



universität
wien

DIPLOMARBEIT / DIPLOMA THESIS

Titel der Diplomarbeit / Title of the Diploma Thesis

Nature of Science im Lehramtsstudium Physik

verfasst von / submitted by

Florian Budimaier

angestrebter akademischer Grad / in partial fulfilment of the requirements for the degree of
Magister der Naturwissenschaften (Mag. rer. nat.)

Wien, 2017/ Vienna, 2017

Studienkennzahl lt. Studienblatt /
degree programme code as it appears on
the student record sheet:

A 190 313 412

Studienrichtung lt. Studienblatt /
degree programme as it appears on
the student record sheet:

Lehramtsstudium UF Geschichte, Sozialkunde und
Politische Bildung und UF Physik

Betreut von / Supervisor:

Univ. Prof. Dr. Martin Hopf

Mitbetreut von / Co-Supervisor:

Dr.ⁱⁿ Ilse Bartosch

Vorwort und Danksagung

„Was ist das und was hat es mit Physik zu tun?“. Diese Frage wurde mir sehr oft gestellt, als ich mein Diplomarbeitsthema - *Nature of Science* - nannte. Ich muss zugeben, es bedurfte einiger Anläufe, bis ich eine halbwegs verständliche Antwort darauf geben konnte, in der ich nicht nach Worten ringen musste. Schließlich war ein längerer Lernprozess nötig, um das Thema auch nur annähernd zu überblicken. Da mein Zweitfach Geschichte ist, war es vor allem der Bereich der Wissenschaftsgeschichte, der mich mit der Natur der Naturwissenschaften in Verbindung brachte. Natur- und Geisteswissenschaft zu verbinden, hatte mich schon während des Studiums immer sehr interessiert. Meine erste daraus resultierende Überlegung - *historisch-genetischer Physikunterricht* – erwies sich jedoch innerhalb der fachdidaktischen Forschung schon etwas abgenutzt. Zur selben Zeit besuchte ich das Projektpraktikum bei meiner Co-Betreuerin Ilse Bartosch, in dem *Nature of Science* behandelt wurde und so ergab sich der Themenwechsel dann fast von selbst.

Die Teilnahme an besagter Lehrveranstaltung sollte sich dann überhaupt noch als sehr maßgebend für die Diplomarbeit erweisen, als mir Frau Bartosch vorschlug, ob ich denn nicht eine Analyse der dabei erhobenen Daten zu den Vorstellungen von Studierenden über *Nature of Science* machen wollte. Ohne wirklich zu wissen was auf mich zukommt sagte ich zu. Es folgten Monate der Literaturrecherche, um einen halbwegs fundierten Überblick von *Nature of Science* zu erhalten, sowie die Auseinandersetzung mit mir bis dahin gänzlich unbekannter sozialwissenschaftlicher Methodik. Um ehrlich zu sein, hätte ich nicht damit gerechnet, mit einer kleinen – qualitativ zu untersuchenden Probandengruppe - so viel Arbeit zu haben. Des Weiteren erwies sich das Bestreben nach methodischer Korrektheit immer wieder als Herausforderung.

In diesem Zusammenhang möchte ich mich besonders bei Ilse Bartosch bedanken, welche es – teilweise in durchaus mühsamem Ringen – geschafft hat, mich durch alle methodischen Schwierigkeiten zu lotsen und mich immer wieder aus entstehenden Sackgassen zu befreien. Des Weiteren bedanke ich mich auch bei Martin Hopf für die Betreuung der Arbeit.

Großer Dank gilt auch meinen beiden Korrekturlesenden, Lisa Budimaier und Wolfgang Bayer, die es geschafft haben, meiner Arbeit den Fehlerteufel auszutreiben und den Text stilistisch aufzuwerten, sowie Valentina Langreiter für die Korrektur des englischsprachigen Abstracts.

Meine Dankbarkeit möchte ich ebenso all jenen ausdrücken, die mich durch die Jahre des Studiums begleitet und unterstützt haben und durch deren Rückhalt ich mich den Anforderungen gewachsen fühlen konnte.

Inhaltsverzeichnis

1	EINLEITUNG	7
2	NATURE OF SCIENCE	10
2.1	HISTORISCHER FORSCHUNGSÜBERBLICK	10
2.2	WAS IST NATURE OF SCIENCE?	13
3	DIMENSIONEN VON NATURE OF SCIENCE.....	17
3.1	WISSENSCHAFTSTHEORIE	17
3.1.1	<i>Grundbegriffe: Modell, Theorie, Gesetz.....</i>	<i>18</i>
3.1.2	<i>Wissenschaftstheoretische Positionen</i>	<i>20</i>
3.1.3	<i>Eigenarten der Naturwissenschaften</i>	<i>23</i>
3.1.4	<i>Fachdidaktische Relevanz.....</i>	<i>25</i>
3.2	WISSENSCHAFTSGESCHICHTE	26
3.2.1	<i>Historiographie</i>	<i>26</i>
3.2.2	<i>Beginn der modernen Naturwissenschaft im 17. Jahrhundert am Beispiel Galileis</i>	<i>28</i>
3.2.3	<i>Fachdidaktische Relevanz.....</i>	<i>31</i>
3.3	WISSENSCHAFTSSOZIOLOGIE.....	33
3.3.1	<i>Naturwissenschaft als Teil der Gesellschaft</i>	<i>33</i>
3.3.2	<i>Scientific Community</i>	<i>36</i>
3.3.3	<i>Fachdidaktische Relevanz.....</i>	<i>38</i>
3.4	WISSENSCHAFTSPSYCHOLOGIE	39
3.4.1	<i>Psychologie des Wissenschaftlers.....</i>	<i>40</i>
3.4.2	<i>Fachdidaktische Relevanz.....</i>	<i>42</i>
4	NATURE OF SCIENCE IN DER SCHULE	43
4.1	NATURE OF SCIENCE ALS TEIL DER SCHULBILDUNG	43
4.1.1	<i>Lehrplan und Bildungsstandards</i>	<i>45</i>
4.1.2	<i>Naturwissenschaftlicher Unterricht.....</i>	<i>47</i>
4.1.3	<i>Lehrbücher.....</i>	<i>50</i>
4.2	VORSTELLUNGEN ZU NOS IM SCHULISCHEN KONTEXT	51
4.2.1	<i>Lehrkräfte</i>	<i>52</i>
4.2.2	<i>Schülerinnen und Schülern.....</i>	<i>54</i>
4.2.3	<i>Zusammenfassung.....</i>	<i>57</i>
5	NATURE OF SCIENCE IM LEHRAMTSSTUDIUM PHYSIK	59
5.1	NATURE OF SCIENCE ALS DER TEIL DER LEHRAMTSAUSBILDUNG	59
5.1.1	<i>Fachdidaktische Seminare</i>	<i>60</i>
5.1.2	<i>Lehrbücher.....</i>	<i>62</i>

5.2	VORSTELLUNGEN ZU NOS IM UNIVERSITÄREN KONTEXT.....	64
5.2.1	<i>Studierende</i>	64
5.2.2	<i>Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern</i>	67
5.2.3	<i>Zusammenfassung</i>	69
5.3	UNIVERSITÄT WIEN	69
5.3.1	<i>Curriculum</i>	70
5.3.2	<i>Lehrveranstaltungen</i>	70
5.3.3	<i>Das Projektpraktikum</i>	72
6	FORSCHUNGSDESIGN	76
6.1	FORSCHUNGSFRAGEN.....	76
6.2	FORSCHUNGSMETHODE	77
6.2.1	<i>Auswahl der Stichprobe</i>	77
6.2.2	<i>Methode der Datensammlung</i>	78
6.2.3	<i>Darstellung der Datenlage</i>	79
6.2.4	<i>Methode der Datenauswertung</i>	80
6.2.5	<i>Vorgehensweise bei der Datenanalyse</i>	82
6.3	REFLEXION	84
7	EMPIRISCHE ERHEBUNG UND ANALYSE	87
7.1	VORSTELLUNGEN ZU DEN ZIELEN UND EIGENARTEN DER NATURWISSENSCHAFTEN.....	87
7.2	VORSTELLUNGEN ZUR ONTOLOGIE/NATUR DES WISSENS.....	89
7.3	VORSTELLUNGEN ZUR ROLLE DES EXPERIMENTS UND METHODIK DER NATURWISSENSCHAFT.....	91
7.4	VORSTELLUNGEN ZUR DYNAMIK DER NATURWISSENSCHAFTEN	91
7.5	VORSTELLUNGEN ZUR BEDEUTUNG WISSENSCHAFTSTHEORETISCHER BEGRIFFE	93
8	SCHLUSSBETRACHTUNG	96
	LITERATURVERZEICHNIS.....	101
	ANHANG A.....	111
A.1	FRAGEBOGEN.....	111
A.2	AUSWERTUNG DES PRÄ-TESTS	120
A.3	AUSWERTUNG DER POST-TESTS.....	133
A.4	ZUSAMMENFASSUNG DER AUSWERTUNGSERGEBNISSE	144
A.4.1	<i>Prä-Test</i>	144
A.4.2	<i>Post-Test</i>	147
	ANHANG B	150
B.1	ABSTRACT	150

1 Einleitung

Die empirische Methodik der Naturwissenschaften neigt dazu, eine Vorstellung absoluter Objektivität physikalischen Wissens zu erzeugen. Derartig entsubjektivierte, von den historisch-kulturellen Begebenheiten seiner Entwicklungsgeschichte abgeschnittenes Wissen, erzeugt beim Betrachter das Bild von einer „Ansammlung partikularer Einzelphänomene“ (Pukies, 1979). Die fehlende Kontextualisierung und Einbettung kann besonders bei Schülerinnen und Schülern zu Verständnisproblemen und verzerrten Vorstellungen über die Natur der Naturwissenschaft führen. Die prozessuale Dimension der Physik als menschengemacht und wandelbar wird dabei oft nicht erkannt.

In Zusammenhang mit dieser Problemstellung hat sich in der fachdidaktischen Forschung ein Zugang etabliert, der unter dem Namen *Nature of Science* Elemente aus Wissenschaftsgeschichte, Wissenschaftstheorie und Wissenschaftssoziologie vereint und für den naturwissenschaftlichen Unterricht nutzbar machen will. So können historische Bezüge im Unterricht die Entwicklung des Wissens in gesellschaftlichen Kontexten veranschaulichen, wissenschaftstheoretische Begriffe die Modellhaftigkeit des Wissens erklären und Theorien aus der Soziologie für eine Darstellung der Arbeitsweise von Naturwissenschaftlerinnen und Naturwissenschaftlern herangezogen werden. Ein Unterricht, der *Nature of Science* gezielt reflektiert führt, wie in der Literatur vielfach erwähnt (u.a. McComas et al., 1998), zu einem realistischeren Bild von Wissenschaft bei Schülerinnen und Schülern.

Dementsprechend hat sich die Natur der Naturwissenschaften in den letzten dreißig Jahren zu einem immer bedeutenderen Thema für die fachdidaktische Forschung entwickelt. Mit dem Ziel der Vermittlung von *Scientific Literacy* im Physikunterricht wurden verschiedenste Versuche unternommen, *Nature of Science* in den Lehrplänen und in der Ausbildung von Lehrkräften zu integrieren. Es wurden einerseits unterschiedliche Methoden entwickelt und erprobt und andererseits auch die Präkonzepte von Schülerinnen und Schülern im Hinblick auf die Natur der Naturwissenschaften erhoben. Nach dem Modell der *didaktischen Rekonstruktion*¹ nach Kattmann et al. (1997), sind damit bereits wesentliche Aspekte für die Planung des Unterrichts vorhanden. Will man *Nature of Science* in den Unterricht miteinbeziehen, genügt es hinsichtlich der fachlichen Klärung jedoch nicht, nur die physikalischen Begriffe zu berücksichtigen. Auch wissenschaftstheoretisches- und historisches Wissen, ebenso wie soziologische Modelle müssen berücksichtigt werden. Höttecke (2007), der den Fokus seiner Arbeit auf den historischen Aspekt

¹ Dieses Modell konzipiert ein fachdidaktisches Triplet, das sich auch didaktischer Strukturierung, fachlicher Klärung und Erfassen von Schülerperspektiven zusammensetzt (Kattmann et al., 1997, S. 4).

legt, spricht daher von *historisch-didaktischer Rekonstruktion*². Dementsprechend sollten Lehrkräfte über wissenschaftstheoretisches Wissen, ein Repertoire an historischen Fallbeispielen sowie ein eingehendes Bewusstsein über die gesellschaftliche Eingebundenheit der Wissenschaft verfügen. All dies steht natürlich neben einem fundierten physikalischen und physikdidaktischen Wissen und kann nur in Zusammenhang mit diesem funktionieren.

Dieses Wissen sollte ihnen im Rahmen ihrer Ausbildung an der Hochschule vermittelt werden. Daraus resultiert die Frage, ob und wie dies tatsächlich an den Universitäten geschieht. Dem wird im Speziellen hinsichtlich der Universität Wien im Rahmen der Arbeit nachgegangen werden. Zudem sollte, wiederum anhand des konkreten Beispiels einer bestimmten Lehrveranstaltung, ermittelt werden, welche Vorstellungen Studierende in Bezug auf Nature of Science aufweisen.

Dabei erfolgt - nach einer Einführung in das Thema Nature of Science - eine genauere Darstellung der davon umfassten Teilbereiche wie Wissenschaftstheorie oder Wissenschaftsgeschichte. Dieser Aufbau begründet sich daraus, dass ohne eine detailliertere Betrachtung von Nature of Science kein forschungsstrategisches Vorgehen möglich ist. Theoriegeleitetes methodisches Vorgehen setzt notwendigerweise die Kenntnis der dazu herangezogenen Theorien voraus. Daher muss, bevor die Darstellung des Forschungsdesigns erfolgt, ein inhaltlicher Rahmen zur Natur der Naturwissenschaften gespannt werden. Zudem sollte die Bedeutung von Nature of Science für den Schulunterricht einerseits und das Lehramtsstudium Physik andererseits verdeutlicht werden. Im Anschluss erfolgt die Darlegung des Forschungsdesigns. Die Datenanalyse wird mittels Qualitativer Inhaltsanalyse nach Mayring (2015) durchgeführt.

Das der Untersuchung zu Grunde liegende Material sind ein Fragebogen zu Nature of Science, Reflexionen der Probandengruppe über ihre Ansichten zu NOS, sowie halbstrukturierte Interviews. Bei den Probanden handelt sich um sieben Studierende der Universität Wien, welche alle Physik für das Lehramt studieren und an einem Seminar an der Fakultät für Physik teilgenommen haben. Das Seminar wurde im Zusammenhang mit dem, vom Bundesministerium für Wissenschaft, Forschung und Wirtschaft geförderten, Sparkling Science Projekt *SOLARbrunn – Mit der Sonne in die Zukunft* durchgeführt, welches Schülerinnen und Schülern der HTL Hollabrunn Erfahrungen auf dem Gebiet der nachhaltigen Energienutzung auf regionaler Ebene ermöglichen sollte. Konkret ging es um die Umwandlung eines örtlichen Kindergartens in ein *green building*. Die Studierenden im Seminar setzten sich deshalb auch verstärkt mit Nachhaltigkeit und Energiespeicheroptionen auseinander und entwickelten Lernumgebungen dazu. Im Kontext dieser Themen wurden auch einige Aspekte von Nature of Science behandelt. Um das Vorwissen der Studierenden zu eruieren, erhielten diese einen Fragebogen, der in der ersten Seminareinheit bearbeitet und darauf den

² Höttecke erweitert dabei das Modell von Kattmann et al., indem er sowohl die fachliche Klärung, als auch die Schülerperspektiven nach den drei Punkten Natur der Naturwissenschaften, Begriffe und Konzepte sowie Historische Situation untergliedert (Höttecke, 2007, S. 65)

Studierenden zurückgegeben wurde. Im Laufe des Seminars sollte gezielt über diese Fragen reflektiert und veränderte Vorstellungen in Form eines Journals festgehalten werden. Am Ende des Semesters wurden alle Studierenden von der Lehrveranstaltungsleitung zu einem Interview gebeten, in dem sie nochmals ihre Vorstellungen zu Nature of Science darlegen sollten. Aus den auf diese Weise erhobenen Daten sollten Vorstellungen von Studierenden des Lehramtes Physik zu Nature of Science erhoben werden. Die Ergebnisse sind dann mit jenen aus der fachdidaktischen Literatur zu vergleichen und hinsichtlich ihrer Aussagekraft zu hinterfragen.

Ich möchte hinzufügen, dass ich selbst an der oben genannten Lehrveranstaltung teilgenommen habe. Der genauere Einblick kann sich einerseits als hilfreich erweisen, birgt jedoch auch die Gefahr, voreingenommen an die Thematik heranzugehen. Meine Intention war es selbstverständlich, subjektive Einflüsse möglichst außen vor zu lassen und aus der Metaperspektive auf die Daten zu blicken. Die Beschäftigung mit Nature of Science lehrt jedoch, dass Objektivität trotz entsprechender Bemühungen nur eingeschränkt möglich ist. Aus diesem Grund ist es mir ein besonderes Anliegen, vor Beginn des Hauptteils der Arbeit, meine persönliche Beteiligung im Entstehungskontext der untersuchten Daten erwähnt zu haben.

2 Nature of Science

2.1 Historischer Forschungsüberblick

Die Beschäftigung mit Nature of Science hat bereits eine lange Tradition, auch wenn der Begriff selbst neuerer Prägung ist. Bereits die Arbeiten von Ernst Mach Ende des 19. Jahrhunderts können dazu gezählt werden, ebenso wie jene von John Dewey, der 1916 die Bedeutung der naturwissenschaftlichen Methode hervorhebt. Diese Autoren werden für verschiedene Wissenschaftstraditionen als wesentlich gesehen, wobei hier vorrangig auf die angloamerikanische und die deutsche eingegangen werden sollte.

In Bezug auf Erstere sind für die erste Hälfte des 20. Jahrhunderts die Arbeiten von F. W. Westaway in den neunzehnzwanziger Jahren, sowie jene von Joseph Schwab in den neunzehndreißiger und –vierziger Jahren nennenswert. 1960 wurde das, was man heute unter Nature of Science zusammenfasst, erstmals als Ziel des (US-amerikanischen) Unterrichts explizit erwähnt. In den neunzehnsechziger Jahren versuchten Schwab, Leo Klopfer (*History of Science Cases*, 1964-66) und James Robinson (*The Nature of Science in Science Teaching*, 1968) erstmals eine Adaption des Konzepts im Rahmen der Lehrpläne. In Anlehnung an Robinson gab Michael Martin in *Concepts of Science Education: A Philosophical Analysis* (1972) einen Überblick zu spezifischen Konzepten, wie dem forschenden Lernen oder der Rolle der Beobachtung im Physikunterricht. Die neunzehnachtziger und –neunziger Jahre sind vor allem mit den Arbeiten der *International History, Philosophy and Science Teaching Group* verbunden, wobei in diesem Zusammenhang insbesondere Derek Hodson, Rick Duschl, Norman Lederman, Joan Salomon und Michael R. Matthews zu nennen sind.

