



universität
wien

DIPLOMARBEIT

Titel der Diplomarbeit

„Vorstellungen Naturwissenschaftsstudierender
der Universität Wien über *Nature of Science* mit
besonderem Fokus auf den Aspekt Atome“

verfasst von

Hannah Todt

angestrebter akademischer Grad

Magistra der Naturwissenschaften (Mag.rer.nat.)

Wien, 2014

Studienkennzahl lt. Studienblatt:

A 190 406 423

Studienrichtung lt. Studienblatt:

Lehramtsstudium UF Mathematik UF Chemie UniStG

Betreut von:

Univ.-Prof. Dr. Anja Lembens

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre hiermit an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe. Die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Gedanken sind als solche kenntlich gemacht. Die Arbeit wurde bisher in gleicher oder ähnlicher Form keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt und auch noch nicht veröffentlicht.

Wien, im Juni 2014

Unterschrift der Verfasserin

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei allen bedanken die zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben.

An erster Stelle ist meine Betreuerin, Universitäts-Professorin Dr. Anja Lembens, zu nennen, die das Thema und das Material für diese Arbeit bereit gestellt hat und mich vor allem während der Auswertung geduldig beraten und unterstützt hat. Ebenfalls unterstützt hat mich Universitätsassistentin Dr. Simone Abels, die sich immer die Zeit genommen hat, Fragen zum Verfassen dieser Arbeit zu beantworten.

Meinem Kollegen Mag. Christoph Weberndorfer danke ich für die vielen Gespräche.

Ganz besonders möchte ich auch meinen Eltern danken, die mir dieses Studium erst ermöglicht haben und mir die Zeit gegeben haben, die ich brauchte, um diese Arbeit zu verfassen.

Danke.

Inhaltsverzeichnis

Einleitung	1
Theoretische Grundlagen	5
1 Die Forderung nach naturwissenschaftlicher Bildung: ein historischer Überblick.....	5
2 Scientific Literacy	7
2.1 Die Bedeutung von <i>Scientific Literacy</i> als Bildungsziel für alle Menschen	9
3 <i>Nature of Science</i> – Natur der Naturwissenschaften	11
3.1 Wichtige Aspekte von <i>Nature of Science</i>	12
3.2 Aspekte von <i>Nature of Science</i> , welche im Fokus dieser Arbeit stehen	15
3.2.1 Der Modellcharakter und die Beobachtbarkeit von theoretischen Entitäten.....	15
3.2.2 Die Vorläufigkeit naturwissenschaftlichen Wissens.....	16
3.2.3 Das „Beweisen“ in den Naturwissenschaften	18
3.3 Die Bedeutung von adäquaten Vorstellungen über <i>Nature of Science</i> für den naturwissenschaftlichen Unterricht	19
3.4 Anforderungen an Lehrende in den Naturwissenschaften und deren Ausbildung	21
4 Atome in Schule und Wissenschaft.....	25
4.1 Quellen für das Wissen über den Atomaufbau	26
4.1.1 Pädagogischer Wert der Beschäftigung mit der Genese des Wissens über Atome	28
4.2 Modelle in den Naturwissenschaften.....	29
4.2.1 Pädagogischer Wert der Beschäftigung mit Atommodellen	31
4.3 Die Vorläufigkeit des Wissens über Atome	33
4.3.1 Pädagogischer Wert der Beschäftigung mit der Vorläufigkeit naturwissenschaftlicher Erkenntnisse	35
5 Verfahren zur Erhebung der Vorstellungen über <i>Nature of Science</i>	36
5.1 Über die Erhebung und Beschreibung von epistemologischen Überzeugungen und damit verbundene Herausforderungen	36
5.2 Erhebungsinstrumente zur Erfassung der Vorstellungen über <i>Nature of Science</i>	37
5.3 Deutschsprachige Erhebungsverfahren zur Erfassung der Vorstellungen über <i>Nature of Science</i>	38
5.4 Der <i>Views of Nature of Science</i> -Fragebogen.....	39
Empirischer Teil.....	41
6 Methodik	43
6.1 Festlegung des Materials	43
6.2 Analyse der Entstehungssituation.....	45
6.3 Formale Charakteristika des Materials	45
6.4 Richtung der Analyse	46
6.5 Theoriegeleitete Differenzierung der Fragestellung.....	46
6.6 Bestimmung der Analyseeinheiten	47

6.7	Festlegung der Einschätzungsdimensionen	47
6.8	Bestimmung der Ausprägungen	48
6.9	Erstellung des Kategoriensystems: Formulierung von Definitionen, Ankerbeispielen und Kodierregeln zu den einzelnen Kategorien	49
6.10	Gütekriterien der Inhaltsanalyse	53
6.11	Das finale Kategoriensystem	54
7	Darstellung und Beschreibung der Ergebnisse.....	64
7.1	Die Vorstellungen der Studierenden über die Rechtfertigung des Wissens, den Modellcharakter und die Vorläufigkeit des Wissens über Atome	64
7.2	Die Vorstellungen der Lehramtsstudierenden über Atome in Gegenüberstellung mit denen der Fachwissenschaftsstudierenden	66
7.3	Die Vorstellungen der Lehramtsstudierenden über Atome in Gegenüberstellung der Unterrichtsfächer Biologie, Chemie und Physik.....	69
7.4	Die Vorstellungen der Fachwissenschaftsstudierenden über Atome in Gegenüberstellung der Fächer Biologie, Chemie und Physik.....	71
7.5	Die Vorstellungen der Lehramtsstudierenden über Atome in Abhängigkeit des Zweitfaches	74
7.6	Die Vorstellungen der Studierenden über Atome in Abhängigkeit zur Studiendauer 77	
7.7	Weitere ausgewertete Ergebnisse	79
8	Diskussion und Interpretation der Ergebnisse.....	81
9	Methodenreflexion	87
10	Zusammenfassung der Ergebnisse und Resümee.....	90
Anhang		93
	Tabelle mit allen ausgewerteten Daten	93
	Vollständige Abbildung des Fragebogens der Online-Erhebung.....	95
	Literaturverzeichnis.....	103
	Abbildungsverzeichnis.....	109
	Tabellenverzeichnis.....	110
	Zusammenfassung.....	111
	Abstract	113
	Lebenslauf	115

Einleitung

Eine naturwissenschaftliche Grundbildung ist für die Menschen einer modernen Gesellschaft, die durch Naturwissenschaft, Technologie und raschen Fortschritt bestimmt wird, unverzichtbar. Die Gründe für diese Unverzichtbarkeit sind vielfältig, vor allem geht es aber um die persönlichen Möglichkeiten und Fähigkeiten des Einzelnen, sich in einem von Naturwissenschaften geprägten Umfeld zurechtzufinden und verantwortungsbewusst Entscheidungen treffen zu können (Gräber & Nentwig, 2002; Lembens & Rehm, 2010). Die fachwissenschaftlichen Inhalte der Naturwissenschaften – das Wissen um biologische, chemische und physikalische Vorgänge – bilden zwar eine Grundlage für das Erreichen einer naturwissenschaftlichen Grundbildung (*Scientific Literacy*), sind aber gleichzeitig viel zu umfangreich, um sie im Unterricht vollständig abzudecken. Vielmehr sehen es Fachleuten aus den Gebieten der Fachdidaktik, der naturwissenschaftlichen Forschung, der Philosophie, Soziologie oder der Geschichte der Naturwissenschaften seit einigen Jahrzehnten als wichtiges Ziel an, dass alle Menschen angemessene Vorstellungen über wichtige grundlegende Vorgänge und Charakteristika der Naturwissenschaften entwickeln, wie zum Beispiel über die Vorläufigkeit naturwissenschaftlichen Wissens, die Rolle von Kreativität in den Naturwissenschaften oder die Funktion von Modellen. Diese Charakteristika der Naturwissenschaften werden mit dem Begriff *Nature of Science* bezeichnet und beforscht. Diese Forschung befasst sich vor allem damit, welche Vorstellungen und Ansichten als adäquat angesehen werden, wie man sie misst und wie adäquate Vorstellungen entwickelt werden können.

Da für die meisten Menschen die Schule die letzte Möglichkeit darstellt, sich systematisch mit Chemie oder auch anderen Naturwissenschaften auseinanderzusetzen (Lembens & Rehm, 2010), und hier die wichtigen Wurzeln für lebenslanges Lernen gelegt werden (Carey & Smith, 1993), kommt dem Unterricht in Bezug auf *Nature of Science* eine wichtige Rolle zu. Somit sollte es das Ziel des naturwissenschaftlichen Unterrichts sein, Schüler und Schülerinnen dazu zu befähigen, angemessene Vorstellungen über *Nature of Science* zu entwickeln, mit denen sie auch außerhalb des Unterrichts ihren Alltag verantwortungsvoll bewältigen können (Abd-El-Khalick, 2006). Ein Beispiel dafür wäre die tägliche Konfrontation mit Werbung, welche immer wieder mit naturwissenschaftlichen Erkenntnissen zu überzeugen versucht. Wenn eine Person weiß, woher eine Erkenntnis kommt, kann sie deren Relevanz realistischer einschätzen als wenn sie alles naiv glauben muss weil sie es selbst nicht besser weiß. Bei der Entwicklung von angemessenen

Vorstellungen kommt den Lehrpersonen eine wichtige Rolle zu, denn deren individuelle Vorstellungen über *Nature of Science* wirken sich auf die Gestaltung ihres Unterrichts und dadurch letztlich auf die Vorstellungen der Schüler und Schülerinnen über NOS aus (Hofer, 2001).

Diese Aufgabe, adäquate Vorstellungen über *Nature of Science* erfolgreich in Schülern und Schülerinnen zu entwickeln, können Lehrer und Lehrerinnen allerdings nicht alleine bewältigen. Zunächst brauchen sie selbst Möglichkeiten, um angemessene Vorstellungen über *Nature of Science* zu entwickeln. Des Weiteren benötigen sie eine didaktische Ausbildung, die sie darin schult, im Unterricht Themen oder Anlässe zu erkennen, die ein Potential für die Vermittlung von solchen Vorstellungen über *Nature of Science* enthalten (Bruns, 2009). Erst dann können sie fruchtbare Lernumgebungen schaffen, in denen Schüler und Schülerinnen über die Charakteristika der Naturwissenschaften lernen können

Aufbauend auf diesen Erkenntnissen ist die Notwendigkeit für spezielle Lehrveranstaltungen, die zukünftige Lehrer und Lehrerinnen genau dazu befähigen sollen, klar ersichtlich. Eine solche Lehrveranstaltung fand im Wintersemester 2010/2011 an der Universität Wien statt. Darin wurde Lernen über die Aspekte von *Nature of Science* mit der Planung und Durchführung einer Studie über die Erfassung der Vorstellungen der Studierenden über *Nature of Science* kombiniert. Die Lehrveranstaltung richtete sich an Lehramtsstudierende des Faches Chemie, welche eine Online-Befragung mit den Studierenden der Fächer Biologie, Chemie und Physik an der Universität Wien durchführten. Als Basis für die Entwicklung eines eigenen Fragebogens diente der englische Fragebogen VNOS-C (*Views of Nature of Science- Version C*) von Abd-El-Khalick (2006), mit dem bereits College-Studierende zu ihren Vorstellungen über *Nature of Science* befragt wurden. Schwerpunkte der Befragung waren ausgewählte Dimensionen von *Nature of Science*, wie zum Beispiel die Vorläufigkeit naturwissenschaftlichen Wissens, die Rolle von Experimenten, die Funktion von Modellen, die Rolle von Kreativität und der Unterschied zwischen Theorien und Gesetzen. Ein Teil der gewonnenen Daten, die Antworten der Chemiestudierenden, wurde bereits im Rahmen dieses Seminars ausgewertet.

Da allerdings die vollständige Analyse aller 245 eingegangener Fragebögen die Kapazitäten dieser Lehrveranstaltung in einem Semester überschritten hätte, beschäftigt sich nun diese Diplomarbeit mit der detaillierten Auswertung der Fragebögen aller Fächer. Schwerpunkt ist dabei der für Chemie besonders interessante Aspekt „Atome“. Atome und Atommodelle spielen im Chemieunterricht eine wichtige Rolle, zum Beispiel für den Aufbau

der Materie, für das Verständnis von Reaktionen und Anderem. Darüber hinaus eignen sich Atome und ihre Modelle besonders gut für das Entwickeln von Vorstellungen über *Nature of Science*, da an ihrem Beispiel mehrere Aspekte von *Nature of Science* dargestellt und erklärt werden können. So lässt sich zum Beispiel die Vorläufigkeit naturwissenschaftlichen Wissens anhand der Geschichte der Atommodelle veranschaulichen. Es kann besprochen werden, dass Atommodelle auf Messungen, Berechnungen und deren Interpretationen durch ein kreatives Individuum, nicht aber auf Anschauung beruhen. Des Weiteren, was jedes einzelne Atommodell leisten kann, wo seine Grenzen liegen und welche Bedeutung es in der Naturwissenschaft hat. Die Erkenntnis, dass nicht nur wichtig ist, *was* wir wissen, sondern auch, *woher* wir wissen, was wir wissen kann im Unterricht anlässlich einer Beschäftigung mit der Genese des Wissens über den Atomaufbau vertieft werden. Zum Beispiel, indem diskutiert wird, dass es in den Naturwissenschaften keine Beweise im Alltagssprachlichen oder mathematischen Sinn gibt und, dass neues Wissen in den Naturwissenschaften auf der Interpretationen von Daten und daraus abgeleiteten Schlussfolgerungen basiert.

Die Analyse der Vorstellungen der Biologie-, Chemie- und Physikstudierenden zu diesen Aspekten soll zur Beantwortung folgender Forschungsfragen führen:

- Inwiefern haben Studierende der Fächer Biologie, Chemie und Physik unterschiedliche Vorstellungen über Atome?
- Haben Lehramtsstudierende und Fachwissenschaftsstudierende der Fächer Biologie, Chemie und Physik unterschiedliche Vorstellungen über Atome?
- Welchen Einfluss hat das Zweitfach (Naturwissenschaft oder keine Naturwissenschaft) auf die Vorstellungen von Lehramtsstudierenden über Atome?
- Welchen Einfluss hat die Studiendauer auf die Vorstellungen von Studierenden der Fächer Biologie, Chemie und Physik über Atome?

Die durch die 245 ausgefüllten Fragebögen erhaltenen Antworten werden mittels qualitativer Inhaltsanalyse nach Mayring (2010) analysiert und mit Hilfe des Datenauswertungsprogramms MAXQDA kategorisiert.

Die Ergebnisse der Arbeit sollen einen Beitrag dazu leisten, Lehrveranstaltungen für zukünftige Chemielehrer und -lehrerinnen zu entwickeln, in denen diese Gelegenheit erhalten, angemessene Vorstellungen zu NOS-Aspekten zu entwickeln.

Gliederung der Arbeit

Im ersten Teil der Arbeit werden die theoretischen Grundlagen dargestellt, die für das Thema und die Analyse im empirischen Teil wichtig sind. Ein historischer Überblick zeigt die zunehmende Relevanz der Bedeutung naturwissenschaftlicher Bildung seit dem 16. Jahrhundert. Danach werden die wichtigen Begriffe *Scientific Literacy* und *Nature of Science* definiert. Im Abschnitt über *Nature of Science* wird besonders auf die Aspekte eingegangen, die für den Schwerpunkt dieser Arbeit, „Atome“, wichtig sind. Anschließend folgt ein Überblick über relevante Ergebnisse fachdidaktischer Forschung mit Blick auf *Nature of Science* und die sich daraus ergebenden Anforderungen an zukünftige Lehrer und Lehrerinnen. Es folgt ein Kapitel, das sich ausschließlich dem Schwerpunkt „Atome“ aus naturwissenschaftlicher und schulischer Perspektive widmet. Da die meisten Aspekte von *Nature of Science* Aussagen über die Naturwissenschaften allgemein sind, sollen hier wichtige Grundlagen über Atome speziell aus Sicht der Chemie dargestellt werden. Den Abschluss des theoretischen Teils bildet der Abschnitt, welcher sich mit Erhebungsverfahren von Vorstellungen über *Nature of Science* befasst.

Der Hauptteil dieser Arbeit ist die Analyse und Interpretation der Daten, die die Vorstellungen der Naturwissenschaftsstudierenden der Universität Wien widergeben. Zunächst werden die Rahmenbedingungen der Studie dargestellt, wie die Beschreibung der teilnehmenden Studierenden oder die genaue Entstehungssituation des Materials. Danach folgt die Dokumentation der angewendeten Methode, um darzustellen, wie die Ergebnisse erhalten wurden. Die Ergebnisse werden dann in Diagrammen grafisch dargestellt und erklärt. In der folgenden Diskussion und Interpretation der Ergebnisse werden die Vorstellungen der Studierenden diskutiert und deren Abhängigkeit von verschiedenen Variablen wie Studienrichtung, Studiendauer oder Alter dargestellt. Bevor es zum Schluss kommt, folgt eine Reflexion über die angewandten Methoden und aufgetretenen Herausforderungen in der Arbeit. Den Abschluss der Arbeit bildet das Resümee, in welchem die zentralen Ergebnisse der Arbeit zusammengefasst und die Bedeutung der Ergebnisse für die Schule und das Lehramtsstudium hervorgehoben werden.

Theoretische Grundlagen

1 Die Forderung nach naturwissenschaftlicher Bildung: ein historischer Überblick

Während des gesamten Mittelalters lieferte die Religion die Mittel zur Erklärung der Phänomene der Welt. Einzelne Wissenschaftler begannen bereits im 16. Jahrhundert, sich vermehrt mit der Bedeutung naturwissenschaftlichen Wissens auseinanderzusetzen. Seither erhielten wissenschaftliche Erkenntnisse immer mehr Einfluss auf die Menschen und ihren Alltag:

Der englische Philosoph Francis Bacon, welcher von 1561 bis 1626 lebte, schrieb darüber, wie wichtig naturwissenschaftliche Bildung für den Menschen ist. Auf ihn geht der bekannte Aphorismus „Wissen ist Macht“¹ zurück. Im Zentrum seiner Philosophie und als Ziel seiner Forschung standen dabei immer das Wohl des Menschen und sein Streben nach einem höheren Dasein. Naturerkenntnis sollte den Menschen von Aberglauben und Irrtümern befreien und so zu seiner geistigen Entwicklung beitragen (vgl. Hammer, 1980, S. 3 ff.).

1798 bemerkte Thomas Jefferson, damals Vizepräsident der USA, dass naturwissenschaftliche Bildung Grundlage dafür ist, die Natur und alle damit verbundenen Vorgänge zu verstehen, und dass die dafür geforderten Fähigkeiten gefördert werden sollten. Er verlangte eine Reform und Verbesserung der Schulausbildung mit Fokus auf Naturwissenschaften (vgl. Hurd, 1998, S. 407 ff.).

1847 hielt James Wilkinson, Mitglied des Royal College of Surgeons in London, eine Vorlesung mit dem programmatischen Titel „Science for All“. Belegen, (vgl. Wilkinson, 1847, zitiert nach Hurd, 1998)

Etwa zeitgleich mit Wilkinson beschäftigte sich der britische Philosoph Herbert Spencer mit ähnlichen Fragen wie schon 200 Jahre zuvor Francis Bacon. Er kritisierte, dass in der Schule nur Fakten unterrichtet wurden, und die Schüler und Schülerinnen damit zum Kopieren anderer Ideen erzogen wurden. Er forderte, dass das aktive Forschen, Hinterfragen und selbstständige Arbeiten mehr Aufmerksamkeit bekommen sollte (vgl. Hurd, 1998; Hammer, 1980).

Weitere bekannte Wissenschaftler dieser Zeit, welche sich öffentlich für die bessere Bildung in Naturwissenschaften aussprachen, waren die Physiker Michael Faraday und John

¹ Original Latein: „Scientia et potentia humana in idem coicidunt quia ignoratio causae destituit effectum“ (Bacon, 1620, S. 157).

Tyndall, der Biologe Thomas Huxley, der Geologe Charles Lyell und der Chemiker und Harvard-Professor Charles Eliot (vgl. DeBoer, 1991, zitiert nach DeBoer, 2000).

Im Laufe des 19. Jahrhunderts wurden die Naturwissenschaften nach diesem langen Prozess der Entwicklung schlussendlich fester Bestandteil des Schullehrplans, sowohl in den USA als auch in Europa (vgl. DeBoer, 2000). Die Entwicklung ging von da an vermehrt in die Richtung, dass ein Lernen von naturwissenschaftlichen Fakten und Details allein nicht als ausreichendes Bildungsziel betrachtet wird. Der Umfang an naturwissenschaftlichem Wissen hat Ausmaße, die nie auch nur annähernd im Schulbereich behandelt werden können, abgesehen davon, dass viele Bereiche schnell veralten und an Aktualität verlieren. Deshalb soll neben den fachwissenschaftlichen Inhalten vermehrt ein grundsätzliches Verständnis für die Charakteristika der Naturwissenschaften vermittelt und die gesellschaftliche Funktion der Naturwissenschaften im Unterricht herausgearbeitet werden (vgl. Hofheinz, 2008). International wird eine naturwissenschaftliche Grundbildung, die die drei genannten Bereiche fachwissenschaftliche Inhalte, ein Verständnis für die Charakteristika der Naturwissenschaften und die gesellschaftliche Bedeutung der Naturwissenschaften abdeckt, mit *Scientific Literacy* bezeichnet.

Der Begriff *Scientific Literacy* kam bereits Ende der 50er Jahre auf, einer der ersten, der den Begriff verwendete und gedruckt veröffentlichte, war Paul DeHart Hurd. Dabei stellte er *Scientific Literacy* als Ziel naturwissenschaftlicher Erziehung dar (vgl. Hurd 1958, zitiert nach Hurd 1998, S. 408). In den letzten Jahrzehnten des 20. Jahrhunderts bildeten sich im Zuge der fachdidaktischen Forschung immer detailliertere Forderungen an die Erziehung und Bildung in den Naturwissenschaften aus, welche im folgenden Kapitel dargestellt werden.

2 Scientific Literacy

Scientific Literacy gilt heute international als Ziel naturwissenschaftlicher Erziehung. Die verschiedenen Definitionen, die es für *Scientific Literacy* gibt, basieren einerseits auf Ergebnissen der Forschung um *Scientific Literacy*, andererseits aus Vorstellungen davon, was eine Person, die als *scientific literate* zu beschreiben ist, können und wissen sollte (vgl. Laugksch, 2000, S. 76). Einige bedeutende Definitionen werden hier nun genannt und diskutiert.

Zum Beispiel stellt die Definition aus dem OECD-PISA² Projekt international eine wichtige Quelle für den naturwissenschaftlichen Unterricht dar. Darin ist *Scientific Literacy* zusammen mit *Reading Literacy* und *Mathematical Literacy* eine der drei Domänen welche in den PISA-Studien³ getestet werden. Die Definition und Erklärung von *Scientific Literacy* lautet für das PISA-Projekt:

An individual's scientific knowledge and use of that knowledge to identify questions, to acquire new knowledge, to explain scientific phenomena, and to draw evidence based conclusions about science-related issues, understanding of the characteristic features of science as a form of human knowledge and enquiry, awareness of how science and technology shape our material, intellectual, and cultural environments, and willingness to engage in science-related issues, and with the ideas of science, as a reflective citizen. (OECD, 2006, S. 12)

Für den Schulbereich in den USA stellen die *National Science Education Standards* einen wichtigen Leitfaden dar. Er gibt vor, welche Ziele Schüler und Schülerinnen im Laufe ihrer Schulzeit erreicht haben sollten, vergleichbar mit den Bildungsstandards⁴. In einer relativ kompakten Zusammenfassung der *National Science Education Standards* wird *Scientific Literacy* folgendermaßen beschrieben:

² Organisation for Economic Co-operation and Development - Programme for International Student Assessment

³ Die PISA –Studien der OECD haben zum Ziel, alle drei Jahre die internationalen Bildungssysteme zu evaluieren, indem die Kompetenzen von 15-jährigen Schülern und Schülerinnen zu verschiedenen Bereichen erhoben werden (OECD, 2006).

⁴ In Österreich rückten Bildungsstandards in den letzten Jahren zunehmend in den Blickpunkt der fachdidaktischen Entwicklung. Mit diesen Standards werden erwünschte Lernstände für Schüler und Schülerinnen formuliert und gleichzeitig ein Bezugssystem erstellt, um den Bildungsstand der Schüler und Schülerinnen zu vergleichen. Es liegt somit auch für den Bereich der Naturwissenschaften ein Modell vor, welches Kompetenzen wie Bewerten, Entscheiden und Kommunizieren von Schülern und Schülerinnen fordert (vgl. Bifie, 2014a, 2014b).

An essential aspect of scientific literacy is greater knowledge and understanding of science subject matter, that is, the knowledge specifically associated with the physical, life, and earth sciences. Scientific literacy also includes understanding the nature of science, the scientific enterprise, and the role of science in society and personal life. (National Research Council, 1996, S. 21)

In einer genaueren Beschreibung von *Scientific Literacy* in den *National Science Education Standards* wird besonders der Alltagsbezug hervorgehoben: „Scientific Literacy is the knowledge and understanding of scientific concepts and processes required for personal decision making, participation in civic and cultural affairs, and economic productivity“ (National Research Council, 1996, S. 22).

Das Ziel von *Scientific Literacy* soll damit sein, dass alle Menschen neben dem Vertrautsein mit fachlichen naturwissenschaftlichen Konzepten, sich auch zu naturwissenschaftlichen Fragen angemessen ausdrücken können, Entscheidungen im Alltag treffen können, ihre Meinung vertreten können und aufgrund von Quelle und Genese naturwissenschaftlichen Wissens dessen Gültigkeit bewerten können (vgl. National Research Council, 1996, S. 22).

Eine der ersten und ältesten Arbeiten über die Definition von *Scientific Literacy* stammt von Pella et al. (1966). Aus 100 sorgfältig ausgewählten Artikeln, die sich mit *Scientific Literacy* auseinandersetzten und zwischen 1946 und 1964 publiziert wurden, wurde die Häufigkeit von Themen, die darin mit *Scientific Literacy* in Zusammenhang gebracht wurden, gezählt. Die sechs Themengebiete, welche am häufigsten vorkamen, nämlich zwischen 67- und 21-mal, wurden als wichtigste Aspekte von *Scientific Literacy* angenommen. Die drei am häufigsten genannten Gebiete aus diesen Dokumenten waren in absteigender Reihenfolge „science and society“, „ethics of science“ und „nature of science“. Danach folgten mit einigem Abstand „conceptual knowledge“, „science and technology“ und „science and humanities“ (Pella et al., 1966, S. 200).

Die drei Gebiete *Nature of Science* (siehe Kapitel 3), der gesellschaftliche Aspekt und die fachwissenschaftlichen Inhalte der Naturwissenschaften, welche auch in aktuellen Definitionen zu finden sind, waren damit von Anfang an wichtig für eine Annäherung an eine Definition von *Scientific Literacy*. Gemeinsam ist allen Definitionen auch, dass *Scientific Literacy* als naturwissenschaftliche Grundbildung jeden Menschen befähigen soll, im Alltag mit naturwissenschaftlichen Inhalten kompetent umgehen zu können.

Im folgenden Kapitel wird näher auf die Gründe eingegangen, warum es für alle Menschen einer modernen Gesellschaft wichtig ist, *scientific literate* zu sein.

2.1 Die Bedeutung von *Scientific Literacy* als Bildungsziel für alle Menschen

Naturwissenschaftliche Sachverhalte sind aus dem modernen Leben ebenso wenig wegzudenken wie naturwissenschaftliche Denkweisen. Daher ist *Scientific Literacy* auch für solche Menschen elementar, deren Interessen und berufliche Ausrichtung mit Naturwissenschaften scheinbar nur wenig zu tun haben (Millar & Osborne, 1998). Der Hauptgrund für *Scientific Literacy* als Bildungsziel ist es, dem Menschen dabei zu helfen, die Welt zu verstehen, die sich heute in Folge naturwissenschaftlicher Entwicklungen immer schneller verändert. Um eine verantwortungsvolle Einstellung zu gesellschaftlich relevanten naturwissenschaftlichen Themen, wie zum Beispiel Genmanipulation, einnehmen zu können, ist laut Millar und Osborne (1998) ein breites Grundverständnis von naturwissenschaftlichen Sachverhalten (*Scientific Literacy*) gefordert. Dabei könnte zum einen der Wert der Naturwissenschaften und ihre Bereicherung für unsere Kultur auf breitere Anerkennung stoßen, und gleichzeitig sollten mehr Menschen in der Lage sein, zu gesellschaftlich relevanten Themen mit naturwissenschaftlicher Implikation kritisch Stellung zu beziehen (Millar & Osborne, 1998).

Darüber hinaus fasst Fischer (1998) aus der englischsprachigen Literatur Gründe, die für *Scientific Literacy* als Bildungsziel sprechen, folgendermaßen zusammen:

- „Moderne Industriegesellschaften benötigen naturwissenschaftlich und technologisch gebildete Arbeitskräfte, um in einem globalen Markt konkurrieren zu können.
- Individuen einer Gesellschaft benötigen selbst grundlegendes Wissen über Naturwissenschaften und Technik [...], um als Individuen und Konsumenten effektiv handeln zu können.
- Naturwissenschaftliche Theorien sind eine große kulturelle gesellschaftliche Errungenschaft einer aufgeklärten Gesellschaft gegen Mystizismus und Obskurantismus und eine Herausforderung für das Individuum. Deshalb ist das Verstehen naturwissenschaftlich-aufklärerischer Ideen unabdingbarer Bestandteil der individuellen Entwicklung zu einem modernen Lebensstil.
- Bürger müssen in der Lage sein, gesellschaftliche Probleme naturwissenschaftlichen Inhalts zu verstehen, um an Diskussionen und demokratischen Entscheidungsprozessen teilhaben zu können.“ (Fischer, 1998, S. 42)

In den *National Science Education Standards* (National Research Council, 1996) wird des Weiteren betont, dass es nicht nur eine einzige Form von *Scientific Literacy* gibt, die zu erreichen ist, und dass sich im Laufe eines Lebens Umfang und Tiefe auch noch erweitern. Allerdings sei zu bedenken, dass die Einstellungen und Werte, die in frühen Jahren im Hinblick auf Naturwissenschaften entwickelt werden, prägend für die folgende Entwicklung sind (vgl. National Research Council, 1996, S. 22). Damit kommt den Schulen eine wesentliche Rolle bei der Vermittlung von *Scientific Literacy* zu, und damit im Vorfeld auch schon der Ausbildung der Lehrer und Lehrerinnen.

Auch Lembens und Rehm (2010) betonen die wichtige Rolle des Schulunterrichts als Vorbereitung für das Leben. Weil der Chemieunterricht für viele Menschen die letzte Möglichkeit bietet, sich systematisch mit Chemie auseinanderzusetzen, sollte er so unterrichtet werden, dass sich „den Lernenden Sinn und Wert des naturwissenschaftlichen Denkens, Arbeitens und Wissens für ihren Alltag erschließen“ (Lembens und Rehm, 2010, S. 285). Darüber hinaus sollte die Schule im Rahmen ihres Erziehungsauftrags ebenfalls „den Forderungen nach mehr Wertevermittlung, im ethisch wie im politischen Sinne, nach Erziehung zur Verantwortung und Demokratie“ (Lembens und Rehm, 2010, S. 290) nachkommen.

Schülern und Schülerinnen sollten durch diesen Erziehungsauftrag der Schule somit in jedem Unterrichtsfach, und damit auch in den Naturwissenschaften, die wichtigsten Grundlagen des jeweiligen Faches so vermittelt werden, dass ein befriedigendes Verstehen der Welt im Alltag möglich ist. In der Schule können dazu Ethik, fachwissenschaftliche Grundlagen und Ähnliches gelehrt werden, aber viele Inhalte, besonders in den Naturwissenschaften, können sich schnell ändern und sind sehr umfassend. Daher kommt dem Verstehen der grundsätzlichen Prinzipien der Naturwissenschaften, der *Natur der Naturwissenschaften (Nature of Science)*, besondere Bedeutung zu. In *Nature of Science* sind wichtige Grundsätze beinhaltet, welche für alle Naturwissenschaften gemeinsam gelten und die Basis für ein Verstehen vieler naturwissenschaftlicher Denk- und Arbeitsweisen bilden. Das folgende Kapitel stellt dies nun näher dar.

3 *Nature of Science* – Natur der Naturwissenschaften

Das Gebiet von *Nature of Science*⁵ stellt einen Teil von *Scientific Literacy* dar, welcher seit den 50er und 60er Jahren einen wichtigen Stellenwert in der fachdidaktischen Forschung einnimmt (vgl. Allchin, 2011; Abd-El-Khalick & Lederman, 2000). NOS beschäftigt sich dabei weniger mit den fachwissenschaftlichen Konzepten oder detailreichen Inhalten der einzelnen naturwissenschaftlichen Fächer selbst als mit ihren Gemeinsamkeiten, ihrer Geschichte, Soziologie, Philosophie und Psychologie, und deren Bedeutung für naturwissenschaftlichen Unterricht (vgl. McComas et al., 1998, S. 5).

Das Ziel eines NOS-orientierten Unterrichts ist es, dass Lernende adäquate epistemologische Überzeugungen entwickeln, welche als Hauptbestandteil einer naturwissenschaftlichen Grundbildung gelten (vgl. McComas et al., 1998; Urhahne & Hopf, 2004). Epistemologische Überzeugungen sind „individuelle subjektive Ansichten, Auffassungen und Theorien über die Genese, Ontologie, Bedeutung, Rechtfertigung und Gültigkeit von Wissen in den Wissenschaften. Sie spiegeln damit Grundauffassungen und Einstellungen gegenüber Wissenschaften wider“ (Priemer, 2006, S. 160). Der Begriff der Epistemologie stammt ursprünglich aus der Philosophie und Psychologie und betrifft in diesen Bereichen die Vorstellungen über Wissenschaften allgemein. Es gibt aber auch domänenspezifische epistemologische Überzeugungen, die speziellen Wissenschaftsbereichen zugeordnet werden, wie zum Beispiel Ansichten über NOS den Naturwissenschaften zugeordnet sind.

Diese Ansichten über NOS präzisiert Priemer (2006) mit folgenden Inhalten:
„Ansichten über

- die Praxis naturwissenschaftlichen Arbeitens (z.B. die Generierung von Wissen in den Naturwissenschaften, verwendete Methoden und Verfahren, soziale Diskurse der Wissenschaftlergemeinschaft),

⁵ *Nature of Science* wird im Deutschen mit *Natur der Naturwissenschaften* übersetzt. In dieser Arbeit werden beide Begriffe synonym verwendet, meistens aber die kurze Form NOS.

In dieser Arbeit wird NOS allerdings anders als bei englischen Autoren (zum Beispiel Abd-El-Khalick und Lederman, 2000) zum Teil mit dem weiblichen bestimmten Artikel verwendet wenn es aus Gründen der Leserlichkeit erforderlich ist, wie dies auch bei Bruns (2009) gemacht wird. Die Autorin ist sich dennoch darüber bewusst, dass nicht an einem einzigen, starren Konzept von NOS festgehalten wird.

- den epistemologischen Status naturwissenschaftlichen Wissens (z.B. Bedeutung und Gültigkeit gewonnener Aussagen, Gesetzmäßigkeiten und Theorien),
- die Strukturierung und Klassifikation von Wissen (z.B. der Aufbau und die Einteilung wissenschaftlicher Domänen) und
- die persönliche Bedeutung naturwissenschaftlicher Inhalte (z.B. Lernbarkeit und Relevanz für das tägliche Leben).“ (Priemer, 2006, S. 160 ff.)

Im Folgenden wird dargelegt, welche Ansichten über die Naturwissenschaften als angemessen betrachtet werden können und welche nicht.

3.1 Wichtige Aspekte von *Nature of Science*

Während bei Fachleuten aus den Gebieten der Fachdidaktik, der naturwissenschaftlichen Forschung, der Philosophie, Soziologie oder der Geschichte der Naturwissenschaften grundsätzlich Einigkeit darüber herrscht, was NOS alles umfasst (siehe Abschnitt 3 bei McComas et al, 1998; Priemer, 2006), sind sich diese Fachleute keineswegs darin einig, welche Ansichten im Einzelfall als angemessen gelten und welche nicht.

Trotz dieser grundsätzlichen Diskussion herrscht aber durchaus ein Konsens darüber, was Schüler und Schülerinnen über die *Natur der Naturwissenschaften* wissen sollten. Dieser Konsens wird durch eine von McComas et al. (1998, S. 6) zusammengestellte Liste von Aussagen abgebildet, welche die häufigsten Überschneidungen von acht relevanten internationalen „science education standards documents“⁶ wiedergibt. Dabei wurden vier besonders wichtige Dimensionen identifiziert welche zu einem Verständnis von NOS beitragen sollen. Diese sind Philosophie, Geschichte, Soziologie und Psychologie der Naturwissenschaften (vgl. McComas & Olson, 2002, S. 49). Das Verhältnis der vier Disziplinen zueinander und ihr Ausmaß an Einfluss auf NOS werden in Abbildung 1 dargestellt, die Größe der Kreise steht für den Umfang des Einflusses der jeweiligen Disziplin auf NOS.

