based on the positive aspects of scientific models a teaching session with three model experiments was conducted. The aim was to provide a tool to enhance the students' way of using cognitive models and furthermore, to acquire deeper understanding of natural scientific understanding. Therefore, biochemical principles close to the students' experiences were used.

1. Einleitung

„Das Unterrichtsfach Chemie wird ambivalent bewertet: Obwohl die Wichtigkeit von Chemieunterricht [...] von Schülern nicht bestritten wird, zählt es für sie zu den unbeliebtesten Unterrichtsfächern und dieser Trend ist schon seit vielen Jahren zu beobachten. Im Meinungsbild der Öffentlichkeit besitzen Naturwissenschaft und Technik das Image des Schwierigen, Langweiligen oder gar Gefährlichen. Bedenkt man, dass mühseliges und als schwer und lästig empfundenenes Lernen zu einem geringen Stellenwert des jeweiligen Kontexts führt und verbindet diese Überlegungen mit der Tatsache, dass der Chemieunterricht beispielsweise im Zuge der Einführung der Teilchenebene bereits Abstraktionsleistungen fordert, erschließt sich die Unbeliebtheit des Unterrichtsfach Chemie“ [1, S.38].

Guter und moderner naturwissenschaftlicher Unterricht baut unter anderem darauf auf, den lebenspraktischen Nutzen der Naturwissenschaften zu erklären und die persönlichen Erfahrungen der Schüler/innen mit einzubeziehen. Im neuen Lehrplan wird der Erwerb von Kompetenzen gefordert, das Aneignen von bloßem Fachwissen tritt in den Hintergrund. Um dies zu gewährleisten stellen Modellexperimente ein wichtiges Standbein für den naturwissenschaftlichen Unterricht dar. Im traditionellen Chemieunterricht haben Schüler/innen oft Schwierigkeiten die abstrakten und komplexen Sachverhalte der Chemie zu verstehen. Mit der Hilfe von Modellexperimente wird die Abstraktion naturwissenschaftlicher Phänomene anschaulich gemacht und ein Bezug zur Lebenswelt der Lernenden gewährleistet.

Des Weiteren konnte in den letzten Jahren ein Wandel in den Anforderungskriterien sowohl für Schüler/innen, als auch Lehrenden beobachtet werden. Das Erlangen von umfangreichen Kompetenzen hat das Aneignen von bloßem Fachwissen abgelöst. Dementsprechend muss auch der naturwissenschaftliche Unterricht verändert werden. Modellexperimente bieten auch in dieser Hinsicht eine gute Möglichkeit, nicht nur den Erkenntnisgewinn, sondern auch den Erwerb der geforderten Kompetenzen zu fördern.

Das Unterrichten mit und an Modellen stellt zwar keinen neuen Ansatz im Chemieunterricht, die modifizierten Anforderungen im Chemieunterricht führen aber zur Entwicklung neuer Zugänge bei der Arbeit mit Modellen und vor allem mit Modellexperimenten. Genau hier setzt diese Diplomarbeit an, denn das Ziel dieser Arbeit ist es, den Chemieunterricht durch Modellexperimente zu veranschaulichen und somit einen Erkenntnisgewinn zu fördern, der in weiterer Folge zulässt, dass die Lernenden naturwissenschaftliche Phänomene beurteilen, bewerten und dementsprechend argumentieren können. Der erfolgreiche Erkenntnisgewinn wird als Basis für weiteren Wissenserwerb und Wissensorganisation der Lernenden angenommen. Somit setzt sich diese Arbeit zum Ziel, genau herauszuarbeiten, welche Anforderungen von Lehrenden und Lernenden erfüllt werden müssen und welche Voraussetzungen ein gutes Modellexperiment mitzubringen hat, damit es zu einem erfolgreichen Erkenntnisgewinn kommen kann.

Die vorliegende Arbeit gliedert sich in zwei Teile: Beginnend bei der Begriffsdefinition für Modelle und Modellexperimente, wird im ersten Teil eine theoretische Einführung in das Thema angeführt. Welche Arten von Modellen und Modellexperimenten gibt es? Welche Grenzen haben diese Modelle/Modellexperimente? Was ist ein gutes Modell/Modellexperiment und wie kann man dieses eigentlich beurteilen? Wie fördern sie den Erkenntnisgewinn? Welche Rolle spielt dabei die Lehrperson? Was sind die Grundvoraussetzungen für einen erfolgreichen Unterricht mit Modellexperimenten? Haben Modellexperimente im modernen naturwissenschaftlichen Unterricht ihre Berechtigung?

Im zweiten Teil dieser Arbeit werden Modellexperimente zum Thema „Veranschaulichung biochemischer Prozesse“ vorgestellt. Die Biochemie stellt laut österreichischem Lehrplan in der 8. Klasse einen wesentlichen Bereich des Chemieunterrichts dar. Biochemische Themen werden zudem auch oft in Wahlpflichtfächern und Projekten ausgewählt. Obwohl Schüler/innen einen persönlichen Bezug zur Biochemie haben und sie somit interessant und spannend finden, sind biochemische Prozesse für die Schüler/innen aufgrund ihrer Abstraktheit und Komplexität schwer zu verstehen. Aus diesem Grund wurden Modellexperimente zur Biochemie ausgewählt, da sie ein Bindeglied zwischen den

Erfahrungen der Schüler/innen und den nicht unmittelbar wahrnehmbaren Phänomenen der Biochemie darstellen.

Durch die vorliegende Diplomarbeit kann gezeigt werden, dass ausgewählte Modellexperimente im modernen Chemieunterricht unabdingbar sind, da sie einen wesentlichen Beitrag zum Erkenntnisgewinn, zum Wissenserwerb und zur Entwicklung von geforderten Kompetenzen leisten. Durch die Kontextualisierung der Inhalte der Chemie und im Besonderen der Biochemie, mit den Erfahrungswelten der Schüler/innen kann der Chemie außerdem die Abstraktheit und die Komplexität genommen werden. Modellexperimente können auf diese Weise den Erkenntnisgewinn beeinflussen und so als Hilfsmittel für einen Imagewandel des Chemieunterrichts sorgen.

2. Theoretischer Teil

2.1. Modelle und Modellexperimente: ein Versuch der Begriffsdefinition

Sucht man in der Literatur nach einer genauen Definition für den Modellbegriff, so findet man, wie der Titel dieses Kapitels bereits verrät, eine Vielzahl von sich zum Teil nicht überschneidenden Erklärungen. Erschwerend kommt noch hinzu, dass der Begriff „Modell“ umgangssprachlich und in der Wissenschaft meist unterschiedlich verwendet wird. Abhängig vom Gesichtspunkt, unter dem man den Modellbegriff verwendet, finden sich daher viele unterschiedliche Definitionen [2; S.3]. In der vorliegenden Arbeit wird der Modellbegriff mit dem Erkenntnisgewinn im naturwissenschaftlichen, genauer im Chemieunterricht, betrachtet. Keller beschreibt somit in seinem 1977 erschienen Buch „Denken in Modellen“ das Modell wie folgt: „Modell im technisch-wissenschaftlichen Bereich ist eine nach Einengung und Simulation der Realität zum Zwecke der Erkenntnisgewinnung erstellte Abbildung der Realität“ [2, S.4]. Diese Definition impliziert, dass ein Modell eine nicht- vollständige Abbildung dessen ist, was man ansonsten nicht beobachten bzw. wahrnehmen kann. Ein Modell enthält also Eigenschaften eines Originals, stellt dabei aber keinen Anspruch auf die Vollständigkeit aller Eigenschaften. Das ist wesentlich, da in unserem Fall ein Modell bzw. ein Modellexperiment eine didaktische Funktion erfüllen muss und somit die Eigenschaften auf das Wesentliche reduziert werden sollen. Aufgrund der Komplexität naturwissenschaftlicher Phänomene bedient sich die Wissenschaft an Denkmodellen, reduzierte Abbildungen eines realen Sachverhalts bei dem „ausgehend von bestimmten Annahmen ein ‚fokussiertes‘ Bild des untersuchten Objekts oder der untersuchten Zusammenhänge entwickelt [wird], wobei nur bestimmte, ausgewählte Merkmale betrachtet werden“ [4, S.88]. Aus der Wissenschaft übernommen, ist der Modellbegriff auch im Chemieunterricht nichts Neues, da Modelldenken ein wesentlicher Aspekt der naturwissenschaftlichen Arbeitsmethode darstellt. Atommodelle, Strukturmodelle und Bindungsmodelle sind den Schüler/innen bereits bekannt und werden immer im Chemieunterricht eingesetzt, um submikroskopische Begriffe aus der Chemie vorstellbar zu machen. Das Modell wird also herangezogen, um einen Vergleich

zu einem Original herzustellen. Des Weiteren beschreibt Eschenhagen et al., dass „Modelle vereinfachte Darstellungen von Originalen sind, die vor allem aus denökonomischen Gründen gebildet werden“ [3]. Modelle werden also entwickelt, um bestimmte naturwissenschaftliche Phänomene zu interpretieren, zu verstehen, bestimmte Eigenschaften sichtbar zu machen sowie Hypothesen zu verifizieren bzw. zu falsifizieren [4, S.88]. Diese sogenannten Anschauungsmodelle repräsentieren das Original, haben aber wesentliche Unterschiede in Bezug auf das Original, da ansonsten keine vereinfachte Darstellung der Realität möglich wäre. „Bei der naturwissenschaftlichen Modellbildung werden also nur bestimmte, ‚wesentliche‘ Eigenschaften abgebildet. Diese strukturelle Reduktion ermöglicht ein Verständnis, indem der Blick mit dem Modell auf das Wesentliche gelenkt wird und Zusammenhänge erschlossen werden“ [4, S.88].

Diese Fokussierung auf wesentliche Eigenschaften und der damit einhergehenden Veranschaulichung gilt in weiterer Folge auch für Modellexperimente. Ähnlich wie bei der Definition des Modellbegriffs, findet man auch für den Modellexperimentbegriff verschiedene Definitionsansätze, ausgehend davon, ob der Schwerpunkt auf dem Modellbegriff oder dem Experimentbegriff gelegt wird. Somit ergeben sich zwei, in ihren Zielen unterscheidende, Definitionsansätze [5, S.3].

Die erste Definition setzt ihren Fokus auf das Experimentieren. Neuhauser (1975) bezeichnet das Modellexperiment als Prozess, bei dem eine „*experimentelle Untersuchung des Originals an einem materiellen Modell*“ erfolgt [6, S.538-]. „*Dazu gehören auch die an einem Modell durchgeführten Operationen sowie die im Modell demonstrierten Prozesse und Gesetzmäßigkeiten*“ [5, S.3]. Dies bedeutet, dass man immer dann von einem Modellexperiment spricht, wenn man an einem Modell experimentiert. Das Ziel dabei ist der Erkenntnisgewinn und nicht die reine Veranschaulichung, Darstellung, Repräsentation oder Vereinfachung eines Prozesses oder Sachverhalts. Zusammengefasst beschreibt Sommer, dass das Modellexperiment aufgefasst wird, „*als ein Experiment mit und an gegenständlichen Modellen*“ [5, S.3].

Der zweite Definitionsansatz stellt den Begriff „Modell“ in den Vordergrund, um so eine vereinfachte Darstellung von Prozessen und Vorgängen zu erreichen. Meist geht es dabei um Vorgänge, die sonst nicht beobachtbar wären [5, S.3]. So

beschreibt Kotter das Modellexperiment als ein „modellmäßiges“ Hilfsmittel, um nicht beobachtbare Objekte und Naturerscheinungen zu vergrößern und „*sinnlich unmittelbar wahrnehmbare Analogievorgänge*“ darzustellen. Ein Modellexperiment will nicht beobachtbare Objekte und Erscheinungen der Natur in vergrößerten, sinnlich unmittelbar wahrnehmbaren Analogievorgängen 'modellmäßig' darstellen [7, S.95]. Das bedeutet, dass das Experiment selbst ein Modell darstellt, „*eben ein Modellexperiment mit Modellcharakter*“ [5, S.3].

Dieser Unterschied wird deutlich, betrachtet man das Experimentieren mit einem Molekülbaukasten. Bei der Arbeit mit dem Baukasten steht die Erkenntnisgewinnung über Strukturen und Bindungen und in weiterer Folge, mit den daraus resultierenden Eigenschaften eines Moleküls, mit Hilfe eines anschaulichen Modells im Vordergrund. Somit handelt es sich um ein Modellexperiment gemäß des ersten Definitionsansatzes, es wird mit und an einem Modell experimentiert, mit dem Ziel einer Erkenntnisgewinnung. Es werden dabei aber keine wirklichkeitsechten Vorgänge oder Prozesse abgebildet, das Experiment selbst ist kein Modell, also stellt es kein Modellexperiment im Sinne Kotters dar. „*Ein Modellversuch ist [...] aber kein Versuch an Modellen, etwa mit und an Atomkalotten*“ [7, S. 95]. Unterstützt wird diese Definition weitgehend auch von Becker [9, S.423], der das Modellexperiment als Abbildung und Simulation von Prozessen beschreibt und Modellexperimente in makroskopische und subatomare Prozesse bzw. Phänomene unterteilt:

„Die Experimente beschreiben meist das chemische Prinzip, andere ahmen auch technische Äußerlichkeiten nach, bilden also die Wirklichkeit zumindest angenähert ab [...]. Prinzipiell werden mikroskopische Vorgänge über makroskopische Prozesse oder Vorstellungen erklärt bzw. erfahrbar gemacht.“ [9, S.423].

Der Bezug zur Realität muss selbstverständlich wieder erkennbar sein, auch wenn dieser auf verschiedenen Ebenen gegeben sein kann.

Um in der Vielzahl von Definitionen einen Überblick zu behalten, soll nun ein kurzes Resümee gezogen werden. In der Literatur werden Modellexperimente meist entsprechend des zweiten Definitionsansatzes verstanden. Ein Experiment oder das praktische Arbeiten an einem Modell werden demnach weitgehend nicht

als Modellexperiment gesehen. Das Ziel eines Modellexperiments ist nicht nur der reine Erkenntnisgewinn, sondern das Veranschaulichen von Prozessen und Phänomenen, die ohne zur Hilfenahme von Modellen, aus vielerlei Gründen (Größe, Aufwand, Kosten, Gefahrenpotenzial etc.) nicht wahrnehmbar wären.

Die Grenzen dieser Definitionen erweisen sich als fließend, weshalb es nach Sommer durchaus Sinn macht, alle Definitionsansätze zu berücksichtigen und das Modellexperiment wie folgt einzugrenzen:

„Das Experimentieren mit und an Modellen sowie Versuche, die einen Sachverhalt, also das Original, selbst modellieren, gehören zu den Modellexperimenten“ [5, S.3].

Diese Definition scheint jedoch sehr weitreichend zu sein, die bei einer didaktischen Untersuchung von Modellexperimenten zu Schwierigkeiten führen kann. Es empfiehlt sich deshalb, Modellexperimente anhand bestimmter Kriterien einzuteilen. Auf die verschiedenen Arten von Modellen und Modellexperimenten wird an späterer Stelle in dieser Arbeit noch eingegangen.

Was jedoch alle Ansätze eint, ist der Bezug zu einem „Zielbereich“, einer Theorie, einem Prozess, der ohne die Veranschaulichung durch ein Modell oder Modellexperiment nicht wahrnehmbar wäre. Hätten Modelle und Modellexperimente diesen Bezug zu einem Zielbereich nicht, wären sie bloße Abbildungen, die weder den Erkenntnisgewinn (Ziel der ersten Definition) noch die sinnlich wahrnehmbare Veranschaulichung von Prozessen, Phänomenen und Gesetzmäßigkeiten (Ziel der zweiten Definition) fördern. Dieser Bezug zu einem Original stellt ein wesentliches Kriterium dar, um Modellexperimente zu identifizieren. Des Weiteren ist die *„Modellierung des Zielbereichs wesentlich, um die Beziehung zwischen Original und Modell bzw. Modellexperiment zu veranschaulichen“ [5, S.5].*

Diese Differenzierung ist ein entscheidender Punkt, um ein Modellexperiment von einem konventionellen Experiment zu unterscheiden. Geht es „nur“ um den Erkenntnisgewinn anhand eines Modells, drängt sich die Frage auf, weshalb ein Modellexperiment im Unterricht einem konventionellen Experiment vorgezogen werden sollte, denn auch das konventionelle Experiment verfolgt im Chemieunterricht genau dasselbe Ziel. Werden Modelle im Unterricht eingesetzt,

genügt eine kurze Begründung aus dem Buch von Günther Keller, in dem er schreibt, dass „[...] der Umgang mit Modellen zu den wesentlichen Denkweisen der Chemie gehört“ [2, S.17]. Deshalb sollen die Schüler/innen verstehen, dass z.B. das Schema „ $\text{Fe} + \text{S} \rightarrow \text{FeS}$ “ modellhaft für eine real stattfindende Reaktion verwendet wird („metallisches Eisen und kristalliner Schwefel ergeben beim Vorliegen einer bestimmten Aktivierungsenergie kristallisches Eisen (III)-sulfid und Wärme“ [2, S.16]).

Etwas komplizierter verhält es sich bei den Modellexperimenten. Ein Beispiel soll die Problematik der verschiedenen Definitionen (s.o.) und die dadurch resultierende Schwierigkeit bei der Differenzierung eines Modellexperiments von einem konventionellen Experiment verdeutlichen:

Der Blue Bottle Versuch (eine reversible Redox-Reaktion zwischen Glucose, Sauerstoff und dem Farbstoff Methylenblau) ist ein beliebter Demonstrationsversuch, um das Zusammenspiel von Oxidation- und Reduktionsprozessen zu verdeutlichen. Auch wenn dieser für Schüler/innen eindrucksvolle Versuch die Fähigkeit naturwissenschaftliche Überlegungen anzustellen fördert, hat er doch keinen direkten Zusammenhang zur Erfahrungswelt der Schüler/innen. Den Lernenden wird nicht klar sein, dass der Versuch ein Modell für Redox-Prozesse sein könnte, wie sie z.B. im Körper durch biochemische Stoffumwandlungen vorkommen (z.B. Wasserstofftransfer bei der Atmungskettenphosphorylierung) [10]. Es wird lediglich versucht, die Abstraktheit der Elektronenübertragung durch den Farbumschlag, blau- farblos- blau, zu visualisieren und zu erklären. Ein Erkenntnisgewinn über Redoxreaktionen kann stattfinden, ein Erkenntnisgewinn über biochemische Prozesse im Körper bleibt jedoch aus. Die Simulation von realen Prozessen ist für die Schüler/innen nicht erkennbar. Gemäß der Definition von Knoll, dass Modellexperimente mit den Sinnen wahrnehmbare Analogievorgänge darstellen [7, S.95], kann der Blue Bottle Versuch also nicht als Modellexperiment eingeordnet werden, da zwar die Redoxreaktion sichtbar gemacht wird, die realen Prozesse im Körper jedoch nicht. Das heißt, dass gemäß der oben angeführten Definitionen der Blue Bottle Versuch zwar als Grundlage für eine Konzeptionierung eines Modellexperiments dienen kann, aber selbst nicht als Modellexperiment bezeichnet werden darf. Auch die oben erwähnte „Modellierung des Zielbereichs, [...] um die Beziehung zwischen

Original und Modell bzw. Modellexperiment zu veranschaulichen“ ist demnach beim Blue Bottle Versuch nicht gewährleistet [5, S.5]. Offensichtlich anders verhält es sich z.B. bei der Simulation eines Hochofenprozesses bei dem die Analogie zum Original offensichtlich ist (Gewinnung von Roheisen aus der Dose [11, S. 26]).

Zusammengefasst bedeutet dies, dass der Zielbereich und die Absicht eines Modellexperiments, die Analogie zu einem Original herzustellen, ein wesentliches Kriterium ist, ein Experiment als Modellexperiment zu kategorisieren.

An dieser Stelle sollen noch einmal die wesentlichen Facetten des Modell- und Modellexperimentbegriffs erläutert und die damit einhergehenden grundsätzlichen Prinzipien eines Modellexperiments grafisch dargestellt werden. Stachowiak hat dazu eingehende empirische Studien verfasst (1965) und seine Ergebnisse in Kürze wie folgt beschrieben:

- *Abbildungsmerkmal:* „Modelle sind stets Modelle von etwas, nämlich Abbildungen und damit Repräsentationen gewisser natürlicher oder künstlicher Originale.“
- *Verkürzungsmerkmal:* „Modelle erfassen nicht alle Eigenschaften des durch sie repräsentierten Originalsystems, sondern nur solche, die den jeweiligen Modellerschaffern und- benutzern relevant erscheinen.“
- *Subjektivierungsmerkmal:* „Modelle erfüllen ihre Repräsentations- und Ersetzungsfunktion immer nur für bestimmte Subjekte unter Einschränkung auf bestimmte gedankliche oder tatsächliche Operationen und innerhalb bestimmter Zeitspannen.“ [12, S. 432].

Modelle sind demnach nicht nur ein Resultat der wissenschaftlichen Arbeitsmethode, sondern dienen zum Zwecke des Erkenntnisgewinns, auch als Methode selbst [13, S.33].

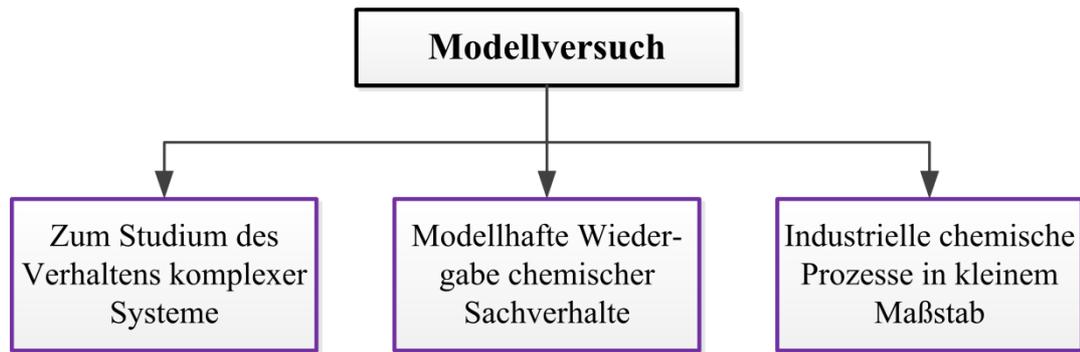


Abbildung 1. verändert nach [14] aus [27, S.5]

2.2. Arten von Modellen- eine Betrachtung der Einteilung

Wie schon in Kapitel 2.1 dieser Arbeit beschrieben wurde, stellen Modelle im Chemieunterricht vereinfachte, auf bestimmte Eigenschaften reduzierte, Interpretationen von Naturwissenschaftlichen Phänomenen und Prozessen dar, die zum Zwecke des Erkenntnisgewinns und der Veranschaulichung eingesetzt werden. Der Bezug zu einem Original muss dabei immer gegeben sein. Modelle existieren aber nicht als Solche. Abbildungen von Originalen werden unter bestimmten Überlegungen modelliert, konzipiert und angefertigt. Je nach Betrachtung oder Relevanz werden unterschiedliche Facetten eines Originals herausgearbeitet. Ähnlich der folgenden Abbildung, bei der man abhängig von der Betrachtungsweise eine Ente oder einen Hasen sieht, findet auch bei Modellen und Modellexperimenten eine Fokussierung statt.

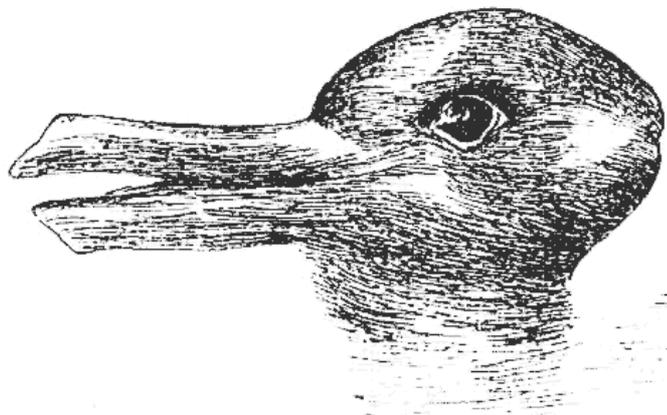


Abbildung 2. Kippfigur- Illustration von Joseph Jastrow

Im Folgenden sollen nun die verschiedenen Arten von Modellen und die Kriterien besprochen werden, wie man sie für weitere didaktische Überlegungen einteilen kann.

2.2.1. Einteilung in Denkmodelle und Anschauungsmodelle

Günther Keller klassifiziert Typen von Modellen nach der Absicht ihrer Modellbildung, ihrem Verwendungszweck [2, S.3-]. In der vorliegenden Arbeit erweist sich diese Einteilung jedoch als unzureichend, da das Ziel der Arbeit mit Modellen und Modellexperimenten der Erkenntnisgewinn ist und somit keine sinnvolle weitere Unterscheidung möglich wäre. Es empfiehlt sich daher, Modelle grundsätzlich in zwei Kategorien einzuteilen; die Unterscheidung in abstrakte *Denkmodelle* sowie *Anschauungsmodelle* stellt dabei eine erste, grobe Orientierung dar. Steinbuchs (1977) Beschreibung von Modellen geht einher mit den bereits besprochenen Definitionen, geht dabei aber noch einen Schritt weiter:

„Irgendein komplexer Sachverhalt der Realität, ein Original, wird durch Vermittlung der Wahrnehmung in ein abstraktes Modell, ein Denkmodell abgebildet, in dem nur das ‚Wesentliche‘ benutzt wird, das im gegebenen Zusammenhang Relevante. Diesem werden hierzu gewisse Informationen, zum Beispiel allgemein anerkannte Gesetze der Logik oder Physik hinzugefügt. Es steht damit dem Bewusstsein ein Denkmodell für zukünftige Denkprozesse zur Verfügung. Dieses abstrakte Denkmodell kann zwecks Veranschaulichung in die Realität zurückprojiziert werden durch den Bau eines konkreten Anschauungsmodells oder auch durch künstlerische Darstellung. Diese enthalten aber unvermeidbar irrelevantes Beiwerk, also solches, das das darzustellende Denkmodell nicht enthält“ [15 zitiert nach 13, S. 137].

Abstrakte Denkmodelle stellen nicht nur in den Naturwissenschaften eine grundlegende Methode dar, sondern werden auch schon seit langem im Chemieunterricht als Mittel eingesetzt, die Abstraktion der chemischen Phänomene zu veranschaulichen. So genannte *historische Modelle* helfen den Schüler/innen den Aufbau der Atome zu verstehen. Beginnend beim Kern- Hülle Modell von Rutherford (1911), das Schalenmodell oder Zwiebelschalenmodell nach Bohr (1913) sowie das VSEPR (Elektronenwolkenabstoßungsmodell) von Gillespie und Kimball (1966) wird versucht, das Atom und die darin enthaltenen

Komponenten mit den dazugehörigen Eigenschaften in chronologischer Reihenfolge zu erklären. In fast jedem Schulbuch (besonders für die Oberstufe) finden sich Beschreibungen dieser Modelle. Des Weiteren kennt man im Chemieunterricht Modelle zur chemischen Bindung, die die Richtung (gerichtet oder ungerichtet) oder die Art der Bindungskräfte (kovalent, ionisch oder metallisch) veranschaulichen sollen. Aber auch Modelle zur chemischen Struktur (z.B. Gitterstrukturen von Metallen, Ionen oder Molekülen) bzw. zur chemischen Reaktion, welche meist durch Reaktionssymbole ausgedrückt werden, sind im Chemieunterricht bekannt [16, S.142-3].

Betrachtet man den Aufbau eines Schulbuches für Chemie, erkennt man, dass der Einstiegsunterricht meist mit der Stofflehre oder mit dem Atombau beginnt. Die folgende Grafik beschreibt die Abfolge von Theorie- und Modellvorstellungen zum Atombau.

