

Steffen Schaake

**Die Natur der Naturwissenschaften  
verstehen lernen**

Historische, gesellschaftliche und kulturell  
relevante Stationen für den Chemieunterricht

Ausgezeichnet mit dem  
Martin-Wagenschein-Preis 2011 des ZLB

Kassel 2011

Zentrum für Lehrerbildung der Universität Kassel (Hrsg.)  
Reihe Studium und Forschung, Heft 17

Bibliografische Information der Deutschen Bibliothek  
Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen  
Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über  
<http://dnb.ddb.de> abrufbar.

ISBN 978-3-89958-570-4

© 2011, kassel university press GmbH, Kassel  
[www.upress.uni-kassel.de](http://www.upress.uni-kassel.de)

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsschutzgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlags unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Druck und Verarbeitung: Unidruckerei der Universität Kassel  
Printed in Germany

## INHALTSÜBERSICHT

<b>Vorwort</b> .....	<b>4</b>
<b>1. Einleitung</b> .....	<b>6</b>
<b>2. Die Natur der Naturwissenschaften im Unterricht</b> .....	<b>7</b>
2.1 Die Natur der Naturwissenschaften und ihre unterrichtliche Relevanz .....	7
2.2 Schülervorstellungen über die Natur der Naturwissenschaften .....	13
2.3 Konkrete Ziele und Inhalte für den Unterricht .....	18
2.4 Durch die Wissenschaftsgeschichte über die Natur der Naturwissenschaften lernen .....	22
<b>3. Unterrichtspraxis zum Erwerb eines Wissens über die Natur der Naturwissenschaften – zehn Fallbeispiel für den Chemieunterricht</b> .....	<b>26</b>
3.1 Vorbemerkungen.....	26
3.2 Phlogistontheorie vs. Oxidationstheorie .....	27
3.3 Die Harnstoffsynthese – Beginn der Organischen Chemie.....	30
3.4 Von John Dalton bis Niels Bohr – Die Atommodelle .....	32
3.5 Alchemie in Abgrenzung zur modernen Chemie.....	37
3.6 Der Zufall im Erkenntnisprozess – Roy Plunkett und das Teflon® .....	40
3.7 Forscher als Wegbereiter der modernen Kriegsführung .....	42
3.8 Contergan® – ein pharmakologischer Alptraum .....	47
3.9 Das Haber-Bosch-Verfahren – eine tragende Säule der Welternährung.....	50
3.10 FCKW-Problematik und Ozonloch .....	53
3.11 CO <sub>2</sub> und Treibhauseffekt.....	56
<b>4. Schlussbetrachtung</b> .....	<b>59</b>
<b>5. Literatur</b> .....	<b>61</b>
<b>Abbildungs- und Tabellenverzeichnis</b> .....	<b>65</b>
<b>Anhang</b> .....	<b>67</b>

## Vorwort

Die „Natur der Naturwissenschaften“ und die mögliche Bedeutung dessen, was darunter zu verstehen ist, für den naturwissenschaftlichen Unterricht – in diesem Spannungsfeld bewegt sich die Diskussion, die Steffen Schaake mit seiner Arbeit mit Blick auf die Chemie aufgenommen hat. Um einschätzen zu können, wie gut diese schwierige Auseinandersetzung gelungen ist, muss man berücksichtigen, dass die fachdidaktische Diskussion noch keineswegs zu gesicherten Ergebnissen gelangt ist. Ein Blick auf die Entwicklung, die zum aktuellen Stand geführt hat, kann dies verdeutlichen.

Der Ausgangspunkt lässt sich im Umfeld von PISA und den Bildungsstandards für den mittleren Bildungsabschluss verorten. Mit den Standards nämlich haben die naturwissenschaftlichen Fächer eine veränderte Schwerpunktsetzung erhalten: Gleichberechtigt zu den vormals dominanten Wissens- und Inhaltsaspekten sind drei weitere Kompetenzfelder hinzu getreten bzw. wurden deutlich aufgewertet, die Erkenntnisgewinnung, das Feld der Kommunikation sowie der Bereich Bewertung. Fachdidaktik, Zweite Phase der Lehrerbildung und Teile der Fachkollegien in den Schulen nahmen sehr bald erste Impulse dieser Neuorientierung auf und versuchten insbesondere die Erkenntnisgewinnung, vorzugsweise das „naturwissenschaftliche Arbeiten“, deutlicher als bisher in den Unterricht zu integrieren. Während so die Frage, wie Wissen generiert wird – in dem ganz pragmatischen Sinn von Vermutung, Hypothese, geeigneter experimenteller Überprüfung, Verifizierung bzw. Falsifizierung – deutlicher in den Fokus rückte, blieben die beiden anderen Kompetenzbereiche zunächst kaum bearbeitet. Angesichts eines zunehmenden Anteils von Schülerinnen und Schülern, die nicht mit Deutsch – im Wortsinn – als Mutter-Sprache zur Schule kommen und demzufolge einen doppelten Spracherwerb vollbringen müssen, den der unterrichtlichen Umgangssprache und den der (naturwissenschaftlichen) Fachsprache, gelangte als nächstes das Kompetenzfeld Kommunikation auf die fachdidaktische Agenda. Bewertungskompetenz hingegen blieb bis vor kurzem ein Stück Terra Incognita, ganz ähnlich wie zu Zeiten klassischer Lehrpläne die wohlmeinenden Vorworte, die in den Naturwissenschaften einen Schlüssel zur Entwicklung zum mündigen Bürger sahen, kaum eine Umsetzung in der Praxis fanden.

Fragt man, welches die Grundlagen von Bewertungskompetenz seien, einer Kompetenz, die deutlich über die sachliche Beurteilung der Verlässlichkeit von Versuchsergebnissen hinaus geht, dann scheinen zwei Aspekte auf: die Frage, wie die Naturwissenschaften überhaupt und grundsätzlich vorgehen und die nach ihrer Rolle in der Gesellschaft. In den letzten Jahren hat sich dafür mit *nature of science* ein Begriff eingebürgert, der sich nur unzureichend mit *Natur der Naturwissenschaften* übersetzen lässt, ebenso wenig wie *naturwissenschaftliche Grundbildung* genau das abdeckt, was *scientific literacy* meint. *Nature of science* beginnt dort, wo bei PISA vom Erkennen naturwissenschaftlicher Fragestellungen die Rede ist und endet in eben ihrer Rolle, ihrer möglichen Funktionalisierung, ihrer Interessenabhängigkeit aber auch ihrer Funktion für technischen Fortschritt und gesellschaftlichen Wandel. Zu letztem gehört immer auch die Frage nach dem So-Geworden-Sein, nach den historischen Wurzeln und der Entwicklung und Veränderung der Beziehung der Naturwissenschaften in ihrem jeweiligen kulturellen, politischen wirtschaftlichen Umfeld.

Vor diesem Hintergrund hat sich Steffen Schaake, der mit der (seltenen) Kombination von Chemie und Geschichte als Studienfächern dazu besonders günstige Voraussetzungen mit-

brachte, mit der Natur der Naturwissenschaften beschäftigt mit dem Ziel, historische gesellschaftliche und kulturell relevante Stationen für den Chemieunterricht so herauszuarbeiten, dass dies auch für die Praxis von Nutzen sein kann. Denn um mit den Lernenden den Schritt auf die Meta-Ebene vollziehen zu können, wo schließlich über das Wesen der Naturwissenschaften mit Gewinn gesprochen und reflektiert werden kann, dafür bedarf es geeigneter Inhalte, so Schaake. Weder mit Forderungen wie denen der Bildungsstandards noch mit den überwiegend im anglo-amerikanischen Raum entwickelten theoretischen Ansätzen lässt sich dies erreichen, auch wenn beide als Bezugspunkte unverzichtbar sind.

Nach einer treffsicheren Zusammenfassung der fachdidaktischen Literatur zum Thema "Natur der Naturwissenschaften" rezipiert Steffen Schaake den aktuellen Forschungsstand betreffend das Naturwissenschaftsbild von Schülerinnen und Schülern. Erst wenn man weiß, so die Überlegung, was sich Jugendliche unter den Naturwissenschaften und unter einem Naturwissenschaftler vorstellen, kann man Materialien entwickeln, die zur Strukturierung didaktisch fruchtbarer Lernsituationen taugen. Hierauf aufbauend stellt Schaake zehn Beispiele vor, die sich zu einer Auseinandersetzung mit NOS im Unterricht eignen. Die Spanne reicht dabei vom historischen Konflikt um die richtige Deutung von Oxidationsprozessen (Stahl/Lavoisier) bis hin zur Tragödie um die Medikation von Schwangeren mit Contergan. An jedem dieser Beispiele können andere Aspekte der Natur der Naturwissenschaften sichtbar werden. Neben mehreren Fallbeispielen, die eher auf Oberstufenniveau zu bearbeiten wären, gibt es auch solche für den Mittelstufenunterricht. Indem Schaake auch bereits erprobte Ansätze in seine Darstellungen einbezieht, darf er sich einer positiven Rezeption in der Praxis gewiss sein.

Prägnant sind übrigens besonders die Beispiele, bei denen er historische Fakten oder Begebenheiten zum Anlass nimmt, über die "Natur der Naturwissenschaften" nachzudenken. Mit der Fokussierung auf die Person einzelner Naturwissenschaftler folgt er konsequent seinen Überlegungen zu Beginn. Wenn dabei Beispiele fragwürdigen Handelns von Wissenschaftlern deutlich häufiger genannt werden als solche, bei denen sich deren Handeln im Nachhinein als richtig herausgestellt hat, so hat dies teils didaktische, teils erkenntnistheoretische Gründe. Wie T. S. Kuhn vorgeführt hat, entfalten Umbruchsituationen, Brüche in der Kontinuität einer Entwicklung, wie der Wechsel eines wissenschaftlichen Paradigmas, besondere Dynamik. Und man kann an ihnen besser als anderswo erkennen, wie Naturwissenschaft „funktioniert“, was sie voran bringt, was hindert. Die gilt mit großer Wahrscheinlichkeit auch für die Brüche in den Biografien derjenigen, die in solchen Situationen Akteure waren.

Mit einem Vorschlag für einen Oberstufenkurs "Natur der Naturwissenschaften" nimmt Schaake schließlich einige der Elemente und Beispiele aus den Abschnitten zuvor wieder auf und stellt damit ein in sich konsistentes Konzept für die Auseinandersetzung mit NOS vor.

Es ist zu wünschen, dass die Arbeit von Steffen Schaake breite Rezeption in der Praxis erfährt; die Auszeichnung mit dem Martin-Wagenschein-Preis 2011 des Zentrums für Lehrerbildung der Universität Kassel, zu dem wir Herrn Schaake gratulieren, und die hier erfolgende Publikation sind gute Voraussetzungen dafür.

## 1. Einleitung

*Ein Naturwissenschaftler ist ein höchst intelligenter, alleine in seinem Keller arbeitender Mann mit Brille und weißem Kittel, der nur wegen eines unersättlichen Wissenshungers forscht. Seine Experimente sind wenig zielgerichtet und von ihm aufgestellte Theorien sind ein Abbild der Wirklichkeit. Zudem sind sie ewig gültig.*

Ein solches oder ein ähnlich verzerrtes Bild von Naturwissenschaften ist häufig bei Schülerinnen und Schülern festzustellen (vgl. Höttecke 2001a, S. 42ff.). Eine adäquate Vorstellung wie Naturwissenschaftler tatsächlich arbeiten, welche Bedeutung Experimente, Theorien, die *scientific community*, etc. besitzen ist leider nur selten anzutreffen. Dies scheint vor allem dem naturwissenschaftlichen Unterricht geschuldet, da kaum Reflexionen über die Naturwissenschaften in den Unterricht eingebunden werden (vgl. Kircher & Dittmer 2004, S. 4). Doch im Grunde sind richtige Vorstellungen von den Naturwissenschaften unverzichtbar für unsere heutige Gesellschaft, da große Teile unseres Lebens von naturwissenschaftlichen Erkenntnissen geprägt sind. Zudem sollte es jedem Menschen ermöglicht werden an gesellschaftlichen Diskursen teilzunehmen und dies ist in Bezug auf naturwissenschaftlich konnotierte Themen eigentlich nur dann möglich, wenn man ein fundiertes Wissen über die Naturwissenschaften besitzt. Zur Realisierung dieser, für eine Gesellschaft des 21. Jahrhunderts im Grunde unverzichtbaren Ziele formulierte die Bundesländerkommission im Jahr 2004 verbindliche Bildungsstandards für die naturwissenschaftlichen Fächer (vgl. Kultusministerkonferenz 2004a, S. 6f.). Das Erlernen von verschiedenen Kompetenzen soll schließlich die allgemeine Wunschvorstellung nach einer Gesellschaft mit dem Prädikat *scientific literate* ermöglichen.

Um die Bildungsstandards in der Unterrichtspraxis optimal zu erreichen und die Attraktivität des naturwissenschaftlichen Unterrichts zu steigern, bietet sich eine unterrichtliche Betrachtung der *nature of science* an, die in den USA seit Jahrzehnten im didaktischen Diskurs sehr populär ist und mittlerweile auch in die Curricula Einzug erhalten hat (vgl. Lederman *et al.* 2002, S. 497f.). Die im Deutschen mit *Natur der Naturwissenschaften* übersetzte Sichtweise auf Naturwissenschaften richtet ihr Augenmerk nämlich auf die Vermittlung eines Metawissens, d. h. sie „rekurriert auf erkenntnistheoretische, wissenschaftstheoretische, wissenschaftsethische sowie auf geltungstheoretische Aspekte“ (Hofheinz 2008, S. 63f.). Hierzulande ist ein Lehren und Lernen über die *Natur der Naturwissenschaften* erst in den letzten Jahren in den Fokus didaktischer Überlegungen gerückt und wird zunehmend als eine zukunftssträchtige Konzeption angesehen, nicht zuletzt durch Publikationen von HÖTTECKE (2001a) und HOFHEINZ (2008). Trotz der Bemühungen beider Didaktiker gibt es momentan aber nur wenige konkrete Unterrichtsbeispiele für einen Unterricht über die *Natur der Naturwissenschaften*, wodurch sie momentan eher nur ein theoretisches Gebilde darstellt. Damit diese im Unterrichtsalltag vermehrt Beachtung finden kann, ist es wichtig, dass Lehrerinnen und Lehrer anhand praktischer Unterrichtsbeispiele den didaktischen Wert dieser Überlegungen erkennen können. Aus diesem Grund werden in der vorliegenden Arbeit zehn mögliche Unterrichtsthemen beschrieben und ihre unterrichtlichen Möglichkeiten in Bezug auf die *Natur der Naturwissenschaften* aufgezeigt.

Im ersten Teil dieser Arbeit wird die *Natur der Naturwissenschaften* zuerst im Hinblick auf ihre unterrichtliche Relevanz und ihre Vorteile für den naturwissenschaftlichen Unterricht

(Kapitel 2.1.) beleuchtet. Auch die Vorstellungen von Schülerinnen und Schülern über die Naturwissenschaften (Kapitel 2.2.) werden kurz betrachtet, da sie noch einmal die Notwendigkeit eines Metawissenserwerbs verdeutlichen. Darüber hinaus werden in Kapitel 2.3. Zielsetzungen für den Unterricht zusammengestellt, wobei Überlegungen von LEDERMANN *et al.* (2004) und KIRCHER & DITTMER (2004) als Vorlage dienen werden. Das letzte Kapitel des erstens Teils beschäftigt sich mit der didaktischen Überlegung Wissenschaftsgeschichte für das Lehren und Lernen über die *Natur der Naturwissenschaften* zu nutzen.

Der zweite Teil der vorliegenden Arbeit widmet sich zehn verschiedenen Unterrichtsthemen, die Aspekte der *Natur der Naturwissenschaften* beinhalten. Die in Kapitel 2.3. festgehaltenen Zielsetzungen für den Unterricht stellen hierbei die Basis dar. Die jeweiligen Themen werden auch auf fachlicher Ebene beschrieben und mit Vorschlägen zur unterrichtlichen Umsetzung versehen. Dabei wird ein breites Spektrum an unterschiedlichen Beispielen abgedeckt, um aufzuzeigen, dass eine solche Unterrichtskonzeption nicht nur einige wenige „Randthemen“ betrifft, sondern vielfältige Umsetzungsmöglichkeiten besitzt.

## 2. Die Natur der Naturwissenschaften im Unterricht

### 2.1 Die Natur der Naturwissenschaften und ihre unterrichtliche Relevanz

Seit einigen Jahrzehnten ist in der bildungspolitischen Diskussion verstärkt die Auffassung zu finden, dass „ein gewisses Maß an naturwissenschaftlicher Bildung für Individuen wie auch moderne Gesellschaften unverzichtbar ist“ (Gräber & Nentwig 2002, S. 9). Mit Beginn der 1990er Jahre hat sich im bildungspolitischen Diskurs innerhalb der Vereinigten Staaten dann die Forderung nach einer *Scientific Literacy* etabliert, die eine Gesellschaft mit dem Signum *scientific literate* zum Ziel hat. Diese Diskussion sorgte beispielsweise dafür, dass vom *National Research Council* nationale Standards für den naturwissenschaftlichen Unterricht festgelegt wurden (vgl. Hofheinz 2008, S. 38).

Auch hierzulande ist die Forderung nach einer naturwissenschaftlichen Grundbildung<sup>1</sup> ins Blickfeld bildungspolitischer Diskussionen gerückt, u. a. seit dem Bekanntwerden der Ergebnisse der *Third International Mathematics and Science Study* (TIMSS) Ende 1997. Die Ergebnisse zeigten nämlich, dass im naturwissenschaftlichen Unterricht vieler westlicher Länder inklusive Deutschland Missstände existierten, derer man sich vorher nicht bewusst war (vgl. Gräber & Nentwig 2002, S. 9). Durch diese Diskussion wurden im Jahre 2004 Bildungsstandards für den mittleren Schulabschluss (u. a. auch im Fach Chemie) durch die Kultusministerkonferenz formuliert (vgl. Kultusministerkonferenz 2004a, S. 5ff.), wodurch die Lernenden grundlegende Kompetenzen in den Bereichen *Fachwissen*, *Erkenntnisgewinnung*, *Kommunikation* und *Bewertung* erlangen sollen. Der naturwissenschaftliche Unterricht soll demnach in der heutigen Zeit mehr beinhalten als ein reines Erlernen von Fachwissen. Folgende Zielsetzungen verdeutlichen dies:

---

<sup>1</sup> Geläufige deutsche Übersetzung von *Scientific Literacy*.

„Naturwissenschaftliche Bildung ermöglicht dem Individuum eine aktive Teilhabe an gesellschaftlicher Kommunikation und Meinungsbildung über technische Entwicklungen und naturwissenschaftliche Forschung und ist deshalb wesentlicher Bestandteil von Allgemeinbildung. Ziel naturwissenschaftlicher Grundbildung ist es, Phänomene erfahrbar zu machen, die Sprache und Historie der Naturwissenschaften zu verstehen, ihre Ergebnisse zu kommunizieren sowie sich mit ihren spezifischen Methoden der Erkenntnisgewinnung und deren Grenzen auseinander zu setzen. Dazu gehört das theorie- und hypothesengeleitete naturwissenschaftliche Arbeiten, das eine analytische und rationale Betrachtung der Welt ermöglicht. Darüber hinaus bietet naturwissenschaftliche Grundbildung eine Orientierung für naturwissenschaftlich-technische Berufsfelder und schafft Grundlagen für anschlussfähiges berufsbezogenes Lernen. Die Chemie untersucht und beschreibt die stoffliche Welt unter besonderer Berücksichtigung der chemischen Reaktion als Einheit aus Stoff- und Energieumwandlung durch Teilchen- und Strukturveränderungen und Umbau chemischer Bindungen. Damit liefert die Chemie Erkenntnisse über den Aufbau und die Herstellung von Stoffen sowie für den sachgerechten Umgang mit ihnen.“ (Kultusministerkonferenz 2004b, S. 6)

Bedeutend dabei ist vor allem die Forderung, „eine aktive Teilhabe an gesellschaftlicher Kommunikation und Meinungsbildung über technische Entwicklungen und naturwissenschaftliche Forschung“ (ebd.) zu ermöglichen.

Der Stellenwert und die schulische Relevanz eines Wissens über Naturwissenschaft wird auch dadurch unterstrichen, dass bei der dritten PISA-Erhebung im Jahr 2006, welche von der *Organisation for Economic Co-operation and Development* durchgeführt wurde, erstmals auch „Wissen über die Naturwissenschaften“ (Pisa-Konsortium 2007, S. 68f.) in der Konzeption dieser Erhebung beachtet wurde.

Der basale Wunsch, dass Schüler ein grundlegendes Wissen um naturwissenschaftliche Basiskonzepte und -theorien erlangen sollten, steht in der didaktischen Diskussion außer Frage (vgl. Hofheinz 2008, S. 58). Bezieht man dabei auch noch die Notwendigkeit für epistemologisches Wissen mit ein, so ist die Frage zu stellen, inwiefern dieses Metawissen im Unterricht erreicht werden kann. Die Bildungsstandards lassen eine solche Konkretisierung allerdings vermissen.

Eine Möglichkeit, dieses Ziel hierzulande zu erreichen, ist u. a. für HOFHEINZ (2008, S. 58 ff.), HÖTTECKE (2001a, S. 18f.) und KIRCHER & DITTMER (2004, S. 2ff.) die Integration eines Lernens über die *Natur der Naturwissenschaften* bzw. den Erwerb einer *multidimensionalen Scientific Literacy* nach BYBEE<sup>2</sup> (2002, S. 29f.) in den Unterricht. Was der Terminus *Natur der Naturwissenschaften* grundsätzlich beinhaltet, soll im Folgenden kurz erläutert werden.

Die Begrifflichkeit leitet sich von der im angelsächsischen Raum verwendeten Bezeichnung *nature of science* ab. Dieses Konzept wird in den anglo-amerikanischen Staaten schon seit den 1960er Jahren diskutiert und findet sich auch als eines der dominierenden Lernziele in den Curricula wieder (vgl. Lederman *et al.* 2002, S. 497f.). In Deutschland sind Überlegungen zur unterrichtlichen Relevanz einer *Natur der Naturwissenschaften* noch lange nicht so weit fortgeschritten, da sie erst seit wenigen Jahren u. a. durch die Arbeiten von HÖTTECKE ins Blickfeld der didaktischen Diskussion gerückt sind.

<sup>2</sup> BYBEE (2002, S. 25 ) unterscheidet zwischen vier unterschiedlichen Dimensionen von *Scientific Literacy*: *Nominale Scientific Literacy*, *funktionale Scientific Literacy*, *konzeptionelle und prozedurale Scientific Literacy* sowie *multidimensionale Scientific Literacy*. Untere letzterem Gesichtspunkt fasst BYBEE das Verstehen von Besonderheiten der Naturwissenschaft, die Unterscheidung der Naturwissenschaft von anderen Disziplinen, Kenntnisse der Geschichte und des Wesens der naturwissenschaftlichen Disziplinen sowie einem Verständnis der Naturwissenschaften in ihrem sozialen Kontext.



Bei der deutschen Übersetzung ist allerdings darauf zu achten, dass sich das Wort *nature* nicht

„auf den Gegenstandsbereich der Naturwissenschaften [bezieht], sondern eine Bedeutungsschicht des Wortes meint, die man auch mit Geartetheit übersetzen kann“ (Höttecke 2001, S. 19).<sup>3</sup>

Zudem ist festzuhalten, dass es keine genaue Eingrenzung gibt, was der Terminus *Natur der Naturwissenschaften* in seiner Gesamtheit umfasst. So existieren nicht nur zwischen Wissenschaftshistorikern, Soziologen, Naturwissenschaftlern, Wissenschafts- oder Erkenntnistheoretikern viele verschiedene Ansichten, sondern sogar innerhalb der erwähnten Spezialgebiete sind diese stark divergent (vgl. Höttecke 2001a, S. 19; Hofheinz 2008, S. 63). Die Tatsache allerdings, dass sich kein einheitlicher Konsens über eine Definition finden lässt, ist nach HOFHEINZ (2008, S. 63) nicht dramatisch, da es von größerer Bedeutung ist, festzulegen, welche Aspekte für den naturwissenschaftlichen Unterricht relevant sind. Die *Natur der Naturwissenschaften* ist demnach eher eine Richtung des Fragens, „die den fachsystematischen Rahmen verlässt und eine Metaebene des Lernens und Verstehens bezeichnet“ (Höttecke 2001a, S. 19). Somit soll eine solche Konzeption beispielsweise auf folgende Fragen, welche von HOFHEINZ (2008) als offene Frageliste exemplarisch formuliert wurden, Antworten geben können:

- „Was unterscheidet Naturwissenschaften von anderen Disziplinen?“
- „In welchen Zusammenhängen stehen Naturwissenschaften, Technik und Gesellschaft?“
- „Welche Denk- und Arbeitsmethoden kennzeichnen Naturwissenschaften?“
- „Welchen epistemologischen Status hat naturwissenschaftliches Wissen?“
- „Welche Wege der Erkenntnisgewinnung werden in den Naturwissenschaften beschritten?“
- „Welchen Status haben naturwissenschaftliche Hypothesen, Gesetze, Theorien?“ (ebd., S. 62)

Man sollte daher weniger von einer Definition der *Natur der Naturwissenschaft* sprechen, sondern vielmehr von einer Art Gebrauchsdefinition (vgl. ebd., S. 62). MCCOMAS *et al.* (1998) beschreibt dies wie folgt:

„The nature of science is a fertile hybrid arena which blends aspects of various social studies of science including the history, sociology, and philosophy of science combined with research from the cognitive sciences such as psychology into a rich description of what science is, how it works, how scientists operate as a social group and how society itself both directs and reacts to scientific endeavors. The intersection of the various social studies of science is where the richest view of science is revealed for those who have but a single opportunity to take in scenery. [...] Through the multiple lenses, the nature of science describes how science functions.“ (ebd., S. 4f.)

Aus MCCOMAS' Formulierungen schlussfolgert wiederum HOFHEINZ (2008):

„In der Regel meint man daher, wenn man über Naturwissenschaften spricht, eine Reflexion über Methoden in Form einer Methodologie, die Wertvorstellungen der Forschergemeinschaft, die zur Entwicklung des wissenschaftlichen Wissens führen, ein Nachdenken über den epistemologischen Status naturwissenschaftlichen Wissens sowie kulturelle und gesellschaftliche Implikationen. Kurz-

---

<sup>3</sup> Trotz der Problematik, welche die wörtliche Übersetzung von der englischen in die deutsche Sprache besitzt, wird im weiteren Verlauf der Arbeit der deutsche Terminus verwendet, da dieser in den meisten deutschen Publikationen verwendet wird.

um: Die Idee einer nature of science recurriert auf erkenntnistheoretische, wissenschaftstheoretische, wissenschaftsethische sowie auf geltungstheoretische Aspekte und bezieht sich metasprachlich auf den Objektbereich der Naturwissenschaften.“ (ebd., S. 62f.)

Auf eine weitreichende Betrachtung der Entwicklung der didaktischen Diskussion im angelsächsischen Raum soll an dieser Stelle allerdings verzichtet werden, zum einen, da dies Gegenstand einer eigenen Arbeit wäre, und zum anderen für den weiteren Verlauf dieser Arbeit nicht zwingend notwendig ist. Eine genauere Ausdifferenzierung der relevanten Aspekte für einen Unterricht zum Erwerb von Wissen über die *Natur der Naturwissenschaften* ist m. E. aber unabdingbar und wird deshalb in Kapitel 2.3. detailliert geschehen.

Zu Beginn dieses Kapitels wurden schon kurz zwei Gründe angesprochen, die ein Lehren und Lernen über die *Natur der Naturwissenschaften* ins Blickfeld didaktischer Überlegungen rücken lassen. Diese sollen nun noch einmal in einigen Punkten ausführlicher betrachtet und durch weitere Argumente ergänzt werden, die für den Erwerb eines solchen Metawissens sprechen.

Betrachtet man die in den Bildungsstandards formulierten Kompetenzbereiche *Fachwissen, Erkenntnisgewinnung, Kommunikation und Bewertung* unter dem Aspekt, was ein solches Metawissen für den Kompetenzerwerb leisten kann, so zeigen sich doch einige zweckmäßige Anknüpfungspunkte. So sind beispielsweise das Nachvollziehen von Problemstellungen mit naturwissenschaftlichem Hintergrund und die Teilhabe an deren Diskussion nicht nur durch den Erwerb von Wissen zu erreichen, sondern man benötigt ein Wissen über die *Natur der Naturwissenschaften*. In Tabelle 1 finden sich mögliche Ansätze für ein Lernen über die *Natur der Naturwissenschaften* in Bezug auf die Bildungsstandards. Dabei dienen HÖTTECKES (2008, S. 8) Überlegungen für die Bildungsstandards des Faches Physik als Vorlage.

**Tabelle 1:** Ansatzpunkte für das Lernen über die *Natur der Naturwissenschaften* in den Bildungsstandards im Fach Chemie (vgl. Höttecke 2008, S. 8; Kultusministerkonferenz 2004).

Kompetenzbereich	Ansätze für ein Lernen über die <i>Natur der Naturwissenschaften</i>
<b>Fachwissen:</b> chemische Phänomene, Begriffe, Gesetzmäßigkeiten kennen und Basiskonzepten zuordnen	Beim Erwerb begrifflichen und konzeptionellen chemischen Wissens ist metatheoretisches Wissen bedeutsam. Fragen nach der Realität chemischer Sichtweisen schwingen bei der Einführung jedes Begriffs und jedes Modells mit (z. B. Teilchenmodell). Begriffe und Konzepte in aktuellen Anwendungskontexten werfen die Frage nach Motiven und Folgen von Naturwissenschaften auf.
<b>Erkenntnisgewinnung:</b> experimentelle und andere Untersuchungsmethoden sowie Modelle nutzen	Unter Erkenntnisgewinnung verstehen die Bildungsstandards die klassischen Prozessfähigkeiten wie Wahrnehmen, Ordnen, Erklären, Prüfen und Modellbildung. Was heißt nun Beobachten in den Naturwissenschaften? Es ist kein voraussetzungsloser Prozess, sondern wird von unseren Erwartungen geprägt. Ordnen ist in vielen Bereichen der Naturwissenschaften eine erfolgreiche Strategie (Stoffklassen, Wechselwirkungen, Arten von Bewegungen, Elementarteilchen). Erklären ist ein kreativer Prozess, wir geben Ursachen für Phänomene an, die mit Daten und anderen Theoriebereichen konsistent sein sollen. Gute Theorien leiten zukünftige Forschung an. Modelle sind keine Abbilder der Wirklichkeit.
<b>Kommunikation:</b> Informationen sach- und fachbezogen erschließen und austauschen	Informationsquellen (z. B. Internet) müssen im Hinblick auf ihre fachliche Relevanz und Zuverlässigkeit beurteilt werden. Dazu dient ein Wissen über Standards von Wissenschaftlichkeit und Zuverlässigkeit.
<b>Bewertung:</b> chemische Sachverhalte in verschiedenen Kontexten erkennen und bewerten	Der Kompetenzbereich umfasst die Einschätzung von Chancen, Grenzen und Risiken von Chemie und Technik. Laien müssen dazu Expertenmeinungen bewerten, die das eigene Urteilen anleiten. Dass Experten sich nicht immer einig sind, ist ein strukturelles Moment von Wissenschaft und kein Kennzeichen einer mangelnden empirischen Basis oder nicht weit genug gediehener Forschung, wie häufig geglaubt wird. Viele Menschen meinen, wissenschaftliche Kontroversen könnten durch bessere Messungen beigelegt werden. Diese Sichtweise verdeckt die wissenschaftlichen Kontroversen zugrunde liegenden Normen und Werte. Bewertungskompetenz besteht aber darin, Normen und Werte auf der einen Seite und naturwissenschaftliche Evidenz auf der anderen Seite systematisch und reflektiert aufeinander beziehen zu können. Auswirkungen chemischer Erkenntnisse in historischen und gesellschaftlichen Zusammenhängen sollen benannt werden können.