⁶ Die acht Publikationen stammen aus den USA, Australien, England, Neuseeland und Kanada und stellen in dem jeweiligen Land Richtlinien für den Schulunterricht dar. In einigen Dokumenten wird Nature of Science ein eigenes Kapitel gewidmet, wie zum Beispiel in den *Benchmaks for Science Literacy* (AAAS, 1993; USA). In anderen, wie zum Beispiel in den *National Science Education Standards* (National Research Council, 1996; USA) sind die Inhalte nicht explizit für NOS formuliert, sondern in die verschiedenen Kapitel integriert.

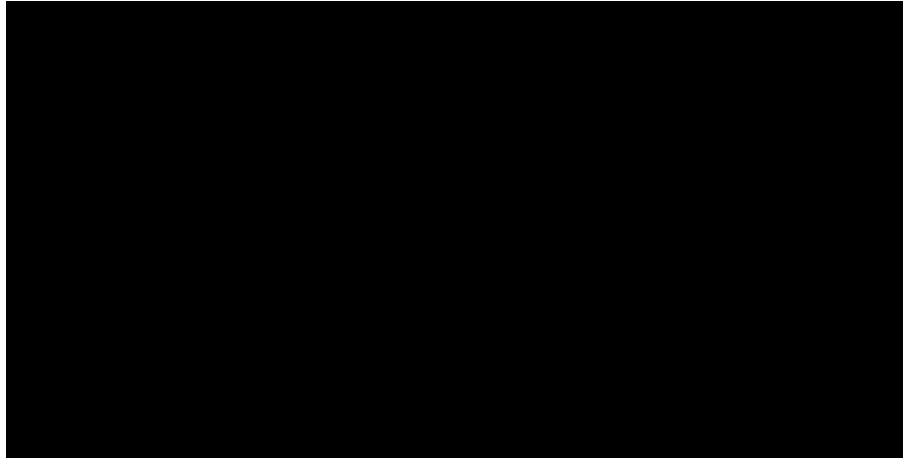


Abbildung 1: Darstellung der vier Disziplinen, welche zu einem Verständnis von NOS beitragen. Bildquelle: McComas & Olson, 2002, S. 50.

Die Liste der konsensfähigen Aussagen von McComas et al. (1998, S. 6) lautet (übersetzt aus dem Englischen von Priemer, 2006, S. 161):

- „Wissen in den Naturwissenschaften ist, obwohl es zuverlässig ist, nicht unveränderlich.
- Wissen in den Naturwissenschaften beruht stark, aber nicht vollständig, auf Beobachtungen, experimentellen Resultaten, rationalen Begründungen und einer gewissen Skepsis.
- Es gibt nicht nur einen Weg der naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung. (Deshalb gibt es auch keine universelle naturwissenschaftliche Methode, die Schritt für Schritt abgearbeitet wird.)
- Naturwissenschaften verstehen sich als Ansatz, Phänomene der Natur zu erklären.
- Gesetze und Theorien dienen unterschiedlichen Zwecken, deshalb werden aus Theorien auch keine Gesetze, auch wenn zusätzliche Daten vorliegen.
- Menschen mit unterschiedlichen kulturellen Hintergründen tragen zu den Naturwissenschaften bei.
- Neue Erkenntnisse müssen klar und offen dargestellt werden.
- Naturwissenschaftliche Ergebnisse müssen nachvollziehbar dokumentiert sein, werden von Experten begutachtet und müssen replizierbar sein.
- Beobachtungen sind Theorie-geleitet.
- Naturwissenschaftler sind kreativ.
- Die Geschichte der Naturwissenschaften kennt evolutionäre und revolutionäre Entwicklungen.

- Naturwissenschaften sind Teile sozialer und kultureller Entwicklungen.
- Naturwissenschaften und Technik beeinflussen sich gegenseitig.
- Naturwissenschaftliche Ideen werden von sozialen und historischen Faktoren beeinflusst.“

Priemer (2006, S. 162) weist auf die Problematik hin, dass die Verkürzung der Aussagen Konfliktpotential bietet, da sie eine gewisse Interpretationsfreiheit zulässt und es zu verschiedenen Auslegungen und Folgen kommen kann. McComas et al. (1998) stellen in ihrer Arbeit auch fest, dass die Komplexität von NOS mit der Aufzählung der verkürzten Aussagen bei weitem nicht erfasst werden kann, weisen aber auch darauf hin, dass die Zielgruppe im Auge behalten werden muss. Für den Schulbereich („K-12 students“) sei mit den genannten Punkten der Grad der geforderten Tiefe angemessen.

Ergänzend zu der Liste der konsensfähigen Aussagen hat McComas (1998) 15 Mythen über *Nature of Science* festgehalten, inadäquate Vorstellungen welche sich teilweise in naturwissenschaftlichen Fachbüchern und im Unterricht wiederfinden oder auch von Erwachsenen vertreten werden. Diese 15 Mythen sind (übersetzt aus dem Englischen von Priemer, 2006, S. 163):

- „Hypothesen werden zu Theorien und Theorien zu Gesetzen.
- Die Gesetze und Prinzipien der Naturwissenschaften sind absolut und unumstößlich.
- Hypothesen Aufstellen gleicht einem gut begründeten Raten.
- Es gibt eine generelle und universelle naturwissenschaftliche Methode.
- Eine Sammlung von gewissenhaft erhobenen Daten führt zu sicherem Wissen.
- Naturwissenschaften und deren Methoden liefern absolute Beweise.
- Naturwissenschaften und deren Methoden können alle Fragen beantworten.
- Naturwissenschaftler sind besonders objektiv.
- Naturwissenschaftliche Erkenntnisse werden prinzipiell durch Experimente gewonnen.
- Naturwissenschaftliche Ergebnisse werden grundsätzlich auf Richtigkeit hin überprüft.
- Die Anerkennung neuer naturwissenschaftlicher Erkenntnisse erfolgt einfach und unproblematisch.
- Modelle der Naturwissenschaften repräsentieren die Wirklichkeit.
- Naturwissenschaften und Technik sind identisch.
- Naturwissenschaftler arbeiten in der Regel allein.“

McComas (1998) vermutet, dass das Auftreten dieser unangemessenen Vorstellungen in Lehrbüchern, im Unterricht und bei Erwachsenen auf drei Ursachen zurückgehen dürfte: auf eine mangelhafte Vertrautheit mit der Philosophie der Naturwissenschaften bereits in der Lehrer- und Lehrerinnenausbildung, auf die Erfolglosigkeit von Versuchen, Lehramtsstudierende reale Forschungsarbeit erleben zu lassen, und auf die Tatsache, dass die *Natur der Naturwissenschaften* oft in Schulbüchern, welche von Lehrern und Lehrerinnen verwendet werden, nur oberflächlich behandelt wird.

Dem wären fraglos weitere Quellen hinzuzufügen die dafür sorgen falsche Vorstellungen über die Naturwissenschaft zu verbreiten wie zum Beispiel die Darstellung der Naturwissenschaften in den Medien. Konkret wird zum Beispiel in der beliebten US-amerikanischen Fernsehserie „The Big Bang Theory“, in der es um eine Gruppe von befreundeten Naturwissenschaftlern geht, das Bild der Naturwissenschaften oftmals völlig unangemessen dargestellt, indem einige Charaktere ihre Forschungsarbeit auf dem Gebiet der Physik oftmals beschreiben als würde sie endgültige Ergebnisse, die nicht in Frage stehen, produzieren.

3.2 Aspekte von *Nature of Science*, welche im Fokus dieser Arbeit stehen

Im vorigen Kapitel 3.1 wurden prominente Mythen und weitgehend akzeptierte Aussagen über NOS genannt. Hier soll nun auf einige Aspekte und Mythen genauer eingegangen und dargestellt werden, welche Überzeugungen im Sinne von *Nature of Science* vertretbar sind. Im Mittelpunkt stehen dabei die Aspekte von NOS, welche im Hinblick auf den Schwerpunkt dieser Arbeit, „Atome“, wichtig sind: der Charakter von Modellen, die Vorläufigkeit des Wissens, die Frage der Beweisbarkeit naturwissenschaftlichen Wissens und die Beobachtbarkeit naturwissenschaftlicher Phänomene.

3.2.1 Der Modellcharakter und die Beobachtbarkeit von theoretischen Entitäten

In den Naturwissenschaften gibt es eine Vielzahl an theoretischen Entitäten und Konstrukten wie zum Beispiel Atome oder die verschiedenen Kräfte wie Magnetismus, Erdanziehungskraft und andere. Beide sind nicht direkt zu beobachten und können nur durch ihre Effekte erfasst oder gemessen werden. Sie sind somit Schlussfolgerungen aus regelmäßig beobachteten Verhaltensweisen von naturwissenschaftlichen Phänomenen und damit

funktionelle, theoretische Modelle, aber keine Abbilder der Realität (vgl. Abd-El-Khalick, 2006, S. 409).

Die Vorstellung von Modellen, die keine Abbilder der Realität sind, erhält vor dem Hintergrund des Konflikts zwischen philosophischem Realismus und Instrumentalismus, wie ihn McComas (1998, S. 66) beschreibt, besondere Relevanz. Im Realismus wird die Position vertreten, dass die Resultate der naturwissenschaftlichen Forschung nicht nur beobachtete Phänomene erklären können und Voraussagen zulassen, sondern tatsächlich ein reales Bild naturwissenschaftlicher Gebilde wiedergeben würden. Die philosophische Herangehensweise des Instrumentalismus betont hingegen, dass es nicht wichtig ist, ob naturwissenschaftliche Ideen mit der Realität übereinstimmen oder nicht, solange sie funktionieren, also erklären, voraussagen, beschreiben und mit experimentellen Daten übereinstimmen. Instrumentalisten vertreten die Meinung, eine Idee wäre schon wertvoll, solange man nur durch sie profitiert und Ergebnisse erhält. Die als angemessen erachteten Ansichten über NOS stellen eine klare Absage an den Philosophischen Realismus dar: es herrscht Einigkeit darüber, dass naturwissenschaftliche Modelle nicht den Anspruch stellen, die Realität zu repräsentieren, sondern allein die gewünschte und modellierte Funktion erfüllen sollen. Dass man die wahre Natur niemals kennen kann, gilt als einer der zentralen Aspekte von NOS. Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen versuchen zwar ihr Leben lang dieser „Wahrheit“ möglichst nahe zu kommen, aber niemand wird jemals abschließend wissen, ob sie nun gefunden wurde oder nicht (vgl. McComas, 1998, S. 61).

Atome zählen, wie bereits zu Beginn genannt, ebenfalls zu den theoretischen Entitäten der Naturwissenschaften. Da sie nicht gesehen werden können, wie später im Kapitel 4 über Atome näher ausgeführt wird, können nur ihre Effekte und ihr Verhalten gemessen werden. Ebenso sind ihre Darstellungen nur Modelle, da niemand weiß, wie sie wirklich aussehen.

3.2.2 Die Vorläufigkeit naturwissenschaftlichen Wissens

Die Vorläufigkeit, welche Kennzeichen von allem naturwissenschaftlichen Wissen ist, ist ein wichtiger Aspekt von NOS. „Naturwissenschaftliche Erkenntnisse sind meist fundiert, vertrauenswürdig und ausdauernd. Dennoch sind sie nie absolut und sicher, sondern immer vorläufig und einer ständigen Überprüfung unterworfen“ (Bruns, 2009, S. 48). Auch für das Wissen über Atome, welche, wie im vorhergegangenen Kapitel beschrieben, nicht direkt beobachtet werden können, gilt, dass sich die Theorien und Modelle immer weiter entwickeln und dadurch verändern. Diese Veränderlichkeit ist eine Konsequenz davon, dass es durch

neue Erkenntnisse und Fortschritt immer zu Erweiterungen und Veränderungen kommen kann. Darüber hinaus wird naturwissenschaftliches Wissen durch die individuelle Kreativität der Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen und ihre soziale und kulturelle Einbettung beeinflusst und basiert auf deren Schlussfolgerungen (vgl. Abd-El-Khalick, 2006, S. 407).

Bruns (2009, S. 49) führt das näher aus, indem er schreibt, dass Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen je nach ihren persönlichen Voraussetzungen ihren Fokus unterschiedlich legen und manches unberücksichtigt lassen. Damit werden Daten oft übersehen oder auch nicht ganz exakt interpretiert. Woolman (2000) erklärt das am Beispiel der Beobachtung von Experimenten näher. Er nennt drei Ursachen für diese Unsicherheiten und Vorläufigkeiten von Wissen. Die erste ist die Beobachtung durch die Sinne, die oft täuschen können, und manches Mal nur wahrnehmen, was man wahrnehmen will. Die zweite Ursache ist die Formulierung des Beobachteten in Worte. Dabei werden immer gewisse Färbungen und Wertungen mitgegeben, Konsequenzen der Natur der Sprache. In Folge kann dieses Formulierte von unterschiedlichen Wissenschaftlern und Wissenschaftlerinnen auch unterschiedlich interpretiert werden. Die dritte Ursache ist die Wahl dessen, was überhaupt beobachtet wird, da nie alle Faktoren gleichzeitig beobachtet werden können. Dies wird zum Beispiel durch Geld, Politik oder praktische Gründe beeinflusst. Dadurch entstehen subjektive Beobachtungen, welche zu veränderlichem Wissen führen (Woolman, 2000, S. 110).

McComas (1998, S. 55) beschreibt die Veränderlichkeit auch als „selbstkorrigierenden Aspekt“ der Naturwissenschaft. Dabei können die Veränderungen gering ausfallen und mehr einer Erweiterung gleichen oder auch eine Theorie völlig neu gestalten, wodurch eine alte damit verworfen wird. Der österreichische Verhaltensforscher Konrad Lorenz sagte 1973 passend dazu über das Verwerfen aufgestellter Hypothesen: „Die meisten von uns [Naturforschern] (...) lieben ihre Hypothesen, und es ist (...) eine zwar schmerzhaft, aber jung und gesund erhaltende Turnübung, täglich, gewissermaßen als Frühsport, eine Lieblingshypothese über Bord zu werfen“ (Lorenz, 1973, S. 88). Bruns (2009) bemerkt dabei, dass aber gerade das völlige Verwerfen einer alten Theorie für Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen oft nicht leicht ist, da diese lang bewährte Konzepte darstellen. Bei der Durchsetzung und Akzeptanz neuer Theorien spielt unter anderem der Status der Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen eine wichtige Rolle. So haben bisher unbekannte, junge Forschende es oft schwerer, von der Allgemeinheit akzeptierte Konzepte umzuwerfen (vgl. Bruns, 2009, S.49).

Ein anschauliches Beispiel für eine bereits Jahrhunderte andauernde Veränderung ist das Wissen über Atome und die darüber aufgestellten Theorien. Aufgestellte Atommodelle wurden dabei immer wieder verworfen und neue haben sich durchgesetzt. Genauer wird dies anhand von Atomen in Kapitel 4 dargestellt, als nächstes folgt jedoch noch der letzte wichtige Aspekt dieser Arbeit zum Thema Atome in dem die Problematik des „Beweisens“ in den Naturwissenschaften diskutiert wird.

3.2.3 Das „Beweisen“ in den Naturwissenschaften

Oftmals wird irrtümlich angenommen, naturwissenschaftliches Wissen sei sicher, da es „Beweise“ gebe, die die aufgestellten Theorien untermauern. Theorien gelten im Rahmen der Naturwissenschaften als Erklärung eines naturwissenschaftlichen Gesetzes (vgl. McComas, 1998, S. 54). Gesetze sind dabei Beschreibungen von in der Natur beobachteten Mustern, also Verallgemeinerungen. Naturwissenschaftliche Theorien sind Erklärungen dieser Verallgemeinerungen und können damit auch nicht zu Gesetzen übergehen. Ein Beispiel dafür wäre das Gesetz der Schwerkraft, welches von der Gravitationstheorie erklärt wird. Der Ansatz von NOS verwendet grundsätzlich einen anderen Begriff von „Beweisen“ als die Mathematik, in der ein Beweis etwas als „fehlerfrei“ und „endgültig“ auszeichnet. In den Naturwissenschaften aufgestellte Theorien bauen oftmals auf einer Reihe von Hypothesen oder Axiomen auf und postulieren die Existenz von nicht beobachtbaren Entitäten wie zum Beispiel Atomen. Diese können nur aus indirekten Hinweisen abgeleitet und interpretiert werden (Abd-El-Khalick, 2006, S. 404). So gilt eine Theorie in den Naturwissenschaften noch lange nicht als bewiesen, weil ein Experiment sie einmal bestätigt hat. Genauso kann auch nach mehrmaligen erfolgreichen Wiederholungen nicht der Schluss gezogen werden, solch ein Ergebnis würde einen eindeutigen Beweis darstellen.

Ein anderer Ansatz dazu wird von Karl Popper vertreten, welcher das Prinzip der Falsifikation in den Naturwissenschaften vertritt, in der der Schritt des Beweisens völlig vermieden wird (vgl. Woolman, 2000). Es wird gar nicht erst versucht, etwas zu beweisen, sondern es wird sogar davon ausgegangen, dass eine Verifizierung nicht möglich ist. Vielmehr wird eine aufgestellte Hypothese getestet, indem versucht wird sie durch Experimente oder Beobachtungen zu widerlegen. Solange dies nicht gelingt, wird die Hypothese als gültig angenommen. Popper argumentierte, dass Naturwissenschaften funktionieren, weil sie zeigen können, dass Hypothesen falsch sind, vielmehr, als dass sie richtig sind (vgl. Woolman, 2000).

In dieser Arbeit ist die Frage der Beweisbarkeit naturwissenschaftlicher Theorien relevant, da sie für die Auswertung im empirischen Teil wichtig ist. Ist die Vorstellung vorhanden, man könnte naturwissenschaftliche Theorien, Modelle und anderes beweisen, ist diese Vorstellung im Sinn von NOS nicht als angemessen zu betrachten.

Es wurden nun die wichtigsten Aspekte von NOS dargestellt, welche für das Thema „Atome“ und diese Arbeit Bedeutung haben. Im Folgenden werden Argumente dargelegt, die für ein Unterrichten von NOS-Aspekten in der Schule sprechen.

3.3 Die Bedeutung von adäquaten Vorstellungen über *Nature of Science* für den naturwissenschaftlichen Unterricht

Studien bescheinigen sowohl Lehrern und Lehrerinnen als auch Schülern und Schülerinnen großteils mangelhafte Ansichten über die *Natur der Naturwissenschaften* (vgl. McComas et al., 1998). Die Forschung an NOS und ihrer Integration in den Unterricht ist daher ein Desiderat. Des Weiteren sammelten McComas et al. (1998) Argumente über den Wert, den NOS für das Lehren und Lernen von Naturwissenschaften hat. Ihre Argumente sind (McComas et al., 1998, S. 11 ff.; zusammengefasst und übersetzt von Bruns, 2009, S. 60):

- „Ein NOS-Verständnis verbessert die Möglichkeiten des Erlernens naturwissenschaftlicher Fachinhalte, da es die Dynamik und Entwicklung naturwissenschaftlicher Erkenntnisse betont, statt das Bild einer Wissenschaft zu prägen, die lediglich Fakten zusammenzuträgt [...].
- Ein NOS-Verständnis verbessert das Verständnis der Naturwissenschaften und der naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung, da die Denk- und Arbeitsweisen und vor allem die Gründe für die Anwendung dieser Methoden deutlich werden.
- Eine Sensibilisierung für die Entwicklung naturwissenschaftlicher Erkenntnisse kann die Naturwissenschaften selbst wie auch den naturwissenschaftlichen Unterricht für Lernende interessanter machen, da eine NOS-Berücksichtigung die Naturwissenschaften menschlicher macht und eher ein Bild der Naturwissenschaften als ein Abenteuer zeigt, denn einer Beschränkung auf die Notwendigkeit entspricht, sich lediglich Erkenntnisse von Untersuchungen einprägen zu müssen [...].
- Ein NOS-Verständnis erweitert die Möglichkeiten, eigene Entscheidungen treffen, Unterschiede zwischen Naturwissenschaft und Technik und die Bedeutung der

Grundlagenforschung erkennen zu können sowie zu verstehen, welche Fragen naturwissenschaftlichen Untersuchungen zugänglich sind [...].

- Ein NOS-Verständnis kann zu einer Verbesserung der Fähigkeiten der Lehrenden beitragen, das Lernen der Schüler besser zu verstehen und so leichter und geeigneter zu einer Veränderung des Verständnisses der Schüler beitragen zu können.“ (Bruns, 2009, S. 60)

Lederman (2007) wendet allerdings ein, dass diese Argumente eher intuitiv und ohne empirische Grundlagen genannt werden. Erst wenn eine kritische Masse an Menschen entwickelte Vorstellungen über NOS besitze, lasse sich beurteilen, ob dadurch erreicht wird, was in den Argumenten behauptet wird⁷.

Abgesehen von diesen eher allgemein formulierten Argumenten für eine Ausprägung von angemessenen Ansichten über NOS, die sich, wie Lederman (2007) auch erkennt, bis heute eher rational erschließen, als dass sie empirisch belegt wären, gibt es allerdings noch andere Gründe, die die Bedeutung von einer Beschäftigung mit NOS im Unterricht aufzeigen und welche bereits durch Studien belegt sind. So untersuchten Urhahne und Hopf in ihrer Studie von 2004 die Zusammenhänge der epistemologischen Überzeugungen von Schülern und Schülerinnen mit ihrer Motivation, ihrer Lernstrategie und ihrer Selbstkompetenz und fanden dabei interessante Ergebnisse. Leistungsmotivation und ein Glaube an die Entwicklung von Wissen scheinen zusammenzuhängen (vgl. Urhahne & Hopf, 2004, S. 80). Zwischen Motivation und Interesse am Fach konnte keine Verbindung erkannt werden (S. 79), eher ist ein Zusammenhang zwischen Interesse und einem Glauben an die Sicherheit von Wissen und einem Vertrauen in Autoritäten erkannt worden. Zudem wurden Zusammenhänge von reiferen epistemologischen Überzeugungen und anspruchsvollen Lernstrategien und höherer fachspezifischer Selbstkompetenz erkannt. Schüler und Schülerinnen, die an der Sicherheit von Wissen festhalten, tendieren eher zu Wiederholungsstrategien und haben häufig eine geringere Selbstkompetenz. Daneben verwenden diejenigen, die an eine Entwicklung und Veränderung des Wissens glauben, vermehrt metakognitive Kontrollstrategien beim Lernen und haben eine höhere Selbstkompetenz (S. 80). Des Weiteren vertreten Schüler und Schülerinnen mit dieser höheren Selbstkompetenz häufig angemessenere Vorstellungen über die Rolle von Experimenten in den Naturwissenschaften

⁷ Dasselbe gilt nach Lederman (2007, S. 832) auch für die Argumente, die für *Scientific Literacy* als Bildungsziel sprechen.

(S. 80). Durch diese Erkenntnisse erhält das Interesse an der Förderung von angemessenen Vorstellungen über NOS im Schulbereich eine zusätzliche wichtige Komponente.

3.4 Anforderungen an Lehrende in den Naturwissenschaften und deren Ausbildung

In diesem Abschnitt werden Ergebnisse aus der fachdidaktischen Forschung über *Nature of Science* dargelegt, welche Entwicklung sie durchlief und welche zentralen Erkenntnisse heute vorliegen. Darauf aufbauend wird dargestellt welche wichtigen Anforderungen sich an Lehrende stellen, wenn sie erfolgreich angemessene Vorstellungen über NOS bei ihren Schülern und Schülerinnen entwickeln wollen. Dabei wird auch darauf eingegangen, welche Voraussetzungen dafür bereits in der Ausbildung von zukünftigen Lehrpersonen entwickelt werden können und sollten.

Die fachdidaktische Forschung zu Aspekten von NOS, welche nun seit ca. 60 Jahren intensiv betrieben wird (vgl. Abd-El-Khalick & Lederman, 2000, S. 668), teilt sich in vier verschiedene Richtungen, welche aber alle miteinander in Verbindung stehen. Diese sind:

„(a) assessment of student conceptions of the nature of science; (b) development, use, and assessment of curricula designed to ‘improve’ student conceptions of the nature of science; (c) assessment of, and attempts to improve, teachers’ conceptions of the nature of science; and (d) identification of the relationship among teachers’ conceptions, classroom practice, and students’ conceptions“ (Lederman, 1992, S. 332).

Die Forschung an der ersten Richtung, der Erfassung der Vorstellungen von Schülern und Schülerinnen über NOS (a), hatte Ergebnisse erbracht, die den Schülern und Schülerinnen Großteils nicht angemessene Vorstellungen bescheinigte. Dadurch kam es zu einer Adaptierung der Lehrpläne, wodurch die Vorstellungen der Schüler und Schülerinnen verbessert werden sollten (b). Da diese Maßnahmen aber nur mäßigen Erfolg brachten, wurde der Fokus vermehrt auf eine weitere Variable gelegt, auf die Lehrpersonen in den Klassen. Der erste Schritt war hier, die Vorstellungen der Lehrenden zu erfassen und zu verbessern (c). Die Forschung war dabei von dem Gedanken geleitet, dass die Vorstellungen der Lehrenden sich direkt auf die Vorstellungen der Schüler und Schülerinnen auswirken würden. Eine Verbesserung der Vorstellungen der Lehrpersonen hätte also auch eine Verbesserung der Vorstellungen der Schüler und Schülerinnen hervorbringen sollen (vgl. Lederman, 1992). Heute gilt ein solches solides Verständnis der Lehrenden über NOS Aspekte als notwendige,

wenn auch nicht hinreichende, Voraussetzung, Naturwissenschaften erfolgreich zu unterrichten (vgl. Abd-El-Khalick & Lederman, 2000; Lederman, 1992). Aber es gibt auch noch einen weiteren Faktor, welcher eine wichtige Rolle spielt und erst in einem vierten Forschungsstrang thematisiert wurde: die Erfassung des Zusammenhangs der Vorstellungen der Lehrenden, ihrer Durchführung des Unterrichts und den Vorstellungen der Schüler und Schülerinnen (d). Die Ergebnisse zeigten, dass der Zusammenhang komplexer als erwartet war und eine Vielzahl von Faktoren Einfluss nehmen wie zum Beispiel der Druck den Lehrplan zu erfüllen, die Lehrerfahrung und das Problem, dass Lehrpersonen selbst keine angemessenen Vorstellungen von der *Natur der Naturwissenschaften* besitzen (vgl. Abd-El-Khalick & Lederman, 2000, S. 670). Im Folgenden wird nun dargelegt, was es nach aktuellem Stand der Forschung braucht, um die Aspekte von NOS erfolgreich zu lehren.

Damit die verschiedenen Aspekte von NOS im Unterricht erfolgreich vermittelt werden können, ist es für Lehrende nötig, mit NOS, mit naturwissenschaftlichen Inhalten und mit allgemeinen pädagogischen Methoden vertraut zu sein (vgl. Schwartz & Lederman, 2002). Diese drei Bereiche allein reichen aber noch nicht aus. Nach Meinung von Schwartz und Lederman (2002, S. 232) ist auch das Zusammenspiel der Domänen wichtig, welches „pedagogical content knowledge“, kurz PCK, genannt wird. Die folgende Abbildung 2 zeigt das Zusammenspiel der drei Domänen und ihre Schnittmenge als *PCK von NOS*:

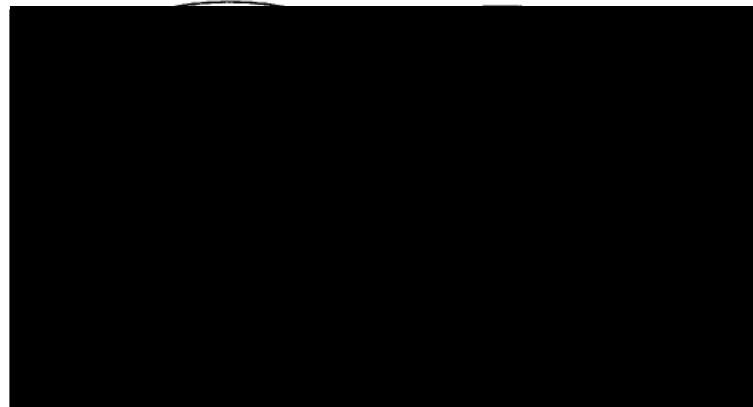


Abbildung 2: Pedagogical content knowledge von NOS (Schwartz & Lederman, 2002, S. 232).

PCK ist ein umfangreiches Gebiet, das aufgrund seiner Komplexität hier nicht weiter thematisiert werden kann. Gesagt sei so viel, dass *PCK von NOS* zusätzlich zu den drei bereits genannten Voraussetzungen für ein erfolgreiches Lehren von NOS-Aspekten, der Vertrautheit mit NOS, fachwissenschaftlichen Inhalten und pädagogischen Methoden, weiter Wissen über themenbezogene Beispiele, Aktivitäten, Veranschaulichungen, Erklärungen, Demonstrationen und historische Hintergründe enthält (vgl. Abd-El-Khalick & Lederman, 2000, S. 692).

Um zukünftigen oder bereits tätigen Lehrpersonen nachhaltig adäquate Vorstellungen über NOS zu vermitteln, beschreiben Abd-El-Khalick und Lederman (vgl. 2000, S.673 ff.) einen impliziten und einen expliziten Ansatz. Im impliziten Ansatz wird die Entwicklung von Vorstellungen über NOS als affektiver Prozess gesehen. Bei diesem Ansatz wird zum Beispiel die Möglichkeit geboten, sich im Rahmen von Forschungssituationen selbst ein Bild von Naturwissenschaften und deren Charakteristika zu machen. Adäquate Vorstellungen über NOS sollen sozusagen durch „doing science“ erworben werden. „Die Anwendung impliziter Methoden ist (...) zusätzlich mit der Vorstellung verbunden, dass die Lernenden als Nebenprodukt der Erfahrungen aus ihrer forschenden Arbeit und der Beschäftigung mit Fachinhalten ebenfalls adäquate Vorstellungen über NOS gewinnen, ohne dass Charakteristika diesbezüglich erläutert, diskutiert oder hervorgehoben werden“ (Bruns, 2009, S. 77). Dagegen sollen durch den expliziten Ansatz die Lernenden direkt auf relevante Aspekte durch Anweisungen, Diskussionen und Fragen aufmerksam gemacht werden (vgl. Schwartz & Lederman, 2002, S. 207). Die auf diese Art entstandenen Vorstellungen über NOS werden als Ergebnis eines reflexiv kognitiven Lernprozesses gesehen (vgl. Abd-El-Khalick & Lederman, 2000, S. 691).

Durch Vergleiche zahlreicher Studien zur Förderung von Vorstellungen über NOS haben Abd-El-Khalick und Lederman (2000) festgestellt, dass der explizite Ansatz mehr Erfolg brachte und dass sowohl die Theorie hinter den Konzepten von NOS, welche im Rahmen der konsensfähige Aussagen in Kapitel 3.1 dargestellt wurden, als auch naturwissenschaftliche Aktivitäten nötig seien, um die Vorstellungen zu verbessern, diese aber auf jeden Fall explizit sein und reflektiert werden müssen. Das theoretische Gerüst von NOS hat ihrer Meinung nach besonders großen Wert und die Kenntnis davon wird als notwendig für Lehrende betrachtet, um ein besseres Verständnis für bestimmte NOS-Aspekte zu entwickeln. Abd-El-Khalick und Lederman (2000, S. 691) betonen, dass diese Theorie und die vorhandenen Konzepte Produkte gezielter und weit entwickelter Forschung seien, und dass es eher unwahrscheinlich scheint, dass angehende oder auch bereits ausübende Lehrpersonen diese von selbst entwickeln könnten, wie es im impliziten Ansatz erwartet wird.

Damit wird die Notwendigkeit von maßgeschneiderten Lehrveranstaltungen für Lehrpersonen in Ausbildung deutlich. Bruns (2009, S. 74) betont, dass es im Rahmen dieser universitären Lehrveranstaltungen aber eben nicht ausreicht, den auszubildenden Lehrpersonen „Beispiele und NOS-Aktivitäten an die Hand zu geben, die sie in den jeweiligen spezifischen Kontexten in ihren zukünftigen Unterricht integrieren und dort anwenden können. Es geht vielmehr darum, sie zu befähigen, Merkmale von NOS in

verschiedenen Kontexten und Situationen erkennen, aufgreifen und verdeutlichen zu können“ (Bruns, 2009, S. 74).

Nach dieser Erkenntnis ist auch die Notwendigkeit des Angebots spezieller Lehrveranstaltungen an der Universität Wien ersichtlich. Zukünftige Lehrer und Lehrerinnen der Naturwissenschaften sollen ein solides Verständnis von NOS entwickeln können, die Wichtigkeit erkennen, die Inhalte zu vermitteln, notwendige Techniken und Beispiele dafür lernen und damit zu einem besseren Verständnis von NOS beitragen.

Damit ist in dieser Arbeit der Teil über die *Natur der Naturwissenschaften* abgeschlossen, es folgt ein Kapitel über den Schwerpunkt „Atome“.

4 Atome in Schule und Wissenschaft

Da in dieser Arbeit NOS-Aspekte mit dem Fokus auf Vorstellungen von Studierenden über „Atome“ untersucht werden, folgt nun eine tiefere Auseinandersetzung damit. Die Analyse der Vorstellungen der Studierenden im empirische Teil hat gezeigt, dass die Studierenden beim Beantworten der Fragen in der Regel nicht auf wissenschaftstheoretischer Ebene argumentierten, sondern die Antworten auf chemischen Grundlagen aufbauten. In den folgenden Abschnitten werden deshalb genau die chemischen Grundlagen über Atome dargestellt, die für die Analyse dieser Antworten wichtig sind.

Das erste Unterkapitel 4.1 schließt sich an den NOS-Aspekt „Beobachtbarkeit theoretischer Entitäten“ (3.2.1). Hier wird erklärt, welche Möglichkeiten der Beobachtung von Atomen es gibt und wie Naturwissenschaftler und Naturwissenschaftlerinnen aus dem Beobachteten die uns bekannten Theorien und Modelle entwickeln. Danach folgt eine Besprechung der Relevanz dieses Gebietes für den Schulbereich.

Das zweite Unterkapitel 4.2 wirft einen Blick auf Modelle aus naturwissenschaftlicher Sicht. Es bezieht sich auf das NOS-Kapitel 3.2.1, den Modellcharakter von theoretischen Entitäten. Der erste Teil behandelt Modelle aus rein naturwissenschaftlicher Perspektive und stellt dar, welche Grenzen sie haben, vor allem aber auch was sie leisten und was sie damit unverzichtbar für die Naturwissenschaften macht. Dies ist eine wichtige Grundlage, um Aussagen über Modelle angemessen beurteilen zu können. Der zweite Teil des Kapitels nimmt Bezug auf den Schulbereich und stellt dar, welche Funktion Atommodelle hier haben und welche Anforderungen an sie gelten. Es wird dargestellt, wieso dieses Gebiet in der Schule wichtig ist und was Schüler und Schülerinnen dabei über NOS lernen können.

Das dritte Unterkapitel 4.3 behandelt die Veränderlichkeit des Wissens über Atome und bezieht sich auf den NOS-Aspekt der „Vorläufigkeit von naturwissenschaftlichem Wissen“ (3.2.2). Es wird hier ein Überblick über die Entstehung des heutigen Wissens über Atome gegeben und damit anschaulich gezeigt, dass dieses Wissen bereits seit Jahrhunderten einer Veränderung unterliegt. Welche Bedeutung der Glaube an die Sicherheit von Wissen für das Lernen im Schulbereich hat, wird danach erläutert und damit auch die Frage des Sinns einer Vermittlung von „unsicherem“ Wissen im Schulbereich angesprochen.