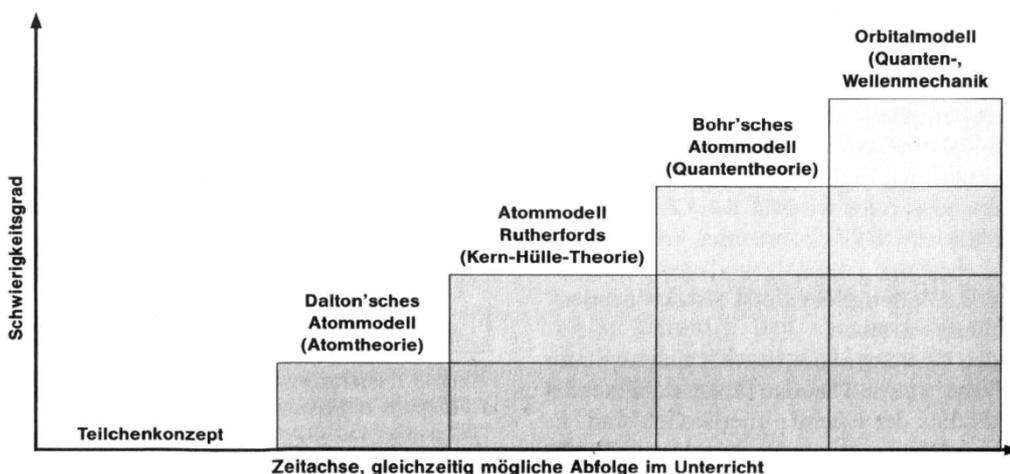


Abbildung 3. [10, S.44]

Das bedeutet, die Schüler/innen kommen bereits in einem sehr frühen Stadium ihrer Chemieausbildung mit den oben genannten abstrakten Denkmodellen in Berührung. Quantenmechanische Überlegungen ohne fundiertes, fachwissenschaftliches (mathematisch, chemisch und/oder physikalisch) Vorwissen stellen die Schüler/innen gerade am Beginn des Chemieunterrichts vor große Herausforderungen und führen deshalb oft zu Motivationsverlust und Frust, wenn über Orbitale, Schalen und Welle- Teilchen Dualismus gesprochen wird. Barke und Harsch (2001) schreiben dazu:

“Im Bereich der Naturphänomene haben Schüler und Schülerinnen bereits viele Erfahrungen gesammelt, dieser Bereich ist anschaulich für sie. Deshalb mögen sie auch meist den Anfangsunterricht in den Fächern Biologie, Chemie Geografie und Physik: Sie bleiben im vertrauten Bereich der direkten Anschauung und der erfahrbaren Phänomene. Sobald im Chemieunterricht Formeln und Reaktionssymbole behandelt werden, lässt das Interesse an der Chemie nach: das Fach wird unanschaulich und deshalb schwer verstehbar. Ein Grund ist, dass Formeln und Gleichungen zu den abstrakten Denkmodellen gehören.“ [16, S.145]

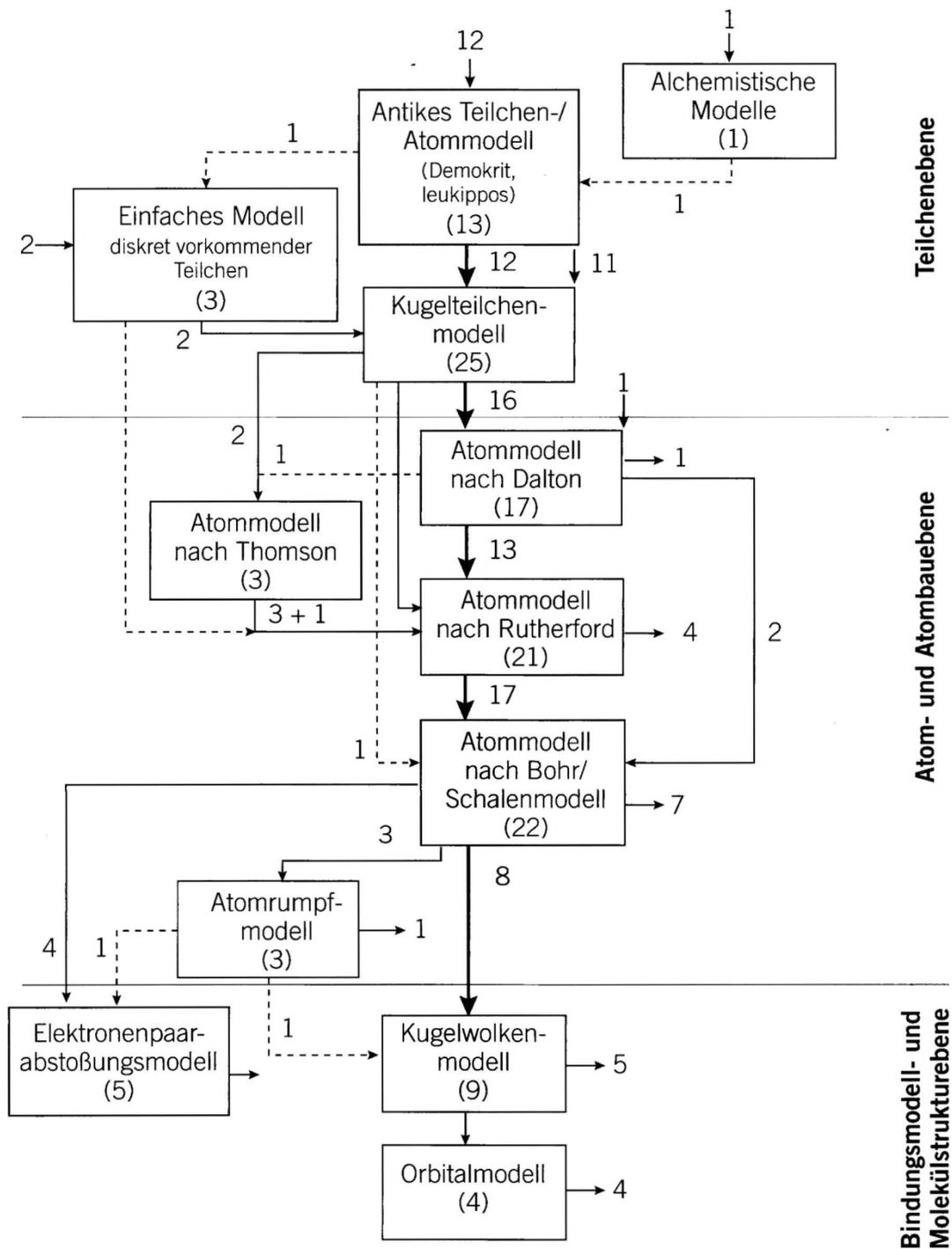


Abbildung 4. klassischer Unterrichtsweg [17, S.10]

Bindernagel et. al (2009) haben im Rahmen einer Studie Lehrkräfte befragt, auf welchem Weg die Teilchenebene bis hin zu Atom- und Bindungstheorie, im Unterricht erarbeitet werden. In Abbildung 4 wird der klassische Weg zu Teilchen und Atomen über die Modelle dargestellt, in der Reihenfolge, wie sie von den meisten Lehrenden unterrichtet werden. 27 von 28 Lehrpersonen gaben an, dass

der favorisierte Unterrichtsweg dem oben Beschriebenen entspricht, da es „*der historische Weg der Entwicklung der Chemie gewesen sei und sich daher auch der Chemieunterricht so gestalten solle*“ [17, S.11]. Eine Alternative zum ganz „klassischen Weg“ stellt der Weg über Konzepte dar, über Systeme und deren Komponenten, wie sie z.B. von Born (2004) im „Sprung zu dem Atomen“ gefordert wird. Deshalb macht es durchaus Sinn, aufgrund des Alltagsbezugs, der Anschaulichkeit der chemischen Phänomene und die dahinterstehenden Konzepte das Modellexperiment im Chemieunterricht in allen Schulstufen zu einem essentiellen Teil des Unterrichts werden zu lassen.

Die vorangegangenen Ausführungen sollen anhand eines Beispiels verdeutlicht werden. Der Chemieunterricht kennt vor allem mathematische Denkmodelle, z.B. Formeln und Gleichungen. Für Schüler/innen machen diese Denkmodelle den Unterrichtsstoff aber nicht wesentlich greifbarer, denn es handelt sich dabei immer noch um zwar vereinfachte, jedoch abstrakte Modelle. Dass diese Denkmodelle vereinfachte Darstellungen der Realität sind, wird anhand des Modells für ideale Gase erkennbar. Bei der mathematischen Betrachtung von Gasen geht man vom ‚idealen Gas‘ aus, d.h. das Eigenvolumen der Teilchen und der molekularen Wechselwirkung der Teilchen untereinander werden vernachlässigt. Dementsprechend vereinfacht sieht die mathematische Formel für ein ‚ideales Gas‘ aus, mit der es dennoch möglich ist, ausreichend genaue Informationen über thermodynamische Prozesse von Gasen zu erhalten, wobei man auf die Vereinfachung des mathematischen Modells von a nach b nicht vergessen darf und den Schüler/innen klar sein muss, dass es sich bei b nur um eine vereinfachte Beschreibung des Verhaltens handelt.

a)
$$\left(p + \frac{a}{V^2}\right) * (V - b) = RT$$

b)
$$p * V = n * R * T$$

Während mathematische und bildliche Modelle (Grafiken, Zeichnungen, Molekülschreibweisen) im Chemieunterricht permanente Anwendung finden, da sie eben aus den Erkenntnissen der Wissenschaft übernommen werden, liegt es

oft an der Lehrperson gegenständliche Denkmodelle wie z.B. Modellbausätze, Modelle von Kristallgittern etc. einzusetzen.

Das wirft natürlich die Frage auf, warum solche Modelle im Chemieunterricht (besonders im Einstiegsunterricht) besprochen werden, verfehlen sie doch ihr Ziel: Nämlich, wie in Kapitel 2.1 bereits besprochen wurde, chemische Phänomene (makroskopisch oder subatomar) zu veranschaulichen und so einen Erkenntnisgewinn zu fördern. Zum Problem der Abstraktion kommt in weiterer Folge auch die zum Teil willkürliche Festsetzung der chemischen Formelsprache. Betrachten wir das in Kapitel 2.1 genannte Beispiel „ $\text{Fe} + \text{S} \rightarrow \text{FeS}$ “, so muss man feststellen, dass nach didaktischer Aufarbeitung den Schüler/innen klar werden kann, was diese Reaktionsgleichung ausdrücken soll. Die Bedeutung von Pfeilen, Plussymbolen und Buchstaben für Elemente (Moleküle oder Atome) stellt aber keine offensichtliche Verbindung zum tatsächlich ablaufenden Prozess dar. Das heißt, dass ein Erkenntnisgewinn, besonders auf selbstständiger und forschender Arbeitsweise durch diese abstrakten Denkmodelle nicht gewährleistet ist. Es sollte nun angemerkt werden, dass bei der Arbeit mit diesen Denkmodellen auf eine durchdachte, sinnvolle Reihenfolge geachtet werden muss. Es finden sich in der Literatur kritische Stimmen, die die Anwendung von Teilchen und Strukturmodellen im Chemieunterricht in Frage stellen. [19, 20, 21, 22, 23] Man erkennt also, dass der Einsatz von Modellen im Unterricht durchaus mit Problemen verbunden ist, auf diese wird in einem späteren Kapitel noch genauer eingegangen. Max Born (2004) versucht deshalb, die Sinnhaftigkeit von Modellen auf eine andere Art zu verstehen, nämlich mit dem Verstehen der Zusammenhänge in den Naturwissenschaften im Fokus:

“[...] wir versuchen auch nicht, Verstehen mit Modellen herbeizuführen. Im Gegenteil: Wir verzichten auf Erklärungen durch Modelle und geben den Modellen einen anderen Stellenwert. (Wir verzichten nicht auf sie). Letztlich streben wir stattdessen ein Verstehen durch Aufzeigen von Zusammenhängen an.“ [18, S.14].

Das Modell wird also als „Erkenntnisvermittler“ zwischen Original und Schüler/innen gesehen. Eine Sonderstellung im Unterricht nehmen dabei sprachliche Modelle ein. Diese so genannten sprachlichen Denkmodelle sind im Chemieunterricht unerlässlich, da sie die Abstraktheit der chemischen Phänomene nimmt und so gewährleistet, dass die Schüler/innen eine chemische Fachsprache

entwickeln, auch wenn aus fachlicher Sicht Fehler oder Ungenauigkeiten kommuniziert werden können. „Aus einem Alkohol und einer Säure entstehen Wasser und ein Ester“ oder „aus einem Alkoholmolekül und einem Säuremolekül bilden sich ein Ester- und ein Wassermolekül“, „molekulares Teilchensieben“ (vgl. 3.2.).

Von den abstrakten Denkmodellen zu unterscheiden sind die *Anschauungsmodelle*. Barke und Harsch (2001) schreiben dazu folgendes:

„Meist arbeitet man in der Chemie mit abstrakten Denkmodellen. Sobald es gewünscht ist, werden aus didaktischen Gründen passende Anschauungsmodelle entwickelt: Beispielsweise lassen sich hinsichtlich vieler Denkmodelle zur chemischen Struktur konkrete Anschauungsmodelle bauen, Molekül- und Kristallgitterstrukturen.“ [16, S.142].

Hier sei der Einsatz von Molekülbaukästen zu erwähnen, mit deren Hilfe Kristallgitterstrukturen und Molekülstrukturen visualisiert werden sollten. Das gegenständliche Modell bietet den Schüler/innen den Vorteil, dass es an Abstraktheit, im Gegensatz zu den oben genannten Denkmodellen, verliert. Der didaktische Wert solcher gegenständlichen Modelle ist unbestritten.

Kalotten-, Kugel- sowie Stabmodelle sollen helfen, Molekülstrukturen zu verstehen. (Die Grenzen dieser Modelle werden an späterer Stelle in dieser Arbeit besprochen).

Aufgrund der oben genannten Ausführungen scheint es aus didaktischer Sicht wenig sinnvoll, abstrakte Denkmodelle ohne zur Hilfenahme von Anschauungsmodellen im Unterricht zu verwenden, da die oben genannten Denkmodelle auf abstrakte Begriffe aufgebaut sind und das Denkmodell so, in seiner didaktischen Funktion nicht alleine wirken kann. Was beide Typen jedoch eint ist, dass durch neue Erkenntnisse sowohl das abstrakte Gedankenmodell wie auch das Anschauungsmodell verändert werden und somit als dynamisch eingestuft werden sollten. Des Weiteren herrscht zwischen den beiden Modellarten ein unvermeidbares Zusammenspiel, das wie folgt beschrieben werden kann. Anni Heitzmann (2010) beschreibt zusammenfassend das Zusammenspiel zwischen Denk- und Anschauungsmodell wie folgt:

„Die Wissenschaft ist deshalb gezwungen, mit Modellvorstellungen, sogenannten Denkmodellen, zu arbeiten. Dabei wird die Komplexität der Naturerscheinung oder eines originalen Sachverhalts reduziert. Es wird ausgehend von bestimmten Annahmen ein ‹fokussiertes› Bild der untersuchten Zusammenhänge entwickelt, wobei nur bestimmte, ausgewählte Merkmale betrachtet werden. Denkmodelle sind also ein Abbild eines Teilbereichs der Wirklichkeit, sie bilden reale Systeme ab oder repräsentieren sie. Diese Denkmodelle können zur besseren Veranschaulichung wieder in Realmodelle ‹übersetzt› werden, sie zeigen dann das Modell in einer gegenständlichen Realität als Anschauungsmodell. Anschauungsmodelle repräsentieren zwar das Original, aber sie unterscheiden sich von ihm in wesentlichen Eigenschaften, z.B. im Material, in der Dimension, der Abstraktion dem Zeitakt (Zeitraffung bzw. Zeitlupe), der Zweckgebundenheit und der Annahme theoretischer Parameter“ [4, S.88].

Verdeutlicht wird dieser Zusammenhang in der folgenden Grafik.

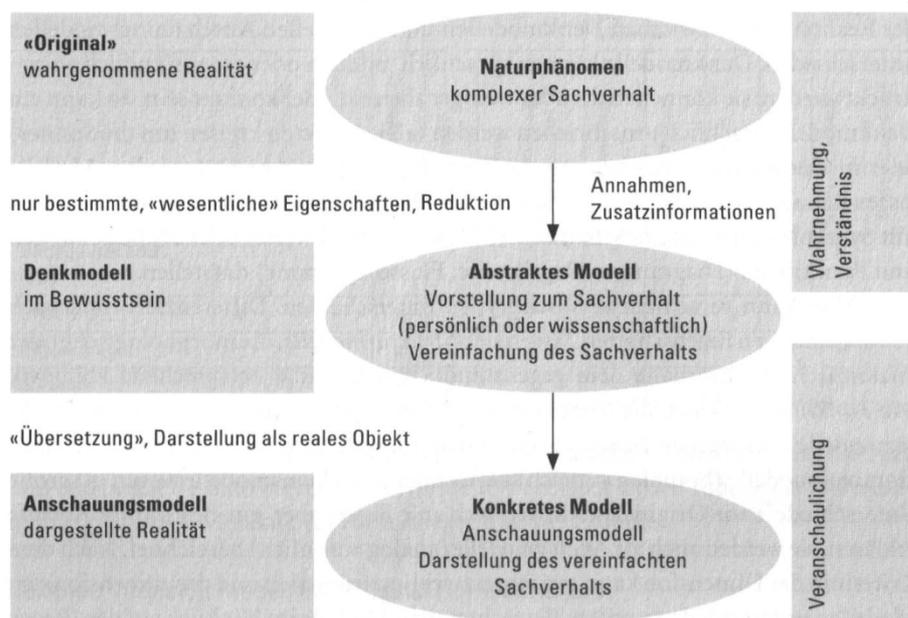


Abbildung 5. verändert nach [15 zitiert nach 4, S.88]

Wie eingangs besprochen wurde, ist ein Modellexperiment nach Sommer das „*Experiment selbst ein Modell, eben ein Modellexperiment mit Modellcharakter*“ [5, S.3]. Dementsprechend macht es durchaus Sinn, auch ein Modellexperiment als Anschauungsmodell einzustufen. Da sich diese Arbeit

vorrangig mit dem Erkenntnisgewinn durch Modellexperimente beschäftigt, soll im folgenden Abschnitt näher auf verschiedene Kriterien eingegangen werden, um Modellexperimente einzuteilen [4, S.88], wobei diese Klassifizierung in Relation zum Original zu setzen ist. (In einem späteren Kapitel werden einzelne, ausgewählte Modellexperimente auf diese Einteilung hin analysiert und diskutiert).

1.) Klassifizierung entsprechend der *abgebildeten Eigenschaften* in Bezug auf das Original:

Für die Didaktisierung chemischer Phänomene, Prozesse bzw. Strukturen von besonderer Bedeutung sind:

- Funktionsmodelle (Analogmodelle)
- Konstruktmodelle
- Strukturmodelle (Homologmodelle)

Je nachdem, welche Eigenschaften des Originals abgebildet werden, können die Modellexperimente entsprechend den drei genannten Typen zugeordnet werden. Strukturmodelle bilden demnach „*morphologisch oder anatomische Sachverhalte dem gegenständlichen Original nach*“ [4, S.90]. Sie sind in ihrer Grundstruktur dem Original sehr ähnlich (im Rahmen des Möglichen nachgebaut) und werden somit auch Homologmodelle genannt. Ein Beispiel hierfür wäre ein Modell einer Kristallstruktur oder einer DNA Doppelhelix.

Funktionsmodelle bilden demnach Prozesse und Vorgänge eines Originals ab. Sie können sich in vielen Eigenschaften (Größe, Material, Zeitakt, etc.) unterscheiden. Entscheidend ist einzig, dass bestimmte Abläufe erklärt werden können. Heitzmann (2010) nennt als einfachstes Beispiel hierfür einen Papierflieger [4, S.90].

Konstruktmodelle „[...] *entsprechen nicht einem gegenständlichen Original, sondern einem theoretischen Konstrukt*“ [4, S.90]. Als Beispiele hierfür werden an anderer Stelle Modellexperimente, die das chemische Gleichgewicht erklären sollen, diskutiert.

2.) Einteilung entsprechend des Zwecks des Erkenntnisprozesses:

- Lehr-/ Lernmodell
- Forschungsmodell

Werden anhand eines Modells bzw. eines Modellexperiments Erklärungen geliefert, die den Lernfortschritt vorantreiben sollen, dann spricht man von einem Lehr-/Lernmodell. Eine besonders wichtige Rolle spielt dabei die Lehrperson, die durch didaktische Aufarbeitung vor, während und nach der Arbeit mit/an dem Modell diesen Lernfortschritt fördern soll. Im Kontrast dazu steht das Forschungsmodell, bei dem der/die Schülerin die ausgewählten Eigenschaften entdecken, Schlüsse ziehen und somit, unter hilfestellender Führung der Lehrperson, selbst den Erkenntnisgewinn vorantreiben soll.

Für die vorliegende Arbeit sind die zwei bereits beschriebenen Einteilungen von besonders großem Stellenwert, da sie unmittelbar mit dem Erkenntnisgewinn im Chemieunterricht in Verbindung zu bringen sind. Aus Gründen der Vollständigkeit, wird aber auf die anderen, teilweise veränderten, Einteilungskriterien nach Heitzmann [4] nicht verzichtet.

3.) Realität, Denkmodell- Anschauungsmodell

„[Wir haben] Modelle als vereinfachte kognitive oder gegenständliche Abbildungen eines Teilbereichs der Wirklichkeit kennengelernt, anhand des Kriteriums der Realität wurde zwischen Denkmodellen und Anschauungsmodellen unterschieden. Denkmodelle können sprachlich, bildlich oder gegenständlich ausgedrückt werden, sie können mehr oder weniger abstrakt oder konkret sein. So kann ein Denkmodell sprachlich umschrieben werden (Die Planeten kreisen um die Sonne) oder in eine abstrakte mathematische Formel ($E=mc^2$) [...], mit einer Zeichnung (Elektronenwolke) oder als Beziehung und Funktionen (Diagramme) darstellen“ [4, S. 90].

4.) Dimension:

Bildliche Modelle (2D) werden hier räumlichen Modellen (3D) gegenübergestellt. Diese Einteilung erweist sich aber als sehr grob und es empfiehlt sich, diese bei der didaktischen Analyse nur als Hilfskriterium zu verwenden.

5.) Veränderbarkeit:

Auch das Kriterium der Veränderbarkeit (dynamisch oder statisch) spielt für den Erkenntnisgewinn selbst eine untergeordnete Rolle. Dieses Kriterium ist dann wichtig zu berücksichtigen, wenn man Modelle entwickelt bzw. weiterentwickelt.

Die folgende Grafik (Abb. 6), soll einen Überblick über die bereits besprochenen Einteilungen und Arten von Modellexperimenten geben!

Strukturmodelle sind nicht Teil der Grafik, denn das Experimentieren, Arbeiten an einem Modell wird nicht als Modellexperiment eingestuft (siehe Kapitel 2.1).

Am Ende dieses Kapitels sei noch einmal angemerkt, dass die Einteilung von Modellexperimenten auf Basis verschiedener Zugänge getroffen werden kann. In dieser Arbeit steht der Erkenntnisgewinn im Chemieunterricht im Vordergrund, deshalb wurde die oben beschriebene Einteilung dementsprechend auf Basis ihrer Funktion zu wählen. Außerdem fokussieren Modellexperimente auf bestimmte, ausgewählte Eigenschaften eines Originals, die es gilt den Schüler/innen zu vermitteln bzw. entdecken zu lassen. Es versteht sich von selbst, dass ausgehend von verschiedensten Gesichtspunkten (Kosten, Material, verschiedenen methodischen bzw. didaktischen Ausgangspunkten etc.) unterschiedliche Klassifizierungen gemacht werden können und dementsprechend in der Literatur auch andere Einteilungen zu finden sind. Des Weiteren soll noch einmal unterstrichen werden, dass ein Modellexperiment nicht nur einer Kategorie zugeordnet werden kann/soll und die Grenzen oft fließend verlaufen.

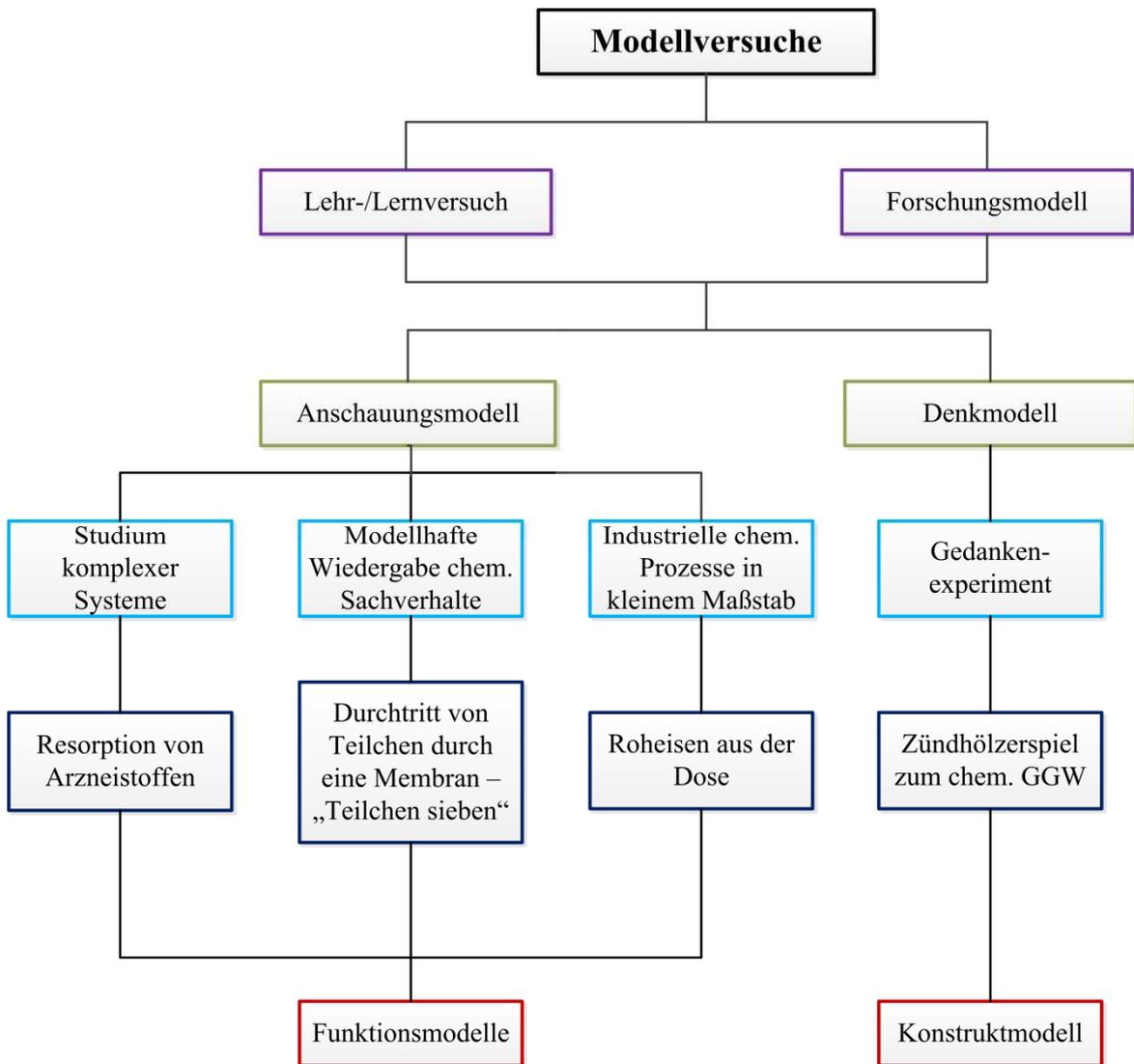


Abbildung 6. Übersicht über die Kategorien der Modellexperimente

2.3. Grundvoraussetzungen für den Erkenntnisgewinn- Analogiedenken und Reduktion auf „das Wesentliche“

Um über die Grundvoraussetzungen des Erkenntnisgewinns zu sprechen, ist es unerlässlich, den Prozess des Erkenntnisgewinns und die Begriffe *Spekulation*, *Deduktion* und *Induktion* genauer zu betrachten. Nach entsprechender didaktischer und methodischer Vorbereitung liefern Modellexperimente oder Experimente im Unterricht grundsätzlich einen Anstoß, um über natürliche bzw. technische Phänomene nachzudenken. Somit wird den Experimenten beim Erkenntnisgewinn eine Schlüsselrolle zugeteilt. Nach dem Beobachten wird über die Spekulation, das Nachdenken über das Beobachtete, der Grundstein für eine

erfolgreiche Erkenntnisgewinnung gelegt. Der deduktive Schluss beschreibt die logische Konsequenz des Beobachteten und lässt die „Ableitung von Folgerungen aus Theorie und Hypothesen“ zu, wohingegen die induktive Phase die Entwicklung von Kausalität und allgemeine Schlussfolgerungen, Gesetzmäßigkeiten und Theorien aus Experimenten und empirischer Methodik zulässt [24, S.109-110].