In diesem Zeitraum musste man jedoch erkennen, dass sich trotz der Arbeiten in den vorangegangenen Jahrzehnten, in der schulischen Praxis noch keinerlei Wandel hinsichtlich einer Implementierung von Nature of Science gezeigt hatte (McComas, Clough & Alamroza, 1998). Bentley und Garrison stellten fest, dass sich eine Darstellung der Natur der Naturwissenschaften, wenn überhaupt, auf wenige Seiten am Beginn der Schulbücher beschränkte (Bentley & Garrison, 1991, zitiert nach McComas et al., 1998). Duschl argumentierte, dass Schülerinnen und Schüler nur Fakten und Hypothesen, aber nichts über deren epistemologischen Hintergrund lernen würden (Duschl, 1994, zitiert nach McComas et al. 1998). Matthews unternahm darauf mit seiner Arbeit *Science Teaching: The Role of History and Philosophy of Science* einen wichtigen Versuch, um die Bedeutung von Nature of Science für den Unterricht hervorzuheben (Matthews, 1994, zitiert nach McComas et al.). Darüber hinaus gelang Driver, Leach, Millar & Scott (1996) eine erste Darstellung zu den Vorstellungen von Kindern über die Natur der Naturwissenschaften (*Young people's images*

of science). Eine allgemeinere, umfassende Darstellung wurde erstmalig mit dem Band *The Nature of Science in Science Education* (McComas et al., 1998) realisiert, welcher bis heute als Standardwerk zu dieser Thematik angesehen werden kann.

Daran anknüpfend wurden seit den 2000er Jahren eine Vielzahl an empirischen Untersuchungen durchgeführt, um den Rahmen für die Implementierung von Nature of Science im Schulunterricht zu schaffen. Fokus dieser Arbeiten war unter anderem die Untersuchung der Präkonzepte und persönlichen Einstellungen von Schülerinnen, Schülern sowie Lehrkräften hinsichtlich der Arbeitsweise in den Naturwissenschaften (Lederman & Crawford, 2004; Bell & Lederman, 2003; Abd-El-Khalick & Lederman, 2000;). Zudem wurde untersucht, wie man Nature of Science zielführend im Unterricht vermitteln könnte (Schwartz, Lederman & Crawford, 2004; Schwartz et al., 2003; Driver, Newton & Osborne 2000). Wie Abd-El-Khalick in einer aktuelleren Arbeit darlegt, sind jedoch, trotz der Dauer und Intensität der Forschungs- und Entwicklungsbestrebungen zu Nature of Science, die Ergebnisse immer noch wenig zufriedenstellend (Abd-El-Khalick, 2012). Er zeigt deshalb mögliche Entwicklungsstrategien für weitere Forschung auf und versucht, dazu Rahmenbedingungen festzulegen.

Im deutschen Sprachraum herrscht eine längere Tradition historisch orientierter Darstellungsweisen der Naturwissenschaften vor. Theoretiker des 19. Jahrhunderts, wie Mach oder Kirschbaum, forderten noch eine Verkürzung des historischen Narratives zugunsten der „Vermeidung aller Um- und Irrwege“ (Kirschbaum, 1866, zitiert nach Schuldt, 1988). Zudem wurde bis weit ins 20. Jahrhundert hinein die Vorstellung vertreten, zwischen der historischen Entwicklung der Wissenschaft und den individuellen Lernprozess des Kindes, könnte eine eindeutige Parallele gezogen werden.³ Auch in Publikationen der neunzehnsiebziger und -achtziger Jahre lässt sich diese Argumentation noch finden (z.B. Kuhn, 1982). In dieser Zeit entstanden etliche Veröffentlichung zu den Themen „Geschichte der Physik“, „genetischer Unterricht“ und „Wissenschaftstheorie im Unterricht“ (Ewers et al. 1978; Pukies 1979; Kuhn 1982, 1983; Niedderer & Schecker, 1982). Die Idee, welche dem *historisch-genetischen* Unterricht zu Grunde lag war, dass naturwissenschaftliche Theorien und Phänomene nicht als fertige Waren angeboten werden

³ Diese Vorstellung geht auf Friedrich Dannemann (1859 – 1936) zurück, demgemäß das „Werden der Naturwissenschaften“ als Vorlage dienen sollte, durch deren Nachvollziehen Schülerinnen und Schülern Verständnis für Naturwissenschaft erlangen können. Dannemann versuchte dabei das Konzept der *Rekapitulationstheorie* auf die Entwicklungspsychologie und somit die kulturelle Entwicklung des Menschen zu übertragen (Dannemann, 1924). Diese Theorie, auch als *biogenetisches Grundgesetz* bekannt, wurde durch den deutschen Biologen Ernst Haeckel (1834 – 1919) entwickelt. Haeckel beobachtete Parallelen zwischen der Entwicklung eines Individuums (*Ontogenese*) und der Stammesentwicklung (*Phylogenese*) und folgerte, dass die Ontogenese die Phylogenese rekapitulieren würde. Das Gesetz gilt in der Biologie heute jedoch als veraltet. Auch die Übertragung des Gesetzes auf die Entwicklungspsychologie, wofür zum Beispiel Piaget argumentiert, konnte nicht eindeutig soziologisch oder psychologisch bestätigt werden. Eine „Projektion der Wissenschaftsgeschichte in die individuelle Lerngeschichte“, wie es der österreichische Wissenschaftstheoretiker Paul Feyerabend formulierte, ist demnach durchaus kritisch zu betrachten. Kircher, Gerwicz und Häußler haben in jüngerer Zeit auf diese Problematik hingewiesen (Kircher, Gerwicz & Häußler, 2000, S. 327).

sollten, die nur innerhalb des fachlichen Diskursrahmens verstanden werden können. Als wesentlich zielführender wurde eine „rationale Rekonstruktion der Genese der die Naturwissenschaften konstituierenden Theorien und Begriffe“ erachtet (Pukies, 1979, S. 7). Manche Autoren, wie zum Beispiel Walter Jung, übten aber auch Kritik an derartigen Konzepten (Jung, 1982, 1983). Jung argumentierte, dass eine historische Darstellung keinen zusätzlichen Verständnissgewinn bringe und nicht notwendig sei, um physikalische Effekte zu erklären. Er behauptete darüber hinaus, dass „historische Studien das Lernen von Physik erschweren“ (Jung, 1983, S. 13) und erläutert dies am Beispiel Newtons, dessen Denken stark von der Theologie beeinflusst war.

Im Weiteren sind vor allem die Arbeiten von Meyling (1990, zitiert nach Höttecke, 2001), Kircher (1995), Heering (1995, zitiert nach Höttecke, 2001) und Höttecke (2001) zu nennen. Letzterer stellt eine erstmalige umfangreiche Darstellung von Nature of Science im deutschsprachigen Raum dar, welche einen Fokus auf Wissenschaftsgeschichte legt. Neben einer Analyse der Präkonzepte von Schülerinnen und Schülern sowie von Lehrkräften, stellt er darin auch Unterrichtsverfahren zu Nature of Science dar und plädiert für den Einsatz von Physikgeschichte im Unterricht. Den zweiten Teil seiner Arbeit bildet ein umfangreich ausgearbeitetes Fallbeispiel zur experimentellen Tätigkeit Michael Faradays. Hötteckes weitere Arbeiten (Höttecke 2001; Höhle, Höttecke & Kircher 2004; Höttecke & Silva 2011; Höttecke & Barth 2011; Höttecke, Henke & Rieß; Henke & Höttecke 2015; Ruhrig & Höttecke 2015) stellen den umfangreichsten Beitrag auf diesem Gebiet im deutschsprachigen Raum dar. Höttecke war ebenfalls am internationalen HIPST-Projekt (*History and Philosophy of Science in Teaching*) beteiligt, welches in den letzten Jahren einen großen Forschungsbeitrag zum Thema Wissenschaftsgeschichte im Unterricht hat geleistet. Forschungsgruppen aus mehreren europäischen Ländern und Israel haben sich dabei mit der Entwicklung und Implementierung von historischen Fallstudien für den naturwissenschaftlichen Unterricht befasst.⁴

In der Betrachtung der obigen Darstellung zeigt sich, dass die wissenschaftliche Auseinandersetzung mit der Natur der Naturwissenschaften bereits länger existiert, in ihrer heutigen, sozialwissenschaftlich orientierten Ausprägung aber etwas Neues darstellt. Zudem zeigt sich, dass man sich im angloamerikanischen Raum bereits länger mit der Thematik auseinandersetzt als im deutschsprachigen Raum. Abd-El-Khalick und Lederman haben dazu eine Strukturierung der Forschungstendenzen seit den neunzehnsiebziger Jahren vorgenommen und dabei vier Hauptlinien ausmachen können: Demgemäß hat man als Erstes die Vorstellungen von Lernenden zu Nature of Science untersucht, woraufhin Lehrpläne erstellt und getestet wurden, welche die zuvor erhobenen Vorstellungen in Richtung eines adäquateren Bildes der Naturwissenschaften

⁴ Die Ergebnisse des Projekts lassen sich unter folgendem Link einsehen:
<http://hipstwiki.wikifoundry.com/page/papers>

verbessern sollten. Dabei erkannte man, dass die Lehrkräfte eine entscheidende Rolle bei der Umsetzung dieser Lehrpläne spielen und die Ergebnisse der Untersuchungen stark beeinflussten. Deshalb wurden in einem dritten Schritt die Vorstellungen von Lehrkräften zu Nature of Science erhoben und überlegt, wie man diese verändern könnte. Es zeigte sich jedoch, dass der Zusammenhang zwischen diesen Vorstellungen und der Unterrichtspraxis komplexer war als angenommen. In einem vierten Schritt wurden und werden deshalb die Zusammenhänge zwischen den Vorstellungen der Lehrkräfte sowie der Schülerinnen und Schüler und der Unterrichtspraxis in den Fokus genommen (Abd-El-Khalick & Lederman, 2000, 668f).

Um auch die Quantität der Literatur zu Nature of Science in den letzten fünfzig Jahren abschätzen zu können, bietet sich eine Suche im *Google Books Ngram – Viewer* an, welcher eine grafische Darstellung der Publikationen im zeitlichen Verlauf erlaubt. Im englischsprachigen Bereich ist dabei ein starker Anstieg an Veröffentlichungen ab 1990 zu beobachten. Im deutschen Sprachraum steigt die Kurve erst ab dem Jahr 2000 stärker an.⁵

2.2 Was ist Nature of Science?

Wie bereits im vorigen Abschnitt gezeigt, blickt die Beschäftigung mit der Natur der Naturwissenschaften auf eine längere Tradition zurück. Diese ging vorwiegend aus der Wissenschaftstheorie und Wissenschaftsgeschichte hervor, deren Zusammenspiel in Bezug auf Naturwissenschaften im Englischen mit *History and Philosophy of Science* (HPS) bezeichnet wird. Vor allem durch die vom angloamerikanischen Bereich ausgehende Miteinbeziehung von Soziologie und Psychologie, wurde der Begriff *Nature of Science* (NOS) geprägt. McComas, Clough und Almaroza verstehen diesen wie folgt:

„The nature of science is a fertile hybrid area which blends aspects of various social studies of science including the history, sociology, and philosophy of science combined with research from the cognitive sciences such as psychology into a rich description of what science is, how it works, how scientists operate as a social group and how society itself both directs and reacts to scientific endeavours.”
(McComas et al., 1998, S. 4)

⁵ vgl. Google Books Ngram – Viewer, URL:

https://books.google.com/ngrams/graph?content=Nature+of+Science&year_start=1950&year_end=2016&corpus=15&smoothing=0&share=&direct_url=t1%3B%2CNature%20of%20Science%3B%2Cc0;
https://books.google.com/ngrams/graph?content=Nature+of+Science&year_start=1950&year_end=2008&corpus=20&smoothing=0&share=&direct_url=t1%3B%2CNature%20of%20Science%3B%2Cc0
(abgerufen am 3. August 2016)

Im Vordergrund steht demgemäß die Art und Weise, wie die Wissenschaftsgemeinschaft (*scientific community*) arbeitet und interagiert und was naturwissenschaftliche Forschung auszeichnet. Derartige Fragen werden einer multiperspektivischen Analyse unterzogen, wobei es sich weniger um eine Selbstreflexion von Naturwissenschaftlerinnen und Naturwissenschaftlern über ihr eigenes wissenschaftliches Tun handelt, sondern Vertreterinnen und Vertreter anderer Fachdisziplinen sich dem Thema auf einer Meta-Ebene nähern. Wie in Abbildung 1 ersichtlich, kann Nature of Science durch ein Zusammenspiel von Wissenschaftstheorie, Wissenschaftsgeschichte, Wissenschaftssoziologie und Psychologie der Wissenschaft beschrieben werden. Dabei ist zu beachten, dass den einzelnen Disziplinen nicht die gleiche Bedeutung zukommt. Die relativen Größen der Kreise in Abbildung 1 repräsentieren wie viel die entsprechende Wissenschaft zu Nature of Science beiträgt (McComas & Olson, 1998, S. 50).

Philosophen, Historiker, Soziologen und Psychologen, die sich mit der Natur der Naturwissenschaften beschäftigen, sind jedoch ihrerseits wiederum von ihrer eigenen Weltanschauung beziehungsweise theoretischen Schule geprägt. Dies manifestiert sich zum Beispiel in der Debatte zwischen Empiristen und Realisten hinsichtlich des ontologischen Status von naturwissenschaftlichen Theorien (Abd-El-Khalick, 2012, S. 1044). Abd-El-Khalick stellt daher die Frage: „Whose Nature of Science?“ (ebd., S. 1042) in den Raum. Von wessen Natur der Naturwissenschaften kann gesprochen werden, wenn es keine eindeutige Lehrmeinung, sondern nur eine Vielzahl unterschiedlicher Ansichten gibt?

Der Versuch – hinsichtlich von Nature of Science - einen von einer größeren Mehrheit akzeptierten Konsens zu erreichen, wurde bereits in mehreren Arbeiten unternommen. McComas und Olson (1998) haben zum Beispiel Gemeinsamkeiten von Aussagen zur Natur der Naturwissenschaften in den Dokumenten zu Bildungsstandards untersucht⁶. Sie konnten dabei feststellen: „that there is clearly consensus regarding the nature of science issues that should inform

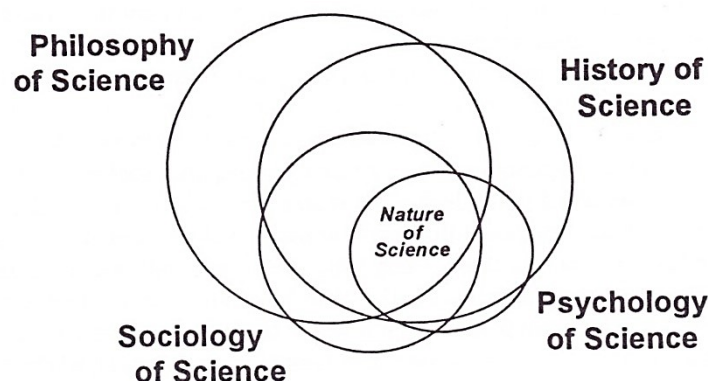


Abbildung 1: Dimensionen von Nature of Science (McComas & Olson, 1998)

⁶ Diese Untersuchung beschränkte sich allerdings auf englischsprachige Länder (USA, Großbritannien, Kanada, Australien und Neuseeland).

science education“ (ebd., S. 48). Jedoch weisen die Autoren darauf hin, dass einige wichtige Themengebiete von Nature of Science nicht oder nur spärlich vorhanden sind. Abd-El-Khalick führt zudem an, dass derartige Dokumente in der Regel Gemeinsamkeiten zwischen philosophischen, historischen und soziologischen Standpunkten betonen, wogegen Kontroversen kaum oder gar nicht dargestellt werden (Abd-El-Khalick, 2012, S. 1045).

Einen anderen Weg gingen Osborne et al. (2003), welche eine *Delphi-Studie*⁷ mit einer Gruppe von Experten durchführten⁸. Sie kamen ebenfalls zu dem Schluss, dass innerhalb der befragten Gruppe, deren Mitglieder alle in den Naturwissenschaften beziehungsweise deren Vermittlung tätig waren, zu den Kernaussagen von Nature of Science ein Konsens herrscht (ebd., S. 712). Ob von einer kleinen, wenn auch durchaus repräsentativen Gruppe auf die Allgemeinheit geschlossen werden kann, ließe sich jedoch durchaus in Frage stellen.

Wie gezeigt wurde, herrscht innerhalb eines gewissen Rahmens ein Konsens zu zentralen Standpunkten von Nature of Science. Es sollten nun die wichtigsten aufgeführt werden, die aktuell als weitgehend akzeptiert angenommen werden können:

- Naturwissenschaftliches Wissen hat, trotz seiner Beständigkeit, einen vorläufigen Charakter.
- Naturwissenschaftliches Wissen stützt sich stark, wenn auch nicht ausschließlich, auf Beobachtung, experimentelle Nachweise, rationale Argumente und Skepsis.
- Es gibt keine einheitliche naturwissenschaftliche Methodik.
- Naturwissenschaft ist ein Versuch Naturphänomene zu erklären.
- Gesetze und Theorien haben unterschiedliche Funktionen in der Naturwissenschaft, weshalb Schülerinnen und Schüler erkennen sollten, dass Theorien nicht durch weitere Beweise zu Gesetzen werden.
- Menschen aus allen Kulturen tragen zur Naturwissenschaft bei.
- Neues Wissen muss klar und allgemein zugänglich dargestellt werden.
- Naturwissenschaftlerinnen und Naturwissenschaftler benötigen für ihre Arbeit sorgfältige Aufzeichnungen, *Peer Reviews* und Reproduzierbarkeit.
- Beobachtungen sind theoriegeladen.
- Naturwissenschaftlerinnen und Naturwissenschaftler sind kreativ.
- Naturwissenschaftsgeschichte zeigt sowohl einen evolutionären als auch einen revolutionären Charakter.
- Naturwissenschaft ist Teil der sozialen und kulturellen Traditionen.
- Naturwissenschaft und Technik beeinflussen einander.
- naturwissenschaftliche Ideen sind vom sozialen und historischen Milieu ihrer Entstehung beeinflusst (McComas et al., 1998, S. 6f [*Übersetzung d. Verfassers*])

⁷ Dabei handelt es sich um ein, nach dem Orakel von Delphi benanntes, Instrument zur Analyse von Meinungsbildung. Eine Gruppe von Experten wird unabhängig voneinander ein Fragebogen mit zu kommentierenden Aussagen vorgelegt. Jede Person erhält dann in einer weiteren Runde einen Fragebogen der zudem Kommentare der anderen Teilnehmenden enthält, wozu wieder Stellung bezogen werden sollte. Dieser Prozess wird wiederholt, um zu beobachten ob sich ein Konsens herausbildet.