Vergleichbare Ansichten sind auch bei HOFHEINZ (2008, S. 61) zu finden. Er erläutert, dass sich die Kompetenzbereiche zwar heuristisch trennen lassen, sich aber im Grunde überschneiden und somit ineinander wirken.<sup>4</sup> In der Unterrichtspraxis würden sie allerdings oft

<sup>4</sup> HOFHEINZ (2008, S. 56f) beschreibt dies zwar für die zwei Grobziele naturwissenschaftlichen Unterrichts *learning science* und *doing science*, setzt diese aber mit den beiden Kompetenzbereichen *Fachwissen* und *Erkenntnisgewinnung* gleich.

nur einseitig betont und auf die Kompetenzbereiche *Fachwissen* und *Erkenntnisgewinnung* reduziert. Dies ist jedoch problematisch, da...

...das Erlernen von Basiskonzepten

„mehr beinhaltet als nur Faktenwissen, welches in Lehrwerken verfügbar gehalten wird. Naturwissenschaftliches Wissen umfasst auch theoretisches Wissen um die Tragweite und den Geltungsbereich des Faktenwissens, denn einerseits sind naturwissenschaftliche Aussagen stets an Prämissen geknüpft und andererseits sind etablierte, naturwissenschaftliche Konzepte zwar unzweifelhaft überaus erklärungsmächtig und produktiv, sie stellen jedoch nicht den einzig möglichen und gültigen Zugriffsmodus dar.“ (ebd., S. 61)

...die Wege der Erkenntnisgewinnung in den Naturwissenschaften

„nicht auf illustrative Zwecke oder den Erwerb naturwissenschaftlicher Methoden und laborpraktischer Fertigkeiten reduziert werden [können], sondern [...] auch kognitive Prozesse [beinhalten], die eine situativ angemessene Anwendung naturwissenschaftlicher Methoden beim Problemlösen erst ermöglichen.“ (ebd.)

Weitere naturwissenschaftsdidaktische Begründungen für ein Lehren und Lernen über die *Natur der Naturwissenschaften*, sind bei KIRCHER & DITTMER (2004, S. 2f.) sowie HOFHEINZ (2008, S. 59f.) beschrieben. Sie führen fünf wichtige Argumente an, die in der angelsächsischen Literatur bei DRIVER *et al.* (1996, S. 16ff.) zu finden sind. Nachfolgend sind diese Argumente in Tabelle 2 aufgeführt.

**Tabelle 2:** Warum ein Wissen über die Natur der Naturwissenschaften in naturwissenschaftsdidaktischer Hinsicht sinnvoll ist (Driver *et al.* 1996, S. 16ff.).

Argumente	Begründung
<b>utilitarian argument (Nützlichkeitsargument)</b>	„An understanding of the nature of science is necessary if people are to make sense of the science and manage the technological objects and processes they encounter in every life.“
<b>democratic argument (demokratisches Argument)</b>	„An understanding of the nature of science is necessary if people are to make sense of socioscientific issues and participate in the decision-making process.“
<b>cultural argument (kulturelles Argument)</b>	„An understanding of the nature of science is necessary in order to appreciate science as a major element of contemporary culture.“
<b>moral argument (moralisches Argument)</b>	„Learning about the nature of science can help develop awareness of the nature of science, and in particular the norms of the scientific community, embodying moral commitments which are of general value.“
<b>science learning argument (lernpsychologisches Argument)</b>	„An understanding of the nature of science supports successful learning of science content.“

Das *science learning argument* kann man im Hinblick auf die Lernstrategien noch etwas erweitern. So gibt HÖTTECKE (2008) zu bedenken:

„Stellt man sich Wissen als entweder absolut wahr oder falsch vor, aber nicht als etwas vorläufiges, Veränderbares und Diskursives, dann ist damit die Einschätzung verbunden, man habe bereits ausreichend gelernt, wenn man Wissen nur rekapitulieren könne. Verstehen Schülerinnen und Schüler Wissen so, dann erkennen sie das aktive Anwenden des Wissens gar nicht als relevantes Ziel.“ (ebd., S.8)

Deswegen müsse es das Ziel naturwissenschaftlichen Unterrichts sein, dass die Lernenden das Wissen als zusammenhängend und komplex verstehen, um in der Lage zu sein, „entsprechend komplexe Lernstrategien für notwendig [zu] halten und zu entwickeln an[zu]streben“ (ebd.).

Ein weiterer Punkt, der einen Wissenserwerb über die *Natur der Naturwissenschaften* in den Fokus didaktischer Überlegungen rücken lässt, ist das Teilziel der Sekundarstufe II, einen wissenschaftspropädeutischen Unterricht zu ermöglichen, d. h. den Schülerinnen und Schüler sollen Einblicke in die Ziele und Methoden einer wissenschaftlichen Disziplin sowie deren berufs- und alltagsrelevanten Wissensbezüge bekommen (vgl. Höttecke 2008, S. 7; Kircher & Dittmer 2004, S. 4). Dies ist insbesondere dahingehend wichtig, um sich „autonom in demokratischen, pluralistischen Gesellschaften orientieren zu können“ (ebd.). Aber auch für die Sekundarstufe I ist eine Wissenschaftspropädeutik schon von Bedeutung, da den Lernenden bewusst wird, „was man unter ‚Wissenschaft‘ und ‚wissenschaftlich‘ verstehen kann“ (Höttecke 2008, S. 7). Durch reines Reproduzieren von wissenschaftlichem Wissen und Handeln sowie fehlender Reflexion der gesellschaftlichen und lebensweltlichen Nachwirkungen wird der Unterricht die wissenschaftspropädeutischen Ziele nicht erreichen können (vgl. ebd., S. 4f.).

All diese Argumente zeigen, dass der Erwerb eines Metawissens in den naturwissenschaftlichen Fächern von großer Bedeutung ist. Entsprechende unterrichtliche Konzeptionen können somit dazu beitragen, dass der naturwissenschaftliche Unterricht den Anforderungen des 21. Jahrhunderts gerecht wird. Leider zeigt sich in Deutschland bei der Betrachtung der unterrichtlichen Praxis, dass gerade der Erwerb eines Metawissens eher ein Schattendasein führt und in den seltensten Fällen explizit im Unterricht thematisiert wird (vgl. Hofheinz 2008, S. 80; Kircher & Dittmer 2004, S. 4).

Die Notwendigkeit eines solchen Unterrichts wird noch dahingehend verstärkt, wenn man die Schülervorstellungen über die *Natur der Naturwissenschaften* betrachtet.

## 2.2 Schülervorstellungen über die Natur der Naturwissenschaften

In diesem Kapitel sollen nun Vorstellungen von Schülerinnen und Schüler über die *Natur der Naturwissenschaften* skizziert werden, um sich über den allgemeinen Kenntnisstand zu vergewissern. Dabei dienen vor allem die Arbeiten von HÖTTECKE (2001a; 2001b) als Grundlage, da dieser ein aufschlussreiches und umfassendes Kompendium der verschiedensten Studien<sup>5</sup> zusammengestellt hat, sodass an dieser Stelle auf eine eigene Auswahl einzelner

<sup>5</sup> HÖTTECKE (2001a, S. 41) bezieht sich hauptsächlich auf Studien aus dem angelsächsischen Raum, da deutsche Studien zu diesem Thema kaum vorhanden sind. Bei der Erwähnung der einzelnen Studien wird aus

Studien und ihrer Ergebnisse bezüglich der Schülervorstellungen über die *Natur der Naturwissenschaften* verzichtet werden kann. Anhand der Ergebnisse der verschiedenen Studien soll noch einmal die Notwendigkeit eines Unterrichts über die *Natur der Naturwissenschaften* bekräftigt werden. In diesem Kapitel werden dazu folgende Schülervorstellungen thematisiert:

- Vorstellungen über den Wissenschaftler als Person, seine Arbeit und deren Bedingungen
- Vorstellungen über den epistemologischen Status von naturwissenschaftlichem Wissen
- Vorstellungen über das Experiment im Unterricht und im Forschungsalltag
- Vorstellungen über die naturwissenschaftliche Wissensproduktion und deren Bedingungen (vgl. Höttecke 2001b S. 7; 2001a, S. 42)

### *Vorstellungen über den Wissenschaftler als Person, seine Arbeit und deren Bedingungen*

Eine frühe amerikanische Studie aus dem Jahr 1957 zeigte bei amerikanischen *High School* Schülern deutlich stereotype Vorstellungen von Naturwissenschaftlern. Dabei offenbarte sich besonders ein Stereotyp:

„Der typische Naturwissenschaftler ist ein Mann in einem weißen Kittel. Er trägt einen Bart oder wirkt unrasiert und ungekämmt. Er ist von Laborinstrumenten umgeben mit denen er den ganzen Tag im Labor hantiert. Er hat keine Zeit und weiß nichts vom Rest der Welt. Er ist äußerst intelligent und geheimnisräuberisch. Seine Arbeit kann sehr gefährlich sein.“ (Höttecke 2001b, S. 8)

Gestützt werden diese Ergebnisse durch eine weitere Studie (1966-1977), bei der kanadische Kinder vom Kindergartenalter bis zur fünften Klasse Bilder von Naturwissenschaftlern zeichnen sollten. Die Bilder wurden anschließend nach bestimmten stereotypen Indikatoren evaluiert. Dabei konnte festgestellt werden, dass mit zunehmendem Alter stereotype Vorstellungen zunehmen und in der 4./5. Klasse ihren Höhepunkt erreichen. Interessant hierbei ist allerdings die Tatsache, dass die Kinder beim Malen auf einen zweiten Stereotyp zurückgreifen, der sich beispielsweise an den literarischen Charakteren Dr. Jekyll/Mr. Hyde oder Frankenstein orientiert. Daraus wurde in dieser Studie geschlossen, dass der zweite Stereotyp den ersten nicht verdrängt hat, aber zur Vorstellungen über Naturwissenschaftler beiträgt (vgl. Höttecke 2001a, S. 43). Eine weitere aufschlussreiche Feststellung dieser Studie ist, dass der Stereotypus eines Naturwissenschaftlers zumeist männlich ist und auch nur wenige Mädchen bei bildlichen Darstellungen weibliche Wissenschaftlerinnen zeichnen (vgl. ebd., S. 46f.). Problematisch ist allerdings, dass sich die Lernenden im Grunde bewusst sind, dass ihre schematischen Vorstellungen nicht unbedingt der Wahrheit entsprechen und sie sich sicherlich auch bei ihren bildlichen Darstellungen an ihnen bekannten Comickdarstellungen orientiert haben. Trotzdem lässt sich unzweifelhaft erkennen, dass solche Vorstellungen zu einem gewissen Maß zum Vorverständnis von der Wissenschaft und dem Wissenschaftler beitragen (vgl. ebd., S. 44). Zudem weist diese Untersuchung darauf hin, dass die Kinder das Labor als Hauptarbeitsplatz eines Wissenschaftlers sehen. Mehr noch, ein paar wenige Kinder zeichnen das Labor sogar als Kellerlabor oder unter dem Dachgeschoss gelegen. Hier wird ein mythisches Verständnis deutlich, da diese Orte ein gewisses Geheimnis

---

Gründen der Einfachheit auf die namentliche Nennung der jeweiligen Forscher bzw. Forschungsgruppen verzichtet. Diese können allerdings bei HÖTTECKE (2001a) nachgelesen werden.

konnotieren. Diese Ansicht schließt aber viele Arbeitsplätze von Wissenschaftlern aus, beispielsweise die Natur, theoretische Arbeiten am Schreibtisch und damit verbunden die Arbeit am Computer. Letzteres würde in der heutigen Zeit eventuell etwas anders gesehen als damals, da gegenwärtig die Arbeit am Computer in der Gesellschaft einen besonderen Stellenwert einnimmt (vgl. ebd., S. 49f.).

Im Laufe der Schulzeit wandeln sich die stereotypen Vorstellungen allerdings von den cartoonartigen Vorstellungen hin zu einem Wissenschaftsverständnis, welches im experimentellen Unterricht verbreitet wird. Die wichtigsten Faktoren, die einen solchen Stereotypenwechsel bewirken, sind der naturwissenschaftliche Unterricht im Allgemeinen und das von der jeweiligen Lehrkraft repräsentierte naturwissenschaftliche Arbeiten. Dies zeigen zwei Studien Anfang und Mitte der 1990er Jahre.

„Ein konsistentes Vorverständnis davon, was ein Naturwissenschaftler sei, gibt es allerdings nicht. Vielmehr werden mehrere Stereotypen zugleich oder je nach Situation auch isoliert vertreten, die aus unterschiedlichen sozialen Lebenswelten (Film, Fernsehen, Comic, Cartoon, Schule, eventuell Familie) entstammen.“ (ebd., S. 45)

Eine weitere Studie mit 15- bis 18jährigen *High School* Schülern von 1991 zeigt, dass sie eine widersprüchliche Vorstellung von Naturwissenschaftlern besitzen. Der Wissenschaftler sei sehr intelligent und kreativ, seine Arbeit wird allerdings von einer neutralen Datenerfassung geprägt, deren Ergebnisse schon in der Natur vorstrukturiert seien. Zudem verdeutlichte eine Untersuchung im Jahre 1996, dass den Lernenden die Existenz einer *scientific community* nicht bewusst ist und der Wissenschaftler zum größten Teil als einzeln arbeitendes Individuum gesehen wird. Auch bei dieser Erhebung konnte ein breites Spektrum an unterschiedlichen Vorstellungen über Naturwissenschaftlern festgestellt werden (vgl. ebd., S. 45).

Des Weiteren zeigte sich bei der Erhebung von 1991, dass eine klassisch-naive Sicht in Bezug auf die Motivation eines Naturwissenschaftlers existiert. Für viele *High School* Schüler forschen Wissenschaftler hauptsächlich aus eigenem Antrieb heraus. Dies belegt auch eine andere amerikanische Studie (1997), bei der u. a. noch festgestellt werden konnte, dass der Einfluss der *scientific community* auf das Individuum nicht als wichtig erachtet wird. Die Sichtweise der Schüler beschränkt sich demnach auf eindeutige und übergreifende Motive, vernachlässigt allerdings mehrere wichtige Faktoren, die auf die Motivation eines Wissenschaftlers wirken (vgl. ebd., S. 47f.).

Letztendlich kann man festhalten, dass häufig „die Schülervorstellung von Naturwissenschaftler im diametralen Gegensatz zum Forschungsstand über die reale Arbeitspraxis in den Naturwissenschaften“ (ebd., S. 45) steht.

#### *Vorstellungen über den epistemologischen Status von naturwissenschaftlichem Wissen*

Aus etlichen Studien (1989, 1990, 1992, 1993) über das Schülerverständnis von Naturwissenschaften wird deutlich, dass Kinder und Jugendliche in ihrer Auffassung zu einem naiven Realismus neigen. Für sie ist naturwissenschaftliches Wissen ein Abbild der Wirklichkeit und sie sind sich somit auch nicht der Vorläufigkeit und der historischen Bedingungen naturwissenschaftlichen Wissens bewusst (vgl. ebd., S. 54f.). Andere Studien (1987, 1990, 1997) zeigen jedoch, dass Schüler auch zu der Ansicht tendieren, dass Wissen veränderbar

und nicht statisch ist. Allerdings existiert weiterhin die Auffassung, dass sich durch Wissensveränderung der Wahrheit genähert wird, wie die Erhebung von 1987 zeigt. Demnach schließen sich ontologisch-realistisches Wissen und ein Wissen um die Vorläufigkeit und Veränderbarkeit durch empirische Evidenz nicht aus (vgl. ebd., S. 55f.).

Zudem wiesen Untersuchungen zum Vorverständnis von wissenschaftstheoretischen<sup>6</sup> Begrifflichkeiten wie Hypothese, Theorie und Modell<sup>7</sup> teilweise auf ein problematisches Verständnis von diesen hin. Eine deutsche Studie von 1990 setzt sich mit dem Vorverständnis zu diesen Begriffen auseinander. In Bezug auf die *Theorie* wird deutlich, dass die Schülerinnen und Schüler diese als Ersatz für praktische Erfahrungen und als Gegensatz zur Praxis verstehen. Aber auch nicht zu beweisende Annahmen und Vermutungen werden teilweise als Theorie begriffen. Auch die Erklärungsfunktion als ein Kernelement von Theorien, wird als Veranschaulichung und weniger als Rückgriff auf ein allgemeines Aussagensystem gesehen. Eine amerikanische Untersuchung (1996) zeigte hingegen, dass mit zunehmendem Alter die Theorie als verallgemeinernde Erklärung gesehen wird, welche allerdings eine Abbildung der Wirklichkeit darstelle (vgl. ebd., S. 59f.). Modelle werden als anschauliche Darstellungen zur Erklärung von Sachverhalten und Verdeutlichung von Funktionsprinzipien gesehen. Obwohl sie Modelle als aspekthafte Annäherung an die Wirklichkeit erkennen, werden einige Modelle im Unterricht dennoch als Abbilder der Wirklichkeit verstanden. Auch die Möglichkeit zur Prognose ist den Schülern nicht bewusst (vgl. ebd., S. 60f.). Die Ansichten über die Hypothese sind hingegen weniger problematisch. So ist sie für die Schüler eine durch Beobachtungen oder Experimente aufgestellte Annahme, Vermutung oder Behauptung. Eine andere amerikanische Studie (1989) wies allerdings darauf hin, dass ihnen die Bedeutung des Vorwissens über Phänomene oder Experimente bei der Hypothesenbildung nicht bewusst ist (vgl. ebd., S. 59).

### *Vorstellungen über das Experiment im Unterricht und im Forschungsalltag*

Durch bereits erwähnte Untersuchungen (1990, 1996) konnte auch dargelegt werden, dass die Schülerinnen und Schüler das Experiment im Unterricht und das Experiment in der Forschungspraxis als nicht äquivalent ansehen. Für sie beweisen Unterrichtsexperimente nur vorher bekannte Sachverhalte und sie empfinden die Experimente als manipuliert und vorstrukturiert. Sie bemerken so den realen Zweck dieser Experimente und bewerten diese kritisch. In Bezug auf das Experiment in der Wissenschaft sind sie der Auffassung, dass sich dessen Ergebnisse verschieden interpretieren lassen. Allerdings meinen sie, dass sich der Forscher bei der Auswertung nicht durch Vorkenntnisse und Erwartungen beeinflussen lässt, sondern die Ergebnisse neutral und objektiv interpretiert. Wegen dieser empiristischen Vorstellung ist den Schülern nicht bewusst, dass jede Beobachtung und jedes Experiment in der Praxis theoriegeladen ist und die Validität und die Interpretation der Ergebnisse durch die *scientific community* als „Kontrollinstanz“ aufgenommen und bewertet werden (vgl. ebd., S. 63f.). Bei jüngeren Schülern offenbarte sich bei zwei weiteren Studien (1989, 1996), dass sie Experimente nicht als zielgerichtet begreifen. Die Erhebung von 1990 legte allerdings

<sup>6</sup> Die Wissenschaftstheorie beschränkt sich auf die Analyse von Wissenschaften und wird als Methodologie der Wissenschaften verstanden (Höttecke 2001a, S. 57f.).

<sup>7</sup> HÖTTECKE (2001a, S. 58) weist daraufhin, dass neben der wissenschaftstheoretischen Bedeutung dieser Begriffe auch alltagssprachliche Bedeutungen existieren und zum Begriffsverständnis der Schüler beitragen. So ist beispielsweise ein Modell in der Alltagssprache meist nur ein miniaturisiertes Abbild von etwas.



dar, dass die Kinder und Jugendlichen mit zunehmendem Alter das Experiment in Hinblick auf seine falsifizierende und verifizierende Funktion hin betrachten. Zudem wurde aber auch deutlich, dass das empiristische Verständnis mit dem Alter zunimmt (vgl. ebd., S. 64f.).

Letztendlich kann man festhalten, dass die Schülervorstellungen über Experimente nicht ausreichend sind und grundsätzlich überlegt werden müsste, wie man im Unterricht ein an der Realität und der naturwissenschaftlichen Praxis orientiertes Verständnis erzeugen kann (vgl. ebd., S. 66f.).

### *Vorstellungen über die naturwissenschaftliche Wissensproduktion und deren Bedingungen*

Der für die Wissenschaft so wichtige Diskurs über Theorien und Ergebnisse innerhalb der *scientific community* sowie das Einwirken von äußeren und inneren Faktoren auf die Wissensproduktion ist den Kindern und Jugendlichen zumeist nicht in seinem vollen Umfang bewusst. Sie halten zwar den Konsensfindungsprozess für bedeutsam, neigen aber dazu, die Evidenz harter Fakten zu präferieren, wie zwei amerikanische Studien von 1987 und 1992 zeigen. Letztere offenbart zudem, dass ungefähr die Hälfte der Probanden eigentlich nur die Evidenz der Fakten bei diesem Prozess innerhalb der *scientific community* als wichtig erachten und weniger moralische und persönliche Positionen. Eine weitere amerikanische Untersuchung von 1996 bestätigt dies (vgl. ebd., S. 68f.). Ein solches Schülerverständnis ist jedoch nicht verwunderlich, da der soziale Aspekt bei der Entstehung von naturwissenschaftlichem Wissen wird im Unterricht jedoch kaum angesprochen wird (vgl. ebd., S. 71).

HÖTTECKE (2001a) fasst die zuvor beschriebenen Befunde von Schülervorstellungen über die *Natur der Naturwissenschaften* folgendermaßen kompakt zusammen:

„Unter einer NaturwissenschaftlerIn stellen sie sich ein männliches, absonderliches und zugleich seltsam motiviertes Stereotyp vor. Er ist mal gefährlich, mal wissensdurstig, mal hilfreich, aber immer ist er fremd. Der stereotype Naturwissenschaftler beschäftigt sich mit seltsamen und nicht verstehbaren Dingen. Er ist von Symbolen des Wissens umgeben. Als primäre Motivation scheint ein diffuser Wissensdrang für die Schülerinnen entscheidend zu sein. Die Vorstellungen zum epistemologischen Status naturwissenschaftlicher Wissensbestände zeigt eine Tendenz zum ontologischen Realismus. Die Vorstellungen von den Arbeitsweisen von NaturwissenschaftlerInnen lassen sich tendenziell als naiv-empiristisch zusammenfassen. Daß Naturwissenschaft eine Aktivität von Expertengruppen ist, und daß Wissensbestände ihrer sozialen Aushandlung unterworfen sind, ist im SchülerInnenverständnis nur ansatzweise enthalten. Die Verflechtung zwischen inner- und außerwissenschaftlichen Bereichen wird von den SchülerInnen weitgehend gar nicht eingesehen. Vielmehr stellen sich SchülerInnen einen typischen Naturwissenschaftler einzeln und isoliert arbeitend vor.“ (ebd., S. 71f.)

Abschließend kann man festhalten, dass bei Schülern ein nicht ausreichendes und verzerrtes Bild über das Wesen der Naturwissenschaft vorherrscht. Dies zeigt noch einmal die Notwendigkeit eines Unterrichtes über die *Natur der Naturwissenschaften*, damit das existierende verzerrte Bild von Naturwissenschaften zumindest graduell in Richtung eines realistischen Bildes verändert werden kann.

## 2.3 Konkrete Ziele und Inhalte für den Unterricht

Nachdem die Notwendigkeit für einen Unterricht über die *Natur der Naturwissenschaften* für die naturwissenschaftlichen Fächer im Allgemeinen und das Schulfach Chemie in den Kapiteln 2.1 und 2.2 aufgezeigt wurde, werden nun mögliche unterrichtlich relevante Ziele in Bezug auf diese Thematik beschrieben. Vor allem KIRCHER & DITTMER (2004) stellen für einen solchen Unterricht umfassende und gut strukturierte Ziele für die erkenntnistheoretischen, wissenschaftstheoretischen sowie technik- und wissenschaftsethischen Aspekte zusammen. Dabei betrifft der erkenntnistheoretische Aspekt das Verhältnis zwischen Naturwissenschaft und Wirklichkeit (vgl. Kircher & Dittmer 2004, S. 8f.), der wissenschaftstheoretische Aspekt den Aufbau, die Struktur sowie die (historische) Entwicklung von Naturwissenschaften (vgl. ebd., S. 11f.) und der technik- bzw. wissenschaftsethische Aspekt die Beurteilung des Verhaltens von Naturwissenschaftlern auf der Grundlage gesellschaftlicher Normen (vgl. ebd., S. 14ff.).

Die folgende Tabelle zeigt die drei Aspekte von KIRCHER & DITTMER (2004) mit einer ausführlichen Beschreibung der damit verbundenen Ziele. Vereinzelt wurden allerdings Passagen gekürzt oder gänzlich weggelassen, mit dem Hintergrund, dass sie sich konkret auf den Physikunterricht beziehen, für den Chemieunterricht aber weniger relevant erscheinen.

**Tabelle 3:** Drei Aspekte und deren Ziele für einen Unterricht über die Natur der Naturwissenschaften (aus: Kircher & Dittmer 2004, S. 8ff.).

Aspekte für den Unterricht	Ziele für den Unterricht
Erkenntnistheoretische Aspekte	<p><i>Die Schüler verstehen...</i></p> <p>dass sich erkenntnistheoretische Aspekte mit dem <i>Verhältnis Naturwissenschaften und Wirklichkeit</i> befassen.</p> <p>dass erkenntnistheoretische Auffassungen die Arbeit der Naturwissenschaftler und damit auch die Interpretation fundamentaler naturwissenschaftlicher Theorien beeinflussen;</p> <p>dass bei Entscheidungsprozessen innerhalb der Naturwissenschaften (Bestätigung oder Widerlegung einer Hypothese) experimentelle Tatsachen einen hohen Stellenwert haben, (insbesondere wenn durch verschiedene Messanordnungen und Messmethoden das gleiche experimentelle Resultat erzielt wird), aber Theorien weder endgültig beweisen noch widerlegen.</p> <p>dass naturwissenschaftliche Theorien in einer bestimmten Epoche "im Wahren" ihrer Disziplin sind. Sie sind daher prinzipiell vorläufig.</p> <p>dass die prinzipielle Vorläufigkeit naturwissenschaftlicher Theorien keine Willkür bedeutet (und nur einen moderaten Relativismus impliziert, der mit der Kontingenz und Unbestimmtheit der Sprache und der empirischen Unterbestimmtheit naturwissenschaftlicher Theorien zusammenhängt).</p> <p>durch die Naturwissenschaften gesicherte experimentelle Tatsachen hinreichen können, um grundlegende Erkenntnis-</p>

	<p>theorien (z. B. Realismus und Instrumentalismus) zu modifizieren und Anlass und wichtiges Argument für einen Paradigmawechsel in den Naturwissenschaften sein können. Auch solche wichtigen experimentellen Tatsachen können grundlegende naturwissenschaftliche Theorien und grundlegende Erkenntnistheorien weder endgültig beweisen noch endgültig widerlegen.</p> <p>dass auch ihr eigenes Verständnis der Physik, Chemie oder Biologie von erkenntnistheoretischen Auffassungen beeinflusst wird.</p> <p>dass erkenntnis- und wissenschaftstheoretische Auffassungen nicht immer zu trennen sind (und dass z. B. aus instrumentalistischer Sicht erkenntnistheoretische Fragen irrelevant sind.)</p>
<p>Wissenschaftstheoretische Aspekte</p>	<p>Wissenschaftstheoretische Erörterungen erläutern Ausdrücke wie „naturwissenschaftliches Objekt“, „Theorie“, „Modell“, „Gesetz“, „Hypothese“, „Experiment“, „experimentelle Daten“. Diese Begriffe werden als Grundelemente zur Beschreibung des <i>Wechselspiels zur Genese neuer naturwissenschaftlicher Erkenntnisse</i> aufgefasst.</p> <p>Wissenschaftstheoretische Erörterungen im naturwissenschaftlichen Unterricht befassen sich kritisch mit Begriffen, die die naturwissenschaftliche <i>Methodologie</i> charakterisieren sollen wie „hypothetisch deduktive“ und „induktive“ Methode, mit „Falsifikation“, „Verifikation“, „Bestätigung“ und „Bewährung“ von Theorien (z. B. im Sinne Poppers).</p> <p>Der wissenschaftsinterne Sinn naturwissenschaftlicher Theorien: Phänomene „erklären“, deren Veränderungen prognostizieren und die Ergebnisse der naturwissenschaftlichen Forschung systematisieren.</p> <p>Naturwissenschaftliche Theorien sind empirisch unterbestimmt, d. h. sie implizieren mehr mögliche Daten als tatsächlich je gemessen werden können. [...] Auch aus diesen Gründen sind naturwissenschaftliche Theorien prinzipiell hypothetisch und vorläufig.</p> <p>Naturwissenschaften lernen und verstehen bedeutet, das gewohnte durch die Alltagserfahrung und die Alltagssprache gewachsene Paradigma des <i>Common Sense</i> in bestimmten Situationen bewusst verlassen zu können und z. B. das Paradigma „Physik“ [oder „Chemie“, St. S.] zu verwenden. Dieses ist hinsichtlich Erklärung und Voraussage präziser und erfolgreicher, <i>für technische Anwendungen nützlicher und damit im Allgemeinen auch zufriedenstellender.</i></p>
<p>Technik- und wissenschaftsethische Aspekte</p>	<p>Zum Wesen der Naturwissenschaften gehört ihre Zuverlässigkeit. Diese Eigenschaft gründet auch in internen Überprüfungen und Kontrollen der wissenschaftlichen Arbeit durch die wissenschaftliche Gemeinschaft im Gefolge der Publikation der Ergebnisse. Berufsethische Kommissionen überwachen die Einhaltung von Ehrlichkeit, Fairness usw. und versuchen wissenschaftlichen Betrug zu verhindern.</p>

	<p>Das in unserer Zeit mit neuen Erfindungen und Entdeckungen zusammenhängende Risikopotential mit unter Umständen globalen Auswirkungen auf Mensch und Natur erfordert größere Vorsicht. Dies gilt umso mehr, weil das voraussagende Wissen bei komplexen Systemen wie unserer Biosphäre nur gering ist.</p> <p>Das bedeutet, Jonas' (1984) Maxime des Vorrangs der schlechten Prognose vor der guten, soll an geeigneten Beispielen aus Physik und/ oder Chemie und/ oder Biologie thematisiert werden (z. B. Waffentechnik, Agrartechnik, Gentechnik).</p> <p>Eine bedeutsame Auswirkung sollten die Beschlüsse der Konferenz von Rio 1992 auf den naturwissenschaftlichen Unterricht auch der Bundesrepublik haben.</p>
--	---

Des Weiteren soll hier noch eine weitere gut strukturierte und ausführliche Zusammenstellung von Zielen für ein Lernen über die *Natur der Naturwissenschaften* erwähnt werden, die bei LEDERMAN *et al.* (2002) zu finden ist. Dieser formuliert acht Ziele, die sich an einigen Stellen mit denen von KIRCHER & DITTMER (2004) überschneiden, allerdings auch weitere praxisbezogene Aspekte beinhaltet. Die von LEDERMAN *et al.* formulierten Ziele fasst HOFHEINZ (2008) wie folgt in tabellarischer Form zusammen:

**Tabelle 4:** Unterrichtlich relevante Ansichten über nature of science  
(aus: Hofheinz 2008, S. 87f.; vgl. Lederman *et al.* 2002, S. 499-502).