4.1 Quellen für das Wissen über den Atomaufbau

Die ersten dokumentierten Überlegungen zu Atomen aus dem 5. Jahrhundert vor Christus stellten rein theoretische, philosophische Überlegungen über die Welt und den Aufbau der Dinge dar und basierten nicht auf experimentellen Daten. Trotzdem wurde die Existenz von Atomen Jahrhunderte lang nicht in Frage gestellt und auch unter Wissenschaftlern und Wissenschaftlerinnen akzeptiert. Chalmers et al. (2007) datieren die Entstehung der modernen Wissenschaften auf das 17. Jahrhundert, „... als die Strategie zum ersten Mal eingesetzt wurde, Beobachtungstatsachen als ernstzunehmende Basis für die Wissenschaft zu betrachten“ (S. 6). Dies war tatsächlich ein entscheidender Schritt für die Wissenschaft und für die Entwicklung der Vorstellungen über Atome. Ende des 18. Jahrhunderts wurde der Atombegriff neu aufgegriffen und eine Reihe von Experimenten führte in den nächsten Jahren zu Entdeckungen der Atommasse, der Elementarteilchen wie Elektronen, Protonen, und Neutronen sowie zur Entwicklung verschiedener Modelle und vielem mehr. Zwei Atommodelle und ein Modell eines Atomorbitals sind in Abbildung 3, Abbildung 4 und Abbildung 5 abgebildet:

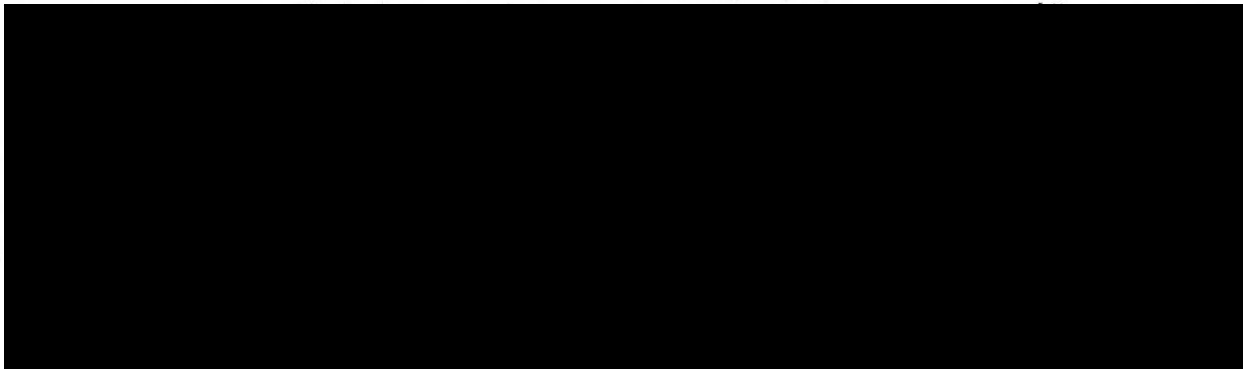


Abbildung 3: Thomsonsches Atommodell, ca. 1903. Bildquelle: Neufingerl et al., 1991, S. 14.

Abbildung 4: Abbildung eines Atoms nach Bohr, ca. 1913. Bildquelle: Neufingerl et al., 1991, S. 17.

Abbildung 5: Darstellung eines d-Orbitals (Orbitalmodell), ca. 1926. Bildquelle: Neufingerl et al., 1991, S. 25

Diesen detaillierten, bildhaft dargestellten Vorstellungen von Modellen steht dabei die Tatsache gegenüber, dass Atome, wie auch andere theoretische Entitäten, bis heute nicht direkt beobachtbar sind. Der Chemie-Nobelpreisträger Roald Hoffmann (1993) betont in seinem Artikel „For the First Time, You Can See Atoms“ die Schwierigkeit, sich von modernen Geräten wie zum Beispiel Rastertunnelmikroskopen, welche Atome angeblich sichtbar machen können, nichts vormachen zu lassen. Denn die Tatsache bleibt bestehen, dass für die Mikroskopie mit sichtbarem Licht die Grenze der Auflösung durch die Wellenlänge der Strahlung gegeben ist, und diese liegt damit bei ca. $2 \cdot 10^{-7}$ m (Naumer & Heller, 1986, S.

404). Für wesentlich kleinere Objekte, wie eben Atome mit ca. 10^{-10} m, bräuchte man kurzwelligere Strahlung. Im Fall der Elektronenmikroskopie wurde diese Strahlung in schnellen Elektronen gefunden, und es können damit unter optimalen Bedingungen Auflösungen von bis zu 10^{-10} Metern erreicht werden (Naumer & Heller, 1986, S. 418), welche der Größe von Atomen genügen und Bilder ihrer Oberfläche zeigen können. Diese Bilder sind allerdings nur grafische Darstellungen der erfassten Signale, berechnete räumliche Anordnungen, und damit kein Sehen (Buck et al., 2004, S. 21). Trotz allem liefern uns Daten dieser Art Hinweise darauf, wie Atome aufgebaut sind, und geben eine gewisse Bestätigung für vorhandene Theorien. Feyerabend (1960) schreibt in seiner philosophischen Arbeit „Das Problem der Existenz theoretischer Entitäten“, dass der Grund, warum man sich über das Wissen, welches man von derlei Geräten erhält, nicht sicher sein kann, der ist, dass für die Interpretation der Ergebnisse, und die Erklärung von Aufbau und Funktion dieser Geräte selbst bereits eine große Anzahl an Theorien nötig ist. Aber Theorien können in den Naturwissenschaften nie als wahr und sicher angenommen werden, womit die Ergebnisse solcher Geräte ebenfalls nicht als wahr und sicher angenommen werden können (vgl. Feyerabend, 1969, S. 40 ff.).

Es gibt heute eine Vielzahl an Experimenten, die Informationen über Atome liefern, wie zum Beispiel Atomspektroskopie, Massenspektroskopie oder auch historische Experimente wie Rutherfords Goldfolienexperiment. Doch alle diese Experimente haben gemeinsam, dass nur die Effekte, also das Verhalten der Materie gemessen werden kann. Atome sind daher ein Paradebeispiel für die erkenntnistheoretische Frage „Wie können wir wissen, was wir wissen?“ Das sollte jemandem mit einem angemessenen Verständnis für NOS bewusst sein.

Den aktuellen Stand der Forschung über den Aufbau von Atomen hier darzulegen würde den Rahmen dieser Arbeit sprengen. Hier nur so viel: Inzwischen haben „Streuversuche von hochbeschleunigten, fast mit Lichtgeschwindigkeit fliegenden Elektronen an Protonen und Neutronen (...)“ (Christen & Meyer, 1994, S. 10) den Schluss nahegelegt, dass die Elementarteilchen der Atome selbst ebenfalls noch eine Struktur besitzen. „Sie bestehen aus jeweils drei elektrisch geladenen Bausteinen die (...) als *Quarks* bezeichnet werden“ (Christen & Meyer, 1994, S. 10). Abbildung 6 zeigt ein Modell eines Protons mit seinen Bestandteilen, zwei up-Quarks (u-Quarks) und einem down-Quark (d-Quark). Ein Neutron besteht dagegen aus einem up-Quark und zwei down-Quarks.

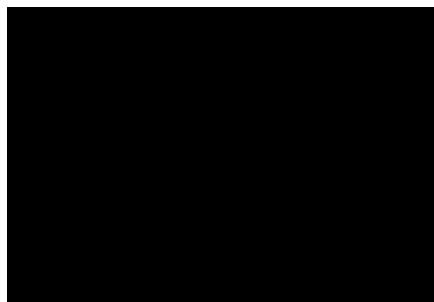


Abbildung 6: Modell eines Protons, welches aus drei Quarks besteht.
Bildquelle: <http://simple.wikipedia.org/wiki/File:Proton.svg>

4.1.1 Pädagogischer Wert der Beschäftigung mit der Genese des Wissens über Atome

Schüler und Schülerinnen, die sich mit der Genese des Wissens über Atome beschäftigen, können dabei einen zentralen Aspekt von (der) NOS kennen lernen, nämlich die klare Unterscheidung zwischen Beobachtung und Schlussfolgerung (Interpretation). Beobachtungen sind beschreibende Berichte über naturwissenschaftliche Phänomene, welche direkt durch die Sinne zu erfassen sind (vgl. Lederman, 2007, S. 833). Im Gegensatz dazu entziehen sich Schlussfolgerungen den Sinnen völlig. Zum Beispiel kann es nach identischen Beobachtung und Beschreibung eines Phänomens zweier Forscher oder Forscherinnen zur Entwicklung unterschiedlicher Erklärungen kommen wodurch in Folge verschiedene Modelle entwickelt werden, die erklären, wie es zu dem Beobachteten gekommen sein könnte (vgl. Lederman, 2007, S. 833). Auf dem Weg zu einer Theorie über Atome oder zu einem Atommodell liegt ebenfalls immer der Zwischenschritt der Interpretation, welche eine theoretische Überlegung oder Ähnliches sein kann. Dieser Schritt, die Interpretation, die zwischen Messung und Ergebnis liegt, muss jemandem, der ein entwickeltes Verständnis von NOS anstrebt, als eigener Schritt bewusst werden. Dieses Bewusstsein kann schon in der Schule zum Beispiel im Rahmen von Experimenten geübt werden.

Über die Schwierigkeit, den Unterschied zwischen gewöhnlichen Lichtmikroskopen und Elektronen- oder Rastertunnelmikroskopen zu begreifen, schreiben Buck et al. (2004), dass Schüler und Schülerinnen der heutigen Generation einen erheblichen Vorteil denen gegenüber von vor 30 Jahren haben (S. 21). Denn Kinder heutzutage wachsen bereits mit Computerspielen und anderen virtuellen Welten auf und kennen das Prinzip von berechneten Bildern (Buck et al., 2004, S. 33). Damit ist ein Ansatz vorhanden, durch den das Prinzip von Elektronen- oder Rastertunnelmikroskopen erklärt werden kann.

Die Bedeutung der Beschäftigung von Schülern und Schülerinnen mit der Genese des Wissens über Atome besteht darin, dass hier grundlegende Prinzipien darüber gelernt werden, wie Wissen in den Naturwissenschaften generell zustande kommt. Darüber hinaus hat das

Wissen über Atome und deren Aufbau mit den Bestandteilen der Elektronen, Protonen und Neutronen auch elementare Bedeutung für viele Bereiche der Chemie selbst und ist dabei Grundlage vieler Themen des Chemieunterrichts. Zum Beispiel können mit dem Aufbau der Atome die Ordnung des Periodensystems der Elemente, chemische Bindungen, chemische Reaktionen und mehr erklärt werden.

4.2 Modelle in den Naturwissenschaften

In der Praxis der Naturwissenschaften haben Modelle einen hohen Stellenwert, welcher von Naturwissenschaftlern und Naturwissenschaftlerinnen verschiedener Gebiete wie der Chemie, der Physik, der Astronomie und anderen betont wird (Bailer-Jones, 2002). Ein naturwissenschaftliches Modell wird von Bailer-Jones (2000) in einer zusammenfassenden Arbeit folgendermaßen definiert: „Ein Modell drückt eine Interpretation eines empirischen Phänomens aus, und zwar auf eine Weise, die den (intellektuellen) Zugang zu diesem Phänomen erleichtert. Interpretationen kommen zustande z. B. durch Idealisierung, Vereinfachung oder Analogisieren. Dabei kann es sich bei einem Modell sowohl um konkrete als auch um theoretisch-abstrakte Gegenstände handeln.“ Sie betont, dass es gerade bei den theoretisch-abstrakten Modellen nicht nur darum geht, „den Zugang [...] zu erleichtern“, wie bei konkreten Modellen zum Beispiel einem Globus, sondern auch darum, „nicht direkt beobachtbare Eigenschaften der modellierten Phänomene zugänglich zu machen“ (Bailer-Jones, 2000, S. 1), wie zum Beispiel bei der Struktur der DNA. Mittel zur Darstellung sind oftmals mathematische Ausdrucksweisen, aber auch „‘externe Repräsentationen‘ wie Abbildungen, Graphen oder Diagramme“ (Bailer-Jones, 2000, S. 2). Ziel ist es dabei immer, „bestimmte zentrale Ideen über das modellierte Phänomen auszudrücken“ (Bailer-Jones, 2000, S. 2).

Hutten (1953) beschreibt in einer älteren Arbeit ebenfalls diese zwei unterschiedlichen Auffassungen des Begriffs eines Modells, er drückt den Unterschied aus, indem er von Modellen *von* etwas und Modellen *für* etwas spricht (vgl. Hutten, 1953, S. 285). Modelle *von* etwas sind für ihn verkleinerte, vergrößerte oder vereinfachte Abbildungen eines Gegenstandes, welcher anders nicht leicht zu erfassen wäre. Modelle *für* etwas hingegen erklären und zeigen, wie etwas funktioniert und sich verhält, was nach Hutten (1953, S. 286) auch den Wert der Modelle für die Naturwissenschaften ausmacht. Hinzuzufügen wäre an dieser Stelle eine weitere wichtige Eigenschaft von Modellen, nämlich neue Hypothesen zu generieren und Vorhersagen treffen zu können (Bindernagel & Eilks, 2008 S. 182).

Wichtige charakteristische Eigenschaften und Grenzen von naturwissenschaftlichen Modellen sind nach Bailer-Jones (2000, S. 3) die folgenden drei: *Ungenauigkeit*, *Inkonsistenz* und *Aspekthaftigkeit*. Die Eigenschaft *Ungenauigkeit* beschreibt das Ergebnis, welches durch Annäherungen und Vereinfachungen der empirischen Wirklichkeit erhalten wird. So wird bei der Erklärung der Umlaufbahn der Erde oft angenommen, dass nur die Kräfte von Sonne und Erde eine Rolle spielen, was ein vereinfachtes Modell der Erdumlaufbahn zum Ergebnis hat, welches dem Tatsächlichen für viele Zwecke nahe genug kommt, aber natürlich nicht vollständig ist. Mit *Inkonsistenz* wird beschrieben, dass manche Modelle im Widerspruch zu anerkannten Theorien stehen. Zum Beispiel beschreibt das Bohrsche Atommodell festgelegte Kreisbahnen um den Kern, auf denen sich die Elektronen bewegen. Eigentlich müssten sie dabei Energie verlieren und auf Stufen niedrigerer Energie fallen. Wegen seiner hohen *Aspekthaftigkeit* (siehe unten) ist das Bohrsche Atommodell dennoch wertvoll, da damit gerade im Schulbereich vieles anschaulich dargestellt werden kann wie zum Beispiel die Ionenbindung. Die dritte Eigenschaft, welche Modelle innehaben, ist die Konzentration auf bestimmte Aspekte des modellierten Phänomens und damit die unvollständige Beschreibung desselben. Damit können auch mehrere Modelle eines Gegenstandes existieren, die alle unterschiedliche Aspekte desselben beschreiben. Diese werden von Bailer-Jones (2000) „multiple Modelle“ genannt. Da sie unterschiedliche Verwendung finden, besitzt jedes dieser Modelle eine individuelle Daseinsberechtigung. Ein Beispiel dafür wären die verschiedenen Modelle des Atomkerns. „Versteht man z.B. den Atomkern als ein geladenes Flüssigkeitströpfchen mit einer Oberflächenspannung, so dient dieses Tröpfchenmodell dazu, die Bindungsenergie der Nukleonen untereinander zu beschreiben (Bindungsenergie ungefähr proportional zur Masse des Atomkerns). Deshalb eignet sich dieses Modell nur für Eigenschaften des Atomkerns, die sich monoton mit der Ordnungszahl der Kerne ändern. Das Schalenmodell hingegen erklärt, warum Kerne bestimmter Ordnungszahlen, den sogenannten magischen Nukleonenzahlen, besonders stabil sind (ähnlich wie bei den Elektronenschalen im Bohrschen Atommodell). Umgekehrt erklärt das gewöhnliche Schalenmodell nicht, wie sich die Bindungsenergie mit der Masse des Kerns verändert“ (Bailer-Jones, 2000, S. 7). Damit hat jedes dieser Modelle eine bestimmte Funktion für die es sich eignet und die es beschreibt.

Diese drei beschriebenen Eigenschaften – *Ungenauigkeit*, *Inkonsistenz* und *Aspekthaftigkeit* – werfen die Frage auf, weshalb Modelle mit diesen Einschränkungen in den Naturwissenschaften einen unverzichtbaren Bestandteil darstellen können. Die Antwort dazu liefern drei weitere Charakteristika, welche naturwissenschaftliche Modelle beschreiben. Diese geben genauere Informationen darüber, inwiefern Modelle empirische Phänomene

repräsentieren und warum sie die oben genannten Einschränkungen enthalten dürfen. Diese Charakteristika sind *Funktion*, *Selektion* und *Übereinstimmung mit empirischen Daten* (vgl. Bailer-Jones, 2000, S. 6). Die *Funktion* von Modellen rechtfertigt, warum sie bestimmte Inhalte enthalten dürfen, welche nicht den angenommenen Tatsachen entsprechen. Bailer-Jones (2000, S. 6) erklärt, dass „die Funktion des Modells (z. B. zu erklären, anzuleiten, eine technische Anwendung zu ermöglichen) soweit Priorität genießt, dass dem Erfüllen dieser Funktion die Wahrheit bestimmter, im Modell enthaltener Sätze ‚geopfert‘ wird.“ Während des Prozesses des Modellierens werden die einzelnen Inhalte dahingehend bewertet, welche als zentral angesehen werden und damit präzise dargestellt werden müssen, während andere Inhalte als vernachlässigbar eingestuft werden, sodass ihre „Falschheit“ im Modell toleriert werden kann. Damit wird auch gleich das zweite Charakteristikum der *Selektion* angesprochen, nämlich, dass Modelle beobachtete Phänomene nicht in ihrer Ganzheit darstellen. Im Zuge der Selektion wird beim Vorgang des Modellierens versucht, einen bestimmten Aspekt eines Phänomens darzustellen, wobei auch nur die zu diesem Aspekt wichtigen Inhalte beachtet werden. Ein Beispiel dafür sind wiederum die verschiedenen Modelle des Atomkerns welche unterschiedliche Aspekte verdeutlichen wie bereits beschrieben wurde. Die Selektion ist hier von der gewünschten Funktion, welche Eigenschaften beschrieben und erklärt werden sollen, abhängig (Bailer-Jones, 2000, S. 7).

Die dritte Eigenschaft, die *Übereinstimmung von Modellen mit vorhandenen empirischen Daten*, bedeutet, dass Modelle auf bewährten Propositionen schlussfolgernd aufbauen (Bailer Jones, 2000, S. 7). Ein Beispiel dazu liefert wieder der Bereich der Atome. Ältere Atommodelle, wie zum Beispiel das von Bohr, haben in der Wissenschaft deshalb keine Relevanz mehr, weil sie mit vielen empirischen Daten nicht übereinstimmen, also diese dritte Eigenschaft nicht erfüllen. So funktionierte das Bohrsche Atommodell eigentlich von Anfang an nur für ein Atom mit einem einzigen Elektron, also dem Wasserstoffatom. Erst mit den Gesetzen der Quantenmechanik und dem Orbitalmodell wurde ein Atommodell gefunden welches mit allen empirischen Daten übereinstimmt. Aus diesem Grund ist es dieses Modell, welches in der Wissenschaft bis heute bedeutend ist, auch wenn nach wie vor an einer Weiterentwicklung geforscht wird.

4.2.1 Pädagogischer Wert der Beschäftigung mit Atommodellen

Graf (2002) nennt das Lehren des Umgangs mit Modellen als eine der zentralen Aufgaben des Chemieunterrichts und schreibt: „Chemie lernen bedeutet (...) chemische Modellbildung und

Modellanwendung durch die Lernenden“ (Graf, 2002, S. 4). Trotzdem scheinen viele Lehrer und Lehrerinnen kein besonders ausgeprägtes Wissen über naturwissenschaftliche Modelle und den Vorgang des Modellierens zu haben (vgl. van Driel & Verloop, 1999, S. 1151).

Bindernagel und Eilks (2008, S. 181) schreiben Modellen und Modelldenken ebenfalls eine sehr wichtige Rolle im Unterricht zu und betonen auch die wichtiger gewordene Rolle dieser durch die in den Bildungsstandards geforderten Kompetenzen wie zum Beispiel dem Kommunizieren oder Bewerten von Wissen. Denn Modelle sind selbst Gegenstand der Kommunikation und helfen zum Beispiel durch Veranschaulichung diese zu erleichtern. Daneben schult das Abschätzen und Entscheiden über ihren Einsatz und das Erkennen ihrer Grenzen weitere Kompetenzen, wie zum Beispiel das Bewerten von Wissen (vgl. Bindernagel & Eilks, 2008, S. 181). Trotzdem, und obwohl Lernende Untersuchungen zufolge (z. B. Justi & Gilbert, 2002) Schwierigkeiten auf diesem Gebiet haben, beobachten Bindernagel und Eilks (2008) eine unzureichende Diskussion über das Lernen über die Natur von Modellen.

In der Schule und im Unterricht werden Modelle anders eingesetzt als in den Wissenschaften, wo sie als Forschungsmodelle der Erkenntnisgewinnung dienen. Im Schulbereich bestehen andere Anforderungen an sie, und Modelle und dazugehörige Konzepte werden „im Unterricht oft informativ darlegend“ eingeführt und „erhalten den Status einer Illustration zum besseren Verständnis“ (Bindernagel & Eilks, 2008, S. 182). Diese Art von Modellen werden von Justi und Gilbert (2002) streng von naturwissenschaftlichen Modellen unterschieden und als Lehr-Modelle („teaching models“) bezeichnet. Demnach dienen Lehr-Modelle zur Kommunikation von unter Naturwissenschaftlern und Naturwissenschaftlerinnen anerkannten Modellen und helfen bei der Weitergabe an Außenstehende, wie hier die Schüler und Schülerinnen. Modelle als Unterrichtsbehelfe stoßen damit also auf andere Anforderungen als Modelle in der Wissenschaft. Charakteristika, die für Modelle in der Wissenschaft gelten, und wie sie in 4.2 beschrieben werden, stehen in der Schule unter Umständen im Hintergrund. So hat zum Beispiel das Bohrsche Atommodell in den Wissenschaften heute keine Relevanz mehr da es mit vielen Daten nicht übereinstimmt. Für den Schulbereich hat das Modell nach wie vor Bedeutung da sich damit vieles altersgerecht und anschaulich erklären lässt.

Was aber sollten Schüler und Schülerinnen nun über naturwissenschaftliche Modelle wissen? Hierzu hatte laut Bindernagel und Eilks (2008) die Studie von Grosslight et al. (1991) einen großen Einfluss. Darin wurden Schüler und Schülerinnen der 7. Und 11. Schulstufe in Boston zu ihrem Modellverständnis befragt und im Zuge der Analyse der Interviews

unterschiedliche Niveaus der Modellvorstellungen ermittelt. Aufbauend auf diesen Niveaus formulierten Bindernagel und Eilks (2008, S. 183) folgende Inhalte als charakteristisch für ein entwickeltes Verständnis von Schülern und Schülerinnen von naturwissenschaftlichen Modellen:

- „Das Bewusstsein, dass Modelle primär dazu entwickelt werden, Ideen zu prüfen, als dass sie ein Abbild von Realität darstellen sollen,
- die Akzeptanz, dass der Modellierer eine aktive Rolle in der Konstruktion eines Modells zu einem bestimmten Aspekt spielt und
- die Wahrnehmung, dass Modelle geprüft und revidiert werden können, um die Entwicklung von Ideen zu unterstützen.“

Was können Schüler und Schülerinnen aber nun mit diesem erworbenen Wissen über Atommodelle anfangen und weshalb bereichert ein Wissen über diesen NOS-Aspekt Menschen in ihrem Alltag? Nach Graf (2002) „trägt (...) das Lernen mit Modellen dazu bei, dass die Schülerinnen und Schüler zu mündigen [Bürgerinnen und] Bürgern erzogen werden, sich bilden und die Welt zunehmend auch mit ‚chemischen Augen‘ sehen lernen“ (Graf, 2002, S. 4). Viele politische Themen betreffen die Umwelt, wie bereits beschrieben wurde. Um an demokratischen Prozessen und gesellschaftlichen Diskussionen diese Themen betreffend teilhaben zu können, sollten diese Themen auch weitgehend verstanden werden, was bei einigen Themen, wie zum Beispiel dem Treibhauseffekt, ein Denken in Modellen verlangt.

4.3 Die Vorläufigkeit des Wissens über Atome

Die älteste Theorie darüber wie Atome aufgebaut sind, geht auf den antiken griechischen Philosophen Leukipp (5. Jahrhundert v. Chr.) und seinen Schüler Demokrit zurück. Im Gegensatz zur bis dahin vorherrschenden Vorstellung, alles sei kontinuierliche Materie, welche beliebig geteilt werden könne, unterschied das Konzept von Leukipp und Demokrit zwischen leerem Raum und Materie, welche aus diskreten, kleinsten und unteilbaren Teilchen besteht. Die charakteristischen Eigenschaften der Materie sind bei Demokrit die Folge von unterschiedlicher Anordnung verschiedener Atome (Strube et al., 1986, S. 25). Anzumerken ist hier, dass es sich bei diesem ersten und einfachen Atommodell um ein rein philosophisches Gedankenkonzept handelt, welches ohne experimentelle Untersuchungen existierte (Mortimer

& Müller, 2007, S. 16). Es gab den Atomen aber bis heute ihren Namen (vom griechischen „atomos“= unteilbar).

Zu experimentellen Untersuchungen kam es erst ab ca. 1800. Ab diesem Zeitpunkt wurden anhand neuer Ergebnisse und experimenteller Daten Atommodelle konstruiert, die von da an rasch weiterentwickelt wurden. John Daltons Atomkonzept war das erste, welches auf Experimenten aufbaute. Er teilte dabei den einzelnen Atomen unterschiedliche Massen zu, beschäftigte sich mit Prousts Gesetzen der Proportionen und berief sich in seinen Experimenten auf Mengenverhältnisse, indem er Reaktanten und Produkte bei chemischen Reaktionen wog (Mortimer & Müller, 2007, S. 16).

Die Erkenntnis, dass Atome nicht die kleinstmöglichen Teilchen sind, sondern selbst auch noch aus kleineren, unterschiedlich geladenen Teilchen bestehen, wurde Ende des 19. Jahrhunderts durch das Untersuchen von Atomen mittels eines Kathodenstrahlers möglich (Mortimer & Müller, 2007, S. 17). Dabei wurden bereits positive und negative Teilchen festgestellt.

Die Zentrierung der positiven Teilchen auf den Kern geht auf Ernest Rutherford zurück, welcher 1911 das Rutherfordsche Atommodell aufstellte (Mortimer & Müller, 2007, S. 19). Die wichtigsten Eigenschaften des Modells sind, dass sich fast die gesamte Masse des Atoms und die positive Ladung im zentrierten Atomkern befinden, während die negativen Teilchen sich außerhalb des Kerns aufhalten und beinahe das ganze Volumen des Atoms ausmachen (Mortimer & Müller, 2007, S. 20). Dieses Modell diente als Grundlage für das Bohrsche Atommodell in dem die wichtige Weiterentwicklung gemacht wurde, dass die Elektronen sich nur auf diskreten Bahnen aufhalten dürfen (Strube et al., 1986, S. 155). Niels Bohrs Modell von 1913 enthält damit als erstes Elemente aus der Quantenmechanik, welche zu Beginn des 20. Jahrhunderts entwickelt wurde. Das Modell beschränkte sich allerdings noch immer auf die Zweidimensionalität. Eine Weiterentwicklung hin zum Räumlichen stellt das Orbitalmodell von 1928 dar, in welchem der positive Kern von Elektronen in Orbitalen umgeben wird. Grundlage ist dabei die Schrödinger-Gleichung, deren Lösung die Aufenthaltswahrscheinlichkeit der Elektronen angibt (Mortimer & Müller, 2007, S. 73).

Die Änderungen und Entwicklungen, welche Atommodelle über die Jahrhunderte gemacht haben, sind ein anschauliches Beispiel dafür, dass naturwissenschaftliches Wissen immer wieder Veränderungen unterworfen ist, selbst wenn sich aktuelles Wissen auf momentan scheinbar verlässliche Hinweise wie Experimente oder Berechnungen stützt. Es kann damit nie von Sicherheit, sicherem, richtigem oder absolutem Wissen gesprochen

werden – eine zentrale Erkenntnis von jedem Menschen mit einem entwickelten Verständnis von NOS und speziell Atomen.

4.3.1 Pädagogischer Wert der Beschäftigung mit der Vorläufigkeit naturwissenschaftlicher Erkenntnisse

Anhand der beschriebenen Entwicklung der Atommodelle kann der wichtige NOS-Aspekt der Vorläufigkeit naturwissenschaftlichen Wissens gelehrt und gelernt werden. Das Lernen des Denkens in Modellen zählt laut Graf (2002) zu den wichtigsten Aufgaben des Chemieunterrichts, dennoch weist er auch darauf hin, dass es zu Schwierigkeiten kommen kann, wenn alte Modelle von neuen abgelöst werden. Dabei liegt das Problem weniger an den chemischen Modellen selbst, sondern wie Graf (2002) es betont, eher im psychologischen, kognitiven und emotionalen Bereich der Schüler und Schülerinnen. Er sieht deren Lernmotivation in Gefahr, wenn sie etwas lernen sollen, was nicht genau gewusst wird und unsicher ist (vgl. Graf, 2002, S. 6). Eine Lösung sieht Graf (2002) darin, Schüler und Schülerinnen Modelle teilweise selbst entwickeln und entdecken zu lassen, wodurch ihre Lernmotivation erhalten wird.

Interessante Ergebnisse aus dem Bereich der Vorläufigkeit von Wissen brachte die Studie von Urhahne und Hopf von 2004, die in Abschnitt 3.3 bereits dargestellt wurde und in der der Zusammenhang von reiferen epistemologischen Überzeugungen über die Vorläufigkeit von Wissen und anspruchsvolleren Lernstrategien und Lernmotivation erkannt wurde. Die Entwicklung angemessener und reifer epistemologischer Überzeugungen scheint damit zusätzlich die Ausbildung anspruchsvoller Lernstrategien zu fördern, welche auch im Sinne nachhaltigen Lernens als Nutzen für nach der Schulzeit betrachtet werden können.

Damit ist das Kapitel über den Schwerpunkt „Atome“ abgeschlossen. Bevor die Analyse der Studie im empirischen Teil dargelegt wird, erklärt ein weiteres Kapitel, um welche Inhalte es in der Studie eigentlich geht, was erhoben wurde und wo die Herausforderungen liegen.

5 Verfahren zur Erhebung der Vorstellungen über *Nature of Science*

5.1 Über die Erhebung und Beschreibung von epistemologischen Überzeugungen und damit verbundene Herausforderungen

Die Basis des empirischen Teils dieser Arbeit bildet eine Erhebung von Vorstellungen Studierender über ausgewählte Aspekte von NOS. Diese Vorstellungen können auch als epistemologische Überzeugungen über die Naturwissenschaften aufgefasst werden, wie bereits in Kapitel 3 erklärt wurde. Deshalb soll hier ein Überblick über mögliche Modelle der Erfassung und Beschreibung von epistemologischen Überzeugungen und den damit verbundenen Herausforderungen gegeben werden.

Zur Beschreibung von epistemologischen Überzeugungen liegt eine große Anzahl an Modellen vor. Den Ursprung nahm die Forschung mit den Arbeiten von Perry, welcher davon ausging, dass Lernende bei der Entwicklung von epistemologischen Vorstellungen mehrere Stufen durchlaufen (vgl. Urhahne & Hopf, 2004). In den unteren Stufen wird Wissen entweder als wahr oder falsch angesehen, während auf den höher entwickelten Stufen eingesehen wird, dass es mehrere Formen von Wissen gibt, welchen allesamt ein gewisser Grad an Unsicherheit innewohnt. Weitere Stufenmodelle wurden zum Beispiel von King und Kitchener (2004) und anderen publiziert (genauerer siehe Urhahne & Hopf, 2004). Daneben existieren Modelle mit voneinander unabhängigen Dimensionen. Schommer (1990) vertritt zum Beispiel die Ansicht, dass persönliche Vorstellungen in voneinander unabhängige Faktoren eingeteilt werden können. In ihrer Studie von 1990 entwarf sie mit Hilfe eines Fragebogens ein Modell in welchem sie epistemologische Überzeugungen prinzipiell in zwei große Bereiche einteilt: die Vorstellungen über den Wissenserwerb und die Vorstellungen über Wissensinhalte selbst. Vorstellungen über Wissensinhalte beziehen sich auf Struktur, Quelle und Sicherheit, Vorstellungen über Wissenserwerb auf die Schnelligkeit und Kontrolle des Erlernens (Schommer, 1990). Aufbauend auf diesem Modell hat Schommer den Fragebogen „Epistemological Beliefs Questionnaire“ (Schommer, 1990; Fragebogen beschrieben in Klopp, o. J.) entwickelt, welcher einen wichtigen Einfluss auf die Konstruktion von vielen heute verwendeten Erhebungsinstrumenten hatte (vgl. Priemer, 2006, S. 163).

Mögliche Verfahren zur Erhebung epistemologischer Überzeugungen sind Fragebögen, nicht-teilnehmende Beobachtungen, Interviews bzw. lautes Denken, Situationseinschätzungen und Auswertung von schriftlichem Material (vgl. Priemer, 2006, S.

164). Jede Methode hat Vor- und Nachteile, Kritiker und Kritikerinnen, Befürworter und Befürworterinnen. Eine beste Methode gibt es somit nicht, sondern die Methode muss immer dem Gegenstand angemessen ausgewählt werden. Besonders unterschiedliche Potentiale liegen zum Beispiel in der Durchführung der Erhebung durch offene Fragen, wodurch vermehrt qualitative Inhalte erhalten werden können, und der Befragung mittels Multiple-Choice-Test, wodurch eine leichtere, da automatisierbare, Auswertung und damit eine wesentlich größere Stichprobe erreicht werden kann. Bei der Wahl der Methode muss das Ziel im Auge behalten werden, je nachdem wie detailliert, umfangreich, aussagekräftig etc. die Studie und das Ergebnis sein sollen, erweisen sich jeweils andere Methoden als geeignet.

Zusammengefasst nennt Priemer (2003, 2006) folgende Herausforderungen bei der Erfassung epistemologischer Überzeugungen:

- die Interpretationsspielräume der Fragestellungen und auch der Antworten, wodurch es zu falschen Interpretationen kommen kann,
- die Inkonsistenz und schnelle Veränderlichkeit von Schüler- und Schülerinnenansichten,
- der fehlende Konsens unter Experten über epistemologische Überzeugungen, wodurch eine Einordnung von „richtig“ und „falsch“ schwierig wird,
- und die oft starke und sogar unzulässige Verkürzung wissenschaftstheoretischer Inhalte zu einfachen Aussagen.

Bei der Konstruktion und Durchführung einer Erhebung sind diese Aspekte daher im Auge zu behalten und auch bei der Auswertung der Ergebnisse zu berücksichtigen.

5.2 Erhebungsinstrumente zur Erfassung der Vorstellungen über *Nature of Science*

Ein Ziel eines guten Erhebungsinstrumentes für Vorstellungen über NOS ist es, die epistemologischen Überzeugungen der teilnehmenden Personen zum Bereich der Naturwissenschaften valide zu ermitteln. Beim Entwurf solcher Erhebungsinstrumente stößt man einerseits auf das Problem, dass das Gebiet NOS sehr umfassend und schwer abzugrenzen ist. Hinzu kommt, dass es verschiedene Meinungen darüber gibt, welche Konzepte überhaupt als adäquat angesehen werden können (vgl. Priemer, 2006, S. 161). Als Kompromiss werden meist, und auch in dieser Arbeit, die weitgehend akzeptierten konsensfähigen Aussagen von McComas et al. (1998), die in Kapitel 3.1 dargelegt wurden, herangezogen.

Die Erhebung der Vorstellungen über NOS findet seit den 1960er-Jahren vermehrte Aufmerksamkeit in der Forschung (siehe dazu 3.4). und ist nach wie vor ein wichtiges und aktuelles Thema in der Forschung (vgl. Abd-El-Khalick & Lederman, 2000). Damit liegt der Fokus der Forschung zu epistemologischen Überzeugungen in den Naturwissenschaften an einer anderen Stelle als es in der Psychologie der Fall ist, wo vor allem versucht wird, ein beschreibendes Modell über die Entwicklung der Vorstellungen zu konstruieren. In der Forschung über die Vorstellungen über NOS ist das Ziel, „die auf Naturwissenschaften bezogenen Ansichten zu erheben und auf Konsistenz und Adäquatheit zu prüfen. Dies umfasst sowohl die Rekonstruktion von Vorstellungen über die Naturwissenschaften als auch die Frage nach der Übereinstimmung mit bzw. Zustimmung zu verschiedenen erkenntnistheoretischen bzw. philosophischen Strömungen“ (Priemer, 2006, S. 163). Auf der einen Seite wird also erhoben, welche Vorstellungen über Naturwissenschaften vorhanden sind, ohne diese einzuordnen oder zu werten. Auf der anderen Seite wird verglichen inwieweit die erhobenen Vorstellungen mit den als adäquat angesehenen Aspekten von NOS übereinstimmen und somit angemessen sind.