Modellexperimente sind eine Chance, die Erkenntnisgewinnung im Chemieunterricht zu fördern. Dafür müssen aber bei der Konzeptionierung/Modellierung der Modellexperimente einige Kriterien beachtet werden, um den gewünschten Fortschritt im Erkenntnisprozess zu gewährleisten. Wie schon in Kapitel 2.1 dieser Arbeit besprochen, kann ein Modell keine eins zu eins Abbildung der Realität sein (Merkmal der Abbildung und Verkürzung nach Stachowiak [12, S. 432]). Die Eigenschaften des Modells bzw. Modellexperiments müssen dabei auf „das Wesentliche“ reduziert werden. Ansonsten würde es sich ja laut Definition nicht um ein Modell, sondern um eine bloße Abbildung handeln. Wird bei der Didaktisierung von Modellen und Modellexperimenten von „wesentlichen Eigenschaften“ gesprochen, sind jene gemeint, die von den Schüler/innen verstanden, beobachtet und interpretiert werden sollen (Subjektivierungsmerkmal [12, S.432]). Dementsprechend wichtig ist es, sich dessen bei der Planung eines Modellexperiments bewusst zu sein und sich auf eine sinnvolle Reduktion auf das Wesentliche zu konzentrieren. In weiterer Folge spielt dies auch bei der Wahl der Modells substanz eine entscheidende Rolle, der Bezug zum Original muss durch die Funktion erkennbar sein. Diese Fokussierung hat auch zur Folge, dass der Unterschied zwischen Original und Modell auch Schüler/innen klar sein muss, also ein Modellverständnis entwickelt werden muss [13, S.1]. Deshalb ist das *Analogiedenken* eine weitere Grundvoraussetzung für den erfolgreichen Erkenntnisgewinn. Dies bedeutet, dass die Lernenden in der Lage sind, durch ein Denken in Analogien, Schlüsse vom Modell bzw. Modellexperiment auf das Original zu ziehen (und umgekehrt). Es findet also ein Informationstransfer vom Modell auf die ursprüngliche Fragestellung bzgl. des Originals/der Realität statt.

„Bei Analogien kommt es zur Übertragung von Strukturen, Funktionen bzw. Verhalten sowie Verfahrensweisen im Vorstellen oder Denken von einem Gegenstandsbereich auf einen anderen [5, S.5].

Dieser Transfer von bereits vorhandenem Wissen auf neue Phänomene spielt bei der Arbeit mit Modellexperimenten eine Schlüsselrolle. Grundsätzlich muss hier angemerkt werden, dass Analogien im Chemieunterricht auch sonst eine entscheidende Rolle spielen, zumeist in theoretischen Erklärungen, mit einer Verbindung zu bereits vorhandenem Wissen der Schüler/innen z.B:

- Molzahl- ein dutzend Eier
- Elektronenübertragung- Männchen mit Rucksack
- Affinitätsbegriff – „mag“

Dies sind nur zwei von zahlreichen Beispielen die genannt werden können [5, S.5].

Sommer zitiert in ihrem Artikel [5, S.5] zwei weitere wesentliche Fälle von Analogiebildung nach Klinger [25], die im folgenden Abschnitt aus Gründen der Vollständigkeit genannt werden sollen:

- *„Der erste Fall liegt vor, wenn zwei Modellbereiche zweier unterschiedlicher Objektbereiche Q1 und P1 bereits geschaffen sind. Analogiebildung heißt dann, in der Struktur des einen Modellbereichs werden im Sinne eines Mustererkennungsprozesses Strukturelemente entdeckt, die denen des anderen Modellbereichs ähneln oder gleich sind. Solche Analogiebetrachtungen können zu wesentlichen Ergänzungen und tieferen Verständnis in beiden Bereichen führen. Weiterhin kann daraus ein übergeordnetes, umfassendes Modell herausgebildet werden.“ [15, S.290].*
- *„Der zweite Fall betrifft die Situation, dass ein völlig neuer Objektbereich (Original) erforscht, das heißt modelliert werden soll. [...] Das Analogon dient in diesem Fall als Stellvertreter für das Original, das es zu erforschen gilt.“ [15, S.290].*

An dieser Stelle soll ein kurzes Resümee gezogen werden: Wie bereits erwähnt, dient das Modellexperiment im Unterricht als gute Möglichkeit komplexe Phänomene zu veranschaulichen. Dabei muss ein Fokus auf wesentliche

Eigenschaften gesetzt werden, um tatsächlich von einer Vereinfachung aus didaktischen Gründen sprechen zu können.

„Wesentlich ist, was zur Funktion eines Modells beiträgt. Die Funktion eines Modells wird durch seine Verwendung bestimmt, wobei Modelle einen doppelten Zweck erfüllen. Einerseits werden sie zur Veranschaulichung und Demonstration oder zur Erklärung und Vereinfachung komplexer Zusammenhänge eingesetzt. Die Auswahl der wesentlichen Eigenschaften erfolgt also zum einen zielorientiert und zum anderen situations- und adressatenorientiert“ [4, S.92].

Aus Schüler/innensicht ist entscheidend, dass der Zusammenhang zwischen Original und Modell erfasst wird und dabei zwischen den zwei genannten Faktoren eine Analogie gezogen werden kann. Diese Analogie wird für Schüler/innen umso klarer, je ähnlicher sich Modell- und Originalsubstanz in ihren Eigenschaften sind. Entscheidend ist aber auch hier, dass die *Modellsubstanz* nicht alle Eigenschaften des Originals aufweisen soll/kann, sondern Bezug auf die wesentlichen Komponenten/Eigenschaften genommen werden soll. Das heißt, dass eine Modellsubstanz dieselbe Funktion erfüllen soll wie die Originalsubstanz. In der Praxis würde das bedeuten, dass Komponenten weggelassen werden, die für den Prozess/ die Funktion keine Rolle spielen, im Original aber aus anderen Gründen vorhanden wären, wie z.B. bei der Erklärung der Korrosion durch Streusalz. Bei diesem Versuch dient eine NaCl- Lösung als Modellsubstanz für eine Streusalzlösung, wobei Streusalz eine komplexere Zusammensetzung hat, als nur NaCl [5, S.5]. Grundsätzlich bedeutet dies, dass beim Analogisieren die Schüler/innen *„Ähnlichkeiten zu bereits Bekanntem suchen und durch Vergleiche mit Bekanntem, unbekannte Sachverhalte erschlossen und ‹verstanden› werden“* [4, S.94]. Analogien stellen also beim Prozess der Erkenntnisgewinnung einen unverzichtbaren Spezialfall der Modelle dar.

Um von einem gelungenen Analogieschluss zu sprechen, heißt es also auch hier, so komplex wie notwendig, aber so einfach wie möglich, um über den Umweg des Modells neue Erkenntnisse über das Original zu erlangen.

„Voraussetzung für das Funktionieren von Analogien ist die Vertrautheit mit dem Bekanntem, eine Art ‹Oberflächenähnlichkeit›. Wichtig für das Verstehen ist aber, dass diese Oberflächenähnlichkeit zu einer Tiefenstrukturähnlichkeit führt,

d.h. zu Veränderungen der Vorstellung über den eigentlichen Sachverhalt. ‹Ähnlich› ist immer eine ungenaue Bezeichnung, deshalb ist es gerade bei der Verwendung von Analogien wichtig, eine sorgfältige Modellkritik zu üben“ [4, S.94].

Die Analogieschlüsse zwischen den Ebenen Original, Denkmodell und Anschauungsmodell bilden die Grundlage für einen erfolgreichen Erkenntnisgewinn. Aus den bereits genannten Gründen, stellt somit die Wahl der geeigneten Modellsubstanz eine Schlüsselrolle beim Modellieren dar. Oft lässt es sich nicht vermeiden, durch so genannte *irrelevante Zutaten* eines konkreten Anschauungsmodells die Veranschaulichung eines Sachverhalts zu verbessern [10, S.49]. Dieser Begriff geht auf Steinbuch (1977) zurück und beschreibt bei Anschauungsmodellen z.B. Konstruktionen oder Materialeigenschaften, die beim Original nicht vorkommen, wie zum Beispiel mechanische Energieeinwirkung um Bewegung zu induzieren, Halterungen etc.

Abschließend soll noch einmal darauf hingewiesen werden, dass alle Erklärungen in der Chemie auf Denkmodelle aufbauen. Evident wird das aus der folgenden Grafik, basierend auf dem „Dreieck des Chemieunterrichts“ nach Johnstone [8]. Die makroskopische Ebene oder Stoffebene beschreibt alles, was mit den Sinnen bzw. mit Messgeräten wahrgenommen werden kann. Um das Beobachtete aber zu erklären (submikroskopische Ebene) benötigt man die Modellebene. Dieser Übergang ist für den Erkenntnisprozess entscheidend. Die Ebene der formalen Beschreibungen (Formeln, Gleichungen, Symbole) sind zwar für eine grundlegende naturwissenschaftliche Sichtweise entscheidend, spielen aber für den Erkenntnisgewinn eine untergeordnete Rolle. Zusammengefasst bedeutet das, dass Chemie ohne die zu Hilfenahme von Erklärungsmodellen nicht stattfindet, ungeachtet ob im Unterricht oder in der Wissenschaft.

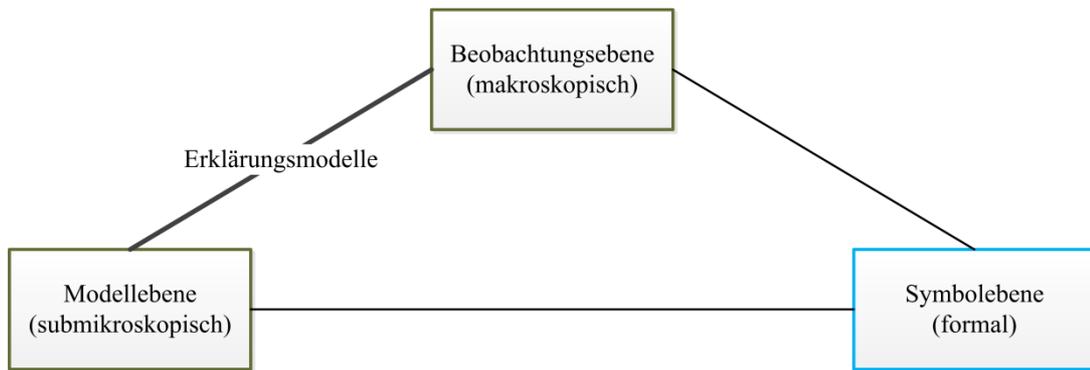


Abbildung 7. Dreieck des Chemieunterrichts nach [8]

2.4. Modellexperimente als Methode im Unterricht

„Für das Fach Chemie ist das Denken auf zwei Ebenen, der Ebene der Phänomene (Stoffe, Beobachtungen, Eigenschaften) und der Ebene der Modelle (Teilchen, Deutungen und Strukturen), besonders typisch. Dieses Denken muss immer wieder geschult und angewendet werden [...]“ [Bildungsplan Gymnasien 2004 Bildungsstandards für Chemie, Gymnasien (Baden-Württemberg)].

2.4.1. Unterrichten mit Konzepten

Angelehnt an Überlegungen und Arbeitsweisen aus der Wissenschaft, dienen Modelle dem Chemieunterricht schon lange als Methode. Modellexperimente stellen dabei eher einen neuen Zugang in der Chemiedidaktik dar, was damit zu tun hat, dass der schülerzentrierte, forschende Unterricht erst in den letzten Jahrzehnten Einzug in die Klassenräume gefunden hat.

Beginnend bei den verschiedenen, in historischer Reihenfolge diskutierten Teilchenmodellen (Denkmodelle) lernen Schüler/innen schon im Anfangsunterricht der Sekundarstufe I die Vielfalt dieser Modelle kennen. Dies führt jedoch oft zu Schwierigkeiten, können nicht alle Phänomene und Eigenschaften mit nur einem Modell erklärt werden [17, S.9-10]. Möchte man die Aggregatzustände erklären, genügt ein einfaches Atommodell, im Gegensatz dazu bedient man sich bei der Erklärung der Farbigkeit von Stoffen am Orbitalmodell. Diese Vielfalt und Weiterentwicklung der Modelle kann bei Lernenden oft zu Verwirrung und Unverständnis führen, weshalb die Herangehensweise, den Einstiegsunterricht anhand von historischen Modellen zu erklären, oft kritisiert wird (vgl. Kapitel 2.5)

[17, S.13]. Aus diesem Grund hat sich durch fachdidaktische Überlegungen ein Streben in Richtung „Konzeptentwicklung“ im Chemieunterricht entwickelt.

„Die Kernidee ist, an Stelle der Vielfalt und Abwechslung verschiedenster Modelle, einen in sich stimmigen Gang für die Lernenden zu entwickeln, der die submikroskopische Ebene schrittweise entwickelt und vertieft, ohne dabei immer wieder Gelerntes negieren zu müssen. So verzichtet dieser Unterrichtsgang z.B. bei der Einführung eines ersten einfachen Teilchenmodells auf die für die Erklärung der Phänomene von Aggregatzuständen, ihren Wechseln oder der Auflösung überflüssige Kugelgestalt aller diskret vorkommenden Teilchen. Dies hilft, die immer wieder beobachtete spätere Verwechslung der Kugelteilchen mit den Atomen zu verhindern [...]“ [17, S.9].

Eine wesentliche Hilfestellung bietet dabei das Experiment. Da man an konkreten, didaktisch vorbereiteten Modellexperimenten bestimmte Eigenschaften untersucht, kommt es zu keiner verwirrenden Vielfalt, wie es bei den Modellen der Fall ist.

2.4.2. Schüler/innen zentrierter, forschender Unterricht

„Die Chemie als experimentelle Wissenschaft benötigt das Experiment als Kern der Erkenntnisgewinnung“ [24, S.109].

Als empirische Wissenschaft ist die Chemie auf die Beobachtung von Phänomenen und die darauf basierenden Schlussfolgerungen angewiesen (Kapitel 2.4- Spekulations-, Deduktions-, Induktionsphase) und kann nicht mit bloßen Modellen für Schüler/innen verständlich gelehrt werden. Eine Chemie ohne Experimente wäre undenkbar, leider wird darauf im Unterricht oft vergessen. Das Arbeiten mit Modellexperimenten im naturwissenschaftlichen Unterricht ist jedoch mehr als nur eine Hilfestellung bei der Veranschaulichung von Phänomenen. Modellexperimente als Methode vermittelt den Schüler/innen forschendes Denken und stellen dabei naturwissenschaftliche Arbeitsmethoden vor. In den letzten Jahrzehnten konnte eine Änderung in der Herangehensweise in der Übermittlung des Unterrichtsstoffes beobachtet werden. Ein Wechsel vom lehrerzentrierten Frontalunterricht hin zum forschenden, schülerzentrierten Unterricht wird dabei aus verschiedenen Gründen gefordert [13, 24, 28, 29, u.v.m]. Um den vielen Schüler/innenschwierigkeiten zu entgehen, wurde deshalb eine Entwicklung in

Richtung nachvollziehbaren und konzeptorientierten Unterricht unter Berücksichtigung forschender Methoden angestrebt. [Bindernagl, S.9]. Das Experiment im Unterricht dient dabei nicht nur zur Unterhaltung der Schüler/innen, sondern „erfüllt eine wesentliche Funktion im Lernprozess“ [24, S.113]. Dabei ist zu betonen, dass das Modellexperiment gegenüber einem traditionellen Versuch eine Besonderheit darstellt, da es meist mit der Lebenswelt der Schüler/innen verbunden ist und somit einen ‚lebenspraktischen Nutzen‘ für die Schüler/innen hat. Dies führt zu einem gesteigerten Interesse und höherer Motivation der Lernenden. Sie erkennen einen für sie neuen und praktischen Nutzen in der Chemie.

Anni Heitzmann (2010) nennt zwei Gründe, warum Modelle und Modellexperimente im Unterricht eine entscheidende Rolle spielen. Neben dem naturwissenschaftlichen Erkenntnisprozess sind Modelle und Modellexperimente Hilfsmittel, um den Lern- und Verständnisprozess zu fördern [4, S.96]. Pfeifer et al. (2002) hingegen, präzisieren den Begriff Hilfsmittel genauer, indem sie die Demonstrations- und Erklärungsfunktion von Modellen und Modellexperimenten als einen unentbehrlichen Zusammenhang zum besseren Verständnis darstellen [10, S.54]. Eschenhagen et al. (2006) [26], wird von Terzer und Upmeyer wie folgt zitiert:

„Modelle dienen [...] zum einen der Veranschaulichung von Strukturen, Prozessen und theoretischen Konstrukten (Anschauungsfunktion) und vereinfachen den Zugang zu Sachverhalten und Problemlösungen (denkökonomische Funktion), zum anderen ermöglichen sie durch ihren tentativen, hypothetischen Charakter die Problemfindung und -eingrenzung (heuristische Funktion)“ [13, S.35].

Betrachtet man Modelle und Modellexperimente als Unterrichtsmethode, kommt man nicht um den Begriff des ‚forschenden Unterrichts‘ umher. Kranz (2008) schreibt dazu, dass das Arbeiten mit Forschungsversuchen die „zentrale Methode der Erkenntnisgewinnung“ ist [24, S.137].

„Eine besondere Bedeutung kommt dynamischen Simulationsmodellen zu, die eine möglichst wirklichkeitsnahe Abbildung der Realität darstellen und sowohl Parameteranalysen als auch zuverlässige Prognosen ermöglichen“ [10, S.54].

Wie bereits in Kapitel 2.1 („Begriffsdefinition“) besprochen wurde, können Modellexperimenten als solche dynamischen Simulationsmodelle bzw. Anschauungsmodelle gesehen werden. Aus diesem Grund finden Modellexperimente eine Berechtigung, wenn nicht einen unerlässlichen Anspruch im Chemieunterricht verwendet zu werden. Das Ziel von Modellexperimenten ist es, unanschauliche Phänomene, unter Vorbehalten, (vgl. Kapitel 2.5) anschaulich zu machen. Aus diesem Grund sind sie Wegbereiter für einen forschenden Unterricht, der in der Chemiedidaktik der letzten Jahre gefordert wird.

2.4.3. Unterrichtsphasen mit Modellexperimenten

In der Literatur gibt es viele Ansätze, die die Schritte oder Phasen bei der Arbeit mit Modellexperimenten beschreiben. Sie sind sich in den wesentlichen Punkten sehr ähnlich [24, 30, 41]. Im folgenden Abschnitt sollen diese wesentlichen Teilschritte nun vorgestellt werden.

Im Laufe des Studiums eines jeden angehenden Chemielehrers/Chemielehrerin, wird auf die Phasen der Unterrichtseinheit mit Experimenten hingewiesen. Kranz (2008) beschreibt den Erkenntnisprozess durch Experimente in einem Methodenportrait [24, S.142]. Basierend auf diesen Ablauf folgt nun eine Analyse der verschiedenen Stufen bei der Arbeit mit Modellexperimenten, wodurch teilweise Unterschiede zur Arbeit mit traditionellen Experimenten erkennbar werden und somit die Sonderstellung des Modellexperiments im Unterricht unterstreichen.

- *Begegnungsphase*: Bei einem traditionellen Experiment wird diese erste Phase vom Lehrer/der Lehrerin induziert. Durch die Vielfalt an Methoden, entscheidet der/die Lehrperson wie diese Begegnung mit der Problemstellung vor sich geht. Eine Besonderheit der Modellexperimente stellt der ‹lebenspraktische Nutzen› der Modellexperimente dar, da Schüler/innen schon oftmals im Alltag mit den zu erforschenden Phänomenen konfrontiert gewesen sein könnten. Zum Beispiel wenn anhand von einem Modellversuch zum Membrandurchtritt, die Resorption von Arzneistoffen erforscht wird [31, S.33]. Durch diesen Bezug zum Alltag und der Lebenswelt der

Lernenden ist eine relativ einfache Überleitung zur nächsten Phase möglich.

- *Neugierphase*: „durch Strukturierung und Sammlung von Leitfragen“ kann methodisch die Neugier der Schüler/innen geweckt werden [24, S.142]. Geeignete Fragestellungen sollten beim herkömmlichen, wie auch beim Modellexperiment, wieder den Bezug zur Erfahrungswelt der Lernenden herstellen. Wenn dies gelingt, kann die Erarbeitung der Fragestellung durch die Lernenden selbst und nicht „nur“ durch die/der Lehrperson erfolgen.
- *Erarbeitungsphase*: Je nach Vorwissen der Lernenden muss die Lehrperson nun für diese sehr wichtige Phase im Erkenntnisprozess die Methoden auswählen, um einen Fortschritt zu fördern. Ziel dabei ist es, die Fragestellungen der Neugierphase erforschend, beobachtend und entdeckend zu erarbeiten. Dabei sollen Überlegungen über die entsprechenden Phänomene, die am Modellexperiment beobachtet werden, angestellt werden. Die Tätigkeit der Schüler/innen liegt in der Entdeckung von Zusammenhängen. Sie sollen Gedankenmodelle bilden und theoretische Modelle entwickeln. Außerdem sollen sie in dieser Phase mit gegenständlichen Modellen umgehen lernen und dabei Analogien bilden. [4, S.96]. Gedankenmodelle, die auf Hypothesen basierend gebildet wurden sollen in dieser Phase bestätigt oder widerlegt werden [4, S.96]. Natürlich ist der Erkenntnisgewinn selbst ein individueller Prozess, der bei jedem Lernenden in unterschiedlicher Art und Weise vor sich geht, jedoch kann der Erfolg der Ergebnissicherung durch Partner- oder Gruppenarbeit (durch Plakate, Präsentationen, weiterführende Internetrecherche etc.) verbessert werden.
- *Vertiefungsphase*: in Kleingruppen soll nun ein Leitprogramm mit Hintergrundinformationen erarbeitet werden. Außerdem soll beim Experimentieren ein vom/von der Lehrer/Lehrerin vorgegebener Aufgabenteil, erarbeitet werden. Die Inhalte dieser Phase können bei der Arbeit mit einem Modellexperiment komplexe Systeme, die modellhafte Wiedergabe chemischer Sachverhalte oder industrielle chemische Prozesse in kleinem Maßstab sein (vgl. Abb. 6).

Modellexperimente als Methode haben meist zudem noch den Vorteil, durch fächerübergreifenden Unterricht die Vertiefung der Erkenntnisse zu fördern [24, S.143].

(Die weiteren von Kranz beschriebenen Phasen, Exkursion und Laborarbeit sind grundsätzlich im Chemieunterricht sehr wichtig, haben in Bezug auf Modellexperimente verglichen mit den traditionellen Experimenten, aber keine herausragende Bedeutung).

Die folgende Tabelle soll einen Überblick über die Chancen von Modellen und Modellexperimenten im Unterricht geben [4, S.96].

Tätigkeit im Unterricht	Funktion im Erkenntnisprozess
Abstrahieren	In der Komplexität der Realität allgemeine Zusammenhänge entdecken
Idealisieren	Begriffsbildung für Phänomene und Prozesse
Symbolisieren	Verstehen und Anwendung der chemischen Symbolsprache
Gedankenmodelle bilden	Schaffung der Grundlage für naturwissenschaftliche Überlegungen und wissenschaftliche Experimente
Theoretische Modelle entwickeln	Zusammenhänge erschließen
Gegenständliche Modelle einsetzen	Phänomene und Eigenschaften veranschaulichen
Analogien bilden	Durch bekannte Prinzipien und geeignete Wortwahl Zusammenhänge verstehen
Elementarisieren	Vereinfachung und Ordnung von neuen Schlüssen

Beachtet man die Punkte der Tätigkeiten im Unterricht, kann davon ausgegangen werden, dass ein Experimentieren ohne „Kochrezeptcharakter“ gewährleistet ist. Dies ist deshalb zu vermeiden, da die Schüler/innen die vom Lehrer/der Lehrerin erteilte Arbeitsaufträge Schritt für Schritt abarbeiten ohne zu forschen, Denkmodelle zu entwickeln und nachzudenken. Ein naturwissenschaftlicher Erkenntnisprozess bleibt dabei meist aus und oft wissen die Schüler/innen auch nicht warum/wozu das Experiment überhaupt vorgestellt

oder bearbeitet wurde. Das Experiment verfehlt damit sein Unterrichtsziel klar und sollte somit in dieser Art und Weise („Abarbeiten von genau beschriebenen Arbeitsschritten“) keinen Platz im Unterricht finden.

2.4.4. Die Rolle des/der Lehrenden

Obwohl es sich bei der forschenden Unterrichtsmethode mit Modellexperimenten um einen schüler/innenzentrierten Ansatz des Unterrichtens handelt und Frontalvorträge zu vermeiden sind, kommt der Lehrperson eine Schlüsselrolle zu. Der/die Lehrer/in ist nicht nur der „Fachmann“ im Unterricht, seine/ihre Hauptaufgabe liegt eindeutig im didaktisch/methodischen Bereich beim Unterrichten mit Modellexperimenten. Um die Chancen der Modellexperimente optimal auszunutzen, muss der/die Lehrer/in einen geeigneten Platz des Modellexperiments im Unterricht finden. Den Schüler/innen muss klar sein, dass ausgehend von einem Modellexperiment weitere Überlegungen stattfinden sollen und dass es sich nicht um ein „bloßes Anschauen“ von Sachverhalten handelt. Hier ist entscheidend, dass die Lehrperson durch entsprechende didaktische und methodische Vorbereitung und Aufarbeitung eine Forschungssituation simuliert, die den Schüler/innen eine fordernde, aber nicht überfordernde Umgebung zum Lernen ermöglicht. Der/die Lehrende ist in der Verantwortung, basierend auf dem Vorwissen der Schüler/innen, geeignete experimentelle Mittel zur Verfügung zu stellen und entsprechende Forschungsfragen zu formulieren. Außerdem ist ein wesentlicher Aufgabenbereich des Lehrenden bei der Arbeit mit Modellen als Methode, die Beurteilung und Kritik der Modelle bzw. Modellexperimente. Darauf soll im folgenden Kapitel näher eingegangen werden.

Wie in Kapitel 2.6 dieser Arbeit genauer beschrieben wird, sind die Unterrichtsziele in den Bildungsstandards (2011) niedergeschrieben. Die Schüler/innen sollen anhand von ausgewählten Fragestellungen, Problemlösestrategien entwickeln und diese auf ihre Richtigkeit überprüfen. Diese Aufgaben werden *Modellierungsaufgaben* (vgl. Kapitel 2.6) genannt und stellen einen wesentlichen Bereich bei der Arbeit mit Modellen und Modellexperimenten dar, da sie ein Erreichen vieler Unterrichtsziele gewährleisten. Kompetenzorientierter, schülerzentrierter, forschender Unterricht soll somit das Erreichen der Bildungsziele gewährleisten. Im Vergleich zu Kranz (2008), der bei

der Arbeit mit Experimenten drei Phasen (Begegnungsphase- Neugierphase- Erarbeitungsphase) beschreibt, besteht die Erarbeitung von kompetenzorientierten Aufgabenstellung aus mindestens vier aufeinander aufbauenden Verlaufsphasen [30, S.9].

Phase	Bemerkung
Einstieg	Konfrontation mit der Fragestellung bzw. des Problems
Organisationsphase	<ul style="list-style-type: none"> - Arbeitsmaterialien austeilen und besprechen - Gruppen einteilen - Ev. Erläutern der Sicherheitsaspekte (Brenner, Chemikalien etc.)
Erarbeitung	Experimentieren in Gruppen (ev. Expertengruppen)
Austauschphase (optional)	Austausch der Ergebnisse der verschiedenen Expertengruppen, eventuelle als Präsentation, Gruppendiskussion etc.
Sicherung	Besprechung des gesamten Ablaufs: <ul style="list-style-type: none"> - Schwierigkeiten - Ergebnisse - ev. Kontrolle durch die Experten - ev. Vergleich der Arbeitsblätter, Korrektur, Erweiterung
Reflexion (optional)	<ul style="list-style-type: none"> - Zusammenarbeit in den Gruppen - Einhaltung der Sicherheitsvorschriften - Arbeitstechniken

Obwohl dieser Ansatz die Arbeit mit Modellexperimenten genauer beschreibt, gehen die wesentlichen Aspekte mit dem oben vorgestellten Modell einher. Für den Erkenntnisgewinn ist die Sicherung der erworbenen Kenntnisse wesentlich, weshalb es Sinn macht, diese in einem Ablaufschema explizit zu erwähnen. Die genauen Kompetenzen, die bei der Arbeit mit Modellexperimenten erworben

werden sollen, werden in Kapitel 2.6 diskutiert (z.B. die Förderung des Erwerbs einer „chemischen Fachsprache“ durch den Austausch mit anderen Gruppen oder Präsentation der Ergebnisse).

2.5. Grenzen der Modelle und Modellexperimente

„Die Arbeit mit Modellen scheint so lange gerechtfertigt, wie dessen Anwendungsgrenzen beachtet werden. Gerade die Notwendigkeit der adressatengerechten und fachgerechten Modellwahl muss immer wieder betont werden“ [10, S.54].

In den vorangegangenen Kapiteln wurde viel über die positiven Auswirkungen der Modellexperimente auf den Unterricht diskutiert, da sie die Abstraktion von chemischen Phänomenen anschaulich machen und so, nicht nur den fachlichen Erkenntnisprozess fördern, sondern auch den Erwerb von vielen anderen Kompetenzen (vgl. Kapitel 2.6). Dies stimmt auch, so lange man sich bewusst macht, dass Modelle und Modellexperimente Grenzen haben und auch bei der Arbeit mit und an ihnen Schwierigkeiten auftreten können. Zwei Begriffe spielen bei der Diskussion über die Grenzen von Modellen und Modellexperimenten eine sehr wichtige Rolle: *adressatengerecht* und *fachgerecht*. Im folgenden Kapitel wird dies genauer erläutert. Und um eines vorweg zu nehmen, jedes Modell und jedes Modellexperiment hat seine Grenzen!