Zielbereich	Inhalt
a) <i>The empirical nature of scientific knowledge</i>	<b>Empirische Basis</b> Naturwissenschaften basieren zu großen Teilen auf der Beobachtung von Phänomenen und haben daher eine empirische Basis. Beobachtungen unterliegen aber den Einschränkungen unserer Sinnesorgane bzw. sind an Apparaturen, die eigens zur Beobachtung gebaut wurden, gebunden. Ferner sind Beobachtungen durch zahlreiche Vorannahmen immer bereits schon theoriegeleitet.
b) <i>Observation, inference, and theoretical entities in science</i>	<b>Status von Beobachtungen, Deutungen und Modellen</b> Während über Beobachtungen relativ rasch ein Konsens erzielt werden kann, ist dies bei Deutungen beobachteter Phänomene keineswegs der Fall, weil Deutungen stets theorieabhängig sind. Deutungen und Modelle können daher nie 'richtig', sondern allenfalls angemessen sein.
c) <i>Scientific theories and laws</i>	<b>Status von Theorien und Gesetzen</b> Naturwissenschaftliche <i>Theorien</i> sind etablierte, in sich konsistente Erklärungssysteme für viele (auch scheinbar unzusammenhängende) Beobachtungen. Neben diesem interpretatorischen Moment haben Theorien auch eine prognostische, forschungsleitende Kraft. Hinsichtlich ihrer Gültigkeit sind sie nicht verifizierbar. <i>Gesetze</i> treffen Aussagen über Zusammenhänge zwischen beobachtbaren Größen unter bestimmten Bedingungen und haben somit immer eine empirische Basis. Theorien und Gesetze befinden sich daher auf unterschiedlichen, logischen Ebenen.
d) <i>The creative and imaginative nature of scientific knowledge</i>	<b>Anschaulich-kreative Seite der Naturwissenschaften</b> Wissenschaftliche Ergebnisse sind keine erkannten Naturgesetze, sondern basieren auf menschlichen und daher zum Teil auch subjektiven, kreativen Deutungen. Modelle und Theorien haben daher keinen Abbildcharakter, sondern werden aus funktionalen und teilweise auch ästhetischen Gesichtspunkten gewählt.
e) <i>The theory-laden nature of scientific knowledge</i>	<b>Theoriegebundenheit naturwissenschaftlichen Wissens</b> Persönliche Überzeugungen, Vorwissen, Erfahrungen sowie disziplinär akzeptierte Forschungsprogramme beeinflussen die Arbeit eines Naturwissenschaftlers und entscheiden letztlich darüber, was überhaupt wie untersucht wird und was beobachtet wird (und was nicht). Jede Beobachtung ist immer schon theoriegebunden.
f) <i>The social and cultural embeddedness of scientific knowledge</i>	<b>Sozialer &amp; kultureller Einfluss auf naturwissenschaftliches Wissen</b> Forschung und die Interpretation von Forschungsergebnissen sind auch sozial und kulturell beeinflusst.
g) <i>Myth of the scientific method</i>	<b>Mythos einer einheitlichen naturwissenschaftlichen Methode</b> Es gibt zwar einen gemeinsamen naturwissenschaftlichen Methodenpool, aber keine universelle naturwissenschaftliche Methode, die alle Naturwissenschaftler rezeptartig verfolgen. Folglich gelangen auch nicht alle Wissenschaftler nach dem selben Muster zu gleichen Ergebnissen.
h) <i>The tentative nature of scientific knowledge</i>	<b>Vorläufigkeit naturwissenschaftlichen Wissens</b> Wissenschaftliche Erkenntnisse sind zwar relativ dauerhaft, haben aber nicht ewig Bestand (aufgrund neuer Untersuchungsergebnisse oder einer Neuinterpretation existierender Befunde). Sie sind daher stets vorläufig und lassen sich grundsätzlich nicht verifizieren.

Diese beiden Zusammenstellungen von relevanten Aspekten und deren Zielsetzung können m. E. der zuvor beschriebenen Notwendigkeit zum Erwerb eines Metawissens über die Naturwissenschaften gerecht werden. Deswegen sollen sie in Kapitel 3 dieser Arbeit die Grundlage dafür bilden, welche Ziele die Unterrichtsbeispiele in Bezug auf den Wissenserwerb über die *Natur der Naturwissenschaften* verfolgen sollen.

Zwei weitere Aspekte für den Unterricht, die bei diesen beiden Zielsetzungen m. E. fehlen bzw. inhaltlich zu kurz kommen, aber für ein Lehren und Lernen über die *Natur der Naturwissenschaften* wichtig sind, ist die Prozesshaftigkeit der Naturwissenschaften und ein adäquates Bild über das Wirken von Forschern. Gerade die Vorstellungen der Schülerinnen und Schüler zeigt die didaktische Notwendigkeit dieses Aspektes. Auch HÖTTECKE (2001a) weist diesen beiden Aspekten eine besondere Bedeutung zu. Im folgenden Kapitel wird dies noch einmal vertieft.

## 2.4 Durch die Wissenschaftsgeschichte über die Natur der Naturwissenschaften lernen

In diesem Kapitel soll nun, bevor die Unterrichtsbeispiele beschrieben werden, das Potential des Einsatzes von Wissenschaftsgeschichte im Unterricht betrachtet werden. Gerade in Bezug auf die in Kapitel 2.3. thematisierten Vorstellungen von Schülerinnen und Schülern über die *Natur der Naturwissenschaften* scheint die Geschichte der Naturwissenschaften eine Möglichkeit zu bieten, ein Bild von den Naturwissenschaften zu vermitteln, welches annähernd der Realität entspricht. Dabei lassen sich vor allem mithilfe historischer Fallstudien adäquate Vorstellungen von der Persönlichkeit des Forschers und von der Bedeutung des Konsensbildungsprozess innerhalb der *scientific community* vermitteln. Ein Naturwissenschaftsdidaktiker, der ein Lehren und Lernen der Wissenschaftsgeschichte für den Erwerb eines Metawissens über die Naturwissenschaften ausführlich behandelt hat, ist HÖTTECKE (2001a, 2004). Allerdings beschäftigten sich auch schon andere Autoren (u. a. Pukies 1979, Jung 1978, Rieß 1997) mit dem unterrichtlichen Einsatz von Wissenschaftsgeschichte, aus denen die Vorteile für den Erwerb ein solches Metawissen hervorgehen. So formulierte RIEß (1997) anlässlich einer Tagung:

„Wir betrachten die Integration von wissenschaftstheoretischen und historischen Inhalten in den Unterricht als ein mögliches Mittel zur Erziehung eines im Hinblick auf Naturwissenschaften gebildeten Individuums [...]. Statt vieler unverbundener Einzelkenntnisse sollten die systematisch Struktur der Wissenschaften gelehrt werden, verbunden mit den Merkmalen ihrer gesellschaftlichen Entstehungs-, Entwicklungs- und Anwendungsbedingungen.“ (ebd., S. 23)

Damit die Schülerinnen und Schüler ein adäquates Bild von der Persönlichkeit des Forschers sowie der humanen Dimension von Naturwissenschaften erlangen können, ist es wichtig, dass sie die Naturwissenschaften als Aktivität von Menschen verstehen. Der Forscher sollte im Unterricht als ein Individuum gezeigt werden, das durch sein Wirken innerhalb der *scientific community* sowie seine persönlichen Lebensumstände beeinflusst wird. Auch die Thematisierung der Tatsache, dass Wissenschaftler häufig innerhalb einer Forschergruppe arbeiten und ihre Ergebnisse publizierten, trägt zu einem realitätsnahen Bild von Naturwissenschaftlern bei (vgl. Höttecke 2001a, S. 198). Für die unterrichtliche Behandlung dieser menschlichen Facette der Naturwissenschaften sind natürlich historischen Forscherpersönlichkeiten besonders interessant, da über sie persönlich und ihr wissenschaftliches Wirken

ein reichhaltiger Fundus an Materialien vorhanden ist (vgl. Höttecke 2004, S. 45f.). In den heutigen Schulbüchern und Lehrplänen<sup>8</sup> sind zwar vereinzelt Erwähnungen bzw. Hinweise auf ein paar wenige berühmte Forscher und deren wichtige Erkenntnisse zu finden, allerdings meist auf die endgültigen Ergebnisse fokussiert (vgl. Rieß 1997, S. 22f.), womit eine „Reduktion des Menschlichen“ (Höttecke 2004, S. 45) einhergeht. Besonders in Bezug auf die Schulbücher kann man festhalten, dass

„der Anteil historischer Inhalte in Physik-Lehrbüchern [...] zwischen völliger Abwesenheit und regulärem, gleichmäßig wiederkehrendem Bestandteil [schwankt]. Historische Fallstudien, die exemplarisch grundlegende Qualifikationen bezüglich Wissenschaftsentwicklung, Wissenschaftstheorie und der gesellschaftlichen Rolle von Naturwissenschaften (also die ‚nature of science‘) vermitteln könnten, fehlen allerdings ebenfalls völlig.“ (Rieß 1997, S. 23)

Bei einer solchen Darstellung wird ein von Ehrfurcht geprägtes Bild von Naturwissenschaftlern geschürt bzw. begünstigt und trägt somit wiederum zu den bereits erwähnten Schülervorstellungen bei. Bei der Thematisierung von Wissenschaftlern und ihren Forschungsergebnissen sollten allerdings auch die Hintergründe ihrer wissenschaftlichen Tätigkeit aufgezeigt werden, wie beispielsweise der Diskurs innerhalb der *scientific community* über die Ergebnisse und persönliche Motivation des jeweiligen Forschers (vgl. Höttecke 2001a, S. 200). Somit wäre es wichtig, die Wissenschaftler nicht als Genies erscheinen zu lassen, sondern vielmehr als Menschen mit ihren jeweiligen Hintergründen. Ein Beispiel für das Wirken eines Chemikers ist die Harnstoffsynthese von Friedrich Wöhler im Jahre 1828. So hat Wöhler erst durch den Ruf an die Gewerbeschule in Berlin mehr Zeit zur eigenen Forschung bekommen, wodurch er zu zahlreichen wichtigen chemischen Erkenntnissen (u. a. die Synthese von Harnstoff) gelangen konnte<sup>9</sup> (vgl. Kober 1982, S. 316ff.). Grundsätzlich ist die Behandlung der Forscherpersönlichkeit im Unterricht immer schwierig für die Lehrkraft, da es ein schmaler Grat ist zwischen einer glorifizierenden Heldendarstellung und einer menschlichen Darstellung des Wirkens eines bestimmten Forschers, verbunden mit seinen äußeren und inneren persönlichen Hintergründen (vgl. ebd., S. 201, Höttecke 2004, S. 47).

Des Weiteren bietet die Wissenschaftsgeschichte die Möglichkeit, die Naturwissenschaft als Prozess zu verstehen. Dabei können nach HÖTTECKE (2001a; 2004) drei Ebenen von naturwissenschaftlichen Prozessen unterschieden werden:

- A) Naturwissenschaftliche Prozesse „als Teil und Leistung kultureller und gesellschaftlicher Prozesse“
- B) Naturwissenschaftliche Prozesse „als eine ‚innerwissenschaftliche‘ Dynamik“
- C) Naturwissenschaftliche Prozesse „als Tätigkeit und Forschungsstrategien in lokaler Begrenzung“ (ebd., S. 48)

---

<sup>8</sup> Im hessischen Lehrplan für Gymnasien wird u. a. die Behandlung der Arbeiten von Arrhenius, van't Hoff und Ostwald hinsichtlich ihrer historischen Bedeutung für die Ionentheorie angemerkt. Ein Verweis auf die Hintergründe ihrer Forschung und ihrer Ergebnisse wird allerdings verzichtet. (vgl. Hessisches Kultusministerium 2008, S. 20). Für RIEß (2004, S. 22) bleiben „die Erwähnung historischer Inhalte [...] stets deklamatorisch und inhaltsleer.“

<sup>9</sup> Auf die Harnstoffsynthese von Friedrich Wöhler wird noch ausführlich im zweiten Teil dieser Arbeit in Kapitel 3.2. eingegangen.

Somit kann man der im Unterricht häufig anzutreffenden Produkthaftigkeit von Naturwissenschaften - im Sinne der reinen Vermittlung von endgültigem Wissen - entgegenwirken (vgl. ebd., S. 47). Schon JUNG (1978) weist hinsichtlich der unterrichtlichen Relevanz von Naturwissenschaftsgeschichte darauf hin, dass die Naturwissenschaft

„als Institution und als Prozeß der Forschung, eine historische Dimension hat, die nicht weg-rationalisiert werden kann [...]. Der einzelne Forscher erbt seine Fragestellungen aus einer Forschungstradition, und nur aus dieser kann die Begründung für die konkrete Form, in der geforscht wird kommen. Die Tatsache, daß man heute völlig unhistorische, rationale Zugänge zum Erlernen zur Verfügung hat, läßt ja sofort fragen: weshalb hat es so lange gedauert, bis dieser Erkenntnisstand erreicht wurde, wenn es eigentlich so einfache und natürliche Zugänge gibt?“ (ebd., S. 39)

Auch PUKIES (1979) macht deutlich, dass Wissenschaftsgeschichte dazu beitragen kann, die Naturwissenschaften als Teil und Leistung eines gesellschaftlichen und kulturellen Prozesses hervorzuheben, der für den Unterricht unabdingbar ist, da

„die Annahme einer ausschließlich internen Entwicklung der Naturwissenschaften zu kurz greift, daß die Entwicklung der Begriffe und Prinzipien der Naturwissenschaften nur zu verstehen ist, wenn man den dialektischen Prozeß externer und interner Entwicklung berücksichtigt und im Unterricht hieraus die Begriffsbildungsprozesse rekonstruiert.“ (ebd., S. 53f.)

PUKIES und JUNG zeigen beide, dass ein „Verstehen“ der Naturwissenschaften einhergeht mit dem Erkennen der Prozesshaftigkeit. Die Aspekte der Dreigliederung von HÖTTECKE werden auch hier deutlich.

Das Verstehen der Naturwissenschaften als *Teil und Leistung eines kulturellen und gesellschaftlichen Prozesses* und somit als Produkt unserer Kultur der letzten 500 Jahre, bezieht sich inhaltlich darauf,

„inwieweit die modernen Naturwissenschaften der westlichen Kultur ein spezifisches Naturverständnis und damit verbunden den NaturwissenschaftlerInnen ein spezifisches Selbstverständnis aufgeprägt haben. Auf dieser Ebene geht es auch um die gesellschaftspolitischen Determinanten und Wechselwirkungen naturwissenschaftlichen Arbeitens, der gesellschaftlichen Nachfrage nach Forschung zu militärischen und ökonomischen Zwecken.“ (Höttecke 2001a, S. 218)

Ein Beispiel für gesellschaftliche und kulturelle Einflüsse auf Forscher und deren Wirken ist sicherlich Fritz Haber, zum einen da dieser erst durch den Kriegsausbruch des Ersten Weltkrieges 1914 damit begann, sich intensiv mit der militärischen Nutzung von Giftgas zu beschäftigen, und zum anderen seine (zusammen mit Carl Bosch) entwickelte Ammoniaksynthese, die wegen des landwirtschaftlichen Bedarfs an Stickstoffdüngern von enormer Bedeutung war. Seine Forschungsergebnisse wirkten wiederum auf Kultur und Gesellschaft ein.<sup>10</sup> Auch die in viele Lebensbereiche eingedrungene und unsere Entscheidung beeinflussende Abschätzung von Ursache und Wirkung und die Ablehnung von teleologischem Denken sind durch die Naturwissenschaften im Laufe der Jahrhunderte bedingt (vgl. Höttecke 2004, S. 48f.).

In Bezug auf die „*innerwissenschaftliche*“ *Dynamik* der Naturwissenschaften ist es wichtig hervorzuheben, dass naturwissenschaftliches Wissen erst durch die *scientific community* seine Anerkennung erlangt, sie aber von dieser auch wieder entzogen werden kann. Dabei zeigen sich die Vorläufigkeit dieses Wissens, der soziale Aspekt, die Bedeutung des Dis-

---

<sup>10</sup> Auf die Ammoniaksynthese und den militärischen Einsatz von Giftgas in Bezug auf Fritz Haber wird noch ausführlich im zweiten Teil dieser Arbeit (Kapitel 3.8. bzw. 3.6.) eingegangen.



kurses sowie der „anti-kumulative“ Charakter der Wissensentstehung (vgl. ebd., S. 50; Höttecke 2001a, S. 219f.). Historische wissenschaftliche Kontroversen innerhalb der *scientific community* bieten hierbei zahlreiche unterrichtliche Möglichkeiten. Anhand eines Briefwechsels (siehe Anhang A1) zwischen Wöhler und dem schwedischen Chemiker Jöns Jakob Berzelius zeigt sich beispielsweise die enorme Bedeutung des Diskurses innerhalb der *scientific community* beim Konsensfindungsprozess, da Wöhler seine Zweifel über seine Synthese mit Berzelius besprach.<sup>11</sup> Ein weiteres Beispiel diesbezüglich ist die Contergan-Tragödie, da zuerst gewisse Ansichten über die Wirkungsweise von Contergan® innerhalb der *scientific community* anerkannt, später allerdings revidiert und neu überdacht wurden (vgl. Roth 2005, S. 214ff.).<sup>12</sup>

Bei dem letzten Aspekt naturwissenschaftlicher Prozesshaftigkeit, *Tätigkeit und Forschungsstrategien in lokaler Begrenzung*, handelt es sich um eine Ebene, die sich unterhalb der *scientific community* befindet, d. h. die Arbeit kleinere Forschungsgruppen oder einzelne Forscher. Auf dieser Ebene lässt sich vor allem im Unterricht darlegen, wie Naturwissenschaftler experimentell arbeiten. Das Experiment, seine Funktion bei der Wissensproduktion sowie seine Abhängigkeit von verschiedenen Umständen (Fertigkeiten der Forscher bzw. der Forschungsgruppen, etc.) steht somit im Fokus dieses Aspektes (vgl. Höttecke 2004, S. 51f.). Dabei zeigt sich vor allem, dass es *die* naturwissenschaftliche Methode als standardisierten Leitfaden naturwissenschaftlichen Vorgehens nicht gibt (vgl. Höttecke 2001a, S. 221; Lederman *et al.* 2002, S. 501f.; Wittig 2009, S. 260). Dennoch gibt es bestimmte Merkmale bei Experimenten, die eine gewisse unterrichtliche Relevanz haben:

„Experimentieren unterliegt einer eigenen Rationalität, die Methoden sind nicht beliebig, sondern müssen reflektiert und offengelegt werden. Experimentieren zeichnet sich häufig dadurch aus, dass Störparameter identifiziert und minimiert, Messparameter dagegen festgelegt und verstärkt werden müssen. Experimentieren bedeutet, in die Natur einzugreifen (Intervention). Dabei werden Naturprozesse kontrolliert und zielgerichtet in Gang gesetzt und Phänomene werden mit Hilfe zweckorientierter Verfahren zugerichtet, wenn nicht sogar erst hergestellt. Die experimentell gewonnenen Daten tragen aber keine Bedeutungen an sich. Diese muss erst von den Experimentatoren gestiftet werden, die Daten werden gedeutet (Interpretation).“ (Höttecke 2004, S. 52)

Anhand historischer Fallstudien lassen sich diese Gesichtspunkte des Experimentierens gut darlegen. Für den Unterricht können somit historische Fälle interessant sein, so beispielsweise die zufällige Entdeckung von Teflon® durch Roy Plunkett, das *experimentum novum* von Georg Ernst Stahl zur Beschreibung von Verbrennungsvorgängen im Zusammenhang mit der Phlogistontheorie, Wöhlers Harnstoffsynthese<sup>13</sup>, usw.

Um diese Ziele mithilfe eines wissenschaftsgeschichtlichen Unterrichts zu vermitteln, bieten historische Textquellen (z. B. Veröffentlichungen und Briefe) gute Möglichkeiten. Sie zeigen u. a. historische Kontroversen oder auch die Vorgehensweisen, welche zu den Erkenntnissen geführt haben. So wird die Prozesshaftigkeit deutlich, da im Gegensatz zu Lehrbüchern nicht nur das Produkt dargeboten, sondern ein Blick auf die Entstehung dieses Produktes ermöglicht wird (vgl. Höttecke 2001a, S. 209ff.). Sicherlich mag es Bedenken darüber geben, wie man auch als Lehrkraft an die historischen Originalquellen gelangen

<sup>11</sup> Sicherlich kann man anhand eines Briefwechsels nicht von einem „wahren“ Diskurs über die Ergebnisse sprechen. Es geht jedoch aus diesen privaten Briefen deutlich hervor, wie wichtig es für die Forscher ist, sich über ihre Ergebnisse mit anderen Naturwissenschaftlern auszutauschen.

<sup>12</sup> Auch Contergan wird im zweiten Teil (Kapitel 3.7.) thematisiert.

<sup>13</sup> Auch diese drei Beispiele erfahren im zweiten Teil (Kapitel 3.1., 3.2. und 3.5.) eine eingehende Betrachtung.

kann, ohne viel Zeit für deren Suche in Bibliotheken oder Archiven aufwenden zu müssen. Diese „Problematik“ ist m. E. allerdings durch Rückgriff auf Unterrichtsentwürfe mit Unterrichtsmaterialien aus zahlreichen Publikationen zu entschärfen, wie in den folgenden praxisorientierten Kapiteln aufgezeigt wird.

### 3. Unterrichtspraxis zum Erwerb eines Wissens über die Natur der Naturwissenschaften – zehn Fallbeispiel für den Chemieunterricht

#### 3.1 Vorbemerkungen

Wie bereits im ersten Teil dieser Arbeit beschrieben, besteht eine Notwendigkeit eines Erwerbs von Metawissen über die *Natur der Naturwissenschaften*. Jedoch existieren dafür bis dato kaum konkrete unterrichtliche Vorschläge für den Chemieunterricht, von wenigen Ausnahmen abgesehen. Für den Physikunterricht im deutschsprachigen Raum gibt es hingegen schon einige konkrete Unterrichtsbeispiele, nicht zuletzt durch die Bemühungen HÖTTECKES (u. a. Themenheft *Naturwissenschaften im Unterricht Physik* 19 (103): Was ist Physik?). Um auch beispielhafte Vorschläge für den Chemieunterricht aufzuzeigen, werden im zweiten Teil dieser Arbeit relevante Themen und Inhalte zusammengestellt, an denen sich ein Metawissen über die Naturwissenschaften entwickeln und entfalten kann.

Die hier beschriebenen Beispiele reichen von der Harnstoffsynthese über die Contergan-Tragödie bis hin zum anthropogenen Treibhauseffekt. Um das jeweilige Potential dieser Themen sichtbar werden zu lassen, wird zunächst die jeweilige historische/gesellschaftliche/kulturelle Situation bzw. der jeweils zugrunde liegende Konflikt samt fachlichem Hintergrund umrissen. Anschließend wird aufgezeigt, was Schülerinnen und Schüler daran über die Natur der Naturwissenschaften lernen bzw. erfahren können und abschließend werden die Umsetzungsmöglichkeiten in der Unterrichtspraxis erörtert. Dabei dienen für einen Unterricht mit deutlichem Bezug zur *Natur der Naturwissenschaften* die formulierten Zielsetzungen von KIRCHER & DITTMER (2004) sowie von LEDERMANN *et al.* (2002), welche in Kapitel 2.3 beschrieben wurden, als Basis. Für die methodische Umsetzung werden von KIRCHER & DITTMER (2004, S. 18) insbesondere Ansätze von offenem Unterricht, Projekten und aus Schülervorstellungen hervorgehendem Kursunterricht vorgeschlagen.

Ich möchte in dieser Arbeit versuchen aufzuzeigen, dass auch anhand bereits publizierter Unterrichtsentwürfe und Materialien<sup>14</sup>, auch wenn diese nicht immer ursprünglich dafür konzipiert worden sind, ein Lehren und Lernen über die *Natur der Naturwissenschaften* möglich ist. Dieses Vorgehen hat den Vorteil, dass in dieser Arbeit mehrere prinzipiell relevante Situationen für den Chemieunterricht thematisiert werden können, ohne für jede Thematik ein neues Unterrichtskonzept zu entwickeln. Ein weiteres Argument ist, dass in der Alltagspraxis aus Zeitgründen nicht immer neue Unterrichtseinheiten und Materialien entwickelt werden können. Gerade die Suche nach historischen Originalquellen<sup>15</sup> kann eine zeitintensive Re-

---

<sup>14</sup> Einige Materialien und Quellen befinden sich im Anhang.

<sup>15</sup> Da im Folgenden einige historische Situationen beschrieben werden, benötigt ein Unterricht, über die *Natur der Naturwissenschaften* teilweise historische Originalquellen, weil diese beispielsweise ein authentisches Bild vom Wirken eines Wissenschaftlers oder die Rolle der *scientific community* aufzeigen können (vgl. Kapitel 2.4.).

cherche in Archiven und Bibliotheken erfordern, welche dadurch u. U. zu aufwendig für den Unterrichtsalltag ist. Falls keine konkreten bzw. adäquaten Unterrichtsentwürfe und Materialien vorhanden sind, werde ich eine mögliche methodische Umsetzung skizzenhaft beschreiben.

In Bezug auf die Schul- und Jahrgangsstufe werden zu den verschiedenen Beispielen keine spezifischen Angaben gemacht. Dafür gibt es zwei Gründe: Zum einen ist die unterrichtliche Behandlung der verschiedenen Themen mit ihren jeweiligen Aspekten in Bezug auf die *Natur der Naturwissenschaften* von dem individuellen Leistungsvermögen der jeweiligen Lerngruppe abhängig und von der entsprechenden Lehrkraft individuell zu entscheiden. Zum anderen sind die Vorgaben der jeweiligen Lehrpläne<sup>16</sup>, in welche diese Themen natürlich zu integrieren sind, stark heterogen.

### 3.2 Phlogistontheorie vs. Oxidationstheorie

#### *Fachlicher Kontext*

Die Phlogistontheorie, welche von Georg Ernst Stahl (1659-1735) für Verbrennungsvorgänge formuliert wurde, mag in der heutigen Zeit etwas merkwürdig erscheinen, wenn man mit dieser Theorie erstmals konfrontiert wird. Dennoch war diese im „Mittelpunkt des chemischen Denkens“ (Labinger & Weininger 2005, S. 1951) des 18. Jahrhunderts, bis sie von der Oxidationstheorie von Antoine Laurent de Lavoisier (1743-1794) gegen Ende des 18. Jahrhunderts abgelöst wurde. Der Phlogistontheorie lag folgende Vorstellung zugrunde:

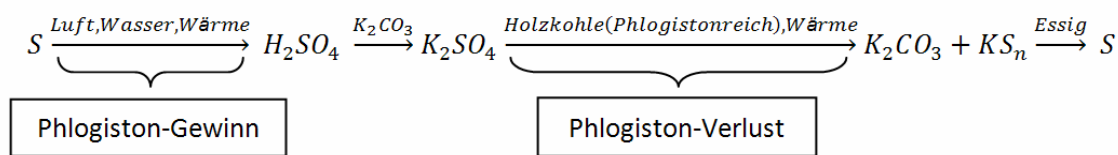
„Die Eigenschaften von Substanzen [sind] auf in ihnen enthaltene Träger dieser Eigenschaften zurückzuführen [...], die man Prinzipien nannte. Beispielsweise waren Substanzen metallisch, salzartig oder sauer, weil sie die Prinzipien für metallischen, salzartigen bzw. sauren Charakter enthielten. Ein Prinzip konnte Träger von mehr als einer Eigenschaft sein, und die Vielfältigkeit der Substanzen erklärte man damit, dass in jeder Substanz unterschiedliche Anteile der Prinzipien vorlägen. [...] Nach allgemeiner Ansicht konnten Prinzipien nicht in freiem Zustand isoliert werden, sondern gingen bei chemischen Reaktionen von einer Substanz auf eine andere über.“ (ebd., S. 1951)

So publizierte Stahl 1697 (und noch einmal 1702), nach eingängiger Beschäftigung mit Verbrennungsvorgängen, dass alle brennbaren Stoffe den hypothetischen Stoff *Phlogiston* (gr. brennen) enthalten müssten. Dieser Feuerstoff würde bei der Verbrennung an die Luft oder an eine andere Substanz abgegeben werden, bis diese von *Phlogiston* gesättigt war (vgl. Freise 1986, S. 33). Gestützt wurde seine Theorie durch die, von ihm durchgeführte, reversible Umwandlung von Schwefel (Abbildung 1), indem er

„Schwefelsäure zunächst mit Pottasche (Kaliumcarbonat) tartarum vitriolatum (Kaliumsulfat) umsetzte und den nach dessen Behandlung mit Kohle entstandenen freien Schwefel aus dem gebildeten Hepate (Schwefelleber, einem Gemisch aus Schwefel und Kaliumsulfat) ‚mit sauren Dingen‘ niedergeschlagen und ausscheiden konnte.“ (Ströker 1982, S. 94)

---

<sup>16</sup> Hierbei sind nicht nur die Lehrpläne der Bundesländer gemeint, sondern auch die verschiedenen Lehrpläne der jeweiligen Schulstufen.



**Abbildung 1:** Erklärung der reversiblen Umwandlung von Schwefel (*experimentum novum*) durch Georg Ernst Stahl (vgl. Labinger & Weininger 2005, S. 1951).

Besonders wichtig für die Entwicklung der Chemie war, dass Stahl anhand dieses Experimentes die chemischen Vorgänge bei der „Verkalkung“ (Oxidbildung) von Metallen und die Verbrennung von Schwefel als gleichartig erkannte. Diese Erkenntnis war für ihn so bedeutend, dass er diesen Versuch als sein *experimentum novum* bezeichnete (vgl. Ströker 1982, S. 95f.; Freise 1986, S. 33). Die Bedeutung, die Stahl dem Experiment im Allgemeinen zuschreibt, unterstreicht folgende Aussage von ihm:

„Chymie [...] ist eine Kunst, die gemischten oder zusammengesetzten oder zusammengehäuften (aggregata) Körper, in ihre Principia zu zerlegen, oder aus solchen Principiis zu dergleichen Körper wieder zusammenzufügen, und dies hat mit Experimenten gezeigt zu werden.“ (zit. nach Ströker 192, S. 89)

*Was Schülerinnen und Schüler daran über die Natur der Naturwissenschaften lernen bzw. erfahren können*

Anhand der Phlogistontheorie wird deutlich, dass Theorien keine endgültigen Paradigmen sind, auch wenn sie zu einem bestimmten Zeitpunkt ihre Leistungsfähigkeit unter Beweis gestellt haben. Und: Auch wenn eine Theorie leistungsfähiger ist als eine frühere, bedeutet das keineswegs, dass sie sich sofort durchsetzt (vgl. Kircher & Dittmer 2004, S. 10). Erst durch zutreffende Erklärungen auch für neue Phänomene erlangt sie allgemeinen wissenschaftlichen Konsens in der *scientific community*. Somit kann anhand dieser Thematik die Rolle der *scientific community* innerhalb der Naturwissenschaft thematisiert werden, da sie einer Theorie erst Anerkennung verleihen, dieser aber auch wieder entziehen kann (vgl. Höttecke 2001a, S. 219). In wissenschaftstheoretischem Sinne bietet dieses Beispiel die Möglichkeit für eine kritische Auseinandersetzung mit den Begriffen Falsifikation, Verifikation, Bestätigung und Bewährung von Theorien, also mit Grundbegriffen der naturwissenschaftlichen Methodologie (vgl. Kircher & Dittmer 2004, S. 13; Lederman *et al.* 2002, S. 502). Dabei zeigt sich, dass sich Theorien, aufgrund ihrer Veränderbarkeit, nicht verifizieren lassen; sie können sich nur bewähren (vgl. Popper 1976, S. 198). Zudem tritt deutlich hervor, dass man

„noch nie [...] eine Theorie deshalb [hat] falsifizieren müssen, weil ein gut bewährtes Gesetz plötzlich versagt hat; nicht die alten Versuche haben eines Tages neue Ergebnisse, sondern nur neue Experimente entscheiden gegen die Theorie.“ (ebd., S. 199)

Demzufolge kann auch gezeigt werden, dass experimentelle Befunde in Entscheidungsprozessen eine wichtige Rolle einnehmen und ggf. ein wichtiges Argument für einen grundlegenden Paradigmenwechsel sein können - Theorien aber dennoch nicht endgültig beweisen bzw. widerlegen (vgl. Kircher & Dittmer 2004, S. 11).