Wichtige validierte Erhebungsinstrumente und standardisierte Fragebögen stammen dabei zum Beispiel von Lederman et al. (2002) mit ihrem Fragebogen *Views of Nature of Science* (VNOS), von Allchin (2011) mit dem Fragebogen *Knowledge of the Nature Of Whole Science* (KNOWS) oder von Halloun (1996), welcher den Bogen *Views About Science Survey* (VASS) entwickelte. Der Fragebogen KNOWS unterscheidet sich dabei vom VNOS und VASS dadurch, dass er mehr auf Wissen (Knowledge) fokussiert statt auf die Ansichten (Views) der Befragten. Bevor nun genauer auf den Test VNOS, der für die Studie dieser Arbeit die Grundlage bildet, eingegangen wird, folgt nun noch ein Blick auf den aktuellen Stand der Forschung im deutschsprachigen Raum.

5.3 Deutschsprachige Erhebungsverfahren zur Erfassung der Vorstellungen über *Nature of Science*

Auch im deutschsprachigen Raum gibt es mittlerweile vergleichende Studien über die Vorstellungen über NOS. Während Ansichten von Schülern und Schülerinnen im englischsprachigen Raum schon seit geraumer Zeit einen wichtigen Stellenwert in der fachdidaktischen Forschung einnehmen, stoßen sie bei uns erst neuerdings auf wachsendes Interesse.

Priemer (2006) nennt als Gründe für dieses erwachte Interesse das Auftauchen verschiedener Studien, welche einerseits deutschsprachigen Schülern und Schülerinnen vermehrt inadäquate Ansichten über NOS zuschreiben, andererseits die Wichtigkeit des Themas aufzeigen und zum Dritten die zunehmende Adaption englischer Forschungsarbeit zum Beforschen dieses Gebietes anregen. Weiter mussten für die Entwicklung der Bildungsstandards zunächst adäquate naturwissenschaftliche Kompetenzen festgelegt werden, welche als Ziel im Unterricht angesehen werden konnten. Letztlich kam in der deutschsprachigen Forschung das vermehrte Interesse von psychologischer und soziologischer Seite hinzu, welches zusätzliche Fragen zu beantworten versucht, wie zum Beispiel die nach dem Einfluss des sozialen Hintergrunds auf vorhandene Konzepte. Diese Forschungszweige legen den Fokus stark auf fächerübergreifende, gemeinsame Konzepte, während die fachdidaktische Forschung der Naturwissenschaften sich zumeist auf die Inhalte in ihren eigenen Domänen konzentrierte (Priemer, 2006, S. 160).

Priemer (2006) gibt in seiner Arbeit einen Überblick über veröffentlichte deutschsprachige Erhebungsverfahren mit naturwissenschaftsdidaktischem Hintergrund. Einige der Studien basieren auf Übersetzungen englischer Erhebungsbögen, andere arbeiten mit eigenen Methoden. Aufgrund der vielfältigen Methoden und der fehlenden Validierung der deutschen Übersetzungen geht Priemer (2006) davon aus, „dass für den deutschen Sprachraum bislang kein ausreichend validiertes standardisiertes Fragebogenverfahren mit naturwissenschaftsdidaktischem Hintergrund vorliegt“ (S. 171). Bekannte Verfahren im deutschsprachigen Raum sind neben Priemers eigener Studie von 2003 zum Beispiel das von Urhahne und Hopf (2004), das von Hofheinz (2008) und das von Höttecke (2006). Die beiden letzten, Hofheinz und Höttecke, verwendeten jeweils als Grundlage ihrer deutschen Studie den bereits erwähnten englischen Fragebogen VNOS (Views of Nature of Science) von Abd-El-Khalick.

Derselbe Fragebogen dient auch als Basis der Studie dieser Arbeit weshalb hier nun eine genauere Betrachtung und Vorstellung erfolgt.

5.4 Der *Views of Nature of Science*-Fragebogen

Der Fragebogen zu dieser Arbeit über die Vorstellungen Naturwissenschaftsstudierender zum NOS-Aspekt „Atome“ basiert auf der englischen Arbeit von Abd-El-Khalick (2006). Ziel seiner Studie war es, ein detailliertes Bild der Vorstellungen von College Studenten zu bestimmten Dimensionen von NOS zu erhalten und deren Zusammenhänge zu

unterschiedlichen Aspekten wie akademischem Hintergrund, Geschlecht, sozialer Herkunft und bisheriger naturwissenschaftlicher Bildung der Kandidaten und Kandidatinnen zu ermitteln.

Zunächst erhielten die 153 teilnehmenden College-Studierenden den Fragebogen Views of Nature of Science Questionnaire-Form C (*VNOS-C*) (Abd-El-Khalick, 2006, S. 425), in welchem offene Fragen beantwortet werden sollten, und danach wurden 38 Teilnehmende (25%) in detaillierten, individuellen Einzelinterviews gebeten, ihre Antworten näher auszuführen und zu begründen. Vor der Durchführung der Befragung wurde Abd-El-Khalicks Fragebogen von Experten und Expertinnen, fünf Universitätsprofessoren und -professorinnen aus entsprechenden Gebieten, überprüft und verbessert. Die Fragen zielen darauf ab, die Ansichten der Antwortenden bezüglich der Vorläufigkeit, empirischen, kreativen und theoriegeleiteten Natur der Naturwissenschaften zu ermitteln. Die Einteilung der Antworten der Studierenden erfolgte in „naive“ und „informed“, also in inadäquate und adäquate Ansichten zu den jeweiligen Aspekten. Abd-El-Khalicks Studie bescheinigte den Studierenden überwiegend inadäquate Ansichten, wie zuvor auch schon andere Studien (zum Beispiel Ledermann, 1992).

Welche Vorstellungen die Naturwissenschaftsstudierenden der Universität Wien über Atome haben und inwiefern diese Vorstellungen den als adäquat angesehenen Aspekten von NOS entsprechen, wird im nun folgenden empirischen Teil ausführlich dargelegt.

Empirischer Teil

Im Rahmen eines Seminars für angehende Chemielehrer und Chemielehrerinnen an der Universität Wien fand im Wintersemester 2010/11 eine intensive Auseinandersetzung mit der *Natur der Naturwissenschaften* statt. Es wurde ein Einblick in die fachdidaktische Forschung von NOS gegeben und anhand dieses Themenschwerpunkts eine eigene Untersuchung durchgeführt. Im Zuge dessen wurden sowohl Lehramts- als auch Hauptfachstudierende der Fächer Biologie, Chemie und Physik an der Universität Wien zu ihren Ansichten über NOS befragt. Als Vorlage der Erhebung diente Abd-El-Khalicks (2006) VNOS-C-Fragebogen (siehe Kapitel 5.4). Die Teilnehmer und Teilnehmerinnen des Seminars wählten gezielt Fragen aus, übersetzten sie ins Deutsche und passten sie an die Bedingungen der Zielgruppe an. Der übersetzte Bogen enthielt insgesamt 18 Fragen zu verschiedenen Aspekten von NOS und zusätzliche Fragen zu Alter, Geschlecht, Studienfächern, Studiendauer und Studienabschluss. Alle Studierende der Fächer Biologie, Chemie und Physik wurden angeschrieben und gebeten, den Fragebogen, welcher durch einen Link zu erreichen war, zu bearbeiten. Die Teilnahme war damit also freiwillig und eine Vollerhebung und Repräsentativität wurde von Anfang an nicht angestrebt.

Im Rahmen des genannten Seminars wurde aus Zeitgründen nur ein Teil des so gewonnenen Materials ausgewertet, nämlich die Antworten der Chemiestudierenden zu der Frage der Veränderlichkeit naturwissenschaftlichen Wissens. Auf die dort entstandene Datenbasis greift die vorliegende Diplomarbeit nun zurück und wertet die Antworten der Teilnehmenden aller Fachrichtungen aus, fokussiert auf den Schwerpunkt dieser Arbeit, „Atome“. Der Teil des Fragebogens, welcher das Thema „Atome“ konkret anspricht, umfasst folgende Fragen (Abbildung 7 und Abbildung 8):

7. In Lehrbüchern findet man oft Abbildungen, die Atome zeigen. Dargestellt wird ein zentraler Kern aus Protonen und Neutronen, der von Elektronen umgeben ist.

a) Was denkst du: Sind sich die WissenschaftlerInnen über den Aufbau von Atomen sicher? Begründe bitte deine Entscheidung!

b) Auf welche Beweise stützen sich die WissenschaftlerInnen dabei?

Abbildung 7: Screenshot der Fragen 7.a) und 7.b) der Onlineerhebung

14. Ändert sich eine naturwissenschaftliche Theorie (z.B. Atomtheorie, Evolutionstheorie) irgendwann einmal nachdem NaturwissenschaftlerInnen sie entwickelt haben?

Bitte begründe deine Antwort!

Abbildung 8: Screenshot der Frage 14. der Onlineerhebung

Es wurde zu Beginn der Erhebung darauf hingewiesen, dass es um die persönlichen Vorstellungen geht, wie auch in Frage 7. noch einmal betont wird. Es ging in der Erhebung also nicht darum, Wissen über Atome abzufragen, sondern herauszufinden, was die teilnehmenden Studenten und Studentinnen für Vorstellungen und Überzeugungen vertreten, was aus den Antworten rekonstruiert werden sollte.

6 Methodik

Die Auswertung des Materials wurde gemäß der Inhaltsanalyse nach Mayring (2010) durchgeführt. Die verwendete Technik ist die *skalierende Strukturierung* (vgl. Mayring, 2010, S. 101). Gegenüber der *Zusammenfassung* und der *Explikation* wurde der *Strukturierung* der Vorzug gegeben, da das Ziel der Analyse war, das Material anhand eines Kategoriensystems zu strukturieren. Bei der *Zusammenfassung* wäre hingegen das Material reduziert und abstrahiert worden, um ein überschaubares Abbild des Materials zu erhalten (vgl. Mayring, 2010, S. 65). Die *Explikation* hätte zur Folge gehabt, dass zusätzliches Material und Informationen verwendet worden wäre um das Verständnis einzelner Textteile, wie zum Beispiel einem Begriff oder Satz, zu erweitern (vgl. Mayring, 2010, S. 65). Die spezielle Form der *skalierenden Strukturierung* wurde gewählt, da eine Zuordnung der Antworten der Studierenden in die Dimensionen „informiert“ und „naiv“ angestrebt wurde, welche ordinalskalierte Dimensionen darstellen.

6.1 Festlegung des Materials

Die Stichprobe, über die in dieser Studie Aussagen gemacht werden, umfasst nach Ausschluss der unvollständig Antwortenden 245 Studierende der Universität Wien. Die Studie war sowohl an Studierende des Lehramts als auch der Fachwissenschaft aus den Fächern Biologie, Chemie und Physik gerichtet. Im Wintersemester 2010/11, in dem die Studie durchgeführt wurde, waren 5614 Studierende in den drei naturwissenschaftlichen Fächern inskribiert (siehe Abbildung 9), damit entspricht die Teilnahme einer Rücklaufquote von 4,3%. Diese entspricht der erwartungsgemäßen Rücklaufquote von unter 10% bei Online-Befragungen deren Befragungsliste aus einer E-Mail Datenbank entstammen (zum Beispiel Adressen einer Mailingliste) (Batinic & Moser, 2005). Die Teilnahme wird in Abbildung 10 dargestellt.

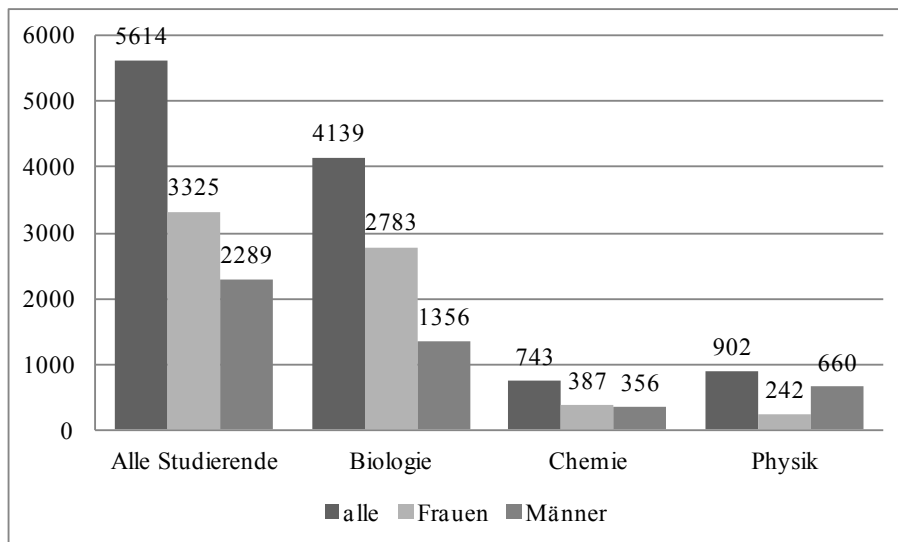


Abbildung 9: Studierende der Universität Wien im Wintersemester 2010/11

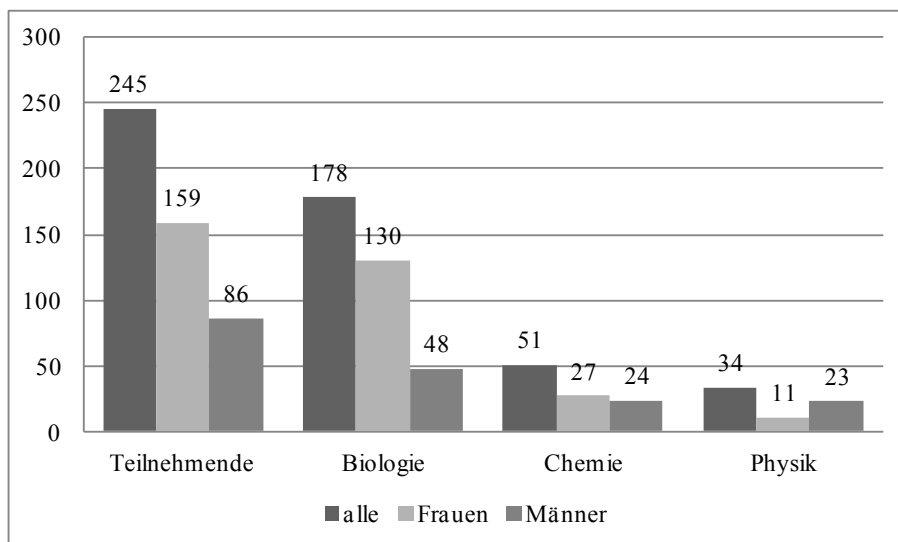


Abbildung 10: Teilnahme an der Online-Befragung

Von den 245 teilnehmenden Studierenden sind 159 weiblich (64,9%) und 86 männlich (35,1%). Biologie studieren 178 (72,7%), Physik 34 (13,9%) und Chemie 51 (20,8%). Die höhere Anzahl bei Zusammenrechnung von Biologie-, Physik- und Chemiestudierenden ergibt sich durch mehrfache Einschreibungen mancher Studenten und Studentinnen. Zu Biologie wurden auch die Fachspezialisierungen wie zum Beispiel Molekularbiologie gezählt.

Ausschließlich in den Fachwissenschaften inskribiert sind von den 245 Teilnehmenden 184 (75,1%), nur Lehramt studieren 48 (19,6%) und sowohl Fachwissenschaften als auch Lehramt studieren 13 (5,3%). Jene, die Lehramt studieren, teilen sich auf die Fächer folgendermaßen auf: 37 (15,1%) studieren Biologie, 17 (6,9%) Physik und 22 (9%) Chemie. Die Gesamtzahl von 76 hier, die um 15 höher ist als die Anzahl der Lehramtsstudierenden insgesamt, ist wieder eine Folge der Mehrfachbelegungen.

Jüngste und älteste Teilnehmer und Teilnehmerinnen sind 18 und 50 Jahre alt, der Altersdurchschnitt liegt bei 23,4 Jahren. Einen Abschluss von Bachelor oder 1. Studienabschnitt, hatten zum Zeitpunkt der Befragung 97 Teilnehmende (49,6%), ohne Abschluss waren 145 Personen (59,2%). Drei hatten keine genaueren Angaben gemacht.

6.2 Analyse der Entstehungssituation

Die Befragung der Teilnehmenden erfolgte online am Computer. Der über einen Link erreichbare Fragebogen enthielt offene Fragen zu verschiedenen Aspekten der *Natur der Naturwissenschaften*. Zusätzlich wurden demographische Daten zu Alter, Geschlecht, Studienfach und Studiendauer erhoben. Außerdem konnte die E-Mail-Adresse freiwillig bekanntgegeben werden, um für eventuell nachfolgende, vertiefende Interviews zur Verfügung zu stehen⁸.

Insgesamt entstanden so 248 vollständig ausgefüllte Bögen, allerdings nahmen drei daran teil, ohne ein naturwissenschaftliches Fach inskribiert zu haben und wurden somit bei der Analyse nicht beachtet. Damit ergaben sich 245 vollständig ausgefüllte Bögen, die zur Analyse herangezogen wurden.

Wichtig ist hier noch einmal zu erwähnen, dass die Befragung der Studierenden und die Entstehung des Materials außerhalb dieser Diplomarbeit lagen. Die Erhebung der Daten erfolgte ohne die Mitwirkung der Verfasserin der vorliegenden Arbeit.

6.3 Formale Charakteristika des Materials

Die Fragen wurden von den Teilnehmern und Teilnehmerinnen schriftlich am Computer beantwortet und liegen somit in der „Originalfassung“ schriftlich vor. Die erhaltenen Antworten wurden alle automatisch in eine Datenbank übertragen und liegen in Form einer Excel-Tabelle vor. Die Fragebögen wurden in der Reihe des Einlangens nummeriert, wodurch jedem Teilnehmenden eine Nummer zugeteilt ist. Die höchste Nummer ist der Antwortbogen 1898, die hohe Zahl ergibt sich aus den vielen angefangenen Fragebögen, die nicht vollständig bearbeitet und hier nicht ausgewertet wurden, durch die automatische Nummerierung aber gezählt sind. Die drei Fragen, welche für die Diplomarbeit zu bearbeiten waren, sind meistens

⁸ Aufgrund der Kontaktprobleme, die in Folge des großen zeitlichen Abstandes zwischen der Befragung und der Anfertigung der vorliegenden Arbeit auftraten, gab es keine zusätzlichen Interviews. Die Konsequenzen daraus werden in Kapitel 9 näher reflektiert.

vollständig beantwortet worden. Allein die zweite Frage, 7b), die Frage nach der Rechtfertigung für das Wissen über Atome, wurde in manchen Fällen unbeantwortet gelassen. Die Antwortlänge ist unterschiedlich, überwiegend lässt die Länge der Antworten aber ein Bemühen um Ökonomie erkennen. Die Länge geht von Ein-Wort-Antworten, wie zum Beispiel „Ja“ oder „Nein“ über kurze Wortgruppen bis hin zu mehreren Sätzen mit ca. 500 Zeichen. Im Durchschnitt wurden die einzelnen Fragen mit je 8,82 Wörtern beantwortet.

6.4 Richtung der Analyse

In der Befragung haben die teilnehmenden Studenten und Studentinnen ihre individuellen Ansichten zu unterschiedlichen Aspekten von *Nature of Science* beschrieben. Die Richtung der Analyse ist, durch die erhaltenen Antworten Aussagen über ihre domänenspezifischen epistemologischen Überzeugungen der Befragten zum Aspekt „Atome“ zu machen (vgl. Mayring 2010, S. 56).

6.5 Theoriegeleitete Differenzierung der Fragestellung

Die Ergebnisse der Forschung über *Nature of Science* bescheinigen vielen Lehrenden und Schülern und Schülerinnen nichtangemessene Vorstellungen, wodurch explizite Weiterbildungen hinsichtlich NOS an Wichtigkeit gewinnen. Im Rahmen einer Konzeption von zielgruppenorientierten Lehrveranstaltungen an der Universität Wien, die diese Weiterbildungen leisten sollen, ist es von Interesse, die herrschenden Vorstellungen zu NOS zu erheben. Da das besondere Interesse dabei den zukünftigen Chemielehrern und -lehrerinnen gilt, beschäftigt sich die Arbeit mit NOS-Aspekten, die das in der Chemie wichtige Thema „Atome“ betreffen. Der Schwerpunkt liegt weiter im Vergleich von Chemie- und Chemielehramtsstudierenden zu Studierenden anderer naturwissenschaftlicher Fächer. Hieraus wurden folgende Forschungsfragen entwickelt:

- Inwiefern haben Studierende der Fächer Biologie, Chemie und Physik unterschiedliche epistemologische Vorstellungen über „Atome“?
- Haben Lehramtsstudierende und Fachwissenschaftsstudierende der Fächer Biologie, Chemie und Physik unterschiedliche epistemologische Vorstellungen über „Atome“?
- Welchen Einfluss hat das Zweitfach auf die epistemologischen Vorstellungen von Lehramtsstudierenden über „Atome“?

- Welchen Einfluss hat die Studiendauer auf die epistemologischen Vorstellungen von Studierenden über „Atome“?

6.6 Bestimmung der Analyseeinheiten

Die Kodiereinheit, also die kleinste Einheit, welche kodiert werden kann, wurde für die folgende Analyse auf einen Teil eines Satzes festgelegt. In den meisten Fällen ist ein größerer Satzteil nötig, um die Bedeutung zu erfassen und zu kodieren. Es gibt einige einzelne Wörter, welche die Richtung der Einschätzung stark vorgeben wie zum Beispiel die Verwendung der Begriffe „richtig“ oder „sicher“ in Antworten auf die Frage, ob die Teilnehmenden der Meinung sind, dass sich Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen sicher sind, wie Atome aussehen (7a). Allerdings muss auch hier die Einbettung betrachtet werden, denn es kann sein, dass gesagt wird: „Wissen ist sicher“, aber ebenso könnte auch gesagt werden, „Wissen ist *nicht* sicher“. Somit reichen einzelne Wörter nicht aus, um die Aussagen zu kodieren, da ihre Bedeutung erst durch den Satz deutlich wird. Bei der Kodierung werden dabei 2 Ebenen bestimmt. Das eine ist die Zuordnung der Aussagen zu einer der im folgenden Abschnitt 6.7 im Einzelnen definierten Kategorien, das andere ist die Einschätzung dieser Aussagen hinsichtlich ihrer Ausprägung (informiert, naiv etc.) wie sie in Abschnitt 6.8 genauer definiert werden

Als Kontexteinheit wurde das gesamte Material festgelegt, welches in den Antworten eines Teilnehmenden auf die Fragen 7a), 7b) und 14) enthalten ist, da die Antworten einer Person oft an unterschiedlichen Stellen Informationen liefern/preisgeben?, welche für die Zuordnung in eine Kategorie bedeutend sind. Es waren somit alle Aussagen, die zu Atomen gemacht wurden, Proband für Proband fragenübergreifend anzuschauen, bevor eine Entscheidung über die Kategorisierung gefällt wurde.

Als Auswertungseinheit wurde festgelegt, dass zu jeder Kategorie einmal pro Teilnehmer oder Teilnehmerin eine Einschätzung in eine Ausprägung vorgenommen wird.

6.7 Festlegung der Einschätzungsdimensionen

Die Herangehensweise bei der Findung der Einschätzungsdimensionen war stark von theoretischen Vorannahmen beeinflusst, da seitens der Bearbeiterin Vertrautheit mit den Aspekten von Nature of Science vorhanden war und das Wissen darüber, was angemessen ist und was nicht, eine wichtige Rolle spielte. Die Aspekte von NOS, welche Abd-El-Khalick

(2006) in seiner Studie ausgewertet und detailliert aufgelistet hat, wurden bei der Findung ebenfalls herangezogen. Die Einschätzungsdimensionen bestehen aber nicht nur aus denjenigen Aspekten von *Nature of Science*, welche im Bezug auf Atome als relevant erachtet wurden, sondern es wurde schlussendlich betrachtet, welche Bereiche von den Studierenden in den Antworten zu den ausgewerteten Fragen angesprochen wurden. Die Bildung der Kategorien fand damit aus einer Mischung von deduktiv und induktiv statt. Die so entstandenen Dimensionen sind:

- *Kategorie 1: Vorstellungen über die Rechtfertigung des Wissens über Atome:* Darin begründet der oder die Studierende, worauf sich die derzeitigen Konzepte von Atomen seiner oder ihrer Meinung nach stützen.
- *Kategorie 2: Vorstellungen über den Modellcharakter von Atomen:* Dabei äußert sich der oder die Studierende über die Natur des Atommodells und inwieweit die in den Naturwissenschaften angewandte Vorstellung der „Realität“ entspricht.
- *Kategorie 3: Vorstellungen über die Vorläufigkeit des Wissens über Atome:* Dabei bezieht sich der oder die Studierende auf die Sicherheit des Wissens über Atome beziehungsweise über die Möglichkeit der Veränderung dieses Wissens.

Kategorie 1 und 2 gehören dabei zum NOS-Aspekt der theoretischen Konstrukte mit speziellem Fokus auf Atome, unterteilt in deren Modellcharakter und die Quelle des Wissens. Kategorie 3 stellt den Aspekt der Vorläufigkeit von naturwissenschaftlichem Wissen dar, hier am Beispiel des Wissens über Atome. Welche Vorstellungen zu diesen Aspekten als angemessen angesehen werden und welche nicht, geht aus dem Theoriekapitel 3.2 hervor, besonders die Arbeit von McComas et al. (2002) hat einen großen Beitrag dazu geleistet.

6.8 Bestimmung der Ausprägungen

Da das Ausgangsmaterial von den Teilnehmenden selbst verfasst und abgeschickt wurde und keine Möglichkeit des Nachfragens gegeben war, sind die Informationen zu einem großen Teil eher dürftig. Eine starke Differenzierung der Ausprägungen erschien hier demnach nicht sinnvoll. Auch die Vorlage zur Studie, die Arbeit von Abd-El-Khalick (2006), enthält nur Ausprägungen in den drei Formen „naiv“, „informiert“ und „nicht eindeutig“ (Original: naive, informed, ambiguous), die hier übernommen wurden. „Informiert“ bedeutet dabei, dass jemand angemessene, reife und reflektierte Ansichten über die *Natur der Naturwissenschaften* vertritt. Der Ausdruck „naiv“ ist hingegen nicht abwertend, wie er in der deutschen

Alltagssprache oft verwendet und verstanden wird, gemeint. Es ist eher der unreflektierte Zugang zu den Naturwissenschaften im Sinne von „natürlich; unbefangen; kindlich“ gemeint, wie er im Duden (Dudenredaktion, 1996, S. 515; Stichwort naiv) beschrieben wird. Eine mögliche Stufe zwischen „naiv“ und „informiert“ wurde hier nicht eingeführt, da sich alle Antworten als relativ klar „naiv“ oder „informiert“ erwiesen. Neben den Ausprägungen „informiert“, „naiv“ und „nicht eindeutig“ findet sich auch noch „keine Aussage“. Die Ausprägung „keine Aussage“ bedeutet, dass im gesamten Material keine Aussage zur betreffenden Kategorie gemacht wurde. Dies ist zum Beispiel der Fall, wenn Fragen gänzlich unbeantwortet gelassen wurden oder mit „das weiß ich nicht“ oder Ähnlichem beantwortet wurden. „Nicht eindeutig“ bedeutet im Unterschied dazu, dass der Studierende eine Antwort in der betreffenden Kategorie gibt, diese aber nicht eindeutig einzuschätzen ist, da sie in irgendeiner Form unklar ist.

Nach der Formulierung der Einschätzungsdimensionen und den dazugehörigen Ausprägungen wurde ein Kategoriensystem erstellt, anhand dessen die Kategorisierung des gesamten Materials durchgeführt wurde. Durch die aufgestellten Definitionen, Regeln und Beispiele soll das System, nach dem die Aussagen eingeschätzt wurden, nachvollziehbar und möglichst objektiv sein.

6.9 Erstellung des Kategoriensystems: Formulierung von Definitionen, Ankerbeispielen und Kodierregeln zu den einzelnen Kategorien

Die Erstellung eines Kategoriensystems ist nach Mayring (2010) besonders wichtig, um genau festzulegen „wann nun ein Materialbestandteil unter eine Kategorie fällt“ (Mayring, 2010, S. 92). Um zu diesem zu gelangen, sind drei Schritte wichtig:

- „Definition der Kategorien

Es wird genau definiert, welche Textbestandteile unter eine Kategorie fallen.

- Ankerbeispiele

Es werden konkrete Textstellen angeführt, die unter eine Kategorie fallen und als Beispiel für diese Kategorie gelten sollen.

- Kodierregeln

Es werden dort, wo Abgrenzungsprobleme zwischen Kategorien bestehen, Regeln formuliert, um eindeutige Zuordnungen zu ermöglichen.“ (Mayring, 2010, S. 92)

Die Bestimmung der Definitionen und Regeln erfolgte bei der ersten Erstellung des Kategoriensystems stark theoriegeleitet. Ob dieses erstellte System eine eindeutige Zuordnung zulässt, wurde durch einen Materialdurchlauf von 20 Fragebögen erprobt. Dabei entstanden weitere Kodierregeln, um aufgetretenen Probleme im Zuge der Kodierungen zu begegnen. Die erste vollständige Version des Kategoriensystems wird nun folgend in Tabelle 1 gezeigt.

Ausprägung	Definition	Ankerbeispiel	Kodierregeln
Kategorie 1 – Vorstellungen über die Rechtfertigung des Wissens über Atome			
Definition: Der oder die Studierende begründet, worauf sich die derzeitigen Konzepte über den Atomaufbau seiner oder ihrer Meinung nach stützen.			
naiv	Der oder die Teilnehmende glaubt an eine Möglichkeit der Sichtbarmachung von Atomen, erwähnt die Existenz eindeutiger Beweise dafür, oder zählt einfach nur verschiedene Experimente auf.	"(...) weil Atome sichtbar gemacht werden können mit bestimmten Instrumenten." A 360	
informiert	Es existiert ein Bewusstsein darüber, dass das Wissen nicht auf direkt messbaren Ergebnissen beruht, sondern auf indirekt gemessenen Effekten, die Teilnehmenden erwähnen, dass es sich um Annahmen, Schlussfolgerungen oder ähnliches handelt, eventuell mit fundierten Grundlagen, wie Protonen, Elektronen, ... (Experiment von Rutherford, ...),	"Rutherford konnte den Atomkern nachweisen dabei entdeckte er auch das Proton. (...) Alles in allem gibt es eine Reihe von Versuchen die diesen Aufbau des Atoms nahelegen." A 84	
nicht eindeutig	Die Aussage enthält keinerlei Information über die Vorstellung darüber, worauf das Wissen über Atome aufgebaut ist.	"Kann ich jetzt mangels chemischen Wissens nicht genau erklären" A 822	
Kategorie 2 – Vorstellungen über den Modellcharakter von Atomen			
Definition: Der oder die Studierende äußert sich über die Natur des Atommodells und inwieweit die in den Naturwissenschaften angewandte Vorstellung der „Realität“ entspricht.			
naiv	Es existiert kein Bewusstsein über die Modellvorstellung von Atomen. Es wird nicht zwischen erhobenen Daten und den darauf basierenden Schlussfolgerungen (Entwicklung des Modells) unterschieden.	"Durch technische Gegebenheiten und physikalisch, analytische Methoden kann man das [den Atomaufbau] nachweisen." A 175	
informiert	Der oder die Teilnehmende besitzt Klarheit darüber, dass die gängigen Vorstellungen über Atome nur Modelle sind. Dies wird explizit erwähnt oder erklärt, dass es sich dabei um Darstellungen, Vereinfachungen oder Ähnliches handelt. Die Möglichkeiten und Grenzen dieser Modelle werden erkannt	"(...) da man nicht so weit in die Materien "hineinzoomen" kann, können sich wissenschaftler nur schematische darstellungen überlegen." A 116	Die Erwähnung des Wortes <i>Modell</i> allein reicht nicht aus für eine informierte Kodierung, da nicht klar ist, ob der Begriff verstanden wurde.
nicht eindeutig	Es wird keine Aussage gemacht, die entsprechend kodiert werden kann.	"Mit Physik und Chemie habe ich leider nur wenig Erfahrung! Soviel ich aus National Geographic weiß, sind die Forscher/-innen auf der Suche nach den noch kleineren Teilchen. Wenn ich das richtig sehe: generell	

ist man sich bzgl. dem Atommodell einig, dennoch sucht man nach noch kleineren Bestandteilen. Wieder wird also versucht, die Grenzen zu überwinden." A 437

Kategorie 3 – Vorbestellungen über die Vorläufigkeit des Wissens über Atome

Definition: Der oder die Studierende bezieht sich auf die Veränderlichkeit des Wissens über Atome.

naiv	Der oder die Teilnehmende erwähnt die Möglichkeit von vollständigem, unveränderlichem Wissen	"Sie [die naturwissenschaftliche Theorie] muss sich nicht ändern, wenn sie schon vollständig ist und richtig ist." A 1100	Kodierwörter: sicher, richtig, beweisen; Kodierausnahme: "Beweis" in Antwort zu 7b) kein Grund allein für naive Kodierung, da in Frage beinhaltet.
informiert	Der oder die Teilnehmende ist sich bewusst, dass naturwissenschaftliche Theorien nie sicher, vollständig und richtig sein können. Es wird die Möglichkeit der Veränderung des Wissens in den Naturwissenschaften erwähnt.	"Wie generell in den NWS [Naturwissenschaften] üblich, ist auch dieses Atommodell meiner Meinung nur das derzeit best mögliche. Es ist durchaus möglich, dass in 2 Jahren ganz andere Vorstellungen darüber herrschen." A 81	Theorien „werden erweitert“ reicht nicht für eine informierte Kodierung. Ja/Nein- Antworten (Ein-Wort-Antworten) werden nicht kodiert, da nicht klar ist, ob die Frage verstanden wurde. Es ist nicht wichtig, ob Theorie und Gesetz unterschieden werden können und Ähnliches, da das nicht die Fragestellung ist.
nicht eindeutig	Es wird keine Aussage gemacht, die entsprechend kodiert werden kann.	"Wenn es nicht so wäre, wäre es traurig!" A 60	

Tabelle 1: Erste Version des Kategoriensystems

Nach der Zusammenstellung des Kategoriensystems kam es zu einer ersten Auswertung des gesamten Materials. Dabei wurden alle Antworten mit Hilfe des Analyseprogramms MAXQDA10 kodiert. Darin wurden alle Textstellen, welche den Anforderungen in den Definitionen der Einschätzungsdimensionen genügten, als Fundstellen markiert und die Zuordnung zu den Ausprägungen wurde vorgenommen. MAXQDA übernimmt dabei die Rolle der Dokumentation und kann nicht die Arbeit des Kodierens abnehmen. Am Ende ist mit Hilfe des Programmes und zusätzlicher eingegebener Daten wie Studienfach, Alter etc. eine Quantifizierung möglich.

6.10 Gütekriterien der Inhaltsanalyse

Die Qualität qualitativer Forschung wird oft kritisch in Frage gestellt, es gibt dazu drei gegensätzliche Positionen, welche von Steinke (2012) zusammengefasst wurden. Dabei gibt es die Position, die Qualitätskriterien der quantitativen Forschung, welche bereits etabliert sind, zu übertragen (Steinke, 2012, S. 319). Andere sind der Meinung, qualitative Forschung brauche ihre eigenen Kriterien (Steinke, 2012, S. 320). Die dritte Position ist die Einstellung, qualitative Forschung brauche überhaupt keine Qualitätskriterien (vgl. Steinke, 2012, S. 321). Steinke (2012) betont allerdings, dass „die weitere Etablierung qualitativer Forschung in der Gesamtlandschaft empirischer Sozialforschung (...) wesentlich davon abhängen [wird], dass für ihre Bewertung angemessene Kriterien definiert werden“ (S. 319) und steht für die Einführung eigener Kriterien.

Mayring (2010) selbst schlägt ebenfalls zur Qualitätssicherung von inhaltsanalytischen Analysen eine sogenannte Interraterreliabilität (oder Intercoderreliabilität) vor, ein klassisches Gütekriterium aus der quantitativen Forschung. Dadurch soll die Objektivität der Methode gewährleistet werden. Es wird „üblicherweise so vorgegangen, dass die gesamte Analyse (oder relevante Ausschnitte) von mehreren Personen durchgeführt wird und die Ergebnisse verglichen werden“ (Mayring, 2010, S. 117).