„Es ist deshalb wichtig, mit Schülerinnen und Schülern, das Lernen mithilfe von Modellen kontinuierlich durchzuführen und bei allen Modellen (Abbildungen, Grafiken, Anschauungsmodellen, etc.) die Modellkritik zu üben, damit die Grenzen der Modellkonstruktion verstanden werden“ [4, S.96].

Modelle und Modellexperimente werden eingesetzt, um den Erkenntnisgewinn zu fördern. Wie der Erkenntnisprozess vor sich geht, wurde bereits analysiert. Ein schlechtes Modell kann diesen Prozess stören, weshalb es wichtig ist die Ebenen des Erkenntnisgewinns in Bezug zu den Modellen und Modellexperimenten zu setzen. Bei der Modellentwicklung sollten daher die Übertragung der erworbenen Erkenntnisse und die damit einhergehenden Schwierigkeiten immer bedacht werden. Es scheint, als würden vor allem Denkmodelle, wie Atommodelle, den Schüler/innen Schwierigkeiten bereiten,

weshalb es Sinn macht, die Grenzen von Denk- sowie Anschauungsmodellen gesondert zu betrachten.

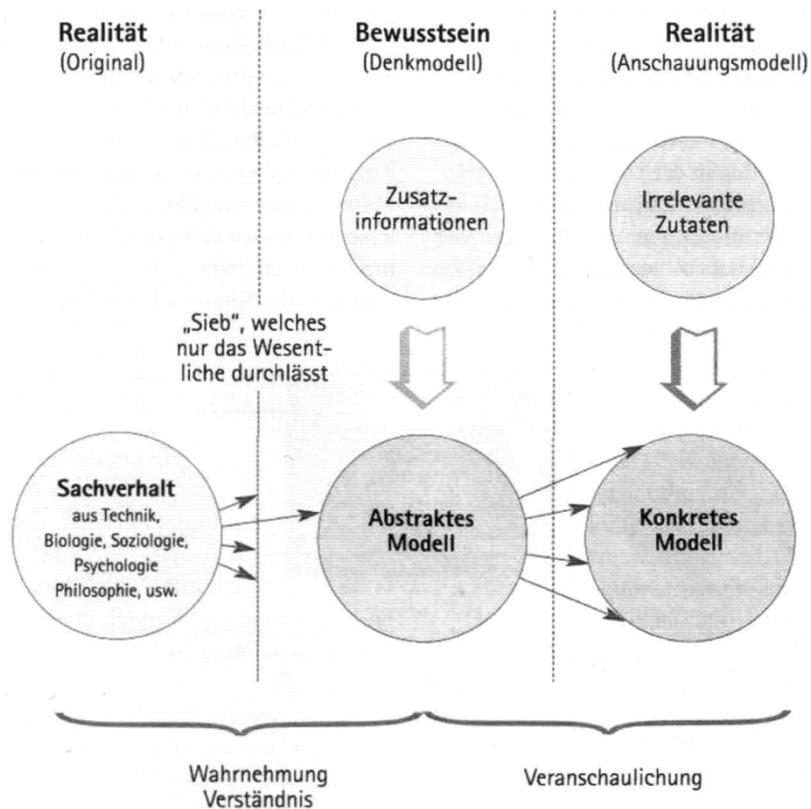


Abbildung 8. Zusammenhänge zwischen Original, Denkmodell und Anschauungsmodell nach [15]

Aus Abbildung 8 wird ersichtlich, dass häufige „Fehlerquellen“ zwischen den Übergängen der Ebenen (Realität- Bewusstsein- Realität) auftauchen, da zwischen diesen Ebenen ein Transfer von erworbenen (oder vorhandenen) Informationen stattfinden muss.

2.5.1. Die Beziehung zwischen Modell und Realität

Um überhaupt die Grenzen von Modellen und Modellexperimenten zu erkennen und in weiterer Folge ihre Sinnhaftigkeit im Unterricht zu beurteilen, ist es entscheidend, Modelle anhand von bestimmten Kriterien zu beurteilen. Wie gut ein Modell ist, hängt von den folgenden Faktoren ab. Einerseits, dass ein Modell dem Original in den wesentlichen Eigenschaften ähnlich sein muss, dies wurde bereits ausreichend diskutiert. Andererseits, sollte ein Modell so exakt wie möglich

sein, um einen möglichst großen Nutzen von der Arbeit mit und an Modellen zu haben [4, S.92].

Heitzmann (2010) stellt dazu acht Beurteilungskriterien vor, anhand derer man das Modell/Modellexperiment kritisch hinterfragen sollte [4, S.93]:

1. *Welche Merkmale sind akzentuiert und abgebildet?*
2. *Wo sind Entsprechungen zum Original vorhanden? Wo nicht?*
3. *Wo ist das Modell falsch? (Regel: Ein Modell ist immer ‹falsch›, oft in mehreren Aspekten).*
4. *Trägt das Modell zur Lösung einer Fragestellung bei?*
5. *Lassen sich mit dem Modell Prognosen erstellen?*
6. *Fördert das Modell naturwissenschaftliches Verständnis?*
7. *Steht der Aufwand zur Herstellung (Materialsuche, Herstellungsprozess, Preis) in einem Verhältnis zum Erfolg der Anwendung?*
8. *Sind die Anforderungskriterien erfüllt? Ist es ein gutes Modell?*

Eine weitere, durchaus entscheidende Frage sollte noch beachtet werden: Nämlich, ob das Modell, eine tatsächliche Vereinfachung und somit Hilfestellung für die Lernenden darstellt, oder ob der zu erklärende Sachverhalt durch die Vereinfachung für Verwirrung bei den Schüler/innen sorgt. Da Modelle ein Teil der wissenschaftlichen Arbeitsweise sind und auch daher übernommen werden, ist dies, vor allem bei Denkmodellen, nicht immer gewährleistet. Das führt oft zu Schwierigkeiten, denn Schüler/innen haben oftmals noch keine geeignete Herangehensweise („Modellkompetenz“; vgl. Kapitel 2.6), um mit Modellen und Modellexperimenten zielführend zu arbeiten. Dementsprechend wichtig ist es, bei didaktischen Überlegungen bezüglich Modellen und Modellexperimenten die Schüler/innenvorstellungen, den Bezug der Schüler/innen zum Original und das Vorwissen der Schüler/innen zu bedenken. Das heißt, die Lehrperson trägt Verantwortung und muss sich stets überlegen, ob die Entsprechung zwischen Original und Modell/-experiment für die Schüler/innen nachvollziehbar ist. Nehmen zum Beispiel die „irrelevanten Zutaten“ einen zu großen Stellenwert ein, können sie den Erkenntnisprozess stören, indem die Analogie zum Original nicht oder nur schwer entdeckt werden kann. Ist ein Modell zu einfach oder dem Original zu ähnlich, kann es zu Verwechslungen zwischen Modell und Original kommen oder falsche Schlüsse gezogen werden. Haben die Lernenden keine Erfahrungen

bezüglich des Originals und haben sie kein oder wenig Vorwissen, stellt die Übertragung der Erkenntnisse vom Modell auf das Original ebenfalls ein Problem dar und das Arbeiten mit Modellen und Modellexperimenten erfüllt nicht mehr sein (didaktisches) Ziel. Auch kann es vorkommen, dass „*falsche Denkmodelle gefördert werden*“, dann spricht Heitzmann (2010) von so genannten „*Modellfallen*“ [4, S.93].

2.5.2. Adressatengerecht?

Ursachen und Korrektur von Fehlvorstellungen- das Problem mit den Atommodellen

- „Luft ist nichts“
- „das Salz verschwindet“
- „Aktivkohle schluckt die Farbstoffteilchen“
- „Das Natrium verbindet sich gerne mit Chlor“
- „Wenn das Atom acht Außenelektronen hat, ist es glücklich“
- „Zwischen den Elektronen ist Luft“
- „die Substanz schmilzt, weil die Moleküle schmelzen“ [34, S.25]

Die oben angeführten Beispiele hat wohl jede/r, der Chemie unterrichtet schon einmal gehört, denn es zeigt sehr deutlich, wie neben der Abwesenheit der entsprechenden sprachlichen Mittel, Schüler/innen die Chemie verstehen wollen. Abstrakte und nicht beobachtbare Phänomene aus dem „Mikrokosmos“ (der atomaren Teilchenebene, Modellwelt) werden so erklärt, als wären sie Teil eines beobachtbaren, spürbaren und leicht nachvollziehbaren „Makrokosmos“ (Erfahrungswelt). Zum Beispiel wird die chemische Bindung von Schüler/innen oft als mechanische Bindung verstanden, da dies für sie einfacher vorzustellen ist [34, S.23]. In der Literatur wird diese Diskrepanz oft als Problem erachtet, wenn durch die Erfahrungswelt der Schüler/innen die Andersartigkeit der Modellwelt nicht mehr erklärt werden kann.

„Analoges bzw. modellartiges Denken besteht im Wesentlichen im Transfer von Informationen über eine vertraute Situation auf eine fremde. Dies geschieht auf der Basis eines Abbildungsprozesses zwischen beiden Situationen, strukturelle Prinzipien werden also betrachtet. Die fremde Situation wird aus einem

vertrauten Blickwinkel aus betrachtet, was wiederum eine kreative Reorganisation des Problems bewirkt“ [36, S.27].

Durch diese Verwechslung der stofflichen und atomaren Ebene kann es laut König (2003) oft zu Fehlvorstellungen („misconceptions“) kommen [34, S.25]. Für die Schüler/innen ist diese Andersweltlichkeit der atomaren Ebene schwer zu verstehen und zu akzeptieren [32, S.16]. Durch Modelle und Modellexperimente wird versucht die Kluft zwischen diesen zwei verschiedenen Welten, eben der Erfahrungs- und Modellwelt zu verkleinern, indem man Unanschauliches mit geeigneten Materialien, Substanzen und Analogien veranschaulicht und greifbar macht. Nun aber stellt sich die Frage, ob dies überhaupt Sinn macht. Atome als Kügelchen oder Lego- Bausteine darzustellen, fördert nämlich genau diese Fehlvorstellungen der Lernenden. Hans Dieter Barke (2006) spricht dann von „*hausgemachten Fehlvorstellungen*“ und schreibt und begründet den Begriff ‚hausgemacht‘ damit, dass auf Grundlage von nicht nachvollziehbaren Traditionen unterrichtet wird [33, S.25]. Außerdem lässt auch die Komplexität im Chemieunterricht oft nicht zu, dass „*bestimmte Themen widerspruchsfrei und allgemein verständlich unterrichtet*“ werden [33, S.25]. Diese Widersprüche der verschiedenen Modelle führen dann unweigerlich zu einer zusätzlichen Verwirrung und in weiterer Folge einem Motivationsverlust der Schüler/innen. Ähnlich dem Ablauf der Einführung der verschiedenen Atommodellen (vgl. Abb. 4- Klassischer Unterrichtsweg). Dieser bereitet, wie bereits besprochen, den Lernenden oft große Schwierigkeiten und schafft Unverständnis für Atome und Teilchen, wird aber aus Tradition immer noch so im Chemieunterricht besprochen („*man geht hier ja den historische Weg in der Chemie*“) [17, S.13]. Des Weiteren werden unterschiedliche Phänomene und Eigenschaften mit verschiedenen Denkmodellen erklärt. Bindernagel (2009) fasst die Erläuterungen der in einer Untersuchung befragten Lehrpersonen wie folgt zusammen: „*eigentlich könnte man das Bohr’sche Modell im Prinzip weglassen. Obwohl Farbigkeit von Stoffen, lässt sich gut damit erklären*“ [17, S.13]. Es scheint, als wäre die Arbeit mit den Atom- und Teilchenmodellen wenig reflektiert worden, denn nur selten wird das einzig nachvollziehbare Ziel der Behandlung dieser Modelltheorien im Unterricht, nämlich die historische Entwicklung bzw. das Verständnis für die naturwissenschaftliche Arbeitsmethode, als Grund für das Vorgehen angegeben. Bindernagel (2009)

schreibt weiter, dass durch die Behandlung dieser unterschiedlichen Denkmodelle im Unterricht oft eine Vermischung und unklare Trennung von Modellen (sog. Hybridmodelle) zu beobachten war [17, S.13]. Die Problematik bei der Behandlung von Atommodellen und das „richtige“ Einführen des Atombegriffs in den Chemieunterricht sorgen in der fachdidaktischen Literatur schon seit längerer Zeit für eine kontroverse Diskussion. Aus den bereits genannten Gründen werden die verschiedenen Atommodelle in der Literatur deshalb immer wieder als „Unmodelle“ bezeichnet [20,22,23].

„Denkmodelle sind nicht nur Werkzeuge der Erkenntnisgewinnung und diagnostisches Mittel für Lehrende, sondern bergen auch ein Risiko: Schüler verwenden Analogien zwar spontan, aber widersprüchlich“ [36, S.26].

Dies ist nicht weiter verwunderlich, werden ihnen im Einstiegsunterricht schon eine Vielzahl, sich zum Teil widersprechender Modelle vorgestellt [34, S.23-4]. So gibt es Ansätze, die weniger das Aussehen der Teilchen in den Vordergrund stellen, sondern versuchen zu vermitteln, dass Materie aus diesen Teilchen aufgebaut ist und das entstandene System als Resultat, gewisse Eigenschaften besitzt [35, S.23; 18, 19]. Verallgemeinernd heißt das, dass Modelle als Lerninhalte, bzw. als Teil der wissenschaftlichen Arbeitsweise vorgestellt, statt als Methode im Unterricht verwendet werden sollten [17, S.9].

Dass Modelle und Modellexperimente durch ihre Merkmale (*Abbildungsmerkmal, Verkürzungsmerkmal, Subjektivierungsmerkmal* vgl. Kapitel 2.1) zu Fehlvorstellungen führen können oder falsche Denkmodelle fördern, liegt also auf der Hand und begründet sich im Transfer der gewonnenen Information auf die verschiedenen Ebenen des Erkenntnisprozesses. Umso wichtiger ist es, die Schüler/innen bei der Arbeit mit Modellen und Modellexperimenten mit ihrem Vorwissen zu konfrontieren, damit ein erfolgreicher Erkenntnisgewinn mit Modellen gewährleistet wird. Dem Lehrenden kommt damit eine Verantwortung zu, derer sich viele nicht bewusst sind und so kommt es immer wieder vor, dass das „Expertenwissen“ einer didaktischen Reflexion bezüglich Modellen und Modellexperimenten im Weg steht. Ein „Experte“ im Fach Chemie kann viele Phänomene und Eigenschaften akzeptieren, hatte viel Zeit sich ein „naturwissenschaftliches Denken“ anzueignen und die Diskrepanz zwischen „Makrokosmos“ und „Mikrokosmos“ zu schmälern. Für Schüler/innen trifft das in

der Schule nicht zu und so liegt es am Lehrenden, diese Fehlvorstellungen bei didaktischen und methodischen Überlegungen zu berücksichtigen. (Für einen Fachmann ist klar, was damit gemeint ist, wenn von einem Teilchen gesprochen wird. Ein kritischer Schüler/ kritische Schülerin kann sich durchaus die Frage stellen „Was ist ein Teilchen in der Chemie?“). Mikelskis- Seifert (2009) schlägt dazu vor, dass Schüler/innen ein Bewusstsein für die Existenz sowohl für die „*Erfahrungswelt, und die Modellwelt, sowie deren Charakteristika und Unterschiede*“ entwickeln sollen [32, S.16].

2.5.3. Fachgerecht?

Mechanische und bildhafte Analogien- Modelleexperimente als Basis für Analogiebildung und die Gefahr von Modellfallen

Dass Analogien (homolog oder analog) einen unverzichtbaren Spezialfall von Modellen darstellen, wurde bereits in Kapitel 2.3 dieser Arbeit besprochen. Dass Analogien aber Fehlerquellen im Erkenntnisprozess sein können soll nun genauer erörtert werden. Beginnend bei den bildhaften Darstellungen soll nun anhand von Beispielen die Gefahr von „Modellfallen“ diskutiert werden.

„Bei der Verwendung von Modellen besteht die Gefahr, dass falsche Denkmodelle gefördert werden, wenn z.B. ein Modell so einfach und anschaulich ist, dass es mit der Realität verwechselt wird oder dass eine falsche Vorstellung gefördert wird“ [4, S.93].

In der Fachdidaktik der Chemie, wird oft dazu geneigt, chemische Phänomene mit anthropomorphen Abbildungen oder Formulierungen zu erklären [34, S.24]. Die folgende Abbildung ist ein bekanntes, und oft kritisiertes Beispiel für die Verwendung von bildlichen Modellen im Unterricht. Sie soll die Synthese von Kunststoffen darstellen; aus einer monomeren Einheit (Ethylen) wird durch Polymerisation ein Kunststoff synthetisiert. Bei genauerer Betrachtung findet man einige Aspekte, die bei den Schüler/innen ein falsches Denkmodell fördern oder hervorrufen könnten, z.B. da sich die Mickymäuse an beiden Händen festhalten, halten Doppelbindungen besonders fest zusammen. Einfach- und Doppelbindung können in der Abbildung nicht klar voneinander unterschieden werden, die Verbindung der Atome (Mickymäuse) scheint mechanisch zu sein. Außerdem könnte es zu Verwirrung führen, da alle Wasserstoffatome nach unten schauen,

dies in der Realität aber nicht der Fall ist, da sich die Wasserstoffatome möglichst weit voneinander entfernt anordnen.

„Die Öffnung einer Bindung (Hand) des Monomers würde zu einem anderen Produkt führen. Es entsteht ein Polymer, dessen Atome (Mickymäuse) sich einfach binden (die Hand geben) und abwechselnd vor- und rücklings angeordnet sind (stehen)“ [34, S.24].

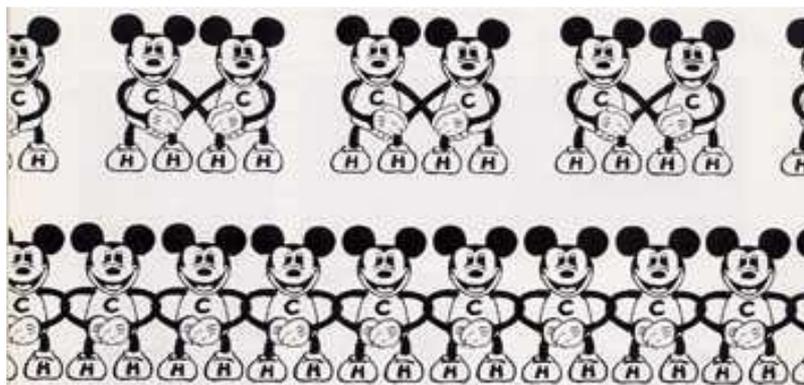


Abbildung 9. Ethylen als Grundbaustein der Polymerisation [34, S.24]

Das Problem dieser nicht fachgerechten Darstellungen ist nicht nur, dass falsche Denkmodelle gefördert werden, sondern auch, dass die Schüler/innen durch diese vermenschlichte Darstellung eine falsche Fachsprache entwickeln. Dazu wurden Unterrichtsbeobachtungen durchgeführt die König (2003) wie folgt zusammenfasst:

- „Das Natrium gibt sein Elektron an Chlor ab, damit beide glücklich sind.“
- „Das Fluoratom zieht stärker an dem Wasserstoffatom, weil es stärker ist. Es bekommt ein Elektron vom Wasserstoff, weil es eine stärkere Elektronegativität hat.“
- Sauerstoff macht eine Doppelbindung, weil jedes Sauerstoffatom acht Elektronen haben will.“ [34, S.24].

Allgemein konnte beobachtet werden, dass „der anthropomorphe Sprachgebrauch immer dann zu beobachten ist, wenn die Lernenden zu erklären versuchen, warum eine Reaktion zu beobachten ist, oder warum Bindungen ausgebildet werden“ [34, S.24].

Genauer gesagt bedeutet dies, dass Schüler/innen vor allem dann eine so genannte anthropomorphe Sprache verwenden, wenn submikroskopische Vorgänge und Phänomene beschrieben werden sollen. Dadurch wird versucht, das Nicht-abstrakte in einen vorstellbaren Sachverhalt zu überführen. Ob die Ausführungen dann fachgerecht sind oder nicht, wird vielen Lernenden dabei gar nicht bewusst sein, da ihnen ja das nötige Fachwissen, um dies überhaupt beurteilen zu können, fehlt.

Zusammenfassend bedeutet dies, dass Schüler/innen nicht nur aufgrund der Diskrepanz zwischen der eigenen Erfahrungswelt und der stofflichen/atomaren Ebene (mikroskopisch und makroskopisch) Probleme haben Denkmodelle zu entwickeln und zu verstehen, sondern auch, dass diese falschen Denkmodelle im Unterricht durch wenig reflektierte und selektierte Wahl der Methoden gefördert wird. Es wird nun auch immer offensichtlicher, welchen großen Stellenwert die Entwicklung der fachsprachlichen Mittel auch auf den Erkenntnisgewinn haben – denn ohne diese Mittel gibt es keinen Erkenntnisgewinn und vice versa. Außerdem steht auch hier das Fachwissen der Lehrenden den Schüler/innen oft im Weg, da es schwer ist, als Experte nachzuvollziehen, wo Schwierigkeiten aus Sicht der Schüler/innen auftreten können. Es stellt sich nun die generelle Frage, ab wann denn nun die „Verwendung“ von Analogien im Unterricht gerechtfertigt ist, wenn ein grundsätzliches Problem auf der Bildung von Analogien basiert. Mikelskis- Seifert (2009) argumentiert, indem sie das Reflektieren über Modelle, Modellexperimente und Analogien als entscheidenden Beitrag für einen erfolgreichen Erkenntnisgewinn sieht.

„Das Nachdenken über das Vorgehen bei der Untersuchung von Phänomenen, die der Teilchenstruktur der Materie zuzuordnen sind, und das Reflektieren über die Natur der verwendeten Modelle können als Schlüssel für den Unterrichtserfolg angesehen werden“ [32, S.16].

Die Grenzen der Modellexperimente sind weniger abstrakt zu beurteilen, dennoch wird aber auch beim Unterrichten mit Modellexperimenten oft auf die von Mikelskis- Seifert (2009) geforderte Reflexion über das Modell vergessen bzw. als nicht wichtig erachtet. Die Schwierigkeiten, die beim Transfer des Wissens auftauchen können, bzw. das Unverständnis und die Verwirrung, die Modellexperimente verursachen können, sind für die unterrichtenden „Experten“

oft nicht nachvollziehbar bzw. erkennbar. Die Erklärung von mikroskopischen Vorgängen mit Hilfe von makroskopischen Prozessen soll den Lernenden zu einem besseren Verständnis verhelfen. Es steht außer Frage, dass dabei aber wesentliche Fehler passieren können, was in weiterer Folge zu falschen Schlussfolgerungen auf Seiten der Lernenden führen kann.

„Modellexperimente mögen zwar die Begriffsbildung unterstützen, sind aber insofern zu kritisieren, als sie falsche Assoziationen vermitteln, also zu mikroskopischen falschen Ergebnissen führen können“ [9, S.423].

Als Beispiel wird hier ein Modellexperiment gewählt, das oft in diversen Schulbüchern zu finden ist, um das chemische Gleichgewicht (GGW) zu veranschaulichen. Dieses Modellexperiment wurde erstmals im Jahr 1980 vorgestellt und beschreibt die Einstellung des chemischen Gleichgewichts (dynamisches Gleichgewicht) aufgrund von mechanischen und stofflichen Prinzipien [37, S.200]. Mit einem Glasrohr wird zwischen zwei Gefäßen eine Flüssigkeit (Wasser) „hin und her gehebelt“ bis sich ein Gleichgewicht der Flüssigkeiten zwischen den beiden Gefäßen einstellt und keine weitere Bewegung mehr zu beobachten ist. Anhand der am Beginn dieses Kapitels vorgestellten Kriterien von Heitzmann (2010) folgt nun eine Analyse des Experiments; (erweitert auf der Grundlage der Analyse von Becker (1992)).

Welche Merkmale sind akzentuiert und abgebildet?	Einstellung <i>eines</i> Gleichgewichts nach einer gewissen Zeit
Wo sind Entsprechungen zum Original vorhanden? Wo nicht?	<ul style="list-style-type: none"> - Einstellung des Gleichgewichts nicht aufgrund einer chemischen Reaktion, d.h. kein GGW zwischen Edukten und Produkten - GGW stellt sich nicht aufgrund unterschiedlicher Konzentrationen eines Stoffes ein- keine Entsprechung bzgl. Antriebskraft für Einstellung des GGW - Modellexperiment beschreibt kein einheitliches System (zwei Gefäße)

	<ul style="list-style-type: none"> - Beim GGW handelt es sich nicht um ein dynamisches GGW - Konstanter Wert der Endkonzentrationen ist zu beobachten
Wo ist das Modell falsch? (Regel: Ein Modell ist immer ‹falsch›, oft in mehreren Aspekten).	„Phasen bzw. Zustände werden während des Reaktionsablaufes im Modell mechanisch verursacht“ [9, S.423]
Trägt das Modell zur Lösung einer Fragestellung bei?	Eventuelle Klärung zu Fragestellungen bzgl. „dynamisches GGW“ und „Hin- und Rückreaktion“
Lassen sich mit dem Modell Prognosen erstellen?	Ja, mit Einschränkungen. Die Analogiebildung bzw. der Informationstransfer könnte sich als schwierig für die Schüler/innen erweisen.
Fördert das Modell naturwissenschaftliches Verständnis?	<ul style="list-style-type: none"> - Ja, mit Einschränkungen - Durch transportierter Menge an Wasser können Rückschlüsse auf Reaktionsgeschwindigkeit gemacht werden - Keine Erklärung des Massenwirkungsgesetzes (MWG), das wesentlich beim chemischen GGW wäre
Steht der Aufwand zur Herstellung (Materialsuche, Herstellungsprozess, Preis) in einem Verhältnis zum Erfolg der Anwendung?	<ul style="list-style-type: none"> - einfaches Experiment - schnell vorzubereiten, kurzer Versuch - wenig materieller Aufwand - geringe Kosten
Sind die Anforderungskriterien	Wie aus den oben genannten Punkten

erfüllt? Ist es ein gutes Modell? Logisches Fazit der Lehrperson	hervorgeht, handelt es sich mit Einschränkungen um ein Modellexperiment, dass auf stofflicher und fachlicher Ebene sehr weit vom Original abweicht und dies durch den erschweren Transfer der erworbenen Informationen zu Problemen beim Erkenntnisprozess führen könnte. Fehlvorstellungen könnten verursacht werden z.B. Fehlvorstellung eines „statischen GGW“ könnte gefördert werden
---------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Das vorgestellte Experiment zeigt, dass die visuelle Anschaulichkeit von Phänomenen oft in die Irre führen kann, weshalb eine reflektierte Diskussion über Original und Modell unausweichlich ist. Des Weiteren konnte gezeigt werden, dass eine Trivialisierung von Naturphänomenen oft keinen positiven Effekt auf den Erkenntnisgewinn hat, sondern ganz im Gegenteil, zu Fehlvorstellungen führen kann [17, S.9]. Obwohl es, wie in der Tabelle beschrieben, in einigen wesentlichen Aspekten als kein besonders gutes Modell kategorisiert werden kann, können aber dennoch einige ausgewählte Aspekte gut damit erklärt werden. Wieder kommt es auf die entsprechende Perspektive oder den Fokus an, den die Lehrperson klar formulieren muss. Außerdem muss die Lehrperson beurteilen, ob der positive Effekt des Modellexperiments auf den Erkenntnisgewinn größer ist, oder ob die mögliche Gefahr für Verwirrung zu groß ist.

Bei „*produktorientierten Modellexperimenten*“ kommt außerdem hinzu, das Produkt in Bezug auf das Original zu beurteilen da es zur Arbeit mit Modellexperimenten unumgänglich ist „*Aussagen über die Leistungsfähigkeit des Modellexperiments treffen*“ [11, S.29]. Dies wird durch die Analyse vom Produkt eines Experiments gewährleistet. Ein Beispiel aus der Praxis ist der Modellversuch „Roheisen aus der Dose“, wo es Teil des Experiments ist, das gewonnene Eisen anschließend auf seine stofflichen Eigenschaften (z.B. „*Magnetismus, Farbigkeit, elektrische Leitfähigkeit, nasschemische Untersuchungen zu Eisen(II)- und*

Eisen(III)- Ionen“) zu untersuchen und die Resultate des Modellroheisens mit denen des Originaleisens zu vergleichen [11, S.29]. Die Untersuchungen des Modellroheisens haben zwar gezeigt, dass das gewonnene Roheisen hauptsächlich aus Eisenoxid und nicht aus elementarem Eisen besteht, das Modellexperiment erweist sich aber dennoch als sehr gute Wahl um den Hochofenprozess zu thematisieren, sowie analytische Verfahren zu entdecken und in Folge dessen, die Entwicklung einer Modellkritik und Beurteilung zu fördern.