⁸ Diese setzte sich aus 23 WissenschaftlerInnen, HistorikerInnen, PhilosophiInnen, SoziologInnen, Lehrenden der Naturwissenschaften und VermittlerInnen naturwissenschaftlichen Wissens in der Öffentlichkeit zusammen (Osbourne et al., 2003, S. 698).

Diese Aussagen dienen als Bezugspunkt, wenn im weiteren Verlauf der Arbeit von Nature of Science gesprochen wird. Viele der genannten Aspekte werden nun im folgenden Kapitel noch einer genaueren Betrachtung unterzogen.

3 Dimensionen von Nature of Science

Die bereits in der Einleitung angesprochenen und in Abbildung 1 veranschaulichten Dimensionen von Nature of Science sollten nun etwas genauer in den Fokus genommen werden. Wichtige Elemente der Wissenschaftstheorie, die Rolle der Wissenschaftsgeschichte bei der Beurteilung naturwissenschaftlichen Wissens, sowie der Einfluss soziologischer und psychologischer Aspekte auf die Wissenschaft werden überblicksmäßig dargestellt. Dabei ist darauf hinzuweisen, dass diese vier Bereiche keineswegs singulär zu betrachten sind, sondern, dass es vielfache Überschneidungen und wechselseitige Einflussnahme gibt. Am Ende eines jeden Subkapitels wird die Bedeutung des jeweiligen Aspektes für die naturwissenschaftliche Fachdidaktik - mit besonderer Berücksichtigung der Physik - hervorgehoben.

Zudem möchte ich betonen, dass in diesem Rahmen keine ausführliche Diskussion der wissenschaftlichen Diskurse aller Bereiche erfolgen kann, sondern höchstens grobe Zusammenhänge exemplarisch umrissen werden können. Trotzdem scheint mir eine Behandlung dieser Aspekte, auch wenn sie nur oberflächlich möglich ist, unabdingbar, da sie für die weiteren Teile der Arbeit eine unverzichtbare Grundlage darstellt. Schließlich muss, bevor im Detail auf Vorstellungen zu den verschiedenen Aspekten von Nature of Science eingegangen werden kann, geklärt werden, was darunter überhaupt im Einzelnen zu verstehen ist. Der Vollständigkeit halber sei darauf hingewiesen, dass der unterschiedliche Umfang, in dem die einzelnen Begriffe behandelt werden, aus ihrer Bedeutung für Nature of Science resultiert. Dies wurde in Bezug auf die oben genannte Abbildung bereits diskutiert.

3.1 Wissenschaftstheorie

In Anbetracht der Tatsache, dass wissenschaftstheoretische Grundbegriffe, wie Modell, Gesetz oder Theorie, eine wichtige Rolle in Bezug auf Nature of Science spielen, soll nun eine kurze, überblicksmäßige Darstellung dazu folgen. Des Weiteren werden wissenschaftstheoretische Positionen vorgestellt, welche eine Einordnung der Ansichten zu Nature of Science ermöglichen können. Abschließend sollen Besonderheiten der Naturwissenschaft sowie deren Bezug zu anderen Wissenschaften kurz angesprochen werden.

3.1.1 Grundbegriffe: Modell, Theorie, Gesetz

Ein grundlegendes Verständnis der drei Begriffe *Theorie*, *Modell* und *Gesetz* ist im Rahmen von Nature of Science unabdingbar, da sie zentrale Denk- und Arbeitsweisen der Wissenschaft repräsentieren. Problematisch ist in dieser Hinsicht jedoch, dass keine hinreichend scharfe Trennung zwischen den Begriffen existiert, was Verwirrung hervorrufen kann. Insbesondere zwischen „Theorie“ und „Gesetz“ wird oft nicht klar unterschieden (Ströker, 1992, S. 68). Deshalb sollten nun im Weiteren die Begriffsbedeutungen genauer erörtert werden.

Modell lässt sich auf das lateinische *modulus*, was so viel wie Maß(stab) bedeutet, sowie das italienische *modello*, das sich mit Muster oder Entwurf übersetzen lässt, zurückführen.⁹ Im allgemeinen ebenso wie im wissenschaftlichen Sprachgebrauch wird unter einem Modell jedoch nicht immer dasselbe verstanden. Nach Tetens (2013) gibt es drei verschiedene Möglichkeiten den Modellbegriff aufzufassen. Seine Grundbedeutung sieht er wie folgt an:

„Ein Wirklichkeitsausschnitt W_1 ist ein Modell für einen Wirklichkeitsausschnitt W_2 , wenn W_1 und W_2 dieselbe Struktur S realisieren und W_1 dazu dient, die Struktur S von W_2 zu erschließen oder darzustellen“ (Tetens, 2013, S. 110).

Demgemäß erschließt man sich aus einem bekannten und beobachtbaren Wirklichkeitsausschnitt die Struktur eines bisher unbekannten und nicht beobachtbaren Wirklichkeitsausschnitts. Gelingt dies, so können die beiden Ausschnitte als strukturgleich bezeichnet werden. Beispielsweise versucht das Atommodell Daltons, die Struktur von Atomen mit jener von Kugelpaketen zu beschreiben. Dieser Prozess der Modellbildung kann jedoch nicht ohne Vereinfachung und dem Weglassen bestimmter Strukturmerkmale vonstattengehen. Man kann den Begriff daher auch allgemeiner, nämlich als eine idealisierte und unvollständige Darstellung eines Wirklichkeitsausschnittes, auffassen.

Drittens ist von einem Modell die Rede, wenn ein Wirklichkeitsausschnitt durch eine Menge an formalen Sätzen dargestellt werden kann. Die Darstellung der Sätze erfolgt durch bestimmte Formelzeichen, welche entsprechend als Elemente und Eigenschaften des Wirklichkeitsausschnitts interpretiert werden müssen. Man spricht in diesem Zusammenhang von einer *formalen Strukturbeschreibung* (ebd., 110f).

Das Wort *Theorie* leitet sich vom griechischen *theōría* ab, was so viel wie „Betrachtung“ oder „Untersuchung“ bedeutet.¹⁰ In der Alltagssprache wird Theorie häufig als Antonym zu Praxis oder als abstrakte, spekulative Konstruktion betrachtet (Reinisch & Krüger, 2014, S. 43). Der

⁹ vgl. Modell, duden.de, URL: <http://www.duden.de/rechtschreibung/Modell> (abgerufen am 2. November 2016).

¹⁰ vgl. Theorie, duden.de, URL: <http://www.duden.de/rechtschreibung/Theorie> (abgerufen am 2. November 2016).

wissenschaftliche Theoriebegriff unterscheidet sich jedoch von dieser Ansicht: „Scientific theories are explanations of natural phenomena built up logically from testable observations and hypotheses” (NAS, 1998, S. 56).

Theoriebildung beginnt, indem ein Wirklichkeitsausschnitt festgelegt wird, innerhalb dessen Grenzen Aussagen getroffen werden können. Über außerhalb dieser Grenzen liegende Phänomene kann die Theorie demnach nichts sagen. Im zu erforschenden Wirklichkeitsabschnitt gilt es dann, Strukturen zu erkennen. Dieser Prozess gestaltet sich oft schwierig, sodass andere Wirklichkeitsausschnitte als Modelle herangezogen werden. Die Kernaussage einer Theorie lautet, allgemein formuliert, dass im von ihr beschriebenen Wirklichkeitsausschnitt eine Struktur entsprechend bestimmter Modelle realisiert ist (Tetens, 2013, S. 55f). Abbildung 2 veranschaulicht diesen Prozess.

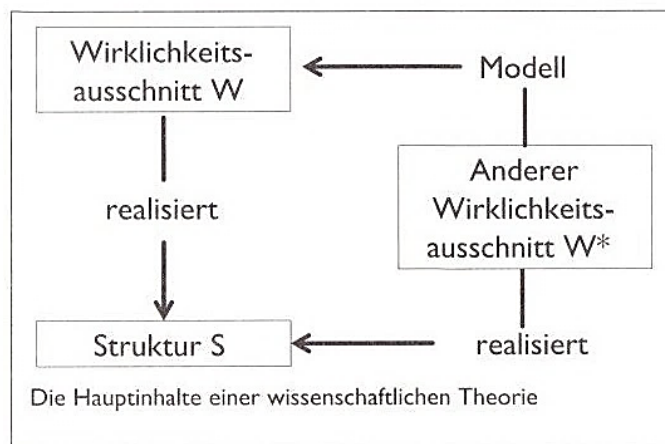


Abbildung 2: Inhalte einer wissenschaftlichen Theorie nach Tetens (2013, S. 58)

Wie verhält sich nun eine Theorie in Bezug auf den von ihr beschriebenen Wirklichkeitsausschnitt? Sind Neutrinos Realität oder nur ein theoretisches Konstrukt zur Interpretation von Messergebnissen? In diesem Zusammenhang sind zwei Theorievorstellungen zu unterscheiden. Die *syntaktische Vorstellung* sieht Theorien als Aussagenmenge, die als formales System in einer idealen Wissenschaftssprache dargestellt und durch „Brückengesetze“ mit den Beobachtungsdaten verbunden wird. Dagegen geht die *semantische Vorstellung* von den Anwendungsbereichen, beziehungsweise den von der Theorie beschriebenen Objekten, aus. Letztere Vorstellung gilt aktuell als die akzeptiertere, da sie die *Theoriegeladenheit* von Beobachtungen berücksichtigt (Kühne, 1999, S. 1787).

Gesetz lässt sich vom mittelhochdeutschen Begriff *gesetze/gesetzedē* auf das althochdeutsche Wort *gisezza*, das sich mit Festsetzung übersetzen lässt, zurückführen.¹¹ Im Sprachgebrauch wird

¹¹ vgl. Gesetz, duden.de, URL: <http://www.duden.de/rechtschreibung/Gesetz> (abgerufen am 3. November 2016)

der Begriff meist mit juristischen Gesetzen assoziiert, welche sich jedoch von naturwissenschaftlichen Gesetzen (Naturgesetzen) wesentlich unterscheiden. Unter letztgenannten versteht man eine verallgemeinerte Beschreibung „darüber, wie sich Aspekte der physischen Welt unter bestimmten Bedingungen verhalten“ (Reinisch & Krüger, 2014, S. 43). Jedoch gibt es, trotz wissenschaftstheoretischer Diskurse, keine wirklich präzise Definition eines Naturgesetzes. Darüber hinaus ist der Begriff nur schwer auf andere Wissenschaften anzuwenden. Es stellt sich die Frage, ob eine allgemein gültige Definition wirklich Klärung in den wissenschaftlichen Diskurs bringen würde. Tetens (2013) sieht dagegen das, „durch eine möglichst dichte inferentielle Vernetzung von Tatsachen eines Wirklichkeitsausschnitts mit Hilfe von Strukturen“ verwirklichte Ideal der Erklärung und des Verstehens als zentral. Dieses lässt sich auch auf alle Wissenschaften anwenden und wissenschaftstheoretisch klar formulieren (ebd., S. 54).

In der Physik findet der Begriff trotz allem Verwendung, Beispiele wären das Ohm'sche Gesetz in der Elektrodynamik oder das Newton'sche Gravitationsgesetz in der Mechanik. Physikalische Gesetze sind in der Regel Teil der formalisierten Satzmenge einer Theorie und beschreiben innerhalb dieser einen bestimmten Sachverhalt. Umgekehrt können demzufolge Theorien als Zusammenfassung einer bestimmten Menge von Gesetzen interpretiert werden (Ströker, 1992).

3.1.2 Wissenschaftstheoretische Positionen

Historisch betrachtet gab es seit dem 19. Jahrhundert eine Vielzahl an unterschiedlichen wissenschaftstheoretischen Positionen und Schulen. Die wichtigsten davon sollten nun überblicksmäßig dargestellt werden.

Empirismus bezeichnet eine Auffassung, nach der gesichertes Wissen direkt aus der Erfahrung gewonnen werden kann. Dieser Prozess erfolgt in der Regel auf induktive Weise, wobei vom Speziellen auf das Allgemeine geschlossen wird. Eine Formalisierung dieser Idee findet sich erstmalig bei John Stuart Mill, nach dem es keinerlei Notwendigkeiten *a priori* gibt, sondern jegliche Erkenntnis durch *induktives Schließen* zustande kommt (Kühne, 1999, S. 1779). Im Weiteren wendet sich der *logische Empirismus*¹² strikt gegen philosophische Einwände in der Wissenschaftstheorie. Die Philosophie sollte allein über logisch begründete Sätze Aussagen treffen. Dies resultierte insbesondere aus einem wahrgenommenen Scheitern der Philosophie angesichts

¹² Aufgrund seiner Bezugnahme auf den, vor allem von Ernst Mach vertretenen, Positivismus auch *Neopositivismus* genannt. Die Entstehung des logischen Empirismus ist eng mit dem Wiener Kreis verbunden, dem viele Physiker und Mathematiker angehörten. In Folge dessen waren deren wissenschaftstheoretischen Ideen auch stark von der Entwicklung der Physik beeinflusst. Als wichtige Vertreter wären Rudolf Carnap, Hans Reichenbach und Herbert Feigl zu nennen.

neuer physikalischer Theorien, wie der Quantenmechanik oder Relativitätstheorie¹³. Allgemeine Aussagen mit Gesetzescharakter werden gemäß des logischen Empirismus nur als „Kurzschrift für Mengen von Beobachtungen angesehen, die solange Gültigkeit hat, wie sie sich in der Erfahrung bewährt“ (ebd., S. 1780). Formale Logik und Wahrscheinlichkeitsrechnung ermöglichen somit Aussagen, die wahrscheinlich gültig sind, ähnlich der, aus der Unschärferelation folgenden, Aufenthaltswahrscheinlichkeit eines Teilchens. Eine größere Menge an Beobachtungen kann diese Wahrscheinlichkeit erhöhen, was jedoch angesichts der Vielzahl an möglichen Situationen nur innerhalb gewisser Grenzen passieren kann (Driver et al., 1996, S. 30). Wichtig ist, dass, anders als beim „naiven“ Empirismus, die Induktion auf einer Hypothese beruht (Baumgart, Krüger, Niedderer & Schecker, 1982, S. 6). Beobachtung ist demnach theoriegeladen.

Angesichts der Tatsache, dass sich eine Verifikation durch Induktion als problematisch und de facto nicht durchführbar erwiesen hatte, wählte Karl Popper, Begründer des *kritischen Rationalismus*¹⁴, einen anderen Weg. Theorien lassen sich, so Popper, nicht induktiv aufstellen, sie entspringen der menschlichen Fantasie und können nicht bewiesen werden (Kühne, 1999, S. 1783). Es sei deshalb nur möglich, eine Theorie zu falsifizieren, indem man eine Beobachtung macht, welche den Vorhersagen der Theorie widerspricht. Als Beispiel führt er die Behauptung an, wonach alle Schwäne weiß seien. Es ist unmöglich überprüfbar, ob wirklich jeder Schwan weiß ist, jedoch genügt ein einziger schwarzer Schwan, um die Aussage zu falsifizieren (Driver et al., 1996, S. 31). Popper erklärte die Induktion daraufhin zum Mythos, da sie aus seiner Sicht weder in der wissenschaftlichen Arbeitsweise, noch im täglichen Leben, ihren Niederschlag finde (Wiltsche, 2013, S. 76).

Poppers Thesen führten zu einer Abkehr vom logischen Empirismus, welcher bis zur Mitte des 20. Jahrhunderts vorherrschte und riefen zudem eine Popularisierung der Wissenschaftstheorie außerhalb der akademischen Philosophie hervor. Jedoch war auch sein „naiver“ *Falsifikationismus* Kritik ausgesetzt. Ein entscheidendes Argument war, dass viele interessante Experimente primär darauf ausgelegt waren, eine bestimmte Theorie mit Beobachtungen in Einklang zu bringen. Ein Beispiel dafür wäre die Beobachtung des von der Allgemeinen Relativitätstheorie vorausgesagten, Gravitationslinseneffekts während einer Sonnenfinsternis 1919.

¹³ Zwei zentrale metaphysikalisch begründete Annahmen über das Wesen der Natur mussten durch die Entwicklung der modernen Physik fallen gelassen werden: Gleichförmigkeit und Kausalität. Für einen zerfallenden Atomkern lässt sich kein Ursach-Wirkungs-Prinzip mehr aufrechterhalten, genauso wenig ist die Quantisierung von Veränderungen in der Raumzeit mit dem Gleichförmigkeitsprinzip in Einklang zu bringen (Kircher, 1995, S. 65). Ebenso waren die Vorstellungen eines absoluten Raumes und einer absoluten, gleichförmig ablaufenden, Zeit nicht mehr haltbar.

¹⁴ Der kritische Rationalismus hat sich zum Ziel gesetzt, Normen zur rationalen Begründung von wissenschaftlichen Theorien aufzustellen, welche diese von nichtwissenschaftlichen unterscheiden sollen. Dadurch wollte man vorrangig Wissenschaft von Pseudowissenschaft (wie z.B. Astrologie) abgrenzen (Kühne, 1999, S. 1783).

Da sich weder Empirismus noch Falsifikationismus als fähig erwiesen haben, den epistemologischen Zusammenhang zwischen Experiment und Theorie ausführlich zu klären, ging man dazu über, die scharfe Trennung zwischen diesen beiden Sphären in Frage zu stellen. Dies kam schließlich in der *Duhem-Quine These* zum Ausdruck, der zu Folge die Wirklichkeit nicht durch Beobachtungssätze objektiv abgebildet werden kann. Es kann an einem Experiment nie nur eine einzige Hypothese überprüft werden, sondern immer nur Gruppen von Hypothesen. Wenn das Experiment nicht den Vorhersagen entspricht, kann nur davon ausgegangen werden, dass ein Teil der zugrundeliegenden Annahmen falsch sei. Welcher das ist, geht nicht direkt aus dem Experiment hervor. Dementsprechend könnten sich auch bisher als unumstößlich angenommene Aussagen als falsch erweisen.