Um die Reliabilität dieser Arbeit zu prüfen nahmen 6 Teilnehmer und Teilnehmerinnen eines DiplomandInnen- und DissertantInnen-Seminars an der Überprüfung teil. Darunter waren eine Universitätsprofessorin, eine Post-Doktorandin, zwei Doktorandinnen, ein Doktorand und ein Diplomand. Die Teilnehmenden hatten sich bis dahin in unterschiedlichem Ausmaß mit NOS auseinandergesetzt, alle waren aber mit dem Gebiet zumindest vertraut. Sie versuchten mit dem gezeigten Kategoriensystem (Tabelle 1) einen gewählten Ausschnitt des Materials, 20 zufällig gewählte Antwortbögen, in die

entsprechenden Kategorien einzuordnen. Die Ergebnisse wurden mit denen der Autorin auf Übereinstimmungen verglichen und lieferten Ergebnisse zwischen 66 % und 77 %. Der Durchschnittswert liegt bei 71 %. Nach Rössler (2005, S. 192) wäre ein Ergebnis von 80 % Übereinstimmung als gut zu bewerten, 75 % Übereinstimmung könnten bei komplizierten Sachverhalten akzeptiert werden. Von diesem Wert waren die Ergebnisse der Interreliabilität noch zu weit entfernt, wodurch eine Überarbeitung des Kategoriensystems folgen musste.

Die Schwachstellen im Kategoriensystem wurden dabei durch explizite Hinweise der Kodierer und Kodiererinnen deutlich oder durch oft abweichende Kategorisierungen. Die Änderungen werden im nächsten Abschnitt im endgültigen Kategoriensystem dargestellt. Es folgt ebenfalls eine genauere Erklärung des Systems.

6.11 Das finale Kategoriensystem

Hier wird das finale Kategoriensystem dargestellt mit dem alle Antworten endgültig ausgewertet wurden. Zunächst werden alle drei Kategorien beschrieben und erklärt und im Anschluss wird das System in Tabelle 2 dargestellt.

K1 - Vorstellungen zur Rechtfertigung des Wissens über Atome

Die Definition der Ausprägung „naiv“ von Kategorie 1 (siehe Tabelle 2) definiert, wann eine Textstelle als „naive“ Vorstellung einzuschätzen ist: wird formuliert, dass Atome sichtbar gemacht werden können, so ist diese Aussage im Sinne von NOS als inadäquat anzusehen, wie bereits im Theorieteil erläutert wurde. Ebenso zeugen die alleinige Aufzählung von Experimenten nicht von einem reifen Verständnis über die Quelle des Wissens von Atomen, da nicht erkannt werden kann, ob der oder die Studierende verstanden hat, in welcher Form diese Experimente und deren Daten zur Konstruktion von naturwissenschaftlichem Wissen beitragen. Des Weiteren wird die Erwähnung der Existenz von vorhandenen, eindeutigen Beweisen, auf die sich das Wissen über den Atomaufbau stützt, als „naiv“ eingeschätzt, da es keine Beweise in den Naturwissenschaften gibt.

Das Ankerbeispiel zur Ausprägung „naiv“ wurde aus dem Material von Antwortbogen 360 ausgewählt, weil hier genau die in der Definition erwähnte unangemessene Vorstellung ausgedrückt wird, dass Atome sichtbar gemacht werden könnten, und dies als Beweis für den Atomaufbau genüge. Damit ist die Definition erfüllt und die Einordnung als „naiv“ eindeutig. Das Ankerbeispiel lautet:

"(...) weil Atome sichtbar gemacht werden können mit bestimmten Instrumenten."
A 360

Ein anderes Beispiel für eine „naive“ Einschätzung, in der verschiedene Experimente einfach nur aufgezählt werden, lautet:

„Orbitalmodell, Schalenmodell, Bohr'sches Atommodell ... Schrödingergleichung, Heisenbergs Unschärferelation etc. [sind die Basis auf die sich Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen bei ihren Behauptungen zum Atomaufbau stützen].“ A 278

Um als „informiert“ eingeschätzt zu werden, sollte laut der Kodierregel zumindest eine der Forderungen der Definition erfüllt sein, die allesamt dem entsprechen, was im Sinne von *Nature of Science* als angemessen gilt (siehe Kapitel 3.1 und 3.2). Es sollte also entweder erwähnt sein, dass das Atommodell Aufgrund von Schlussfolgerungen, Überlegungen oder Ähnlichem konstruiert wurde, oder dass durch die Experimente nur Eigenschaften, Verhalten der Materie oder Ähnliches. gemessen werden kann.

Die Aussage, welche im Antwortbogen Nummer 959 gemacht wurde, vermittelt ein solch adäquates Verständnis für die Hinweise für den Atomaufbau. Das Ankerbeispiel der Ausprägung „informiert“ lautet daher:

"Dieses Wissen [über den Atomaufbau] basiert auf Vermutungen und die Interpretation vom Verhalten unter bestimmten Beobachtungspunkten." A 959

Die Ausprägung „nicht eindeutig“ greift dann, wenn die Antwort nicht sinnvoll oder treffend ist und somit keine klare Zuordnung zu „naiv“ oder „informiert“ gemacht werden kann. Das Ankerbeispiel dafür ist die Antwort von Nummer 883 zur Frage, worauf sich die Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen bei ihren Behauptungen stützen. Die Antwort lautet:

"Die meisten werden sich heutzutage wohl auf ihre Schulbildung verlassen - das, was ihnen in den naturwissenschaftlichen Fächern und im Studium von Lehrern und Professoren beigebracht wurde - und auf aktuelle Publikationen von anderen WissenschaftlerInnen, die sie lesen." A 883

Die Antwort bezieht sich zwar darauf, worauf sich jemand bei den Behauptungen stützt, weshalb hier Kategorie 1 kodiert wird, allerdings ist weder klar, wer mit „die meisten“ gemeint ist, noch wird die eigene Vorstellung zum Ausdruck gebracht, welche Hinweise es ihrer oder seiner Meinung nach gibt.

K2 - Vorstellungen zum Modellcharakter von Atomen

Hier sollen nun die Definitionen, Ankerbeispiele und Kodierregeln genauer erklärt werden, welche zur Kodierung von Kategorie 2, den Vorstellungen zum Modellcharakter von Atomen, erklärt werden. Das Kategoriensystem ist in Tabelle 2, Seite 62 zu sehen.

Eine Kodierung als „naiv“ in Kategorie 2) wird vorgenommen, wenn kein angemessenes Bewusstsein über den Modellcharakter von Atomen erkennbar ist und das in Frage 7) beschriebene Bild eines Atoms als Realität akzeptiert wird. Das ist zum Beispiel in der Formulierung im Antwortbogen 319 der Fall. Die Antwort von diesem Teilnehmenden auf die Frage zur Sicherheit des Wissens über den Atomaufbau ist als Ankerbeispiel gewählt worden und lautet:

„Ja, es wird sicher ausgeforscht worden sein, sonst würde man nicht sagen, dass ein Atom so [wie das Bohrsche Atommodell] aufgebaut ist und sonst würden die Strukturen und Formeln alle nicht zusammenpassen, wenn diese Form nicht stimmen würde.“ A 319

Durch diese Formulierung wird die Vorstellung vermittelt, dass Atome tatsächlich so aussehen wie das beschriebene Atommodell. Damit ist kein angemessenes Verständnis von naturwissenschaftlichen Modellen zu erkennen, wie zum Beispiel darüber, dass naturwissenschaftliche Modelle überhaupt nicht den Anspruch stellen, so auszusehen wie das Original und das auch gar nicht das Ziel ist (siehe Theoriekapitel 3.2.1).

Der letzte Teil der Definition zur Ausprägung „naiv“ verlangt, dass als „naiv“ kodiert wird, wenn die Möglichkeiten und Grenzen von Modellen nicht adäquat erkannt und verstanden werden. Ein Beispiel dafür ist folgende Aussage über das in der Frage beschriebene Atommodell:

„ (...) das Schalenmodell ist absoluter Schwachsinn und sollte nicht mehr gelehrt werden. A 15

Ein Atommodell als Schwachsinn zu beschreiben, vermittelt kein angemessenes Verständnis davon, welchen Sinn und Zweck Modelle erfüllen sollen. Modelle können allein deshalb nicht in dieser Art bewertet werden, da sie nicht den Anspruch stellen, wahr oder falsch zu sein sondern immer nur für bestimmte Zwecke brauchbar sein können, und für andere eben nicht.

Laut Definition zur Ausprägung „informiert“, wird eine Antwort in Kategorie 2 hier kodiert, wenn ein Bewusstsein darüber erkannt wird, dass das in der Frage beschriebene Bild eines Atoms nur ein Modell ist. Das kann durch eine direkte Nennung dieses Aspekts

erfolgen, oder es wird erklärt, dass das beschriebene Bild eine Art Darstellung, Vereinfachung oder ähnliches ist. Zusätzlich soll deutlich werden, dass die Möglichkeiten und Grenzen dieser Modelle richtig erfasst werden oder zumindest keine damit nicht vereinbaren Antworten gegeben werden. Als Ankerbeispiel wurde folgende Antwort ausgewählt:

"(...) da man nicht so weit in die materien "hineinzoomen" kann, können sich wissenschaftler nur schematische darstellungen überlegen." A 116

In dieser Antwort ist explizit ausgedrückt worden, dass Atome nicht gesehen werden können und, dass das beschriebene Modell eine konstruierte Darstellung ist.

Die Ausprägung „nicht eindeutig“ greift in Kategorie 2 kein einziges Mal, weshalb hier auch kein Ankerbeispiel gegeben werden kann. Der Grund dafür wird in der Methodenreflexion (siehe Kapitel 9) näher besprochen.

K3 - Vorstellungen zur Vorläufigkeit des Wissens über Atome

Bevor die konkreten Erklärungen der Definitionen, Beispiele und Kodierregeln erfolgen, soll noch auf ein grundsätzliches Problem bei der Kodierung in dieser Kategorie hingewiesen werden.

Grundsätzlich gilt ein Glaube an „bewiesenes“ Wissen in den Naturwissenschaften als „naive“ Vorstellung. Studierende, die in ihren Antworten ausdrücken, dass Theorien, wie zum Beispiel der Atomaufbau, bewiesen werden können, oder, dass es die Möglichkeit von Gegenbeweisen gibt, formulieren im Sinne von NOS „naive“ Vorstellungen, die dementsprechend kodiert werden. Allerdings gilt im Prozess der Kodierung hier, dass die Behauptung, dass es Beweise gibt, in Antworten zu Frage 7b) („Auf welche Beweise stützen sich die WissenschaftlerInnen dabei?“) nicht als „naiv“ kodiert wird. Dies ist das Ergebnis der Übersetzung aus dem Englischen und der Formulierung der Frage, welche zu einer Verwendung des Wortes „Beweis“ verleiten konnte. Damit kann nicht beurteilt werden, ob die Verwendung des Wortes von Seiten der Teilnehmer und Teilnehmerinnen stammt und tatsächlich an die Möglichkeit des Beweises geglaubt wird, oder ob nur die selben Wörter verwendet wurden, die schon in der Frage stehen. Daher wurde folgende Konsequenz gezogen: Die alleinige Benutzung einer Form des Wortes „Beweis“ in Antworten zu Frage 7b) führt nicht zu einer Einschätzung als „naiv“. In den Fällen, in denen das Wort „Beweis“, „beweisen“ oder Ähnliches bereits in Antworten zu Frage 7a) verwendet wird, wird auch aufgrund dessen „naiv“ kodiert, da nach informierter *Nature of Science*-Ansicht keine

Beweise in den Naturwissenschaften vorkommen und hier davon auszugehen ist, dass die Wortwahl von den Teilnehmenden selbst stammt. Allerdings ist wiederum der Kontext zu beachten, in dem auch geschrieben sein könnte, dass es keine Beweise gibt, wodurch es natürlich nicht zu einer „naiven“ Kodierung kommt. Insgesamt haben sich fünf Studierende dazu geäußert, dass es in den Naturwissenschaften eigentlich keine „Beweise“ gibt. Zum Beispiel wurde folgende Antwort auf Frage 7b) gegeben:

„Naja ich denke "Beweis" ist relativ. Man kann dafür ja nicht einfach ins Mikroskop sehen!“ A 245

Die Definition zur Ausprägung „naiv“ von Kategorie 3 (siehe Tabelle 2) besagt nun, dass Teilnehmende, die naturwissenschaftliches Wissen explizit als vollständig, richtig, sicher, bewiesen oder ähnlichem beschreiben, hier kodiert werden. Das Ankerbeispiel von Antwortbogen 1100 ist ein anschauliches Beispiel dafür:

„Sie [die naturwissenschaftliche Theorie] muss sich nicht ändern, wenn sie schon vollständig ist und richtig ist.“ A 1100

Die Person beschreibt hier die Vorstellung von der Existenz von vollständigen und richtigen Theorien. Damit liegt kein adäquates Verständnis im Sinn von *Nature of Science* vor, denn ob eine Theorie richtig und vollständig ist, kann streng genommen von niemandem beurteilt werden, da sie auch nicht bewiesen werden kann. Die Kodierwörter „sicher“, „richtig“ und „beweisen“ sind oft Hinweise für eine Kodierung in dieser Ausprägung, wie in genanntem Ankerbeispiel. Die Wörter müssen aber auf jeden Fall in ihrem Kontext gelesen und gedeutet werden. Ebenfalls ist das zu Anfang beschriebene Problem zu beachten, in welcher Antwort das Wort „Beweis“ vorkommt.

In der Ausprägung „informiert“ der dritten Kategorie ist definiert, dass hier das Bewusstsein vorhanden sein muss, dass naturwissenschaftliches Wissen eben nicht sicher, vollständig und richtig sein kann. Oder es wird die allgegenwärtige Möglichkeit einer Veränderung des Wissens erwähnt. Im dazugehörigen Ankerbeispiel ist letzteres der Fall. Hier wird im Antwortbogen Nummer 81 festgestellt, dass obwohl das momentane Modell das derzeit bestmögliche ist, womit auch erkannt wurde, dass Theorien immer auf neueste Daten abgestimmt werden, es auch in wenigen Jahren bereits ein neues geben kann:

„Wie generell in den NWS [Naturwissenschaften] üblich, ist auch dieses Atommodell meiner Meinung nur das derzeit best mögliche. Es ist durchaus möglich, dass in 2 Jahren ganz andere Vorstellungen darüber herrschen.“ A 81

Ein anderes interessantes Beispiel für eine informierte Kodierung ist folgende, in der die Geschichte der Naturwissenschaften mit einbezogen wird:

„Ja natürlich [können sich naturwissenschaftliche Theorien ändern], das kann man sehr schön am Atommodell beschreiben, denn zuerst dachte man ja, dass Atome nicht teilbar sind, also der kleinste Teil unserer Welt, dann dachte man, dass es eine Art Kuchen mit Rosinen ist, und schließlich kommt man dann zu unserem Modell, dass wir heute benutzen mit dem Kern und den Orbitalen.“ A 665

In Kategorie 3 gibt es einige Kodierregeln zu beachten die bei der Entscheidung helfen, ob „naiv“ oder „informiert“ kodiert wird, diese werden folgend erklärt:

Wird zu Frage 14), ob sich eine naturwissenschaftliche Theorie ändern kann, geantwortet, dass sich Theorien erweitern können, so wird „informiert“ kodiert, da der Studierende zumindest nicht an eine vollständige Unveränderlichkeit glaubt.

Werden die Fragen 7a) oder 14) allein mit Ja oder Nein beantwortet, so ist das nicht genug für eine klare Einschätzung in Richtung „naiv“ oder „informiert“, da nicht sicher ist ob die Frage verstanden wurde. Diese Antworten werden als „nicht eindeutig“ eingeschätzt.

Im Gebiet von *Nature of Science* ist es prinzipiell auch ein wichtiger Inhalt, den Unterschied von Gesetzen und Theorien in den Naturwissenschaften zu kennen und zu wissen, dass das eine nicht in das andere über gehen kann (siehe Konsensaussagen von McComas in Kapitel 3.1). Werden die Begriffe Theorie und Gesetz in der Beantwortung der genannten Fragen unangemessen verwendet, ist das kein Grund für eine naive Kodierung, da das einem anderen Aspekt, nämlich dem Unterschied zwischen Theorie und Gesetz, zuzuordnen wäre. Dieser Aspekt betrifft allerdings keine der drei hier behandelten Kategorien und hat auch nichts mit dem Thema der Atome zu tun. Die falsch verwendeten Begriffe werden hier einfach nicht beachtet. Ein Beispiel dafür wäre folgende Antwort, welche als „informiert“ eingeschätzt wurde, da prinzipiell die Vorstellung vorhanden ist, dass sich Theorien ändern können:

„Ja jede Theorie kann geändert werden und wird auch geändert bis sie zu einem naturwissenschaftlichen Gesetz aufsteigt.“ A 331

Weiter ist die Kodierregel wichtig, die bestimmt, was in den Fällen passiert, in denen widersprüchliche Aussagen bezüglich der Sicherheit und der Veränderlichkeit des Wissens über Atome gemacht werden. Ist zumindest ein Teil der Formulierung „naiv“, wird auch entsprechend kodiert, wie schon im Abschnitt zur Bestimmung der Ausprägungen erklärt

wurde (Abschnitt 6.8). Denn entweder sind die Vorstellungen eines Studierenden zu einem Bereich, einer Kategorie, vollständig angemessen, dann wird auch „informiert“ kodiert. Wird zu einer Kategorie auch eine „naive“ Vorstellung formuliert, auch wenn es nur ein Teil der Aussage ist, wird „naiv“ kodiert. Ein Beispiel dafür wären folgende Antworten zu Frage 7a) und 14):

„ich denke sie [die Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen] sind sich über den Aufbau [von Atomen] sicher.“ A 1847

„Ja, sie [naturwissenschaftliche Theorien] können sich ändern oder auch erweitern. Bsp. Atommodelle“ A 1847

Hier wurde bezüglich Kategorie 3 insgesamt „naiv“ kodiert, da die Antwort zu 7a) eine nicht angemessene Vorstellung ausdrückt.

Die Ausprägung „nicht eindeutig“ greift wiederum, wenn keine verständliche Aussage gefunden werden kann, wie im Ankerbeispiel verdeutlicht:

"Wenn es nicht so wäre [dass sich naturwissenschaftliche Theorien ändern können], wäre es traurig.!" A 60

Folgend ist Tabelle 2 zu sehen, in der alle Kategorien mit Definitionen, Ankerbeispielen und Kodierregeln im endgültigen Kategoriensystem geordnet dargestellt werden. Änderungen zur ersten Version (Tabelle 1, Seite 52) sind unterstrichen hervorgehoben.

Ausprägung	Definition	Ankerbeispiel	Kodierregeln
Kategorie 1 – Vorstellungen über die Rechtfertigung des Wissens über Atome			
Definition der Kategorie: Der oder die Studierende begründet dabei auf welche Grundlagen sich die derzeitigen Modellkonzepte seiner oder ihrer Meinung nach stützen.			
naiv	Der oder die Teilnehmende <u>formuliert</u> die Möglichkeit der Sichtbarmachung von Atomen, erwähnt die Existenz eindeutiger Beweise für den Atomaufbau, oder zählt einfach nur verschiedene Experimente auf <u>und sieht diese als ausreichend an.</u>	"(...) weil Atome sichtbar gemacht werden können mit bestimmten Instrumenten." <i>A 360</i>	<u>Wenn ein Punkt der Definition erfüllt ist, wird naiv kodiert.</u>
informiert	Es existiert ein Bewusstsein darüber, dass das Wissen nicht auf direkt messbaren Ergebnissen beruht, sondern auf indirekt gemessenen Effekten; die Teilnehmenden erwähnen, dass es sich um Überlegungen, Annahmen, Schlussfolgerungen oder ähnliches handelt, eventuell mit fundierten Grundlagen <u>aus Experimenten.</u>	<u>"dieses Wissen basiert auf Vermutungen und die Interpretation vom Verhalten unter bestimmten Beobachtungspunkten."</u> <i>A 959</i>	<u>Es muss zumindest ein Teil der Definition erfüllt sein.</u>
nicht eindeutig	<u>Es wird keine sinnvolle Aussage gemacht, die klar eingeordnet werden kann, obwohl offensichtlich versucht wird, die Frage zu beantworten und sich über die Quellen zum Atomaufbau zu äußern.</u>	<u>"Die meisten werden sich heutzutage wohl auf ihre Schulbildung verlassen - das, was ihnen in den naturwissenschaftlichen Fächern und im Studium von Lehrern und Professoren beigebracht wurde - und auf aktuelle Publikationen von anderen WissenschaftlerInnen, die sie lesen."</u> <i>A 883</i>	
Kategorie 2 – Vorstellungen über den Modellcharakter von Atomen			
Definition: Der oder die Studierende äußert sich über die Natur des Atommodells und inwieweit die in den Naturwissenschaften akzeptierte Theorie der „Realität“ entspricht.			
naiv	Es existiert kein Bewusstsein über die Modellvorstellung von Atomen. Es wird nicht unterschieden zwischen vorhandenen Daten und den darauf basierenden Folgerungen <u>wie der Entwicklung eines Modells. Die Möglichkeiten und Grenzen von Modellen werden nicht erkannt.</u>	„ja, es wird sicher ausgeforscht worden sein, sonst würde man nicht sagen, dass ein Atom so aufgebaut ist und sonst würden die Strukturen und Formeln alle nicht zusammenpassen, wenn diese Form nicht stimmen würde.“ <i>A 319</i>	
informiert	Es besteht Klarheit darüber, dass die gängigen Vorstellungen über Atome nur Modelle sind. Dies wird explizit erwähnt oder erklärt, dass es sich dabei um Darstellungen, Vereinfachungen etc. handelt. Die	"(...) da man nicht so weit in die Materien "hineinzoomen" kann, können sich Wissenschaftler nur schematische Darstellungen	Die <u>beiläufige</u> Erwähnung des Wortes 'Modell' allein reicht für eine Kodierung als „informiert“ nicht aus, da nicht klar ist, ob der Begriff verstanden <u>und bewusst eingesetzt wurde.</u> Es muss eindeutig darauf

	Möglichkeiten und Grenzen von Modellen werden erkannt.	überlegen." A 116	<u>hingewiesen werden, dass es sich um Modelle handelt.</u>
nicht eindeutig	<u>Es wird keine sinnvolle Aussage über den Modellcharakter von Atomen gemacht, die klar eingeordnet werden kann.</u>	<i>nicht vorhanden</i>	

Kategorie 3 – Vorstellungen zur Vorläufigkeit des Wissens über Atome

Definition: Der oder die Studierende bezieht sich auf die Sicherheit von Wissen über Atome beziehungsweise auf die stetige Möglichkeit der Veränderung.

naiv	Der oder die Teilnehmende erwähnt die Möglichkeit von vollständigem, unveränderlichem Wissen.	"Sie [die naturwissenschaftliche Theorie] muss sich nicht ändern, wenn sie schon vollständig ist und richtig ist." A 1100	Kodierwörter: sicher, richtig, beweisen. Kodierausnahme: werden „Beweise“ in der Antwort zu 7b) erwähnt, ist das noch kein Grund für eine naive Kodierung, da der Begriff in der Frage beinhaltet ist. Damit kann nicht eingeschätzt werden, ob der Begriff von selbst gewählt wurde oder nur „kopiert“ wurde. Sind die Aussagen zu 7a) und 14) widersprüchlich und ist zumindest eine davon laut Definition als „naiv“ zu kodieren, wird „naiv“ kodiert. Ja/Nein-Antworten (Ein-Wort-Antworten) zu 7a) und 14) werden nicht als naiv kodiert sondern als „nicht eindeutig“, da nicht klar ist, ob die Frage verstanden wurde.
informiert	Der oder die Teilnehmende ist sich bewusst, dass naturwissenschaftliches Wissen und Theorien nie ‚sicher‘, ‚vollständig‘ und ‚richtig‘ sein können. Es wird die Möglichkeit der Veränderung des Wissens in den Naturwissenschaften erwähnt.	"Wie generell in den NWS üblich, ist auch dieses Atommodell meiner Meinung nur das derzeit best mögliche. Es ist durchaus möglich, dass in 2 Jahren ganz andere Vorstellungen darüber herrschen." A 81	<u>Die Aussage „Theorien werden erweitert“ reicht für eine „informierte“ Kodierung aus, da nicht unterstellt werden kann, dass an Unveränderlichkeit geglaubt wird.</u> Ja/Nein- Antworten (Ein-Wort-Antworten) zu 7a) und 14) werden nicht als informiert kodiert sondern als „nicht eindeutig“, da nicht klar ist, ob die Frage verstanden wurde. Es ist nicht wichtig, ob Theorien und Gesetze unterschieden werden können und Ähnliches, da das nicht die Frage dieser Kategorie und Diplomarbeit ist.
nicht eindeutig	<u>Es wird keine sinnvolle Aussage gemacht, die klar eingeordnet werden kann.</u>	<u>"Sicher ist, dass es so nicht ist"</u> <u>A 15</u>	<u>Ja/Nein- Antworten (Ein-Wort-Antworten) zu 7a) und 14) werden hier kodiert, da nicht klar ist, ob die Frage verstanden wurde.</u>

Tabelle 2: Endgültige Version des Kategoriensystems

Nachdem der Prozess der Kategorienbildung erklärt wurde, sollen nun die Ergebnisse des Analyseprozesses dargestellt und beschrieben werden.

7 Darstellung und Beschreibung der Ergebnisse

Es werden hier die Ergebnisse der jeweiligen Forschungsfragen mittels Diagrammen dargestellt und beschrieben. Als erstes werden die Ergebnisse aller Studierenden zu den drei Kategorien Rechtfertigung des Wissens, Modellcharakter und Vorläufigkeit des Wissens von Atomen dargestellt, danach werden die Ergebnisse getrennt nach verschiedenen Merkmalen wie Studiendauer, Studienfach etc. gegenübergestellt. Grundsätzlich gab es in der ganzen Studie keine nennenswerten Unterschiede in den Vorstellungen über Atome zwischen Männern und Frauen, deshalb wurde hier der Fokus nicht auf dieses Merkmal gelegt. Um mehr Querverbindungen schaffen und freier interpretieren zu können folgt die Diskussion und Interpretation erst in Kapitel 8 am Ende der Darlegung aller Ergebnisse.

Die Unterschiede in den Vorstellungen, zum Beispiel zwischen Lehramts- und Fachwissenschaftsstudierenden, die hier quantitativ herausgearbeitet wurden, werden, wenn möglich, auf ihre statistische Signifikanz geprüft. Dafür wurde der zweiseitige Chi-Quadrat-Unabhängigkeitstest gewählt, welcher mit dem Statistik-Programm SPSS (Service Product for Statistical Solution) durchgeführt wurde. Dabei ist der Zusammenhang von Fallzahl und Signifikanz zu bedenken. Das bedeutet, dass bei großer Fallzahl schon bei kleinen Unterschieden eine signifikante Abhängigkeit als Ergebnis erhalten wird, während bei kleiner Grundgesamtheit oftmals kein signifikantes Ergebnis erhalten wird. Weiter ist wichtig zu wissen, dass hier aufgrund der für statistische Verhältnisse doch relativ kleinen Grundgesamtheit von 245 Teilnehmenden der Test in den meisten Fällen nicht durchgeführt werden konnte, da die Werte durch die Aufteilung auf die vier Ausprägungen oftmals sehr klein werden⁹. Als Irrtumswahrscheinlichkeit wird $\alpha=0,05$ angenommen.

7.1 Die Vorstellungen der Studierenden über die Rechtfertigung des Wissens, den Modellcharakter und die Vorläufigkeit des Wissens über Atome

Die folgende Abbildung 11 zeigt die Vorstellungen aller 245 Studierender zu Kategorie 1, Kategorie 2 und Kategorie 3.

⁹Optimale Voraussetzung für einen Chi-Quadrat-Test ist, dass alle erwarteten Häufigkeiten mindestens den Wert 5 haben. In manchen Quellen ist es erlaubt, dass bis zu 20 % der Zellen Werte unter 5 aufweisen, die Aussagekraft des Tests wird dadurch allerdings eingeschränkt, und vor allem ab 20 % gilt das Ergebnis des Tests nicht als sinnvoll.

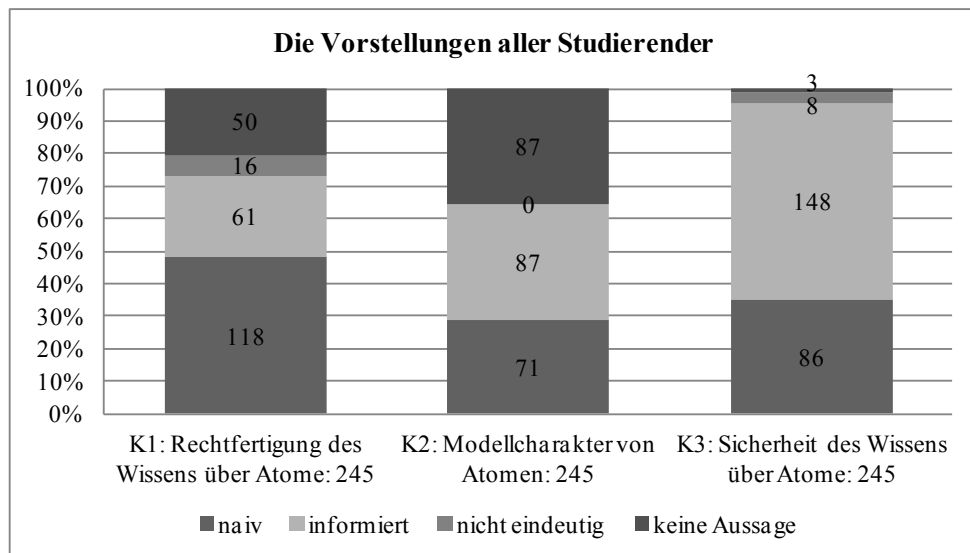


Abbildung 11: Die Vorstellungen aller Studierender in Gegenüberstellung von Kategorie 1, 2 und 3.

Die Vorstellungen der Studierenden der Universität Wien über die Rechtfertigung des Wissens über Atome haben sich zu einem großen Teil als „naiv“ herausgestellt, wie die erste Säule im Diagramm zeigt. Und zwar sind 118 Aussagen von 245 in dieser Kategorie als „naiv“ kodiert worden, was 48 %¹⁰ ausmacht. 61 Teilnehmende (25 %) sind als „informiert“ eingeschätzt worden, 16 Aussagen (7 %) sind nicht eindeutig kodierbar gewesen und 50 Studierende (20 %) haben keine Aussage über ihre Vorstellung gemacht.

In Kategorie 2, dem Modellcharakter von Atomen, gab es keine Formulierungen, welche nicht eindeutig kodiert werden konnten, wie anhand der zweiten Säule im Diagramm zu sehen ist. Jedoch gab es eine relativ große Anzahl der Teilnehmenden, und zwar 87 der gesamten 245 (36 %), welche keine Aussage diesbezüglich machten. Genauso viele, 87 von 245, vertreten „informierte“ Ansichten. Die Vorstellungen von den übrigen, 71 von 245 (29 %) wurden als „naiv“ kodiert.

Die Vorstellungen der Studierenden in Kategorie 3, der Frage nach der Sicherheit des Wissens über Atome, sind im Vergleich dazu zu einem weit größeren Teil informiert wie nun die letzte Säule der Abbildung zeigt. 148 Aussagen (61 %) wurden als „informiert“ kodiert, als „naiv“ wurden in dieser Kategorie 86 (35 %) Aussagen eingeordnet. Zu Kategorie 3 wurden insgesamt auffällig viele Antworten gegeben, die auch klar kodierbar waren. Nur acht Aussagen (3 %) waren nicht eindeutig kodierbar, und nur drei Personen (1 %) äußerten sich nicht zur Frage.

¹⁰ Die Prozentzahlen werden hier auf ganze Zahlen gerundet, da ansonsten eine Scheingenauigkeit suggeriert würde die nicht gegeben ist.

7.2 Die Vorstellungen der Lehramtsstudierenden über Atome in Gegenüberstellung mit denen der Fachwissenschaftsstudierenden

Die folgenden drei Diagramme zeigen die Ergebnisse der drei Kategorien in Gegenüberstellung von Lehramts- und Fachwissenschaftsstudierenden und denen die beide Richtungen studieren. Es gibt 184 Fachwissenschaftsstudierenden, 48 Lehramtsstudierende und 13 Studierende, die in beide Studien inskribiert sind.

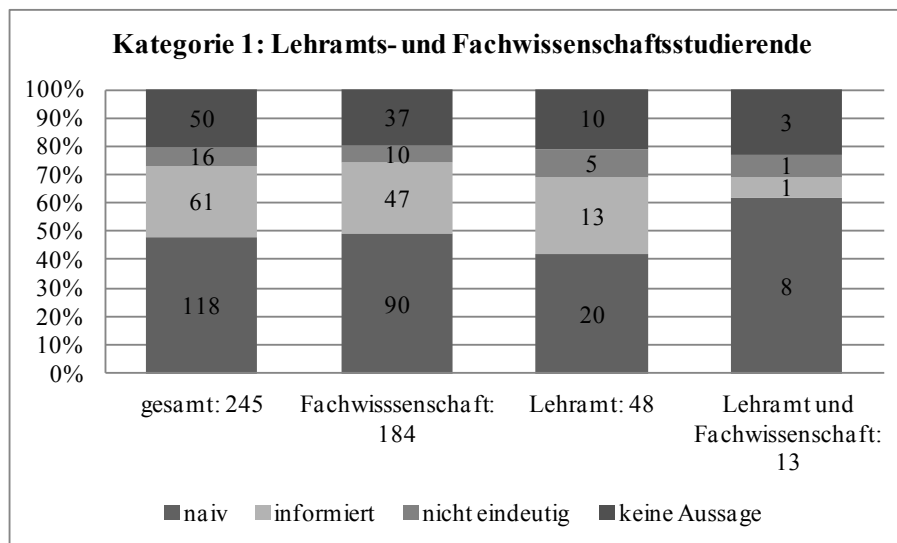


Abbildung 12: Die Vorstellungen von Lehramts- und Fachwissenschaftsstudierenden über die Rechtfertigung des Wissens über Atome (Kategorie 1)

In Abbildung 12 sind die Ergebnisse der Analyse zu Kategorie 1, den Vorstellungen über die Rechtfertigung des Wissens über Atome, zu sehen. Die Anzahl der als „naiv“ kodierten Formulierungen beträgt bei den Fachwissenschaftsstudierenden 90 von 184 (49 %), bei den Lehramtsstudierenden 20 von 48 (42 %) und bei denen die sowohl Lehramt als auch Fachwissenschaft studieren 8 von 13 (62 %). Als „informiert“ kodiert wurden 47 Antworten aus den Fachwissenschaften (26 %), 13 aus dem Lehramt (27 %), und eine (8 %) von denen die beides studieren. Es gibt zehn Formulierungen der Fachwissenschaftsstudierenden (5 %) und fünf unter den Lehramtsstudierenden (10 %), die nicht „nicht eindeutig“ waren. Von den Formulierungen der Studierenden beider Richtungen gab es einen Fall (8 %), der nicht kodiert werden konnte und drei Formulierungen (23 %) enthalten keine Aussage. Bei den Fachwissenschaftsstudierenden fanden sich 37 (20 %) Antworten und bei den Lehramtsstudierenden zehn Antworten (21 %) die in die Ausprägung „keine Aussage“ eingeschätzt wurden.

Der Unterschied zwischen Lehramts- und Fachwissenschaftsstudierenden in den Vorstellungen zu Kategorie 1 ist statistisch nicht signifikant, $\chi^2(3, N = 232) = 1.928, p =$

.588. Die Gruppe der 13 Teilnehmenden, die sowohl Lehramt als auch Fachwissenschaft studieren, ist hier beim Chi-Quadrat-Test nicht berücksichtigt. Die Zahlenwerte (1 und 3) der Ausprägungen sind zu klein und führen zu keinem aussagekräftigen Ergebnis des Tests. Die Signifikanz der Unterschiede wird nur zwischen den Gruppen Fachwissenschaft und Lehramt berechnet. Dasselbe gilt folgend auch für die Berechnungen zu Kategorie 2 und 3.