### *Umsetzungsmöglichkeiten in der Unterrichtspraxis*

Im Unterricht kann die Phlogistontheorie zum einen schon früh im Zusammenhang mit der Oxidationstheorie als zunächst implizit erkenntnistheoretisches Beispiel behandelt werden. Im Rahmen einer experimentell-orientierten Unterrichtseinheit, wie sie beispielsweise HERMANN (1986) beschreibt, können die Schüler die Befunde von Stahl und Lavoisier selbst überprüfen. Dabei sollte vorrangig versucht werden, „die Phlogistontheorie so in einen Unterrichtsprozeß zu integrieren, daß sie als Kontrastparallele zu Lavoisiers Oxidationstheorie dienen“ kann. Dabei werden ausgehend vom Vorkommen der Metalle sowie der historischen Entwicklung die Frage nach der Gewinnung von Metallen und deren Bedingung, die Darstellung von Metallen über Kohle, die Frage nach der Funktion der Kohle bei diesem Prozess sowie die Untersuchung der Brennbarkeit von Magnesium im Unterrichtsverlauf behandelt. Durch einen Text von Lavoisier, stoßen die Schüler anschließend auf eine „neue“ und eine „alte“ Lehre. Wodurch eine Recherche von Seiten der Schüler einsetzen soll, bei welcher sie erstmals mit der Phlogistontheorie konfrontiert werden (vgl. ebd., S. 30ff.).

An diesem Punkt der Unterrichtskonzeption können viele der zuvor genannten Aspekte der *Natur der Naturwissenschaften* thematisiert werden. So können beispielsweise die beiden Theorien miteinander verglichen werden, um somit die Grenzen der einen und die Möglichkeiten der anderen bzw. neuen Theorie aufzeigen. Zudem können sich die Schüler bewusst machen, dass „ein Theoriewandel notwendig durch eine Erweiterung der Erfahrungsbasis bedingt ist“ (ebd., S. 30).

Zum anderen kann dieser Paradigmenwechsel wegen des thematischen Umfangs auch einer der Inhalte eines expliziten Natur-der-Naturwissenschaften-Kurses in der Oberstufe sein, falls man dieses Thema in seiner ganzen Ausführlichkeit betrachten möchte. Hierbei besteht die Möglichkeit, die Phlogistontheorie in ihrer Genese zu betrachten, ohne sie nur als Kontrastparallele zur Oxidationstheorie zu behandeln. So ist es möglich, sich ausführlich der kritischen Betrachtung der Begriffe Falsifikation, Verifikation, Bestätigung und Bewährung von Theorien zu widmen. Dies scheint m. E. aufgrund der Komplexität einer solchen Betrachtung für Schülerinnen und Schüler tieferer Jahrgangsstufen verfrüht zu sein. Um aufzuzeigen, dass Phlogiston ein früher Versuch war mehrere Phänomene in eine Theorie zusammen zu fassen, könnte man in einem solchen Kurs auch Ansichten der Phlogistontheorie mit modernen Auffassungen zu Elektronen vergleichen (vgl. Freise 1986, S. 34). Tabelle 5 zeigt die Ähnlichkeiten zwischen den beiden Theorien.

**Tabelle 5:** Vergleich von Überzeugungen der Phlogistontheorie mit modernen Auffassungen zu Elektronen (aus: Freise 1986, S. 33).

Phlogiston	Elektron(ensubstanz)
1.1 Das Phlogiston kann nur in Verbindung mit anderen Stoffen existieren. Jedoch ist der Übergang von einem zum anderen Stoff möglich.	2.1 Die Elektronensubstanz kommt unter den Bedingungen der chemischen Experimentiertechnik nur an „normalen“ chemischen Substanzen gebunden vor. Sie kann aber zwischen diesen ausgetauscht werden.
1.2 Beim Verbrennen z. B. von Kohle oder Schwefel wie auch bei der Verkalkung von Metallen wird Phlogiston <b>abgegeben</b> .	2.2 Bei Oxidationsvorgängen werden von der Substanz, die oxidiert wird, Elektronen <b>abgegeben</b> .
1.3 Durch <b>Aufnahme</b> von Phlogiston, z. B. aus phlogistonreicher Kohle wird der dephlogistierte Schwefel im Glaubersalz wieder in phlogistonhaltigen (elementaren) Schwefel übergeführt. Dagegen kann man mit Kohle die (phlogistonhaltigen) Metalle aus den phlogistonfreien Metallkalken zurückgewinnen.	2.3 Die <b>Aufnahme</b> von Elektronen definiert allgemein die Reduktion, so auch die von Natriumsulfat zu Schwefel und die von Metalloxiden oder Metallsalzen zu Metallen.
1.4 Säuren sind <b>phlogistonarme</b> wenn nicht <b>phlogistonfreie</b> Substanzen. Sie sind um so stärker, je weniger Phlogiston sie enthalten. Zwischen Säuren und ihren Anhydriden wird dabei nicht unterschieden. Basen dagegen sind um so stärker je <b>phlogistonreicher</b> sie sind. Ein Salz besteht aus einem phlogistonreichen und einem phlogistonarmen Stoff.	2.4 <i>Lewis</i> -Säuren werden durch das Bestehen einer Elektronenlücke charakterisiert, was als strukturelles <b>Elektronendefizit</b> gedeutet werden kann. Zwischen Säure und Anhydrid wird dabei nicht unterschieden. <i>Lewis</i> -Basen besitzen ein freies Elektronenpaar, was als struktureller <b>Elektronenüberschuß</b> anzusehen ist. Ein Salz besteht aus einer <i>Lewis</i> -Säure und einer <i>Lewis</i> -Base.
1.5 Die „Leichte“ als negatives Gewicht des Phlogistons war keine ad-hoc-Hypothese sondern entstammte den Vorstellungen der aristotelischen Physik. Der Begriff wurde auf alles angewandt, was nach „oben“ strebte wie Luft, Feuer, Rauch und der von <i>Cavendish</i> zunächst als Phlogiston betrachtete Wasserstoff.	2.5 Das Elektron ist das Elementarteilchen mit der kleinsten endlichen Masse. Der Elektronensubstanz selbst wäre eine Atommasse von $5,5 \cdot 10^{-4}$ u zuzuschreiben. Sie ist demnach wirklich leicht gegenüber dem leichtesten Element Wasserstoff. In diesem Sinne könnte man von einer <i>Newtonschen</i> „Leichte“ sprechen.

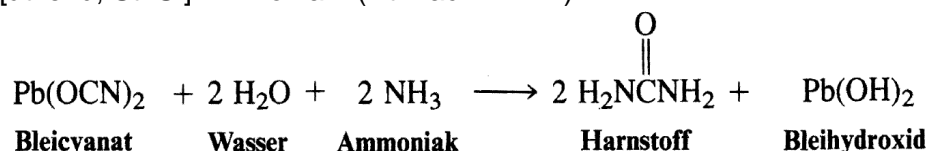
### 3.3 Die Harnstoffsynthese – Beginn der Organischen Chemie

#### Fachlicher Kontext

Vor dem Jahre 1828 herrschte nahezu einhellig Konsens, dass

„zwischen der Chemie der belebten und der unbelebten Materie ein grundsätzlicher Unterschied bestehe. In der belebten Materie sollte eine besondere Lebenskraft, die *vis vitalis*, wirksam sein, mit der die unbelebte Materie nicht ausgestattet sein sollte. Da sich jedoch die *vis vitalis* dem Forschungs- und Definitionsbereich der Chemie entzog, sollte es prinzipiell nicht möglich sein, aus einer Verbindung der anorganischen Chemie "in vitro" d. h. in einem Glas, gemeint ist also im Laboratorium und nicht in einem Lebewesen eine Verbindung der organischen Chemie zu machen. Diese besondere Fähigkeit sollte nur die lebende Materie haben. Im Gegensatz zu der für nicht möglich gehaltenen "in-vitro"-Synthese wurde die Erzeugung einer Verbindung in einem lebenden Organismus als die "in-vivo"-Synthese bezeichnet, d. h. die Synthese im Lebenden.“ (Kober 1983, S. 316)

Diese traditionelle naturwissenschaftliche Auffassung von der *vis vitalis* kam 1828 allerdings ins Schwanken, als dem deutsche Chemiker Friedrich Wöhler (1800-1882) in seinem Berliner Laboratorium erstmals die Synthese von Harnstoff gelungen war, und zwar durch chemische Umlagerung beim Eindampfen einer Ammoniumcyanat-Lösung (vgl. ebd., S. 316; Günther & Weerda 1982, S. 433), hergestellt durch „Behandlung von cyansaurem Bley mit kaus-tischem [ätzend, St. S.] Ammoniak“ (zit. nach www1).



**Abbildung 2:** Harnstoffsynthese nach Friedrich Wöhler (aus: Vollhardt & Schore 2005, S. 3).

Doch diese neue Erkenntnis, organische Stoffe *in vitro* herstellen zu können, erlangte keineswegs sofort allgemeinen wissenschaftlichen Konsens. Wie schwer sich selbst der Urheber dieser Umwandlung mit dem Paradigmenwechsel tat, geht aus seinem Briefwechsel mit dem schwedischen Chemiker Berzelius hervor, der auch ein Mentor Wöhlers<sup>17</sup> war. So gibt Wöhler in einem Brief<sup>18</sup> zu bedenken, „dass man zur Hervorbringung von Cyansäure (und auch von Ammoniak) immer doch ursprünglich eine organische Substanz haben muss“ (zit. nach www1). Auch der damaligen Fachwelt war diese Synthese nicht zwangsläufig ein Widerspruch zur Vitalismustheorie, da man sich unsicher war, ob Harnstoff überhaupt zu den organischen Verbindungen zählen sollte, da er nur ein Ausscheidungsprodukt und nicht Teil des Organismus sei. Vielmehr sah die Forschungsgemeinschaft anfänglich in der Harnstoffsynthese ein bedeutendes Beispiel zur Isomerie (vgl. Günther & Weerda 1982, S. 434). So ordnete der französische Chemiker Charles Frédéric Gerhardt (1816-1856) Harnstoff beispielsweise „neben Kohlendioxid und Wasser ein. Diese Verbindungen befinden sich [auch] im Organismus, jedoch sind sie deshalb keine organischen Verbindungen“ (ebd.). Erst in den folgenden Jahren verschwanden bei Wöhler und der *scientific community* die Zweifel, u. a. durch weitere synthetisierte organische Verbindungen (vgl. Kober 1983, S. 318). Der allmählich vollzogene Paradigmenwechsel zeigt sich in der Einleitung der Arbeit „Untersuchungen über die Natur der Harnsäure“ von LIEBIG & WÖHLER (1838):

„Die Philosophie der Chemie wird aus dieser Arbeit den Schluß ziehen, daß die Erzeugung aller organischen Materien, in so weit sie nicht mehr dem Organismus angehören, in unsern Laboratorien nicht allein wahrscheinlich, sondern als gewiß betrachtet werden muß. Zucker, Salicin, Morphin werden künstlich hervorgebracht werden. Wir kennen freilich die Wege noch nicht, auf dem dieses Endresultat zu erreichen ist, weil uns die Vorderglieder unbekannt sind, aus denen diese Materien sich entwickeln, allein wir werden sie kennen lernen.“ (ebd., S. 242f.)

#### *Was Schülerinnen und Schüler daran über die Natur der Naturwissenschaften lernen bzw. erfahren können*

In Bezug auf die *Natur der Naturwissenschaften* ist für den Unterricht interessant, die Thematik erkenntnistheoretisch auf den vollzogenen Paradigmenwechsel hin zu beleuchten und die wichtige Rolle des Experimentes beim naturwissenschaftlichen Erkenntnisprozess herauszustellen (vgl. Kircher & Dittmer 2004, S. 10). Zudem zeigt sich auch am Beispiel Wöhlers, dass Paradigmenwechsel nicht abrupt und reibungslos geschehen, sondern dass Forscher wie Wöhler an neuartigen Interpretationen naturwissenschaftlicher Tatsachen anfänglich sogar selbst Zweifel hegen können. Dadurch wird es den Schülern zum einen ermöglicht, die Prozesshaftigkeit des Erkenntnisweges zu erkennen (vgl. ebd., S. 11). und zum anderen zeigt sich außerdem auf persönlicher Ebene (Briefwechsel), welche Rolle die *scientific community* beim Konsensfindungsprozess innerhalb der Naturwissenschaften inne hat (vgl. Höttecke 2001a, S. 219f.). Auch die Bedeutung der persönlichen Hintergründe (vgl. ebd., S. 200) eines Wissenschaftlers beim Erkenntnisprozess werden hier beispielhaft deutlich, da erst der Ruf nach Berlin die nötige Zeit für die eigene Forschung eröffnete. An einer

---

<sup>17</sup> Nach Beendigung seines Studiums der Medizin und Chemie mit abschließender Promotion zum Dr. med. bei Professor Leopold Gmelin im Jahre 1823, widmete er sich fortan hauptsächlich der Chemie. Auf Empfehlung Gmelins wechselte er für ein Jahr nach Stockholm zum schwedischen Chemiker Jöns Jakob Berzelius. Auf dessen Anraten folgte er schließlich dem Ruf an die höhere Gewerbeschule in Berlin, da er dort ausreichend Zeit für seine eigene Forschung bekam. (vgl. Günther & Weerda 1982, S. 433)

<sup>18</sup> Der vollständige Wortlaut des Briefes sowie das Antwortschreiben von Berzelius sind im Anhang A1 zu finden.

anderen Wirkungsstätte hätte ihm diese möglicherweise gefehlt. Die Beziehung zu Berzelius zeigt die sozialen Kontakte der Wissenschaftler untereinander und wirkt dem Bild des einzelnen, ohne soziale Kontakte arbeitenden Naturwissenschaftler entgegen.

#### *Umsetzungsmöglichkeiten in der Unterrichtspraxis*

HEIMANN & SCHUCKMANN (2008) schlagen zu diesem Thema eine experimentelle Unterrichtseinheit vor, bei welcher die Lernenden versuchen sollen, ausgehend von Schülervorstellungen zum Begriff „organischer Stoff“ und der anschließenden Konfrontation mit der Vitalismustheorie, selbstständig Harnstoff herzustellen. Textstellen aus dem Brief Wöhlers an Berzelius, in welchen er von seiner neuen Synthese berichtet, sollen die Schüler dazu anregen, Wöhlers Ergebnisse zu überprüfen. Dazu sollen die Schülerinnen und Schüler selbst Harnstoff herstellen und mittels des Biuretttests nachweisen (vgl. ebd., S. 26-28). An dieser Stelle bietet sich nun die Möglichkeit die Schüler mit dem Zitat aus dem Brief Friedrich Wöhlers (s. o.) zu konfrontieren, bei welchem er seine Zweifel äußert. Die Bedeutung dieser Aussage sollte mit den Schülern diskutiert werden, vor allem im Hinblick darauf, wie letztendlich der Paradigmenwechsel vollzogen worden ist. Zudem sollte während der Diskussion von Seiten der Lehrkraft auf die Einwände Frédéric Gerhardts und auf das Zitat aus der Einleitung von Wöhler und Liebig (s. o.) hingewiesen werden. Bezüglich der geglückten Harnstoffsynthese zeigt sich den Schülern somit die enorme Bedeutung des Experimentes beim Erkenntnisprozess sowie das Zusammenspiel von theoretischen Erwartungen und experimentellen Vorgehen innerhalb der Forschung (vgl. Höttecke 2008, S. 5). Im Hinblick auf die *scientific community* wird deutlich, dass sie einem Paradigma seine Gültigkeit entziehen und einem anderen Paradigma verleihen kann.

Neben der Herstellung und des Nachweises von Harnstoff soll dieser qualitativ und quantitativ untersucht werden, um den Aufbau und die Zusammensetzung von Harnstoff herauszufinden (vgl. ebd., S. 27ff.). Dabei können die Schülerinnen und Schüler erkennen, welche zum Teil zeitaufwendigen Schritte der Erkenntnisgewinnung begangen werden müssen und wie viel Zeit diese in Anspruch nehmen können. Natürlich muss man hier beachten, dass der Erkenntnisprozess der Schüler nicht mit dem eines Wissenschaftlers zu vergleichen ist, da viele Schritte im Unterricht von der Lehrkraft vorstrukturiert werden. Dennoch kann man diesen Aspekt in einer Diskussion hervorheben. Dabei kann darauf verwiesen werden, dass auch Friedrich Wöhler einige Zeit benötigte, um seinen eigenen Erkenntnisprozess abzuschließen. Weiterführend könnte man an dieser Stelle zusätzliche persönliche Umstände mit den Schülern diskutieren, welche den Forscher bzw. den Forschungsprozess beeinflussen.

### **3.4 Von John Dalton bis Niels Bohr – Die Atommodelle**

#### *Fachlicher Kontext*

Für den Unterricht in der Sekundarstufe I sind vor allem Daltons Atomhypothese (1803) sowie die Atommodelle von Thomson (1903), Rutherford (1911) und Bohr (1913) relevant. Diese Atommodelle waren nicht aus irgendeiner Phantasie entstanden, sondern zumeist Folgeerkenntnisse und Antworten auf experimentelle Tatsachen und Phänomene. So hat John Dalton seine Atomhypothese von dem Gesetz der Erhaltung der Masse, dem Gesetz der konstan-



ten Proportionen und dem Gesetz der multiplen Proportionen hergeleitet (vgl. Mortimer & Müller 2003, S. 16), Thomsons Atommodell war u. a. ein Resultat der Entdeckung des Elektrons (vgl. Dämmgen & Keune, S. 14), Rutherford entwickelte Thomsons Modell weiter, um die Beobachtungen seines Streuversuchs erklären zu können (vgl. Brown *et al.* 2007, S. 48) und Bohr modifizierte die bisherigen Vorstellungen, um die Elektronenstruktur des Wasserstoffatoms zu deuten (vgl. Mortimer & Müller 2003, S. 63).

### Daltons Atomhypothese (1803)

Der englische Chemiker John Dalton (1766-1844) hatte folgende Vorstellung über die Atome:

„Chemische Elemente bestehen aus kleinsten, nicht weiter zerlegbaren Teilchen, den Atomen. Alle Atome eines Elements sind einander gleich, besitzen also gleiche Masse und gleiche Gestalt. Atome verschiedener Elemente haben unterschiedliche Eigenschaften. Jedes Element besteht also aus nur einer für das Element typischen Atomsorte. Chemische Verbindungen entstehen durch chemische Reaktion von Atomen verschiedener Elemente. Die Atome verbinden sich in einfachen Zahlenverhältnissen.“ (Riedel 2004, S. 2)

Abgeleitet hat Dalton seine Atomhypothese von den nachstehenden drei Gesetzen:

1) *Gesetz der Erhaltung der Masse:*

„Während einer chemischen Reaktion lässt sich keine Veränderung der Gesamtmasse beobachten. Die Summe der Massen aller miteinander reagierenden Substanzen ist gleich der Masse aller Produkte“ (Mortimer & Müller 2003, S. 16).

2) *Gesetz der konstanten Proportionen:*

„Die relative Anzahl und die vorhandenen Atomsorten sind in bestimmten Verbindungen immer gleich“ (Brown *et al.* 2007, S. 48).

3) *Gesetz der multiplen Proportionen:*

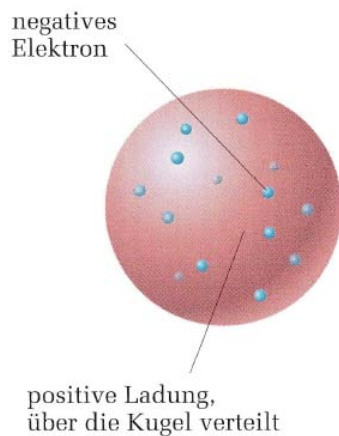
„Wenn aus zwei Elementen A und B mehr als eine Verbindung entstehen kann, ist das Verhältnis der verschiedenen Massen von B, die mit einer bestimmten Masse von A reagieren können, ein kleiner ganzzahliger Wert“ (ebd., S. 48).

Die Vorstellung Daltons von kleinsten nicht weiter zerteilbaren Teilchen musste schließlich gegen Ende des 19. Jahrhunderts revidiert werden, da Experimente mit der Elektrizität zu neuen Erkenntnissen führten (vgl. Mortimer & Müller 2003, S. 17).

### Atommodell nach Thomson (1903)

Durch verschiedene Versuche über die Eigenschaften der Kathodenstrahlung (Strahlung innerhalb einer evakuierten Röhre durch Anlegen von Hochspannung an zwei Elektroden) stellte Joseph John Thomson (1856-1940) fest, dass die Kathodenstrahlen ein Strom negativ geladener Teilchen sein müssen. Später wurden diese Teilchen als *Elektronen* bekannt. Zudem konnte er auch einen Wert für das Ladung-zu-Masse-Verhältnis des Elektrons bestimmen:  $1,76 \cdot 10^8$  C/g (vgl. Brown *et al.* 2007, S. 49f.). Thomson schloss aus seinen Er-

kenntnissen, dass Elektronen grundsätzlicher Bestandteil von Atomen sein müssen. Folglich konnte man festhalten, dass sich auch positive Ladungen im Atom befinden müssen, da Atome elektrisch neutral geladen sind.

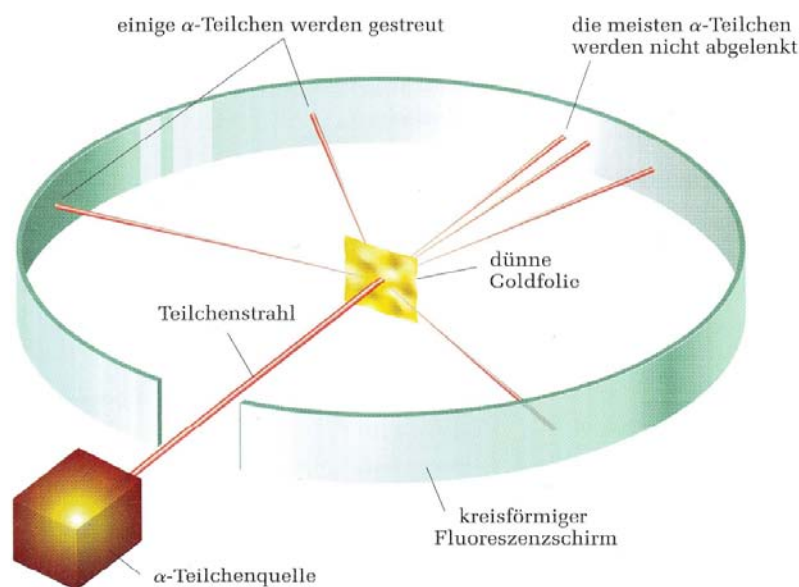


Daraus leitete Thomson ab, dass Elektronen wegen ihrer geringen Masse auch nur einen geringen Volumenanteil einnehmen würden (ebd., S. 52). Ein Atom bestehe demnach, aus einer Kugel positiver Ladung, in welcher sich die punktförmigen Elektronen bewegen. Die Elektronen seien sozusagen in eine positive Materiekugel eingelagert (Abbildung 3), wie Rosinen in einen Kuchen (vgl. Vorrath & Blümel 2000, S. 116). Deswegen wird dieses Modell auch „Plumpudding“-Modell genannt (vgl. Brown *et al.* 2007, S. 52). Die Gültigkeit dieses Modells war allerdings sehr kurz.

**Abbildung 3:** Atommodell nach Thomson (aus: Brown *et al.* 2007, S. 52).

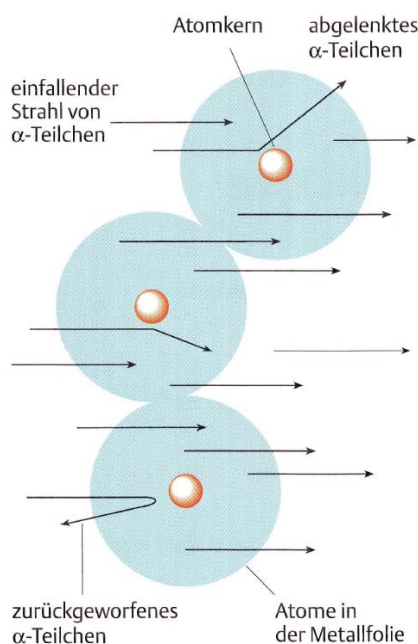
### Atommodell nach Rutherford (1911)

Im Jahr 1911 untersuchte Ernest Rutherford (1871-1937) mit seinen Mitarbeitern die  $\alpha$ -Strahlung. Dazu leiteten sie  $\alpha$ -Teilchen auf eine dünne Gold-, Silber- oder Kupferfolie (0,004 mm). Zu ihrer Verwunderung stellten sie fest, dass die meisten Strahlen die Metallfolie ungehindert gradlinig passieren konnten. Nur ein paar wenige  $\alpha$ -Teilchen wurden seitlich abgelenkt (vgl. Mortimer & Müller 2003, S. 29f.). Ablenkungswinkel von mehr als 90 Grad und Reflexionen zur Strahlenquelle konnten beobachtet werden (vgl. Haseloff & Mentzel 1987, S. 14). Abbildung 4 zeigt den Versuchsaufbau sowie die Beobachtungen des sogenannten Rutherford'schen Streuversuchs.



**Abbildung 4:** Aufbau des Rutherford'schen Streuversuchs (aus: Brown *et al.* 2007, S. 52).

Die Beobachtungen, die Rutherford und seine Mitarbeiter machten, widersprachen allerdings den Vorstellungen Thomsons, da nach diesen alle  $\alpha$ -Teilchen die Folie ungehindert passieren müssten. Nach einem Jahr konnte Rutherford allerdings seine Beobachtungen erklären. Er ging davon aus, dass sich der Hauptteil der Masse und die positiven Ladungen eines Atoms in einem kleinen Punkt, welchen er *Kern* des Atoms nannte, konzentrieren würden. Der größte Teil eines Atoms bestehe allerdings aus einem leeren Raum, in welchem sich die Elektronen um den Kern bewegen. Demnach konnten die meisten  $\alpha$ -Teilchen die Metallfolie ungehindert passieren, da sie den leeren Raum durchschritten und nicht auf einen der extrem kleinen Kerne trafen (vgl. Brown *et al.* 2007, S. 52).

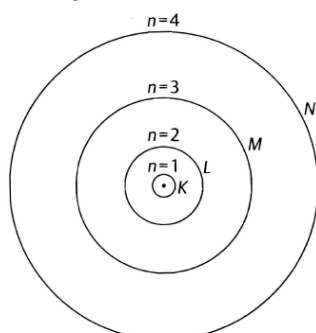


Falls ein  $\alpha$ -Teilchen auf einen Kern gestoßen war, wurde es abgelenkt oder reflektiert (Abbildung 5). Da die Wahrscheinlichkeit für einen solchen Zusammenstoß verschwindend gering ist, traten die Ablenkungen und Reflexionen auch nur zu einem sehr niedrigen Prozentsatz auf (vgl. ebd., S. 53).

**Abbildung 5:** Schematische Darstellung der Ablenkung und Reflexion von  $\alpha$ -Teilchen durch den Kern der Metallatome (aus: Mortimer & Müller 2003, S. 20)

### Atommodell nach Bohr (1913)

Um das Linienspektrum des Wasserstoff-Atoms erklären zu können, entwickelte Niels Bohr im Jahre 1913 eine neue Theorie bezüglich der Elektronenstruktur des Wasserstoff-Atoms. Er folgerte, dass sich ein Elektron nur auf bestimmten energetischen Bahnen befinden kann. Diese diskreten Energieniveaus (Schalen), welche nach einem Buchstaben (K, L, M, N, etc.) oder einer Zahl ( $n= 1, 2, 3, 4$ , etc.) benannt sind, ordnen sich konzentrisch um den positiven Atomkern an (Abbildung 6). Wenn ein Elektron sich auf einer bestimmten Schale um den Kern bewegt, so hat es eine bestimmte Energie. Je näher das Elektron den Kern umkreist, desto niedriger ist seine Energie. Um ein Elektron von einer energetisch niedrigeren in höhere Schale zu bringen, muss Energie aufgewendet werden, da der elektrostatischen Anziehungskraft zwischen Kern und Elektron entgegengewirkt werden muss. Ist ein Elektron des Wasserstoffs auf der K-Schale, so befindet es sich im Grundzustand; durch Energiezufuhr auf ein höheres Energieniveau gebracht, befindet es sich dann im angeregten Zustand. Beim „Zurückspringen“ aus dem angeregten Zustand auf niedrigere Schalen, wird ein Energiebetrag (entsprechend der energetischen Differenz zwischen den beiden Schalen) in Form eines Lichtquants freigesetzt. Dieser besitzt eine bestimmte Frequenz, welche zu einer charakteristischen Spektrallinie führt (vgl. Mortimer & Müller 2003, S. 63).



**Abbildung 6:** Verschiedene Energieniveaus nach dem Bohrschen Atommodell (aus: Mortimer & Müller 2003, S. 63)

*Was Schülerinnen und Schüler daran über die Natur der Naturwissenschaften lernen bzw. erfahren können*

Im Sinne der *Natur der Naturwissenschaften* ist es in diesem Falle besonders wichtig, die Atommodelle in *einer* Unterrichtskonzeption zusammenzufassen, damit ein Bewusstsein auf Seiten der Schüler entstehen kann, wie sich Theorien und Vorstellungen weiterentwickeln. Somit steht auch bei diesem Beispiel die erkenntnistheoretischen und wissenschaftstheoretischen Aspekte von der *Natur der Naturwissenschaften* im Vordergrund. Dabei kann gezeigt werden, dass die vorherigen Vorstellungen von Atomen nicht „falsch“ waren und neuere nicht endgültig „richtig“ sind, sondern dass sie für den damaligen Kenntnisstand ihre Leistungsfähigkeit zeigten (vgl. Kircher & Dittmer 2004, S. 10).

Der wissenschaftstheoretische Aspekt betrifft zum einen die empirische Unterbestimmtheit von Theorien, d. h. dass sie mehr mögliche Daten implizieren als tatsächlich je gemessen werden können. Dabei kann den Lernenden bewusst werden, dass naturwissenschaftliche Theorien prinzipiell hypothetisch und vorläufig sind (vgl. Kircher & Dittmer 2004, S. 13). Zum anderen zeigen Atommodelle beispielhaft das naturwissenschaftliche Bemühen, die „Wirklichkeit“ zu beschreiben. Auch eine kritische Betrachtung der Begrifflichkeiten Falsifikation, Verifikation, Bestätigung und Bewährung von Theorien ist hierbei möglich, da die Veränderbarkeit von Atommodellen zeigt, dass sich Theorien nicht verifizieren lassen (vgl. ebd., S. 13; Lederman *et al.* 2002, S. 502). Bewähren können sie sich hingegen schon. Auch die Tatsache, dass lediglich neue und keinesfalls ältere experimentelle Erkenntnisse zu einem Paradigmenwechsel führen, lässt sich anhand der Atommodelle zeigen (vgl. Popper 1976, S. 198f).

Auch der hohe Stellenwert einer empirischen Basis, erreicht durch Beobachtung von Phänomenen, bei der Genese von Theorie lässt sich anhand der verschiedenen Atommodelle veranschaulichen (vgl. Lederman *et al.* 2002, S. 499f.).