„Man könnte aufgrund der mangelnden Reduktionsleistung des Modellexperiments zu dem Schluss kommen, dass das Modellexperiment für den Unterricht ungeeignet erscheint. Bei der Durchführung des Modellexperiments werden jedoch genau diese Grenzen ausgenutzt um sie einerseits als Charakteristika von Modellen zu definieren und um andererseits nach Gründen für die partielle Reduktion des Eisen(III)- oxids zu suchen“ [11, S.30].

Somit können und müssen die Grenzen von Modellexperimenten als Chance gesehen werden, Modellverständnis zu fördern und Modellkritik und -beurteilung zu „trainieren“, um so einen Teil zur Entwicklung einer naturwissenschaftlichen Denkweise beizutragen.

2.5.4. Ein umstrittenes Modellexperiment

An dieser Stelle soll ein Experiment vorgestellt werden, das oft in den Schulbüchern zu finden ist. Die Beschreibung der beobachteten Phänomene jedoch, wird mit einem fachlich falschen Denkmodell geliefert und ist für die Schüler/innen irreführend [20, 21].

Gibt man in einem Standzylinder zu 50ml Wasser weitere 50ml Wasser, erhält man 100ml. Das Gleiche kann mit jeweils 50ml Alkohol beobachtet werden. Gibt man jedoch 50ml zu 50ml Wasser so kann man beobachten, dass sich weniger als 100ml im Messzylinder befinden, die Flüssigkeitsstand geht deutlich unter die 100ml Markierung.

Als Erklärung wird dabei ein Denkmodell, aufbauend auf die Molekülgröße genommen, das Phänomen wird mit kleinen und großen Moleküle erklärt. Die Wassermoleküle sind kleiner als die Alkoholmoleküle und lagern sich so in den

Zwischenräumen ein. (Ähnlich, als würde man Knödel und Erbsen miteinander mischen). Dadurch verkleinert sich das Volumen. Dieses Denkmodell ist zur Erklärung der Stoffebene aber falsch. Tatsächlich kommt es zur Ausbildung von sehr starken Wasserstoffbrückenbindungen zwischen den Wasser- und Alkoholmolekülen, weshalb das Volumen zusammengezogen wird. Die kleineren Wassermoleküle lagern sich nicht ein.

2.6. Didaktische Grundsätze: Förderung von Kompetenzen durch Modellexperimente

„In Mathematik und den Naturwissenschaften gewinnt die Frage nach modernen Aufgaben als Werkzeug der Unterrichtsgestaltung scheinbar immer mehr an Bedeutung“ [41, S.5].

Doch was genau versteht man unter modernen Aufgaben und was soll damit eigentlich vermittelt bzw. gelernt werden? Das folgende Kapitel beschäftigt sich mit didaktischen Überlegungen in Bezug auf die von öffentlicher Hand geforderten Unterrichtszielen.

In den letzten Jahren wurde ein Umdenken in der Didaktik der Naturwissenschaften und der Mathematik angestrebt. Hinter diesem Umdenken steht eine Vielzahl guter Gründe, denen eine neue Denkweise in fachdidaktischen und methodischen Aspekten zugrunde liegt, welche durch ein neues Anforderungsprofil der Unterrichtsziele hervorgerufen wird. Wurden in den letzten Jahrzehnten immer vom „Lehrplan und Unterrichtsstoff“ gesprochen, stehen jetzt Begriffe wie „Bildungsstandards und Kompetenzmodell“ mehr und mehr im Fokus. Doch was genau bedeutet es, wenn von Kompetenzen gesprochen wird? Was beinhaltet dieser Term und wie ändert sich der Unterricht durch diese neue Fokussierung? Und am Wichtigsten für diese Arbeit: Können Modellexperimente einen wertvollen Beitrag zum Erwerb der geforderten Unterrichtsziele, so genannten Kompetenzen, beitragen? Im folgenden Kapitel werden genau diese Fragen beantwortet, immer mit dem Gedanken im Hinterkopf, ob das Modellexperiment als Basis für kompetenzorientierten Unterricht den traditionellen Chemieunterricht ablösen kann und soll.

Im Folgenden soll das Kompetenzmodell für Naturwissenschaften (8. Schulstufe), herausgegeben vom bifie (Zentrum für Innovation &

Qualitätsentwicklung, vorläufige Endversion Oktober 2011) genauer vorgestellt werden.

Basierend auf dem von Franz E. Weinert (2001) definierten Begriff „Kompetenz“ wurde vom Bundesinstitut ein 3 dimensionales Kompetenzmodell entwickelt.

Ihm zufolge sind Kompetenzen, *„die bei Individuen verfügbaren oder durch sie erlernbaren kognitiven Fähigkeiten und Fertigkeiten, um bestimmte Probleme zu lösen, sowie die damit verbundenen motivationalen und sozialen Bereitschaften und Fähigkeiten, um die Problemlösung in variablen Situationen erfolgreich und verantwortungsvoll nutzen zu können“* (38, S.17).

Kompetenzen werden also als Produkt eines erfolgreichen Lern- und Erkenntnisprozesses gesehen. Obwohl aus dieser Definition schon offensichtlich wird, dass die Problemlösung im Vordergrund steht, scheint sie für eine genauere didaktische und methodische Untersuchung aber noch zu umfangreich, weshalb eine Weiterentwicklung zu fachbezogenen Kompetenzmodellen stattgefunden hat. Das Modell für die Naturwissenschaften enthält die folgenden Dimensionen [siehe Abbildung 9]:

- Handlungsdimension (W1-W4, E1-E4, S1-S4)
- Anforderungsniveau (N1, N2, N3)
- Inhaltsdimension (B1- B5, C1- C5, P1- P5)

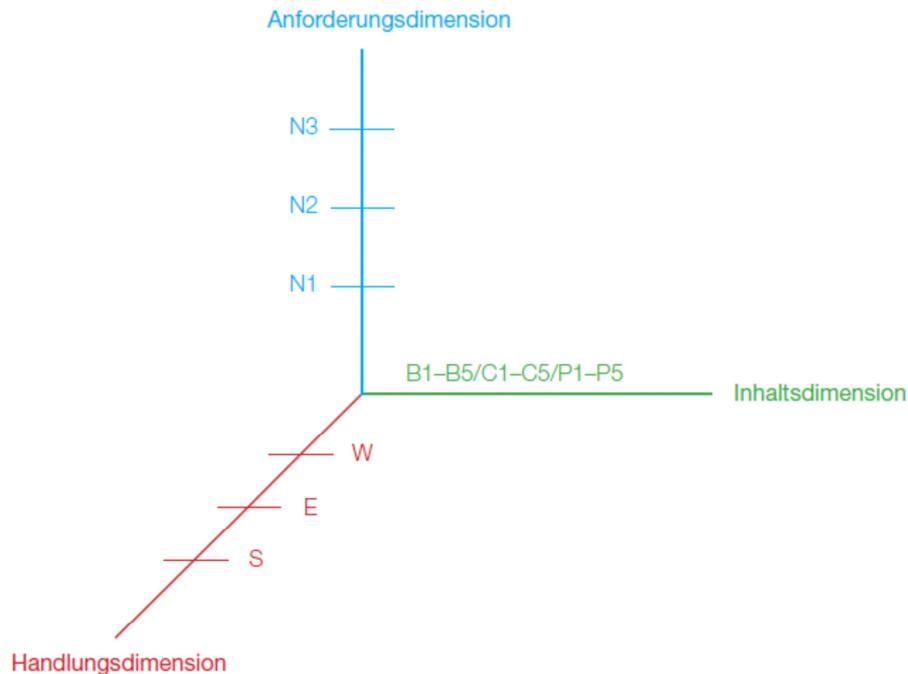


Abbildung 10. Kompetenzmodell Naturwissenschaften 8. Schulstufe bifie 2011

1. Die Handlungsdimension ist in drei Ebenen untergliedert;

- Wissen organisieren (W)
- Erkenntnisse gewinnen (E) und
- Schlüsse ziehen (S)

Sie stellt den Aspekt im Kompetenzmodell dar, bei dem die Schüler/innen selbst den Erkenntnisprozess vorantreiben sollen. Obwohl die Handlungsdimension in drei Kernbereiche unterteilt ist, wird aus Abb. 12 sichtbar, dass diese drei Ebenen ineinander greifen müssen, um einen positiven Erfolg des Erwerbs der Handlungsdimension zu erfahren.

Wissen organisieren bedeutet, sich Wissen anzueignen, darzustellen und zu kommunizieren [bifie, S.2]. Außerdem ist das Organisieren von bereits vorhandenem Wissen (im Kompetenzmodell nicht explizit erwähnt), ein weiterer entscheidender Aspekt, der bei der Handlungsdimension nicht vergessen werden sollte. Die Fragen „*Was weiß ich schon?*“ und „*Was möchte ich anhand von diesem Modellexperiment überhaupt erfahren/wissen?*“, müssen vor dem eigentlichen Experimentieren von den Schüler/innen überlegt werden, da der Erkenntnisgewinn nur aufbauend auf bereits vorhandenem Wissen stattfinden

kann. Das ist notwendig aus den folgenden zwei Gründen: auf der einen Seite fehlt ohne diese Überlegungen und „das Sortieren von Wissen“ die Grundlage für einen erfolgreichen Erkenntnisprozess, da kein Transfer von Information stattfindet (vgl. Kapitel 2.3). Auf der anderen Seite werden die Schüler/innen nicht wissen, warum dieses Experiment überhaupt durchgeführt wird bzw. was an diesem Modellexperiment erforscht werden soll. Der Leitgedanke „Man soll die Schüler/innen dort abholen wo sie stehen“ ist also noch immer eine Grundvoraussetzung für einen erfolgreichen Erkenntnisgewinn.

Mit Modellexperimenten im Unterricht können die folgenden Teilbereiche der Handlungsdimension erreicht werden: [bifie, 2011]

- *W 1 Vorgänge und Phänomene in Natur, Umwelt und Technik beschreiben und benennen*
- *W 3 Vorgänge und Phänomene in Natur, Umwelt und Technik in verschiedenen Formen (Grafik, Tabelle, Bild, Diagramm ...) darstellen, erklären und adressatengerecht kommunizieren*
- *W 4 die Auswirkungen von Vorgängen in Natur, Umwelt und Technik auf die Umwelt und Lebenswelt erfassen und beschreiben*

In Bezug auf den Erkenntnisgewinn (E1- E4) innerhalb der Handlungsdimension können alle vier geforderten Teilbereiche erreicht werden: [bifie, 2011]

- *E 1 zu Vorgängen und Phänomenen in Natur, Umwelt und Technik Beobachtungen machen oder Messungen durchführen und diese beschreiben*
- *E 2 zu Vorgängen und Phänomenen in Natur, Umwelt und Technik Fragen stellen und Vermutungen aufstellen*
- *E 3 zu Fragestellungen eine passende Untersuchung oder ein Experiment planen, durchführen und protokollieren*
- *E 4 Daten und Ergebnisse von Untersuchungen analysieren (ordnen, vergleichen, Abhängigkeiten feststellen) und interpretieren*

2.7. Modellaufgaben und Modellexperimente

Betrachtet man diese Kompetenzen mit einem „fachdidaktischen Auge“, so erkennt man, dass im Hinblick auf den geforderten kompetenzorientierten Unterricht, ein Umdenken im Chemieunterricht erforderlich ist. Aufgaben- und Fragestellungen müssen diesen Anforderungen angepasst werden. Außerdem wird erstmals bewusst auf die Modellbildung als entscheidender Punkt im Erkenntnisgewinn, sowie beim Erwerb einer naturwissenschaftlichen Denkweise aufmerksam gemacht. Es wird ausdrücklich gefordert, dass die Funktionalität, die Anwendung sowie die Grenzen von Modellen beurteilt, analysiert und kommuniziert gekonnt werden sollen [39, S.26]. Anstelle von Fragen die konkretes Fachwissen abprüfen, sollen nun kurze einführende Texte ein Problem darstellen, das nach sorgfältiger Überlegung zur Bildung von Hypothesen führen soll, welche dann durch geeignete Experimente verifiziert oder falsifiziert werden sollen. Das bedeute, dass das Arbeiten mit Modellexperimenten ohne geeignete Modellaufgaben wenig sinnvoll ist. Die gewonnen Erkenntnisse sollen anschließend analysiert und kommuniziert werden können, ein entscheidender Punkt bei der Gestaltung von Modellaufgaben.

Ein Beispiel könnte wie folgt lauten:

*Auf deinem Platz findest du drei unbekannte Proben.
Du sollst nun herausfinden, welche deiner Proben
ein Salz enthält. Untersuche das Aussehen und die
Eigenschaften deiner Stoffe und schreibe deine
Beobachtungen in dein Laborprotokoll.*

Als erstes müssen die Schüler/innen überlegen, welche Eigenschaften Salze haben (Wissen organisieren, Vorwissen aktivieren; *Salze dissoziieren im Wasser und sind somit Ladungsträger. Deshalb leiten sie elektrischen Strom, weshalb eine Lösung mit Ionen eine Glühbirne zum Leuchten bringt*). Die drei Proben müssen nun auf bestimmte Eigenschaften untersucht werden (Löslichkeit, Leitfähigkeit, pH- Wert etc.). Die Ergebnisse werden diskutiert und interpretiert.

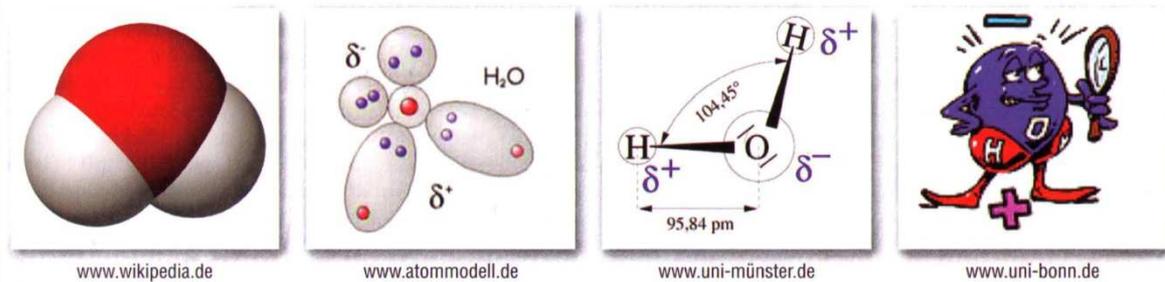
Ein Vorteil dieser Art von Aufgaben (Modellaufgaben aufbauend auf ein Experiment) ist, dass der Anforderungsgrad je nach Fragestellung stark variieren kann. „*Vergleiche deine Proben mit einer Referenzprobe*“ (N1) oder „*Welche Ionen*

könnten in deiner Probe vorhanden sein?“ (N3). Die verschiedenen Ebenen des Anforderungsniveaus aus dem Kompetenzmodell können also gewährleistet werden. Somit ebnet diese Art von Fragestellung der Individualisierung im Chemieunterricht die Türen und leistet einen entscheidenden Beitrag zum Erkenntnisgewinn entsprechend dem Vorwissen der einzelnen Schüler/innen. Es versteht sich von selbst, dass durch ungeeignete Methodenwahl oder Forschungsfragen leicht eine Überforderung von Schüler/innen auftreten kann. Wieder hat hier die Lehrperson entscheidende Verantwortung zu übernehmen. Dass dies ein entscheidender Aspekt von Modellierungsaufgaben ist, geht mit den Ansichten in der Literatur einher.

„Beim Modellieren spielt das Lösen von Problemen über das Bilden von Modellen eine entscheidende Rolle. [...] Dieser idealtypische Ablauf bei der Bearbeitung einer Modellierungsaufgabe kann für ein unbekanntes komplexes Problem in den seltensten Fällen von den Schülerinnen und Schülern alleine durchlaufen werden. Aus diesem Grund sollen sie derartige Prozesse an einfachen und zunehmend komplexer werdenden Beispielen erlernen. Hierzu nutzt man Modellierungsaufgaben, die speziell zugespitzte Probleme enthalten und ggf. entsprechende und evtl. abgestufte Lernhilfen bereitstellen“ [41, S.5]

Die unter E4 geforderte Analyse und Interpretation von Ergebnissen spielt eine entscheidende Rolle bei der Bewertung der Grenzen von Modellen. Die Bedeutung dieser Kompetenz wurde bereits in Kapitel 2.5 ausreichend diskutiert. Wie aber könnte eine entsprechende Aufgabenstellung für Schüler/innen aussehen? Walpuski und Sumfleth (2010) haben zum Thema „Erkenntnisgewinn Teilbereich Naturwissenschaftliche Modelle“ folgenden Vorschlag zu Modellaufgaben entwickelt:

Jutta sucht im Internet nach einem Modell für das Wassermolekül und findet folgende Abbildungen:



Sie wundert sich, dass die Abbildungen so verschieden aussehen.
Welche Erklärung dafür ist richtig? Kreuze an:

- | | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <input type="checkbox"/> Nur eines der Modelle ist das richtige Modell für das Wassermolekül, die anderen enthalten Fehler. | <input type="checkbox"/> Die Modelle zeigen verschiedene Arten von Wassermolekülen, daher sehen sie alle unterschiedlich aus. |
| <input type="checkbox"/> Die Wissenschaftler sind noch gar nicht sicher, wie das Wassermolekül genau aufgebaut ist, daher gibt es verschiedene Modelle. | <input type="checkbox"/> Die Modelle auf den Bildern sollen verschiedene Eigenschaften des Wassermoleküls verdeutlichen und unterscheiden sich daher. |

Abbildung 11. [39, S.28]

Die Aufgabe fordert eine sinnvolle Auseinandersetzung, sowie eine gründliche Reflexion zum Thema „Modelle“.

Zudem leitet diese Kompetenz (unter E4 zusammengefasst) zur letzten Ebene der Handlungsoption über: Aus den gewonnen Erkenntnissen sollen die Schüler/innen *Schlüsse ziehen: Bewerten, Entscheiden und Handeln* [bifie, 2011].

- S 1 Daten, Fakten und Ergebnisse aus verschiedenen Quellen aus naturwissenschaftlicher Sicht bewerten und Schlüsse daraus ziehen
- S 2 Bedeutung, Chancen und Risiken der Anwendungen von naturwissenschaftlichen Erkenntnissen für mich persönlich und für die Gesellschaft erkennen, um verantwortungsbewusst zu handeln
- S 3 die Bedeutung von Naturwissenschaft und Technik für verschiedene Berufsfelder erfassen, um diese Kenntnis bei der Wahl meines weiteren Bildungsweges zu verwenden
- S 4 fachlich korrekt und folgerichtig argumentieren und naturwissenschaftliche von nicht-naturwissenschaftlichen Argumentationen und Fragestellungen unterscheiden

Wobei anzumerken ist, dass vor allem die Kompetenzen S3 und S4 durch die Arbeit mit Modellexperimenten erworben werden.

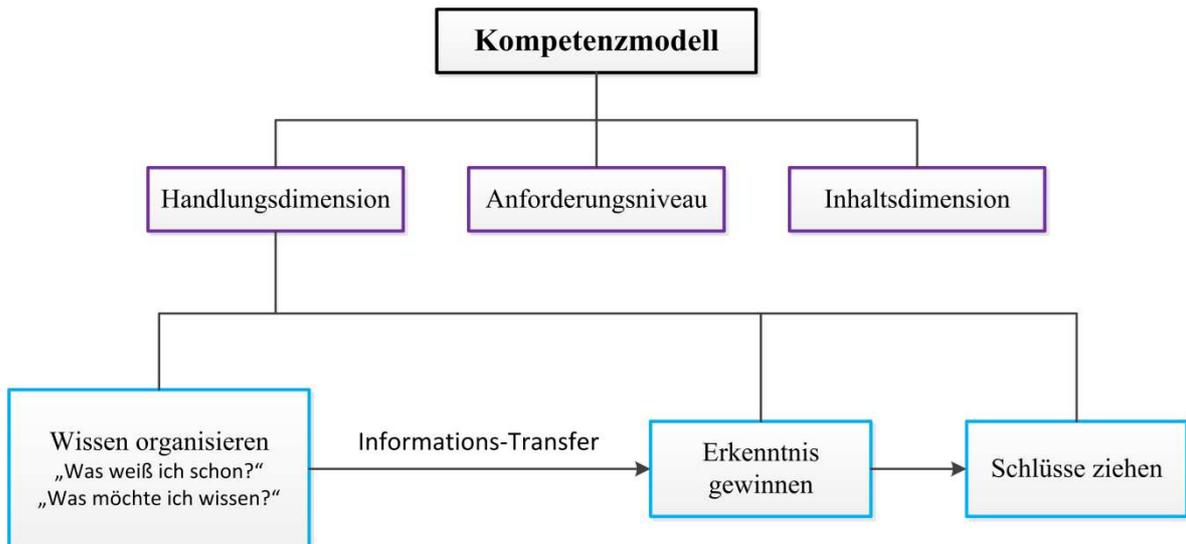


Abbildung 12. Kompetenzmodell

Die Diskussion von Modellexperimenten auf einer fachlichen bzw. inhaltlichen Basis erweist sich als wenig sinnvoll, denn durch die Vielfalt der Arten von Modellen und Modellexperimenten (vgl. Kapitel 2.2) ist zwar eine inhaltliche Zuordnung möglich, aber keine Eingrenzung in Bezug auf Themenfelder, die laut aktuellem Lehrplan gefordert werden. Modellexperimente sind aufgrund ihrer Vielfalt also in jedem Themenbereich einsetzbar und können je nach Art des Modells/Modellexperiments den Erkenntnisgewinn fördern.

Nach Woest (2004), der auch im Artikel von Beck („Modellierungsaufgaben im Chemieunterricht, 2010) zitiert wird, haben Modellierungsaufgaben im Chemieunterricht eine Vielzahl von Aufgaben zu erfüllen, die den Kompetenzen für Naturwissenschaften entsprechen. Somit sollen durch Modellierungsaufgaben Erkenntnisse gewonnen und folgende Kompetenzen entwickelt werden:

„[die] Erschließung neuen Wissens, das routinierte Anwenden des Gelernten, dem Übertragen auf neue Anwendungsgebiete, dem Wiederholen und vertikalen Vernetzen von Inhalten und dem Entwickeln von Problemlösestrategien“ [41, S.5].

Alle diese gewünschten Kompetenzen werden durch die Arbeit mit Modellexperimenten erreicht. Somit hat das Arbeiten mit Modellen und Modellexperimenten nicht nur seine Berechtigung im Chemieunterricht, sondern stellt einen zentralen Aspekt des am Schüler/der Schülerin orientierten „Chemieunterricht neu“ dar!

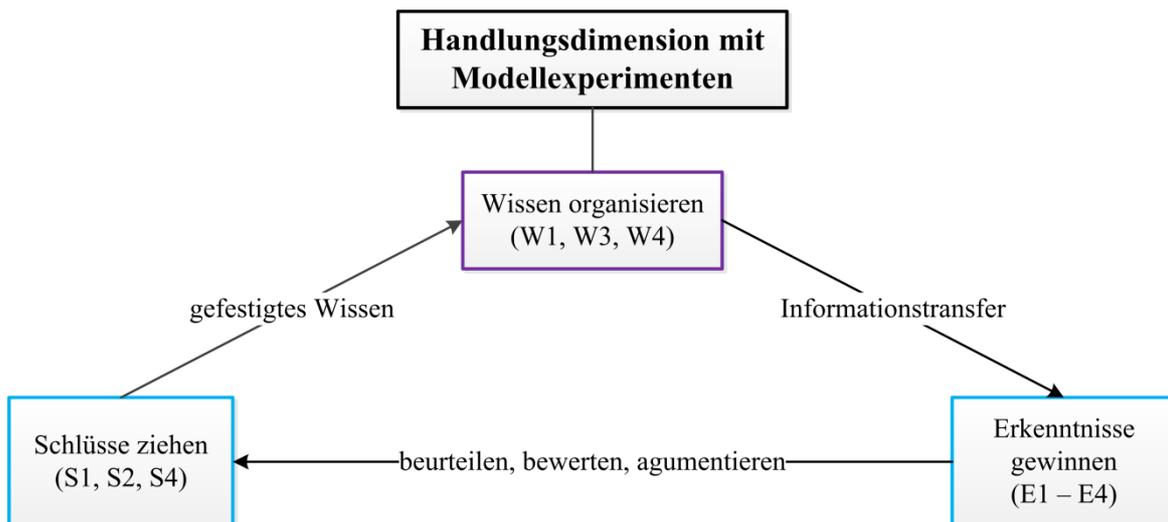


Abbildung 13. Handlungsdimension mit Modellexperimenten

3. Schulpraktischer Teil

Wie eingangs erwähnt, wurde für die vorliegende Arbeit die Wahl der Modellexperimente auf das umfangreiche Thema „Veranschaulichung biochemischer Prozesse und Phänomene“ beschränkt. Es wurde darauf geachtet, dass die gewählten Modellexperimente nicht nur für Projekte oder Wahlfächer geeignet sind, sondern auch im Regelunterricht ihre Anwendung finden können, da die zugrundeliegenden Prinzipien (chemisches Gleichgewicht, Polarität, Molekülstruktur etc.) ohnehin ein wesentlicher Bestandteil der chemischen Ausbildung sind. Aber nicht nur fachliche Aspekte spielten bei der Auswahl eine Rolle, sondern auch Kosten, Materialaufwand und Zeitfaktor wurden berücksichtigt.

Das Ziel dieser Unterrichtseinheiten ist es, den Schüler/innen einerseits die Beziehung zwischen Molekülstruktur und Eigenschaften (Teilchengröße, lipophile und hydrophile Stoffe, Einfluss des pH- Wertes) sowie in weiterer Folge die Beziehung zum menschlichen Körper (Resorption von Arzneistoffen) und deren Auswirkungen (Toxizität von Stoffen) zu stellen. Als Grundlage für das Verständnis dient das Modellexperiment zum chemischen Gleichgewicht, das die kinetischen Prinzipien, die den folgenden Modellexperimenten zugrunde liegen, beschreibt. Das Modellexperiment zum Durchtritt von Teilchen durch eine Membran (als

Modellsubstanzen (dienen Cellulosefolie und PE- Folie) verdeutlicht, dass nicht alle Folien (Membranen) gleich durchlässig für alle Stoffe sind. Hier ist es wesentlich, die Größenordnungen bis in den Nanobereich zu behandeln und mit Beispielen zu belegen, damit die Schüler/innen einen Bezug zu diesen nicht unmittelbar wahrnehmbaren Teilchen herstellen können. (Besonders wichtig stellt sich hier die Diskussion über Nanoteilchen in unserem Alltag dar, z.B. Thematisierung von Schadstoffen aus der Umwelt durch die große Oberfläche der Lunge etc.). Mit dem letzten Versuch dieser Serie sollen die Schüler/innen erforschen, welche Faktoren Einfluss auf die Durchlässigkeit von Membranen für bestimmte Teilchen haben. Im Fokus stehen hier die Prinzipien von Polaritäten der Teilchen und Membranen sowie der pH- Wert des Mediums.

Zusammenfassend bedeutet dies, dass die Schüler/innen grundlegende chemische Phänomene (chemisches Gleichgewicht, Löslichkeit, Zusammenhang von Struktur und Eigenschaften) in einem für sie nachvollziehbaren Kontext (biochemische Prozesse im menschlichen Organismus), verstehen lernen sollen!

3.1. Modellexperiment zum chemischen Gleichgewicht

Schülerexperiment: in 2er Teams

Dauer: je nach Zusatzaufgaben, ab 15 Minuten

Das folgende Gedankenexperiment sollte als Weiterentwicklung des in Kapitel 2.5 vorgestellten Modellexperiments zum chemischen Gleichgewicht gesehen werden, da wie bereits diskutiert wurde, das besprochene Modellexperiment einige Grenzen aufweist, die durch dieses Gedankenexperiment beglichen werden können.

Um herauszufinden, wie sich die Konzentrationen der Edukte und Produkte bei einer reversiblen Reaktion im Laufe der Zeit verändern, müsste man aufwändige chemische Untersuchungen vornehmen. Für den Chemieunterricht ist es angebracht, einen Modellversuch durchzuführen, bei dem die Vorgänge, die in der Realität ablaufen, sehr verkürzt, aber dennoch wirklichkeitsnah wiedergegeben werden.

Als Modellexperiment dient uns ein „Streichholzspiel“, mit dessen Hilfe eine einfache reversible Reaktion untersucht werden soll:

A → B

Bezug zum Original: Als Modellsubstanz dienen einfache Streichhölzer, die die Konzentration (Anzahl der Teilchen) darstellen. Die Anzahl der Spielzüge entsprechen der Reaktionszeit. Nach einer bestimmten Anzahl von Spielzügen, bleiben die Anzahl der Streichhölzer trotz hin und her tauschen für Spieler A und Spieler B gleich, was als Analogie zum *dynamischen* Gleichgewicht gesehen werden soll.