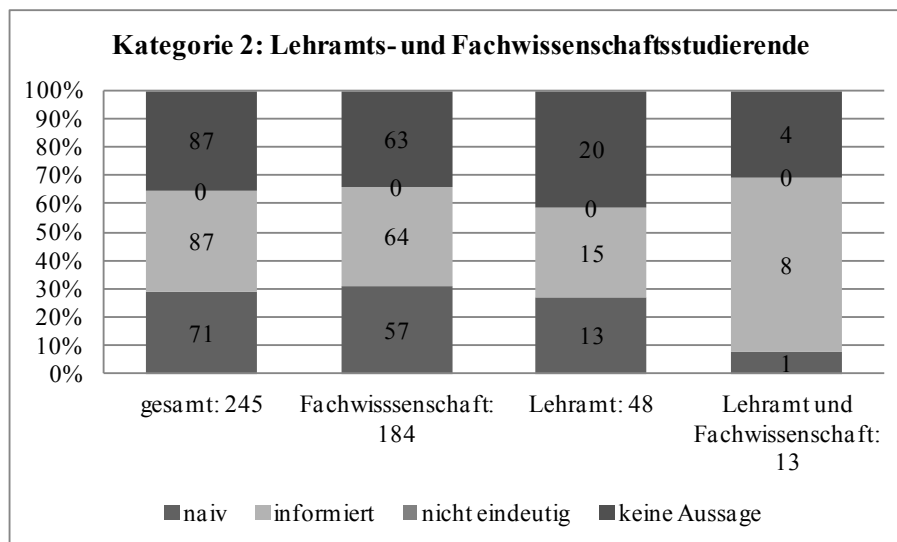


Abbildung 13: Die Vorstellungen von Lehramts- und Fachwissenschaftsstudierenden über den Modellcharakter von Atomen (Kategorie 2)

Die Ergebnisse der Analyse zum Modellcharakter von Atomen, der Kategorie 2, sind in Abbildung 13 dargestellt. Da im gesamten Ergebnis keine „nicht eindeutigen“ Formulierungen auftauchen, gibt es in Folge auch in der getrennten Betrachtung der Studienrichtungen keine Formulierungen, die in die Ausprägung „nicht eindeutig“ eingeschätzt wurden. Als „naiv“ kodiert sind 57 Antworten der 184 Fachwissenschaftsstudierenden (31 %), 13 der 48 Lehramtsstudierenden (27 %) und eine der 13 Studierenden beider Richtungen (8 %). Als „informiert“ kodiert sind 64 Antworten der Fachwissenschaftsstudierenden (35 %), 15 der Lehramtsstudierenden (31 %) und acht der Studierenden (44 %) beider Fächer. Unter den Formulierungen dieser Studierenden wurden vier Antworten (31 %) mit „keine Aussage“ kodiert, unter den Antworten der Lehramtsstudierenden fanden sich in 20 Antworten (42 %) „keine Aussage“ und bei den Fachwissenschaftsstudierenden in 63 (43 %).

Beim Vergleich der Ergebnisse der Fachwissenschaftsstudierenden und der Lehramtsstudierenden fällt eine starke Ähnlichkeit auf, auch nach dem Chi-Quadrat-Test sind die Unterschiede der Vorstellungen zu Kategorie 2 nicht signifikant, $\chi^2(2, N = 232) =$

0.918¹¹, $p = .632$. Das Ergebnis der 13 Studierenden beider Fächer weicht stärker davon ab und es scheinen prozentual wesentlich mehr informierte Einschätzungen vorzuliegen. Statistisch kann die Signifikanz des Unterschieds aufgrund der kleinen Werte aber nicht berechnet werden, wie bereits erklärt wurde.

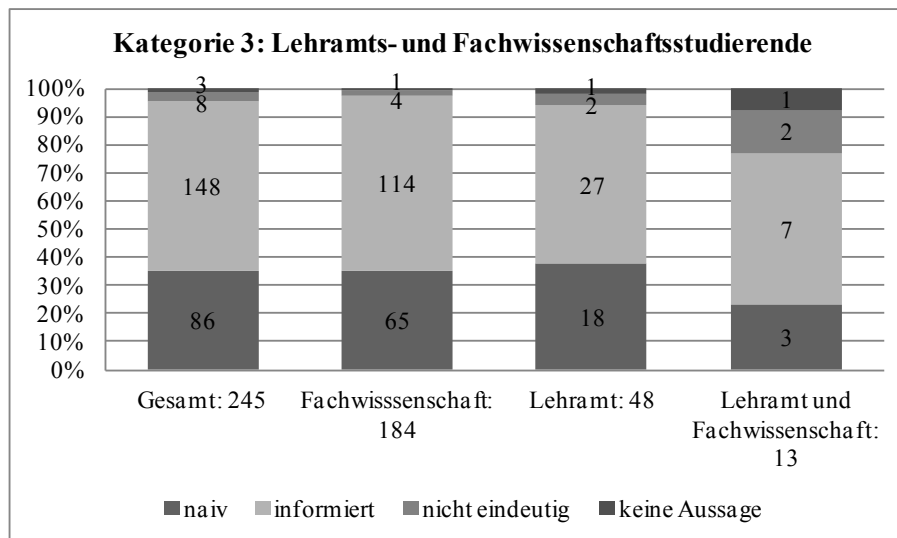


Abbildung 14: Die Vorstellungen von Lehramts- und Fachwissenschaftsstudierenden über die Vorläufigkeit des Wissens über Atome (Kategorie 3)

In Abbildung 14 sind nun die Ergebnisse zu Kategorie 3, der Vorläufigkeit des Wissens über Atome, zu sehen. Studierende der Fachwissenschaft und des Lehramts haben hier wieder sehr ähnliche Ergebnisse. Die Antworten der Fachwissenschaftsstudierenden wurden in 65 von 184 Fällen (35 %) als „naiv“ kodiert, in 114 Fällen (62 %) als „informiert“, in 4 Fällen (2 %) als „nicht eindeutig“ und in einem Fall (1 %) als „keine Aussage“. Antworten der Lehramtsstudierenden wurden in 18 von 48 Fällen (38 %) als „naiv“ kodiert, in 27 Fällen (56 %) als „informiert“, in zwei Fällen (4 %) als „nicht eindeutig“ in einem Fall (2 %) als „keine Aussage“. Das Ergebnis der Studierenden, die beide Richtungen studieren, scheint wiederum stärker abzuweichen. Als „naiv“ wurden drei von 13 Formulierungen (4 %) eingeschätzt, als „informiert“ sieben (54 %), als „nicht eindeutig“ zwei (15 %) und „keine Aussage“ machte ein Fall (8 %). Damit liegen prozentual weniger informierte Formulierungen vor als bei den Fachwissenschafts- und Lehramtsstudierenden, statistisch ist der Unterschied aber wie schon bei Kategorie 1 und 2 aufgrund der kleinen Werte nicht überprüfbar.

¹¹ Da es in Kategorie 2 keine Kodierungen der Ausprägung „keine Aussage“ gibt, wurde die gesamte Zeile im Chi-Quadrat-Test vernachlässigt. Andernfalls würde die Zeilensumme 0 ergeben, da eine Division durch 0 aber nicht definiert ist würde der Test damit ungültig. Bei allen Tests zu Kategorie 2 wurde so vorgegangen, was auch an den Freiheitsgraden zu erkennen ist.

Statistisch kann der Unterschied nicht auf Signifikanz getestet werden, da die Werte in den Einschätzungen „nicht eindeutig“ und „keine Aussage“ zu klein sind. Auch eine Zusammenfassung¹² der beiden Kategorien ergibt, dass die Unterschiede nicht signifikant sind, $\chi^2(2, N = 232) = 1.632, p = .442$.

7.3 Die Vorstellungen der Lehramtsstudierenden über Atome in Gegenüberstellung der Unterrichtsfächer Biologie, Chemie und Physik

Hier werden die Ergebnisse der 61 Lehramtsstudierenden in Gegenüberstellung der Studienfächer Biologie, Chemie und Physik gezeigt. In den Diagrammen scheint es mehr als diese 61 Studierenden zu geben, was dadurch zustande kommt, dass manche dieser Studierenden mehrere Fächer belegen. Über die Signifikanz der Unterschiede kann statistisch keine Aussage gemacht werden, da die Gruppen und einzelne Zahlenwerte zu klein für den Chi-Quadrat-Test sind.

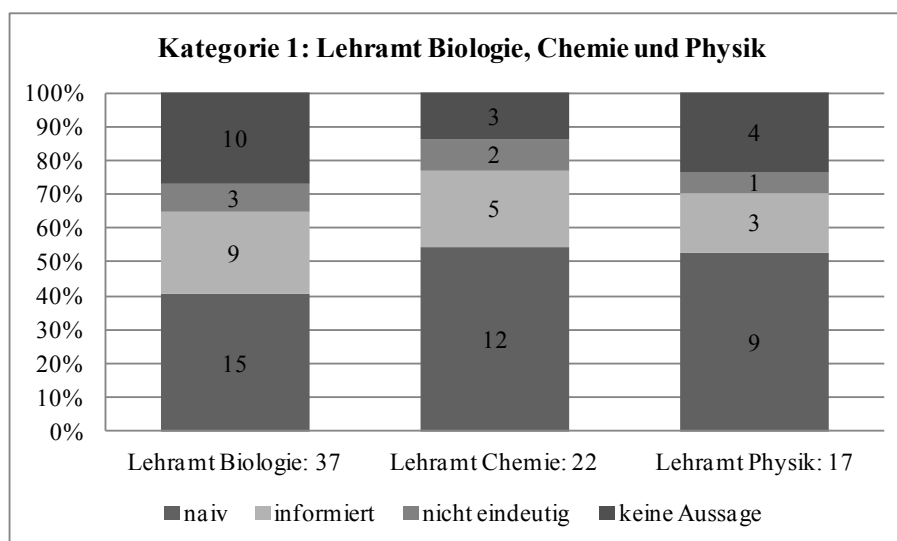


Abbildung 15: Vorstellungen der Lehramtsstudierenden getrennt nach den Fächern Biologie, Chemie und Physik über die Rechtfertigung des Wissens über Atome (Kategorie 1)

In Abbildung 15 sind die Ergebnisse der Studierenden zu Kategorie 1, der Rechtfertigung des Wissens über Atome, gezeigt. Als „naiv“ wurden 15 Antworten der 37 Biologiestudierenden (41 %), zwölf der 22 Chemiestudierenden (55 %) und neun der 17 Physikstudierenden (53 %) eingeschätzt. Informierte Kodierungen gibt es neun aus dem Fach Biologie (24 %), fünf aus dem Fach Chemie (23 %) und drei aus dem Fach Physik (18 %). Weiter gab es unter den Formulierungen der Biologiestudierenden drei (8 %) die als „nicht eindeutig“ und zehn

¹² Nach Wüstendörfer (2005, S. 201) ist ein Zusammenfassen von Kategorien (Zeilen oder Spalten) bei zu kleinen Werten eine Möglichkeit, um ein gültiges Ergebnis des Chi-Quadrat-Tests zu erreichen.

(27 %) die mit „keine Aussage“ eingeschätzt wurden. Bei den Chemiestudierenden waren es zwei (9 %) die als „nicht eindeutig“ kodiert wurden und drei (14%) die „keine Aussage“ machten. Von den Formulierungen der Physikstudierenden sind eine (6 %) „nicht eindeutig“ und vier (24 %) enthalten „keine Aussage“. Statistisch kann die Signifikanz der Unterschiede nicht getestet werden, da zu viele Werte sehr klein sind. Dasselbe gilt hier auch für Kategorie 2 und 3.

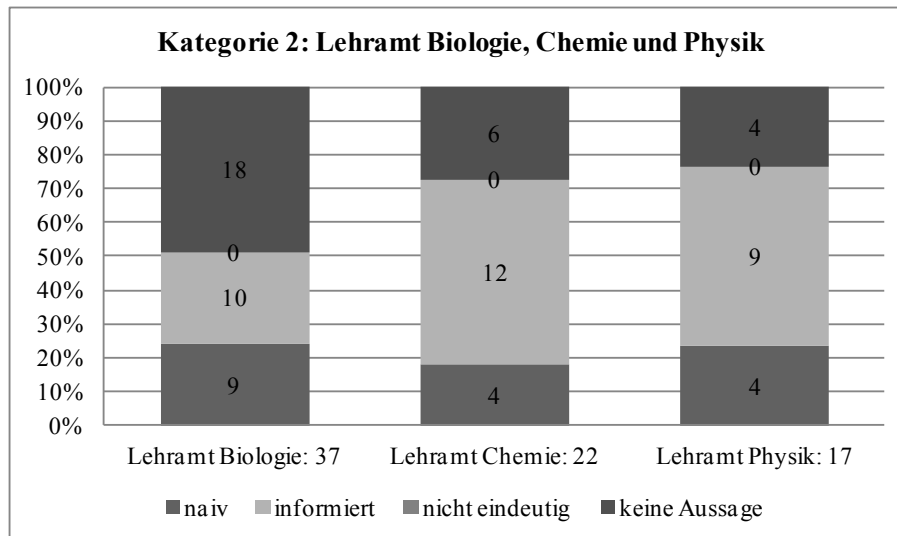


Abbildung 16: Vorstellungen der Lehramtsstudierenden getrennt nach den Fächern Biologie, Chemie und Physik über den Modellcharakter von Atomen (Kategorie 2)

In Abbildung 16 wird das Ergebnis zur 2. Kategorie, zu den Vorstellungen über den Modellcharakter der Atome, dargestellt. Es gibt wiederum keine Einschätzungen in der Ausprägung „nicht eindeutig“. Unter den Formulierungen der Biologiestudierenden sind neun von 37 (24 %) als „naiv“ eingeschätzt, zehn (27 %) als „informiert“ und der Großteil, 18 Studierende (49 %), machte „keine Aussage“ zu diesem Aspekt. Bei den Chemiestudierenden sind vier der 22 (18 %) Antworten als „naiv“ kodiert, zwölf (55 %) als „informiert“ und sechs (27 %) der Ausprägung „keine Aussage“ zugeordnet. Das Ergebnis der Physikstudierenden sieht ähnlich aus, vier der 17 Formulierungen (24 %) zu Kategorie 2 sind als „naiv“ eingeschätzt, neun Formulierungen (53 %) sind als „informiert“ kodiert und wiederum vier (24 %) machten „keine Aussage“.

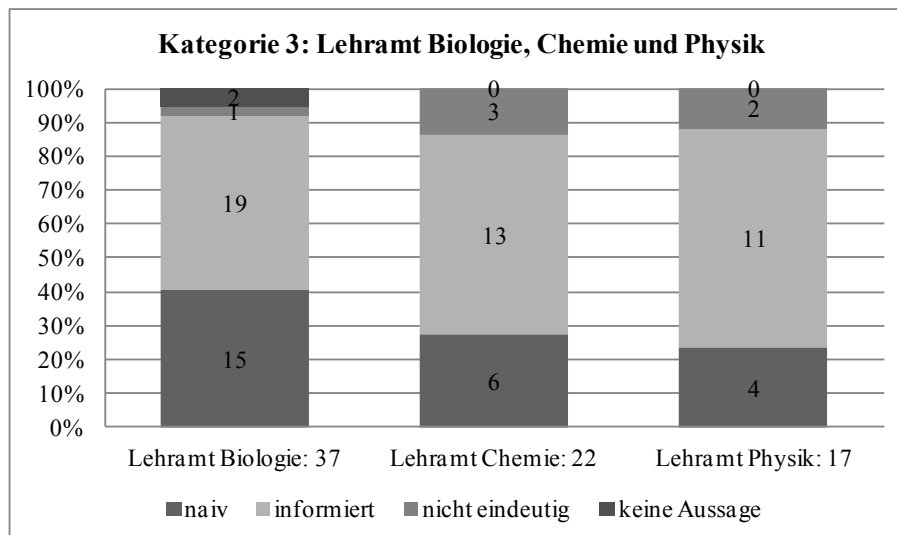


Abbildung 17: Vorstellungen der Lehramtsstudierenden getrennt nach den Fächern Biologie, Chemie und Physik über die Vorläufigkeit des Wissens über den Atomaufbau (Kategorie 3)

In Abbildung 17 ist das Ergebnis zu Kategorie 3, den Vorstellungen zur Vorläufigkeit des Wissens über Atome, zu sehen. Die Formulierungen der Biologiestudierenden wurden in 15 Fällen (41 %) als „naiv“ kodiert, in 19 Fällen (51 %) als „informiert“, in einem Fall (3 %) als „nicht eindeutig“ und zwei Antworten (5 %) enthielten „keine Aussage“. Von den Antworten der Chemiestudierenden wurden sechs (27 %) als „naiv“ kodiert, 13 (64 %) als „informiert“ und drei (14 %) als „nicht eindeutig“. Die Formulierungen der Physikstudierenden wurden in vier Fällen (24 %) als „naiv“ kodiert, in elf Fällen (65 %) als „informiert“ und in zwei Fällen (12 %) als „nicht eindeutig“. Physik- und Chemiestudierende gaben keine Antworten die zu dieser Kategorie keine Aussage enthielten.

Im folgenden Abschnitt folgt die Darstellung der Ergebnisse der Fachwissenschaftsstudierenden, ebenfalls getrennt nach den Fächern Biologie, Chemie und Physik. Ein Vergleich zwischen Fachwissenschafts- und Lehramtsstudierenden inklusive getrennter Betrachtung der Fächer erfolgt in der Diskussion und Interpretation (Kapitel 8).

7.4 Die Vorstellungen der Fachwissenschaftsstudierenden über Atome in Gegenüberstellung der Fächer Biologie, Chemie und Physik

Wenn die Vorstellungen der Fachwissenschaftsstudierenden getrennt nach den Richtungen Biologie, Chemie und Physik in Abbildung 18, Abbildung 19 und Abbildung 20 betrachtet werden, fällt wiederum auf, dass ihre Summe (208) die Zahl der Fachwissenschaftsstudierenden (184) überschreitet, was wieder eine Folge von Mehrfachbelegungen ist.

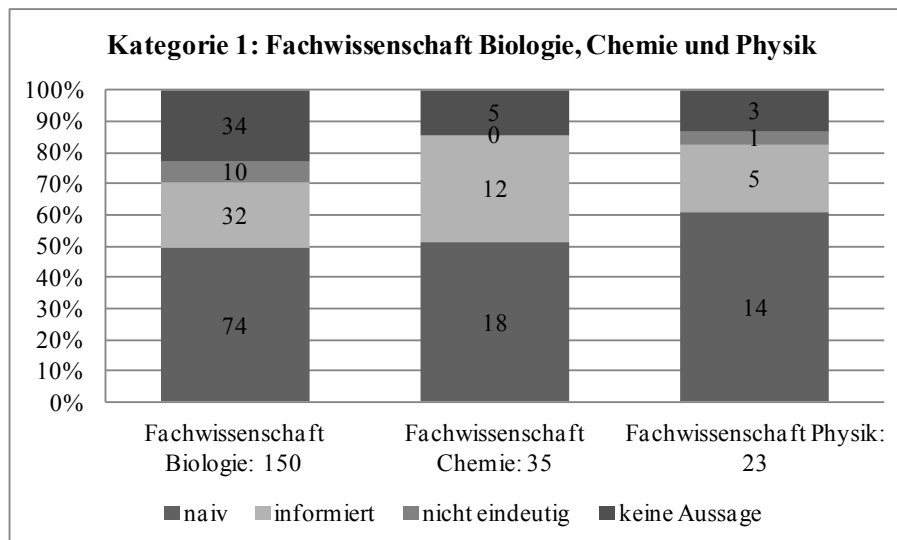


Abbildung 18: Vorstellungen der Fachwissenschaftsstudierenden getrennt nach den Fächern Biologie, Chemie und Physik über die Rechtfertigung des Wissens über Atome (Kategorie 1)

Im Diagramm der Abbildung 18 sind die Vorstellungen zu Kategorie 1 zu sehen. Unter den Vorstellungen der 150 Biologiestudierenden wurden 74 Antworten (31 %) als „naiv“ eingeschätzt, 32 (21 %) als „informiert“, zehn (7 %) waren „nicht eindeutig“ und 34 (23 %) machten „keine Aussagen“ über ihre Vorstellungen. Die Anzahl der Antworten der Chemiestudierenden, die als „naiv“ eingeschätzt wurden, ist 18 (51 %), und die der Physikstudierenden 14 (61 %). Als „informiert“ kodiert sind zwölf Formulierungen (34 %) der Chemiestudierenden und fünf (22 %) der Physikstudierenden, womit unter den Chemikern und Chemikerinnen prozentual gesehen mehr informierte Vorstellungen über die Beobachtbarkeit von Atomen vorhanden sind, während Biologiestudierende am wenigsten informierte Ansichten formulieren. „Nicht eindeutige“ Antworten zu Kategorie 1 gibt es unter den Chemiestudierenden keine, und unter den Physikstudierenden eine (4 %). „Keine Aussage“ machten fünf Chemiestudierende (14 %) und drei Physikstudierende (13 %).

Der Chi-Quadrat-Test zu Kategorie 1 ergab keinen signifikanten Unterschied zwischen Fachwissenschaft Biologie, Chemie und Physik, $\chi^2(4, N = 208) = 5.766, p = .217^{13}$.

¹³ Die Ausprägungen „keine Aussage“ und „nicht eindeutig“ wurden zusammengefasst.

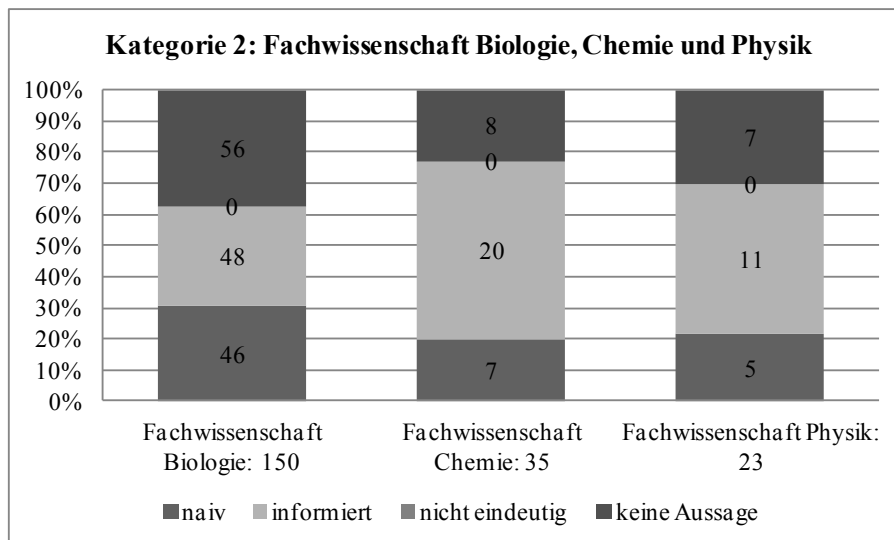


Abbildung 19: Vorstellungen der Fachwissenschaftsstudierenden getrennt nach den Fächern Biologie, Chemie und Physik über den Modellcharakter von Atomen (Kategorie 2)

Hinsichtlich Kategorie 2, den Modellvorstellungen über Atome (Abbildung 19) äußerten sich 46 Biologen und Biologinnen (31 %), sieben Chemiestudierende (20 %) und fünf Teilnehmende des Faches Physik (22 %) in „naiver“ Form. Als „informiert“ wurden 48 Formulierungen der Biologie (32 %), 20 der Chemie (57 %) und elf aus Physik (48 %) eingeschätzt. „Nicht eindeutige“ Aussagen gibt es zu dieser Kategorie nicht, wie schon bei den Ergebnissen der gesamten Teilnehmenden erwähnt. In die Einschätzung „keine Aussage“ fallen 56 Antworten der Biologen und Biologinnen (37 %), acht der Chemiker und Chemikerinnen (23 %) und sieben der Physiker und Physikerinnen (30 %).

Der Chi-Quadrat-Test ergab wiederum keinen signifikanten Unterschied zu Kategorie 2, jedoch liegt hier das Ergebnis schon relativ nahe an einer Signifikanz, $\chi^2(4, N = 208) = 8.737, p = .068$.

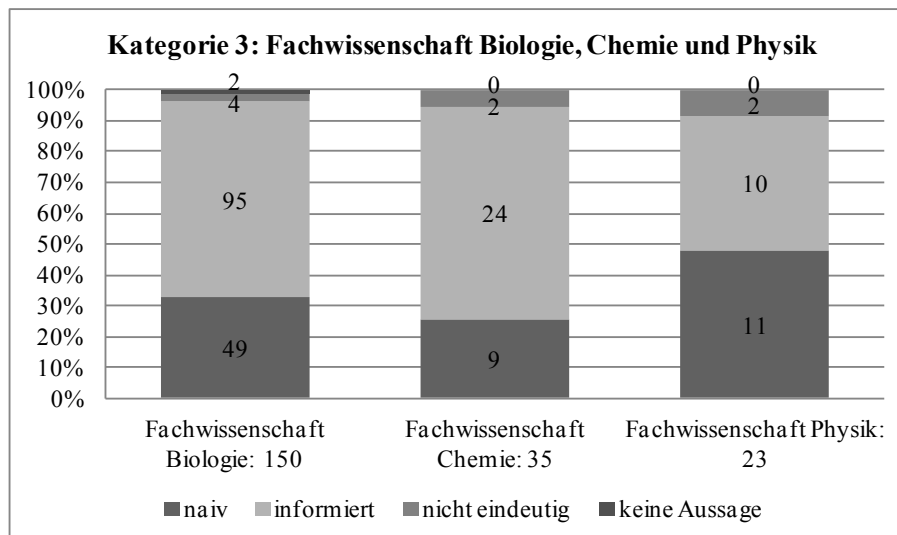


Abbildung 20: Vorstellungen der Fachwissenschaftsstudierenden getrennt nach den Fächern Biologie, Chemie und Physik über die Vorläufigkeit des Wissens über Atome (Kategorie 3).

Die Vorstellungen der Biologiestudierenden die Vorläufigkeit des Wissens über Atome betreffend, siehe Abbildung 20, wurden in 49 Fällen (33 %) als „naiv“ eingeschätzt, unter den Antworten der Studierenden aus dem Fach Chemie waren es neun (26 %) und aus Physik elf (48 %). Informierte Antworten gibt es bei Biologie 95 (63 %), bei Chemie 24 (69 %) und bei Physik zehn (44 %). „Nicht eindeutig“ waren vier Formulierungen der Biologen und Biologinnen (3 %), zwei Antworten der Chemiker und Chemikerinnen (6 %) und zwei der Physiker und Physikerinnen (9 %). In die Ausprägung „keine Aussage“ wurden zwei Formulierungen von Studierenden aus dem Fach Biologie (1 %) und keine aus den Fächern Chemie oder Physik zugeordnet.

Die Unterschiede sind bei Kategorie 3 statistisch nicht sinnvoll zu bewerten, da selbst bei Zusammenfassung der Kategorie „nicht eindeutig“ und „keine Aussage“ zu viele Werte (22 %) zu klein sind.

7.5 Die Vorstellungen der Lehramtsstudierenden über Atome in Abhängigkeit des Zweitfaches

Die Analyse des Einflusses des Zweitfaches der Lehramtsstudierenden¹⁴ setzt den Fokus auf den Unterschied zwischen denjenigen, die ein weiteres naturwissenschaftliches Fach als Zweitfach studieren und denen die kein naturwissenschaftliches Fach im Zweitfach inskribiert haben, sondern zum Beispiel eine Sprache, Geschichte, Sport oder anderes studieren. Dabei ist interessant, ob ein tieferes Eintauchen in die Naturwissenschaften durch die Kombination

¹⁴ Ein Lehramtsstudium an der Universität Wien besteht aus der beliebigen Kombination von zwei Unterrichtsfächern (Universität Wien, 2014).

von zwei der Unterrichtsfächer Biologie, Chemie oder Physik, und dadurch einem unterschiedlichen Zugang zu naturwissenschaftlichen Themen, sich positiv auf die Überzeugungen auswirkt und mehr „informierte“ Vorstellungen hervorbringt.

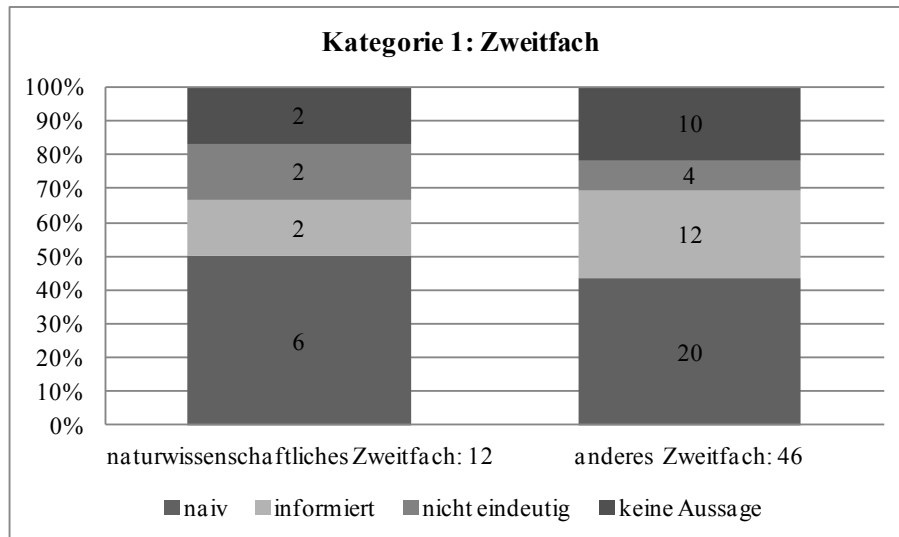


Abbildung 21: Der Einfluss des zweiten Unterrichtsfaches auf die Vorstellungen der Lehramtsstudierenden über die Rechtfertigung des Wissens über Atome (Kategorie 1).

Die Ergebnisse zu Kategorie 1, der Rechtfertigung des Wissens über Atome, sind in Abbildung 21 graphisch dargestellt. Von den zwölf Antworten derjenigen, die als Zweitfach ein naturwissenschaftliches angeben, sind sechs (50 %) als „naiv“, und jeweils zwei (17 %) „informiert“, zwei „nicht eindeutig“ und zwei der Ausprägung „keine Aussage“ zugeordnet. Von den 46 Lehramtsstudierenden mit einem nicht-naturwissenschaftlichen Zweitfach wurden 20 Antworten (43 %) als „naiv“ und zwölf (26 %) als „informiert“ kodiert. Vier Antworten (9 %) waren „nicht eindeutig“ und zehn (22 %) machten „keine Aussage“.

Der Chi-Quadrat-Test ergibt kein sinnvolles Ergebnis aufgrund der kleinen Werte. Das gilt für alle drei Kategorien bei Betrachtung des Zweitfaches.

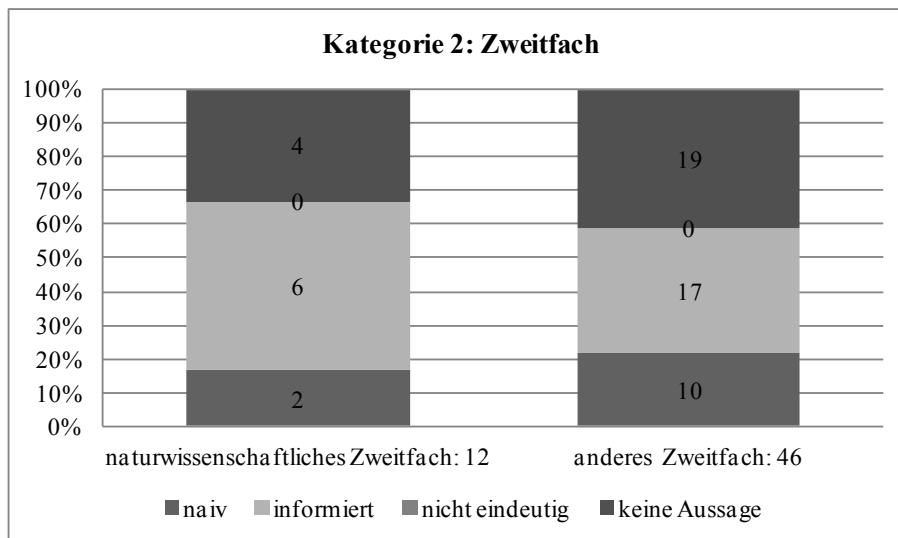


Abbildung 22: Der Einfluss des zweiten Unterrichtsfaches auf die Vorstellungen der Lehramtsstudierenden über den Modellcharakter von Atomen (Kategorie 2)

Die Aussagen der Studierenden der Gruppe, die zwei naturwissenschaftliche Unterrichtsfächer studieren, wurden hinsichtlich deren Vorstellungen zum Modellcharakter von Atomen (Abbildung 22) zwei mal (17 %) als „naiv“ kodiert und sechs mal (50 %) als „informiert“. Keine Antwort konnte nicht eindeutig kodiert werden und in vier Antworten (33 %) fand sich „keine Aussage“ dazu. Unter alljenen die ein anderes Zweitfach studieren sind zehn „naive“ (22 %), 17 „informierte“ (37 %) und wiederum keine „nicht eindeutigen“ Formulierungen. Ein relativ großer Anteil der Studierenden, 19 von 46 (41 %), schrieben nichts über ihre Vorstellungen über Modelle („keine Aussage“).

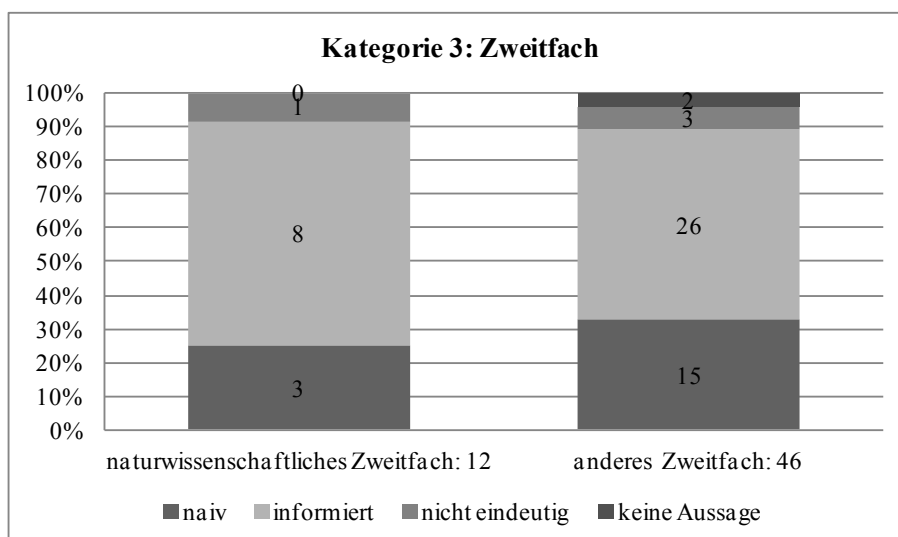


Abbildung 23: Der Einfluss des zweiten Unterrichtsfaches auf die Vorstellungen der Lehramtsstudierenden über die Vorläufigkeit des Wissens über Atome (Kategorie 3)

Von denjenigen deren Zweitfach ein naturwissenschaftliches Fach war, wurden die Aussagen hinsichtlich der Vorläufigkeit des Wissens über Atome (Abbildung 23) in drei Fällen (25 %) als „naiv“ und in acht Fällen (67 %) als „informiert“ eingestuft. Eine Formulierung (8 %) als „naiv“ und in acht Fällen (67 %) als „informiert“ eingestuft. Eine Formulierung (8 %) als „naiv“ und in acht Fällen (67 %) als „informiert“ eingestuft.

konnte nicht eindeutig kodiert werden und es gab keine Antworten ohne Inhalt zu dieser Kategorie. Die Einschätzungen der Antworten der Gruppe mit anderem Zweitfach sind in 15 Fällen (33 %) „naiv“, in 26 (57 %) „informiert“, in drei (7 %) „nicht eindeutig“ und zwei (4 %) enthalten keinen Inhalt der hier eingeschätzt werden konnte.

7.6 Die Vorstellungen der Studierenden über Atome in Abhängigkeit zur Studiendauer

Bei der Trennung der Ergebnisse nach Studiendauer wird die erste Gruppe von den Anfängern und Anfängerinnen, welche sich im ersten oder zweiten Semester befinden, gebildet. Die zweite betrachtete Gruppe besteht aus den Studierenden aus dem 3., 4. und 5. Semester, in der dritten Gruppe sind die Studierenden aus dem 6. bis 9. Semester. In der vierten und letzten Gruppe sind alle Studierenden die schon länger als neun Semester studieren.

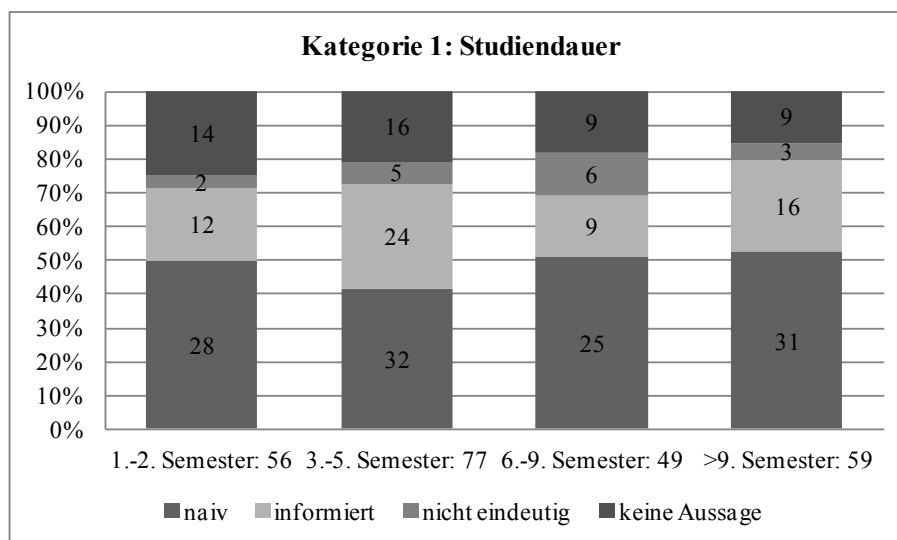


Abbildung 24: Die Vorstellungen der Studierenden getrennt nach Studiendauer über die Rechtfertigung des Wissens über Atome (Kategorie 1).