Die vorangegangenen Darstellungen bezogen sich alle auf die Standpunkte von Wissenschaftstheoretikern oder -philosophen. Jedoch zeigt sich, dass Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler in der Regel einen anderen Zugang zu Wissenschaft haben. Die meisten nehmen die Position des *Realismus* ein, sie sehen die Naturwissenschaft als das Bestreben, Wissen über eine reale Welt zu akkumulieren, welche sich unabhängig vom Menschen verhält. Theorien, sofern sie sich als richtig erwiesen haben, stellen Abbilder dieser Realität dar. Es hat sich jedoch gezeigt, dass oft zwischen einem Realismus hinsichtlich von Dingen und einem Realismus bezüglich Theorien unterscheiden wird. Demnach ist es möglich eine Position einzunehmen, welche einerseits die Existenz von Atomen akzeptiert und andererseits deren theoretisch beschriebene Struktur verneint, oder vice versa (Driver et al., 1996, S. 39f).

Diese Position ist bereits sehr nah am *Instrumentalismus*. Demnach sind Theorien nichts anderes als Instrumente, welche sich bei der Beschreibung und Prognose von Vorgängen im naturwissenschaftlichen und technischen Bereich als nützlich erwiesen haben. Sie stellen sich aber nicht als Abbilder der Wirklichkeit dar¹⁵ (Kühne, 1999, S. 1780). Hier lässt sich aus historischer Sicht argumentieren, dass bereits viele zuvor erfolgreiche Theorien gescheitert sind. Wir können daher nicht davon ausgehen, dass unsere heutigen Theorien prinzipiell anders sind als jene historischen Beispiele¹⁶ (Wiltsche, 2013, S. 200).

¹⁵ Mittels dieser Betrachtungsweisen war es sogar dem deutschen Theologen Andreas Osiander möglich, in Kopernikus' *De revolutionibus orbium coelestium* keinen Widerspruch zur kirchlichen Lehrmeinung zu sehen. In seinem Vorwort zu Kopernikus' Werk vermerkte er, dass es sich hierbei nur um eine praktikable Rechenmethode zur Vorhersage von Himmelserscheinungen und nicht um die Postulierung eines neuen Weltbildes handeln würde (Sambursqî, 1975, S.237).

¹⁶ Diese Argumentation wurde von Laudan entwickelt und ist unter dem Namen *pessimistische Meta – Induktion* bekannt. Als historische Beispiele der beschriebenen Art nennt Laudan unter anderem die kalorische Wärmetheorie und den optischen Äther (Wiltsche, 2013, S. 199).

3.1.3 Eigenarten der Naturwissenschaften

Zwei Elemente, die für die Naturwissenschaften besonders zentral angesehen werden können, sind Experiment und Mathematisierung. Ersteres ist die primäre Methode der Naturwissenschaften. Phänomene werden dabei mit technischen Mitteln innerhalb von idealisierten Bedingungen im Labor reproduziert und somit kontrolliert beobachtbar gemacht. Diese Vorgehensweise bietet gegenüber der Beobachtung in der „freien Natur“ den wesentlichen Vorteil, Störfaktoren, welche das Beobachten erschweren, vermindern oder sogar ausschalten zu können (Tetens, 2013, S. 30ff).

Die Mathematisierung spielt in den Naturwissenschaften ebenfalls eine große Rolle, da sich diese, vor allem die Physik, mit logischen Abhängigkeiten und strukturellen Zusammenhängen befasst. Die konsequente Beschreibung des Wissens mit Mathematik führt zu einem hohen Abstraktionsniveau, wodurch sinnliche Wahrnehmungsqualitäten derart eliminiert werden, dass sogar ein Blinder Optik betreiben kann. Besonders die Physik ist stark auf quantitative, messbare Faktoren ausgelegt (ebd., S. 46f).

Die beiden eben skizzierten Merkmale, Experiment und Mathematisierung, werden in der Regel herangezogen, um Naturwissenschaften von anderen Wissenschaftsbereichen abzugrenzen. Dabei ist von einer besonderen Exaktheit der Naturwissenschaften - im Vergleich mit Sozial-, und Geisteswissenschaften - die Rede. Ob diese Aussage gerechtfertigt ist, sollte nun im Folgenden nachgegangen werden.

Zwischen den Naturwissenschaften (beziehungsweise den Ingenieurwissenschaften) und den Sozial-, Kultur- und Geisteswissenschaften herrscht allgemein ein eher angespanntes Verhältnis. Es zeigt sich eine (scheinbar) unüberwindbare Kluft, sodass teilweise auch von den *Zwei Kulturen*¹⁷ der Wissenschaft die Rede ist. Gelegentlich kann es auch zum Schlagabtausch zwischen ihnen kommen, wobei Mathematiker und Naturwissenschaftler zum Teil eine gewisse Arroganz gegenüber ihren Kolleginnen und Kollegen aus den Sozial- und Geisteswissenschaften zeigen. Begründet wird dies in der Regel mit einer exakten Messbarkeit physikalischer Sachverhalte, welche zudem in logisch nachvollziehbaren, mathematischen Formalsystem aufbewahrt werden. Wissenschaftstheoretisch lässt sich jedoch keinerlei Vorrangstellung der Mathematik oder Physik begründen, weil sich deren Vertreterinnen und Vertreter „aus dem Kuchen der Wirklichkeit die raren Rosinen herausgepickt [haben], die sich exakt messen und mit viel, oftmals überaus eleganter Mathematik beschreiben lassen“ (Tetens, 2013, S. 78). Die durchgängige mathematische Darstellung der inferentiell vernetzten Beobachtungsdaten in den Naturwissenschaften ist in den Sozial- und Geisteswissenschaften nicht realisierbar. Hier steht vielmehr die Herausarbeitung der Unterschiede wie Strukturen realisiert werden können im Vordergrund. Beispielsweise lässt sich

¹⁷ Diese Formulierung geht auf C.P. Snow zurück, der erstmals 1969 in einer Rede von den zwei „Kulturen“ der Naturwissenschaften und der Literaten gesprochen hat (Tetens, 2013, S. 114)

kein allgemein gültiger Zusammenhang finden, wie menschliche Gemeinwesen funktionieren. Dies muss, innerhalb eines spezifischen historischen und geografischen Kontextes, jeweils neu erklärt werden.

Prinzipiell heißt Wissenschaft betreiben, sich an deren *Idealen*¹⁸ zu orientieren, unabhängig davon, welchen Wirklichkeitsausschnitt man untersucht und welche Methoden dabei angewendet werden. Trotzdem lässt sich ein Alleinstellungsmerkmal der Natur- und Ingenieurwissenschaften ausmachen: die technische Naturbeherrschung. Diese spielt in unserer wissenschaftlich-technischen Zivilisation eine herausragende Rolle und ist auch für das Fortschrittsdenken von enormer Bedeutung (Tetens, 2013).

Wie bereits erwähnt, ist seit dem späten 16. Jahrhundert naturwissenschaftliches (ebenso wie anderes) Wissen exponentiell angewachsen und hat zu einer regelrechten Explosion der Wissensbestände über immer mehr und größere Wirklichkeitsausschnitte geführt. Davon ausgehend, hat sich eine nahezu unüberschaubare Vielzahl technischer Anwendungsmöglichkeiten ergeben, welche das tägliche Leben von immer mehr Menschen beeinflusst haben und beeinflussen. Um dieses Wissen und den damit verbundenen Fortschritt zu generieren, mussten sich Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler mit verschiedensten Problemen auseinandersetzen. Allgemein lassen sich vier zentrale Problemstellungen, welche Forschung charakterisieren, ausmachen:

- Man stößt auf neue Beobachtungsdaten. Doch zunächst ist unklar und ungelöst, ob und wie sie sich mit den bisher akzeptierten Theorien verstehen und erklären lassen.
- Die Theorie impliziert Beobachtungsdaten, die sich durch Beobachtung nicht bewahrheiten, sodass Beobachtungsdaten und Theorie sich widersprechen.
- Eine Theorie erweist sich intern als widersprüchlich.
- Verschiedene Theorien widersprechen sich untereinander (Tetens, 2013, S. 72).

Um diesen Problemen beizukommen, ist es notwendig, vorhandene Theorien zu modifizieren oder sie durch neue zu ersetzen. Dabei können durchaus unterschiedliche Theorien miteinander konkurrieren, bis sich eine neue, allgemein akzeptierte Version durchsetzt. Es gibt jedoch auch Fälle, in denen nicht geklärt werden kann, welcher Theorie, der Vorzug zu geben ist, da alle zu den gleichen Aussagen über Beobachtungen kommen. Es muss sich dabei um Theorien handeln, die Postulate über nicht beobachtbare Sachverhalte aufstellen und miteinander logisch unverträglich sind. Durch die Unmöglichkeit eines Beobachtungsvorganges lässt sich keine Entscheidung herbeiführen, die Theorien werden in diesem Fall als *empirisch unterbestimmt* bezeichnet (Wiltsche, 2013, S. 202).

¹⁸ Tetens führt fünf Ideale der Wissenschaft an: Wahrheit, Begründbarkeit, Erklärung und Verstehen, Intersubjektivität sowie Selbstreflexion. Diese sollten für alle Formen von Wissenschaft gelten und eine Beurteilung über deren Qualität ermöglichen. Die Erfüllung der Ideale ist demnach das, was gute Wissenschaft ausmacht (Tetens, 2013, S. 17)

3.1.4 Fachdidaktische Relevanz

Die soeben dargestellten wissenschaftstheoretischen Aspekte von Nature of Science bilden ein wichtiges Grundgerüst für einen naturwissenschaftlichen Unterricht, der sich mit Nature of Science auseinandersetzt. Einerseits ist das Wissen über Grundbegriffe und -positionen der Wissenschaftstheorie ein unverzichtbares Basiswissen für die Lehrkräfte. Nur wenn diese ein klares Konzeptverständnis entwickelt haben wie naturwissenschaftliches Wissen erzeugt wird und wie entsprechende Begriffe zu interpretieren sind, können sie dies auch den Schülerinnen und Schülern explizit vermitteln. Neben fachlichen und methodischen Kenntnissen sollten Lehrkräfte zudem in der Lage sein, sich auch selbst mit philosophischen Texten auseinanderzusetzen (Kircher & Dittmer, 2004, S. 18f).

Andererseits können Schülerinnen und Schülern durch ein Verständnis der Bedeutung von wissenschaftstheoretischen Begriffen, sowie den Eigenarten und Zielen der Naturwissenschaften, auch ein besseres Verständnis der im Unterricht behandelten fachlichen Themen erlangen. Besonders in der Physik ist sehr oft von Theorien, Modellen oder Gesetzen die Rede. Wie diese Begriffe von den Schülerinnen und Schülern interpretiert werden, beeinflusst, welche Vorstellung sie von der Physik als Wissenschaft erhalten. Meyling (1990, zitiert nach Kircher 1995, S. 239) bringt folgende Argumente für wissenschaftstheoretische Reflexion im Unterricht: Diese habe eine „(allgemein)bildende, weltanschaulich/ideologiekritische, methodische, lernpsychologische, exemplarische [und] kritische Funktion“.

Hinsichtlich der Methodik wurde bereits das *Inquiry Learning* diskutiert und auf die Überlegenheit einer expliziten Herangehensweise aus empirischer Sicht hingewiesen. Dem zu Folge hat es sich in der Praxis als notwendig erwiesen, direkte reflexive Instruktion zu verwenden, wozu bereits eine Vielzahl an Zugängen entwickelt wurden, in denen Elemente der Wissenschaftstheorie enthalten sind (Abd-El-Khalick, 2012). Höttecke, Henke und Rieß (2012, S. 1248) führen in diesem Zusammenhang die Methode der *Reflection Corner* an, wobei durch räumliche Trennung die metakognitive Reflexion über allgemeine, wissenschaftstheoretische Fragestellungen¹⁹ erleichtert werden soll. Wichtig ist, dass sich die Schülerinnen und Schüler immer wieder diesen Fragen stellen und dabei ihr eigenes Handeln, in Bezug auf wissenschaftliches Handeln, reflektieren. Die Autoren sehen diese Methode vorwiegend als Ergänzung im Rahmen historischer Fallstudien (siehe Kap. 3.3.3).

¹⁹ Solche Fragestellungen können zum Beispiel „Wie schaffen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler neues Wissen?“ oder „Wie ist die Arbeitsweise von Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern?“ sein (Höttecke et al., 2012, S. 1249).

Meyling (2004, S. 211) schlägt zur Reflexion über wissenschaftstheoretische Inhalte ein 3-Ebenen-Modell vor. Dabei sollten die Schülerinnen und Schüler im Laufe einer Unterrichtsstunde eine wissenschaftspropädeutische, eine wissenschaftstheoretische und eine erkenntnistheoretische Reflexion durchlaufen. Wichtig ist, dass sie ihre eigene Position dabei regelmäßig mit anderen Positionen, seien es jene von Mitschülerinnen und Mitschüler, der Lehrkraft oder einer wissenschaftlichen Persönlichkeit, vergleichen.

Jansen und Voogt (1998) haben im Hinblick auf ein besseres Verständnis der Entwicklung von Theorien eine heuristische Methode für die Sekundarstufe II entwickelt. Dabei sollten die Schülerinnen und Schüler von Anfang an selbst Hypothesen aufstellen und Theorien designen, um deren Problemlösungscharakter nachvollziehen zu können. Dies steht im Gegensatz zur traditionellen Herangehensweise im Unterricht, die Theorie an den Anfang zu stellen und diese danach auf Problemstellungen anzuwenden. Dafür ist diese Methode im Einklang mit der wissenschaftlichen Vorgehensweise, die von Problemstellungen ausgeht.

Darüber hinaus gibt es noch weitere Ansätze, jedoch hauptsächlich in Bezug auf die Ausbildung zukünftiger Lehrkräfte, welche sich unter anderem mit wissenschaftstheoretischen Grundpositionen (Loving, 1998; Cobern & Loving 1998) beschäftigen.

3.2 Wissenschaftsgeschichte

Während die Wissenschaftstheorie vorwiegend die Strukturen des Wissens analysiert, wendet sich die Wissenschaftsgeschichte verstärkt den Akteuren der Wissenschaft zu, deren Handlungen sie untersucht. Wie es in der Wissenschaftstheorie verschiedene Ansichten und Betrachtungsweisen gibt, so existieren auch in der Wissenschaftsgeschichte unterschiedliche Stile, welche die Darstellung des historischen Narratives prägen. Deshalb folgt nun ein kurzer Abriss zur Historiographie von Wissenschaftsgeschichte, welche auch in Bezug auf die fachdidaktische Relevanz von Bedeutung sein wird. Als konkretes Beispiel wird die wissenschaftliche Revolution in der Frühen Neuzeit - anhand von Galileo Galilei - kurz dargestellt.

3.2.1 Historiographie

In Sach- und Lehrbüchern noch weit verbreitet, ist eine Präsentation der Geschichte im Stil einer *Siegeserzählung*. Dabei werden jene, deren Erkenntnisse sich durchgesetzt haben und heute anerkannt sind, besonders hervorgehoben und ihre Taten gefeiert. Formal schlägt sich diese Art der

Darstellung in Biographien „großer Männer“, die als „Träger des Fortschritts und Überwinder überkommener Irrtümer“ (Brandstetter, 2012, S. 242) gezeichnet werden, nieder. Ein derart heroisierender und teleologisch geprägter Stil der Wissenschaftsgeschichte, wie er schon im 17. Jahrhundert gepflegt wurde, ist im akademischen Diskurs jedoch spätestens seit Ende des 20. Jahrhunderts nicht mehr en vogue (ebd.).

Ein entscheidender Bruch mit dieser Darstellung war die Publikation des Werks *Die Struktur Wissenschaftlicher Revolutionen* von Thomas S. Kuhn. Dieser wendet sich gegen eine linear-kumulative Entwicklung von Wissen und teilt die Geschichte der Wissenschaft stattdessen in zwei einander abwechselnde Phasen ein: *normale Wissenschaft* und *wissenschaftliche Revolutionen*. Zentraler Begriff in seiner Untersuchung sind *Paradigmata*, welche eine wissenschaftliche Leistung darstellen, die einerseits „neuartig genug, um eine beständige Gruppe von Anhängern anzuziehen, [...], und gleichzeitig [...] noch offen genug, um der neuen Gruppe von Fachleuten all möglichen ungelösten Probleme zu stellen“ (Kuhn, 1996, S. 25) sind. Diese Paradigmata sind also die Basis jeglicher innerwissenschaftlichen Kommunikation der *Scientific Community* und werden durch das Studium des jeweiligen Fachgebietes erworben.

In der normalen Wissenschaft bewegen sich Forschende innerhalb der von den Paradigmata vorgegebenen Grenzen und versuchen, die darin aufgeworfenen Problemstellungen zu lösen. Von Zeit zu Zeit kommt es jedoch zu Anomalien und im weiteren Verlauf zu einer Krise, welche schließlich eine wissenschaftliche Revolution hervorruft. Die Überwindung der Revolution erfolgt durch die Etablierung neuer Paradigmata, wodurch wieder in den Zustand der normalen Wissenschaft zurückgekehrt werden kann. Begriffe innerhalb eines neuen Paradigmas sind jedoch oft *inkommensurabel* mit ihrer Bedeutung im alten Paradigma. Beispielsweise haben die Begriffe „Raum“ und „Zeit“ durch den mit der Relativitätstheorie einhergehenden *Paradigmenwechsel* eine zentrale Bedeutungsveränderung erfahren. Auf diese Weise, so Kuhn, ist ein Fortschritt in der Wissenschaft möglich (Kuhn, 1996). Streng genommen müsste man aber eigentlich von einem *irrationalen Methodenwechsel* sprechen, da der Paradigmenwechsel in der Regel durch nicht-rationale Faktoren erfolgt (Kühne, 1999, S. 1784).

Durch Kuhns und vielen anderen Arbeiten aus Kultur- und Sozialwissenschaften beeinflusst, betrachtet die moderne Wissenschaftsgeschichte Wissenschaft nicht mehr als Ergebnis eines linearen Prozesses, sondern hinterfragt diese Art des Fortschrittsdenkens. Dabei treten Fragen nach alternativen Wegen, welche sich nicht durchsetzen konnten, sowie nach dem Einfluss kultureller, sozialer, politischer und ökonomischer Aspekte auf die Wissenschaft in den Vordergrund. Nicht nur die Produktion, auch Distribution und Konsumation von Wissenschaft werden untersucht (Brandstetter, 2012, S. 243f).