Die Schüler/innen sollen eine grafische Auswertung anfertigen. Sie dient zur Aufarbeitung der beobachteten Prinzipien und ist somit ein wichtiger Bestandteil dieses Experiments, auf den auf keinen Fall verzichtet werden sollte.

Des Weiteren ist es auch entscheidend, explizit auf die Rolle der Modellsubstanzen hinzuweisen, damit die Schüler/innen die Möglichkeit haben, richtige Analogien zu ziehen.

Durch die Abbildung „*der Apfelkrieg*“ soll noch einmal das Beobachtete aufgearbeitet, reflektiert und bewertet werden. Außerdem sollen sich die Schüler/innen in Modellkritik üben bzw. mit den gewonnenen Erkenntnissen, die Grenzen von Modellen kritisch betrachten. („Wo gibt es Abweichungen zum tatsächlichen dynamischen chemischen Gleichgewicht?“). Durch die Fragestellung „Beschreibe in deinen eigenen Worten“ wird zudem die Verwendung einer fachgerechten Sprache trainiert.

Erläuterungen

Vor Beginn des Versuches muss noch einmal klargestellt werden, dass der Tausch immer gleichzeitig (über Kreuz) vollzogen werden muss und erst danach beide Spieler ihre Streichhölzer zählen dürfen. Dieses Gedankenexperiment lässt Abänderungen und Zusatzaufgaben zu.

Das „Zusatzspiel“ ist für schnellere Gruppen gedacht, wodurch diese bei der Auswertung ergänzen können, dass sich das Gleichgewicht bei einer Reaktion unabhängig von der Ausgangslage immer in derselben Weise einstellt. Neben der Veränderung der Anfangszahlen an Streichhölzern kann auch der Bruchteil der abzugebenden Streichhölzer verändert werden. Damit würde man eine neue Reaktion simulieren, bei der sich ein anderes Gleichgewicht einstellt.

Lösungen

	Spieler A		Spieler B	
Nummer des Spielzuges	Anzahl der eigenen Streichhölzer	Anzahl der abgegebenen Streichhölzer	Anzahl der eigenen Streichhölzer	Anzahl der abgegebenen Streichhölzer
0	50	25	0	0
1	25	13	25	3
2	15	8	35	4
3	11	6	39	4
4	9	5	41	4
5	8	4	42	4
6	8	4	42	4
7	8	4	42	4
8	8	4	42	4

Zusatzspiel: Trotz der veränderten Ausgangssituation stellt sich nach einer Weile dasselbe Ergebnis ein.

Erläuterung

Die Übertragung des Modellexperiments auf die Realität bereitet den Schülerinnen und Schülern erfahrungsgemäß Schwierigkeiten, weshalb die erste Aufgabe nach einer „Probierphase“ zügig gemeinsam besprochen werden sollte.

Als Kennzeichen des chemischen Gleichgewichtes können folgende Punkte herausgearbeitet werden:

- es handelt sich um ein „dynamisches“ Gleichgewicht, d. h., Hin- und Rückreaktion laufen weiterhin nebeneinander ab (das Tauschen geht weiter, die Anzahl der Streichhölzer ändert sich nicht)
- die Konzentrationen der Edukte und Produkte bleiben dabei konstant (Anzahl der Streichhölzer ändert sich nicht)
- die Geschwindigkeiten der Hin- und Rückreaktion sind gleich
- kinetische Aspekt des chemischen Gleichgewichts, nicht aber der thermodynamische werden dargestellt

Differenzierung: Soll das chemische Gleichgewicht rein phänomenologisch behandelt werden, kann der Arbeitsbogen folgendermaßen vereinfacht werden:

- Bei der ersten Aufgabe werden die letzten vier Punkte weggelassen
- Bei der zweiten Aufgabe die zweite Grafik.

Dennoch wird der dynamische Charakter des Gleichgewichts bei konstanten Konzentrationen deutlich. Das Prinzip des chemischen Gleichgewichts wird also dennoch erkennbar!

Lösungen

$c(\text{Edukte}) = c(A)$ entspricht Streichhölzer im Besitz von Spieler A

$c(\text{Produkte}) = c(B)$ entspricht Streichhölzer im Besitz von Spieler B

Reaktionszeit entspricht Nummer des Spielzugs

Geschwindigkeitskonstante der Hinreaktion (k_{Hin}) entspricht 1/2

Geschwindigkeitskonstante der Rückreaktion ($k_{\text{Rück}}$) entspricht 1/10

Reaktionsgeschwindigkeit der Hinreaktion ($k_{\text{Hin}} \cdot c(A)$) entspricht Anzahl der von Spieler A abgegebenen Streichhölzer

Reaktionsgeschwindigkeit der Rückreaktion ($k_{\text{Rück}} \cdot c(B)$) entspricht Anzahl der von Spieler B abgegebenen Streichhölzer

Grafische Auswertung

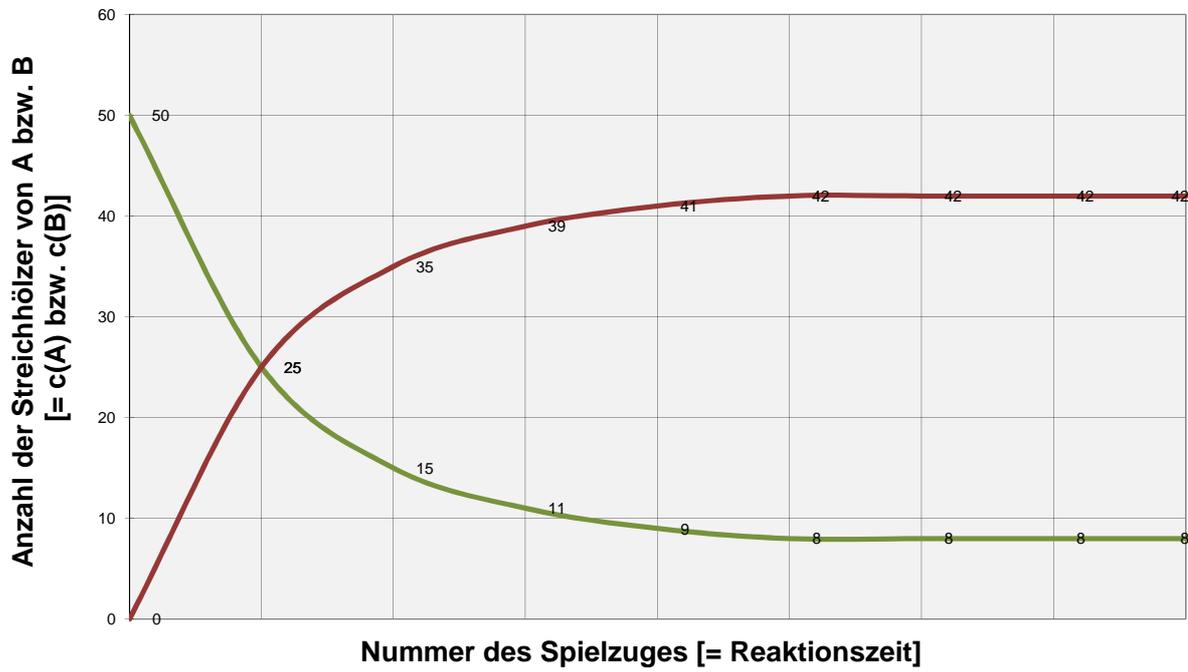


Abbildung 14. Grafische Auswertung 1

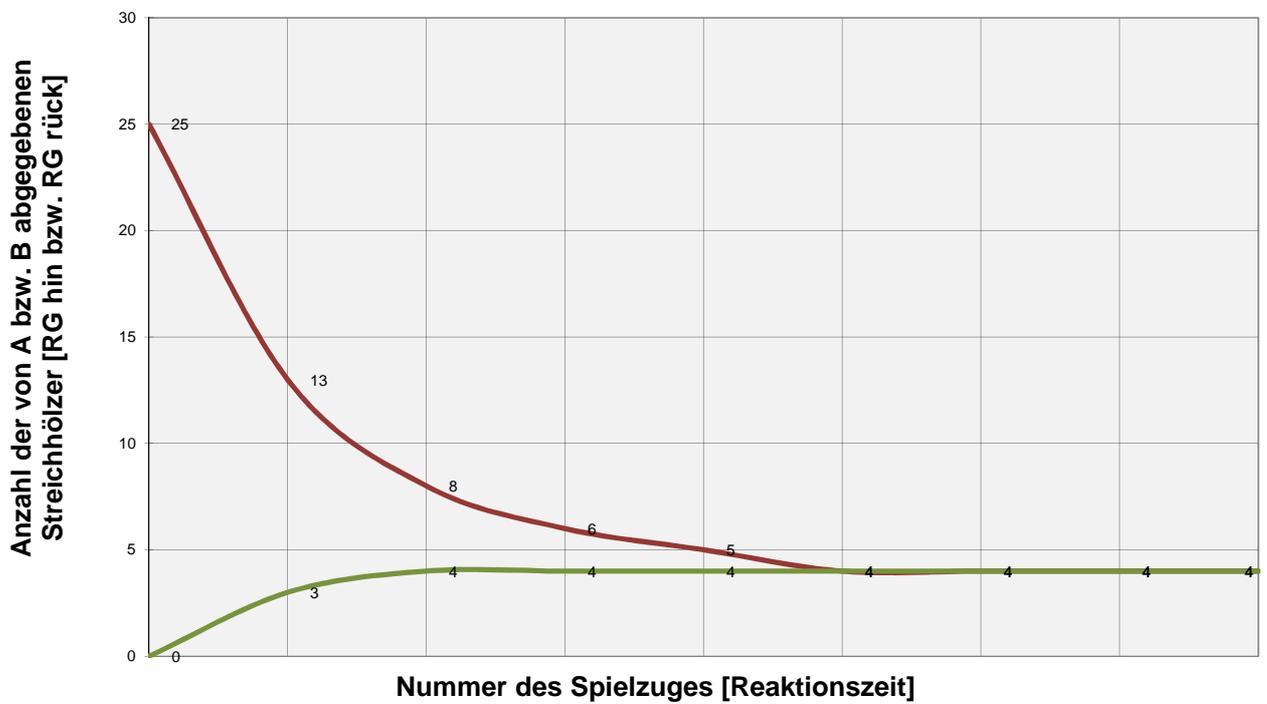


Abbildung 15. Grafische Auswertung 2

Didaktische und methodische Aufarbeitung:

Für dieses Modellexperiment braucht es keine langwierige Vorbereitung und kein hoher Kosten- bzw. Materialaufwand ist notwendig. Es handelt sich um einen kurzen, anschaulichen Versuch, der die grundlegenden Prinzipien des chemischen Gleichgewichts darstellt.

Die Schüler/innen erforschen somit selbstständig die Prinzipien des chemischen Gleichgewichts, die Lehrperson nimmt dabei aber stets die Rolle eines Hilfestellers ein. Je nach Niveau der Lernenden, ist für dieses Modellexperiment eine Vorbildung zum Thema notwendig, wobei angemerkt werden muss, dass das Modellexperiment grundsätzlich eine gute Möglichkeit ist, die Prinzipien des chemischen Gleichgewichts sichtbar zu machen und die Erkenntnisse darüber von vielen Schüler/innen ohne große Vorträge über das Thema „passiert“. Das Erkennen des Grundprinzips des chemischen Gleichgewichts steht also im Mittelpunkt.

Der Apfelkrieg (bildliches Modell)

Die Abbildung „der Apfelkrieg“ bietet abschließend die Möglichkeit, das Gelernte zu bewerten und das bildliche Modell kritisch zu betrachten (vgl. Kapitel 2.5).

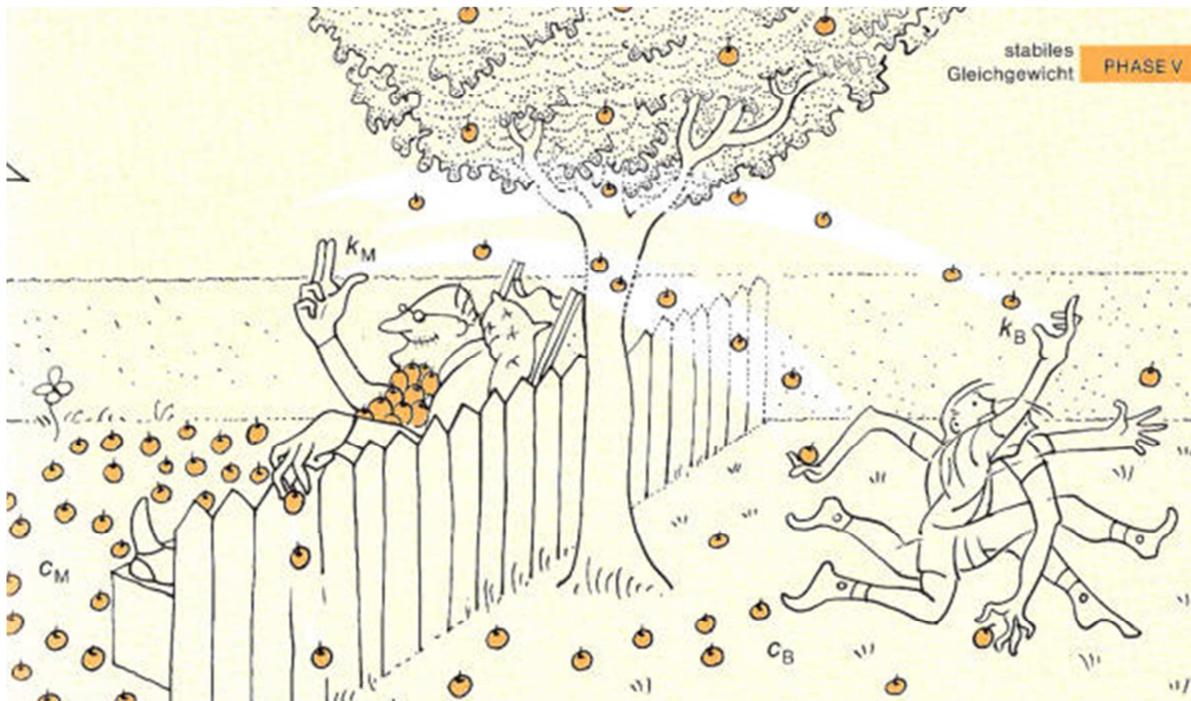


Abbildung 16. [Dickerson/Geis] Der Apfelkrieg

Auf der Abbildung ist zu sehen, wie ein älterer Herr und ein Junge Äpfel über einen Zaun werfen.

- Die Konzentrationen (c) der Produkte und Edukte entsprechen der Anzahl der Äpfel im jeweiligen Garten.
- Die Reaktionsgeschwindigkeit (v) entspricht der Geschwindigkeit, mit der die Äpfel über den Zaun geworfen werden.
- Die Geschwindigkeitskonstante (k) entspricht der Möglichkeit, wie schnell der Junge bzw. der ältere Herr die Äpfel aufheben können (bzw. Anzahl der Arme mit der geworfen werden, Länge der Wege zwischen den Äpfeln).

Der Junge kann schneller die Äpfel vom Boden aufheben (sein k ist also größer). Dadurch kann er eine größere Anzahl von Äpfeln über den Zaun werfen (schnellere v). Allerdings hat er nach kurzer Zeit weitere Wege zwischen den Äpfeln, da die Anzahl der Äpfel (entspricht der Konzentration) im Garten kleiner wird. Der alte Herr hat bald mehr Äpfel im Garten (die Konzentration steigt), muss keine weiten Wege gehen um an Äpfel zu gelangen, dafür kann er nicht so schnell Äpfel vom Boden aufheben.

$$k_{\text{Herr}} < k_{\text{Junge}}$$

$$c_{\text{Herr}} > c_{\text{Junge}}$$

Der Junge wird es nie schaffen alle Äpfel aus seinem Garten zu entfernen, nach einiger Zeit stellt sich ein Gleichgewicht ein (Anzahl der Äpfel auf jeder Seite bleibt konstant).

$v_{\text{Herr}} = v_{\text{Junge}} \rightarrow$ entspricht also dem dynamischen chemischen Gleichgewicht

Die „Patt-Situation“ entspricht einem Gleichgewichtszustand zwischen den 2 entgegengesetzten Prozessen. Aber auch im Gleichgewicht hat der Prozess des Werfens nicht aufgehört, die Zahl der Äpfel pro Seite bleibt trotzdem konstant.

3.2. Modellexperiment zum Durchtritt von Teilchen durch eine Membran

(Abgeänderte bzw. vereinfachte Versuchsdurchführung nach [40, S.29], *Modellexperiment zum Durchtritt von Ionen durch eine Biomembran*).

Das von Friedrich und Oetken vorgestellte Modellexperiment erweist sich aus zwei Gründen für den alltäglichen Schulunterricht als wenig geeignet:

- zum einen ist das Arbeiten mit Kaliumchromat in der Schule wenig empfehlenswert
- und zum anderen stellen Kronenether in einer „normalen“ Schule eine schwer zugängliche Chemikalie dar.

Die im Artikel von Friedrich und Oetken vorgestellte Unterrichtseinheit beschreibt anhand von Chromverbindungen (und deren unterschiedliche Toxizität) den Carrier- Mechanismus, der in der Biomembran der menschlichen Zellen vorhanden sein muss. Es soll anhand eines Beispiels die Permeation von Ionen durch eine unpolare Phase demonstriert werden. Als Modells substanz dienen dabei cyclische Polyether, so genannte Kronenether. Die Verwendung dieser Stoffklasse erweist sich als durchaus sinnvoll, haben Kronenether doch sehr ungewöhnliche Eigenschaften; Sie sind in Methanol unlöslich, bei der Zugabe von Natrium- oder Kaliumsalzen, lösen sie sich aber. Für die Schüler/innen könnte aber genau dies zum Problem werden, ist die Erklärung für diese ungewöhnlichen Eigenschaften schon sehr komplex für sie zu verstehen. Die Analogie zwischen Modells substanz und Originalsubstanz könnte dadurch nicht gezogen werden und das Modellexperiment erfüllt nicht sein Unterrichtsziel.

Es erweist sich als sinnvoller, eine vereinfachte Variante zu verwenden, da die gleichen Phänomene erklärt werden können. „Wir sieben Teilchen“ oder „molekulares Teilchensieben“ stellt dabei schon ein sprachliches Modell dar, das vereinfacht den Prozess des Membrandurchtritts mit der Alltagswelt der Schüler/innen verknüpft und so eine Veranschaulichung in der Vorstellung hervorruft. Das Wort „sieben“ weist außerdem schon auf einen Unterschied der Teilchengröße hin. Die Versuche basieren auf einer Dissertation von FALKO JOHANNSMEYER „Stationen auf dem Weg ins Diskontinuum im Chemieunterricht der Sekundarstufe 1“ (Osnabrück 2004).

Ein weiterer Vorteil dieses Versuchs ist, dass er bereits im Anfangsunterricht eingesetzt werden kann um das Teilchenmodell bzw. die unterschiedlichen Größen von Teilchen zu erklären. In der vorliegenden Arbeit werden die Versuche aber als Anknüpfungsversuche gesehen, um das Vorwissen der Schüler/innen zu aktivieren. Das Teilchenmodell sollte den Schüler/innen also bereits bekannt sein, dennoch ist dieser Versuch wichtig, um später Resorption von Arzneistoffen (siehe 3.3.) zu erklären und eigenständig aus den Beobachtungen des Modellexperiments Schlüsse ziehen zu können.

3.2.1. Lehrerblatt – Modellexperiment 2

Durchtritt von Teilchen durch eine Membran- „Wir sieben Teilchen“

Anschauungsmodell

Dauer: 15 Minuten

Um auf die Bedeutung von Biomembranen zu kommen, soll nach dem Experimentieren auf die Biochemie im menschlichen Körper hingewiesen werden. Ein ähnlicher Vorgang, wie der beobachtete Durchtritt von gewissen Teilchen durch eine Membran, läuft in den Nieren ab, wo sehr kleine Teilchen eine Membran passieren können. Anstelle von Kunststofffolien wirken hier natürliche Zellmembranen als Filter (Hinweis auf Modellsubstanz und Original). Sie lassen Wasser und kleine Abfallstoffe des Stoffwechsels durch und halten größere Teilchen im Körper zurück.

Geräte/ Materialien

- Frischhaltefolie
- Cellophanfolie
- 2 Reagenzgläser
- Reagenzglasständer
- Becherglas
- kleine Haushaltsgummis
- Stativ mit 2 Muffen
- 2 Klammern
- Schere

Chemikalien

- Farbstofflösung (vom Lehrer)
- KMnO_4 - Lösung
- Wasser



Versuch A: „Folie ist nicht gleich Folie“

Schülerexperiment

Dauer: je nach Anzahl der Lösungen, ab 15 Minuten

Zwei Reagenzgläser werden mit Kaliumpermanganatlösung gefüllt und mit unterschiedlichen Folien verschlossen. Glas 1 mit Cellulosefolie (Marmeladenfolie) und Glas 2 mit Frischhaltefolie (PE).

Die unterschiedlichen Folien werden bei diesem Modellexperiment als Modellsubstanz für Biomembranen verwendet.

Die Schüler/innen sollen ihre Beobachtungen notieren und eine Erklärung dafür finden (Versuchsprotokoll). In einer achten Klasse kann man davon ausgehen, dass die Schüler/innen bereits wissen, warum Teilchen nicht durch beide Folien dringen können. „Die Schüler begründen diese Beobachtung damit, dass die Frischhaltefolie dicht ist, und die Cellophanhaut winzige Löcher (Poren) besitzt, durch welche der Farbstoff hindurchdiffundieren kann“ [Johannsmeyer, 2004]

Diese Erklärung ist bei genauerer Betrachtung der beiden rasterelektronenmikroskopischen Bilder der verwendeten Folien auch vollkommend zutreffen.

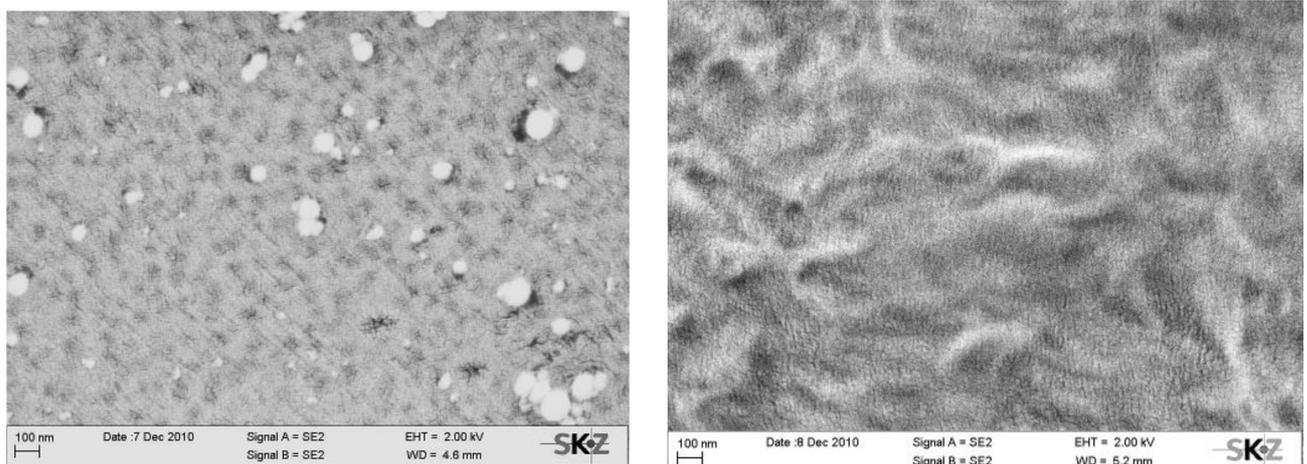


Abbildung 17. Rasterelektronenmikroskopische Aufnahmen von Cellophan (links) und Frischhaltefolie (PE) (Bildquelle: Dr.-Ing. Markus Heindl, SKZ– Das Kunststoff-Zentrum – Würzburg)

Erläuterungen zu den Folien:

Bei den weißen Körnern im Cellophanbild handelt es sich um einen Füllstoff/Zuschlag. Deutlich ist der Unterschied zwischen der PE-Folie (rechts geschlossene Oberfläche) und der Cellophan-Folie (links), schwammartige Struktur mit porenartigen Vertiefungen sind zu erkennen. Eine genaue Angabe der Porengröße ist nicht möglich. Sie liegt im Bereich von wenigen bis einigen 10 nm, also im Bereich der Ultrafiltration. Solche Folien (Membranen) sind für kleinmolekulare Stoffe permeabel und impermeabel für Makromoleküle.

Verfahren	Porengröße	Membranmaterial	MWCO	impermeabel für	permeabel für
Umkehrosmose	0,5 - 1 nm	diverse	<1000 u	Salze und kleine org. Moleküle	Wasser
Nanofiltration	1 – 10 nm	Polyamide, Keramik, diverse	10000 - 50000 u	polyvalente Ionen, ungeladene Moleküle >1nm	Einfach gel. Ionen, ungeladene Moleküle <1nm
Ultrafiltration	10 -100 nm	Polysulfone, Celluloseacetat u.a.	50 000 – 5 Mio u	Makromoleküle	Salze und nichtmakromolekulare Stoffe
Mikrofiltration	0,1 – 8 µm	Cellulosemischester, Teflon u.a.	> 5 Mio u	Viren, Bakterien	

Abbildung 18. Quelle:

http://lehrerfortbildungbw.de/faecher/chemie/gym/fb2/modul2/t7/61_daltons_atomm_dell_li06_teilchensieben.pdf

MWCO = Molecular Weight Cut Off entspricht der kleinsten Molekülmasse, die zurückgehalten wird

Variation des Versuchs und mögliche Aufgabenstellungen:

- ✓ Ordne die Abbildungen von den Folien deinen Skizzen im Protokoll zu. (N1)
- ✓ Zeichne eine mikroskopische Aufnahme der beiden Folien. (N2)
- ✓ Erstelle eine Versuchsdurchführung um festzustellen, welche der beiden Substanzen (z.B. Glucose und Stärke oder Glucose und Brilliantblau) aus größeren Teilchen besteht. (N3)

Versuch B: „Teilchen ist nicht gleich Teilchen“

Durchführung und Versuchsaufbau:

Eine Epruvette wird ca. halb voll mit KMnO_4 Lösung befüllt und mit einem Stück Folie und einem Gummiringel verschlossen. Das RG wird am Stativ befestigt, sodass die Folie in ein Becherglas, mit Wasser befüllt, eintaucht.

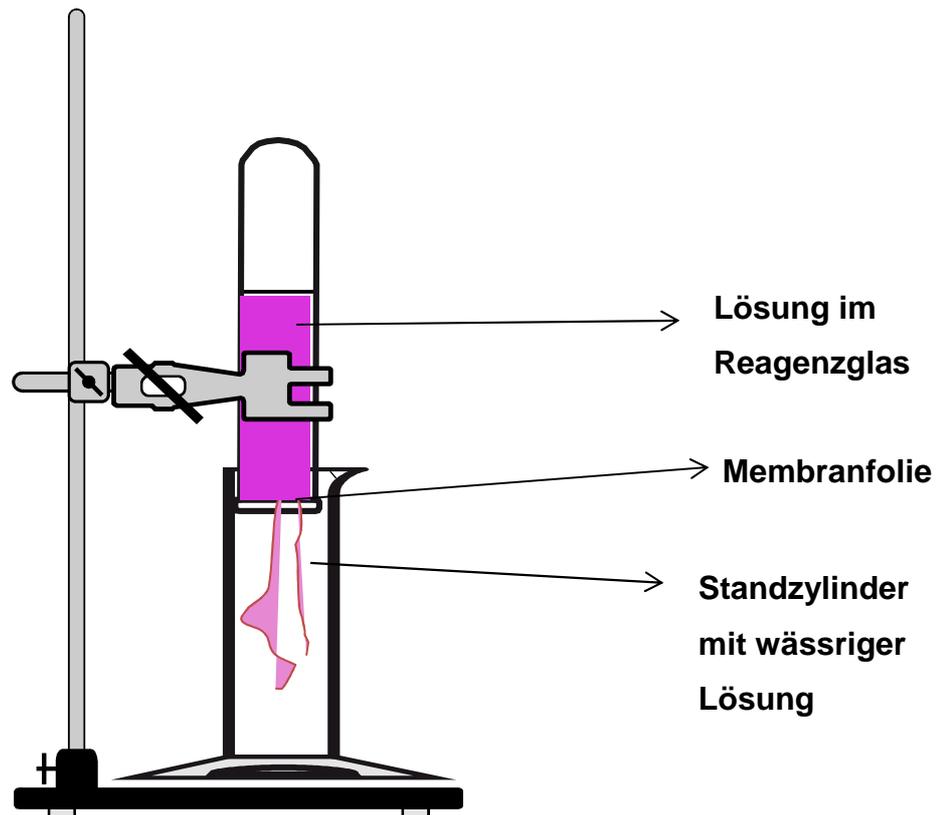


Abbildung 19. Versuchsaufbau

Beobachtungen:

Nach kurzer Zeit wird eine Färbung sichtbar bzw. mit dem Nachweisreagenz kann der entsprechende qualitative Nachweis erfolgen.