Bezüglich der Rechtfertigung des Wissens über Atome (Kategorie 1, Abbildung 24) wurden von den insgesamt 56 Studierenden aus Gruppe 1 28 Antworten (50 %) als „naiv“ und zwölf (21 %) als „informiert“ kodiert. Zwei (4 %) konnten nicht eindeutig kodiert werden und 14 (25 %) machten „keine Aussage“ bezüglich Kategorie 1. Von den 77 Teilnehmenden, welche sich zwischen dem dritten und fünften Studiensemester befinden, sind 32 Antworten (42 %) als „naiv“ eingeschätzt worden, 24 (31 %) sind „informiert“ kodiert, 5 (7 %) sind als „nicht eindeutig“ eingeschätzt und 16 (21 %) äußerten sich nicht näher über ihre Vorstellungen. Von den 49 Antworten der Studierenden, die bereits seit sechs, sieben, acht oder neun Semestern

studieren, wurden 25 (51 %) als „naiv“ kodiert, neun (18 %) als „informiert“, fünf (10 %) waren „nicht eindeutig“ und neun (18 %) enthielten keine Informationen über ihre Ansichten. Antworten der Studierenden, die bereits länger als 9 Semester studieren, sind in 31 Fällen von 59 (53 %) als „naiv“ kodiert, in 16 Fällen (27 %) als „informiert“, drei (5 %) sind nicht eindeutig und neun Studierende (15 %) machten keine Aussage zu ihren Vorstellungen zu Hinweisen über das Wissen über Atome.

Die Unterschiede sind in Kategorie 1 statistisch nicht signifikant von der Studiendauer abhängig, $\chi^2(9, N = 241) = 8.231, p = .511$.

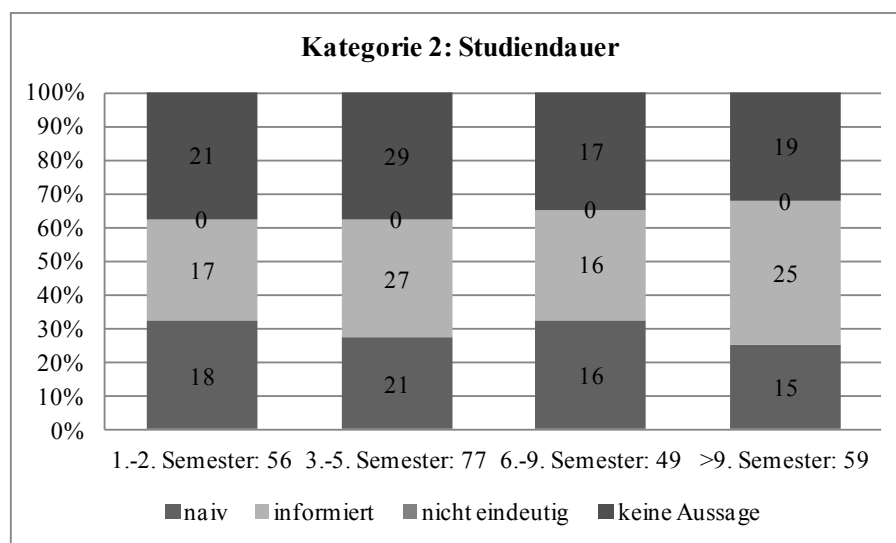


Abbildung 25: Die Vorstellungen der Studierenden getrennt nach Studiendauer über den Modellcharakter von Atomen (Kategorie 2).

Die 56 Antworten der Fälle aus den ersten beiden Semestern wurden bezüglich Kategorie 2, dem Modellcharakter von Atomen (Abbildung 25), in 18 Fällen (32 %) als „naiv“ und in 17 Fällen (30 %) als „informiert“ kodiert. 21 Fälle (38 %) gaben keine genaueren Informationen zu ihren Vorstellungen. Von denen aus den Semestern drei, vier und fünf wurden 21 Formulierungen (27 %) als „naiv“ und 27 (35 %) als „informiert“ eingeschätzt. 29 (38 %) beschrieben keine Vorstellungen zu dieser Kategorie. Kodierungen der Antworten als „naiv“ und „informiert“ bei denen, die sich zwischen dem sechsten und neunten Semester befanden, gibt es jeweils 16 (33 %) und keine Aussage über ihre persönlichen Vorstellungen machten 17 Studierende (35 %). Von denen die bereits am längsten studieren, wurden 15 Antworten (25 %) als „naiv“ und 25 (42 %) als „informiert“ eingeschätzt, in 19 Antworten (32 %) wurde bezüglich Kategorie 2 „keine Aussage“ über den Modellcharakter gefunden.

Die Unterschiede in den Vorstellungen über den Modellcharakter von Atomen sind bei Gegenüberstellung der Studiendauer nicht signifikant, $\chi^2(6, N = 241) = 2.427, p = .876$.

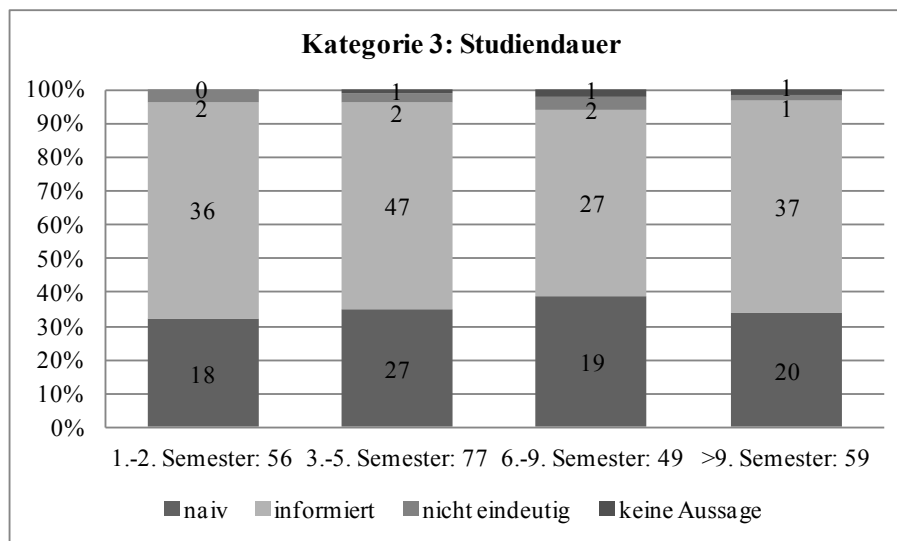


Abbildung 26: Die Vorstellungen der Studierenden getrennt nach Studiendauer über die Vorläufigkeit des Wissens über Atome (Kategorie 3).

Hinsichtlich der Vorläufigkeit des Wissens über Atome, Kategorie 3 (Abbildung 26), gibt es unter den Antworten der Erst- und Zweitsemestrigen 36 Einschätzungen (64 %), als „informiert“, unter den Dritt- bis Fünftsemestrigen 47 (61 %), unter denen aus den Semestern sechs bis neun 27 (55 %) und unter denen die bereits länger als neun Semester studieren 37 (63 %). Die Anteile an „naiven“ Vorstellungen sind, geordnet nach steigender Studiendauer: 18 (32 %), 27 (35 %), 19 (39 %) und 20 (34 %). „Keine Aussagen“ über ihre Vorstellungen haben nur jeweils eine Person aus den Semestern drei bis fünf (1 %), aus den Semestern sechs bis neun (2 %) und aus denen ab Semester neun (2 %) gemacht, in der letzten Gruppe gab es noch eine Aussage, die als „nicht eindeutig“ eingeschätzt wurde. In den übrigen Gruppen gab es jeweils zwei „nicht eindeutige“ Formulierungen (4 %, 3 %, 3 %).

Für den statistischen Test wurden wieder die Ausprägungen „nicht eindeutig“ und „keine Aussage“ zusammengefasst, dennoch waren die Werte zu klein, um ein sinnvolles Ergebnis zu erhalten.

7.7 Weitere ausgewertete Ergebnisse

Es wurden die Ergebnisse außerdem getrennt nach dem Alter ausgewertet und betrachtet. Zum einen wurden vier zusammenfassende Gruppen von etwa gleicher Größe gebildet und es wurde auch jede Altersgruppe einzeln betrachtet. Die Trennung nach einzelnen Altersgruppen brachte sehr uneinheitliche Ergebnisse, welche vermutlich auf die kleinen Gruppengrößen zurückzuführen ist; die Daten der Auswertung sind im Anhang nachzulesen. Die Betrachtung

bei Trennung in vier größere Gruppen brachte sehr ähnliche Ergebnisse zu jener der Betrachtung des Einflusses der Studiendauer.

Ebenso wurde die Abhängigkeit zu bereits vorhandenen Studienabschlüssen ausgewertet. Die Gruppen wurden in diejenigen ohne Abschluss und in diejenigen, welche bereits entweder den ersten Studienabschluss oder einen Bachelor- oder Masterabschluss zum Zeitpunkt der Umfrage hatten, eingeteilt. Die Ergebnisse zeigten keinen Einfluss eines vorhandenen Studienabschlusses auf die Vorstellungen, vielmehr waren die Ergebnisse nahezu ident und befinden sich wiederum im Anhang.

8 Diskussion und Interpretation der Ergebnisse

Die vorliegende Arbeit ist ein erster Versuch, die Vorstellungen Naturwissenschaftsstudierender an der Universität Wien zu ausgewählten NOS-Aspekten zu erfassen. Damit erfolgt die Diskussion der Ergebnisse hier auch unter Außerachtlassung dessen, dass die Unterschiede in den Vorstellungen statistisch überwiegend nicht signifikant sind. Die statistische Signifikanz der Ergebnisse ist in der qualitativen Analyse weniger von Bedeutung als der Inhalt, in welchem Tendenzen sichtbar werden, auch wenn sie nicht in statistisch brauchbaren Zahlenbereichen liegen.

Werden die Ergebnisse aller 245 Teilnehmenden (siehe Abbildung 11) verglichen, fällt als erstes auf, dass die Verteilung der vier Einschätzungen „informiert“, „naiv“, „nicht eindeutig“ und „keine Aussage“ auf die drei Kategorien grundsätzlich sehr unterschiedlich sind. Das Ergebnis zu Kategorie 1, der Rechtfertigung des Wissens über Atome, kann im Vergleich als „schlechtestes“ Ergebnis angesehen werden, denn es wurden fast doppelt so viele „naive“ Formulierungen (48 %) dazu gemacht wie „informierte“ (25 %). Zu Kategorie 2 und 3 gab es immerhin jeweils mehr „informierte“ Vorstellungen als „naive“, wenn auch in unterschiedlichem Ausmaß.

Die meisten der zu Kategorie 1 als „naiv“ eingeschätzten Antworten sind sehr oberflächlich und erwähnten nur kurz einige bekannte Experimente, wie zum Beispiel das von Rutherford, und erklärten nicht näher, wie sich daraus der Atomaufbau ableiten lässt und *inwiefern* diese Experimente Hinweise darstellen. Einige der „naiven“ Formulierungen beinhalten die Vorstellung, dass Atome sichtbar gemacht werden können und es Bilder gibt, die den Aufbau bereits genau zeigen. Des Weiteren machten viele Studierende keine Aussage über ihre Vorstellungen zur Frage 7b) nach den Beweisen für den Atomaufbau, indem „das weiß ich nicht“ oder Ähnliches geschrieben wurde. 32 der 50 Fälle, die als „keine Aussage“ kategorisiert wurden, schrieben eine solche Antwort, was insgesamt 13% ausmacht. Daraus und aus den vielen „naiven“ Antworten könnte gefolgert werden, dass viele Studierende die Frage danach, welche Hinweise für den Atomaufbau existieren, als eher „schwierig“ empfanden und hier nicht daran gedacht haben, dass es um ihre Vorstellungen geht und nicht um ihr Wissen darüber. Im Vergleich dazu wurde in Frage 7a) zur Sicherheit des Wissens über Atome direkt noch einmal danach gefragt, was die Studierenden *denken*. Dadurch gibt es nur 1%, die sich dazu nicht äußerten. Nur 25 % der Befragten äußerten sich zu Kategorie 1 „informiert“ und beschrieben die Vorgänge der indirekten Beobachtung, Interpretation und Schlussfolgerung. Im Vergleich dazu sind die Ergebnisse in Abd-El-Khalicks (2006, S. 398)

Studie in der entsprechenden Kategorie relativ ähnlich, dort wurden insgesamt 30 % der Teilnehmenden in der entsprechenden Kategorie als „informiert“ eingeschätzt, und 68 % als „naiv“. Allerdings ist zu bedenken, dass durch die geführten Interviews in seiner Arbeit ein Dialog geführt werden konnte, wodurch schwierige Fälle geklärt wurden und nur 2% nicht kodiert werden konnten.

Zu Kategorie 2 wurden 36 % „informierte“ und 29 % „naive“ Vorstellungen ausgedrückt, womit zwar kein großer Unterschied besteht, allerdings die „informierten“ Ansichten zumindest etwas überwiegen. Auffallend im Ergebnis zu Kategorie 2 sind die vielen Einschätzungen in der Ausprägung „keine Aussage“. Diese sind allerdings von denen in Kategorie 1 zu unterscheiden, denn in Kategorie 1 wurde konkret nach den Hinweisen für den Atomaufbau gefragt. Nach den Modellvorstellungen wurde nicht explizit gefragt, sondern die Vorstellungen über den Modellcharakter wurden in ca. zwei Dritteln der Fälle nebenbei in der Beantwortung der ausgewerteten Fragen ausgedrückt. Die 36 % der Studierenden, die zu Kategorie 2 „keine Aussage“ machten, haben sich eher eng an die Beantwortung der gestellten Fragen gehalten und haben als Folge davon nicht ihre Vorstellungen zum Modellcharakter ausgedrückt. Es könnten unter diesen 36 % noch einige Studierende sein, welche „informierte“ oder „naive“ Vorstellungen zu diesem Aspekt formuliert hätten, während im Vergleich dazu zu Kategorie 1 die Studierenden sich bewusst dafür entschieden hatten „keine Aussage“ zu machen.

Das Ergebnis der Auswertung von Kategorie 3, der Vorläufigkeit des Wissens über Atome, brachte als Ergebnis, dass sich der Großteil der Studierenden, 60 %, in „informierter“ Form dazu geäußert haben, 35 % in „naiver“ und insgesamt nur elf Studierende konnten diesen zwei Ausprägungen nicht zugeordnet werden. Der Grund dafür, dass beinahe alle Antworten klar eingeschätzt werden konnten und fast niemand keine Antwort gab, könnte daran liegen, dass zur Auswertung dieses Aspekts zwei Fragen zur Verfügung standen. Das heißt, in zwei Fragen wurde direkt nach den Vorstellungen entweder zur Sicherheit oder zur Veränderlichkeit von Wissen gefragt. Damit ergibt sich mehr Material, das ausgewertet werden kann. Weiter wird in der Frage 7a) explizit danach gefragt, was der oder die Studierende *denkt*. Damit könnte es für viele Studierende noch einmal leichter sein, zu antworten. Prinzipiell geht es zwar im gesamten Fragebogen um die Vorstellungen und was die Studierenden denken, was zu Beginn der Umfrage auch erklärt wurde, jedoch könnte Frage 7b) im Gegensatz zu 7a) eher so verstanden werden, dass es hier um Wissen geht und nicht um Vorstellungen.

Von den 35 % der Formulierungen, die als „naiv“ eingeschätzt wurden, haben 9 % (22 Fälle) widersprüchliche Antworten im Bezug zu Kategorie 3 gegeben. Die meisten davon haben in der Frage 7a) geantwortet, dass das Wissen über den Atomaufbau sicher und bewiesen sei, während sie in der Antwort zu Frage 14) schrieben, dass sich naturwissenschaftliche Theorien auch ändern können. Es könnte sein, dass bei diesen Studierenden „Sicherheit“ und „Veränderlichkeit“ unterschiedliche Aspekte beschreiben und nicht als gegensätzliches Paar erkannt wurden.

Unter den „informierten“ Vorstellungen zur Vorläufigkeit des Wissens über Atome wurde sehr oft der Prozess gut beschrieben, wie es in den Naturwissenschaften zu Veränderungen kommen kann. Besonders interessant sind aber auch jene Antworten, die in ihren Begründungen Verweise auf bereits Vergangenes und bisherige Entwicklungen in den Naturwissenschaften geben. 40 Studierende, 16 %, beziehen damit ihre angemessenen Vorstellungen über die Veränderlichkeit naturwissenschaftlichen Wissens offensichtlich aus der Geschichte der Naturwissenschaften. Dies ist besonders interessant, da es als Bestätigung betrachtet werden kann, dass die Geschichte der Naturwissenschaften dazu beitragen kann, angemessene Vorstellungen von *Nature of Science* zu entwickeln, wie bereits in der Theorie (siehe Kapitel 3.1) behauptet wurde.

Dass die Fachwissenschafts- und Lehramtsstudierenden stark ähnliche Ergebnisse erzielten, wurde bereits in Kapitel 7.2 dargestellt und auch, dass die Ergebnisse der 13 Studierenden, die beide Richtungen studieren, davon stark abweichen. Das Ergebnis ist deshalb interessant, da die Lehramtsstudierenden im jeweiligen Fach weniger fachspezifische Lehrveranstaltungen absolvieren als Fachwissenschaftsstudierenden. Dieser Aspekt wirkt sich offensichtlich insgesamt nicht nachteilig aus, was im Sinne des Lehramtsstudiums erfreulich ist. Die Unterschiede zwischen Lehramt und Fachwissenschaft werden im Folgenden noch genauer anhand der getrennten Betrachtung der Biologie-, Chemie- und Physikstudierenden betrachtet.

Die Ergebnisse der 13 Studierenden der Fachwissenschaften und des Lehramts scheinen durch ihre großen Abweichungen, welche über die drei Kategorien auch nicht einheitlich sind, nicht besonders aufschlussreich zu sein. Die Abweichung ist vermutlich auf die kleine Gruppengröße zurückzuführen.

Interessant ist nun auch das Ergebnis der Studie bei getrennter Betrachtung der Studienfächer Biologie, Chemie und Physik (siehe Abschnitt 7.3 und 7.4). Die Ergebnisse der Fachwissenschaftsstudierenden (7.4) zeigen einheitlich und deutlich bei allen drei Kategorien

eine Dominanz der Kodierungen als „informiert“ bei den Chemiestudierenden. Der Grund dafür könnte darin liegen, dass der behandelte Aspekt, Atome, ein naturwissenschaftliches Thema ist, das vor allem in der Chemie vielseitig eingesetzt und diskutiert wird. Dieses Ergebnis würde die Annahme nahelegen, dass Chemiestudierende generell besser über Aspekte, die die Atome betreffen, informiert sind als ihre Kollegen und Kolleginnen aus den Bereichen Physik und Biologie. Doch die Ergebnisse der getrennten Betrachtung der Lehramtsstudierenden (Kapitel 7.3) kann dies nicht bestätigen. Hier findet sich nur zu Kategorie 2, dem Modellcharakter von Atomen, eine Dominanz der Kodierungen als „informiert“, in Kategorie 1, der Rechtfertigung des Wissens über Atome, haben prozentuell Biologiestudierende am meisten Kodierungen als „informiert“, in Kategorie 3, der Vorläufigkeit des Wissens über Atome, die Physikstudierenden. Eventuell ist das wiederum auf die kleinere Gruppengrößen der Lehramtsstudierenden zurückzuführen, wodurch eine geringere Repräsentativität und größere Zufälligkeit entsteht. Oder es bestehen doch Unterschiede zwischen Lehramts- und Fachwissenschaftsstudierenden. Werden zum Beispiel nur die Chemiestudierenden vergleichend betrachtet, so liegen die Anteile der „informierten“ Kodierungen der Chemie-Fachwissenschaftsstudierenden prozentuell auch tatsächlich in allen drei Kategorien gering über denen der Chemie-Lehramtsstudierenden. Da in den ersten zwei Semestern des Chemiestudiums fachlich die gleichen Lehrveranstaltungen von allen Studierenden besucht werden, ist der Grund für das etwas bessere Abschneiden der Fachwissenschaftsstudierenden eher in den späteren Semestern zu suchen. Ein Grund dafür könnte die größere Anzahl an Praktika im Labor sein, welche Fachwissenschaftsstudierende zu absolvieren haben, sein, oder ein anderer die größere Einbindung in Forschungsarbeit im Rahmen von Bachelor- und Masterarbeiten sein. Diese müssen von Fachwissenschaftsstudierenden im Labor absolviert werden, während Diplomarbeiten von Lehramtsstudierenden wahlweise zwar auch im Labor gemacht werden können, sehr oft aber im fachdidaktischen Rahmen stattfinden, wie zum Beispiel die vorliegende Arbeit zeigt. Es liegt allerdings keine Information darüber vor, ob die Studierenden, welche an dieser Studie teilgenommen haben, bereits an ihrer Bachelor-, Master-, oder Diplomarbeit gearbeitet haben. Über diese Frage kann daher nur spekuliert werden. Im Theorieteil dieser Arbeit wurde darauf verwiesen, dass mehr naturwissenschaftliche Praxis allein nicht besonders effektiv die Vorstellungen über NOS verbessert. Laut Abd-El-Khalick und Lederman (2000) ist der implizite Ansatz, welcher hier zutrifft, nicht zielführend, sondern es müssen die Aspekte von NOS explizit angesprochen werden, um erfolgreich angemessene NOS-Vorstellungen zu entwickeln. Die Ergebnisse hier, ein gering besseres Abschneiden der Chemie-

Fachwissenschaftsstudierenden, könnte auf diesen schwachen Effekt des impliziten Ansatzes zurückzuführen sein, dass Fachwissenschaftsstudierende durch mehr Forschungsarbeit in höheren Semestern gering mehr „informierte“ Vorstellungen entwickeln. Zur Überprüfung der Theorie wäre es theoretisch möglich, die Ergebnisse der Chemielehramts- und Chemiefachwissenschaftsstudierenden weiter nach der Studiendauer getrennt zu betrachten. Aufgrund der dadurch extrem klein werdenden Grundgesamtheit ist das allerdings nicht sinnvoll.

Über die Biologie- und Physikstudierenden kann, getrennt nach Fachwissenschaft und Lehramt, keine einheitliche Aussage wie bei den Chemiestudierenden gemacht werden.

Das Ergebnis des Einflusses des zweiten Unterrichtsfaches auf die Vorstellungen über NOS stellt sich in den drei Kategorien als uneinheitlich heraus. Da die Bereiche „Sicherheit des Wissens“ und „Quelle des Wissens“ laut Schommer (1990) voneinander unabhängige Dimensionen bilden, in denen unterschiedliche Vorstellungen vorliegen können, ist dies auch keine nötige Bedingung. In Kategorie 1 haben die Studierenden mit nicht-naturwissenschaftlichem Zweitfach mehr „informierte“ und weniger „naive“ Vorstellungen formuliert als die Studierenden mit naturwissenschaftlichem Zweitfach. In Kategorie 2 und 3 sind die Ergebnisse umgekehrt, hier haben die Lehramtsstudierenden, welche beide Fächer in den Naturwissenschaften inskribiert haben, mehr „informierte“ und weniger „naive“ Vorstellungen formuliert. Die Gruppe der Studierenden mit zwei naturwissenschaftlichen Fächern ist mit zwölf sehr klein, wodurch die Aussagekraft gering ist und das Ergebnis von Kategorie 1 auch einen statistischen „Ausreißer“ darstellen könnte. Dann hätte sich bestätigt, dass Studierende mit zwei naturwissenschaftlichen Unterrichtsfächern gegenüber denjenigen mit nur einem naturwissenschaftlichen Fach einen Vorteil haben und angemessenere Vorstellungen vertreten.

Die Analyse der Vorstellungen nach der Studiendauer (siehe Kapitel 7.6) zeigt eine sehr schwache Tendenz zu einer Steigerung des Anteils an „informierten“ Ansichten mit zunehmender Studiendauer, was statistisch allerdings nicht als signifikant gezeigt werden konnte. Besonders ist aufgefallen, dass in der Gruppe der Sechst- bis Neuntsemestrigen in allen drei Kategorien ein Einbruch an „informierten“ Vorstellungen zu sehen ist, danach steigt der Anteil wieder an. Es scheint, dass hier in diesem Bereich, ab dem neunten Semester etwas im Studium passiert, wodurch die Ausbildung von angemessenen Vorstellungen gefördert wird. Eventuell ist dies wiederum auf den Effekt zurückzuführen, den der implizite Ansatz mit sich bringt. In dem Zeitraum ab dem neunten Studiensemester machen viele Studierende

laut dem Studienplan ihre Diplom- oder Masterarbeit. Durch diese Einbindung in die naturwissenschaftliche Forschung könnte wieder eine geringe Verbesserung in den Vorstellungen erreicht werden, doch wiederum kann bestätigt werden, dass dieser Ansatz nur geringen Erfolg und Verbesserung bringt.

Die Änderungen der Vorstellungen der Teilnehmenden in Abhängigkeit von der Studiendauer wurde ebenfalls getrennt nach den Fachwissenschafts- und Lehramtsstudierenden betrachtet. Dabei konnten allerdings keine neuen oder relevanten Ergebnisse festgestellt werden, weshalb die Diagramme hier nicht gezeigt werden. Die Ergebnisse dazu finden sich im Anhang. Analog wurden die Biologie- Chemie- und Physikstudierenden getrennt betrachtet mit Fokus auf Änderungen der Einschätzungen mit Zunahme der Studiendauer. Es bestätigte sich dabei das Ergebnis von Kapitel 7.4, nämlich, dass es prinzipiell einen auffallend größeren Anteil an Kodierungen als „informiert“ bei den Chemiestudierenden gibt als bei Biologie- und Physikstudierenden. Zu einem Zusammenhang der Kodierungen mit der Studiendauer konnten hier keine neuen Ergebnisse festgestellt werden. Die ausgewerteten Ergebnisse befinden sich dazu ebenfalls im Anhang.

9 Methodenreflexion

Die Basis der Erhebung dieser Arbeit war der Online-Fragebogen aus dem Jahr 2010, durch welchen mittels offener Fragen die Vorstellungen der Studierenden über die *Natur der Naturwissenschaften* ermittelt werden sollten. Wie in Kapitel 5.2 über die Erhebungsverfahren zur Erfassung der Vorstellungen über NOS bereits geschrieben wurde, ist das Ziel jeder Erhebung, die Vorstellungen valide zu ermitteln, also die Vorstellungen der Teilnehmenden möglichst so zu erfassen, wie sie, zumindest zum Zeitpunkt der Befragung, tatsächlich vorliegen. Im Zuge der Auswertung sind dabei einige Bereiche aufgefallen, bei denen es zum Teil zu Problemen und Unklarheiten gekommen ist, durch die diese valide Erfassung eingeschränkt wird. Diese werden nun folgend besprochen.

Die Übersetzung des Fragebogens VNOS-C (siehe Kapitel 5.4 und) ins Deutsche erwies sich gerade bei Frage 7b) als nicht ganz unproblematisch. Frage 7b) lautet im Original: „What specific evidence do you think scientists used to determine what an atom looks like?“ (Abd-El-Khalick, 2006, S. 425). Übersetzt wurde die Frage mit: „Auf welche Beweise stützen sich die Wissenschaftlerinnen dabei?“. Es hätte eventuell sein können, dass eine Übersetzung, die genauer am Original geblieben wäre, wie zum Beispiel: „Welche Hinweise oder Belege haben deiner Ansicht nach WissenschaftlerInnen verwendet, um zu entscheiden, wie ein Atom aussieht?“ zwei Phänomene verhindert hätte: Die Studierenden hätten nicht so leicht mit „das weiß ich nicht“ antworten können, da noch einmal explizit nach den *Ansichten* gefragt worden wäre. Zum zweiten stellt die Verwendung des Wortes „Beweis“ in der verwendeten Übersetzung eine besondere Herausforderung dar, denn im Sinne einer „informierten“ Vorstellung über NOS gibt es in den Naturwissenschaften keine Beweise. Wie in Kapitel 6.11 bereits erklärt wurde, kann die Verwendung dieses Wortes in den Antworten zu dieser Frage hier nicht als „naiv“ eingeschätzt werden, da die Verwendung des Wortes in der Frage die Antworten beeinflussen kann. Dadurch ist ein Aspekt bei der Kodierung verloren gegangen, aus dem eventuell mehr, oder klarere Informationen hätten erhalten werden können. Insgesamt deuten die Antworten zu Frage 7b) darauf hin, dass hier weniger die individuellen epistemologischen Überzeugungen beschrieben wurden, sondern vielmehr versucht wurde die Fragen mit „Wissen“ zu beantworten. Insgesamt könnte damit in Frage gestellt werden, inwieweit die Analyse zu Kategorie 1 die epistemologischen Überzeugungen zu diesem Aspekt valide ermittelte.

Die ausgewerteten Fragen 7a) und 14) über die Vorläufigkeit von Wissen sind im Gegensatz dazu oft ausführlich und es werden häufig Formulierungen wie „ich denke“,

„meiner Meinung nach“ und Ähnliches benutzt. Damit scheinen die Fragen tatsächlich stärker auf die epistemologischen Überzeugungen der Studierenden abzielen.

Die hier beschriebenen Anmerkungen über die Beschaffenheit des verwendeten deutschen Fragebogens sind wichtige Erkenntnisse dieser Studie. Denn es gibt, wie in Kapitel 5.3 beschrieben, im deutschsprachigen Raum noch keine ausreichend validierten Instrumente zur Erfassung der Vorstellungen über die *Natur der Naturwissenschaften* (vgl. Priemer, 2006). Jede Studie kann damit zu einer Verbesserung der deutschsprachigen Erhebungsverfahren beitragen, indem an einer Weiterentwicklung und Verbesserung des Fragebogens gearbeitet wird.

Bei der angewandten Methode der qualitativen Inhaltsanalyse war eine große Herausforderung der Interpretationsspielraum, den viele Antworten der Teilnehmenden bieten. Diese Schwierigkeit wird ebenfalls von Priemer (2006, S. 167) genannt indem er schreibt, dass Vergleiche mit folgenden Interviews zeigen, dass die Antworten oft anders gemeint sind als sie verstanden werden könnten. Ebenfalls trägt die Verwendung von Fachsprache dazu bei, dass Fehlinterpretationen zustande kommen können, da die Auffassung von manchen Begriffen nicht dieselbe bei „Experten“ und Teilnehmenden ist. Ein Beispiel für solch einen Begriff wäre wiederum das Wort „Beweisen“, welches von „Experten“, die mit NOS vertraut sind, als nicht angemessen erachtet wird, während Studierende offensichtlich zum Teil nicht viele Gedanken darauf verwendet haben, wie dieses Wort im Zusammenhang mit den Naturwissenschaften einzusetzen und zu beurteilen ist. Als Hilfe bei der Interpretation wird zum Beispiel bei Priemer (2006) genannt, Interviews mit den Teilnehmern und Teilnehmerinnen zu führen, wodurch gerade besonders schwierige und unklare Fälle zum Teil geklärt werden können. Da zwischen der Erhebung der Daten und der Auswertung so viel Zeit verging, dass kein Kontakt mehr mit den Studierenden hergestellt werden konnte, als die Arbeit in einem Stadium war, in dem Interviews sinnvoll geführt hätten werden können, wurden keine vertiefenden Interviews geführt. Damit fehlt nicht nur eine Vertiefung und Klärung von schwierigen Fällen, auch die Bestätigung der Interpretationen, die „kommunikative Validierung“, wie sie zum Beispiel auch bei Abd-El-Khalick (2006) durchgeführt wurde, ist der Arbeit dadurch entgangen.

Die Überprüfung der Relevanz der Ergebnisse, speziell der Unterschiede, durch einen statistischen Test kann hier nicht unbedingt als erfolgreich angesehen werden. Statistische Ergebnisse sind interessant und geben der Arbeit einen weiteren und objektiven Blickwinkel. Aufgrund der kleinen Grundgesamtheit hat der angewendete Chi-Quadrat-Test allerdings

keine aussagekräftigen Ergebnisse ermitteln können. Die kleine Grundgesamtheit von 245 Befragten ist eine Folge der Wahl der Erhebungsmethode. Die qualitative Forschung hat eben den Nachteil, dass nur kleine Gruppen analysiert werden können und die Repräsentativität und statistische Relevanz damit in Frage stehen. Dennoch können hier genauere Inhalte ermittelt und detaillierte Vorstellungen und Probleme erkannt werden, die wichtige Anhaltspunkte für weitere Forschung sein können, wie im nächsten Abschnitt dargelegt wird.

Insgesamt sollte am Ende auch noch angemerkt werden, dass bei der Erhebung von epistemologischen Überzeugungen immer nur eine „Momentaufnahme“ gemacht werden kann. Priemer (2006) nennt bei seinen Problemen bei der Erfassung von epistemologischen Überzeugungen, dass sich Ansichten und Vorstellungen schnell ändern können, gerade auch wenn schnell geantwortet wird, was bei vielen Studierenden hier bestimmt der Fall war. Es sollte damit im Auge behalten werden, dass die erhaltenen Daten hier nicht als endgültige, starre Ergebnisse anzusehen sind, sondern eben nur die Vorstellungen der Studierenden zum Zeitpunkt der Erhebung widerspiegeln.

10 Zusammenfassung der Ergebnisse und Resümee

Insgesamt wurden durch diese Studie viele unangemessene Vorstellungen von Naturwissenschaftsstudierenden an der Universität Wien über Atome und die dazu wichtigen NOS-Aspekte aufgezeigt. Vor allem darüber, wie das Wissen über Atome zustande kommt, bedarf offensichtlich mehr Auseinandersetzung und Reflexion, hier konnten nur ein Viertel der Studierenden angemessene Vorstellungen formulieren. Besonders die Vorstellung, dass Atome tatsächlich gesehen werden könnten, wie sie in Kategorie 1 von einigen Studierenden ausgedrückt wurde, ist für zukünftige Naturwissenschaftler und Naturwissenschaftlerinnen, wie auch für angehende Lehrer und Lehrerinnen, eine nicht zu akzeptierende Vorstellung. Die Ergebnisse zu den beiden anderen Kategorien, über den Modellcharakter von Atomen und die Sicherheit und Veränderlichkeit des Wissens über Atome, ergaben nicht ganz so viele „naive“ Vorstellungen, konnten allerdings auch eine Reihe an nicht angemessenen Überzeugungen über die Naturwissenschaften aufzeigen.

Der Einfluss verschiedener Variablen brachte als Ergebnis, dass es prinzipiell keinen Unterschied zwischen Lehramts- und Fachwissenschaftsstudierenden gibt. Bei getrennter Betrachtung von Biologie, Chemie und Physikstudierenden wurde ein geringer Unterschied zwischen Chemielehramt und Chemiefachwissenschaft ermittelt, welcher zugunsten der Fachwissenschaftsstudierenden ausfiel. Von der Studiendauer scheinen die Vorstellungen sehr gering abhängig zu sein, es konnte eine schwache Tendenz der Steigerung „informierter“ Vorstellungen bei Höhersemestrigen festgestellt werden. Diese Steigerung und eventuell auch das bessere Abschneiden der Chemiefachwissenschaftsstudierenden könnte auf die vermehrte Erfahrung und Laborpraxis zurückzuführen sein, welche sich laut Studien (vgl. Abd-El-Khalick & Lederman, 2000) gering auf die Vorstellungen auswirken können, aber eben, wie hier auch gezeigt, wenig effektiv in der Ausbildung angemessener Vorstellungen über die Natur der Naturwissenschaften sind. Die Analyse der Abhängigkeit der Vorstellungen vom Zweifach der Lehramtsstudierenden lässt eine Abhängigkeit zugunsten derjenigen vermuten, die auch als Zweifach ein naturwissenschaftliches studieren im Gegensatz zu denen, die nur ein naturwissenschaftliches Unterrichtsfach studieren. Die Grundgesamtheit war allerdings zu klein, um das mit größerer Sicherheit sagen zu können, es wäre hier eine Untersuchung mit größerer Stichprobe, die auf genau diesen Aspekt fokussiert, nötig. In der Abhängigkeit der Studiendauer konnte festgestellt werden, dass zumindest ab dem neunten Studiensemester eine geringfügige Steigerung am Anteil „informierter“ Vorstellungen in allen drei Kategorien vorliegt.