*Wie kann Unterricht zum Thema aussehen?*

Hier sollten die experimentellen Befunde, die zu den jeweiligen Theorien führten, einen wichtigen Baustein innerhalb der Einheit darstellen, damit die Schüler den Erkenntnisweg der damaligen Forscher nachvollziehen können und die empirische Basis von Theorien erkennen. In der von BENZINGER & MEYER (1994) beschriebenen experimentell-orientierten Unterrichtseinheit lassen sich die beschriebenen Aspekte gut thematisieren, da sie interessante Versuche (vgl. ebd., S. 26) für die Atomvorstellungen von Thompson bis Bohr beschreiben, die es ermöglichen, den Erkenntnisprozess der Forscher nachzuvollziehen. Einzig der beschriebene Versuch zum Rutherford'schen Streuversuch scheint für die Schule ungeeignet, da die Autoren zur praktischen Umsetzung ein Experiment mit dem radioaktiven Uran-Erz empfehlen. Hierfür kann allerdings ein von HASELOFF & MENZEL (1994) beschriebener Modellversuch (vgl. ebd., S. 20), der auf dem Tageslichtprojektor durchgeführt wird, ersatzweise verwendet werden. Eine weitere unterrichtliche Darstellungsmöglichkeit zeigt WIBNER (2004, S. 43f.) mit einer Modellierung vom Versuchsaufbau auf. Zur Behandlung des Daltonschen Ansatzes bieten JANSEN *et al.* (1986) eine aufschlussreiche chemiegeschichtliche Unterrichtskonzeption mit vielen Experimenten (vgl. ebd., S. 35-39), die auch von Schülern durchgeführt werden können.

Bei allen Konzeptionen zeigt sich die große Bedeutung des Zusammenspiels von theoretischen Erwartungen und experimentellem Vorgehen innerhalb der Forschung (vgl. Höttecke 2008, S. 5). Grundsätzlich sollte bei einer Unterrichtskonzeption zu diesem Thema darauf geachtet werden, dass nach jedem neu eingeführten Atommodell die Möglichkeiten der alten Theorie und die der neuen angesprochen werden, damit sich die Schülerinnen und Schüler im Sinne POPPERS (1976) bewusst werden, dass nur neue experimentelle Tatsachen zu einem Paradigmenwechsel führen. Des Weiteren wird den Lernenden so die Vorläufigkeit der Theorien ersichtlich.

Nachdem die Schüler diese vier Atommodelle im Laufe der Unterrichtseinheit kennengelernt oder wiederholt haben, kann abschließend eine kritische Auseinandersetzung mit den Begriffen Falsifikation, Verifikation, Bestätigung und Bewährung geschehen. Diese Diskussion sollte bewusst am Ende dieser Einheit stehen, da den Lernenden das Wissen über den historischen „Weg“ der Atomvorstellungen eine fundierte Diskussion erleichtert und im Grunde auch erst ermöglicht.

### 3.5 Alchemie in Abgrenzung zur modernen Chemie

#### *Fachlicher Kontext*

Bei diesem Beispiel geht es weniger um eine genaue historische Darstellung der Alchemie und deren Entwicklung, sondern vielmehr um Unterschiede zur Chemie als moderner Naturwissenschaft.

Die Alchemie war, im Gegensatz zur modernen Chemie, stark von alten Traditionen geprägt und an bestimmten Autoritäten orientiert, in denen ihre Erkenntnisse einzubetten waren. So wollten die Alchemisten im Gegensatz zu modernen Chemikern

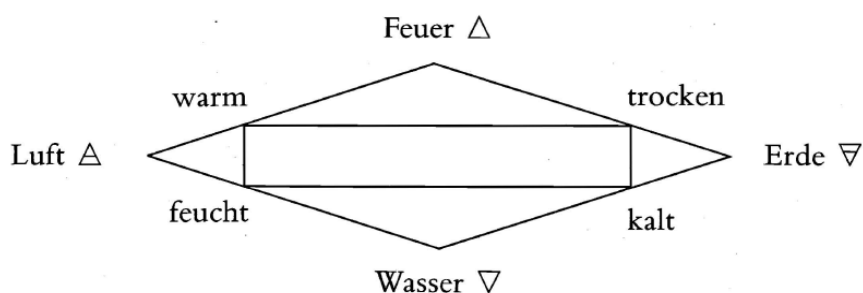
„nichts falsifizieren, und das heißt auch, sie waren auf keine grundsätzlichen neuen Erkenntnisse und neue Theorien aus, verließen sie sich doch ganz auf die Weisheit einer Tradition, die angeblich zurückging auf die Offenbarung eines mythischen Anfangs [...] jenseits aller befragbaren Zeit. War die Chemie eine ‚nova scientia‘ [in der frühen Neuzeit], so war die Alchemie eine ‚priscia ars‘, eine uralte Kunst. All die Mühen der Alchemisten [...] dienten nicht etwa naturphilosophischen Erwägungen in erkenntnistheoretischer Absicht. Stattdessen waren die Mühen und Ziele alchemischen Tuns verbunden mit menschlichen Werten, die zugleich als kosmische Werte verstanden wurden.“ (Schütt 1997, S. 150f.)

So meinten sie auch Zusammenhänge zwischen der Reaktion der Materie und dem Lebensumständen, der Seele des Alchemisten sowie den Gestirnen zu erkennen (vgl. Cura 1999, S. 15). Veranschaulichen lassen sich diese Charakteristika der Alchemie anhand der Transmutationstheorie: Man ging davon aus, dass man beispielsweise Blei über Silber zu Gold veredeln könnte. Dieser Prozess sollte auch unter der Erde stattfinden, wodurch u. a. die Golderzadern erklärt wurden. Die Alchemisten wollten den Prozess der Transmutation in ihren Laboratorien nachstellen und beschleunigen (vgl. ebd., S. 15f.). Sie wollten so „Partner Gottes und der Natur“ (Schütt 1997, S. 151) sein. Abbildung 7 zeigt die verschiedenen Stufen, die es beim Transmutationsprozess zu durchlaufen galt.

Calcination	Oxidation der Metalle, Trennung der Prinzipien voneinander
Sublimation	Trockene Destillation, Trennung der Prinzipien voneinander
Solution	Lösung, Verflüssigung, Reinigung und teilw. Vereinigung der Prinzipien
Putrefaction	Fäulnis, Reinigung der Prinzipien
Destillation	Destillation, Reinigung, aber auch Trennung der Prinzipien voneinander
Coagulation	Verfestigung, Vereinigung der Prinzipien
Tinctur	Darstellung der Tinktur, bzw. des Steins der Weisen

**Abbildung 7:** Stufen des Transmutationsprozesses (aus: Cura 1999, S. 16).

Die Grundlage der Transmutation bildete die Vier-Elemente-Lehre von Aristoteles (Abbildung 8). Nach dieser bestanden Metalle – wie jede Materie - aus den vier Grundelementen „Feuer“, „Wasser“, „Erde“ und „Luft“. Diese Elemente waren allerdings keine greifbaren Substanzen, sondern verliehen den Substanzen gewisse Eigenschaften, welche als Prinzipien verstanden wurden.<sup>19</sup> Demnach konnten sich alle Substanzen ineinander umwandeln, auch Metalle. Später wurde diese Theorie für Metalle leicht modifiziert. Die Schwefel-Quecksilber-Theorie ging davon aus, dass alle Metalle aus einem bestimmten Verhältnis von Schwefel und Quecksilber zusammengesetzt sind. Dabei entsprach Schwefel dem Prinzip der Brennbarkeit und Quecksilber stand für das Prinzip der „Nicht-Brennbarkeit“. Bei Gold würden diese in einem bestimmten ausgeglichen Verhältnis vorliegen (vgl. Cura 1999, S. 15f.).



**Abbildung 8:** Die Elemente Feuer, Wasser, Luft und Erde sind über Eigenschaften miteinander verbunden. Somit ist Feuer heiß und trocken, die Luft warm und feucht (aus: Gebelein 2000, S. 138).

Anhand dieser alchemistischen Grundüberzeugungen werden letztendlich unterschiedliche Denkweisen zwischen der Alchemie und der Chemie deutlich. So stehen sich eine komplexe und subjektive Denkhaltung (Alchemie) sowie eine analytische und objektive Denkhaltung gegenüber (vgl. Schütt 1997, S. 154). Anders gesagt:

„Per definitionem ist es die Aufgabe der Chemie, elementaren Substanzen in chemischen Verbindungen in andere chemische Verbindungen oder wieder in elementare Substanzen zu verwandeln und so weiter [...]. Die Aufgabe der Alchemie war eine andere. Sie kann in einem Wort ausgedrückt werden: Erlösung, Erlösung in und von den Komplexitäten einer Welt, die zugleich spirituell und materiell ist.“ (ebd.)

<sup>19</sup> Eine Beschreibung der Prinzipienlehre ist in Kapitel 3.2. zu finden.

Die für die moderne Naturwissenschaft so wichtigen Begriffe wie Hypothese, Modell, Theorie<sup>20</sup>, naturwissenschaftliches Objekt und Gesetz (vgl. Kircher & Dittmer 2004, S. 13) finden sich in der Alchemie daher konsequenter Weise nicht.

Schließlich ist noch eine weitere Auffälligkeit auf der sozialen Ebene anzuführen. Die meisten Alchemisten arbeiten meist isoliert und alleine, während auch schon die frühen Chemiker in größeren Gemeinschaften zusammenarbeiteten. Die dadurch resultierende Kommunikation über Wissen und Erkenntnisse, ermöglichte erst die Entstehung einer *scientific community* (vgl. Schütt S. 154).

#### *Was Schülerinnen und Schüler daran über die Natur der Naturwissenschaften lernen bzw. erfahren können*

An dem Nichtvorhandensein von Begriffen wie Hypothese, Modell, Theorie kann eine Unterrichtseinheit in wissenschaftstheoretischer Hinsicht ansetzen. Dabei ist es wichtig, dass deutlich wird, wie Alchemisten vorgingen und wie dies moderne Wissenschaftler im Unterschied dazu tun. In diesem Zusammenhang bietet sich zudem die Möglichkeit, neben der Thematisierung der oben genannten Begriffe, die naturwissenschaftliche Methodologie im Hinblick auf Begriffe wie hypothetisch-deduktive und induktive Methode, Falsifikation, Verifikation, Bestätigung und Bewährung (vgl. Kircher & Dittmer 2004, S. 13) zu betrachten. Ausgehend von der alchemistischen Grundüberzeugung, Ergebnissen in alte Traditionen einzubetten, können in einem Unterricht über die *Natur der Naturwissenschaften* moderne chemische Überzeugungen, dass Theorien nur vorläufigen Charakter haben und Paradigmenwechsel grundsätzlich möglich sind (vgl. ebd., S. 10f.), hervorgehoben werden.

Zudem kann die Bedeutung der *scientific community* für die Chemie als moderner Wissenschaft hervorgehoben werden, da etwas Ähnliches in der Alchemie, auch wegen der Orientierung an bestimmten Autoritäten, nicht existent war.

#### *Wie kann Unterricht zum Thema aussehen?*

Bei einer unterrichtlichen Konzeption zu diesem Thema sollte darauf geachtet werden, dass die Lernenden ausgehend von einem Wissen über die Alchemie die Aspekte der *Natur der Naturwissenschaften* erkennen können. Zudem sollten schon häufiger Unterrichtskonzeptionen über das Wesen der Naturwissenschaften von der jeweiligen Lehrkraft durchgeführt worden sein, damit die Schülerinnen und Schüler u. a. schon Paradigmenwechsel und naturwissenschaftliches Arbeiten kennen. Ein solches Vorgehen erleichtert nämlich einen Vergleich zwischen der Alchemie und der Chemie, sodass letztendlich das Metawissen über die Naturwissenschaften zielgerichtet erweitert werden kann.

Ein Beispiel für eine interessante Unterrichtseinheit über Alchemie bietet LANGE (2007). Bei dieser Unterrichtskonzeption werden ausgehend von den Überzeugungen der Alchemisten, die „Herstellung von Gold“ und dessen Dichtebestimmung, die Vorstellungen und Errungenschaften der Alchemie sowie das Element Phosphor thematisiert. Gegen Ende der Einheit sollen mithilfe eines Arbeitsblattes (vgl. ebd., S. 38) Unterschiede und Ähnlichkeiten zur heutigen Chemie herausgearbeitet werden. An dieser Stelle werden die zuvor beschriebenen

---

<sup>20</sup> Dabei ist die „Theorie“ im heutigen Sinne gemeint, die vorläufig und veränderbar ist.

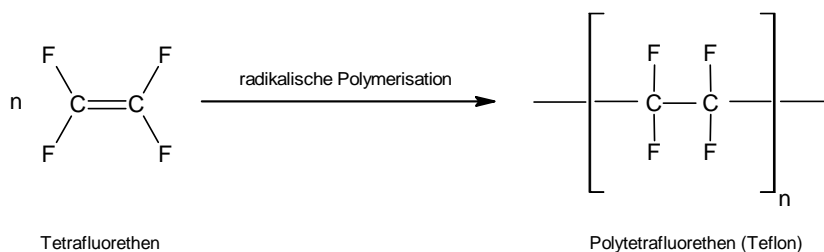
Aspekte von der *Natur der Naturwissenschaften* deutlich. Um sich die Unterschiede zu verdeutlichen, müssen sich die Schülerinnen und Schüler nämlich über die Charakteristika der heutigen Chemie und deren Vorgehensweise Gedanken machen. Dadurch erweitern die Schülerinnen und Schüler implizit ihr Metawissen. Kritiker könnten an dieser Stelle allerdings anführen, dass auf dem Arbeitsblatt „die naturwissenschaftliche Methode“ schematisch dargestellt wird und somit den zu verhindernden Mythos von einer einzigen Methode verstärkt. Dies ist m. E. allerdings kein Problem, da man mit der Klasse auch noch andere heutige Vorgehensweisen im Anschluss diskutieren könnte, wodurch dem Mythos entgegengewirkt wird.

### 3.6 Der Zufall im Erkenntnisprozess – Roy Plunkett und das Teflon®

#### *Fachlicher Kontext*

In der Geschichte der Chemie gab es immer wieder „zufällige Entdeckungen“. Eine Möglichkeit, ein solches Ereignis im Unterricht zu thematisieren, bietet die Entdeckung des Polytetrafluorethylens (Teflon®) durch Roy Plunkett im Jahre 1938.

Plunkett sollte ursprünglich für den Chemiekonzern DuPont einen neuen Fluorchlorkohlenwasserstoff (FCKW) als Kältemittel synthetisieren, da diese Substanzklasse, anders als die zuvor verwendeten Ethylen, Ammoniak oder Schwefeldioxid, geruch-, geschmack- und farblos war. Zwar wurde in den Jahren zuvor von DuPont schon das Kühlmittel Dichlortetrafluorethan (kurz: „Freon“) synthetisiert, welches den Ansprüchen genügte; Ein Exklusivvertrag mit General Motors verhinderte allerdings einen weiteren Vertrieb dieser Substanz. Plunkett versuchte, das neue Kältemittel aus Tetrafluorethylen (TFE) und Salzsäure synthetisieren. Dazu orderte er eine große Menge kleiner Stahlflaschen mit TFE und lagerte sie bei Temperaturen um die minus 80 Grad Celsius (vgl. Schneider 2002, S. 10). Eines Morgens stellte ein Mitarbeiter Plunketts fest, dass sich in den Gasflaschen kein TFE mehr befand. Die Flaschen hatten allerdings auch kein Gewicht verloren und konnten somit nicht leer sein. Um die Ursache hierfür festzustellen, wurden die Stahlflaschen der Reihe nach aufgesägt. Zu ihrer Verwunderung bemerkten sie, dass sich eine weiße Schicht an der Innenseite der Gasflaschen abgelagert hatte. Plunkett war schnell klar, dass die TFE-Moleküle radikalisch polymerisiert (Abbildung 9) hatten. Dies war zwar sehr interessant, für sein eigentliches Forschungsziel aber wenig hilfreich. Dennoch versuchte er in den folgenden Wochen die Gründe für die Polymerisation herauszufinden und kam zu dem Schluss, dass die Lagerung bei Trockeneistemperaturen und der niedrige Druck dafür verantwortlich waren. Als Name für dieses neue Polymer wählte man „Teflon®“ (vgl. ebd., S. 11f.).



**Abbildung 9:** Polymerisation von Tetrafluorethylen zu Teflon® (vgl. Vollhardt & Schore 2007, S. 601f.; www2).



Weitere Untersuchungen über das chemische Verhalten mit anderen Substanzen zeigten, dass seine Entdeckung chemisch völlig „inert“ war (u. a. gegenüber dem stark oxidierenden Königswasser; einer Mischung aus konzentrierter Salzsäure und konzentrierter Salpetersäure). Zunächst in Vergessenheit geraten, wurde diese zufällige Entdeckung im Jahre 1943 höchst interessant, da das *Manhattan Project* (arbeiteten an der Entwicklung der ersten Atombombe) ein Material suchte, welches dem hochkorrosiven Uranhexafluorid standhalten würde. Damit begann der Siegeszug der anfänglich völlig unbrauchbar erscheinenden Substanz. In den folgenden Jahren wurde Teflon als Isoliermaterial, Beschichtung, etc. äußerst erfolgreich verwendet und findet sich heutzutage in fast jedem Haushalt (u. a. teflonbeschichtete Bratpfannen) (vgl. ebd., S. 13f.). Der moderne Mythos, dass die Menschheit Teflon® der Raumfahrt zu verdanken hat, ist somit nicht richtig (vgl. ebd., S. 9).

### *Was Schülerinnen und Schüler daran über die Natur der Naturwissenschaften lernen bzw. erfahren können*

Eine wichtige Aufgabe des naturwissenschaftlichen Unterricht ist es, eine beispielhafte naturwissenschaftliche Methode der Erkenntnisgewinnung zu vermitteln, wobei meist eine Abfolge von Schritten zugrunde gelegt wird, die sich vom „Entdecken und Beobachten ‚neuer‘ Naturphänomene“ (Wittig 2009, S. 260) über Hypothesen aufstellen sowie deren Verifikation und Falsifikation bis hin zu „Theorien erweitern, ergänzen, neu bilden“ (ebd.) erstreckt. Dabei wird den Schülern allerdings eine sehr eindimensionale Sichtweise auf die naturwissenschaftliche Erkenntnismethoden vermittelt, falls keine anderen Erkenntniswege aufgezeigt werden. Denn:

„The myth of the scientific method is regularly manifested in the belief that there is a recipe-like step-wise procedure that all scientists follow when they do science. This notion was explicitly debunked: There is no single scientific method that would guarantee the development of infallible knowledge.“ (Ledermann *et al.* 2002, S. 501)

Deswegen ist es wichtig auch im Unterricht spezifische Erkenntnisprozesse zu thematisieren. Ein Aspekt eines solchen spezifischen Erkenntnisprozesses ist die Zufälligkeit während dieser Prozesse, welche auch die Entdeckung des Teflons® begünstigt hat.

Für die *Natur der Naturwissenschaften* bietet sich die Möglichkeit, am Beispiel des Teflons® zum einen die Bedeutung naturwissenschaftlicher Entdeckungen auf unser alltägliches Leben (technikethischer Aspekt) (vgl. Kircher & Dittmer 2004, S. 17) hervorzuheben, wie beispielsweise die Entwicklung von teflonbeschichteten Bratpfannen. Zum anderen kann die Unterscheidung zwischen „typische(r) und spezifische(r) Methode“ (wissenschaftsethischer Aspekt) (Wittig 2009, S. 260), in diesem Fall die Bedeutung des Zufalls in der Forschung, thematisiert werden. Des Weiteren ist in wissenschaftsethischer Hinsicht der Einfluss der Gesellschaft auf die Forschung und der Einfluss der Forschung auf die Gesellschaft von Bedeutung (Kircher & Dittmer 2004, S. 11f.), da erst die Notwendigkeit, ein neues, farb-, geruch- und geschmackloses Kühlmittel zu synthetisieren, diese zufällige Entdeckung ermöglichte und Teflon schließlich viele technische Innovationen erst begünstigte. Zudem sollte auch bei diesem Beispiel zum Ausdruck kommen, dass Plunkett nicht gänzlich alleine für diese Entdeckung verantwortlich war, sondern mit anderen Mitarbeitern der Firma DuPont zusammenarbeitete. Somit wird einer Heldendarstellung entgegengewirkt.

### *Wie kann Unterricht zum Thema aussehen?*

Für diese Thematik liegt leider keine mir bekannte Unterrichtseinheit vor. Allerdings lässt sich die zufällige Entdeckung des Teflons® ohne weiteres in einer Unterrichtseinheit über Kunststoffe und in diesem Zusammenhang mit der Polymerisation behandeln, sodass neben der Theorie auch nicht alltägliche Geschehnisse im Forschungsprozess den Unterricht bereichern können. Ansprechende Schülerexperimente finden sich vor allem bei JUTTA BRÜCKMANN *et al.* (2008), in dem Buch *Kunststoffe im Unterricht*.

In einer entsprechenden Unterrichtseinheit könnte im Anschluss an die verschiedenen Arten der Polymerisation (radikalisch und ionisch) die zufällige Entdeckung des Teflons von Roy Plunkett stehen. Die Lehrkraft könnte zu Beginn die Geschichte von Roy Plunketts und seine Versuche zur Synthese eines neuen FCKWs beschreiben. Im Anschluss daran könnten die Schülerinnen und Schüler mit folgenden Zitaten von Roy Plunkett bezüglich seiner Entdeckung konfrontiert werden, wodurch eine Diskussion zustande kommen soll:

1. „Jack Rebok, mein Assistent, drehte wie immer das Ventil auf, aber es kam kein Gas.“ (zit. nach Schneider 2002, S. 11)
2. „Als wir die Flaschen umdrehten und vorsichtig mit der Öffnung auf den Tisch klopfen, kamen wenige Krümchen eines eigentümlichen weißen Pulvers heraus.“ (zit. nach ebd.)

Durch diese Zitate sollen die Schüler angeregt werden aufgrund ihres Hintergrundwissens zu überlegen, was mit dem Gas in den Stahlflaschen geschehen ist. Nachdem dieser Prozess seitens der Lernenden erkannt worden ist, sollte im nächsten Schritt hervorgehoben werden, dass die Zufälligkeit (Lagerung bei minus 80 °C und hoher Druck in den Stahlflaschen) entscheidend bei der Entdeckung des Teflons® gewesen ist. Anschließend kann dieser spezifische Erkenntnisprozess dem typische Erkenntnisprozess gegenübergestellt werden, wodurch den Schülerinnen und Schülern bewusst werden soll, dass eigentlich keine einheitliche naturwissenschaftliche Methode existiert.

Eine weitere Möglichkeit der unterrichtlichen Umsetzung bietet ein reiner Natur-der-Naturwissenschaft-Kurs in der Oberstufe, bei welchem „die zufällige Entdeckung“ innerhalb der Wissenschaft thematisiert wird. Hierfür können beispielweise bei SCHNEIDER (2002) für den Chemieunterricht interessante Anregungen nachgelesen werden. U. a. finden sich hier die Entdeckung des Klebstoffes für Post-it's (vgl. ebd., S. 25ff.) sowie die Vulkanisation von Gummi durch Charles Goodyear (vgl. ebd., S. 33ff.). Auch WITTIG (2009) beschreibt anschaulich historische Entdeckungen, bezogen auf die Zufälligkeit während der jeweiligen Erkenntnisprozesse. Obwohl er eigentlich zufällige Entdeckungen in der Physik schildert, ist die erwähnte Entdeckung der galvanischen Elektrizität durch Luigi Galvani (vgl. ebd., S. 261f.) allerdings auch in chemischer Hinsicht interessant.

## **3.7 Forscher als Wegbereiter der modernen Kriegsführung**

### *Fachlicher Kontext*

Ein Trauma der modernen Naturwissenschaft liegt in ihrer Mitverantwortung begründet, die moderne Kriegsführung entscheidend mitgeprägt zu haben. So finden sich neben der Physik besonders in der Chemie mahnende Beispiele für Fehleinschätzungen von Forschern über

die Tragweite ihrer Erfindungen. Zwei Beispiele für einen „solchen Typus“ von Forschern stellen Alfred Nobel (1833-1896) und Fritz Haber (1868-1934) dar, weil beide die moderne Kriegstechnik entscheidend beeinflusst haben. Nobel hat durch sein rauchschwaches Pulver „Ballistit“ beispielsweise den Einsatz von Maschinengewehren enorm begünstigt (vgl. Kant 1986, S. 55) und Fritz Haber gilt wegen seines unermüdlichen Einsatzes für die Gaskriegsführung im Ersten Weltkrieg als ein „Begründer“ der modernen chemischen Kriegsführung (vgl. Stoltzenberg 1998, S. 242ff.). Im Folgenden werden Nobels und Habers Wirken hinsichtlich der militärischen Nutzung ihrer Erfindungen kurz dargelegt.<sup>21</sup>

Der schwedische Erfinder und Industrielle sowie spätere Stifter des Nobelpreises Alfred Nobel kam schon in jungen Jahren mit der militärischen Nutzung von chemischen Erfindungen und dessen enormen Potential bei der Kriegsführung in Kontakt. Sein geschäftstüchtiger Vater Immanuel Nobel (1801-1872) produzierte nämlich für das russische Zarenreich mit Schwarzpulver geladene Sprengminen. Durch deren massenhaften Einsatz während des Krimkrieges (1853-1856) als Seeminen konnte eine englische Invasion vom Meer aus verhindert werden (vgl. Krätz 2001, S. 231). Schon früh erkannte Immanuel Nobel das chemische Talent seines Sohnes und förderte es, da „das originellste Produkt des Familienbetriebes die Land- und Seeminen waren, und Sprengstoffe ein Problem der Chemie darstellen“ (ebd., S. 232). Alfred Nobel wurde daher von Chemikern, wie Yuli Trapp (1808-1882, russischer Chemieprofessor), Nikolaj N. Zinin (1812-1880) und Theophile Jules Pelouze (1807-1867, französischer Chemieprofessor) unterrichtet. Dieser Unterricht war entscheidend für die weitere Tätigkeit Alfred Nobels auf dem Gebiet der Sprengstoffe, da Pelouze beispielsweise die Nitrocellulose erfunden hatte. Zudem soll Trapp die Familie Nobel auf die zukünftige Bedeutung des Sprengstoffs Nitroglycerins aufmerksam gemacht haben (vgl. ebd., S. 232f., Kant 1986, S. 16ff.). So gelang Nobel in den folgenden Jahren die kontrollierte Zündung von Nitroglycerin durch Knallquecksilber (verschiedene Patentanmeldungen von 1863-1867) (vgl. ebd., S. 29). Dennoch war der Umgang mit Nitroglycerin aufgrund seiner Instabilität weiterhin enorm gefährlich. Doch Nobel fand auch für dieses Problem eine Lösung: Er versetzte das Nitroglycerin mit Kieselgur, einer Diatomeenerde, welche ein großes Porenvolumen besitzt und somit Nitroglycerin ideal absorbiert. Dies war die Geburtsstunde des Dynamits. Diese Erfindung ermöglichte einen gefahrlosen Transport und eine sichere Verwendung von gebundenem Nitroglycerin. Durch die Erfindung des Dynamits erlangte Nobel ein großes Vermögen und konnte somit einen Internationalen Trust aufbauen (vgl. Krätz 2001, S. 235). Mittlerweile in Paris lebend entwickelte er im Jahre 1887 das rauchschwache Pulver „Ballistit“, welches die moderne Kriegsführung nachhaltig geprägt hat. Dieses rauchschwache Pulver, zusammengesetzt aus etwa gleichen Teilen Nitroglycerin und Cellulosenitrat, versetzt mit 10 % Campher, war als Treibladung geradezu prädestiniert. Durch dessen geringere Rauchentwicklung wurde der Einsatz von Maschinengewehren begünstigt, da aus dem Einsatz von Schwarzpulver eine enorme Rauchentwicklung aufgrund der hohen Feuerrate resultieren würde, die das Operieren auf dem Schlachtfeld behindern würde (vgl. Kant 1986, S. 55f.). Für VÖGTLE (1983) vollzieht sich an dieser Stelle

„der Übergang Alfred Nobels von den anfangs überwiegend für friedliche Zwecke – Bergwerke, Steinbrüche, Tunnels usw. – geschaffenen und eingesetzten Sprengmittel zu Verbesserungen in der Waffentechnik.“ (ebd., S. 61)

<sup>21</sup> Weitere biographische Informationen zu Alfred Nobel bieten KANT (1986), VÖGTLE (1983) und KRÄTZ (2001). In Bezug auf das Leben von Fritz Haber liefert STOLTZENBERG (1998) eine ausführliche Beschreibung.

In diesem Zusammenhang ist es besonders bemerkenswert, dass er eine gewisse Nähe zur Friedensbewegung in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhundert hatte und grundsätzlich ein überzeugter Pazifist war. Dies mag zwar auf den ersten Blick ziemlich paradox klingen, betrachtet man allerdings einige Zitate<sup>22</sup> von ihm, so werden gewisse Fehleinschätzungen hinsichtlich der Folgen seiner Erfindungen offensichtlich (vgl. ebd., S. 80ff.).

Fritz Haber war einer der bedeutendsten deutschen Chemiker zu Beginn des 20. Jahrhunderts und genoss als Wissenschaftler sowie als Direktor des Kaiser-Wilhelm-Instituts für Physikalische Chemie und Elektrochemie höchstes Ansehen, nicht zuletzt durch die technische Realisierung der Ammoniaksynthese<sup>23</sup>. Als der Erste Weltkrieg ausbrach und festgestellt werden musste, dass ein schneller Sieg nicht möglich war, stellte sich die Frage, wie das von allen Bezugsquellen abgeschnittene rohstoffarme Deutschland einen längerfristigen Krieg überstehen könne. Gerade bei der Schießpulverherstellung war die Lage prekär. Zuvor bezog man den dafür benötigten Salpeter aus Chile, doch die deutschen Vorräte schwanden dramatisch. Um dieses Problem zu lösen wurde der patriotisch gesinnte Fritz Haber damit beauftragt die chemische Abteilung des Kriegsministeriums zu leiten, um für dieses und andere militärischen Probleme eine Lösung zu finden. Das sogenannte „Büro Haber“, konnte in den ersten Kriegsmonaten ein Verfahren zur Salpeterherstellung entwickeln, wodurch Deutschland von ausländischen Salpeterquellen unabhängig wurde. Dies war durch die vor Kriegsbeginn gelungene großtechnische Ammoniaksynthese von Fritz Haber und Carl Bosch möglich, da über des Ostwald-Verfahrens und weiterer Oxidation Salpetersäure günstig hergestellt werden konnte, welche die Grundlage der verschiedenen Salpeter darstellt. Nach einigen Differenzen nahm Fritz Haber im Dezember 1914 allerdings seinen Abschied aus dieser Behörde (vgl. Stoltzenberg 1994, S. 230ff.).

Ungeachtet des gesicherten Salpeternachschubs kam der deutsche Angriff im Westen, nach anfänglichen Erfolgen, auf breiter Strecke zum Erliegen. Der Krieg wandelte sich von nun an von einem Bewegungskrieg zu einem Stellungskrieg und führte zu einer Materialschlacht völlig neuen Ausmaßes. Da die gewünschten Gebietsgewinne ausblieben und sich beide Seiten hinter meterhohen Erdwällen und in endlosen Gräben verschanzten, wurde fieberhaft nach Auswegen aus diesem militärischen Patt gesucht. Eine Möglichkeit wurde bei der deutschen Obersten Heeresleitung schon länger in Betracht gezogen: Der Einsatz von chemischen Kampfstoffe, um den Gegner aus seiner Deckung zu zwingen (vgl. Martinetz 1996, S. 9ff.). Eine effektive Einsatzmöglichkeit mit Flächenwirkung schien das, von Fritz Haber vorgeschlagene, massenhafte Abblasen von Chlorgas<sup>24</sup> zu bieten. Die Heeresleitung war von dieser Idee angetan und beauftragte Haber damit, die technische Umsetzung eines großflächigen Angriffs zu organisieren, obwohl ein Giftgaseinsatz nach der Haager Landkriegsordnung nicht zulässig war. Haber arbeitete eifrig an einer zeitnahen Umsetzung des ersten Chlorgaseinsatzes und bildete eine Expertengruppe aus namhaften Chemikern, u. a.