3.2.2 Beginn der modernen Naturwissenschaft im 17. Jahrhundert am Beispiel Galileis

Die soeben theoretisch dargestellten Aspekte der Wissenschaftsgeschichtsschreibung sollten nun an einem konkreten Beispiel illustriert werden, welches durchaus bis heute von Bedeutung für die Naturwissenschaften, insbesondere die Physik, ist: die *wissenschaftliche Revolution*²⁰ Anfang des 17. Jahrhunderts. Der Begriff stammt, wie bereits erwähnt, von T.S. Kuhn und bezeichnet in diesem Zusammenhang die Emanzipation der Naturwissenschaft von der Naturphilosophie. Faktisch ging es dabei vor allem um die Überwindung der Aristotelischen Physik²¹, welche die Naturphilosophie seit der Antike und das ganze Mittelalter hindurch bestimmt hatte. Im siebzehnten Jahrhundert begann man sich erstmalig mit „nützlicher“ Wissenschaft zu beschäftigen, welche sich durch ihre praktikable Anwendbarkeit von der bisherigen, um ihrer selbst willen betriebenen, Naturphilosophie abhob. Dieser Prozess war verbunden mit eingehenden wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Veränderungen. Nützlichkeit hatte bei Aristoteles keine Rolle gespielt, war sie doch für ihn der Domäne des handwerklichen Wissens (*techne*) zuzuordnen, welches aus der praktischen Erfahrung gewonnen wurde. Demgegenüber beruht wissenschaftliches Wissen (*episteme*) allein auf der Vernunft und hatte das Ziel, die Ursachen von beobachtbaren Erscheinungen zu ergründen. Diese Dichotomie sollte sich im Zuge der wissenschaftlichen Revolution langsam aufzuheben beginnen, verstandesmäßiges Wissen mit praktischem verbunden werden. Anstatt Ursachen zu ergründen, begab man sich auf die Suche nach Gesetzmäßigkeiten (Drake, 1999, S. 25ff).

Zentrale Figuren dieser Epoche sind Francis Bacon, Rene Descartes und Galileo Galilei. (ebd., S. 27) Letzterer sollte nun, da er von den Genannten für die Physik am bedeutendsten ist, als

²⁰ Der Begriff *Revolution*, in seinem Verständnis als sich rasch vollziehende, radikale Umwälzung, ist hier allerdings mit Vorsicht zu genießen. Der Wandel im Weltbild und eine veränderte Auffassung naturwissenschaftlichen Handelns ist ein länger andauernder Prozess, der sich nur langsam im allgemeinen wissenschaftlichen Denken durchsetzt. Zudem sei erneut darauf hingewiesen, dass es sich hier um ein im Nachhinein entwickeltes, modellhaftes Konstrukt handelt und man zu Zeiten Galileis nicht von einer Revolution sprach. Die hier vorgenommene Thematisierung sollte Tendenzen anhand eines populären Beispiels aufzeigen.

²¹ Das Weltbild der aristotelischen Physik lässt sich sehr vereinfacht als eine Menge konzentrische Sphären beschreiben, die sich um die im Zentrum stehende Erde herum anordnen. Auf diesen Sphären befinden sich die Sonne, der Mond und die fünf in der Antike bekannten Planeten. Für die Zusammensetzung der Materie auf der Erde übernimmt Aristoteles die *Vier-Elemente-Theorie* von Empedokles, wonach alles aus Erde, Wasser, Feuer und Luft besteht. Den ersten beiden Elementen ist dabei die Eigenschaft inhärent, sich auf das Zentrum des Universums zuzubewegen, wogegen die anderen beiden sich von diesem entfernen. Materie sah Aristoteles als kontinuierlich an und widersprach somit dem Atommodell von Leukip und Demokrit (Segre, 1991, S. 10).

Außerhalb der Erde müssen nach Aristoteles andere Gesetze gelten, da die Himmelskörper eine „erzwungene“ Bewegung vollführen. Derartige Bewegungen, wie zum Beispiel ein nach oben (entgegen seiner „natürlichen Fallrichtung“) geworfener Stein, können nur von begrenzter Dauer sein. Jedoch zeigt die Beobachtung, dass sich die Himmelskörper unverändert immer auf der gleichen Kreisbahn bewegen. Der für Aristoteles einzig logische Schluss war demnach, dass sie aus einem fünften Element (*quinta essentia*) zusammengesetzt sein müssen, dessen natürliche Bewegung eine ewige Kreisbewegung eingeschrieben ist (Kuhn, 2016, S. 18f).

Beispiel für den Prozess der Etablierung naturwissenschaftlicher Methoden und Denkweisen herangezogen werden. Dem umfangreichen Forschungsstand zu Galilei kann dabei jedoch nur sehr bedingt Rechnung getragen werden. Es sollte in diesem Kontext nicht um eine detaillierte Darstellung seiner Arbeiten oder der gegen ihn geführten Prozesse gehen, sondern viel mehr beispielhaft die Tendenzen seiner *scienza nova* (neue Wissenschaft) umrissen werden. Dabei ist es entscheidend zu untersuchen, wo und inwiefern es wirklich „revolutionäre“ Neuerungen gegeben hat und wie diese aus heutiger Sicht zu bewerten sind.

Zu den beiden wichtigsten (bereits im Abschnitt „Wissenschaftstheorie“ angeführten) Charakteristika der modernen Naturwissenschaft, Mathematisierung und Experiment, hat Galilei jeweils einen wichtigen Beitrag geleistet. Auch wenn es bereits zuvor Versuche einer Mathematisierung von Naturphänomenen gegeben hatte, lässt sich die Physik vor Galilei als weitgehend deskriptiv und qualitativ beschreiben (Segre, 1991, S. 11). Gemäß der aristotelischen Tradition hatte man in Bezug auf Materie keine mathematische Präzession erwarten können und war daher auf qualitative Methoden angewiesen. Galilei war durch seine Ausbildung zu Anfang selbst noch in dieser Tradition verhaftet (Drake, 1999, S. 69).

Er hatte Mathematik und Philosophie in Pisa studiert und wandte sich auch vermehrt naturphilosophischen Fragestellungen zu. Galilei begann schon früh zu erkennen, dass viele aristotelische Argumente nicht mit den beobachtbaren Gegebenheiten übereinstimmten und fing an, diese zu hinterfragen. Er brach jedoch nicht gleich vollständig mit Aristoteles, sondern versuchte, Unstimmigkeiten in dessen Werk richtig zu stellen. In seiner ersten Arbeit *De motu* (Von der Bewegung) behauptet er zum Beispiel, dass alle Körper unabhängig von ihrer Masse gleich schnell zu Boden fallen. Ob er dies, wie eine populäre Geschichte erzählt, wirklich beweisen wollte, indem er zwei unterschiedliche Kugeln vom Turm von Pisa warf, wird von Historikern stark angezweifelt. Die Tatsache, dass bei einem derartigen Experiment die Kugeln tatsächlich nicht exakt zum selben Zeitpunkt am Boden aufschlugen, konnte er ebenso nur durch Argumentieren widerlegen wie die Widersprüche in seinen Versuchen zur schiefen Ebene (Drake, 1999, S. 44ff).

Allein die Tatsache, dass Galilei Versuche durchgeführt und gemessen hat, ist bemerkenswert, bezieht man den zeitlichen Kontext mit ein. In Folge der von Aristoteles unternommenen Trennung zwischen *episteme* und *techne* galten Messvorgänge nicht als wissenschaftliche Tätigkeit. Beispielsweise, befassten sich die Philosophen in der aristotelischen Kosmologie ausschließlich mit dem Finden kausaler Zusammenhänge ohne empirischer Evidenz, wogegen das Messen und Durchführen von astronomischen Berechnungen andere Personen durchführten. Galilei wollte diese Trennung dadurch überwinden, dass er die Messmethoden der Astronomie auf die bis dahin philosophische Domäne der Physik anwandte. Indem er Experimente ersann und durchführte und dabei nicht nur qualitative Beobachtungen, sondern auch empirische Messungen anstellte, brachte er eine entscheidende Neuerung in die Wissenschaftspraxis ein (ebd., S. 62f). In seinen Schriften kritisierte er gezielt, dass viele seiner Zeitgenossen sich „auf ihre Vorgänger verlassen ohne daß

[sic] man jemals auf einen käme, der den Versuch wirklich angestellt hätte“ (Sambûrsqî, 1975, S. 289), anstatt selbst zu experimentieren. Mit seiner neuen Herangehensweise gelang es ihm schließlich, quantitative Zusammenhänge, wie zum Beispiel das Fallgesetz, mathematisch zu formulieren.²²

Eine ähnliche Unterscheidung wie zwischen *episteme* und *techne* traf Aristoteles zwischen „natürlichen“ und (technisch) „erzwungenen“ Bewegungen, welche Galilei ebenso widerlegen wollte. Er argumentierte, dass auch erzwungene Bewegung den Ordnungen der Natur gehorchen mussten und diese Unterscheidung somit sinnlos war (Sambûrsqî, 1975, S. 292ff). Galileis Zeitgenossen, die sich auf Aristoteles beriefen, gingen davon aus, dass schwere Körper aufgrund eines inneren Prinzips immer nach unten fallen. Ein Wurf ist demnach eine erzwungene Bewegung, wobei die werfende Person ihre Funktion als „Motor“ auf das angrenzende Medium - in diesem Fall Luft - überträgt. Dieses übertragene Vermögen der Luft, den geworfenen Gegenstand zu bewegen, nimmt jedoch in angrenzenden Schichten rasch ab, bis die erzwungene Bewegung schließlich aufhört und der Körper gemäß seines inneren Antriebs wieder nach unten fällt (Kuhn, 2016, S. 18). Gemäß dieser Vorstellung könnte sich der Körper nie von selbst nach oben bewegen. Galilei versucht dies zu widerlegen, indem er das Beispiel einer ins Wasser fallenden Holzkugel anführt, die sich nach dem Untertauchen von selbst wieder nach oben bewegt (Sambûrsqî, 1975, S. 294). Auch wenn diese Argumentation nach heutigem Verständnis zwei unterschiedliche Kräfte, nämlich Gravitation und Auftrieb, miteinander vermischt, so gelingt es Galilei doch, die Widersprüche in der aristotelischen Theorie aufzudecken. Zudem war der Kraftbegriff zu dieser Zeit noch nicht vorhanden und wurde, ebenso wie das Trägheitsprinzip, erst später durch Newton eingeführt.

Ein weiterer entscheidender Bruch mit der Tradition des Aristoteles war die Aufhebung der Trennung in einen himmlischen und einen irdischen Bereich, wo jeweils unterschiedliche Gesetze gelten sollten. Galilei hingegen war der Ansicht, man könnte Erscheinungen am Himmel mit auf der Erde beobachtbaren Analogien beschreiben. Seine astronomischen Beiträge stützen sich auf das, zu damaliger Zeit noch umstrittene, heliozentrische Weltbild des Kopernikus. Für seine astronomischen Beobachtungen, denen er sich vor allem ab 1609 verstärkt widmete, baute Galilei sich selbst Fernrohre, welche zu den besten der damaligen Zeit gehörten. (Teichmann, 2007, S. 11). Galileis astronomische Beiträge waren unter anderem die Beobachtung der Venusphasen, der ersten vier Jupitermonde, der Sonnenflecken und der Mondoberfläche. Die meisten dieser Entdeckungen wurden zeitgleich jedoch auch von anderen Wissenschaftlern gemacht, was teilweise zu Auseinandersetzungen mit Galilei führte. Über die Entdeckung der Jupitermonde geriet er beispielsweise in Konflikt mit dem deutschen Astronomen Simon Marius, dem er Plagiatsvorwürfe machte. Diese erwiesen sich jedoch als völlig haltlos, Marius' Beobachtungen waren sogar von

²² Jedoch findet sich bei Galilei nur die Näherungs-Formel: $s \sim t^2$ (Teichmann, 2007, S. 10).

größerer Genauigkeit als jene von Galilei (Hamel, 1998, S. 182ff). Trotzdem konnte letztgenannter sich durchsetzen und diese vier Jupitertrabanten werden heute als *Galilei'sche Monde*²³ bezeichnet.

Auch wenn Galilei in seiner Zeit viele entscheidende Denkanstöße geliefert hat, ist es wichtig, seine Arbeit nicht zu verklären und ihn selbst auch nicht als mythische Figur in der Geschichte der Physik darzustellen, so wie dies in der Vergangenheit oft der Fall war (Teichmann, 2007, S. 5f). Seine experimentelle Tätigkeit und die damit in Zusammenhang stehenden, Berechnungen sind lückenhaft und weisen zum Teil eklatante methodische Fehler auf. Trotzdem erreichte er eine Messgenauigkeit, welche bis dahin nur in der Astronomie existiert hatte, auch wenn dies im zeitgenössischen Diskurs nur eine untergeordnete Rolle spielte.

Zusammenfassend lässt sich Galileis Bedeutung für die Physik wie folgt paraphrasieren:

„Galileis bedeutendste Leistung in der Mechanik war es gewesen, den gordischen Knoten der methodologischen, experimentellen und begrifflichen Probleme einfach zu umgehen, aber mit Gespür dafür, was er damit erreichen konnte: Das Gesetz des freien Falls und wichtige Konsequenzen daraus, die Pendelgesetze, die Rolle von Haupt- und Nebeneffekten in der Physik – z.B. die Reibung der Luft als ein Nebeneffekt beim freien Fall, von dem man absehen musste, wenn man ein allgemein gültiges einfaches Gesetz haben wollte“ (ebd, S. 11).

Abschließend sei darauf hingewiesen, dass erst die Nachwelt Galilei dieses mythische Antlitz gab, welches ihm teilweise bis heute anhaftet. Da das Weltbild der Aufklärung einen immer stärker werdenden naturwissenschaftlichen Charakter erhielt und sich deren experimentelle Methodik langsam durchzusetzen begann, fand man in Galilei eine passende Figur, deren Huldigung die eigene Weltanschauung unterstreichen sollte.

3.2.3 Fachdidaktische Relevanz

Das soeben aufgezeigte Beispiel Galileis ist, ebenso wie die Historiographie, auch in einem fachdidaktischen Kontext von Bedeutung, da dabei sichtbar wird, wie Naturwissenschaft historisch dargestellt werden kann. Da das schulische und zum großen Teil auch das universitär vermittelte Wissen vorwiegend zwischen dem 17. und dem Beginn des 20. Jahrhunderts entstanden ist, sollte dies in der Lehre immer auch mitbedacht werden. Die Art der Darstellung des Wissens hat entscheidenden Einfluss darauf, welches Bild Lernende von den Naturwissenschaften und ihren Akteuren bekommen (Höttecke, 2001, S. 199f).

²³ Genauer gesagt handelt es sich um die Monde Kallisto, Ganymed, Europa und Io. Nach heutigem Stand sind bereits 67 Jupitermonde bekannt.

Um beim Beispiel Galileis zu bleiben, so zeigen manche Autoren immer noch das Bild eines „großen Mannes“, der durch seine „epochalen Werke“ zum „Begründer der klassischen Physik“ (Kuhn, 2016, S. 132) wird. Eine derartig heroische Darstellung von historischen Persönlichkeiten kann bei Schülerinnen und Schülern ein negatives Selbstkonzept hervorrufen, da die dargestellten Wissenschaftler²⁴ durch ihre heldenhafte Darstellung ihr menschliches Antlitz einbüßen. Zudem entsteht so oft ein falsches Bild von Wissenschaftlern, das stark von stereotypischen Vorstellungen geprägt ist (siehe Kap. 4.2.2). Es sollte daraus aber nicht gefolgert werden, dass historische Darstellungen für den Physikunterricht ungeeignet wären, es muss nur klar werden, wie und warum die jeweilige Person einen Beitrag zur Wissenschaft geleistet hat und welche Bedeutung ihr im historischen Kontext zukommt. Dabei sind auch die dafür nötigen Vorarbeiten sowie die Arbeiten von Zeitgenossen, welche nicht zu einer derartigen Anerkennung gekommen sind, von Bedeutung (Höttecke, 2001, S. 200f).

Die Prozesshaftigkeit naturwissenschaftlicher Wissenschaftsproduktion und die damit verbundene langwierige, experimentelle und kognitive Arbeit sollte zeigen, dass neue Erkenntnisse in der Regel nicht einem spontanen Geistesblitz entspringen (ebd., S. 215). Auf einer zweiten Ebene sollte die Entwicklung der Wissenschaft nicht „unter Vermeidung der ungünstigen historischen Zufälligkeiten und Verzögerungen“ (Mach, 1890, zitiert nach Schuldt, 1988, S. 10) dargestellt werden, um die Vorstellung einer linear- teleologischen Wissenschaftsentwicklung zu vermeiden. Formulierungen wie „das Ringen um das richtige Verständnis eines physikalischen Bewegungsbegriffs charakterisiert sehr gut die Entwicklung der neuzeitlichen Physik von Galilei über Newton bis Einstein“ (Kuhn, 2016, S. 135), sind heute immer noch gängig, jedoch ist eine derartige Geschichtsdarstellung nicht mehr zeitgemäß (siehe Kap. 3.2.1) und deshalb im Unterricht zu vermeiden.

Wissenschaftsgeschichte kann einen wesentlichen Beitrag zum physikalischen Unterricht - insbesondere im Hinblick auf Nature of Science - leisten, indem sie die deren prozessuale Dimension verdeutlicht. Historische Begebenheiten liefern eine Fülle an Beispielen, mit denen die Entwicklung naturwissenschaftlichen Wissens verdeutlicht werden kann. Physikalische Fragestellungen und Konzepte werden dabei nicht vernachlässigt, sondern durch ihre historische Kontextualisierung angereichert und begreifbarer gemacht (Höttecke & Barth, 2011, S. 5). Das Ziel des Physikunterrichts, naturwissenschaftliche Phänomene zu vermitteln, bleibt unangetastet, da die gleichen Themen auf andere Art und Weise präsentiert werden. Dadurch kann jedoch zusätzlich noch ein Lernprozess über Nature of Science implementiert werden. Als geeignete Methode dafür haben sich *historische Fallstudien* erwiesen, wobei in der Regel einzelne historische Persönlichkeiten und deren Experimente im Fokus stehen (Kipnis, 1998). Mittlerweile findet sich

²⁴ Es handelt sich dabei in aller Regel um Männer. Die Rolle von Frauen in der (Natur)wissenschaft wird, obwohl viele Beispiele dafür existieren würden, in derartigen Darstellungen wenig bis gar nicht hervorgehoben (Höttecke, 2001, S. 199).

eine Vielzahl derartiger Fallstudien in fachdidaktischen Publikationen (Kipnis, 1998; Bentley & Fleury, 1998; Höttecke, 2001; Tseitlin & Galili, 2012). In diesem Zusammenhang sind ebenso Arbeiten zur Rekonstruktion historischer Experimente (Heering, 1995; Höttecke, 2001; Asmussen & Heering 2014) erwähnenswert. Höttecke (2015, S. 9) hat darüber hinaus festgestellt, dass forschendes Lernen, wenn es in historische Fallstudien eingebettet ist, die Schülerinnen und Schüler zur Reflexion über die Arbeit von Forschenden anleitet. Des Weiteren eignen sich kreatives Schreiben (Höttecke et al., 2012), narrative Elemente (Kubli, 2001; Höttecke & Barth, 2011; Heering 2015), oder Rollenspiele (Höttecke et al., 2012), um Entwicklungsprozesse der Physik nachvollziehen zu können.