Abbildung 20. KMnO_4 Teilchen durchdringen die Membran

Erklärung:

Über die unterschiedliche Porengröße, die bereits im Versuch davor herausgearbeitet wurde (vgl. 3.2.1.), kann das Beobachtete einfach von den Schüler/innen erklärt werden. Sie erkennen, dass die Teilchengröße entscheidend für den Durchtritt durch eine Membran ist.

Weiters können mit diesem Versuch die *Löslichkeit*, *Löslichkeitsprodukt*, *Nachweisreaktionen*, *Nachweisreagenzien* und *Kohlenhydrate* wiederholt werden.

Der Nachweis der durchgetretenen Stoffe erfolgt mit den entsprechenden Nachweisreagenzien: einige Beispiele sind aufgelistet.

- Stärke: Iod- Stärke Reaktion mit Lugol'scher- Lösung
- Reduzierende Zucker: Fehling- Lösung
- Kochsalz (pro Analyse, PA): Chlorid mit AgNO_3 - Lösung, dabei fällt Silberchlorid als weißer Niederschlag aus
- CO_2 aus Kohlensäure mit Ca(OH)_2 fällt als CaCO_3 (weißer Niederschlag) aus.



Abbildung 21. Nachweis der Permeation von Iod mit Stärkelösung



Abbildung 22. Nachweis der Permeation von Natriumchlorid durch die Chlorid-Reaktion mit AgNO_3 zu AgCl

Weiterführende Experimente:

Mit demselben Apparaturaufbau können auch die Durchlässigkeit anderer Moleküle und Ionen überprüft werden, wie Iod-Moleküle, Na^+ Cl^- Ionen, CO_2 und Glucose Moleküle.

Variation des Versuchs:

Den Schüler/innen werden verschiedene Chemikalien mit den dazugehörigen Strukturformeln gegeben. Bevor sie zu experimentieren beginnen, sollen sie die Stoffe in zwei Gruppen („können die Membran durchdringen“ und „können die Membran nicht durchdringen“) einteilen. Die Schüler/innen sollen ihre Wahl begründen. Anschließend sollen sie ihre Hypothesen verifizieren oder falsifizieren und die Ergebnisse diskutieren.

Die Schüler/innen führen das Modellexperiment mit der KMnO_4 Lösung und Stärke- Lösung parallel durch und beobachten, dass die Stärke Moleküle die Folie nicht durchdringen können. Welche Schlüsse ziehen sie aus ihren Beobachtungen? Anstelle von KMnO_4 Lösung empfiehlt sich auch Glukoselösung,

die Glukosemoleküle können die Folie durchdringen, die Stärkelösung nicht. Dieser Vergleich stellt eine gute Einleitung für den Stärkeabbau im Körper dar!

Grenzen des Modellexperiments:

Nicht nur die Porengröße bzw. Molekülgröße ist entscheidend dafür, ob eine Substanz eine Membran durchdringen kann. In Kombination mit dem folgenden Modellexperiment „*Resorption von Arzneistoffen durch eine Biomembran*“ (vgl. 3.3.) werden weitere wichtige Faktoren und Prinzipien dieses biochemischen Kapitels aufgearbeitet.

3.3. Resorption von Arzneistoffen

3.3.1. Lehrerblatt – Modellexperiment 3

Modellexperiment zur Resorption von Arzneistoffen

Anschauungsmodell/ Funktionsmodell

Dauer: 30 Minuten

Mit Hilfe dieses Modellexperiments und unter Bezugnahme der bereits experimentell erarbeiteten Informationen zu Membranen sollen die Schüler/innen in der Lage sein, folgende Fragen zu beantworten:

- Welche grundlegenden Voraussetzungen muss ein Stoff/ eine Substanz erfüllen, damit es seine Wirkung als Arzneistoff entfalten kann?
- Welchen Einfluss haben Polarität und pH- Wert auf die Resorption?
- Welche Rolle spielt der Ort der Resorption?

Grundlegendes Prinzip:

Damit ein Stoff überhaupt als Arzneistoff wirken kann, müssen die entsprechenden Moleküle mit gewissen Strukturen im Körper (Rezeptoren, Zellen etc.) in Wechselwirkung treten. Durch die orale Einnahme eines Arzneimittels müssen die Wirkstoffe durch den Magen- Darm- Trakt in den Blutkreislauf um dann zu den Organen zu gelangen, an denen sie ihre Wirkung verbreiten sollen. Um diese ersten Schritte überhaupt zu gewährleisten müssen Arzneimittel bereits gewisse Eigenschaften (z.B. Resistenz gegenüber Säuren oder Basen) erfüllen. Egal zu welchem Wirkungsort der Arzneistoff über den Blutkreislauf transportiert wird (Magen, Darm, Schleimhäute, etc.) die Substanzen haben immer dieselbe Barriere zu überwinden: die Oberflächenmembran der Zelle. Das folgende Modellexperiment soll dies veranschaulichen.

Damit dieses Experiment für Schüler/innen überhaupt Sinn macht, müssen sie zuerst verstehen, dass eine Membran aus einer Lipid- Doppelschicht aufgebaut ist, bei der die polaren, hydrophilen „Köpfe“ der Lipide nach außen und die unpolaren, lipophilen Reste nach innen ragen.

(Anmerkung: Wie genau man auf den Aufbau einer Plasmamembran eingeht hängt von vielen Aspekten wie z.B. Projekt, Schulform, Unterrichtsziel etc. ab. Ziel dieser Unterrichtseinheit ist es, das Prinzip der Aufnahme und der verschiedenen Einflussfaktoren zu verstehen, weshalb eine genauere Erklärung des Aufbaus einer Biomembran nicht notwendig erscheint).

Aufgrund des unpolaren Innenbereichs der Membran, ist sie für polare Stoffe weitgehend undurchlässig. (Eingelagerte, bzw. aufgelagerte Proteine können jedoch die Membran für kleine polare Moleküle durchlässig machen). Bestimmend für die Diffusion ist das Konzentrationsgefälle, ohne dieses findet keine Aufnahme durch eine Membran statt.

Leittext

„Die Lipophilität eines Arzneistoffes sowie sein Verhalten bei unterschiedlichen pH- Werten ist auf seine Molekülstruktur zurückzuführen. Vergleicht man verschiedene Arzneimittel, so steigt die Resorbierbarkeit zunächst mit zunehmender Lipophilität an [...]. Substanzen mit geringer Lipophilität können erst gar nicht in die Lipid- Doppelschicht einwandern. Bei einer stark ausgeprägten Lipophilität wandern die Wirkstoffe lediglich in die Zellmembran ein und reichern sich dort an. [...] Von großer Bedeutung für die Resorption kann auch der pH-Wert beiderseits der Membran sein. Dies ist immer dann der Fall, wenn es sich bei dem Arzneistoff um eine schwache Säure (Acetylsalicylsäure, Penicilline) oder Base (Allopurinol, Chinin) bzw. deren Salze handelt. Diese Stoffe werden bevorzugt in der nicht- ionisierten Form resorbiert, da die Fettlöslichkeit mit steigender Ionenladung abnimmt. [...] Das Milieu im Magen ist stark sauer, das im Darm reicht von schwach sauer bis schwach basisch“ [31, S.33].

Diese chemischen Grundprinzipien sollen anhand des Modellexperiments verstanden werden.

Als Modellsubstanzen verwendet werden:

- Wachsfarben für eine unpolare Substanz,
- Fluoreszein und Phloxin für Substanzen, dessen Lipophilität abhängig vom pH- Wert ist
- Octan-1-ol, als unpolarer, lipophiler Innenteil der Membran, der durchdrungen werden muss

Versuch A- Lipophilität und Resorption

Dauer: 10-15 Minuten

Geräte/ Materialien	Chemikalien	
<ul style="list-style-type: none">• Reagenzgläser• RG- Ständer	<ul style="list-style-type: none">• Wachsfarben• Oktan-1-ol• Ethanol	

Durchführung 1:

- Wenige Körner Wachsfarbe (lipophil) mit 2 ml Wasser versetzen
- 2-3 ml Oktan-1-ol dazu geben und schütteln.

Skizze:

- a. Wachsfarbe und Wasser
- b. Wachsfarbe und Oktan-1-ol

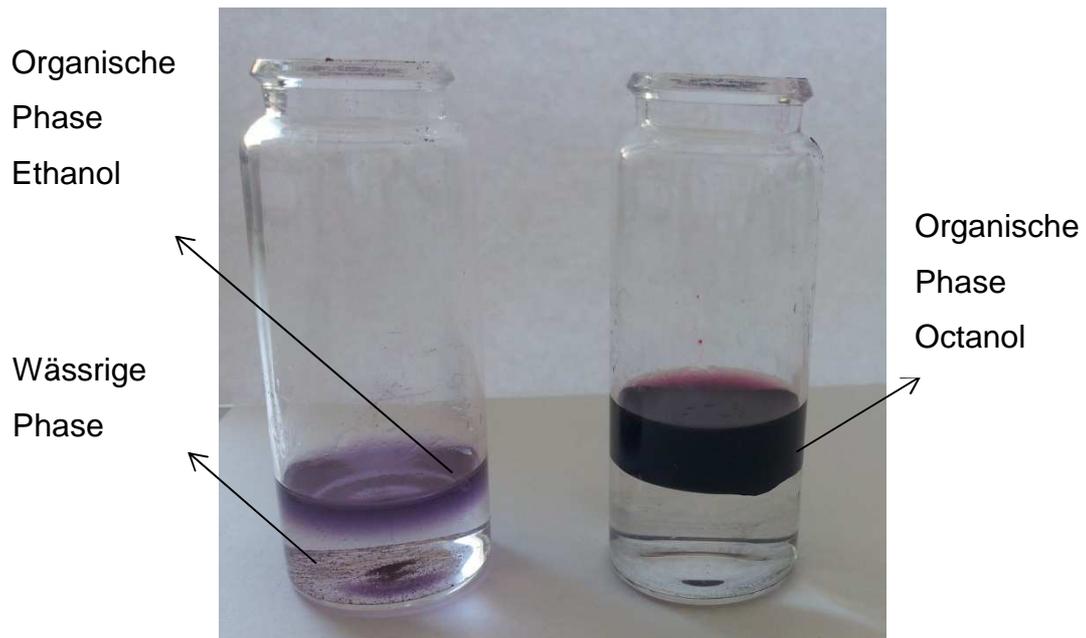


Abbildung 23. Verhalten des lipophilen Farbstoffes in einer wässrigen Phase (links) und einer unpolaren, organischen Phase (rechts)

Durchführung 2:

- Löse wenige Körner Wachsfarbe in 6 ml Ethanol und teile die Lösung auf 2 RG auf
- Gib bei einem RG ca. 3 ml Wasser dazu und übergieße das andere RG mit Oktan-1-ol
- Schüttle beide RG
- Notiere deine Beobachtungen und zeichne für beide RG eine Skizze

Erklärung und Beobachtung:

Die Wachsfarbe ist unpolar und löst sich daher in der unpolaren, organischen Phase.

Versuch B: Einfluss des pH- Werts auf die Lipophilität

Dauer: 10 Minuten

Geräte/ Materialien	Chemikalien	
<ul style="list-style-type: none">• Reagenzgläser• RG- Ständer• Tropfpipetten	<ul style="list-style-type: none">• Fluoreszeinlösung• Octan-1-ol• NaOH (0,1M)• HCl (0,1M),	

Durchführung:

- Gib in 2 beschriftete RG je ca. 2 ml Fluoreszeinlösung
- In das 1. RG gibst du einige Tropfen der NaOH
- In das zweite RG gibst du einige Tropfen der HCl
- Gib in beide RG wieder vorsichtig das Octan-1-ol dazu
- Schütteln

Beobachtungen:



Abbildung 24. Fluoreszein gelöst in HCl (links) und NaOH (rechts)



Abbildung 25. Fluoreszein gelöst in HCl (links) und NaOH (rechts) mit Octan-1-ol überschichtet

Erklärung:

Die Verteilung der Farbstoffe zwischen den jeweiligen Phasen und damit einhergehend die Farbintensität, hängt von der Löslichkeit des Farbstoffes ab.

Je lipophiler die Substanz, umso besser löslich ist sie in der unpolaren, organischen Phase und umso schlechter löslich ist sie in der wässrigen Phase!

Fluoreszein ist in basischer Lösung stark hydrophil (Struktur!) und im sauren Medium besitzt es eine mittlere Lipophilität.

In basischer Lösung liegt das Fluoreszeinmolekül in ionischer Form vor, da es an der OH- bzw. COOH- Gruppe ein Proton abgibt. Dadurch wird der hydrophile Charakter des Moleküls stark verstärkt. In Natronlauge liegt Fluoreszein als Fluoreszein- Dinatriumsalz vor. Die Fluoreszenz wird im Basischen erhalten.

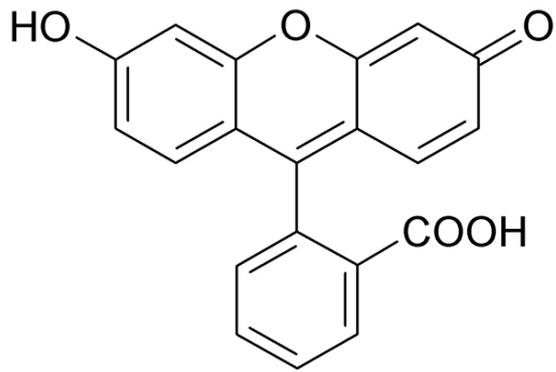


Abbildung 26. Fluoreszein pH <7

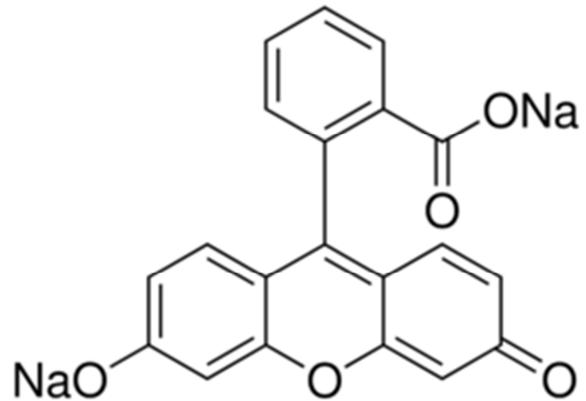


Abbildung 27. Fluoreszein Dinatrium pH>7

Nach derselben Vorgehensweise wurde das Experiment mit Brilliantblau und Phloxin durchgeführt.

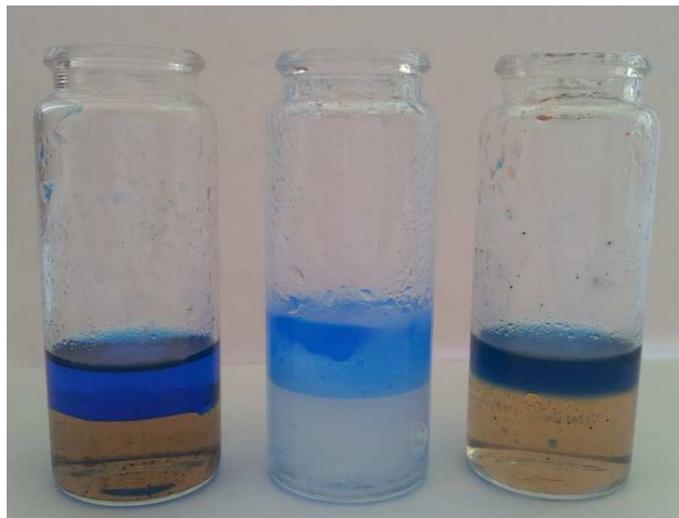


Abbildung 28. Brilliantblau bei pH<7 (rechts), in wässriger Lösung (mitte), und bei pH>7 (links)

Erklärung:

Durch das Experiment wird erkennbar, dass die Lipophilität von Brilliantblau durch den pH- Wert nicht beeinflusst wird und es sich immer in der organischen Phase löst.

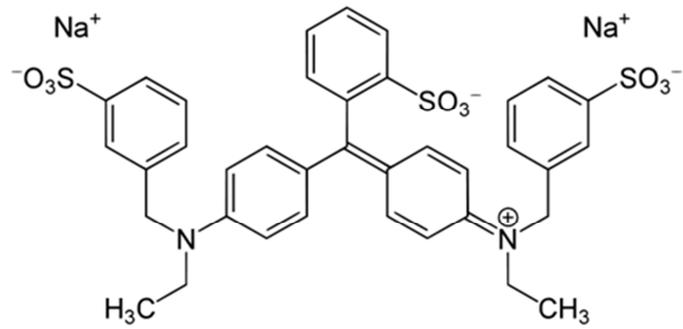


Abbildung 29. Brilliantblau



Abbildung 30. Phloxin bei pH<7 (links) und pH>7 (rechts)

Erklärung:

Die Strukturformel von Phloxin lässt darauf schließen, dass es bei einem sauren pH- Wert in die organische Phase übergeht. Im Basischen „mag“ es hingegen beide Phasen.

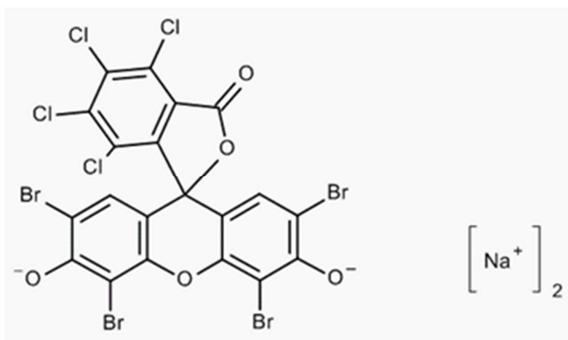


Abbildung 31. Phloxin bei pH<7

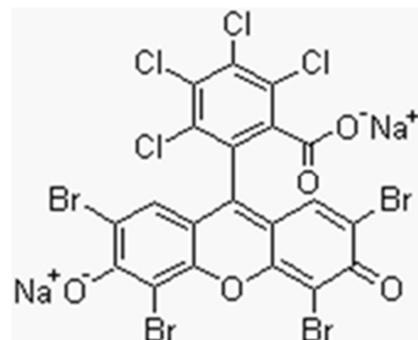


Abbildung 32. Phloxin bei pH>7



Abbildung 33. Fluoreszein und Phloxin in den entsprechenden Phasen unter der UV Lampe bei 340 nm

Modellaufgaben: (N1- N3)

- Beschreibe in deinen eigenen Worten, wie sich der pH- Wert auf die Molekülstruktur und die Löslichkeit der Substanzen auswirkt.
- Ordne die Molekülstrukturen nach steigender Lipophilität. Beschreibe kurz deine Vorgehensweise.
- Fasse kurz zusammen, welche Eigenschaften eine Substanz haben muss, damit der Durchtritt durch eine Plasmamembran möglich ist.
- Erstelle eine Versuchsbeschreibung um zu zeigen, dass eine Membran nicht komplett unpolar sein darf. (Lösung: als organische Phase Paraffin verwenden, dies wäre zu unpolar!)
- Welche Aussagen kannst du aufgrund deiner Beobachtung auf das Resorptionsverhalten von schwachen Säuren treffen?
- Wieso ist der pH- Wert nur für die Resorption von schwachen Säuren oder Basen von Bedeutung?

4. Fazit

„Wenn die Voraussetzung für einen erfolgreichen Lernprozess durch die Haltung und Einstellungen zum jeweiligen Bereich determiniert sind, und der Status des Chemieunterrichts- sowohl schulisch wie auch gesellschaftlich- als negativ besetzt bekannt ist, kann die einzige Konsequenz darin bestehen, das negative Image der Chemie aufzulösen und durch ein positives Bild zu ersetzen. Verantwortung im Sinne von Mitgestaltung am Unterricht würde durch seine motivierende Wirkung eine für das Fach Chemie langfristige qualitative Verbesserung in Aussicht stellen, [...]“ [1, S.38].

Das oben genannte Zitat beschreibt einen Aspekt des Ziels dieser Diplomarbeit. Als angehende Lehrerin ist es mir ein Bedürfnis, den Schüler/innen zu zeigen, dass Chemie spannend und für jeden Einzelnen im alltäglichen Leben relevant ist. Chemieunterricht muss nicht trocken, langweilig und schwer verständlich sein. Es ist deshalb entscheidend, dass sich angehende Chemielehrer/innen mit Möglichkeiten beschäftigen, um den traditionellen, mit schlechtem Ruf behafteten Chemieunterricht durch einen modernen, und für Schüler/innen interessanten Unterricht zu ersetzen. Auch die Politik hat sich dementsprechend Gedanken gemacht und fordert, dass Kompetenzen anstelle von Fachwissen unterrichtet werden. Die Mitgestaltung und das aktive Teilnehmen der Schüler/innen im Unterricht spielen dabei eine wesentliche Rolle, um die chemischen Grundprinzipien und Konzepte zu verstehen. Ein unverzichtbares Hilfsmittel dafür stellen Experimente dar. Aber Experiment ist nicht gleich Experiment und oft ist den Schüler/innen auch nicht klar, was mit einem Experiment gezeigt oder verstanden werden soll. Aus diesem Grund tragen Modellexperimente einen wesentlichen Beitrag dazu bei, die Chemie für die Schüler/innen anschaulich, nachvollziehbar, weniger komplex und somit beliebter zu machen. Modellexperimente sind Modelle für nicht sichtbare chemische Prozesse, Prinzipien und Vorgänge und nehmen somit der Chemie die Abstraktheit und Komplexität. Außerdem können sich Schüler/innen durch den Bezug zum Alltag, der durch ausgewählte Modellexperimente gegeben ist, mit der Chemie besser identifizieren, das Interesse steigt.

Im theoretischen Teil dieser Arbeit wurde gezeigt, dass sich die Einteilung der verschiedenen Arten von Modellexperimenten als schwierig erweisen kann und abhängig vom didaktischen Ziel eines Modellexperiments im Unterricht. Für den Chemieunterricht entscheidend sind sowohl Anschauungsmodelle und Funktionsmodelle. Beim Arbeiten mit Modellexperimenten muss man aber stets deren Grenzen beachten und berücksichtigen. Die Lehrperson muss sich dessen bewusst sein und diese Grenzen im Unterricht auch thematisieren, denn das Erkennen von Modellgrenzen stellt einen entscheidenden Teil einer naturwissenschaftlichen Arbeitsweise dar. Die Diskussion der Modellgrenzen im Unterricht sollte als Chance gesehen werden und kann nach ausführlicher didaktischer Aufarbeitung den Erkenntnisgewinn in Bezug auf das Original fördern. Die Reflektion über das jeweilige Experiment, zugrundeliegende Prinzipien und Unterrichtsziele sind somit ein wesentlicher und unverzichtbarer Teil der Arbeit eines/r Chemielehrers/in.

Im Schulpraktischen Teil dieser Arbeit wurde eine Unterrichtseinheit erstellt, anhand derer die Schüler/innen die Fähigkeit erlangen sollen, zu beobachten, Analogien zum Original herzustellen und diese und das Beobachtete mit Denkmodellen zu erklären. Außerdem sollen sie die Grenzen der Modellexperimente erkennen.

Literaturverzeichnis

- [1] Folwaczny S. und H.- J. Becker.: *Schülerorientierungen und der „neue“ G-8- Lehrplan NRW*. In: PdN Chemie in der Schule. 6/59. (2010). S.35- 38.
- [2] Keller, G.: *Über das Denken in Modellen- ein Beitrag zur Didaktik der Chemie*. Aarau, Frankfurt am Main, Verlag Sauerländer, 1997.
- [3] Eschenhagen, K. et. al.: *Fachdidaktik Biologie*. Aulis Deubner Verlag Köln, 2003.
- [4] Heitzmann A. Modelle verwenden. In: *Fachdidaktik Naturwissenschaft 1.-9. Schuljahr*. Labudde, P.[Hrsg.] UTB Haupt Stuttgart 2010.
- [5] Sommer, K. et al.: *Modellexperimente- Zwischen Anschauungselement und Erkenntnisgewinnung*. In: Naturwissenschaften im Unterricht- Chemie 23 (2012) Nr. 132, S. 2-9.
- [6] Neuhauser, A.: *Modellexperimente und Funktionsmodelle im Unterricht*. In: ChiS (1975), S. 538-545.
- [7] Kotter, L.: *Die zentrale Stellung des Experiments im Chemieunterricht*. In: Bukatsch, F.; Glöckner, W.; Kotter, L.: *Fachdidaktisches Studium in der Lehrerbildung- Chemie*, Oldenbourg Verlag, München 1976, S. 87-107.
- [8] Johnstone, A.H.: *Teaching of Chemistry – logical or psychological?* Cerapie1, (2000), 9.
- [9] H.J. Becker et. al., *Fachdidaktik Chemie*. Aulis Verlag, Köln, 2.Auflage (1992).
- [10] P. Pfeifer.: *Vom “Blue Bottle” zum Baumannschen Versuch- Didaktische Analyse von Modellversuchen zur Biokatalyse*. In: ChiS (2013), Nr. 8/62, S. 41-46.
- [11] H. Steff und Katrin Sommer.: *Roheisen aus der Dose- Schüler modellieren den Hochofenprozess*. In: Naturwissenschaften im Unterricht Chemie 23 Nr. 132, (2012), 26-33.
- [12] Stachowiak, H.: *Gedanken zu einer allgemeinen Theorie der Modelle*. *Studium Generale*. 18 (1965), 432.

[13] Terzer, E. & Upmeyer zu Belzen, A. *Naturwissenschaftliche Erkenntnisgewinnung durch Modelle- Modellverständnis als Grundlage für Modellkompetenz*. Berichte des Instituts für Didaktik der Biologie der Universität Münster(IDB), 16, (2007), 33-56.

[14] H.J. Bader. Das Experiment im Chemieunterricht. In: P. Pfeifer, B. Lutz und H.J. Bader [Hrsg.], *Konkrete Fachdidaktik Chemie*. Oldenbourg Verlag, München, 3. Auflage (2002).

[15] Steinbuch, K.: Denken in Modellen. In: Schäfer, G., u.a.: *Denken in Modellen*. Westermann Verlag, Braunschweig. (1977).

[16] Barke, H.-D. und Günther Harsch. *Chemiedidaktik heute- Lernprozesse in Theorie und Praxis*. Springer Verlag, Berlin Heidelberg, (2001).

[17] Bindernagel, J.A. & Ingo Eilkks. Lehr(er)wege zu Teilchen und Atomen- Vielfalt der Modelle versus konstante Konzeptentwicklung?. In: *NiU Chemie* (2009), Nr. 114. 20. Jg. S. 9-14.

[18] Born, Max.: 1. Episode. In: P. Buck, M. Rehm und Th. Seilnacht [Hrsg.], *Der Sprung zu den Atomen*, Seilnacht, Bern, (2004).

[19] Buck, P.: *Die Teilchenvorstellung - ein „Unmodell“*, In: *Chemie in der Schule* 41 (1994), 11.

[20] Müller, M.: *Der „Modellversuch zur Volumenkontraktion“ - ein untaugliches Hilfsmittel*. In: *Chemie in der Schule* 42 (1995), 3.

[21] Kullmann, K.: *Was erklärt der „Modellversuch zur Volumenkontraktion“ wirklich?*, In: *Chemie in der Schule* 41 (1994), 12

[22] Baars, G. und Christen, H.R.: *Die Teilchenvorstellung - ein Unmodell?*, In: *Chemie in der Schule* 42 (1995), 3.

[23] Müller, M.: *Das Unmodell der Teilchen - Kritik an der Kritik*. In: *Chemie in der Schule* 42 (1995), 9.

[24] Kranz, J.: *Methoden der Erkenntnisgewinnung*. In: J. Kranz, J. Schorn [Hrsg.], *Chemie Methodik- Handbuch für die Sekundarstufe I und II*. Cornelsen Verlag. Berlin (2008), 109-152.

[25] Klinger, W.: *Analogiedenken und seine Bedeutung im Physiklernen*. GDCP 22 (1994), 289.

[26] Eschenhagen, D., U. Kattmann & D. Rodi. *Fachdidaktik Biologie*. 7. Auflage. Aulis, Köln (2006), 330-338.

[27] Sommer, K. *Die Fachmethode der Chemie*. Aulis Verlag Deubner, Köln, (2007).

[28] Van der Vald, T., H. Van Driel, J. & De Vos, W. (2007). *Common characteristics models in present-day scientific practice*. In: *Research in Science Education* 37 (2007), 469- 488.

[29] Petermann, K., Friedrich J. & Oetken M. *Das an Schülervorstellungen orientierte Unterrichtsverfahren*. *Chemkon*, 15 (2008), 110-118.