<sup>22</sup> Einige Zitate Alfred Nobels in Bezug auf seine Erfindungen und ihre militärische Nutzung befinden sich im Anhang A2.

<sup>23</sup> Der Ammoniaksynthese von Fritz Haber und Carl Bosch wird sich in Kapitel 3.9. ausführlich gewidmet.

<sup>24</sup> Zwar wurden schon zuvor mit chemischen Reizstoffen gefüllte Granaten entwickelt, deren militärische Wirkung war allerdings nur gering. Der Einsatz von Chlorgas stellte hingegen, bezüglich seiner Flächenwirkung, eine völlig neue Dimension der chemischen Kriegsführung dar. Zudem war Chlorgas als Abfallprodukt der chemischen Industrie in großen Mengen sofort verfügbar und ein gefahrloser Transport konnte gewährleistet werden, da Chlor verflüssigt in Metallbehältern aufbewahrt werden kann (vgl. Martinetz 1996, S. 15ff.).

unter Beteiligung des späteren Nobelpreisträgers Otto Hahn (vgl. ebd., S. 19ff.; Stoltzenberg 1994, S. 242ff.). Ein Einsatz sollte Konsequenzen haben:

„Die Giftwirkung [von Chlorgas, St. S.] beruht bei Kontakt mit den feuchten Schleimhäuten und auch der Lunge durch Aufnahme von Wasserstoff und Abspaltung von Sauerstoff auf der Bildung von HCl, ist also eine Säureverätzung. Es kommt zu starkem Brennen der Augen, der Schleimhäute der Nase und des Rachens sowie zu einem quälenden Hustenreiz. Der Rachen rötet sich, eine Schleimsekretion tritt auf und bei starker Vergiftung kommt es zu blutigem Auswurf und Zeichen von Lungenödem. Sekundär können sich in der geschädigten Lunge bronchopneumatische Herde entwickeln.[...] Da Chlor etwa 2 1/2 mal schwerer als Luft ist, würde die entstehende Wolke sich in die feindlichen Schützengräben und Unterstände hineinwälzen und die Menschen zum eiligen Verlassen der Stellungen zwingen und auch deren Waffen durch Korrosion beschädigen. Die eigenen Truppen könnten der Wolke folgen und in die gegnerischen Stellungen eindringen.“ (ebd., S. 243f.)

Am 22. April 1915, nach mehrwöchigem Warten aufgrund ungünstiger Windverhältnisse, wurde schließlich der erste flächendeckende Giftgasangriff der Weltgeschichte bei Ypern (Belgien) durchgeführt. Die Gebietsgewinne und die gegnerischen Verluste waren jedoch verschwindend gering, sodass die erhoffte militärische Wirkung ausblieb (vgl. Martinetz 1996, S. 23f.).

Nach dem deutschen Angriff bei Ypern begannen auch die West-Alliierten mit der Entwicklung chemischer Gaskampfstoffe. In den folgenden Jahren begann nun ein perverses Wettrennen der Wissenschaftler beider Seiten, immer mit dem Streben verbunden, einen noch tödlicheren bzw. effektiveren Kampfstoff zu entwickeln, wobei gleichzeitig auch Schutzmaßnahmen (u. a. Gasmasken) entwickelt und stets verbessert wurden. Auch Fritz Haber war weiterhin maßgeblich mit verschiedenen Arbeitsgruppen in seinem Institut an der Erforschung chemischer Kampfstoffe, wie beispielsweise Senfgas (Lost), beteiligt<sup>25</sup> (vgl. Hellweger 1992, S. 16).

Obwohl er die Grauen „seiner“ chemischen Kriegsführung persönlich gesehen hatte und sich der Folgen seines Handelns stets bewusst war, distanzierte er sich nie von seinem Verhalten und verteidigte es in den Jahren der Weimarer Republik vehement. Ausgewählte Zitate, die dies belegen sind im Anhang A2 zu finden.

*Was Schülerinnen und Schüler daran über die Natur der Naturwissenschaften lernen bzw. erfahren können*

Von beiden Persönlichkeiten sind etliche Zitate in Bezug auf den Krieg und ihr eigenes Wirken überliefert, welche das Verhältnis von Wissenschaft, Technik und Krieg veranschaulichen. An diesem Verhältnis kann beispielhaft die ethische Verantwortung der (Natur-) Wissenschaft und Technik in Bezug auf die Folgen für Mensch und Umwelt gezeigt werden. Diesbezüglich lässt sich der Vorrang der schlechten Prognose vor der guten (nach Hans Jonas 1984) darlegen (vgl. Kircher & Dittmer 2004, S. 18), da beiden Forschern die Auswirkung ihrer wissenschaftlichen Tätigkeit sicherlich bewusst gewesen ist oder zu idealistisch (Nobel) bzw. zu pragmatisch (Haber) gesehen wurde. Auch die Auswirkung der kulturellen

---

<sup>25</sup> An dieser Stelle wurde bewusst darauf verzichtet, die weitere Geschichte des Gaskrieges und das weitere Wirken Fritz Habers zu beschreiben, da der unermüdliche Einsatz Habers für den chemischen Krieg gezeigt werden soll. Eine ausführliche Beschreibung des Gaskrieges bietet beispielsweise MARTINETZ (1996). Für zusätzliche Informationen über das weitere Wirken Fritz Habers ist die Haber-Biographie von STOLTZENBERG (1997) zu empfehlen.

und gesellschaftlichen Bedingungen auf das Wirken eines Forschers, sowie die Rückwirkungen auf die Gesellschaft (vgl. Höttecke 2001a, S. 218; Lederman *et al.* 2002, S. 501) lassen sich verdeutlichen, da beide erst durch Kriege bzw. die Kriegsgefahr an einer neuen Waffentechnik forschten und diese letztendlich durch ihren militärischen Einsatz auf die Menschen zurückwirkte.

Am Beispiel von Nobel zeigt sich, dass es den edlen Wissenschaftler nicht gibt. Wenn man heute über Alfred Nobel spricht, so wird er als Stifter des allseits bekannten Nobelpreises gesehen. Auch die Verleihung des Friedensnobelpreises, nicht zuletzt wegen der zumeist berühmten Preisträger, trägt zum allgemeinen Bild von Alfred Nobel bei. Dass Nobel allerdings entscheidenden Anteil an der modernen Kriegsführung hat, ist vielen unbekannt. Bei Fritz Haber stellt sich die Sachlage ähnlich da. So verbinden viele den Namen Haber mit dem Haber-Bosch-Verfahren und wirken erstaunt, wenn sie von seiner Tätigkeit auf dem Gebiet der Giftgasforschung hören. Dabei soll nicht der Eindruck einer pauschalen Vorverurteilung von Haber und Nobel entstehen, sondern vielmehr soll ein Kontrastbild zum idealisierten Forschertypus erzeugt werden. Dies kann durch Aufzeigen der ethisch-moralischen Irrwege der beiden Forscher geschehen.

#### *Wie kann Unterricht zum Thema aussehen?*

Die beschriebenen Haltungen über die Folgen ihres wissenschaftlichen Wirkens für die Kriegstechnik lassen sich anhand ausgewählter Aussagen beider Forscher konkret belegen. Im Anhang A2 sind Zitate aufgeführt, die in erschütternder Weise aufzeigen, welchen Fehleinschätzungen sie unterlegen sind und welche ethisch –moralisch fragwürdigen Einstellungen Nobel und Haber hatten. Im Unterricht kann im Falle Nobels seine pazifistische Einstellung (u. a. Stiftung des Friedensnobelpreises) mit seinen Tätigkeiten für die Kriegstechnik verglichen werden. Ein Briefwechsel (1919) zwischen Fritz Haber und dem Chemiker Hermann Staudinger (siehe Anhang A2) bietet zudem die Chance, die unterschiedlichen ethischen Standpunkte zweier bedeutender Chemiker nach den Ereignissen des Ersten Weltkriegs deutlich aufzuzeigen. Auch ein Bezug auf die jüngere Vergangenheit, beispielsweise auf die Geschehnisse im 1. Golfkrieg, könnte Inhalt einer solchen Unterrichtseinheit sein. Grundsätzlich sollte mit den Schülerinnen und Schülern anhand der Aussagen der Vorrang der schlechten Prognose vor der guten diskutiert werden. Wichtig ist m. E. allerdings, dass die historischen Kontexte den Lernenden bekannt sind oder während der Einheit thematisiert werden, da nur so die Standpunkte Habers und Nobels im zeitlichen Kontext verständlich werden können. Im normalen Chemieunterricht fehlt für eine komplette historische Betrachtung des Kontextes sicherlich die nötige Zeit, sodass sich in diesem Zusammenhang eine fächerübergreifende Unterrichtskonzeption mit dem Fach Geschichte anbietet, u. a. als Angebot bei einer Projektwoche.

Eine weitere Möglichkeit für den Unterricht stellt ein Rollenspiel dar, welches als Ausgangspunkt für eine Diskussion über dieses schwierige Thema fungieren sollte. HELLWEGGER (1992) bietet hierfür ein anregendes Beispiel, bei dem eine im Heereshauptamt stattfindende Sitzung (u. a. mit Fritz Haber) der „Geheimen Kommission für chemische Fragen“ im Jahre 1925, welche allem Anschein nach tatsächlich stattfand, simuliert wird (vgl. *ebd.*, S. 27-34). Ziel dieser Konzeption soll sein:

„Die Schüler/innen werden auf diese Weise szenisch an die historisch-politischen Hintergründe insbesondere der Herstellung und des Einsatzes von chemischen Kampfstoffen herangeführt. Über die partielle Identifikation mit den Figuren dieses weltpolitischen Gruselkabinetts – interessiert uns doch allenthalben, was an jenen geheimen Orten gesprochen wird – können bei den Schüler/innen selbst-reflexive Prozesse in Gang gebracht werden. Eine veränderte Perspektive auf die Geschichte der Chemie gleichwohl wie auch eigener Lebensgeschichte wird möglich. Der Lehrer/ die Lehrerin sollte den Schüler/innen im nachfolgenden Gespräch über das Rollenspiel in authentischer, freundlich-zugewandter Weise zu einer verstehenden Erfahrung verhelfen, wobei deutlich werden soll, daß wir zwar ähnlich wie diese "Experten" fühlen können, daß aber ein ‚gewaltiger Unterschied zwischen Phantasie und wirklichem zerstörerischem Handeln besteht.“ (ebd., S. 27)

Die geplante Diskussion im Anschluss an das Rollenspiel, kann durch die schon erwähnten Zitate von Haber und Nobel unterstützt werden. Gerade die Aussagen Nobels können die Thematik vom Entwickeln von Giftgasen sowie deren militärischen Einsatzes wegführen, zu einer allgemeinen Betrachtung der ethisch-moralischen Verantwortung der Naturwissenschaften.

Grundsätzlich sollten Unterrichtskonzeptionen zu diesem Thema auch zu einer Revision von heroisierenden Darstellungen von Naturwissenschaftlern führen, da Beispiele wie Fritz Haber und Alfred Nobel unterstreichen, welcher Gefahr die naturwissenschaftliche Forschung stets unterliegt. Es soll allerdings kein grundsätzliches Negativ-Bild vom Naturwissenschaftler erzeugt werden. Der Briefwechsel zwischen Staudinger und Haber zeigt beispielweise, dass auch Wissenschaftler existierten, die mahndend auf mögliche Gefahren hingewiesen haben.

In einem Natur-der-Naturwissenschaften-Kurs, unter Beteiligung des Faches Physik, könnte zusätzlich die Entwicklung der ersten Atombombe betrachtet werden. An dem *Manhattan-Projekt* – wie der militärische Deckname für die Atombombenentwicklung hieß - arbeiteten nämlich viele namhafte Physiker, die sich sicherlich der Folgen dieser Bombe bewusst waren und dennoch alles daran setzten die erste Nuklearwaffe zu erschaffen (vgl. KREMER 1984, S. 23).

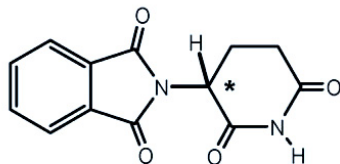
### **3.8 Contergan® – ein pharmakologischer Alptraum**

#### *Fachlicher Kontext*

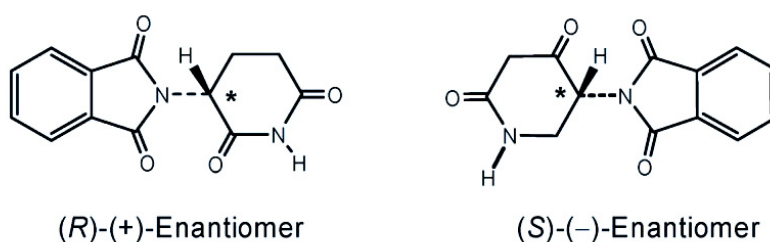
In unserem Alltag begegnen wir noch Menschen mit einem Alter von ungefähr fünfzig Jahren, die Missbildungen an Armen und Beinen aufweisen. Ihr Schicksal resultiert in den meisten Fällen nicht aus natürlich vorkommenden Behinderungen, sondern ist dem Medikament Contergan® geschuldet, welches ihre Mütter während der Schwangerschaft einnahmen. Es ist und war ein pharmakologischer Alptraum.

Gegen Ende der fünfziger Jahre brachte die Firma Chemie- Grünental (Aachen) das vielversprechende Beruhigungsmittel Contergan® auf den Markt. Der darin enthaltene Wirkstoff Thalidomid, bestehend aus einem Racemat von (R)-Thalidomid und (S)-Thalidomid (Abbildung 10), zeigte bei einer klinischen Studie keine toxikologische Auffälligkeiten sowie im Grunde keine Nebenwirkungen und wurde somit innerhalb von zwei Jahren zu einem weit-

verbreiteten Beruhigungsmittel<sup>26</sup>, auch vermehrt für Schwangere. So senkte dieses Mittel nicht den Blutdruck wie andere vergleichbare Medikamente zu dieser Zeit, und auch durch die Einnahme von mehr als 100 Tabletten konnte kein Suizid begangen werden (vgl. Roth 2005, S. 212).



Thalidomid 1



(R)-(+)-Enantiomer

(S)-(-)-Enantiomer

**Abbildung 10:** Das Kohlenstoffatom, welches mit \* markiert ist, besitzt vier unterschiedliche Substituenten und ist das Stereozentrum von Thalidomid. Somit ergibt sich die Möglichkeit zweier zueinander spiegelbildlicher Isomere ((R)-(+)-Enantiomer und (S)-(-)-Enantiomer) (aus: Roth 2005, S. 212).

Die bekannte Tragödie um Contergan® begann 1960/61, als erstmals Schädigungen im Nervensystem bei längerer Einnahme von Contergan® festgestellt wurden. Zudem traten vermehrt Gliedmaßenmissbildungen bei Neugeborenen in der Bundesrepublik auf. Nach mehreren wissenschaftlichen Berichten über einen möglichen Zusammenhang zwischen der Einnahme thalidomidhaltiger Medikamente und den Gliedmaßenmissbildungen bei Neugeborenen sowie dem medialen Bekanntwerden dieses aufkommenden Arzneimittelskandals musste das Präparat Ende 1961 schließlich vom Markt genommen werden (vgl. ebd., S. 213). Im Nachhinein wurde das ganze Ausmaß dieses pharmakologischen Alptraums bekannt:

„Zwischen 1958 und 1962 wurden weltweit etwa 10 000 Kinder mit schweren Missbildungen vor allem an den Gliedmaßen geboren. Allein in Deutschland etwa 4000, von denen 2800 überlebten. [...] Es stellte sich heraus, dass die Einnahme einer einzigen Tablette während der 4. – 6. Schwangerschaftswoche mit hoher Wahrscheinlichkeit zu Missbildungen führte“ (ebd.)

Um die genaue Ursache für die vielen Missbildungen festzustellen wurden etliche Untersuchungen durchgeführt, da vor der Einführung nicht getestet wurde, ob beide Enantiomere oder lediglich eines fruchtschädigende Wirkung haben: So wurde 1965 anhand einer Studie mit Kaninchen festgestellt, dass beide Enantiomere fruchtschädigend wirken. Dies war erstaunlich, da die beiden Enantiomere im Körper von den Enzymen eigentlich unterschiedlich gebunden werden sollten. Sie haben somit scheinbar sehr schnell racemisiert. 1979 ver-

<sup>26</sup> Thalidomidhaltige Medikamente wurden in 48 Ländern vertrieben. Zwischen Oktober 1957 und November 1961 gab es ungefähr fünf Millionen Verbraucher von Contergan in der Bundesrepublik, die 300 Millionen Tagesdosen einnahmen (vgl. Roth 2005, S. 213).



öffentlichem Blaschke und Köhler hingegen nach Testreihen an Mäusen und Ratten, dass nur (S)-Thalidomid fruchtschädigend wirkt, wodurch der Mythos vom „guten“ und vom „bösen“ Enantiomer entstanden ist. Problematisch an dieser Studie war, dass ihre Ergebnisse von anderen Forschern nie reproduziert werden konnten und später bekannt wurde, dass Mäuse und Ratten für solche Tests nicht geeignet waren. Später revidierte Blaschke allerdings seine Auffassung und belegte, dass die Enantiomere im Körper sehr schnell racemisieren, sodass die Katastrophe kaum hätte verhindert werden können (vgl. ebd., S. 214ff.).

Seit 1964 erfuhren thalidomidhaltige Medikamente allerdings eine Renaissance, da ein israelischer Arzt zufällig bemerkte, dass Contergan® heilende Wirkung bei schmerzhaften Hautentzündungen von Leprakranken besitzt. Im Laufe der Zeit wurden noch weitere medizinisch interessante Eigenschaften von Thalidomid bekannt, sodass es heute u. a. zur Behandlung von Tumorerkrankungen eingesetzt wird (vgl. ebd., S. 216; Schröder 2003, S. 11).

*Was Schülerinnen und Schüler daran über die Natur der Naturwissenschaften lernen bzw. erfahren können*

Die Untersuchungen bezüglich der Nebenwirkungen des racemischen Gemisches sowie die Vorgeschichte sind für eine wissenschaftsethische Betrachtung im Sinne von der *Natur der Naturwissenschaften* geradezu prädestiniert, da die Schüler an diesem tragischen Fall erkennen können, dass es zur Verantwortung der Forschergemeinschaft gehört, die Zuverlässigkeit der Chemie und ihr „positives“ Wirken für den Menschen (selbst-)kritisch zu kontrollieren. Zudem spielt für die Risikoabschätzung die Güte und Verlässlichkeit von Prognosen eine entscheidende Rolle, sonst kommt es zu unvorhersehbaren Folgen für die Menschen (vgl. Kircher & Dittmer 2004, S. 17). Gerade die Geschichte von Contergan® stellt ein mahnendes Beispiel für eine mangelnde Risikoabschätzung dar.

Des Weiteren tritt bei diesem Beispiel die Funktion der *scientific community* deutlich hervor, da zuerst gewisse Ansichten über die Wirkungsweise von Contergan® anerkannt, später allerdings revidiert und neu bewertet wurden (vgl. Höttecke 2001a, S. 219). In diesem Zusammenhang zeigt sich auch die Dynamik und Veränderbarkeit von naturwissenschaftlichem Wissen (vgl. Kircher & Dittmer 2004, S. 10). Durch die Thematisierung der verschiedenen Studien wird den Schülern zusätzlich ersichtlich, dass naturwissenschaftliche Auffassungen stets eine empirische Basis besitzen (vgl. Lederman *et al.* 2001, S. 499f.).

*Wie kann Unterricht zum Thema aussehen?*

Eine ansprechende Unterrichtsplanung zu diesem Thema bietet SCHRÖDER (2003). Zwar ist sie ursprünglich für das Fach Biologie konzipiert worden, aber die biologische bzw. chemische Gewichtung lässt eine Adaption für den Chemieunterricht zweifelsohne zu. Besonders die zusammengestellten Quellen und Arbeitsmaterialien (vgl. ebd., S. 13-16) sind für einen Unterricht über die *Natur der Naturwissenschaften* gut geeignet. Die Schüler bekommen nämlich einen fundierten Eindruck von der gesamten Tragödie, ausgehend von den ersten Vermutungen über einen Zusammenhang zwischen Contergan® und den Missbildungen, bis hin zu den wissenschaftlichen Untersuchungen über die Wirkungsweise auf den menschlichen Organismus. Auch die Aufgabenstellungen zu den Arbeitsblättern sind für die zuvor

beschriebenen Zielsetzungen für einen Unterricht über die *Natur der Naturwissenschaften* geradezu wie geschaffen. So sind die Lernenden beispielsweise am Ende der Einheit dazu aufgefordert, eine abschließende Beurteilung zu formulieren, ob die Katastrophe hätte verhindert werden können (vgl. ebd., S. 16). Um dies tun zu können, müssen sich die Lernenden nämlich zuerst die bei diesem Beispiel relevanten Aspekte der *Natur der Naturwissenschaften* bewusst machen. Da sich die Schüler bei dieser Unterrichtskonzeption ihre Erkenntnisse stets anhand von Forschungsergebnissen erarbeiten müssen, wird die Bedeutung der empirischen Basis implizit vermittelt.

Ergänzend zu den Arbeitsmaterialien von SCHRÖDER (2003) könnten Auszüge (siehe Anhang A3) aus einem Nachtrag zu einer TV-Diskussion der Sendung *Hart aber fair* (Thema: Restrisiko auf Rezept) vom 7. November 2007 im Unterricht behandelt werden, die noch einmal die Notwendigkeit zur Risikoabschätzung bei der Einführung von Medikamenten und die damaligen Versäumnisse in diesem Zusammenhang verdeutlichen.

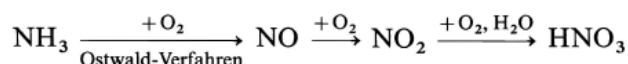
Im Unterricht bietet es sich an, dieses Beispiel im Anschluss an die Stereochemie zu behandeln, da die Schülerinnen und Schüler so auf Hintergrundwissen über Enantiomere und Stereozentren zurückgreifen können.

### 3.9 Das Haber-Bosch-Verfahren – eine tragende Säule der Welternährung

#### *Fachlicher Kontext*

Das Haber-Bosch-Verfahren ist für die Düngemittelproduktion und damit für die Ernährung einer stetig wachsenden Weltbevölkerung von enormer Bedeutung (vgl. Hellweger & Malz-Teske 1980, S. 22). So waren in den Jahren 2007/08 stickstoffhaltige Dünger, hergestellt auf der Basis von Ammoniak (vgl. Riedel 2004, S. 467), mit einer Jahresmenge von 101 Mio. Tonnen die mit Abstand am häufigsten eingesetzten Dünger (vgl. Industrieverband Agrar 2009, S. 38).

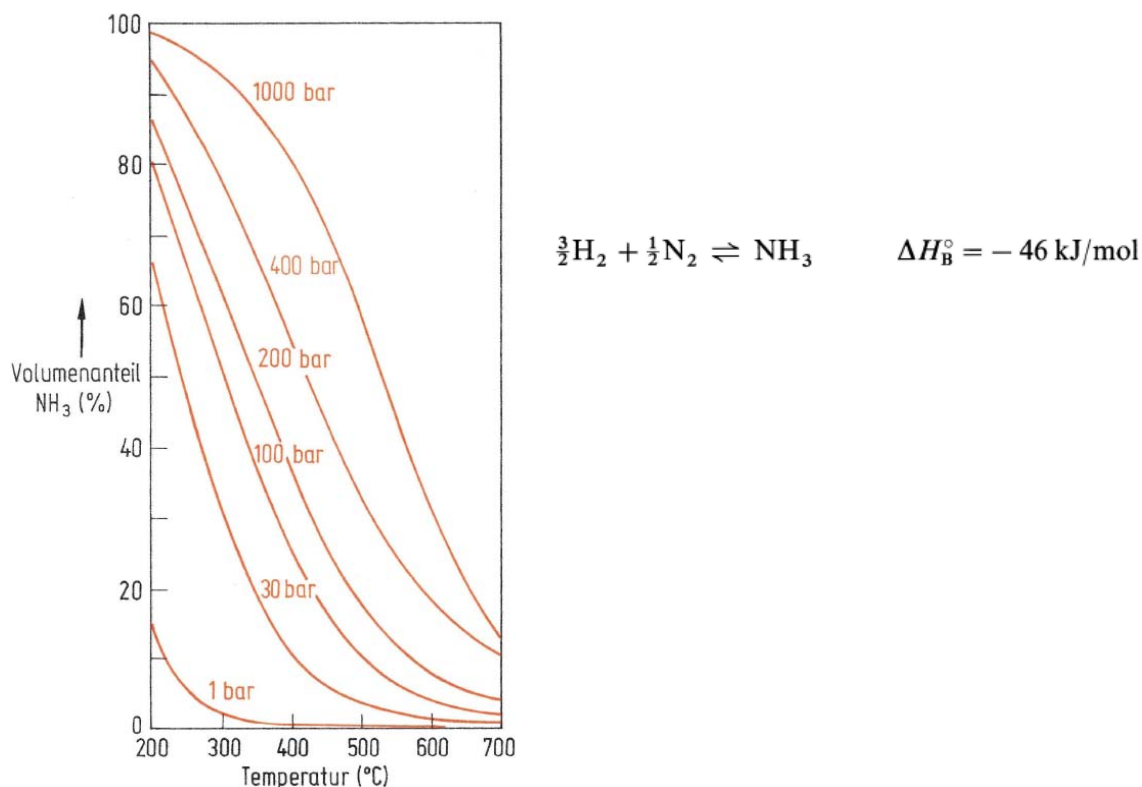
Im 19. Jahrhundert war man noch zumeist auf natürlich vorkommende Salpeter-Bestände (u. a. Chilesalpeter) als Düngemittel angewiesen, die aber in absehbarer Zeit aufgebraucht sein würden (vgl. Heimann 1976, S. 264). Es gab zwar schon im ausgehenden 19. Jahrhundert einige Verfahren zur künstlichen Düngemittelherstellung, allerdings konnten diese wegen des großen Energiebedarfs bei der Produktion, der geringen Ausbeute oder unvorteilhafter Eigenschaften der Düngemittel das Versorgungsproblem nicht lösen (vgl. ebd., S. 263f.). Eine Lösungsmöglichkeit des Problems bot hingegen das Ostwaldverfahren, bei dem Ammoniak zu Stickstoffmonoxid oxidiert wird. Durch weitere Oxidation wurde so über Stickstoffdioxid kostengünstig Salpetersäure hergestellt, welche die Basis verschiedener Salpeter darstellt (vgl. Riedel 2004, S. 478ff.).



**Abbildung 11:** Großtechnische Herstellung von Salpetersäure (aus: Riedel 2004, S. 478).

So vielversprechend dieses technische Verfahren auch war, so schwierig war auch seine Umsetzung, da man Ammoniak im großen Maßstab noch nicht herstellen konnte.

Um eine massenhafte Ammoniakproduktion zu ermöglichen, begannen Fritz Haber und seine Mitarbeiter kurz nach der Jahrhundertwende mit dem Studium des Gleichgewichts der Ammoniaksynthese, gestützt auf theoretische Arbeiten von Walter Nernst. Bald darauf zeigte sich, dass die Versuchsbedingungen für eine lohnende Ausbeute mehr als problematisch waren. Eine ausreichende Ausbeute war nämlich nur bei hohen Temperaturen von 500 °C und einem sehr großen Druck von über 1000 bar (Abbildung 12) zu erwarten, doch wie sollte man den Wasserstoff unter solchen Versuchsbedingungen bändigen. Die Wissenschaftler standen vor einer scheinbar unlösbaren Aufgabe. Letztendlich gelang Haber und seinen Mitarbeitern im Jahre 1909 nach mehreren gescheiterten Versuchen die Ammoniaksynthese bei Temperaturen von circa 500 °C sowie einem Druck von 175 bar (Abbildung 12) unter Verwendung von Osmium als Katalysator (vgl. Stoltzenberg 1999, S. 361).



**Abbildung 12:** Rechts: Ammoniaksynthese nach dem Haber-Bosch-Verfahren (aus: Riedel 2004, S. 466).  
Links: Druck- und Temperaturabhängigkeit des Gleichgewichts der Ammoniaksynthese (aus: Riedel 2004, S. 278).

Allerdings gelang diese Synthese nur im Labormaßstab und das Ziel einer großtechnischen Umsetzung war noch in weiter Ferne. Eine Lösung bot erst der Ingenieur Carl Bosch, der einen

„besonderen Hochdruckreaktor in Form dickwandiger Stahlzylinder [entwickelte], in denen der Katalysator in Schichten ausgebreitet ist, um den zu vereinigenden Gasen eine möglichst große Kontaktfläche zu bieten. Um den flüchtigen Wasserstoff zu bändigen, hat Bosch sich etwas Besonderes einfallen lassen. Die Reaktorzylinder sind innen mit einem völlig kohlenstofffreien hochwertigen Edelstahl ausgekleidet, dessen Gefüge so dicht ist, daß selbst bei 200 Atmosphären Druck und einer Arbeitstemperatur von rund 600 °C, bei der man mit Rücksicht auf die Katalysatoren inzwischen gelandet ist, der Wasserstoff in dem Zylinder gefangen bleibt, obwohl sich das Material bereits leichter Rotglut nähert.“ (Heimann 1976, S. 270f.)

Bald darauf baute die BASF ihre erste Ammoniakanlage und im Laufe der Jahre zeigte sich der Siegeszug dieser Synthese immer deutlicher. So sank beispielsweise der Anteil von importiertem Chilesalpeter von 54 % im Jahre 1913/14 auf 7 % im Jahre 1938/39 (vgl. ebd., S. 273).

Allerdings dient Salpeter nicht nur als Düngemittel, sondern wird auch zur Sprengstoffherstellung gebraucht. So war es Deutschland im Ersten Weltkrieg durch die Ammoniaksynthese überhaupt erst möglich, einen Krieg über vier Jahre zu führen, da man durch die Seeblockade der Alliierten keinen Chilesalpeter importieren konnte. Ohne die großtechnische Herstellung von Ammoniak wäre der Krieg vielleicht schon nach wenigen Monaten aufgrund mangelnder Salpetervorräte für Deutschland verloren gewesen (vgl. Stoltenzenberg 1994, S. 230ff.).

Dessen ungeachtet war die großtechnische Ammoniakproduktion letztendlich ein Meilenstein in der chemisch-technischen Forschung und Entwicklung, die zur Unabhängigkeit von den natürlichen Düngemitteln führte. Die Bedeutung der Ammoniaksynthese wird auch durch die Nobelpreise für Chemie von Fritz Haber (1918) und Carl Bosch (1931) unterstrichen (vgl. Heimann 1976, S. 273).

*Was Schülerinnen und Schüler daran über die Natur der Naturwissenschaften lernen bzw. erfahren können*

Die besondere Bedeutung des Haber-Bosch-Verfahrens kann im Mittelpunkt eines wissenschaftsethisch und wissenschaftstheoretisch geprägten Unterrichtes stehen. Dabei soll zum einen das Bewusstsein geschärft werden, dass gesellschaftliche (Mangel-) Zustände großen Einfluss auf das Tätigkeitsfeld eines Forschers haben. Die von den Naturwissenschaftlern entwickelten Verfahren, synthetisierten Verbindungen oder andere wissenschaftliche Erkenntnisse wirken allerdings auch wieder auf die Gesellschaft zurück (vgl. Höttecke 2004, S. 49f.; Lederman *et al.* 2002, S. 501). So forschten Haber und seine Mitarbeiter veranlasst durch eine ökonomisch-gesellschaftliche Notwendigkeit an einem Verfahren zur technischen Ammoniakherstellung. Ihre Realisierung der technischen Ammoniaksynthese zusammen mit Carl Bosch hat bis heute großen Einfluss auf die Gesellschaft, da eine Weltbevölkerung von ca. 6 Milliarden Menschen ohne technisch hergestellte Düngemittel nicht zu ernähren wäre und viele Hungersnöte durch Missernten ausbrechen könnten.