3.3 Wissenschaftssoziologie

Naturwissenschaften finden nicht im gesellschaftlichen Vakuum statt, sondern beeinflussen in vielfältiger Weise das menschliche Leben und werden umgekehrt auch auf unterschiedlichste Arten von anderen Lebensbereichen beeinflusst. Wie das funktionieren kann und welche Gesellschaftsbereiche besonders in Wechselwirkung mit der Wissenschaft stehen, sollte nun noch etwas genauer ausgeführt werden. Danach folgt eine kurze Darstellung der wissenschaftlichen Gemeinschaften, in denen wissenschaftliches Handeln und Argumentieren stattfindet.

3.3.1 Naturwissenschaft als Teil der Gesellschaft

Der Bezug zwischen Naturwissenschaft und Gesellschaft weist in Hinblick auf das einzelne Individuum eine Dichotomie auf. Einerseits kommt kaum jemand direkt und explizit mit naturwissenschaftlicher Forschung in Berührung, sei es persönlich oder über bekannte Personen. Andererseits produziert die Forschung Wissen, dessen Anwendung einen großen Einfluss auf das tägliche Leben hat, sei es durch technische Geräte, medizinische Versorgung oder den Wetterbericht. Betrachtet man die Gesellschaft als in *Teilsysteme*²⁵ gegliedert, lassen sich unterschiedliche Beziehungen zwischen der Wissenschaft und anderen Teilbereichen ausmachen. (Schimank, 2012, S. 120) Hinsichtlich der Verbreitung wissenschaftlicher Erkenntnisse können vier

²⁵ Schimank nennt diese Systematik *funktionale Differenzierung*, wobei er circa ein Dutzend Teilsysteme (u.a. Wirtschaft, Politik, Religion oder Kunst) unterscheidet. Jedes einzelne folgt dabei einem bestimmten Leitwert, der das Handeln innerhalb des Systems konstituiert und sich außerhalb dessen als funktionslos herausstellt. Das hat zur Folge, dass andere Leitwerte nur dann berücksichtigt werden, wenn es sich eine unbedingte Notwendigkeit dazu ergibt (Schimank, 2012, S. 114).

Anwendungsbereiche unterschieden werden: *Orientierungswissen* (das zur Deutung von Geschehnissen herangezogen werden kann), *Rezeptwissen* (anhand dessen zielgerichtete Handlungen ausgeführt werden können), *technische Artefakte* (welchen ein Rezeptwissen bereits inhärent ist und dieses somit einfacher nutzbar machen) und *wissenschaftliches Personal* (das Orientierungs- und Rezeptwissen, in vielen Fällen auch in Bezug auf technische Artefakte, einbringt). Entsprechend vielfältig ist daher der Wissenstransfer und die Verbindung von Wissenschaft mit anderen Teilsystemen. Am stärksten zeigt sich diese gegenseitige Abhängigkeit in Zusammenhang mit Politik und Wirtschaft, weshalb diese Bereiche nun exemplarisch erläutert werden sollten (ebd., S. 119f).

Eine Verflechtung von Politik und Naturwissenschaft lässt sich zurück bis hin zu den Anfängen letztgenannter in der frühen Neuzeit ausmachen. Die Wissenschaft bot, im Zuge ihrer Erkenntnisproduktion, Handlungswissen und Expertise in bestimmten Entscheidungslagen an. Dagegen ermöglichten finanzielle Aufwendungen von politischer Seite autonome Forschung. Wissenschaftspolitik im heutigen Sinne ist dagegen eine eher neuere Erscheinung, welche erst seit Mitte des 20. Jahrhunderts auszumachen ist. Man ging gemäß des *linearen Innovationsmodells* davon aus, dass naturwissenschaftliches Wissen von selbst zu neuen technischen Anwendungsmöglichkeiten führt, welche für Politik und Gesellschaft von Nutzen sind. Ein derart offenes Modell erwies sich jedoch als zu wenig steuerungsfähig und man ging dazu über, gezielt angewandte Forschung zu finanzieren, welche für politische Interessen verwertbar war. Beide Modelle sind im Endeffekt simplifizierend und vermögen nicht, die komplexen Wechselbeziehungen zwischen Politik und Wissenschaft eingehend zu beschreiben. In den Sozialwissenschaften existiert ein lebhafter Diskurs, wie sich die Verflechtung beider Sphären besser abbilden lassen könnte (Bora, 2012).

Vereinfacht gesagt, geht es jedoch um eine Positionierung zwischen offener Grundlagenforschung und nutzenorientierter angewandter Wissenschaft. Von entscheidender Bedeutung ist dabei auch die zunehmende Globalisierung, welche eine Konkurrenz zwischen Nationalstaaten um wissenschaftliches Personal, Innovation, Patente und wissenschaftliche Einrichtungen entstehen lässt. Es stellt sich dabei die Frage, ob Wissenschaftspolitik dadurch zur „Standortpolitik“ und somit zu einem Instrument der Wirtschaftspolitik wird. In der Wissenschaftssoziologie hat sich dafür der Begriff „akademischer Kapitalismus“ etabliert. Demgegenüber steht die Fortführung eines Arbeitsbündnisses zwischen Wissenschaft und Politik, welches durch „politische Alimentierung, grundrechtliche Garantie wissenschaftlicher Freiheit und praxisrelevante Erkenntnisproduktion“ (Bora, 2012, S. 353) gekennzeichnet ist. Innerwissenschaftlich manifestiert sich diese Frage in einer Auflösung der, Forschung und Lehre verbindenden, universitären Einrichtungen zu Forschungscustern einerseits und Bildungseinrichtungen auf der anderen Seite.

Da der Einfluss wirtschaftlicher Faktoren auf die Wissenschaft über die politische Ebene bereits deutlich geworden ist, sollte nun die Rolle der Ökonomie genauer untersucht werden. Dabei ist nicht nur die gegenseitige Beeinflussung der beiden Sphären, sondern auch die innerwissenschaftliche Durchsetzung wirtschaftlicher Aspekte von Interesse. Ersteres wird auch als *externalistische Perspektive* bezeichnet, wobei sich historisch gesehen verschiedene Positionen zu dieser Fragestellung gebildet haben.

Für die Frühphase der Wissenschaft geht man heute von einer starken Einflussnahme der Wirtschaft als externer Faktor bei der Wahl von Forschungsthemen aus, welche besonders in der Industriellen Revolution sichtbar wird. Mitte des 20. Jahrhunderts spricht man, in Bezug auf das bereits erwähnte lineare Innovationsmodell, von einer Aufteilung in staatlich finanzierte Grundlagenforschung und von privaten Unternehmen finanzierte angewandte Forschung. Der militärisch-industrielle Komplex ist dabei als besonders einflussreich für diese Entwicklung zu sehen, bedenkt man den technologischen Wettkampf in der Rüstungsindustrie oder in der Raumfahrt während des Kalten Krieges. Damit unmittelbar verbunden war auch ein Ausbau des Bildungssystems, vor allem im naturwissenschaftlich-technischen Bereich, um genügend Personal für Forschung und Entwicklung bereitstellen zu können.

Hinsichtlich des zweiten Punktes - der innerwissenschaftlichen oder *internalistischen Perspektive* - gibt es verschiedenste Theorien, wobei hier exemplarisch jene von Latour und Woolgar (1986, zitiert nach Reinhart, 2012) herausgegriffen werden sollte. Diese nehmen eine materialistische Position ein, da sie Wissenschaft als einen Arbeitsprozess betrachten, dessen Funktionsweise sie mit einem zyklischen Modell beschreiben. Dieses Modell geht davon aus, dass Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler in ihre Karrieren investieren, um daraus Ansehen zu generieren, welches wiederum Ausgangspunkt einer neuen Investition ist. Es geht darum, Glaubwürdigkeit immer wieder aufs Neue zu erzeugen und zu intensivieren. Das Modell wird daher als *credibility cycle* (Glaubwürdigkeitszyklus) bezeichnet. In Abbildung 3 sind die einzelnen Stationen des Zyklus ersichtlich, wobei der Verlauf entgegen des Uhrzeigersinns zu lesen ist. Aus einem bereits generiertem Ansehen folgen finanzielle Ressourcen, welche in neue (experimentelle) Ausstattung investiert werden kann, um damit Daten zu erheben. Die aus den Daten folgenden Argumente werden dann in Artikeln publiziert, die wiederum zu weiterem Ansehen führen können.

An der Arbeit von Latour und Woolgar lässt sich jedoch kritisieren, dass sie sich zu sehr auf wirtschaftliche Aspekte fokussiert und daher dabei eine gesellschaftstheoretische Kontextualisierung weitgehend ausklammert. Im Rückgriff auf den bereits eingangs ausgeführten Begriff der gesellschaftlichen Teilsysteme, lässt sich zwischen Wirtschaft und Wissenschaft eine weitgehende Autonomie feststellen. Die Verbindung wird über so genannte strukturelle Kopplungen hergestellt, worunter zum Beispiel Forschungs- und Entwicklungslabore fallen können. Sie intensiviert sich insofern, als die gesellschaftliche Ausdifferenzierung zu steigenden Durchdringung der Teilsysteme führt, wobei jedoch die eigenen Prinzipien ebenso gesteigert

werden. Wissenschaft und Wirtschaft nähern sich demnach einander an ohne, dass sich an ihren Leitwerten irgendetwas verändern würde (Reinhart, 2012).

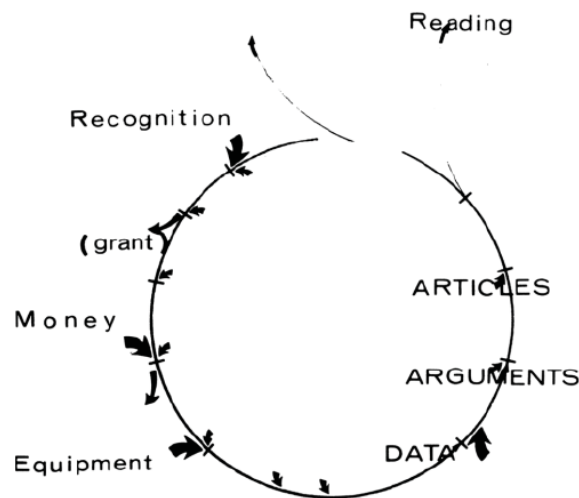


Abbildung 3: Credibility Cycle nach Latour & Woolgar (zitiert nach Reinhart, 2012, S. 374)

3.3.2 Scientific Community

Die Arbeit von Naturwissenschaftlerinnen und Naturwissenschaftlern ist zugleich von individueller Autonomie und gesellschaftlicher Abhängigkeit gekennzeichnet. Einerseits ist es ihnen selbst überlassen, ihren Forschungsgegenstand zu wählen, andererseits sind sie hochgradig von anderen Forschenden abhängig. Denn die Organisation des Wissenschaftsbetriebs erfolgt in so genannten *Scientific Communities*, Gemeinschaften, welche sich zum Ziel gesetzt haben, Beiträge zu einem ausgewählten Wissensbestand zu leisten. Dieser strukturiert das Handeln der Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler, indem er den Rahmen von zu bearbeitenden Problemstellungen umreißt und das als akzeptiert geltende Wissen festlegt. Auch jede Modifikation am Wissensbestand muss sich auf diesen beziehen, indem sie gewisse Behauptungen daraus zu widerlegen versucht. Das Besondere an dieser Art der kollektiv regulierten Wissensproduktion ist, dass streng genommen keine einheitliche Vorgehensweise oder allgemein regulierende Instanzen existieren (Gläser, 2012). Wie trotz dieser problematisch anmutenden Situation ständig neues Wissen generiert werden kann, wird im Folgenden noch detaillierter erläutert werden.

Es wurde bereits ausgeführt, dass Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler den Gegenstand ihrer Untersuchungen selbst festlegen. Da es sich bei der Produktion von Wissen um einen kreativen Prozess handelt, muss davon ausgegangen werden, dass nur die jeweilige Person selbst über die Durchführbarkeit dieses Prozesses entscheiden kann. Basal für die Wahl des Forschungsobjekts ist das bereits vorhandene Wissen, die daraus resultierenden offenen Fragestellungen und die ebenfalls

bereits vorhandenen Methoden. Zudem bilden sich innerhalb der Scientific Community Regeln aus, die das Handeln des einzelnen Forschenden leiten. Jedoch ist es schier unmöglich, dass sich Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler derartig untereinander abstimmen, sodass jede konkrete Fragestellung, die aus einer Wissenslücke resultiert, nur einmal bearbeitet wird. Dies führt oftmals zu einer gleichzeitigen Bearbeitung derselben oder einer sehr ähnlichen Fragestellung durch mehrere Forschende. Für die Wissenschaft ist dies jedoch prinzipiell positiv, da das Schließen von Wissenslücken am besten funktionieren kann, wenn man sich der Problemstellung gleichzeitig von mehreren unterschiedlichen Perspektiven nähert²⁶. Dazu trägt auch die Scientific Community bei, da sich dort Präferenzen herausbilden, welche Probleme vordringlich zu lösen sind (ebd., S. 154).

Um die Relevanz eines neuen Forschungsbeitrags beurteilen zu können, hat sich die Praxis des *Peer Reviews* herausgebildet. Kolleginnen und Kollegen aus demselben Fachbereich beurteilen auf Basis ihrer eigenen Erfahrung, ob der neue Beitrag dem Wissensbestand hinzugefügt werden sollte. Trotz regelmäßig auftretender Probleme, die aus der subjektiv beeinflussten Bewertung der *Peers* resultieren, hält man an diesem System fest, da außerhalb der Fachgemeinschaft niemand die Arbeiten beurteilen könnte. Die Abstimmung über Forschungsbeiträge unterliegt dabei drei zentralen Faktoren: Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler stellen ihre Arbeiten so dar, dass diese eher von den anderen Mitgliedern der Gemeinschaft gutgeheißen werden (*Antizipation*). Gutachter neigen dagegen dazu, unrealistisch erscheinende Projekte abzulehnen (*Selektion*) und Vorschläge für deren Veränderung einzubringen, welche zur *Modifizierung* der Projekte führen (ebd., 154f).

Ist eine neue Arbeit durch den Prozess des Peer Review begutachtet und als mit den Regeln und Normen der Scientific Community vereinbar beurteilt worden, kann sie durch ihre Publikation von anderen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler als Ressource für deren eigene Forschung verwendet werden. Je häufiger dies geschieht, genauer gesagt, je mehr Zitationen die Arbeit erhält, desto mehr integriert sie sich in den kollektiven Wissensbestand. Somit wird die Verwendung von Wissen zugleich zu dessen wichtigster Qualitätskontrolle, da es sich immer wieder in unterschiedlichen Kontexten bewähren muss. Dabei können Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler Reputation erwerben, wie bereits im Modell des *credibility circle* im vorherigen Kapitel veranschaulicht wurde. Dementsprechend kann der Erwerb von Ansehen zu einer Beschleunigung von Erkenntnisprozessen führen (ebd.).

Wie umfangreich eine Scientific Community ist, kann nicht allgemein veranschaulicht werden, da dies stark von der Fachrichtung abhängt. Während sie in manchen, hochspezialisierten Bereichen nur eine zweistellige Zahl an Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern umfasst, können es in anderen Gebieten auch mehrere Tausend sein. Ein Beispiel für den zweiten Fall ist die

²⁶ Dies kann auch dazu führen, dass Wissenschaftler gleichzeitig aber unabhängig voneinander zu denselben Ergebnissen kommen. Ein Beispiel dafür wäre die Entwicklung des Periodensystems durch Mendelejew und Meyer 1869.

Hochenergiephysik an Großforschungsanlagen, wie dem CERN in der Schweiz. Dabei sollte bedacht werden, dass in diesem Fall eine kollektive Erarbeitung der Beiträge stattfindet. Publikationen in den Naturwissenschaften weisen daher öfters eine besonders lange Liste der Autorenschaft auf²⁷. Dies resultiert aus dem aktuellen Trend zur Bildung von Kooperationsnetzwerken von Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern, da die von ihnen bearbeiteten Problemstellungen nur kollektiv und nicht von einem Individuum allein gelöst werden können. Dieser Aspekt wird in der Beschreibung von Scientific Communities jedoch meist ebenso ausgeblendet, wie nationale Besonderheiten in der Wissenschaftslandschaft. Eine Untersuchung des letztgenannten Aspekts hat zum Beispiel ergeben, dass amerikanische Hochenergiephysiker wesentlich kompetitiver eingestellt sind als ihre europäischen oder japanischen Kolleginnen und Kollegen (ebd., S. 161). Dementsprechend muss berücksichtigt werden, welche Rahmenbedingungen für das Modell der Scientific Community gelten und wo es dadurch an Gültigkeit einbüßen kann.

3.3.3 Fachdidaktische Relevanz

Die gesellschaftliche Ebene von Nature of Science ist für den naturwissenschaftlichen Unterricht von besonderer Bedeutung. Aus der heutigen Wissenschaftsgesellschaft ist der Einfluss von naturwissenschaftlichen Erkenntnissen und deren technischen Anwendungsmöglichkeiten nicht mehr wegzudenken. Abseits von täglichen Gebrauchsgegenständen, die ohne naturwissenschaftliches Wissen nicht möglich wären, hat diese auch einen entscheidenden Einfluss auf das Weltbild, die medizinische Versorgung und vieles mehr. Ein Physikunterricht, der Nature of Science miteinbezieht, sollte diese Themen ansprechen, indem er neben den fachlichen Inhalten auch wichtige gesellschaftliche Fragen miteinfließen lässt. Ebenso ist die Rolle von Politik und Wirtschaft zu thematisieren, wenn es darum geht, wie Forschung gefördert wird und warum bestimmten Bereichen besondere Aufmerksamkeit zukommt. Nicht zuletzt spielen auch die Medien eine zentrale Rolle, da sie neben dem Schulunterricht ein weiterer wichtiger Informationskanal für die Schülerinnen und Schüler sind. Wie Forschung medial dargestellt wird, hat einen entscheidenden Einfluss auf das Bild, das Kinder (ebenso wie Erwachsene) von Naturwissenschaften erhalten.