[30] Bonsack, F. *Anwendung von Stoffsteckbriefen zur Untersuchung von Stoffen aus dem Alltag. Ein kompetenzorientiertes Vorhaben für den einführenden Chemieunterricht*. In: *Praxis der Naturwissenschaften* 6/59. (2010), 9-11.

[31] Drechsler, B. Jens Salzner und Hans Joachim Bader. *Resorption von Arzneistoffen- Modellversuch zum Membrandurchtritt*. In: *NiU- Chemie* (2000), Nr. 55. S. 33-34.

[32] Mikelskis- Seifert, S. & Manfred Euler. *Eine Reise in die Mikrowelt. Einführung in die Modellierung submikroskopischer Phänomene*. IN: *NiU- Chemie* 20 (2009), 114, 16-21.

[33] Barke, H.- D. *Chemiedidaktik- Diagnose und Korrektur von Schülervorstellungen*. Springer Verlag, Berlin- Heidelberg. (2006).

[34] König A. & Christiane Reiners. *Synopse von Vorstellungen und Misconceptions in Bezug auf die chemische Bindung*. In: *Praxis der Naturwissenschaften Chemie in der Schule*. 2/52. 52. Jahrgang. (2003), 19-25.

[35] Krieg, A. *Das Salz verschwindet. Entwicklung einer Teilchenvorstellung im naturwissenschaftlichen Anfangsunterricht*. In: *NiU- Chemie* 20 (2009), Nr. 114, 22-25.

[36] Becker, H.- J. & H. Hildebrandt. „Unanschauliches veranschaulich“-*Modellexperimente im Unterricht als Chance für Analogiebildungen*. In: Praxis der Naturwissenschaften Chemie in der Schule. 2/52. 52. Jahrgang. (2003), 26-29.

[37] Wagner, H. *Sind neue Modellexperimente zum chemischen Gleichgewicht wirklich erforderlich?* ChSch 27, (1980), 200.

[38] Weinert, F. E.: *Vergleichende Leistungsmessung in Schulen – eine umstrittene Selbstverständlichkeit*. In: Weinert, F. E. (Hg.): Leistungsmessung in Schulen. Weinheim, (2001), 17-32.

[39] Walpuski, S & E. Sumfleth. *Überprüfung der nationalen Bildungsstandards im Fach Chemie. Wie werden die Kompetenzen der Schüler und Schülerinnen gemessen?* In: Praxis der Naturwissenschaften 6/59. (2010), 24-28.

[40] J. Friedrich und M. Oetken.: *Modellexperiment zum Durchtritt von Ionen durch eine Biomembran*. In: PdN Chemie in der Schule. 8/62. (2013), 29-34.

[41] Beck, U.; Markic, S.; Eilks, Ingo. *Modellierungsaufgaben im Chemieunterricht*. In: Praxis der Naturwissenschaften - Chemie in der Schule, 6/59 (2010), 5-8.

[42] *Das Teilchenmodell in der 8. Klasse- Stoffe und ihre Teilchen – eine Leitlinie des Chemieunterrichts Vorschläge für den Unterricht in der Jahrgangsstufe 8*. Hrsg. ZPG- Chemie (2011).

Literaturverzeichnis

Baars, G. und Christen, H.R.: *Die Teilchenvorstellung - ein Unmodell?*, In: Chemie in der Schule 42 (1995), 3.

Barke, H.- D. *Chemiedidaktik- Diagnose und Korrektur von Schülervorstellungen*. Springer Verlag, Berlin- Heidelberg. (2006).

Barke, H.-D. und Günther Harsch. *Chemiedidaktik heute- Lernprozesse in Theorie und Praxis*. Springer Verlag, Berlin Heidelberg, (2001).

Beck, U.; Markic, S.; Eilks, Ingo. *Modellierungsaufgaben im Chemieunterricht*. In: Praxis der Naturwissenschaften - Chemie in der Schule, 6/59 (2010), 5-8.

Becker, H.- J. & H. Hildebrandt. „Unanschauliches veranschaulich“- *Modellexperimente im Unterricht als Chance für Analogiebildungen*. In: Praxis der Naturwissenschaften Chemie in der Schule. 2/52. 52. Jahrgang. (2003), 26-29.

Bindernagel, J.A. & Ingo Eilks. *Lehr(er)wege zu Teilchen und Atomen- Vielfalt der Modelle versus konstante Konzeptentwicklung?*. In: NiU Chemie (2009), Nr. 114. 20. Jg. S. 9-14.

Bonsack, F. *Anwendung von Stoffsteckbriefen zur Untersuchung von Stoffen aus dem Alltag. Ein kompetenzorientiertes Vorhaben für den einführenden Chemieunterricht*. In: Praxis der Naturwissenschaften 6/59. (2010), 9-11.

Born, Max.: 1. Episode. In: P. Buck, M. Rehm und Th. Seilnacht [Hrsg.], *Der Sprung zu den Atomen, Seilnacht, Bern, (2004)*.

Buck, P.: *Die Teilchenvorstellung - ein „Unmodell“*, In: Chemie in der Schule 41 (1994), 11.

Das Teilchenmodell in der 8. Klasse- Stoffe und ihre Teilchen – eine Leitlinie des Chemieunterrichts Vorschläge für den Unterricht in der Jahrgangsstufe 8. Hrsg. ZPG- Chemie (2011).

Drechsler, B. Jens Salzner und Hans Joachim Bader. *Resorption von Arzneistoffen- Modellversuch zum Membrandurchtritt*. In: NiU- Chemie (2000), Nr. 55. S. 33-34.

Eschenhagen, D., U. Kattmann & D. Rodi. Fachdidaktik Biologie. 7. Auflage. Aulis, Köln (2006), 330-338.

Eschenhagen, K. et. al.: *Fachdidaktik Biologie*. Aulis Deubner Verlag Köln, 2003.

Folwaczny S. und H.- J. Becker.: *Schülerorientierungen und der „neue“ G-8-Lehrplan NRW*. In: PdN Chemie in der Schule. 6/59. (2010). S.35- 38.

H. Steff und Katrin Sommer.: *Roheisen aus der Dose- Schüler modellieren den Hochofenprozess*. In: Naturwissenschaften im Unterricht Chemie 23 Nr. 132, (2012), 26-33.

H.J. Bader. Das Experiment im Chemieunterricht. In: P. Pfeifer, B. Lutz und H.J. Bader [Hrsg.], *Konkrete Fachdidaktik Chemie*. Oldenbourg Verlag, München, 3. Auflage (2002).

H.J. Becker et. al., *Fachdidaktik Chemie*. Aulis Verlag, Köln, 2.Auflage (1992).

Heitzmann A. Modelle verwenden. In: *Fachdidaktik Naturwissenschaft 1.- 9. Schuljahr*. Labudde, P.[Hrsg.] UTB Haupt Stuttgart 2010.

J. Friedrich und M. Oetken.: *Modellexperiment zum Durchtritt von Ionen durch eine Biomembran*. In: PdN Chemie in der Schule. 8/62. (2013), 29-34.

Johnstone, A.H.:Teaching of Chemistry – logical or psychological? *Cerapie1*, (2000), 9.

Keller, G.: *Über das Denken in Modellen- ein Beitrag zur Didaktik der Chemie*. Aarau, Frankfurt am Main, Verlag Sauerländer, 1997.

Klinger, W.: Analogiedenken und seine Bedeutung im Physiklernen. *GDCP* 22 (1994), 289.

König A. & Christiane Reiners. *Synopse von Vorstellungen und Misconceptions in Bezug auf die chemische Bindung*. In: *Praxis der Naturwissenschaften Chemie in der Schule*. 2/52. 52. Jahrgang. (2003), 19-25.

Kotter, L.: *Die zentrale Stellung des Experiments im Chemieunterricht*. In: Bukatsch, F.; Glöckner, W.; Kotter, L.: *Fachdidaktisches Studium in der Lehrerbildung- Chemie*, Oldenbourg Verlag, München 1976, S. 87-107.

Kranz, J.: *Methoden der Erkenntnisgewinnung*. In: J. Kranz, J. Schorn [Hrsg.], *Chemie Methodik- Handbuch für die Sekundarstufe I und II*. Cornelsen Verlag. Berlin (2008), 109-152.

Krieg, A. *Das Salz verschwindet. Entwicklung einer Teilchenvorstellung im naturwissenschaftlichen Anfangsunterricht*. In: NiU- Chemie 20 (2009), Nr. 114, 22-25.

Kullmann, K.: *Was erklärt der „Modellversuch zur Volumenkontraktion“ wirklich?*, In: *Chemie in der Schule* 41 (1994), 12

Mikelskis- Seifert, S. & Manfred Euler. *Eine Reise in die Mikrowelt. Einführung in die Modellierung submikroskopischer Phänomene*. IN: NiU- Chemie 20 (2009), 114, 16-21.

Müller, M.: *Das Unmodell der Teilchen - Kritik an der Kritik*. In: *Chemie in der Schule* 42 (1995), 9.

Müller, M.: *Der „Modellversuch zur Volumenkontraktion“ - ein untaugliches Hilfsmittel*. In: *Chemie in der Schule* 42 (1995), 3.

Neuhauser, A.: *Modellexperimente und Funktionsmodelle im Unterricht*. In: *ChiS* (1975), S. 538-545.

P. Pfeifer.: *Vom „Blue Bottle“ zum Baumannschen Versuch- Didaktische Analyse von Modellversuchen zur Biokatalyse*. In: *ChiS* (2013), Nr. 8/62, S. 41-46.

Petermann, K., Friedrich J. & Oetken M. *Das an Schülervorstellungen orientierte Unterrichtsverfahren*. *Chemkon*, 15 (2008), 110-118.

Sommer, K. *Die Fachmethode der Chemie*. Aulis Verlag Deubner, Köln, (2007).

Sommer, K. et al.: *Modellexperimente- Zwischen Anschauungselement und Erkenntnisgewinnung*. In: *Naturwissenschaften im Unterricht- Chemie* 23 (2012) Nr. 132, S. 2-9.

Stachowiak, H.: *Gedanken zu einer allgemeinen Theorie der Modelle. Studium Generale*. 18 (1965), 432.

Steinbuch, K.: Denken in Modellen. In: Schäfer, G., u.a.: Denken in Modellen. Westermann Verlag, Braunschweig. (1977).

Terzer, E. & Upmeyer zu Belzen, A. *Naturwissenschaftliche Erkenntnisgewinnung durch Modelle- Modellverständnis als Grundlage für Modellkompetenz*. Berichte des Instituts für Didaktik der Biologie der Universität Münster(IDB), 16, (2007), 33-56.

Van der Vald, T., H. Van Driel, J. & De Vos, W. (2007). Common characteristics models in present- day scientific practice. In: *Research in Science Education* 37 (2007), 469- 488.

Wagner, H. *Sind neue Modellexperimente zum chemischen Gleichgewicht wirklich erforderlich?* ChSch 27, (1980), 200.

Walpuski, S & E. Sumfleth. *Überprüfung der nationalen Bildungsstandards im Fach Chemie. Wie werden die Kompetenzen der Schüler und Schülerinnen gemessen?* In: Praxis der Naturwissenschaften 6/59. (2010), 24-28.

Weinert, F. E.: *Vergleichende Leistungsmessung in Schulen – eine umstrittene Selbstverständlichkeit*. In: Weinert, F. E. (Hg.): Leistungsmessung in Schulen. Weinheim, (2001), 17-32.

Webverzeichnis

<https://www.bifie.at/bildungsstandards> [8.5.2014]

<http://daten.didaktikchemie.uni-bayreuth.de/umat/mwg/mwg.htm> [19.5.2014]

<http://www.chemieunterricht.de/dc2/mwg/mwg-vorw.htm> [21.5.2014]

http://lehrerfortbildungbw.de/faecher/chemie/gym/fb2/modul2/t7/61_daltons_atom_m_dell_li06_teilchensieben.pdf [21.5.2014]

http://www.chemie.uni-mainz.de/LA/pdf/M7_3_Einsatz_Experiment.pdf [13.6.2014]

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1. verändert nach [14] aus [27, S.5].....	17
Abbildung 2. Kippfigur- Illustration von Joseph Jastrow	17
Abbildung 3. [10, S.44].....	19
Abbildung 4. klassischer Unterrichtsweg [17, S.10].....	21
Abbildung 5. verändert nach [15 zitiert nach 4, S.88].....	25
Abbildung 6. Übersicht über die Kategorien der Modellexperimente.....	29
Abbildung 7. Dreieck des Chemieunterrichts nach [8].....	34
Abbildung 8. Zusammenhänge zwischen Original, Denkmodell und Anschauungsmodell nach [15].....	43
Abbildung 9. Ethylen als Grundbaustein der Polymerisation [34, S.24].....	49
Abbildung 10. Kompetenzmodell Naturwissenschaften 8. Schulstufe bifie 2011..	57
Abbildung 11. [39, S.28].....	61
Abbildung 12. Kompetenzmodell.....	62
Abbildung 13. Handlungsdimension mit Modellexperimenten	63
Abbildung 14. Grafische Auswertung 1	70
Abbildung 15. Grafische Auswertung 2	70
Abbildung 16. Der Apfelkrieg [Dickerson/Geis].....	71
Abbildung 17. Rasterelektronenmikroskopische Aufnahmen von Cellophan (links) und Frischhaltefolie (PE) (Bildquelle: Dr.-Ing. Markus Heindl, SKZ– Das Kunststoff-Zentrum – Würzburg).....	76
Abbildung18.Teilchen sieben	77
Abbildung 19. Versuchsaufbau.....	78
Abbildung 20. KMnO_4 Teilchen durchdringen die Membran.....	79
Abbildung 21. Nachweis der Permeation von Iod mit Stärkelösung	80

Abbildung 22. Nachweis der Permeation von Natriumchlorid durch die Chlorid-Reaktion mit AgNO_3 zu AgCl	80
Abbildung 23. Verhalten des lipophilen Farbstoffes in einer wässrigen Phase (links) und einer unpolaren, organischen Phase (rechts).....	85
Abbildung 24. Fluoreszein gelöst in HCl (links) und NaOH (rechts)	86
Abbildung 25. Fluoreszein gelöst in HCl (links) und NaOH (rechts) mit Octan-1-ol überschichtet.....	86
Abbildung 26. Fluoreszein $\text{pH} < 7$	88
Abbildung 27. Fluoreszein Dinatrium $\text{pH} > 7$	88
Abbildung 28. Brilliantblau bei $\text{pH} < 7$ (rechts), in wässriger Lösung (mitte), und bei $\text{pH} > 7$ (links).....	88
Abbildung 29. Brilliantblau	89
Abbildung 30. Phloxin bei $\text{pH} < 7$ (links) und $\text{pH} > 7$ (rechts)	89
Abbildung 31. Phloxin bei $\text{pH} < 7$	89
Abbildung 32. Phloxin bei $\text{pH} > 7$	89
Abbildung 33. Fluoreszein und Phloxin in den entsprechenden Phasen unter der UV Lampe bei 340 nm	90

Appendix

Schülerblatt - Modellexperiment 1

Das chemische Gleichgewicht- Was geschieht bei einer reversiblen Reaktion?

Aufgabe 1:

Ziel des Experimentes

Mit dem folgenden Modellexperiment finden wir heraus, wie sich die Konzentrationen der Edukte und Produkte bei einer reversiblen Reaktion im Laufe der Zeit verändern



Spielregeln

3. Spieler A erhält zu Beginn 50 Streichhölzer, Spieler B erhält keines.
4. Spieler A gibt in jedem Spielzug jeweils **1/2** der gerade in seinem Besitz befindlichen Streichhölzer an Spieler B, Spieler B gibt gleichzeitig **1/10** seiner Streichhölzer an Spieler A. (Gebrochene Zahlen werden gemäß den üblichen Regeln gerundet.)
3. Nach jedem Spielzug notiert ihr in die Tabelle unten, sowohl die Anzahl der abgegebenen Streichhölzer, als auch die neue Anzahl der Streichhölzer, die ihr nach dem Tausch in eurem Besitz habt.



Beobachtungen

Nummer des Spielzuges	Spieler A		Spieler B	
	Anzahl der eigenen Streichhölzer	Anzahl der abgegebenen Streichhölzer	Anzahl der eigenen Streichhölzer	Anzahl der abgegebenen Streichhölzer
0	50		50	
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				

Spieler A

--	--	--	--	--	--	--	--

Spieler B

--	--	--	--	--	--	--	--

Beantworte die folgenden Fragen:

1. *Wodurch werden im Modellexperiment die folgenden chemischen Größen dargestellt?*

$c(\text{Edukte}) = c(A)$

entspricht _____

$c(\text{Produkte}) = c(B)$

entspricht _____

Reaktionszeit entspricht _____

Geschwindigkeitskonstante der Hinreaktion (k_{Hin}) entspricht _____

Geschwindigkeitskonstante der Rückreaktion ($k_{\text{Rück}}$)

entspricht _____

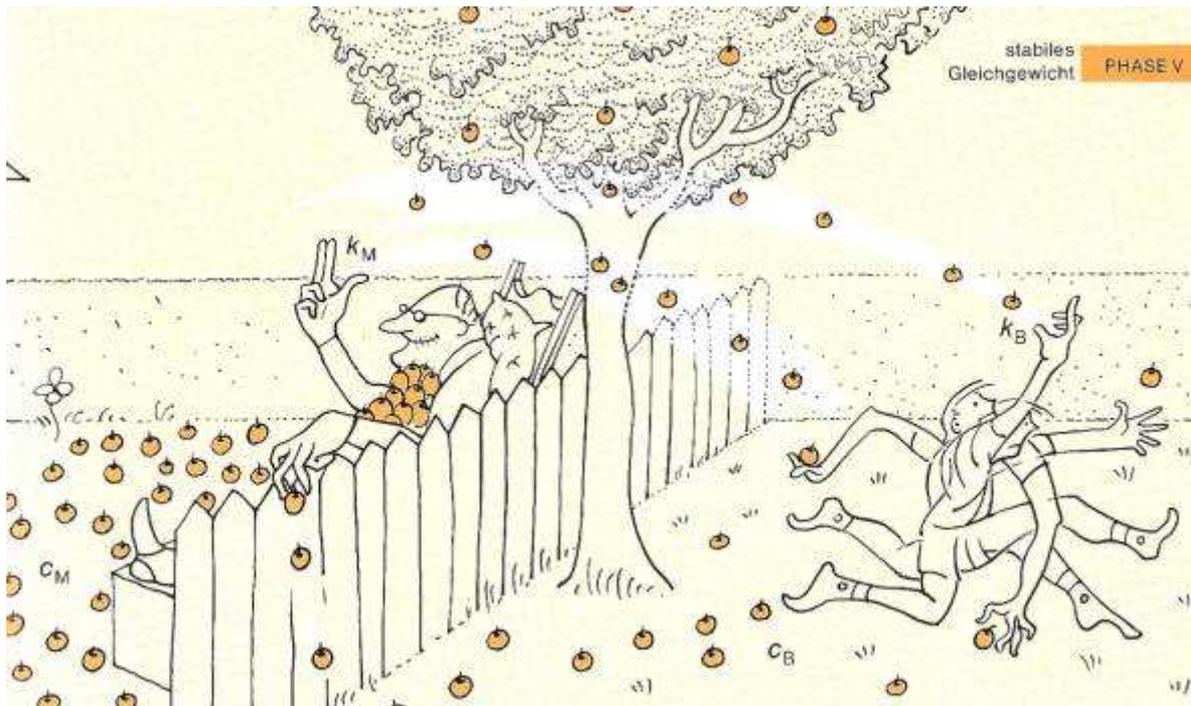
Reaktionsgeschwindigkeit der Hinreaktion ($k_{\text{Hin}} \cdot c(A)$) entspricht

Reaktionsgeschwindigkeit der Rückreaktion ($k_{\text{Rück}} \cdot c(B)$) entspricht

2. *Ergänze die Beschriftungen der Achsen in den folgenden Diagrammen und tragen Sie in beide jeweils die Werte für Spieler A und Spieler B ein:*

- ✓ Vergleicht eure Diagramme mit den Abbildungen in eurem Buch. Was könnt ihr aus den abgebildeten Diagrammen herauslesen?
- ✓ Formuliert in euren eigenen Worten, was bei einer reversiblen Reaktion geschieht!

Aufgabe 2:



Aufgabenstellung:

- Die Konzentrationen (c) der Produkte und Edukte entsprechen der _____
- Die Reaktionsgeschwindigkeit (v) entspricht der Geschwindigkeit _____
- _____ entspricht der Möglichkeit, wie schnell der Junge bzw. der ältere Herr die Äpfel aufheben können.
- Kann der Junge jemals alle Äpfel aus seinem Garten entfernt haben? Begründe deine Antwort.
- Wann ist ein Gleichgewichtszustand bei den beiden Äpfel- Werfern erreicht?
- Betrachtet die Abbildung und erklärt in euren eigenen Worten inwiefern das chemische Gleichgewicht durch die Darstellungen oben zutreffend dargestellt wird und wo es zu Abweichungen zum Original kommt!
- Diskutiert in der Gruppe folgende Aussage: „Wenn sich ein chemisches Gleichgewicht eingestellt hat, ist die Reaktion zu ende.“

Durchtritt von Teilchen durch eine Membran

Versuch 1. Nicht alle Folien sind gleich

Geräte/ Materialien

- Frischhaltefolie
- Cellophanfolie
- 2 Reagenzgläser
- Reagenzglasständer
- Becherglas
- kleine Haushaltsgummis
- Stativ mit 2 Muffen
- 2 Klammern
- Schere

Chemikalien

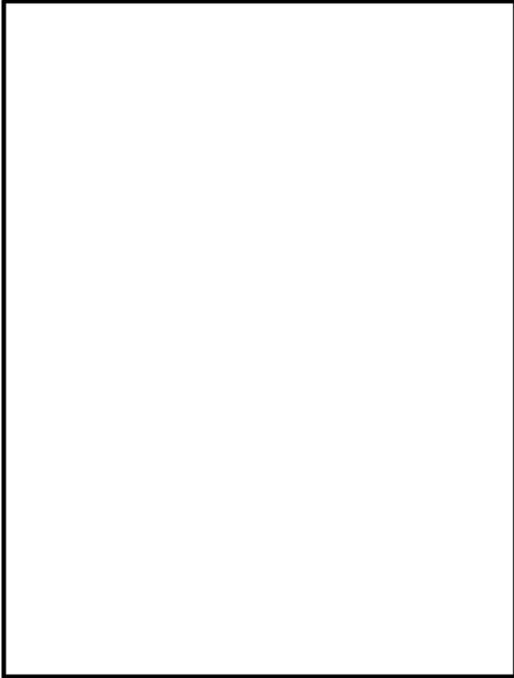
- Farbstofflösung (vom Lehrer)
dunkelvioletter Farbstoff
- Wasser



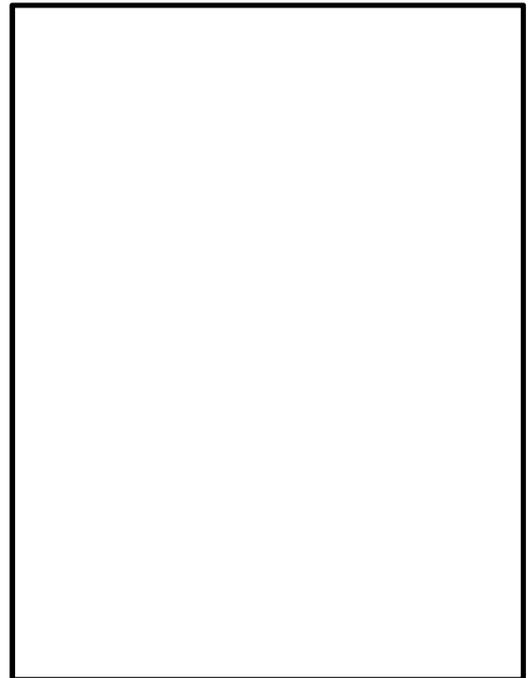
Experimentelle Durchführung: Fülle zwei Reagenzgläser jeweils zur Hälfte mit der Farbstofflösung. (Achtung: Lösung nicht auf die Haut und Kleider bringen!). Verschließe das Reagenzglas 1 dicht mit einem passenden Stück Cellophanfolie, das Reagenzglas 2 mit Frischhaltefolie. Befestige die Folie jeweils mit einem Gummi. Achte darauf, dass die Folien nicht beschädigt werden. Die Reagenzgläser dürfen keine scharfen Ränder besitzen. Befestige die Reagenzgläser mit Hilfe von Muffen und Klammern umgekehrt an einem Stativ und tauche sie in ein Becherglas mit Wasser.

Beobachtung:

Skizze: am Beginn



nach 10 Minuten



Erklärung:



Resorption von Arzneistoffen

Leittext:

„Die Lipophilität eines Arzneistoffes sowie sein Verhalten bei unterschiedlichen pH- Werten ist auf seine Molekülstruktur zurückzuführen. Vergleicht man verschiedene Arzneimittel, so steigt die Resorbierbarkeit zunächst mit zunehmender Lipophilität an [...]. Substanzen mit geringer Lipophilität können erst gar nicht in die Lipid- Doppelschicht einwandern. Bei einer stark ausgeprägten Lipophilität wandern die Wirkstoffe lediglich in die Zellmembran ein und reichern sich dort an. [...] Von großer Bedeutung für die Resorption kann auch der pH- Wert beiderseits der Membran sein. Dies ist immer dann der Fall, wenn es sich bei dem Arzneistoff um eine schwache Säure (Acetylsalicylsäure, Penicilline) oder Base (Allopurinol, Chinin) bzw. deren Salze handelt. Diese Stoffe werden bevorzugt in der nicht- ionisierten Form resorbiert, da die Fettlöslichkeit mit steigender Ionenladung abnimmt. [...] Das Milieu im Magen ist stark sauer, das im Darm reicht von schwach sauer bis schwach basisch.“

Versuch 1 - Lipophilität und Resorption

Dauer: 10 Minuten

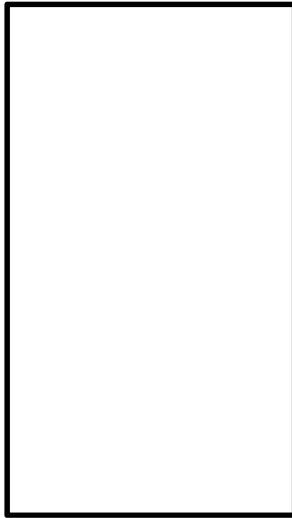
Geräte/ Materialien	Chemikalien	
<ul style="list-style-type: none">• Reagenzgläser• RG- Ständer	<ul style="list-style-type: none">• violette Wachsfarben• Oktan-1-ol• Ethanol	

Experimentelle Durchführung 1:

- Wenige Körner Lebensmittel mit 2 ml Wasser versetzen
- 2-3 ml Oktan-1-ol dazu geben und schütteln.

Skizze: mit Wasser

mit Oktan-1-ol



Erklärung:



Versuch 2 - Einfluss des pH- Werts auf die Lipophilität

Geräte/ Materialien

- Reagenzgläser
- RG- Ständer
- Tropfpipetten

Chemikalien

- Fluoresceinlösung
- Oktan-1-ol
- NaOH (0,1M)
- HCl (0,1M),



Experimentelle Durchführung:

- Gib in 2 beschriftete RG je ca. 2 ml Fluoresceinlösung
- In das 1. RG gibt's du einige Tropfen der NaOH
- In das zweite RG gibt's du einige Tropfen der HCl
- Gib in beide RG wieder vorsichtig das Octan-1-ol dazu
- Schütteln

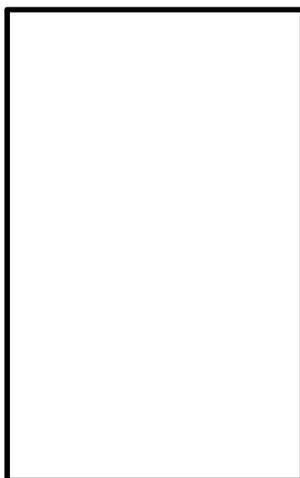
Beobachtungen:



Skizze:

mit NaOH

mit HCl



Erklärung:

Fragestellungen:

- Beschreibe in deinen eigenen Worten, wie sich der pH- Wert auf die Molekülstruktur und die Löslichkeit der Substanzen auswirkt.
- Ordne die Molekülstrukturen nach steigender Lipophilität. Beschreibe kurz deine Vorgehensweise.
- Fasse kurz zusammen, welche Eigenschaften eine Substanz haben muss, damit der Durchtritt durch eine Plasmamembran möglich ist.
- Erstelle eine Versuchsbeschreibung um zu zeigen, dass eine Membran nicht komplett unpolar sein darf. (Lösung: als organische Phase Paraffin verwenden, dies wäre zu unpolar!)
- Welche Aussagen kannst du aufgrund deiner Beobachtung auf das Resorptionsverhalten von schwachen Säuren treffen?
- Wieso ist der pH- Wert nur für die Resorption von schwachen Säuren oder Basen von Bedeutung?