Zum anderen sollen die Lernenden dazu angeregt werden, ihr durch „die Alltagserfahrung und die Alltagssprache gewachsenes Paradigma des *Common Sense* in bestimmten Situationen bewusst [zu] verlassen“ (Kircher & Dittmer 2004, S. 13), um durch eine chemisch geprägte Denkweise das Verfahren, die Bedeutung und die Folgen besser verstehen bzw. erklären zu können. Dies kann ihnen bei der Bewertung neuer ähnlicher Sachverhalte helfen, da diese Denkweise „hinsichtlich Erklärung und Voraussage präziser und erfolgreicher, für technische Anwendungen nützlicher und damit im Allgemeinen auch zufrieden stellender“ (ebd.) ist. In diesem Zusammenhang sollte auch wissenschaftsethisch das Risikopotential (vgl. ebd., S.17) einer Überdüngung und die Nutzung der Ammoniaksynthese zur Sprengmittelherstellung thematisiert werden, da diese nicht nur lokale, sondern vor allem globale Risiken birgt.

### Wie kann Unterricht zum Thema aussehen?

Diese Thematik eignet sich sehr gut für ein fächerübergreifendes Unterrichtskonzept zwischen den Fächern Chemie, Biologie sowie Erdkunde/Geographie. Dadurch besteht die Möglichkeit, die Bedeutung des Haber-Bosch-Verfahrens hinsichtlich der chemischen Grundlagen, der Wirkung von Düngemitteln im Boden und somit auf das Wachstum von Pflanzen zu betrachten. Durch Beteiligung des Faches Geographie könnte auch die globale Bedeutung für die Ernährung einer stetig wachsenden Weltbevölkerung thematisiert werden. Eine solche Konzeption kann die Schülerinnen und Schüler in optimaler Weise die Verzahnung von Naturwissenschaft bzw. Technik und der ökonomisch-gesellschaftlichen sowie kulturellen Ebene ersichtlich machen. Ein Rollenspiel, welches Bereiche aller drei Fächer beinhaltet und auch die beschriebenen wissenschaftsethischen und wissenschaftstheoretischen Aspekte mit einbezieht, ist bei HELLWEGGER & MALZ-TESKÉ (1980, S. 23ff.) zu finden. Thema dieses Rollenspiels ist:

„Kann der Hunger in der Welt durch noch mehr chemische Dünger bekämpft werden, oder wird die Situation in dem Maße verschärft, in dem der ‚biologische‘ Landbau durch den ‚chemischen‘ verdrängt wird?“ (ebd., S. 22).

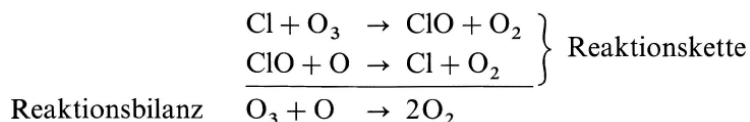
Bei diesem simulierten Streitgespräch müssen die Schülerinnen und Schüler, welche eine Rolle übernehmen, das Paradigma des *Common Sense* verlassen, indem sie als „kleine Experten“ die Fragestellung aus naturwissenschaftlicher Sicht diskutieren. Im Gegensatz zu den Autoren des Rollenspiels, welche die fachlichen Grundlagen erst mithilfe der „Experten“-Aussagen vermitteln wollen (vgl. ebd., S. 22), erachte ich es als wichtig, dass sich die Lernenden *zuerst* über die fachlichen Hintergründe dieser Thematik informieren, sodass sich die dem Rollenspiel zuschauenden Schüler vollständig auf die Argumentationsweise der verschiedenen „Experten“ konzentrieren können, ohne mit neuen fachlichen Inhalten verunsichern zu werden. Dadurch können die Aspekte der *Natur der Naturwissenschaften* in einer nachfolgenden Plenumsdiskussion sofort betont werden, ohne zuerst die fachlichen Grundlagen zu besprechen. Durch die im Plenum diskutierte Bedeutung des Haber-Bosch-Verfahrens wird das Verlassen des *Common Sense* nochmals verstärkt, da sich nun alle Schüler frei zu diesem Thema äußern können. Besonders in dem Zusammenhang der Überdüngung ist eine Diskussion über die neuen Möglichkeiten zur Munitionsherstellung durch die Ammoniaksynthese anzuregen. Die Schüler können dann daran erkennen, dass in jeder noch so gut gemeinten „Erfindung“ ein gewisses Risikopotential enthalten ist, welches dem Menschen bzw. der Menschheit schaden kann.

### 3.10 FCKW-Problematik und Ozonloch

#### *Fachlicher Kontext*

Die Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW) galten lange Zeit als chemisches „Wundermittel“, da sie ungiftig beim Einatmen, nicht brennbar und uneingeschränkt reaktionsträge sind. Diese Aspekte sind für den technischen Einsatz hoch interessant, und so wurden FCKWs als Kühlmittel, Treibgase in Spraydosen, Aufschäummittel für Kunststoffe und in der Elektroindustrie als Reinigungsmittel eingesetzt (vgl. Frank & Stäudel 1998, S. 52).

Erst Anfang der 1970er Jahre erkannte der amerikanische Chemiker Sherwood Rowland, dass diese - auf der Erde noch so unbedenklichen FCKWs - durch UV-Licht gespalten werden können und die entstehenden hochreaktiven Chlornradikale wiederum in der Lage sind, Ozon ( $O_3$ ) zu spalten (vgl. ebd.).



**Abbildung 13:** Abbau von Ozon durch Chlornradikale (aus: Riedel 2004, S. 623).

Diese Erkenntnis bekam schnell eine umweltpolitische Dimension, da FCKWs durch ihre chemische Stabilität bis in die Stratosphäre vordringen können (und dort mangels „Reinigungsmechanismen“ mehrere Jahrzehnte verbleiben können), in welcher sich die dünne Ozonschicht befindet, die die Lebewesen auf der Erde vor der schädlichen kurzwelligen UV-B-Strahlung schützt (vgl. Künzel & Künzel 1992, S. 12f.). Das natürliche Gleichgewicht von Bildung und Abbau von Ozon kann somit erheblich gestört werden, da jedes Chlornradikal in der Lage ist, 10 000 Ozonmoleküle katalytisch zu spalten (vgl. Riedel 2004, S. 622f.). Im Jahr 1985 sorgte ein Artikel in der Zeitschrift *Nature* für Aufsehen, der erstmals das große Ozonloch über der Antarktis thematisierte. Zwar gibt es den Ozonabbau auch in anderen Erdregionen, doch ist dieser nicht so dramatisch, weil dort das Chlor aus den FCKWs letztendlich chemisch in die stabilen Verbindungen Chlorwasserstoff (HCl) und Chlornitrat ( $ClONO_2$ ) umgewandelt wird. Am Südpol können jedoch bestimmte atmosphärische Bedingungen das Chlor wieder freisetzen: Im Winter sind die Polarnächte extrem lang und der Luftaustausch mit den nördlichen Breitengraden ist vermindert, sodass die Temperaturen in der antarktischen Stratosphäre auf unter  $-80^\circ C$  fallen. Bei diesen Bedingungen bilden sich polare stratosphärische Wolken (PSC), welche hauptsächlich aus Wasserdampf und Salpetersäuremolekülen bestehen. Durch heterogene Reaktionen an deren Oberfläche mit HCl und  $ClONO_2$ , bilden sich  $Cl_2$ , HOCl bzw.  $ClOOCl$ . Diese Verbindungen werden bei ansteigenden Temperaturen im antarktischen Frühling schließlich photolytisch gespalten, wodurch eine große Menge von Chlornradikalen entsteht (vgl. Hübner 2005, S. 141, Dameris *et al.* 2007, S. 155f.). Zudem gibt es im polaren Frühling keine Stickstoffoxide zur chemischen Umwandlung von Chlor, da diese im polaren Winter zu Salpetersäure reagierten. Eine Senkung der Chlorkonzentration bleibt so aus und ein sehr starker Ozonabbau ist nun die Folge (vgl. Riedel 2004, S. 625f.).

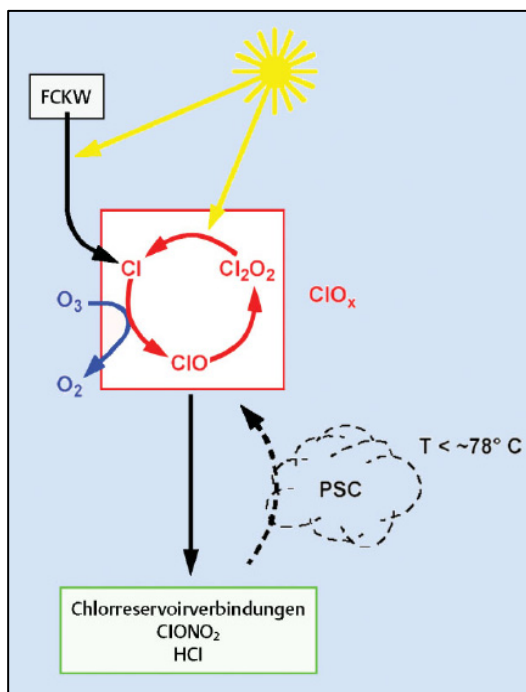


Abbildung 14 stellt diese Vorgänge schematisch dar.

**Abbildung 14:** Ozonabbau in der Stratosphäre (aus: Hübner 2005, S. 141)

Durch verschiedene politische Maßnahmen und Initiativen (u. a. Montrealer Protokoll 1987) ist die FCKW-Produktion bzw. deren Einsatz heute auf ein Minimum heruntergefahren worden, wodurch auch allmählich die Chlorkonzentration in der Stratosphäre sinkt. Allerdings werden die Folgen der FCKW-Emission noch viele Jahre nachwirken, da beispielsweise im Jahr 2005 die „stratosphärische Chlorkonzentration noch immer mehr als das Sechsfache des natürlichen Hintergrundwertes“ (Hübner 2005, S. 142) betrug.

*Was Schülerinnen und Schüler daran über die Natur der Naturwissenschaften lernen bzw. erfahren können*

Anhand der FCKW-Problematik können die enormen globalen Folgen durch chemisch-technische Einflüsse auf die Biosphäre der Erde thematisiert werden, besonders wenn Substanzen in großtechnischem Maßstab produziert werden. Dabei sollte gezeigt werden, dass sich nicht nur gravierende Auswirkungen für die Gegenwart ergeben können, sondern auch langwierige Folgen für die Zukunft (vgl. Kircher & Dittmer, S. 17), da es noch Jahre dauern wird, bis die Chlorkonzentration wieder einen Normalwert erreicht hat. Die Freisetzung großer Mengen neuer Stoffe ebenso wie die Freisetzung bekannter Chemikalien, die zuvor nur im Labormaßstab produziert worden waren, ohne umfassende Prüfung möglicher Folgen, sollte als nicht mit der Verantwortung der Naturwissenschaften vereinbar erkannt werden. Dieser wissenschaftsethische Gesichtspunkt sollte zudem durch einen wissenschaftstheoretischen Gesichtspunkt ergänzt werden, indem die Lernenden in einer solchen Unterrichtseinheit dazu angeregt werden, das Paradigma des *Common Sense* zu verlassen und das Paradigma der Chemie zu verwenden, um solche Umweltproblematiken durch einem naturwissenschaftlichen Blickwinkel besser verstehen zu können (vgl. ebd., S. 13).

Außerdem wird anhand der Geschichte der FCKWs und des Ozonloches deutlich, dass gesellschaftliche Bedingungen wie der massenhafte Verbrauch von FCKWs auf die naturwissenschaftliche Forschung Auswirkungen haben und naturwissenschaftliche Erkenntnisse wiederum einen kulturellen und gesellschaftlichen Einfluss besitzen (vgl. Höttecke 2001a, S. 218; Lederman *et al.* 2002, S. 501). Die Erkenntnisse der Forscher haben nämlich erst den gesellschaftlichen und politischen Diskurs über das Ozonloch ermöglicht, wodurch die Herstellung und die Nutzung von FCKWs stark reduziert wurde. Nebenbei wird hier auch die empirische Basis naturwissenschaftlicher Erkenntnis (vgl. ebd., S. 499) deutlich, da erst durch Versuche im Labor und anschließende spektroskopischen Messungen verlässliche Aussagen über die Ozonlochproblematik zuließen.

*Wie kann Unterricht zum Thema aussehen?*

Zum Einstieg in dieses Thema bietet sich ein Text über den Chemiker Sherwood Rowland und dessen Forschungsergebnissen zu den Gefahren von FCKWs an, welcher bei FRANKE & STÄUDEL (1998, S. 56) zu finden ist. Dieser Text eröffnet den Lernenden einen Einblick in die Geschichte der Entdeckung von den Gefahren der FCKWs. Nach diesem Einstieg sollten das natürliche Ozongleichgewicht in der Stratosphäre und die Bedeutung der Ozonschicht für das Leben auf der Erde thematisiert werden, damit die Schüler bei einer nachfolgenden Betrachtung der Ozonlochproblematik auf eine fundierte Wissensbasis zurückgreifen können. Zudem kann an dieser Stelle die empirische Basis der Vermutungen von Sherwood Rowland hervorgehoben werden, indem die Entstehung von Ozon und dessen Abbau durch

FCKWs in einem Demonstrationsversuch (vgl. Horlacher & Urban 1992, S. 19) gezeigt wird. So wird den Schülern bewusst, dass wissenschaftliche Erkenntnisse, wie die von Sherwood Rowland, stets auf einer empirischen Basis beruhen. Anschließend empfiehlt sich eine Internetrecherche zu dem Ozonloch über der Antarktis und der Reaktion der internationalen Politik. Durch eine solche Recherche sammeln Schülerinnen und Schüler fachliche Informationen, sodass sie auch das Gefahrenpotential erkennen, welches eine Verwendung von FCKWs für die Biosphäre der Erde birgt. Bei der Zusammenstellung der Rechercheergebnisse können so neben den weitreichenden Folgen für die Zukunft auch die mit der Naturwissenschaft eigentlich unvereinbare mangelnde Risikoabschätzung angesprochen werden. Abschließen sollte diese Unterrichtseinheit mit einer Betrachtung der gesamten Historie der Ozonlochproblematik, wobei der Fokus auf die Wechselwirkungen zwischen der naturwissenschaftlichen Forschung und der gesellschaftlich-kulturellen Ebene gerichtet wird. Die Schülerinnen und Schüler werden bei dieser abschließenden Betrachtung nochmals dazu angeleitet, das Paradigma des *Common Sense* bewusst zu verlassen, um mittels des Paradigmas der Chemie eine solche gesellschaftlich relevante Thematik in allen Ebenen zu verstehen.

### 3.11 CO<sub>2</sub> und Treibhauseffekt

#### *Fachlicher Kontext*

Schon gegen Ende des 19. Jahrhunderts vermutete der schwedische Physiker und Chemiker Svante Arrhenius (1859-1927), ausgehend von Versuchsergebnissen zu chemischen Reaktionen und den Eigenschaften von Gasen, dass eine verstärkte Emission des Treibhausgases Kohlenstoffdioxid (CO<sub>2</sub>) eine mögliche Erwärmung der Erdatmosphäre bewirken könnte (vgl. Frank & Stäudel 1998, S. 26). Mehr als ein Jahrhundert später gibt es zahlreiche Indizien, dass sich die Erdatmosphäre durch die vermehrte CO<sub>2</sub>-Emission dramatisch erwärmt. Häufig wird in den Medien von dem sogenannten „Treibhauseffekt“ gesprochen. Dabei wird allerdings nicht zwischen dem natürlichen und einem anthropogenen Treibhauseffekt differenziert. Ersterer macht ein Leben auf der Erde überhaupt erst möglich, da ohne ihn die durchschnittliche Temperatur auf der Erde -18 °C betragen würde. Doch die eigentliche Problematik für die Erde stellt der heutige anthropogene Treibhauseffekt dar. Dieser wird vor allem durch massenhafte Emission des Treibhausgases CO<sub>2</sub> verursacht. (vgl. Parchmann 1996, S.34)

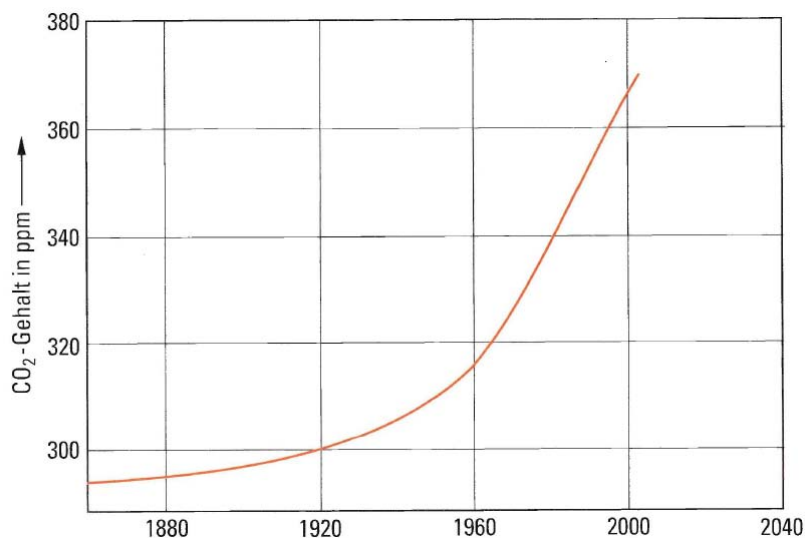
Was Treibhausgase in der Atmosphäre bewirken, ist heute gut bekannt. Die kurzwellige Strahlung der Sonne kann die Atmosphäre zu einem großen Teil ungehindert passieren, sodass die Erdoberfläche diese absorbiert und in Wärmeenergie umwandelt. Die von der Erdoberfläche emittierte Wärmestrahlung kann nun von Spurengasen in der Atmosphäre wiederum zu einem großen Teil absorbiert werden. Die wichtigsten natürlich vorkommenden Spurengase sind Wasserdampf (H<sub>2</sub>O), Kohlenstoffdioxid (CO<sub>2</sub>), Stickstoffmonoxid (N<sub>2</sub>O), Methan (CH<sub>4</sub>) und Ozon (O<sub>3</sub>). Den Anteil der Spurengase am natürlichen Treibhauseffekt zeigt Tabelle 6.



**Tabelle 6:** Anteil von H<sub>2</sub>O-Dampf, CO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>O und CH<sub>4</sub> am natürlichen Treibhauseffekt (aus: Riedel 2004, S. 628).

	H <sub>2</sub> O (Dampf)	CO <sub>2</sub>	O <sub>3</sub> (Troposphäre)	N <sub>2</sub> O	CH <sub>4</sub>	Rest
ΔT in K ΣΔT = 33 K	20,6	7,2	2,4	1,4	0,8	0,6
ΔT in %	62,4	21,8	7,3	4,3	2,4	1,8

Diese Gase emittieren diese Strahlung wieder, zum einen in den Weltraum, zum anderen zurück auf die Erde, wodurch die Erdoberfläche weiter erwärmt wird (vgl. ebd.; Parchmann & Jansen 1996, S. 6). Dieser für das Leben auf der Erde wichtige Effekt kann allerdings durch zusätzliche anthropogene Emission von CO<sub>2</sub> verstärkt werden, da eine erhöhte Konzentration von CO<sub>2</sub> auch eine erhöhte Emission von Wärme bedingt (vgl. ebd. S. 9). Seit Beginn der Industrialisierung in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts nahm die anthropogene CO<sub>2</sub>-Emission große Ausmaße an (Abbildung 15). So waren die 90er Jahre des letzten Jahrhunderts im Vergleich zu den anderen Jahrzehnten die wärmsten und der Meeresspiegel stieg im 20. Jahrhundert aufgrund abschmelzender Polkappen um 0,1-0,2 Meter an. Durch Bekanntwerden dieser dramatischen Veränderungen des Erdklimas sowie der drohenden Gefahr von einer erwarteten Temperaturerhöhung durch die stetig ansteigend anthropogene Treibhausgasemission im 21. Jahrhundert um 1,5-4,5° C - mit ungeahnten Auswirkungen auf die Biosphäre Erde - bemüht sich die internationale Politik in den letzten Jahren (z. B. Kyoto-protokoll) um eine Reduzierung der weltweiten CO<sub>2</sub>-Emission (vgl. Riedel 2004, S. 633).



**Abbildung 15:** Anstieg des CO<sub>2</sub>-Gehaltes in der Erdatmosphäre seit Beginn der Industrialisierung (aus: Riedel 2004, S. 629).

Dennoch kann nicht mit absoluter Sicherheit die anthropogene CO<sub>2</sub>-Emission für die Erderwärmung verantwortlich gemacht werden, da Klimaschwankungen in der Erdgeschichte (u. a. Mittelalterliche Warmzeit vom 12. bis zum 14. Jahrhundert) häufiger vorgekommen sind und die Komplexität des Erdklimas nicht mit einfachen Modellversuchen nachgestellt werden kann (vgl. Parchmann & Jansen 1996, S.9f.).

### *Was Schülerinnen und Schüler daran über die Natur der Naturwissenschaften lernen bzw. erfahren können*

Die Thematik bietet die Möglichkeit zu zeigen, dass die weltweit fortschreitende Industrialisierung und die damit verbundenen Bedürfnisse der Menschheit, wie beispielsweise ansteigender Automobil- und Flugverkehr, Risiken bergen, die globale Auswirkungen für das Leben auf der Erde haben können. Besonders bei solchen komplexen Systemen wie dem Klima der Erde ist das prognostizierende Wissen nur gering (vgl. Kircher & Dittmer 2004; S. 16f.). So kann auch wissenschaftstheoretisch verdeutlicht werden, dass naturwissenschaftliche Theorien empirisch zur Deutung von Phänomenen häufig unterbestimmt sind, „d. h. sie implizieren mehr mögliche Daten als tatsächlich je gemessen werden können“ (ebd., S. 13). Diese Unterbestimmtheit zeigt dann den hypothetischen und vorläufigen Charakter dieser Theorien (vgl. ebd.). Dies wird vor allem daran deutlich, dass es viele Szenarien über die Veränderung des Erdklimas sowie verschiedene Vermutungen über dessen Ursachen gibt, ohne einer Prognose mit letzter Gewissheit den Vorrang geben zu können.

Neben diesem wissenschafts- und technikethischen sowie wissenschaftstheoretischen Aspekt ist in wissenschaftstheoretischer Hinsicht wichtig, ähnlich wie bei der Thematik Ozonloch, den *Common Sense* zu verlassen und die Betrachtungsweise der Chemie zu verwenden. Somit wird es den Lernenden ermöglicht, dieses gesellschaftlich-naturwissenschaftliche Problem zu verstehen, um ihnen die Teilnahme am Entscheidungsprozess und dem gesellschaftlichen Diskurs zu ermöglichen. (vgl. ebd.)

Ein weiterer Aspekt, der bei dieser Thematik hervortritt, ist das Bedürfnis der Gesellschaft nach naturwissenschaftlichen Prognosen für bestimmte Phänomene. Die aufgestellten Prognosen dienen letztendlich dazu, der Gesellschaft vorherzusagen, was sie in Zukunft zu erwarten hat bzw. was sie verändern muss, um die prognostizierten Folgen ihres Handelns zu verhindern. Diese Wechselwirkungen zwischen Gesellschaft und Naturwissenschaft (vgl. Höttecke 2004, S. 49) bieten somit eine große Chance, dass die Menschheit verantwortungsvoller und nachhaltiger mit der Biosphäre umgehen wird (vgl. Kircher & Dittmer 2004, S. 18).

### *Wie kann Unterricht zum Thema aussehen?*

Für die Durchführung einer Unterrichtseinheit bietet es sich an, mit einem Text von Svante Arrhenius über die Gefahr einer möglichen Erwärmung der Erde durch den massiven Ausstoß von CO<sub>2</sub> (vgl. Franke & Stäudel 1998, S. 32) zu beginnen. Durch eine anschließende Überprüfung der Aussagen von Arrhenius durch einen Modellversuch zum Treibhauseffekt (vgl. ebd., S.37), haben die Lernenden einen ersten Eindruck in chemischer Hinsicht von einem medial allgegenwärtigen Thema bekommen. Nachfolgend können sich die Schüler nun die ökologisch-politisch-gesellschaftliche Ebene des Treibhauseffektes erarbeiten. Das Kyoto-Protokoll sowie Texte zu unterschiedlichen Standpunkten über die Gründe für die Klimaerwärmung (vgl. www4) bieten hierzu gute Möglichkeiten, sodass den Schülerinnen und Schülern implizit die zuvor genannten Aspekte der *Natur der Naturwissenschaften* bewusst werden. Im Anschluss daran können diese Aspekte noch einmal explizit angesprochen werden, wobei die Lernenden nun diese Thematik aus der Sichtweise der Chemie erläutern bzw. diskutieren müssen.

Eine weitere mögliche Unterrichtskonzeption zum anthropogenen Treibhauseffekt, welche sich zum Erwerb eines Metawissens eignet, ist ein Lernzirkel mit verschiedenen Versuchen und Informationen zur CO<sub>2</sub>-Problematik von GEÖRG & KARCH (2008). Zudem finden sich interessante Anknüpfungspunkte für den Chemieunterricht auch im Heft 111/112 der Zeitschrift *Naturwissenschaften im Unterricht Physik* („Herausforderung Klimawandel“), welches im Jahr 2009 von Wieland Müller, Andreas Müller und Jochen Kuhn herausgegeben wurde. Die Möglichkeit einer Adaption für den Chemieunterricht ist allerdings häufig gegeben.

Grundsätzlich könnten die zuvor beschriebene FCKW-Problematik und der anthropogene Treibhauseffekt in einem Natur-der-Naturwissenschaft-Kurs in der Oberstufe zusammen mit anderen Umweltproblemen behandelt werden. Ein solcher Kurs würde ein größeres Zeitkontingent für diese umfassenden und komplexen Thematiken bereitstellen, sodass eine intensive Betrachtung der relevanten Aspekte der *Natur der Naturwissenschaften* ermöglicht wird. Eine Beteiligung der Fächer Geographie sowie Gesellschaftslehre/Politik und Wirtschaft bei diesem Kurs kann den Erwerb dieses Metawissens noch weiter unterstützen.

#### 4. Schlussbetrachtung

In dieser Arbeit konnten die Absichten eines Lernens und Lehrens über die *Natur der Naturwissenschaften* sowie dessen Potential für den heutigen Chemieunterricht dargelegt werden, gerade für das Erreichen einer *scientific literacy* und den Erwerb von Bildungscompetenzen. Diese Zielsetzungen sind besonders in Bezug auf die Anforderungen des 21. Jahrhunderts wichtig, da unser alltägliches Leben in den letzten 100 Jahren eine beispiellose Technisierung erfahren hat und das menschliche Dasein auch immer intensiver beeinflussen wird, sodass auch zukünftig neue Anforderungen an jedes Individuum gestellt werden. Um dies zu erreichen, bietet ein zielgerichteter Unterricht zum Erwerb eines Metawissens sehr gute Möglichkeiten. Aus diesem Grund sollte ein Lehren und Lernen über die *Natur der Naturwissenschaften* nicht nur eine theoretische Überlegung sein, sondern m. E. verstärkt in die unterrichtliche Praxis Einzug erhalten. Der zielgerichtete Erwerb eines Metawissens führt hierzulande allerdings nur ein Schattendasein in der Unterrichtspraxis. Letztendlich kann man sich nur wünschen, dass ein Lehren und Lernen über die *Natur der Naturwissenschaften* ausgehend von einem breitgefächerten didaktischen Diskurs weiter an Popularität gewinnen wird, sodass der Erwerb eines Metawissens über die Naturwissenschaften auch die Unterrichtspraxis erreicht.

Dazu ist es allerdings auch wichtig, dass einheitliche Zielsetzungen formuliert werden, in ähnlicher Form wie dies bei den Bildungsstandards geschehen ist, um den Lehrerinnen und Lehrern eine optimale Orientierung zu bieten. Die US-amerikanische Entwicklung könnte hierfür als Beispiel dienen. Leider ist momentan nicht abzusehen wann oder ob überhaupt eine solche Festlegung von den Kultusministerien geschehen wird. Darum wäre es wünschenswert, dass sich Lehrkräfte vermehrt eigenständig mit der *Natur der Naturwissenschaften* beschäftigen und deren Aspekte in ihre Unterrichtskonzeptionen einfließen lassen würden.

Möglicherweise könnten einige Lehrer allerdings anführen, dass sie wegen überfüllter Lehrpläne keine Möglichkeit sehen, einen Wissenserwerb über die *Natur der Naturwissen-*

*schaften* in den normalen Fachunterricht integrieren zu können. Ihnen kann man allerdings entgegen, dass dies im Grunde ohne weiteres möglich ist, denn viele der hier beschriebenen Themen sind heute schon Teil des Unterrichts und bieten somit die Möglichkeit zum Erwerb eines Metawissens, ohne die vorgeschriebenen Inhalte des Lehrplans zu vernachlässigen (vgl. Höttecke 2008, S. 4f.). Zudem zeigt sich im zweiten Teil dieser Arbeit, dass man für eine solche Unterrichtskonzeption nicht gänzlich neue Unterrichtsmaterialien verwenden muss, denn oftmals genügt eine leichte Modifikation von Arbeitsblättern und Arbeitsaufträgen sowie eine abschließende Betrachtung des Unterrichtsthemas, um Aspekte der Naturwissenschaften in den Unterricht einfließen zu lassen. Des Weiteren bieten natürlich auch zusätzliche spezielle Natur-der-Naturwissenschaft-Kurse als Arbeitsgemeinschaft oder in einer Projektwoche weitere Umsetzungsmöglichkeiten.

Grundsätzlich sollte auch überlegt werden, die *Natur der Naturwissenschaften* in die Lehrerbildung zu integrieren. Studien zeigen nämlich, dass auch bei Studenten naturwissenschaftlicher Fächer häufig ein ähnliches Verständnis von den Naturwissenschaften wie bei den Schülern vorherrscht (vgl. Höttecke & Rieß 2007, S. 1ff.). Dies ist allerdings auch nicht verwunderlich, da Seminare und Vorlesungen, gerade im Grundstudium, meist nur auf den Erwerb von fachlichem Wissen – wie auch die Unterrichtspraxis in den Schulen – ausgerichtet sind. Durch eine Integration in das Lehramtsstudium könnten zukünftige Lehrerinnen und Lehrer nicht nur ihr Metawissen über ihr jeweiliges Unterrichtsfach optimieren, sondern es würde auch der Grundstein dafür gelegt, dass vermehrt Unterrichtskonzeptionen über die *Natur der Naturwissenschaften* in die Unterrichtspraxis Einzug erhalten können.