Die soziologische Ebene bietet zudem einen großen Überschneidungsbereich mit der Wissenschaftsgeschichte, da Wissenschaft als gesellschaftlicher Teilbereich auch über eine entsprechende Geschichte verfügt. Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler mussten sich immer

²⁷ Das Paper, welche den experimentellen Nachweis des Higgs – Bosons darstellte, hatte zum Beispiel 5154 Autorinnen und Autoren, was einen Rekord darstellt (Castellvecchi, 2015).

um finanzielle Förderung bemühen und waren somit in enger Verbindung mit weltlichen - aber lange Zeit auch geistlichen - Machthabern. Darüber hinaus waren sie von kulturellen und oft auch religiösen Einflüssen geprägt (Höttecke, 2001, S. 198).

Um die Rolle der Scientific Community herauszuarbeiten, sind Diskussionen besonders geeignet. Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler sind andauernd mit Ideen der anderen Mitglieder ihrer Fachgemeinschaft konfrontiert. Die Einigung auf allgemein anerkannte Standards kann daher nur diskursiv erfolgen. Dieser Aspekt sollte auch in Lernprozessen abgebildet werden (Hammerich, 1998, S. 127). Mögliche Ansatzpunkte bietet die Methode des *Card Exchange*²⁸ von Loving (1998) oder Diskussionen über aktuelle, gesellschaftlich relevante und in den Medien präsente, naturwissenschaftliche Themen. In der Physik sind beispielsweise Themengebiete wie Kernkraftwerke oder Kosten und Nutzen von Weltraummissionen, sowie von Grundlagenforschungsprojekten wie dem CERN, möglich. Derartige Problemstellungen können im Rahmen von Fallstudien, welche in abgewandelter Form auch bei historischen Themen angewandt werden, bearbeitet werden. Dabei versuchen die Schülerinnen und Schüler in Gruppen Lösungen für bestimmte, genau definierte Problemstellungen zu erhalten. Anhand verschiedener Bewertungskriterien werden Punkte vergeben, wobei mit vorformulierten *moralischen Regeln*²⁹ gearbeitet werden kann. Darüber hinaus können auch persönliche Werte einbezogen werden (Schlüter, 2004).

3.4 Wissenschaftspsychologie

In diesem Abschnitt sollte kurz - um die bereits angesprochenen vier Teilaspekte von Nature of Science zu vervollständigen - auf charakteristische Verhaltensnormen der Wissenschaft eingegangen werden. Aus einer psychologischen Sichtweise steht im Gegensatz zur Wissenschaftssoziologie die Analyse einzelner Personen und deren Handlungsweisen und -motivationen im Vordergrund. Dieser Aspekt ist im deutschen Sprachraum bis dato nur sehr wenig untersucht worden, im englischsprachigen Bereich finden sich dagegen eine Vielzahl an

²⁸ Diese Methode arbeitet mit Aussagen zu Nature of Science, welche auf Karten gedruckt, an die Schülerinnen und Schüler verteilt werden. Diese Aussagen sollten breit gefächert sein und sich zum Teil auch wiederholen. In einer ersten Phase können die Schülerinnen und Schüler dann untereinander Karten tauschen, um ein Set zu erhalten, das möglichst mit ihrer eigenen Meinung übereinstimmt. Im Weiteren sollten sich dann jene zusammenfinden, die möglichst viele gemeinsame Ansichten vertreten. Dabei wird die Anzahl der Karten im Spiel immer mehr reduziert, sodass am Ende Vierergruppen mit jeweils acht Karten übrigbleiben. Diese sollten dann schriftlich festhalten, warum sie diese Karten gewählt haben und warum andere aussortiert wurden. Abschließend kann über die Ergebnisse diskutiert werden (Loving, 1998, S. 76f).

²⁹ Rophol (1996, zitiert nach Schlüter, 2004, S. 227) formulierten sechs Grundregeln, welche ein unverzichtbares Minimum an Lebensqualität garantieren sollen. Diese sind Leben, Gesundheit, Gerechtigkeit, Freiheit, Wahrheit und Solidarität.

Publikationen zu *Psychology of Science*. Dieser Bereich weist Fragestellungen auf, die für Nature of Science von Interesse sein können. Vordergründig stellt sich die Frage, inwiefern sich wissenschaftliches Handeln überhaupt von alltäglichem Handeln unterscheidet. Damit in Zusammenhang ist auch zu klären, inwieweit am Ideal einer objektiven und streng rational orientierten Wissenschaft festgehalten werden kann. Psychologische Erklärungsmodelle könnten hier eine Beschreibung liefern, die sich näher an der praktizierten Vorgehensweise als am utopischen Ideal orientiert (Stangl, 1989).

3.4.1 Psychologie des Wissenschaftlers

Wie bereits im Abschnitt zur Wissenschaftsgeschichte beschrieben, hat Kuhn eine Orientierung von Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern an bestimmten Paradigmata festgestellt. Das Paradigma einer Fachdisziplin gibt demnach vor, welche impliziten Anforderungen an die in diesem Bereich arbeitenden Personen gestellt werden. Die Mitglieder der Scientific Community hinterfragen diese unbewusst kommunizierten Regeln im Normalfall nicht weiter, sondern richten ihr Handeln danach aus (Kuhn, 1996). Für wissenschaftliches Handeln unterscheidet Ulich (1980, S. 553, zitiert nach Stangl, 1989) vier *Rationalitätskriterien*:

1. *„Voraussetzungsexplikation*: Jeder Wissenschaftler muß [sic] die normativen, methodologischen und theoretischen Voraussetzungen offenlegen, die in seiner Fragestellung und Vorgehensweisen eingehen. Dies bezieht sich auch auf eine mögliche Identifikation mit bestimmten Interessensgruppen, Weltanschauungen und Problemlösungen.
2. *Öffentlichkeit*: Jeder Wissenschaftler muß auf die Kommunizierbarkeit und Kritisierbarkeit seiner Aussagen achten. Er muß die Institutionalisierung seiner Tätigkeit bedenken und deren Folgen berücksichtigen. Aus dem Prinzip der ‚Öffentlichkeit‘ kann ein Prinzip des ‚Minderheitenschutzes‘ abgeleitet werden, das z.B. die Unterdrückung von Lehrmeinungen verhindert, die auf Grund bestimmter wissenschaftsexterner Machtkonstellationen und Interessen gerade nicht durchsetzungsfähig sind.
3. *Wahrheitsgehalt der Aussagen*: Jeder Wissenschaftler muß angeben können, wie er den Erkenntnisgehalt seiner Aussagen sichern, überprüfen und verteidigen kann, wie der Wirklichkeitsbezug hergestellt wird, wann er einen Sachverhalt z.B. ‚erklärt‘ ansieht, welche Kriterien von ‚Gewißheit‘ [sic] er anwendet bzw. gelten läßt.
4. *Reflexivität und Verantwortbarkeit*: Jeder Wissenschaftler muß sich während des gesamten Forschungsprozesses auf seine ursprünglichen Ziele rückbeziehen und seine einzelnen Entscheidungen unter Berücksichtigung der Ziele legitimieren können. Er muß sich seiner eigenen Interessen und Wertbezogenheit bewußt sein und die Verantwortung für die Konsequenzen tragen können; wenn er dies nicht kann, muß er seine Ziele revidieren.“

Diese Kriterien sind größtenteils im Einklang mit den bereits angeführten Idealen der Wissenschaft nach Tetens (2013). Es muss jedoch hinzugefügt werden, dass hinsichtlich dieser Kriterien keine übergeordnete Instanz existiert, welche deren Einhaltung bewerten würde. Die Scientific Community gibt zwar einen gewissen Handlungsrahmen vor, aber die kollektive Organisationform der Wissenschaft macht eine Kontrolle unmöglich. Ein derartiger Regelkatalog erweist sich daher als utopische Vorstellung. Zudem bringt sie die Problematik mit sich, von den Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern eine Art „innere Zweiteilung“ zu verlangen. Während sie im Alltagshandeln stark von subjektiven Faktoren geprägt sind, müssten diese im wissenschaftlichen Tun vollständig abgelegt werden, um dem Objektivitätsanspruch gerecht zu werden (Stangl, 1989).

Es scheint daher ratsamer, die tatsächliche wissenschaftliche Praxis als Referenz heranzuziehen, anstatt idealtypische formale Modelle aufzustellen. Derartig betrachtet, unterscheidet sich wissenschaftliches Handeln und Argumentieren nur in gewissen Bereichen vom alltäglichen. Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler argumentieren häufig in ähnlicher Art und Weise wie nicht in der Wissenschaft tätige Personen. Beide Gruppen beziehen sich auf Hintergrundinformationen, wenn sie Urteile fällen oder verwenden Erklärungsmodelle, wenn sie die Beweishaftigkeit von Information beurteilen sollen. Jedoch haben Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler in der Regel ein viel größeres fachliches und methodisches Wissen, um die von ihnen herangezogenen Informationen zu hinterfragen und kritisch zu beurteilen. Dieser Wissensvorsprung ermöglicht es ihnen, wesentlich besser und schneller mit neuen Konzepten zurecht zu kommen.

Beiden Gruppen gemein ist jedoch, dass sie eine Erklärung nicht sofort wieder verwerfen, wenn neue Informationen gegen sie sprechen, sondern erst deren methodologische Güte untersuchen, sowie mögliche Fehler ausfindig machen. Zudem sind beide in einen sozialen Kontext integriert, der ihr Handeln mitbestimmt und verfügen über subjektive, teils irrationale Vorstellungen und Beweggründe (Koslowski, 2013, S. 184f). Als subjektive Faktoren können einerseits das persönliche Interesse und die daraus folgende Wahl des Forschungsgebiets, aber auch Faktoren wie persönliche Reputation oder finanzieller Erfolg angeführt werden. Dies kann in Kombination mit starkem Leistungsdruck auch Manipulation von Daten zur Folge haben, um ein bestimmtes Ergebnis abliefern zu können. Da diesem Aspekt des Wissenschaftsbetriebs eine gewisse Tabuisierung anhaftet, können nur Vermutungen über das tatsächliche Ausmaß von manipulierten Arbeiten angestellt werden. Soziologen gehen jedoch von bis zu einem Viertel der gesamten Publikationen aus. Daraus lässt sich folgern, dass die Integrität von Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern sich nicht vom Durchschnitt unterscheidet (Stangl, 1989).

3.4.2 Fachdidaktische Relevanz

Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler handeln oftmals subjektiv, wobei sich ihre Argumentationsweisen nur teilweise von anderen Personengruppen unterscheiden. Dies hat entscheidenden Einfluss darauf, wie Wissen produziert wird. Jedoch ist die weit verbreitete Vorstellung, wie sich im Laufe der Arbeit noch genauer zeigen wird, eine andere. Wissenschaftlichem Handeln wird im Allgemeinen eine besondere Objektivität zugeschrieben (Höttecke, 2004). Aus fachdidaktischer Perspektive kann ein Einblick in Handlungsweisen von Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern daher als notwendig erachtet werden, sollten die Schülerinnen und Schüler ein adäquates Verständnis des Wissenschaftsbetriebs entwickeln. Dabei ist eine explizite Vorgehensweise unbedingt notwendig (Lederman & Abd-El-Khalick, 1998).

Lederman und Abd-El-Khalick (1998) haben dazu Methoden entwickelt, welche die subjektiven Faktoren und die Unsicherheit bei der Beobachtung von Phänomenen und Interpretation von Daten gezielt ansprechen. Schülerinnen und Schüler sollten beispielsweise Bilder von Fußspuren interpretieren und daraus Rückschlüsse ziehen, welches Ereignis hier stattgefunden hat. Einen ähnlichen Effekt bringt die Beobachtung eines Bildes durch einen löchrigen Karton. Es geht darum, zu erkennen, dass Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler immer auf Interpretation angewiesen sind, da sich die allermeisten Phänomene nicht direkt beobachten lassen. Dabei kommt subjektiven Faktoren, wie Kreativität und Vorstellungskraft eine entscheidende Rolle zu, auch wenn empirische Daten zugrunde liegen. Des Weiteren können Bilder aus der Gestaltpsychologie eingesetzt werden, um die Problematik der subjektiven Sinneswahrnehmung zu verdeutlichen. Für die Physik besonders von Interesse ist darüber hinaus die Analyse einer sogenannten *black box*³⁰. Dabei wird besonders die Problematik der Beobachtbarkeit bei physikalischen Experimenten deutlich. Schülerinnen und Schüler können sich, ähnlich wie im Forschungsprozess, mit Beobachtung, Datenerhebung, Hypothesenbildung und -überprüfung befassen und dabei Erkenntnisse über die Natur der Naturwissenschaften gewinnen (ebd.).

Besonders wichtig ist es jedoch, am Ende der jeweiligen Aktivität explizit zu verdeutlichen, welchen Aspekt von Nature of Science man damit ansprechen wollte. Die Schülerinnen und Schüler sollten erkennen können, welche Bedeutung dieser für die Wissenschaft hat und darüber diskutieren, ob und wie ihre eigenen Vorstellungen dadurch beeinflusst wurden (ebd.).

³⁰ Darunter versteht man ein System, bei dem nur Input und Output, jedoch nicht die inneren Vorgänge im System beobachtet werden können. Ein bestimmter Reiz erzeugt eine bestimmte Reaktion, von der aber nicht bekannt ist wie sie zustande kommt. Dieses Modell wurde im Rahmen behavioristischer Theorien in die Psychologie eingeführt, um die nicht beobachtbaren kognitiven Prozesse des Menschen zu modellieren (Künkler, 2011). Es kann aber auch auf die Physik angewendet werden, da sich hier viele Prozesse ebenfalls der direkten Beobachtung entziehen. So können beispielsweise die Abläufe in einem Teilchenbeschleuniger auch als *black box* interpretiert werden.

4 Nature of Science in der Schule

Nachdem das Thema Nature of Science aus fachwissenschaftlicher und didaktischer Sichtweise grob umrissen wurde, kann nun der Fokus auf die konkrete Bedeutung für die Schule gelegt werden. Zuerst ist zu begründen, warum das Thema überhaupt für den Schulunterricht bedeutsam ist. Dabei sollte auch auf Lehrpläne eingegangen werden, wobei hier jener der AHS für das Fach Physik exemplarisch herangezogen wird. Ebenso sollte auf die Thematisierung der Natur der Naturwissenschaften in Physik-Lehrbüchern eingegangen werden. Im Anschluss werden konkrete Methoden für eine Implementierung von Nature of Science im naturwissenschaftlichen Unterricht dargestellt. Abschließend widmet sich dieses Kapitel den Präkonzepten zu Nature of Science im schulischen Kontext. Dabei werden sowohl Schülerinnen und Schüler als auch Lehrkräfte berücksichtigt.

4.1 Nature of Science als Teil der Schulbildung

Naturwissenschaften - im Besonderen Physik und Chemie - zählen zu den unbeliebtesten Unterrichtsfächern. Das ist ambivalent, da diese Wissenschaften an sich von vielen Schülerinnen und Schülern als interessant empfunden werden. (Osborne et al., 2003, S. 1056). Der Unterricht scheint sich demnach nicht positiv auf die Einstellungen der Schülerinnen und Schüler zu den Naturwissenschaften auszuwirken - sondern im Gegenteil - diese eher ins Negative zu wenden. Manche Autoren (z.B. Höttecke, 2001) führen diese Tatsache auf eine rationale Rekonstruktion der Wissensbestände zurück, welche eine Organisation innerhalb einer spezifischen Fachsystematik ergibt. In der Physik sind Fachgebiete wie Mechanik, Optik oder Thermodynamik zu nennen, welche kumulativ alles an (formalisiertem) Wissen beinhalten, das diesem Bereich zugeordnet wird. Diese Art der Darstellung entbehrt jedoch jeglichen Entstehungskontextes des Wissens und somit auch jeglicher menschlichen Qualität der Wissenschaft.

Wie bereits erwähnt, ist eines der zentralen Anliegen von Nature of Science, Naturwissenschaften als menschliche Tätigkeit darzustellen. Kulturelle, soziale, subjektive und historische Aspekte können dazu beitragen, dass die Physik nicht mehr als „erhabener, unzweifelhafter Wissensbestand, dessen Entstehung im Dunkeln bleibt und gegen den man sich ständig dumm und minderwertig fühlt“ (Höttecke, 2001, S. 72), aufgefasst wird. Stattdessen sollte

die soziale Konstruktion des Wissens klar und die Naturwissenschaften dadurch als integraler und bedeutender Bestandteil der Kultur wahrgenommen werden.

Für den konkreten Nutzen dieser Art der Unterrichtsgestaltung, lassen sich auf verschiedenen Ebenen Argumente finden. Driver, Leach, Millar & Scott (1996, S. 16ff [Übersetzung des Verfassers]) führen folgende an:

- *Nützlichkeitsargument*: Ein Verständnis von NOS ist eine notwendige Voraussetzung für das Verständnis von Naturwissenschaft, sowie die Handhabung technischer Prozesse im Alltag.
- *demokratisches Argument*: Ein Verständnis von NOS ist notwendig, um gesellschaftlich-naturwissenschaftliche Problemstellungen zu verstehen, sowie Teilhabe am Entscheidungsprozessen zu ermöglichen.
- *kulturelles Argument*: Ein Verständnis von NOS ist notwendig, um Naturwissenschaft als wichtiges Element der gegenwärtigen Kultur wertschätzen zu können.
- *moralisches Argument*: Über NOS zu lernen kann ein Bewusstsein für die Normen der *Scientific Community* schaffen, welche als moralische Selbstverpflichtung ihrer Mitglieder von allgemeiner Bedeutung sind.
- *lernpsychologisches Argument*: Ein Verständnis von NOS kann erfolgreiches Lernen von naturwissenschaftlichen Inhalten ermöglichen.

Dem lässt sich hinzufügen, dass Wissen über Nature of Science einen wichtigen Beitrag zur naturwissenschaftlichen Allgemeinbildung (*Scientific Literacy*³¹) leistet. Gräber (1999) führt dazu an, dass dies im deutschen Sprachraum jedoch noch wenig beachtet wird, da hier Allgemeinbildung - nach der Humboldt'schen Bildungstradition - vorwiegend von den Geisteswissenschaften geprägt ist. Naturwissenschaftliches Wissen wird nur in seltenen Fällen zur Allgemeinbildung gezählt (ebd., S. 2), auch wenn es in der Vergangenheit immer wieder Fürsprecher der humanistischen Bedeutung von Naturwissenschaften gab.³²

Von pädagogischer Seite ließe sich noch anführen, dass ein Unterricht über Nature of Science die Thematisierung von *epochaltypischen Schlüsselproblemen* (Klafki, 1996, zitiert nach Kircher & Dittmer, 2004, S. 3) erst ermöglicht. Deren Lösung kann nur durch ein Zusammenspiel von Naturwissenschaft, Technik und Gesellschaft erreicht werden. Es sollte gezeigt werden, welchen Einfluss zeitspezifische Lebensstile auf den Menschen und die Umwelt haben. Dabei ist ebenso der historische Kontext von Bedeutung, da die Sichtweise, die Menschen auf Naturwissenschaft und Technik haben, einem stetigen Wandel unterworfen ist (ebd.).