Die genauere Betrachtung der Inhalte der Antworten und Begründungen hat ebenfalls einige interessante Ergebnisse erbracht. Besonders auffällig war die „naive“ Vorstellung einiger Studierenden, welche formulierten, dass Atome tatsächlich gesehen werden könnten. Diese Vorstellung sollte weder von Forschern und Forscherinnen, noch von zukünftigen Lehrern und Lehrerinnen vertreten werden und gilt im Sinne von NOS als höchst unangemessen. Offensichtlich werden die Möglichkeiten und Grenzen moderner Methoden, wie Elektronenmikroskopen und Ähnlichem, zu wenig genau besprochen. Ebenso auffällig waren die widersprüchlichen Antworten, die einige Studierende zum Aspekt der Vorläufigkeit des Wissens über Atome machten. Diese zwei Beispiele für häufige „naive“ Antworten könnten in Zukunft im Rahmen einer Auseinandersetzung mit NOS aufgearbeitet und besprochen werden, da sie offensichtlich Bereiche darstellen, in denen es leicht zu Schwierigkeiten kommen kann.

Als zentrales Ergebnis lässt sich feststellen, dass insgesamt sehr viele „naive“ Vorstellungen über die Bereiche der Rechtfertigung des Wissens, den Modellcharakter und die Vorläufigkeit des Wissens über Atome bei den Studierenden vorhanden sind und somit Handlungsbedarf besteht. Des Weiteren ist für die fachdidaktische Forschung und die Ausbildung der Lehramtsstudierenden interessant, dass insgesamt keine nennenswerten Unterschiede zwischen Lehramts- und Fachwissenschaftsstudierenden gezeigt werden konnten.

Für den Schulbereich kann geschlussfolgert werden, dass Aspekte von NOS hier offensichtlich kaum eine Rolle spielen, da die Studierenden ja bereits von Anfang ihrer Studienzeit an eine Vielzahl an „naiven“ Vorstellungen zu haben scheinen. Aus Mangel an expliziter Auseinandersetzung mit NOS verbessern sich diese Vorstellungen auch in der Studienzeit kaum. Damit liegt ein Kreislauf vor, den es zu durchbrechen gilt. Es müssen dringend Möglichkeiten geschaffen werden, in denen zukünftige Lehrer und Lehrerinnen naturwissenschaftlicher Fächer sich mit NOS auseinandersetzen können, angemessene Vorstellungen entwickeln können, die Wichtigkeit erkennen, NOS in ihren Unterricht zu integrieren sowie das Nötige lernen, um passende Lernsituationen für Schülerinnen und Schüler zu schaffen. Dadurch könnte der naturwissenschaftliche und insbesondere der Chemieunterricht in Zukunft einen Beitrag leisten, indem Schulabgänger und -abgängerinnen sich zu mündigen, informierten Menschen entwickeln können, die sich in einer modernen Welt, die vielfach von naturwissenschaftlichen Themen geprägt ist, zurechtfinden können.

Anhang

Tabelle mit allen ausgewerteten Daten

	Kategorie 1				Kategorie 2				Kategorie 3				Anzahl
	naiv	inf.	n.eind.	k.Auss.	naiv	inf.	n.eind.	k.Auss.	naiv	inf.	n.eind.	k.Auss.	
alle	118	61	16	50	71	87	0	87	86	148	8	3	245
Frauen	68	41	10	40	51	55	0	53	58	98	1	2	159
Männer	50	20	6	10	20	32	0	34	28	50	7	1	86
Fachwissenschaft FW	90	47	10	37	57	64	0	63	65	114	4	1	184
Lehramt LA	20	13	5	10	13	15	0	20	18	27	2	1	48
FW und LA	8	1	1	3	1	8	0	4	3	7	2	1	13
Biologie	84	40	12	42	55	53	0	70	62	109	4	3	178
Chemie	27	17	2	5	11	27	0	13	14	33	4	0	51
Physik	20	7	2	5	8	15	0	11	14	18	2	0	34
LA Biologie	15	9	3	10	9	10	0	18	15	19	1	2	37
LA Chemie	12	5	2	3	4	12	0	6	6	13	3	0	22
LA Physik	9	3	1	4	4	9	0	4	4	11	2	0	17
FW Biologie	74	32	10	34	46	48	0	56	49	95	4	2	150
FW Chemie	18	12	0	5	7	20	0	8	9	24	2	0	35
FW Physik	14	5	1	3	5	11	0	7	11	10	2	0	23
Frauen Biologie	57	29	9	35	46	39	0	45	48	79	1	2	130
Frauen Chemie	13	9	1	4	7	13	0	7	10	17	0	0	27
Frauen Physik	4	4	0	3	1	6	0	4	3	8	0	0	11
Männer Biologie	27	11	3	7	9	14	0	25	14	30	3	1	48
Männer Chemie	14	8	1	1	4	14	0	6	4	16	4	0	24
Männer Physik	16	3	2	2	7	9	0	7	11	10	2	0	23
18-20 Jahre	28	19	1	16	25	15	0	24	27	34	2	1	64
21-22 Jahre	22	13	3	11	13	21	0	15	14	34	1	0	49
23-25 Jahre	37	17	7	11	20	26	0	26	26	41	3	2	72
>25 Jahre	30	12	5	11	13	24	0	21	19	37	2	0	58
18 Jahre	12	2	0	2	5	5	0	6	5	10	1	0	16
19 Jahre	5	5	1	6	9	4	0	4	10	7	0	0	17
20 Jahre	11	12	0	8	11	6	0	14	12	17	1	1	31
21 Jahre	15	9	2	5	7	13	0	11	8	22	1	0	31
22 Jahre	7	4	1	6	6	8	0	4	6	12	0	0	18
23 Jahre	15	9	1	6	10	13	0	8	13	16	2	0	31
24 Jahre	12	2	5	2	5	8	0	8	8	12	1	0	21
25 Jahre	10	6	1	3	5	5	0	10	5	13	0	2	20
26 Jahre	9	1	0	6	6	5	0	5	7	8	1	0	16
27 Jahre	6	3	1	1	2	5	0	4	3	8	0	0	11
28-30 Jahre	6	6	3	4	1	11	0	7	3	16	0	0	19
31-33 Jahre	7	1	0	0	3	1	0	4	4	3	1	0	8
34-50 Jahre	2	1	1	0	1	2	0	1	2	2	0	0	4
1.-2. Semester	28	12	2	14	18	17	0	21	18	36	2	0	56
3.-5. Semester	32	24	5	16	21	27	0	29	27	47	2	1	77
6.-9. Semester	25	9	6	9	16	16	0	17	19	27	2	1	49
>9. Semester	31	16	3	9	15	25	0	19	20	37	1	1	59
Abschluss ja	52	19	9	17	29	34	0	34	35	56	4	2	97
Abschluss nein	63	42	7	33	42	52	0	51	50	90	4	1	145
Biologie 1.-2. Semester	20	8	2	12	15	10	0	17	13	27	2	0	42
Biologie 3.-5. Semester	26	18	4	13	19	17	0	25	22	36	2	1	61
Biologie 6.-9. Semester	18	7	4	7	11	11	0	14	14	21	0	1	36
Biologie >9. Semester	19	7	2	9	10	14	0	13	11	25	0	1	37
Chemie 1.-2. Semester	7	4	0	0	1	6	0	4	1	10	0	0	11
Chemie 3.-5. Semester	5	4	0	1	2	6	0	2	4	6	0	0	10
Chemie 6.-9. Semester	4	1	1	4	3	6	0	1	1	7	2	0	10
Chemie >9. Semester	11	7	1	0	5	8	0	6	8	10	1	0	19
Physik 1.-2. Semester	4	1	0	1	2	1	0	3	2	3	1	0	6
Physik 3.-5. Semester	4	1	1	2	1	4	0	3	3	5	0	0	8

Physik 6.-9. Semester	6	2	1	2	4	4	0	3	5	6	0	0	11
Physik >9. Semester	5	3	0	0	1	5	0	2	4	4	0	0	8
Zweifach Naturw.	6	2	2	2	2	6	0	4	3	8	1	0	12
Zweifach PuP	3	1	0	2	2	3	0	1	3	3	0	0	6
Zweifach anders	17	11	4	8	8	14	0	18	12	23	3	2	40

Vollständige Abbildung des Fragebogens der Online-Erhebung

Erhebungsbogen zu deinen Vorstellungen über ausgewählte Aspekte der „Natur der Naturwissenschaft“

In diesem Fragebogen geht es darum zu erfahren, welches Bild Studierende einer naturwissenschaftlichen Fachrichtung von Wissenschaft und Forschung haben.

Deine Mitwirkung an dieser Befragung ist freiwillig. Wenn du nicht an dieser Befragung teilnehmen möchtest, wirst du in keiner Weise benachteiligt. Die Befragung ist **anonym**.

Der Fragebogen besteht aus 13 offenen Fragen, die durch kurze Texte zu beantworten sind (der Rest ist Statistik). Du benötigst etwa eine halbe Stunde, um alle Fragen ausführlich zu beantworten. Bitte nimm dir diese Zeit!

1. Da wir gerne später ein paar vertiefende Interviews mit einzelnen TeilnehmerInnen führen möchten, bitten wir euch, einen Code nach folgenden Regeln zu erstellen und in dem dafür vorgesehenen Feld einzutragen. Somit ist eine Anfrage per Mail möglich, die Anonymität bleibt dabei trotzdem gewahrt:

3. Buchstabe des eigenen Vornamens

1. Buchstabe des Vornamens der Mutter

3. Buchstabe des Vornamens der Mutter

Tag deiner Geburt (1-31)

2. Zu Beginn beschreibe bitte knapp deine Vorerfahrungen mit dem Thema „Natur der Naturwissenschaft“.

(Besuchte Seminare auch in anderen Fächern, in denen du bereits Vorerfahrungen mit dem Thema gewonnen hast oder Literatur, die du hierzu gelesen hast. Solltest du noch nichts darüber wissen, ist das völlig ok.)

Weiter

Hier geht es richtig los:

Bitte beantworte jede der folgenden Fragen in Form geschlossener Texte (keine Stichworte).

Einige Fragen bestehen aus mehreren Teilen. Bitte achte darauf, dass du zu jedem Teil eine Antwort schreibst.

Dieser Fragebogen ist kein Test und wird nicht bewertet. Bei den folgenden Fragen gibt es keine „richtigen“ oder „falschen“ Antworten. Es interessieren uns nur deine Vorstellung zu den folgenden Fragen.

3. Was ist für dich Naturwissenschaft?

4. Was unterscheidet für dich Naturwissenschaft (oder eine naturwissenschaftliche Disziplin wie Biologie, Chemie, Physik etc.) von anderen Fächern/Disziplinen?

5. NaturwissenschaftlerInnen erzeugen naturwissenschaftliches Wissen. Denkst du, dass sich dieses Wissen in der Zukunft verändern kann? Erkläre bitte deine Antwort und gib ein Beispiel an.

6. Dinosaurier

a) Woher wissen NaturwissenschaftlerInnen, dass es die Dinosaurier tatsächlich gab?

b) Wie sicher sind sich NaturwissenschaftlerInnen darüber, wie die Dinosaurier aussahen?

c) Die NaturwissenschaftlerInnen sind sich darüber einig, dass die Dinosaurier vor etwa 65 Millionen Jahren ausstarben. Sie sind sich aber nicht darüber einig, was die Ursache dafür war. Was denkst du, warum die WissenschaftlerInnen sich nicht einig sind, obwohl sie doch alle dieselben Informationen haben?

7. In Lehrbüchern findet man oft Abbildungen, die Atome zeigen. Dargestellt wird ein zentraler Kern aus Protonen und Neutronen, der von Elektronen umgeben ist.

a) Was denkst du: Sind sich die WissenschaftlerInnen über den Aufbau von Atomen sicher? Begründe bitte deine Entscheidung!

b) Auf welche Beweise stützen sich die WissenschaftlerInnen dabei?

8. Was ist ein naturwissenschaftliches Modell?

9. Wofür dienen naturwissenschaftliche Modelle?

10. Was ist ein Experiment?

11. Sind Experimente notwendig für die Entwicklung naturwissenschaftlichen Wissens? Bitte begründe deine Antwort!

...nur noch vier Hauptfragen...

12. NaturwissenschaftlerInnen versuchen, mit Untersuchungen bzw. Experimenten Antworten auf ihre Fragen zu finden.

Denkst du, dass die NaturwissenschaftlerInnen ihre Phantasie und Kreativität benutzen, wenn sie diese Untersuchungen bzw. Experimente durchführen?

NEIN

Bitte erkläre warum:



JA

In welchem Teil / welchen Teilen ihrer Untersuchungen (Planung, Experimentieren, Beobachten, Datenauswertung, Interpretation der Daten, Bericht der Ergebnisse etc.) denkst du, benutzen sie ihre Phantasie und Kreativität? Bitte gib Beispiele an, wenn du kannst.



13. Gibt es einen Unterschied zwischen einer naturwissenschaftlichen Theorie und einem naturwissenschaftlichen Gesetz?

Illustriere bitte deine Antwort mit einem Beispiel.

14. Ändert sich eine naturwissenschaftliche Theorie (z.B. Atomtheorie, Evolutionstheorie) irgendwann einmal nachdem NaturwissenschaftlerInnen sie entwickelt haben?

Bitte begründe deine Antwort!

15. Denkst du, dass Naturwissenschaft gesellschaftliche und kulturelle Werte widerspiegelt?

JA

Ich glaube, dass Naturwissenschaft gesellschaftliche und kulturelle Werte widerspiegelt.

Erkläre bitte warum und wie! Begründe deine Antwort und illustriere diese mit Beispielen.

☐

NEIN

Ich glaube, dass Naturwissenschaft allgemeingültig ist.

Erkläre bitte warum und wie! Begründe deine Antwort und illustriere diese mit Beispielen.

☐

...und zum Schluss noch ein paar statistische Daten:

16. Angaben zur Person

☐ weiblich

☐ männlich

Ich bin Jahre alt

17. Welche(s) naturwissenschaftliche(n) Fach/Fächer studierst du?

(Bitte ankreuzen; Mehrfachnennungen möglich)

☐ Biologie

☐ Chemie

☐ Physik

☐ andere

18. Welche(s) weitere(n) Fach/Fächer studierst du?

(Bitte angeben)

19. Studierst du ein Lehramtsstudium oder ein fachwissenschaftliches Studium?

- ☐ Lehramt
- ☐ Fachwissenschaft

20. In welchem Semester studierst du in deinen Fächern?

(Bitte Fach eintragen und Semesterzahl auswählen)

	1.-2. Semester	3.-5. Semester	6.-9. Semester	>9. Semester
Fach:	☐	☐	☐	☐
Fach:	☐	☐	☐	☐
Fach:	☐	☐	☐	☐

21. Hast du den ersten Studienabschnitt / den Bachelor bereits abgeschlossen?

(Bitte ankreuzen)

- ☐ Ja, 1. Studienabschnitt abgeschlossen
- ☐ Nein, 1. Studienabschnitt noch nicht abgeschlossen
- ☐ Ja, Bachelor abgeschlossen
- ☐ Nein, Bachelor noch nicht abgeschlossen

22. OPTIONAL: E-Mail Adresse

Nach Auswertung der Fragebögen würden wir gerne mit einzelnen TeilnehmerInnen Interviews führen. Wenn du prinzipiell dafür bereit wärst, gib bitte in folgendem Feld deine e-Mail Adresse an.

Die Adressen werden *ausschließlich* für diesen Zweck verwendet und keinesfalls in irgendeiner Form weitergegeben!

Die Angabe einer e-Mail Adresse erfolgt nur auf freiwilliger Basis und ist nicht notwendig, um den Fragebogen abzuschließen!

gültige e-Mail Adresse

Literaturverzeichnis

- AAAS (American Association for the Advancement of Science) (Hrsg.). (1993). *Benchmarks for Science Literacy*. New York: Oxford University Press
- Abd-El-Khalick, F. (2006). Over and over again: College students' views of nature of science. In Flick, L. & Lederman, N. (Hrsg.). *Science Inquiry and Nature of Science*. Springer. 389-425.
- Abd-El-Khalick, F., & Lederman, N. G. (2000). Improving science teachers' conceptions of nature of science: a critical review of the literature. *International journal of science education*, 22(7), 665-701.
- Allchin, D. (2011). Evaluating Knowledge of the (Whole) Science. *Science Education*, 95(3), 518-542.
- Bacon, F. (1620). *Novum Organum*. In Spedding, J., Ellis, R. L. & Heath, D. D. (Hrsg.) (1858/1963). *The works of Francis Bacon*, Stuttgart- Bad Cannstatt: Friedrich Frommann, 71-365.
- Bailer-Jones, D. M. (2000). Naturwissenschaftliche Modelle: Von Epistemologie zu Ontologie. *Argument und Analyse: Ausgewählte Sektionsvorträge des 4. internationalen Kongresses der Gesellschaft für Analytische Philosophie Bielefeld, September 2000*, Mentis-Verlag, Paderborn, 1-11.
- Bailer-Jones, D. M. (2002). Scientists' thoughts on scientific models. *Perspectives on Science*, 10(3), 275-301.
- Batinic, B. & Moser, K. (2005). Determinanten der Rücklaufquote in Online-Panels. In: *Zeitschrift für Medienpsychologie*, 17 (N.F. 5) 2, 64–74, Göttingen: Hogrefe Verlag.
- Bindernagel, J. A., & Eilks, I. (2008). Modelle und Modelldenken im Chemieunterricht und ein Einblick in das Verständnis von erfahrenen Chemielehrkräften. *Chemkon*, 15(4), 181-186.
- Bruns, J. (2009). *Auf dem Weg zur Förderung naturwissenschaftsspezifischer Vorstellungen von zukünftigen Chemie-Lehrenden. Chancen und Grenzen eines kombinierten theoretisch-expliziten und praktisch-reflektierten Ansatzes*. Berlin: Logos Verlag.
- Buck, P., Rehm, M. & Seilnacht, T. (2004). *Der Sprung zu den Atomen*. Bern: Selnacht.

- Carey, S., & Smith, C. (1993). On understanding the nature of scientific knowledge. *Educational psychologist*, 28(3), 235-251.
- Chalmers, A. F., Altstötter-Gleich, C., Bergemann, N. (Hrsg.). (2007). *Wege der Wissenschaft: Einführung in die Wissenschaftstheorie*. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag.
- Christen, H. R., & Meyer, G. (1994). *Allgemeine und Anorganische Chemie*. Band 1. Frankfurt am Main: Salle.
- DeBoer, G. E. (1991). *A history of ideas in science education: Implications for practice*. New York: Teachers College Press.
- DeBoer, G. E. (2000). Scientific Literacy: Another Look at Its Historical and Contemporary Meanings and Its Relationship to Science Education Reform. *Journal of Research in Science Teaching*, 37, 582-601.
- Dudenredaktion (1996). *Der Duden. Die deutsche Rechtschreibung* (21. Auflage). Mannheim: Bibliographisches Institut & F. A. Brockhaus AG.
- Fischer, H. E. (1998). Scientific Literacy und Physiklernen [Electronic Version]. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 4(2), 41-52.
- Feyerabend, P. K. (1960). Das Problem der Existenz theoretischer Entitäten. Probleme der Wissenschaftstheorie. In Ernst Topitsch (Hrsg.), *Probleme der Wissenschaftstheorie* (S. 35- 72). Wien: Springer-Verlag.
- Graf, E. (2002). Modelle im Chemieunterricht. *Unterricht Chemie*, 13, 4-9.
- Grosslight, L., Unger, C., Jay, E., & Smith, C. L. (1991). Understanding models and their use in science: Conceptions of middle and high school students and experts. *Journal of Research in Science teaching*, 28(9), 799-822.
- Hammer, F. (1980). Perspektiven einer Wissenschaftsethik im Dialog mit Francis Bacon. *Journal for General Philosophy of Science*, 11(1), 1-15.
- Halloun, I. (1996). Views About Science and Physics Achievement. The VASS Story. College Park, MD: American Institute of Physics Press.
- Hoffmann, R. (1993). For the first time you can see atoms. *American Scientist*, 81(1), 11-12.
- Hofheinz, V. (2008). *Erwerb von Wissen über "Nature of Science". Eine Fallstudie zum Potenzial impliziter Aneignungsprozesse in geöffneten Lehr-Lern-Arrangements am Beispiel von Chemieunterricht*. Dissertation Universität Siegen, Siegen. Verfügbar

- unter <http://dokumentix.ub.uni-siegen.de/opus/volltexte/2008/357/pdf/hofheinz.pdf>
[07.02.2014]
- Höttecke, D. (2006). Studierende und die Natur der Naturwissenschaft. In A. Pitton (Hrsg.), *Lehren und Lernen mit neuen Medien. Jahrestagung der Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik in Paderborn 2005* (S. 287-289). Berlin: Lit Verlag.
- Hurd, P. D. (1958). Science literacy: Its meaning for American schools. In *Educational Leadership*, 16, 13-16.
- Hurd, P. D. (1998). Scientific Literacy: New Minds for a Changing World. *Science Education*, 82-3, 407-416.
- Hutten, E. H. (1953). The role of models in physics. *The British Journal for the Philosophy of Science*, 4(16), 284-301.
- Justi, R., & Gilbert, J. (2002). Models and modelling in chemical education. *Chemical education: Towards research-based practice*, 47-68.
- King, P. M., & Kitchener, K. S. (2004). Reflective judgment: Theory and research on the development of epistemic assumptions through adulthood. *Educational psychologist*, 39(1), 5-18.
- Klopp, E. (o.J.). Der Epistemological Belief Questionnaire von Schommer (1990). Verfügbar unter http://www.eric-klopp.de/downloads/Der_Schommer_Fragebogen.pdf
[20.09.2013]
- Laugksch, R. C. (2000). Scientific Literacy: A Conceptual Overview. *Science Education*, 84, 71-94.
- Lederman, N. G. (1992). Students' and teachers' conceptions about the nature of science: A review of the research. *Journal of Research in Science Teaching*, 29(4), 331-359.
- Lederman, N. G. (2007). Nature of science: Past, present, and future. *Handbook of research on science education*, 831-879.
- Lederman, N. G., Abd-El-Khalick, F., Bell, R. L., & Schwartz, R. 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), 497-521.
- Lembens, A., & Rehm, M. (2010). Chemie und Demokratielernen – zwei unvereinbare Welten? In H. Ammerer, R. Krammer & U. Tanzer (Hrsg.), *Politisches Lernen: Der*

- Beitrag der Unterrichtsfächer zur politischen Bildung*, 5, 281-302. Innsbruck: Studienverlag.
- Lorenz, K. (1973). *Die acht Todsünden der zivilisierten Menschheit*. München: R. Piper & Co. Verlag.
- Mayring, P. (2010). *Qualitative Inhaltsanalyse. Grundlagen und Techniken*. Weinheim und Basel: Beltz Verlag.
- McComas, W. F. (1998). The principal elements of the nature of science: dispelling the myths. In W. F. McComas (Hrsg.), *The nature of science in science education. Rationales and Strategies* (S. 53-70). Dordrecht: Kluwer.
- McComas, W. F., Clough, M. P. & Almazroa, H. (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* (S. 3-39). Dordrecht: Kluwer.
- McComas, W. F., & Olson, J. K. (2002). The nature of science in international science education standards documents. In W.F. McComas (Hrsg.), *The nature of science in science education. Rationales and Strategies* (S. 51-52). Dordrecht: Kluwer.
- National Research Council (Hrsg.). (1996). *National science education standards*. National Academy Press.
- Millar, R., & Osborne, J. (1998). *Beyond 2000: Science education for the future*. <http://www.nuffieldfoundation.org/sites/default/files/Beyond%202000.pdf> [18.01.2014]
- Mortimer, C. E., Müller, U. (2007). *Chemie: Das Basiswissen der Chemie*. Stuttgart: Georg Thieme Verlag.
- National Research Council (Hrsg.). (1996). *National science education standards*. National Academy Press.
- Naumer, H., Heller, W. (1986). *Untersuchungsmethoden in der Chemie. Einführung in die moderne Analytik*. Stuttgart: Georg Thieme Verlag.
- Neufingerl, F., Urban, O., & Viehhauser, M. (1991). *Chemie I. Allgemeine und anorganische Chemie*. Wien: Bohmann.
- Pella, M. O., O'Hearn, G. T., & Gale, C. G. (1966). Referents to scientific literacy. *Journal of Research in Science Teaching*, 4, 199-208.

- Priemer, B. (2003). Ein diagnostischer Test zu Schüleransichten über Physik und Lernen von Physik. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 9, 160-178.
- Priemer, B. (2006). Deutschsprachige Verfahren der Erfassung von epistemologischen Überzeugungen. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 12, 159-175.
- Rössler, P. (2005). Inhaltsanalyse. Konstanz: UVK Verlagsgesellschaft mbH.
- Schommer, M. (1990). Effects of Beliefs About the Nature of Knowledge on Comprehension. In *Journal of Educational Psychology*, 82(3), 498-504.
- Schwartz, R. S., & Lederman, N. G. (2002). It's the nature of the beast. The influence of knowledge and intentions on learning and teaching nature of science. *Journal of Research in science teaching*, 39(3), 205-236.
- Steinke, I. (2012). Gütekriterien qualitativer Forschung. In U. Flick, E. v. Kardorff & I. Steinke (Hrsg.), *Qualitative Forschung. Ein Handbuch* (10, S. 319-331). Reinbek bei Hamburg: Rohwohlt.
- Strube, I., Stolz, R. & Remane, H. (1986). *Geschichte der Chemie. Ein Überblick von den Anfängen bis zur Gegenwart*. Berlin: VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften.
- Urhahne, D. & Hopf, M. (2004). Epistemologische Überzeugungen in den Naturwissenschaften und ihre Zusammenhänge mit Motivation, Selbstkonzept und Lernstrategien. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 10, 71-87.
- Van Driel, J. H., & Verloop, N. (1999). Teachers' knowledge of models and modelling in science. *International Journal of Science Education*, 21(11), 1141-1153.
- Wilkinson, J. J. G. (1847). *Science for all*. London: William Newberry.
- Woolman, M. (2000). *Ways of knowing: An introduction to theory of knowledge* (for use with international baccalaureate). Victoria: IBID Press.
- Wüstendörfer, W. (2005). *Einführung in die Statistik. Für pädagogische und soziale Berufe*. Nürnberg: emwe-Verlag.

Quellen aus dem Internet:

- Bifie (2014a). <https://www.bifie.at/bildungsstandards> [07.03.2014].
- Bifie (2014b). <https://www.bifie.at/node/49> [07.03.2014].

OECD. (2006). Assessing Scientific, Reading and Mathematical Literacy. A Framework for PISA 2006. <http://www.oecd.org/dataoecd/63/35/37464175.pdf> [21.02.2012].

Universität Wien (2014). <http://studentpoint.univie.ac.at/lehramtsstudien> [01.03.2014]

Wikipedia: <http://simple.wikipedia.org/wiki/File:Proton.svg> [12.05.2014]

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Darstellung der vier Disziplinen, welche zu einem Verständnis von NOS beitragen. Bildquelle: McComas & Olson, 2002, S. 50.	13
Abbildung 2: Pedagogical content knowledge von NOS (Schwartz & Lederman, 2002, S. 232).	22
Abbildung 3: Thomsonsches Atommodell, ca. 1903. Bildquelle: Neufingerl et al., 1991, S. 14.	26
Abbildung 4: Abbildung eines Atoms nach Bohr, ca. 1913. Bildquelle: Neufingerl et al., 1991, S. 17.	26
Abbildung 5: Darstellung eines d-Orbitals (Orbitalmodell), ca. 1926. Bildquelle: Neufingerl et al., 1991, S. 25	26
Abbildung 6: Modell eines Protons, welches aus drei Quarks besteht. Bildquelle: http://simple.wikipedia.org/wiki/File:Proton.svg .	28
Abbildung 8: Screenshot der Fragen 7.a) und 7.b) der Onlineerhebung.	42
Abbildung 9: Screenshot der Frage 14. der Onlineerhebung	42
Abbildung 10: Studierende der Universität Wien im Wintersemester 2010/11	44
Abbildung 11: Teilnahme an der Online-Befragung.	44
Abbildung 12: Die Vorstellungen aller Studierenden in Gegenüberstellung von Kategorie 1, 2 und 3.	65
Abbildung 13: Die Vorstellungen von Lehramts- und Fachwissenschaftsstudierenden über die Rechtfertigung des Wissens über Atome (Kategorie 1)	66
Abbildung 14: Die Vorstellungen von Lehramts- und Fachwissenschaftsstudierenden über den Modellcharakter von Atomen (Kategorie 2)	67
Abbildung 15: Die Vorstellungen von Lehramts- und Fachwissenschaftsstudierenden über die Vorläufigkeit des Wissens über Atome (Kategorie 3)	68
Abbildung 16: Vorstellungen der Lehramtsstudierenden getrennt nach den Fächern Biologie, Chemie und Physik über die Rechtfertigung des Wissens über Atome (Kategorie 1)	69
Abbildung 17: Vorstellungen der Lehramtsstudierenden getrennt nach den Fächern Biologie, Chemie und Physik über den Modellcharakter von Atomen (Kategorie 2)	70
Abbildung 18: Vorstellungen der Lehramtsstudierenden getrennt nach den Fächern Biologie, Chemie und Physik über die Vorläufigkeit des Wissens über den Atomaufbau (Kategorie 3)	71
Abbildung 19: Vorstellungen der Fachwissenschaftsstudierenden getrennt nach den Fächern Biologie, Chemie und Physik über die Rechtfertigung des Wissens über Atome (Kategorie 1)	72
Abbildung 20: Vorstellungen der Fachwissenschaftsstudierenden getrennt nach den Fächern Biologie, Chemie und Physik über den Modellcharakter von Atomen (Kategorie 2)	73
Abbildung 21: Vorstellungen der Fachwissenschaftsstudierenden getrennt nach den Fächern Biologie, Chemie und Physik über die Vorläufigkeit des Wissens über Atome (Kategorie 3)	74

Abbildung 22: Der Einfluss des zweiten Unterrichtsfaches auf die Vorstellungen der Lehramtsstudierenden über die Rechtfertigung des Wissens über Atome (Kategorie 1).....	75
Abbildung 23: Der Einfluss des zweiten Unterrichtsfaches auf die Vorstellungen der Lehramtsstudierenden über den Modellcharakter von Atomen (Kategorie 2).....	76
Abbildung 24: Der Einfluss des zweiten Unterrichtsfaches auf die Vorstellungen der Lehramtsstudierenden über die Vorläufigkeit des Wissens über Atome (Kategorie 3).....	76
Abbildung 25: Die Vorstellungen der Studierenden getrennt nach Studiendauer über die Rechtfertigung des Wissens über Atome (Kategorie 1).....	77
Abbildung 26: Die Vorstellungen der Studierenden getrennt nach Studiendauer über den Modellcharakter von Atomen (Kategorie 2).	78
Abbildung 27: Die Vorstellungen der Studierenden getrennt nach Studiendauer über die Vorläufigkeit des Wissens über Atome (Kategorie 3).	79

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Erste Version des Kategoriensystems	52
Tabelle 2: Endgültige Version des Kategoriensystems	62

Zusammenfassung

Naturwissenschaftliche Sachverhalte sind aus dem modernen Leben ebenso wenig wegzudenken wie naturwissenschaftliche Denkweisen. Damit wird auch eine naturwissenschaftliche Grundbildung (*Scientific Literacy*) für alle Menschen unverzichtbar, um sich in einem modernen, von Naturwissenschaften geprägten, Umfeld zurechtzufinden und zu naturwissenschaftlichen Sachverhalten verantwortungsbewusst Entscheidungen treffen zu können (Gräber & Nentwig, 2002; Lembens & Rehm, 2010). Neben den fachspezifischen Inhalten der Naturwissenschaften gelten vor allem auch angemessene Vorstellungen über *Nature of Science* (NOS) als bedeutend für das Lernen und Lehren in den Naturwissenschaften (Abd-El-Khalick, 2006; Lederman, 2007). Des Weiteren gilt die Gestaltung geeigneter Lernumgebungen, in denen Schüler und Schülerinnen angemessene Vorstellungen über NOS entwickeln können, nach wie vor als Herausforderung. Um an der Universität Wien zukünftige Chemielehrer und -lehrerinnen auf diese Herausforderung vorzubereiten, ist es zunächst von Interesse festzustellen, welche Vorstellungen unter den Naturwissenschaftsstudierenden vorhanden sind. Aus diesem Grund wurden daher 2010 an der Universität Wien die Vorstellungen der Studierenden der Fächer Biologie, Chemie und Physik mittels eines Online-Fragebogens über verschiedene Aspekte zu NOS erhoben. Der Fragebogen basierte auf dem VNOS-C (*Views on Nature of Science Questionnaire- Form C*) von Abd-El-Khalick (2006) und enthielt offene Fragen. Die Antworten der 245 vollständig ausgefüllten Fragebögen wurden mittels qualitativer Inhaltsanalyse nach Mayring (2010) und mit Hilfe des Datenauswertungsprogramms MAXQDA kategorisiert und analysiert. Der Fokus dieser Diplomarbeit lag in der Analyse der Antworten den Themenbereich „Atome“ betreffend und die damit im Zusammenhang stehenden NOS-Aspekte: die Vorläufigkeit des Wissens über Atome, die Genese des Wissens über den Atomaufbau und den Modellcharakter von Atomen. Die Ergebnisse der Analyse, die kategorisierten Vorstellungen der Studierenden in „informierte“ und „naïve“ Ansichten zu den genannten Aspekten, wurden des Weiteren in Abhängigkeit von verschiedenen Variablen wie Studienrichtung, Studiendauer, Zweitfach und Alter betrachtet.

Insgesamt wurden durch diese Studie viele unangemessene Vorstellungen von Naturwissenschaftsstudierenden an der Universität Wien über Atome und die dazu wichtigen NOS-Aspekte aufgezeigt. Der Einfluss verschiedener Variablen brachte als Ergebnis, dass es keinen Unterschied zwischen Lehramts- und Fachwissenschaftsstudierenden gibt. Bei getrennter Betrachtung der Biologie, Chemie und Physikstudierenden wurde ein geringer

Unterschied zwischen Chemielehramt und Chemiefachwissenschaft ermittelt, welcher zugunsten der Fachwissenschaftsstudierenden ausfiel. Von der Studiendauer scheinen die Vorstellungen sehr gering abhängig zu sein, es konnte eine schwache Tendenz der Steigerung „informierter“ Vorstellungen bei Höhersemestrigen festgestellt werden, dasselbe gilt für das Alter.

Abstract

Scientific literacy is claimed to be an important outcome of science education, particularly it is important to navigate one's way in today's daily life, which is thoroughly affected by scientific issues (Gräber & Nentwig, 2002; Lembens & Rehm, 2010). Therefore, the focus should not only be on the scientific subject matter. Rather it seems to be important that everyone gains informed conceptions about the characteristics of science, which are known as *Nature of Science* (NOS) (Abd-El-Khalick, 2006; Lederman, 2007). Scientific education in schools plays a major role in reaching this goal, as it is the last time most people are confronted with scientific matters in an educational setting (Lembens & Rehm, 2010). However, it seems to be quite a challenge for science teachers to promote an adequate understanding of NOS in order to help students develop informed conceptions while also conveying the subject content. Science teachers need support to develop their own informed conceptions and to create environments where students can learn and reflect effectively about NOS (Hofer, 2001; Bruns, 2009). The University of Vienna is about to design courses helping future chemistry teachers to tackle this challenge. Therefore it is of interest to assess the views science students hold about different aspects of NOS. An online questionnaire was designed at the University of Vienna for this purpose, which addressed the views of students studying biology, chemistry and physics. The questionnaire is based on Abd-El-Khalick's (2006) VNOS-C (*Views of Nature of Science Questionnaire- Form C*) and contains open questions. The compiled data from 245 completed questionnaires was categorized and analysed using Mayring's *qualitative content analysis* (Mayring, 2010) and the data compiling software MAXQDA. The special focus of this thesis is laid on the answers concerning "atoms" and the correlating NOS-aspects: the tentative nature of scientific knowledge, how scientific knowledge is generated and the nature of scientific models. The students' views of these aspects were also considered with regard to various variables such as their age, subject combination and study progress.

This study showed that many of the participants held naive views of the tentative nature of scientific knowledge, the nature of scientific models and especially of how scientific knowledge is generated. The consideration of various variables led to the result that there is no difference between science major students and science student teachers. When comparing the views of biology, chemistry and physics students separately, there's a small difference in favour of the chemistry students. There was also a small increase of "informed" views considering the duration of study and the age of the students

Lebenslauf

Name: Hannah Todt

Ausbildung: Matura im Juni 2006, BORG Krems an der Donau
10/2006- 06/2007 Studium der Skandinavistik an der Universität Wien
Seit 10/2007 Studium Lehramt Chemie und Mathematik an der
Universität Wien

Sprachen: Muttersprache Deutsch
Gute Englischkenntnisse
Grundkenntnisse in Französisch und Schwedisch