## 5. Literatur

- BENZINGER, R.; MEYER, M. (1994): Modelle für das Unsichtbare - vom Nutzen von Atommodellen. *Praxis der Naturwissenschaften Chemie* 43 (7), S. 24-29.
- BROWN, THEODORE L.; LEMAY, H. EUGENE; BURSTEN, BRUCE E. (2007): Chemie. Die zentrale Wissenschaft. München: Pearson.
- Brückmann, Jutta; Arndt, Elisabeth; Freitag, Dorothea; Gerhards, Michael (2008): Kunststoffe im Unterricht. Köln: Aulis.
- BYBEE, ROGER W. (2002): Scientific Literacy – Mythos oder Realität? In: Gräber, Wolfgang; Nentwig, Peter; Koballa, Thomas; Evans, Robert (Hrsg.): Scientific Literacy. Der Beitrag der Naturwissenschaften zur Allgemeinen Bildung. Opladen: Leske + Budrich, S. 21-43.
- CURA, KATRIN: Schwefel-Quecksilber-Theorie und Destillationsapparaturen. Alchemie, die Vorgängerin der Chemie. *Praxis der Naturwissenschaften Chemie* 48 (4), S. 14-18.
- DAMERIS, MARTIN; PETER, THOMAS; SCHMIDT, ULRICH; ZELLNER, REINHARD (2007): Das Ozonloch und seine Ursachen. *Chemie in unserer Zeit* 41 (3), S. 152-168.
- DÄMMGEN, ULRICH; KEUNE, HERBERT (1986): Atomvorstellungen. Schülerexperimente und Aufgaben. Köln: Aulis.
- DRIVER, ROSALIND; LEACH, JOHN; MILLAR, ROBIN; SCOTT, PHIL (1996): Young people's images of science. Buckingham, Philadelphia: Open University Press.
- FRANK, ANGELIKA; STÄUDEL, LUTZ (1998): Klimaänderung und Treibhauseffekt. Hannover: Schroedel.
- FREISE, VALENTIN (1986): Das Phlogiston – Irrweg oder klassische Theorie? *Praxis der Naturwissenschaften Chemie* 35 (2), S. 32-34.
- Gebelein, Helmut (2000): Alchemie. Kreuzlingen, München: Hugendubel.
- GEÖRG, JUDITH; KARCH, CHRISTINE (2003): Globale Zusammenhänge verstehen. Ein Lernzirkel zur CO<sub>2</sub>-Problematik. *Naturwissenschaften im Unterricht Chemie* 14 (78), S. 27-31.
- GRÄBER, WOLFGANG; NENTWIG, PETER (2002): Scientific Literacy – Naturwissenschaftliche Grundbildung in der Diskussion. In: Gräber, Wolfgang; Nentwig, Peter; Koballa, Thomas; Evans, Robert (Hrsg.): Scientific Literacy. Der Beitrag der Naturwissenschaften zur Allgemeinen Bildung. Opladen: Leske + Budrich, S. 7-20.
- HASELOFF, HANS-PETER; MENZEL, PETER (1987): Modellversuch zum Rutherford'schen Streuversuch für den Overhead-Projektor. *Praxis der Naturwissenschaften Chemie* 36 (6), S.18-20.
- HEIMANN, ERICH H. (1976): Der große Augenblick in der Chemie. Bayreuth: Loewes.
- HEIMANN, REBEKKA; SCHUCKMANN, KRISTINA (2008): Am Anfang war der Harnstoff. Eine historische Einführung in die organische Chemie. *Naturwissenschaften im Unterricht Chemie* 19 (103), S. 25-30.
- HELLWEGER, SEBASTIAN; MALZ-TESTE, REGINA (1980): Die Bedeutung der Haber-Bosch-Synthese für die Ernährung der Menschheit. Ein Rollenspiel für den Chemieunterricht. *Naturwissenschaften im Unterricht Physik, Chemie* 28 (1), S. 22-30.
- HELLWEGER, SEBASTIAN (1992): Die erste Sitzung der „Geheimen Kommission für chemische Fragen“. Ein Rollenspiel. *Soznat* 25, S. 27-34.

- HEMPLER, KURT (1989): Nitrat - lebensnotwendig, jedoch umstritten. *Praxis der Naturwissenschaften Chemie* 38 (2), S. 9-17.
- HERMANN, RENATE (1986): Phlogistontheorie – ein Thema für den Chemieunterricht heute? *Praxis der Naturwissenschaften Chemie* 35 (2), S. 28-32.
- HESSISCHES KULTUSMINISTERIUM (2008): Lehrplan Chemie. Gymnasialer Bildungsgang. Jahrgangsstufen 7G bis 12G. Wiesbaden.
- HOFHEINZ, VOLKER (2008): Erwerb von Wissen über „Nature of Science“. Eine Fallstudie zum Potenzial impliziter Aneignungsprozesse in geöffneten Lehr-Lern-Arrangements am Beispiel von Chemieunterricht. Siegen.
- HORLACHER, BERNHARD ; URBAN, ALEXANDER (1992): Ozonentstehung und Ozonabbau in einem einfachen Demonstrationsversuch. *Praxis der Naturwissenschaften Chemie* 41 (3), S. 18-20.
- HÖTTECKE, DIETMAR (2001a): Die Natur der Naturwissenschaften historisch verstehen. Fachdidaktische und wissenschaftshistorische Untersuchungen. Berlin: Logos.
- HÖTTECKE, DIETMAR (2001b): Die Vorstellungen von Schülern und Schülerinnen von der „Natur der Naturwissenschaften“. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften* 7, S. 7-23.
- HÖTTECKE, DIETMAR (2004): Wissenschaftsgeschichte im naturwissenschaftlichen Unterricht. In: Hößle, Corinna; Höttecke, Dietmar; Kircher, Ernst (Hrsg.): Lehren und Lernen über die Natur der Naturwissenschaften. Baltmannsweiler: Schneider Verlag Hohengehren, S. 43-56.
- HÖTTECKE, DIETMAR; RIEß, FALK (2007): Rekonstruktion der Vorstellungen von Physikstudierenden über die Natur der Naturwissenschaften – eine explorative Studie. *Physik und Didaktik in der Schule und Hochschule* 6 (1), S. 1-14.
- HÖTTECKE, DIETMAR (2008): Was ist Naturwissenschaft? Physikunterricht über die Natur der Naturwissenschaften. *Naturwissenschaften im Unterricht Physik* 19 (103), S.4-11.
- HÜBNER, KARL (2005): Runder Geburtstag fürs Ozonloch. *Chemie in unserer Zeit* 39 (2), S. 140-142.
- INDUSTRIEVERBAND AGRAR (2009): Wichtige Zahlen. Düngemittel – Produktion – Markt – Landwirtschaft. Frankfurt a. M.
- JANSEN, WALTER; ULSES, ROLF.; MATUSCHEK, CLAUDIA; FICKENFRERICH, HILKE; PEPPER, RENATE (1986): Der Weg zum Dalton'schen Atommodell. Eine chemiegeschichtliche Unterrichtskonzeption. *Praxis der Naturwissenschaften Chemie* 35 (2), S. 34-40.
- JUNG, WALTER (1978): Geschichte der Naturwissenschaften im naturwissenschaftlichen Unterricht – Pro und Contra. Versuch einer fachdidaktischen Summe. In: Ewers, Michael (Hrsg.): Wissenschaftsgeschichte und naturwissenschaftlicher Unterricht, Bad Salzdetfurth, Hildesheim: Verlag Franzbecker, S. 29-53.
- KANT, HORST (1986): Alfred Nobel, Leipzig: BSB B. G. Teubner.
- KIRCHER, ERNST; DITTMER, ARNE (2004): Lehren und lernen über die Natur der Naturwissenschaften. Ein Überblick. In: Hößle, Corinna; Höttecke, Dietmar; Kircher, Ernst (Hrsg.): Lehren und Lernen über die Natur der Naturwissenschaften. Baltmannsweiler: Schneider Verlag Hohengehren, S. 2-22.
- KOBER, FRIEDHELM (1983): Eine Reaktion macht Chemiegeschichte - Nachlese zum Wöhler-Jahr 1828. *Praxis der Naturwissenschaften Chemie* 32 (10), S. 316-318.

- KREMER, ARMIN (1984): Naturwissenschaft und Rüstung. Rüstungspolitik und nukleare Wafenttechnologie. *Soznat* 16.
- Krätz, Otto (2001): Gewinner im großen „Spiel“. Alfred Nobel und das Dynamit. *Chemie in unserer Zeit* 35 (4), S. 230-237.
- KULTUSMINISTERKONFERENZ (2004a) = Sekretariat der Ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland (Hrsg.) (2005): Bildungsstandards der Kultusministerkonferenz. Erläuterungen zur Konzeption und Entwicklung. München, Neuwied: Luchterhand.
- KULTUSMINISTERKONFERENZ (2004b) = Sekretariat der Ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland (Hrsg.) (2005): Bildungsstandards im Fach Chemie für den Mittleren Schulabschluss (Jahrgangsstufe 10). Beschluss vom 16.12.2004. München, Neuwied: Luchterhand.
- KÜNZEL, WERNER; KÜNZEL, GÜNTER (1992): FCKW und Ozonloch – Einfachübergreifendes Thema aus der Sicht der Chemie. *Praxis der Naturwissenschaften Chemie* 41 (3), S. 11-15.
- LABINGER, JAY A.; WEININGER, STEPHEN J. (2005): Kontroversen in der Chemie: Wie beweist man ein Negativum? – Die Fälle Phlogiston und kalte Fusion. *Angewandte Chemie* 117 (13), S. 1950-1956.
- LANGE, L. (2007): Alchemie. Nur Betrug oder der Beginn der modernen Naturwissenschaft? Durchführung eines Projektes in der Jahrgangsstufe 7. *Praxis der Naturwissenschaften – Chemie in der Schule* 56 (4), S. 31-38.
- LEDERMAN, NORMEN G.; ABD-EL-KHALICK, FOUAD; BELL, RANDY L.; SCHWARTZ, RENÉE S. (2002): Views of Nature of Science Questionnaire: Toward Valid and Meaningful Assessment of Learners' Conceptions of Nature of Science. *Journal of Research in Science Teaching* 39 (6), S. 497-521.
- LIEBIG, JUSTUS; WÖHLER, FRIEDRICH (1838): Untersuchungen über die Natur der Harnsäure. *Annalen der Pharmacie* 26 (3), S. 241-310.
- MARTINETZ, DIETER (1996): Der Gaskrieg 1914/18. Entwicklung, Herstellung und Einsatz chemischer Kampfstoffe. Das Zusammenwirken von militärischer Führung, Wissenschaft und Industrie. Bonn: Bernard & Graefe.
- MCCOMAS, WILLIAM F.; CLOUGH, MICHAEL P.; ALMAZROA, HIYA (1998): The Role and Character of the Nature of Science in Science Education. In: W. F. McComas (Hrsg.): *The Nature of Science in Science Education: Rationales and Strategies*. Dordrecht, Boston, London: Kluwer, S. 3-39.
- MORTIMER, CHARLES E.; MÜLLER, ULRICH (2003): Chemie. Das Basiswissen der Chemie. Stuttgart: Thieme.
- PARCHMANN, ILKA; JANSEN, WALTER (1996): Der „Treibhauseffekt“ als Folge der Wärmeabsorption von Gasen. *Chemie Konkret* 3 (1), S. 6-11.
- PARCHMANN, ILKA; KAMINSKI, BETTINA; MESTER, UTE, PASCHMANN, ANTJE (1997): Behandlung des Themas Ozon im Chemieunterricht mit Hilfe anschaulicher Experimente. *PLUS LUCIS* 5 (1), S. 27-31.
- PARCHMANN, ILKA (1996): Treibhauseffekt und Ozonloch – ein großes Durcheinander. *Plus Lucis* 4 (2), S. 33-37.
- POPPER, KARL R. (1976): Logik der Forschung. Tübingen: J.C.B. Mohr.
- PUKIES, JENS (1979): Das Verstehen der Naturwissenschaften. Braunschweig: Westerman.

- RIEDEL, ERWIN (2004): Anorganische Chemie. Berlin, New York: de Gruyter.
- RIEß, FALK (1997): Defizite des naturwissenschaftlichen Unterrichts in Deutschland. In: Dally, Andreas; Nielsen, Telsche; Rieß, Falk (Hrsg.): Geschichte und Theorie der Naturwissenschaften im Unterricht - Ein Weg zur naturwissenschaftlich-technischen Alphabetisierung?, Rehburg-Loccum 1997 (Loccumer Protokolle 53/96), S. 303-311.
- ROTH, KLAUS (2005): Eine unendliche chemische Geschichte. *Chemie in unserer Zeit* 39 (3), S. 212-217.
- SCHNEIDER, MARTIN (2002): Teflon, Post-it und Viagra. Große Entdeckungen durch kleine Zufälle. Weinheim: WILEY-VCH.
- SCHRÖDER, ECKHART (2003): Der Contergan-Wirkstoff Thalidomid. Gibt es eine verträgliche und eine schädliche Form? *Praxis der Naturwissenschaften – Biologie in der Schule* 52 (8), S. 10-16.
- SCHÜTT, HANS-WERNER (1997): Alchemie als Nichtchemie zu Beginn der Neuzeit. *Berichte zur Wissenschaftsgeschichte* 20 (2-3), S. 147-158.
- SIMON, GÜNTHER; WEERDA, JUTTA (1982): Harnstoffsynthese und Lebenskraft. Zum Todestag von Friedrich Wöhler (gest. 23.9.1882 in Göttingen). *Naturwissenschaften im Unterricht Physik, Chemie* 30 (12), S. 433-434.
- STOLTZENBERG, DIETRICH (1994): Fritz Haber. Chemiker, Nobelpreisträger, Deutscher, Jude. Weinheim: WILEY-VCH.
- STOLTZENBERG, DIETRICH (1999): Fritz Haber, Carl Bosch und Friedrich Bergius - Protagonisten der Hochdrucksynthese. *Chemie in unserer Zeit* 33 (6), S. 359-364.
- STRÖKER, ELISABETH (1982): Theoriewandel in der Wissenschaftsgeschichte. Chemie im 18. Jahrhundert. Frankfurt a.M.: Klostermann.
- Themenheft der Zeitschrift *Naturwissenschaften im Unterricht Physik* (2009): Herausforderung Klimawandel, *Naturwissenschaften im Unterricht Physik* 20 (111/112).
- VÖGTLE, FRITZ (1983): Alfred Nobel. Reinbek bei Hamburg: Rowohlt.
- VOLLHARDT, K. PETER C.; SCHORE, NEIL E. (2005): Organische Chemie. Weinheim: WILEY-VCH.
- VORRATH, TILL; REINHOLD, BLÜMEL (2000): Thomson-Atome. *Physik in unserer Zeit* 31 (3), S. 115-120.
- WITTIG, KURT (2009): Was ist „zufällig“ an zufälligen Entdeckungen in der Physik? *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht* 62 (5), S. 260-267.
- WIßNER, OLIVER (2004): Das Öffnen von Aufgaben. Strategien und Beispiele. *Naturwissenschaften im Unterricht Chemie* 15 (82/83), S. 42-45.
- www1=<http://www.chemieunterricht.de/dc2/tip/brief.htm> [letzter Zugriff: 24.05.2010]
- www2=<http://www.chemie.fu-berlin.de/chemistry/kunststoffe/teflon.htm>  
[letzter Zugriff: 24.05.2010]
- www3=[http://www.wdr.de/themen/politik/1/hart\\_aber\\_fair/faktencheck\\_071107/index.jhtml?rubrikenstyle=contergan](http://www.wdr.de/themen/politik/1/hart_aber_fair/faktencheck_071107/index.jhtml?rubrikenstyle=contergan) [letzter Zugriff: 24.05.2010]
- www4=[http://www.umweltbundesamt.de/klimaschutz/klimaaenderungen/faq/antworten\\_des\\_uba.htm#2](http://www.umweltbundesamt.de/klimaschutz/klimaaenderungen/faq/antworten_des_uba.htm#2) [letzter Zugriff: 24.05.2010]



## Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

### Abbildungen

Abb. 1: Erklärung der reversiblen Umwandlung Von Schwefel ( <i>experimentum novum</i> ) durch Georg Ernst Stahl (vgl. Labinger & Weininger 2005, S. 1951).....	28
Abb. 2: Harnstoffsynthese nach Friedrich Wöhler (aus: Vollhardt & Schore 2005, S. 3).....	30
Abb. 3: Atommodell nach Thomson (aus: Brown <i>et al.</i> 2007, S. 52). ....	34
Abb. 4: Aufbau des Rutherford'schen Streuversuchs(aus: Brown <i>et al.</i> 2007, S. 52). ....	34
Abb. 5: Schematische Darstellung der Ablenkung und Reflexion von $\alpha$ -Teilchen durch den Kern der Metallatome (aus: Mortimer & Müller 2003, S. 20) .....	35
Abb. 6: Verschiedene Energieniveaus nach dem Bohrschen Atommodell (aus: Mortimer & Müller 2003, S. 63).....	35
Abb. 7: Stufen des Transmutationsprozesses (aus: Cura 1999, S. 16).....	38
Abb. 8: Die Elemente Feuer, Wasser, Luft und Erde sind über Eigenschaften miteinander verbunden. Somit ist Feuer heiss und trocken, die Luft warm und feucht (aus: Gebelein 2000, S. 138). ....	38
Abb. 9: Polymerisation von Tetrafluorethen zu Teflon® (vgl. Vollhardt & Schore 2007, S. 601f.; www2). ....	40
Abb. 10: Das Kohlenstoffatom, welches mit * markiert ist, besitzt vier unterschiedliche Substituenten und ist das Stereozentrum von Thalidomid. Somit ergibt sich die Möglichkeit zweier zueinander spiegelbildlicher Isomere ((R)-(+)-Enantiomer und (S)-(-)-Enantiomer) (aus: Roth 2005, S. 212). ....	48
Abb. 11: Grosstechnische Herstellung von Salpetersäure (aus: Riedel 2004, S. 478). ....	50
Abb. 12: Rechts: Ammoniaksynthese nach dem Haber-Bosch-Verfahren (aus: Riedel 2004, S. 466). Links: Druck- und Temperaturabhängigkeit des Gleichgewichts der Ammoniaksynthese (aus: Riedel 2004, S. 278). ....	51
Abb. 13: Abbau von Ozon durch Chlorradikale (aus: Riedel 2004, S. 623).....	54
Abb. 14: Ozonabbau in der Stratosphäre (aus: Hübner 2005, S. 141).....	54
Abb. 15: Anstieg des CO <sub>2</sub> Gehaltes in der Erdatmosphäre seit Beginn der Industrialisierung (aus: Riedel 2004, S. 629). ....	57

## Tabellen

Tab. 1: Ansatzpunkte für das Lernen über die Natur der Naturwissenschaften in den Bildungsstandards im Fach Chemie (vgl. Höttecke 2008, S. 8; Kultusministerkonferenz 2004).....	11
Tab. 2: Warum ein Wissen über die Natur der Naturwissenschaften in naturwissenschaftsdidaktischer Hinsicht sinnvoll ist (Driver <i>et al.</i> 1996, S. 16ff.)...	12
Tab. 3: Drei Aspekte und deren Ziele für einen Unterricht über die Natur der Naturwissenschaften (aus: Kircher & Dittmer 2004, S. 8ff.).....	18
Tab. 4: Unterrichtlich relevante Ansichten über nature of science (aus: Hofheinz 2008, S. 87f.; vgl. Lederman <i>et al.</i> 2002, S. 499-502).....	21
Tab. 5: Vergleich von Überzeugungen der Phlogistontheorie mit modernen Auffassungen zu Elektronen (aus: Freise 1986, S. 33).....	30
Tab. 6: Anteil von H <sub>2</sub> O-Dampf, CO <sub>2</sub> , O <sub>3</sub> , N <sub>2</sub> O und CH <sub>4</sub> am natürlichen Treibhauseffekt (aus: Riedel 2004, S. 628).....	57

## Anhang

### A1: Gekürzter Briefwechsel zwischen Friedrich Wöhler und Jöns Jakob Berzelius anno 1828 (zit. nach www1)

Wöhler an Berzelius, Berlin 22. 2. 1828:

[...] [Ich] muss Ihnen sagen, dass ich Harnstoff machen kann, ohne dazu Nieren oder überhaupt ein Tier, sey es Mensch oder Hund, nöthig zu haben. Das cyansaure Ammoniak ist Harnstoff.[...] – Vielleicht erinnern Sie sich noch der Versuche, die ich in der glücklichen Zeit, als ich noch bei Ihnen arbeitete, anstellte, wo ich fand, dass immer, wenn man Cyansäure mit Ammoniak zu verbinden sucht, eine krystallisirte Substanz entsteht, die sich indifferent verhielt und weder auf Cyansäure noch Ammoniak reagirte. Beim Durchblättern meines Journals fiel mir dies wieder auf, und [...] ich machte mir dies daher zum Gegenstand einer, für meine beschränkte Zeit passenden, kleinen Untersuchung, mit der ich sehr geschwind fertig war. [...] [W. beschreibt im weiteren eine Reihe von Reaktionen zur Identifizierung und Unterscheidung des neuen Stoffs vom Edukt Ammoniumcyanat, St. S.]. [...]

[...] es bedurfte nun weiter Nichts als einer vergleichenden Untersuchung mit Pisse-Harnstoff, den ich in jeder Hinsicht selbst gemacht hatte, und dem Cyan-Harnstoff. Wenn nun, wie ich nicht anders sehen konnte, bey (meinen Experimenten) kein anderes Product als Harnstoff, entstanden war, so musste endlich, zur völligen Bestätigung dieser paradoxen Geschichte, der Pisse-Harnstoff genau dieselbe Zusammensetzung haben, wie das cyansaure Ammoniak. [...] Dies wäre also ein unbestreitbares Beispiel, dass zwei ganz verschiedene Körper dieselbe Proportion von denselben Elementen enthalten können, und dass nur die ungleiche Art der Vereinigung die Verschiedenartigkeit in den Eigenschaften hervorbringt. [...] – So gut man nun durch bloße Rechnung hätte finden können, dass cyansaures Ammoniak und Harnstoff gleiche Zusammensetzung haben, so ließe sich vielleicht noch bey manchen anderen Substanzen ein ähnliches Verhältniss nachweisen, wie z. B. dass manche oder alle vegetabilische Salzbasen durch die Vereinigung von Ammoniak mit gewissen organischen Säuren entstehen, was noch plausibler wäre, wenn man den salpetersauren Harnstoff als ein Salz betrachten darf. –

Diese künstliche Bildung von Harnstoff, kann man sie als ein Beispiel von Bildung einer organischen Substanz aus unorganischen Stoffen betrachten? Es ist auffallend, dass man zur Hervorbringung von Cyansäure (und auch von Ammoniak) immer doch ursprünglich eine organische Substanz haben muss, und ein Naturphilosoph würde sagen, dass sowohl aus der thierischen Kohle, als auch aus den daraus gebildeten Cyanverbindungen, das Organische noch nicht verschwunden, und daher immer noch ein organischer Körper daraus wieder hervorzubringen ist.

Berzelius an Wöhler, Stockholm, 7. 3. 1828:

[...] – und wahrlich, Hr. Doktor hat wirklich die Kunst erfunden, den Richtweg zu einem unsterblichen Namen zu gehen. [...] Es ist eine recht wichtige und hübsche Entdeckung, die Hr. Doktor gemacht hat, und es machte mir ein ganz unbeschreibliches Vergnügen, davon zu hören. Es ist ein ganz sonderbarer Umstand, dass die Salznatur so vollständig verschwindet, wenn die Säure und das Ammoniak sich vereinigen, was für künftige Theorien sicher sehr aufklärend sein wird. [...]

## **A2: Ausgewählte Zitate von Alfred Nobel und Fritz Haber**

### ***Alfred Nobel (1833-1896)***

#### Äußerung nach dem 4. Weltfriedenskongress 1892 in Bern:

„Meine Fabriken werden vielleicht dem Krieg noch früher ein Ende machen [...]: an dem Tag, da zwei Armeekorps sich gegenseitig in einer Sekunde werden vernichten können, werden wohl alle zivilisierten Nationen zurückschauern und ihre Truppen verabschieden.“ (zit. nach Kant 1986, S. 94)

#### Überlieferte Bemerkung gegenüber einem franz. Rüstungsindustriellen im Jahre 1890:

„Eine Erhöhung der tödlichen Präzision des Kriegsmaterials wird uns den Frieden nicht sichern. Die beschränkte Wirkung der Sprengstoffe bildet in dieser Hinsicht ein großes Hindernis. Es gibt nur ein Mittel der Abhilfe: Der Krieg muß so geführt werden, daß nicht nur der Soldat an der Front, sondern auch die Zivilbevölkerung in der Heimat von der Vernichtung bedroht wird. Lassen Sie das Damokles-Schwert über jedermanns Haupt schweben, meine Herren, und sie werden Zeugen eines Wunders werden jegliche kriegerische Handlung wird innerhalb kürzester Zeit eingestellt werden, wenn die Waffen zum Beispiel bakteriologischer Natur sind.“ (zit. nach ebd., S. 94)

#### Brief an Berta v. Suttner:

„Ich möchte einen Stoff oder eine Maschine schaffen können, von so fürchterlicher, massenhaft verheerender Wirkung, daß dadurch Kriege unmöglich würden.“ (zit. nach Vögtle 1983, S. 52)

### ***Fritz Haber (1868-1934)***

#### Auszüge aus der Aussage vor dem Untersuchungsausschuss des Deutschen Reichstages zum Gaskrieg im 1. WK im Oktober 1923:

„Während des Jahres 1918 waren 20 bis 30 % aller amerikanischen Verluste durch Gas verursacht, woraus hervorgeht, daß die Gaskampfstoffe eines der mächtigsten Kriegsmittel bilden. Die Berichte zeigen aber, daß bei Ausrüstung der Truppen mit Masken und anderen Gasabwehrmitteln nur 3 bis 4 % der Gaserkrankungen zum Tode führten. Dies lehrt, daß sich die Gaswaffe nicht nur zu einer der wirksamsten, sondern zugleich zu einer der humansten Waffen ausgestalten läßt.“ (zit. nach Stoltzenberg 1994, S. 311)

#### Vortrag vor Reichswehroffizieren am 11.11. 1920:

„Für den Techniker ist er [der Krieg] ein Verfahren, um den Gegner mit technischen Hilfsmitteln, die der Soldat bedient, aus seinen Stellungen zu verjagen oder ihn darin zu vernichten.“ (zitiert nach Martinetz 1996, S. 113f.)

Auszüge aus einem Briefwechsel mit Hermann Staudinger, da dieser Haber seine in Frankreich erschienene Publikation „Technik und Krieg“ zu kommen ließ und um dessen Stellungnahme bat, doch Haber wollte keine Stellung beziehen:

*Staudinger:*

„Ich hoffte [...], daß nämlich gerade wir Chemiker in Zukunft die Verpflichtung haben, auf die Gefahren der modernen Technik aufmerksam zu machen, um so für eine friedliche Gestaltung der europäischen Verhältnisse zu wirken, da ein nochmaliger Krieg in seinen Verheerungen fast unausdenkbar wäre.“

*Haber:*

„Sie wollen aus idealen Motiven gegen den Krieg wirken, was jeder nur respektieren kann. Sie erkennen, daß die Chemie die Hauptrolle in der Erzeugung der Kriegsmittel spielt und hoffen Ihr ideales Ziel zu erreichen, indem Sie auf Einstellung solcher chemischer Tätigkeit wirken. Diese Idee ist wenig fruchtbar. Von der technischen Seite her läßt sich der ewige Friede nicht sichern. [...] [Sie behaupten], daß dieses neue Verbrechen ungeheure Leiden geschaffen habe. Diese Behauptung machen Sie sich nicht nur zu eigen, sondern steigern sie mit einer zwar nicht von Sachkunde geleiteten aber durch ihre wissenschaftliche Darstellungsweise auf den Unkundigen [...] eindrucksvollen Phantasie. Von diesen feindlichen Behauptungen ist nichts richtig. [...]Der Schaden, den ein solcher Professor dem deutschen Reiche dadurch zufügt, daß er mit seinem französisch geschriebenen Aufsatz die gegnerischen Verleumdungen tatsächlich, wenn auch nicht absichtlich, fördert, der bleibt und ist nicht mehr gutzumachen, und das ist es, was mich von Ihnen trennt.“


*Staudinger (antwortet nach fast einen Monat/war sehr betroffen von Habers Aussagen):*


„Die Militärs und weite Kreise des Volkes auf beiden Seiten sind natürlich immer noch der Meinung, dass so wie es Kriege gegeben hat, es auch immer Kriege geben wird und dass die Menschheit mit fortschreitender Technik nur die Methoden der Kriegsführung ändert. Demgegenüber ist es Aufgabe und Pflicht jedes Menschen, der nur einen gewissen Einblick in die heutige Technik besitzt, darauf hinzuweisen, dass sowohl die Art der Vernichtungsmittel, wie ihre Größe ganz andersartige sind, so daß bei nochmaligem Kampf von Industrievölkern, die ihre technischen Fähigkeiten im Krieg ausnützen können, eine noch nie dagewesene Vernichtung eintreten wird. [...] Immerhin möchte ich doch schließlich noch betonen, welche eine Bedeutung es gehabt hätte, wenn ein Mann von Ihren Kenntnissen, speziell des Auslandes und der Möglichkeit der amerikanischen Technik, zur rechten Zeit auf die Gefahren hingewiesen hätte, die der verhängnisvolle Bruch mit Amerika herbeiführen mußte. Eine klare und deutliche Stellungnahme von Ihrer Seite während des Krieges wäre bei Ihrer Bedeutung selbstverständlich von größtem Einfluß gewesen und hätte großen Eindruck erweckt.“ (zit. nach Stoltzenberg 1994, S. 317ff.)

**A3:** Auszüge aus einem Nachtrag zu der TV-Diskussion **Hart aber fair: Restrisiko auf Rezept** am 7.11.2007 (Quelle: www3)

Bernd Eberwein über die damalige Innovation Contergan

Bernd Eberwein, Geschäftsführer des Bundesverbandes der Arzneimittel-Hersteller, sagt, Contergan sei zu seiner Zeit als relativ untoxisches Medikament ein sehr willkommenes Präparat gewesen, da die Alternativen an Schlaf- und Beruhigungsmitteln nicht unbedenklich waren. **Stimmt das?**

**Kai Daniel Grandt:**  Nein. Obwohl insbesondere der Einsatz bei Schwangeren beworben wurde, gab es noch nicht einmal tierexperimentelle Untersuchungen dazu. Herr Eberwein meint, dass die einmalige Gabe einer viel zu hohen Dosis von Contergan weniger gefährlich war als bei anderen Schlaf- und Beruhigungsmitteln. Das ist zwar richtig, zeigt aber genau das Problem: von dem Einzelaspekt der akuten Giftigkeit wurde fahrlässigerweise auf das Gesamtrisiko geschlossen.

**Harald G. Schweim:**  Stimmt. Neben - relativ schwach wirksamen - pflanzlichen Produkten waren Chloralhydrat, Bromharnstoffe und Barbiturate die Schlafmittel jener Zeit. Ersteres wurde unangenehm riechend über die Atemluft abgegeben, letztere waren hoch nebenwirkungsreich, recht toxisch - und Barbiturate außerdem genutzte Mord- und Selbstmordmittel. Contergan war relativ untoxisch und - bezogen auf die Nebenwirkungen im Vergleich der Konkurrenzprodukte - sehr nebenwirkungsarm. Da Contergan unter anderem auch gegen die typische, morgendliche Schwangerschaftsübelkeit in der frühen Schwangerschaftsphase half, wurde es Ende der 1950er Jahre gezielt als das Beruhigungs- und Schlafmittel für Schwangere empfohlen. Im Hinblick auf Nebenwirkungen galt es als besonders sicher. Eine ausreichende Prüfung auf fruchtschädigende Wirkung war zu jener Zeit leider nicht Standard in der Arzneimittelentwicklung.

Prof. Grandt ist Chefarzt für Innere Medizin am Klinikum Saarbrücken und Vorstandsmitglied der Arzneimittelkommission der deutschen Ärzteschaft.

Harald G. Schweim ist Professor für Pharmazie und lehrt am pharmazeutischen Institut der Universität Bonn "Drug Regulatory Affairs".