³¹ Der Begriff etablierte sich im Rahmen der Reformen des naturwissenschaftlichen Unterrichts in den neunzehnjährigen Jahren. Prägend dafür ist ein Wandel vom fachsystematischen Unterricht hin zu einer stärkeren Kontextualisierung der Inhalte anhand alltäglicher und aktuell gesellschaftlich relevanter Problemstellungen. Aktuelle Definitionen von *Scientific Literacy* finden sich bei Bybee (2012, S. 96) oder der OECD (2013, S. 7).

³² In diesem Zusammenhang ist vor allem Wagenschein hervorzuheben, welcher den humanistischen Wert naturwissenschaftlichen Unterrichts dadurch verwirklicht sah, dass man durch eine intensive Beschäftigung mit einem Fach von selbst über dessen Grenzen hinaus zu denken beginnen würde. Demnach sollte Physikunterricht vor allem exemplarisch in die Tiefe gehen und Phänomene erlebbar machen (Kircher, 1995, S. 18f)).

4.1.1 Lehrplan und Bildungsstandards

Warum ein bestimmter Inhalt unterrichtet werden sollte, wird in den meisten Fällen durch den Lehrplan bestimmt, welcher in einem groben Rahmen Vorgaben zu den Lehrinhalten enthält. Es ist daher sicher entscheidend zu untersuchen, inwiefern das Thema Nature of Science im Physiklehrplan verankert ist. Als Beispiel wird dabei der österreichische Lehrplan für die AHS herangezogen.

Der österreichische Physik-Lehrplan gliedert sich in drei Bereiche: Bildungs- und Lehraufgabe, Didaktische Grundsätze sowie Lehrstoff, wobei letzterer in der Regel unterrichtsleitend ist. Dies ist in Bezug auf Nature of Science insofern problematisch, da dieses Thema, wenn auch nur implizit, vorwiegend im ersten Teil des Lehrplans enthalten ist. In der Unterstufe steht dabei das Modelldenken im Vordergrund. Der Unterricht sollte „den Schülerinnen und Schülern das Modelldenken der Physik (Realwelt-Modell-Modelleigenschaften-Realwelt)“ (Österreichischer Lehrplan Physik AHS – Unterstufe, S. 1) vermitteln und diese befähigen, selbst Modellvorstellungen zu entwickeln. Es sollte, in Verbindung mit den Aufgabenbereichen der Schule, auch ein „Zusammenhang zwischen Modellbildung und Weltanschauung“ (ebd.) dargestellt werden. Zudem ist die „Orientierung in der Umwelt“ (ebd.) von Bedeutung, welche unter anderem durch ein Bewusstmachen der kulturellen Bedeutung von Physik erfolgt.

Ein besonderer Wert wird auf die „Beiträge österreichischer Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler, Forscherinnen und Forscher, Technikerinnen und Techniker sowie Erfinderinnen und Erfinder“ (ebd.) gelegt. Warum den physikalischen Beiträgen aus dem Inland mehr Aufmerksamkeit beigemessen werden sollte als jenen aus dem Ausland, wird jedoch ebenso wenig erläutert wie, was mit „Österreich“³³ in diesem Zusammenhang überhaupt gemeint ist. Man könnte an diesem Beispiel versuchen, eine speziell „österreichische“ Forschungs- und Naturwissenschaftskultur abzuleiten (sofern es diese gegeben hat). In Anbetracht der internationalen Zusammenarbeit in der Forschung und der politischen und wirtschaftlichen Verflechtungen mit anderen Ländern in der EU, ist aber ein internationaler Fokus sicherlich zeitgemäß.

Für die Unterstufe existieren neben dem Lehrplan zudem noch Bildungsstandards in Form eines Kompetenzmodells für die Naturwissenschaften. Darin sind für die Fächer Biologie, Physik und

³³ Da es sich bei den im Unterricht vermittelten Inhalten zum großen Teil um die Physik des 16. bis 19. Jahrhunderts handelt, ist diese Frage durchaus berechtigt. Zieht man die heute gültigen Grenzen heran, so wären zum Beispiel Ernst Mach (geboren in Brünn) oder Josef Loschmidt (geboren in Počerny) eigentlich als tschechische Physiker zu bezeichnen. Geht man wiederum von den damals gültigen Grenzen aus, so waren diese Gebiete sehr wohl Teil des Kaisertums Österreich, jedoch dafür andere Teile wiederum nicht. Beispielsweise wurde Christian Doppler 1803 im Kurfürstentum Salzburg geboren, welches aber nicht Teil des Kaisertums Österreich war. Heute werden alle drei Physiker als „österreichisch“ bezeichnet. Gelegentlich versucht man auch anhand von Wirkungsstätten nationale Bezüge herzustellen, so zum Beispiel bei dem auf dem Gebiet des heutigen Baden – Württemberg geborenen Johannes Kepler, in Linz und Graz.

Chemie die wichtigsten Kompetenzen, die nach dem Abschluss der Sekundarstufe I beherrscht werden sollten, vorgegeben. Deren Anordnung erfolgt in einer Art dreidimensionalem Koordinatensystem, welches die fachlichen Inhalte mit den damit verbundenen Handlungskompetenzen und dem Anforderungsniveau in Beziehung setzt. Nature of Science wird in diesem Dokument kein einziges Mal explizit erwähnt. Jedoch kann vor allem in der Handlungsdimension „Erkenntnisse gewinnen: Fragen, Untersuchen, Interpretieren“ (bifie, 2011, S. 2) ein Bezug zu *Scientific Inquiry* (siehe Abschnitt 4.2) hergestellt werden. Zudem wird in der Handlungsdimension „Schlüsse ziehen: Bewerten, Entscheiden, Handeln“ (ebd.) die Bedeutung „der Anwendung von naturwissenschaftlichen Erkenntnissen [...] für die Gesellschaft“ betont.

Im Lehrplan der Oberstufe wird deutlicher und verstärkt auf Aspekte hinsichtlich Nature of Science eingegangen. Schülerinnen und Schüler sollen „Einblicke in die Vorläufigkeit von naturwissenschaftlichen Erkenntnissen erhalten und die Bedeutung neuer Sichtweisen bei anstehenden Problemen (Paradigmenwechsel³⁴) sowie die Physik als schöpferische Leistung der Menschheit und somit als Kulturgut erkennen“ (Österreichischer Lehrplan Physik AHS – Oberstufe, S. 1). Im Rahmen des Bildungsbereichs Kreativität und Gestaltung wird außerdem die Bedeutung von „Hypothesenbildung und Problemlösen als kreative Prozesse“ (ebd., S. 2) hervorgehoben.

Es zeigt sich, dass die Thematisierung von Nature of Science sowohl in der Unter- als auch in der Oberstufe durchaus durch den Lehrplan legitimiert ist. Durch seine insgesamt eher offene und allgemeine Formulierung lässt der österreichische Lehrplan aber prinzipiell sehr viel an Interpretationsspielraum zu.

Es stellt sich daher weniger die Frage, ob der Lehrplan grundsätzlich eine Thematisierung von NOS im Physikunterricht zulässt, sondern inwiefern er diese auch fördert. Faktisch findet sich keine explizite Nennung von Nature of Science oder den in diesem Kontext bedeutungsvollen Themen, wie Wissenschaftsgeschichte oder Wissenschaftstheorie. Es muss jedoch festgehalten werden, dass dies im internationalen Vergleich der Regel entspricht. Lehrpläne stellen jedoch, wie schon eingangs erwähnt, ein entscheidendes Element dar, um die Unterrichtspraxis in größerem Rahmen zu moderieren. In dieser Rolle sollten sie Lehrkräfte unterstützen und konkrete Ideen für den Unterricht - inklusive möglicher Methoden und Medien - geben. Offene oder implizite Formulierungen führen allerdings dazu, dass bestimmte Themen einfach ignoriert werden. Eine explizite Nennung von Zielen und Methoden, mit denen diese erreicht werden können, wäre daher unabdingbar, um das tatsächliche Unterrichtsgeschehen auch wirklich beeinflussen zu können (Höttecke & Silva, 2011, S. 307).

³⁴ Hier wird direkt auf den von T. S. Kuhn (*Die Natur wissenschaftlicher Revolutionen*) verwendeten Begriff der *Paradigmata* Bezug genommen.

4.1.2 Naturwissenschaftlicher Unterricht

Die Vermittlung von Nature of Science im Unterricht ist vielschichtig und komplex. Wie Naturwissenschaft „funktioniert“ ist kein einfach darzustellender „Effekt“, sondern stellt eine Herausforderung für den Unterricht dar. Ein Versuch, die Komplexität naturwissenschaftlicher Methodik zu definieren, wurde mit dem Begriff *Scientific Inquiry* unternommen. Gemäß der Definition des *National Research Council* ist darunter Folgendes zu verstehen:

„Inquiry is a multifaceted activity that involves making observations; posing questions; examining books and other sources of information to see what is already known; planning investigations; reviewing what is already known in light of experimental evidence; using tools to gather, analyze, and interpret data; proposing answers, explanations, and predictions; and communicating the results” (NRC, 1996, S. 23).

Didaktisch wurde daraus gefolgert, dass Schülerinnen und Schüler durch entsprechende Handlungen, welche die Arbeitsweise der Naturwissenschaft nachahmen, zu Einsichten über deren Natur kommen. Man spricht in diesem Zusammenhang von forschendem Lernen (*inquiry based learning*). Im Unterricht manifestiert sich das durch schülerzentrierte Projekte, welche die Lernenden aktiv am Forschungsprozess und der Wissenskonstruktion teilhaben lassen, verbunden mit direkter Instruktion durch die Lehrkraft. Die Lernprozesse sind durch einen „hohen Grad an Handlungsorientierung, Eigenverantwortung und Selbstbestimmung“ sowie durch ein „offenes Verhältnis zwischen den Lernenden und dem zu Lernenden“ (Höttecke, 2010, S. 5) charakterisiert. Das selbstständige Handeln im Kontext der spezifischen Lernumgebung ist dabei - gemäß der Theorie der *situierten Kognition*³⁵ - die Basis des Wissenserwerbs. Im Zuge dieser Erkenntnisse wurde auf den konstruktivistischen *Cognitive Apprenticeship*³⁶ – Ansatz als geeignete Methode zurückgegriffen. Dabei geht es, nach dem Vorbild der auf Praxiswissen spezialisierten Handwerkslehre, speziell um anwendungsorientierte Vermittlungsprinzipien. Der Experte - im Regelfall die Lehrkraft, es kann sich aber auch um Mitschüler handeln - artikuliert dabei zu Beginn modellhaft sein Vorgehen anhand eines authentischen Problems. Durch Verbalisierung der kognitiven Prozesse wird es den Lernenden möglich, Lösungsstrategien nachzuvollziehen. Im

³⁵ Diese, von Clancey und Greeno entwickelte, konstruktivistische Lerntheorie versucht, den Erwerb von Wissen mit neurologischen und kognitionspsychologischen Methoden zu beschreiben. Der Fokus liegt dabei auf dem Prozess der Bedeutungszuweisung externer Repräsentationen. Denken, Wissen und Handeln im Physikunterricht ist in physikalischen und sozialen Kontexten *situiert* und die einzelnen Lernenden sind in die spezifische Situation der Lernumgebung eingebettet. Innerhalb dieses Rahmens kann - unter Einflussnahme persönlicher und sozialer Epistemologien - Wissenserwerb stattfinden (Gerstenmaier & Mandl, 1995, S. 872f).

³⁶ Dieser Ansatz aus der Instruktionspsychologie wurde erstmalig 1989 von Collins, Brown und Newman vorgestellt. Die Autoren stützten sich dabei auf drei Studien, welche erfolgreich mathematisches oder sprachliches Verständnis durch trainingsähnliche Methodik vermittelt hatten (u.a. Bereiter & Scardamalia, 1985; Palinscar & Brown, 1984; Schoenfeld, 1985; alle zitiert nach Gerstenmaier & Mandl, 1995, S. 878).

Anschluss daran sollten die Lernenden selbst eine Problemstellung bearbeiten und dabei ihre Überlegungen artikulieren, um sie wechselseitig und mit jenen des Experten vergleichen zu können (Gerstenmaier & Mandl, 1995, S. 877). Man bezeichnet diesen Vorgang auch als *Modeling*. Ist der Instruktionsrahmen etwas weiter gesetzt, wodurch den Lernenden mehr eigener Gestaltungsspielraum bleibt, so nennt man dies *Scaffolding*. Die Lernenden erhalten ein Gerüst (*scaffold*), welches sie selbst gestalten können. Ähnlich funktioniert das *Coaching*, wobei die Lehrkraft Übungseinheiten zusammenstellt und konkrete Tipps zur Überwindung von Problemen gibt (Höttecke, 2010, S. 11). Es zeigt sich demnach, dass die Kommunikationsstruktur zwischen Lehrenden und Lernenden wesentlich kooperativer wird. Lehrende geben einen Teil ihrer Wissenshoheit ab und setzen dafür gezielt Strukturierungstechniken ein. Lernende erhalten mehr Mitgestaltungsmöglichkeiten, sind dafür aber auch gefordert, ihre Lernprozesse selbst verstärkt in die Hand zu nehmen.

Erste Versuche, Unterricht mit einem auf den Forschungsprozess gerichteten Fokus zu versehen, gab es in den Vereinigten Staaten bereits in den neunzehnsechziger Jahren, allerdings waren diese wenig erfolgreich³⁷. Als Grund dafür sah man die Inkonsistenz dieser Programme hinsichtlich zeitgemäßer wissenschaftstheoretischer Vorstellungen sowie einen Mangel an diesbezüglichem Wissen und entsprechender Erfahrung unter den Lehrkräften an. Lehrerinnen und Lehrer sollten in der Lage sein, den Prozess der naturwissenschaftlichen Wissensproduktion nachzuvollziehen, um forschendes Lernen effektiv in den Unterricht über Nature of Science einbinden zu können. Empirische Untersuchungen haben jedoch gezeigt, dass diese Fähigkeit nur sehr eingeschränkt vorhanden war. Es wurde daher als notwendig erkannt, in die Ausbildung der Lehrkräfte verstärkt Einblicke in den Forschungsbetrieb sowie eine theoretische Thematisierung von Nature of Science zu integrieren (Schwartz et al., 2004).

Die soeben dargestellte Problematik offenbart, was Abd-El-Khalick in der Unterscheidung zwischen „lived and reflective perspectives“ (Abd-El-Khalick, 2012, S. 1050) zum Ausdruck bringt. Diese *aktive beziehungsweise gelebte*, sowie *reflektierte* Perspektive unterscheidet sich durch ihre Herangehensweise an Nature of Science mittels inquiry learning im Unterricht. Zur Handhabung der Begriffe gestaltet sich im Deutschen jedoch das Begriffspaar *expliziter und impliziter Zugang*, wie auch bei Schwartz et al. (2004) verwendet, als praktikabler. Vertreter der impliziten Perspektive sind der Ansicht, dass sich Nature of Science in der naturwissenschaftlichen Forschungspraxis, also dem Scientific-Inquiry-Element, manifestiert. Was NOS ist, wird dabei

³⁷ Diese Entwicklung war eine Folge des *Sputnikschocks* ab 1957, der den USA bewusst machte, dass die Sowjetunion in ihrer technologischen Entwicklung mindestens ebenbürtig war. Als Folge darauf begann man Lehrpläne zu entwickeln, welche die Ausbildung in Naturwissenschaft und Technik verbessern und somit den Nachwuchs in diesen Gebieten sichern sollten. Zu Beginn orientierte man sich dabei noch verstärkt an den Fachwissenschaften, erst ab den neunzehnsiebziger Jahren folgte ein Umschwung zu einer „Naturwissenschaft für alle“. Daraus resultierend entstand die, von Norris Harms und John Ziman gestartete, internationale *Science-Technology-Society*-Bewegung (STS), welche den Fokus vor allem auf Kontextorientierung legte (Gräber, 1999, S. 4).

nicht direkt angesprochen, sondern sollte sich - in logischer Konsequenz *implizit* - aus dem forschenden Lernen ergeben. Demgegenüber sieht der explizite Zugang zusätzlich Phasen vor, in denen Reflexion über die Natur der Naturwissenschaften stattfindet. Abd-El-Khalick (2012, S. 1056) spricht deshalb auch vom einem *explizit-reflexiven* Zugang zu Nature of Science im Unterricht. Die Vorstellung der Lernenden zum Ablauf naturwissenschaftlicher Wissensproduktion werden dabei - im Rahmen von Diskussion oder Instruktion über historische oder aktuelle Entwicklungen der Naturwissenschaft - *explizit* angesprochen (Schwartz et al., 2004). Die zur Reflexion anregenden Fragen sollten in die sonstigen Lernaktivitäten eingebettet werden und gewissermaßen in einer Metaebene auf diese Bezug nehmen. Dies kann sowohl mündlich als auch schriftlich passieren. Die empirische Forschung zeigt, dass diese Form - hinsichtlich des Unterrichtserfolgs gegenüber der impliziten Herangehensweise - zu bevorzugen ist (Abd-El-Khalik, 2012, S. 1053).

Neben der methodischen Herangehensweise stellt Nature of Science auch inhaltlich neue Anforderungen an den naturwissenschaftlichen Unterricht. Wie dies im Detail aussehen kann, wurde bereits in Hinblick auf die einzelnen Dimensionen der Natur der Naturwissenschaften besprochen. Darüber hinaus sind jedoch auch kulturelle Aspekte von Bedeutung. Sieht man Naturwissenschaft als kulturelle Tätigkeit unserer Gesellschaft an, so ergeben sich eine Reihe von Schlussfolgerungen und Fragen, die für die Fachdidaktik und insbesondere für einen Unterricht zu Nature of Science relevant sind. Hierbei geht es vor allem darum, ob Naturwissenschaften ein Spezifikum der „westlichen“ Kultur sind, oder ob es auch in anderen Regionen der Welt ähnliche Entwicklungen gegeben hat beziehungsweise immer noch gibt. Eine Diskussion über Pluralismus in den Naturwissenschaften ist, wie sich in einem späteren Abschnitt noch verstärkt zeigen wird, vor allem im historischen Kontext interessant (Höttecke, 2001). Heute muss jedoch von einer Hegemonie der westlichen Naturwissenschaften gesprochen werden, die im Zuge der Globalisierung längst international praktiziert wird (Abd-El-Khalick, 2012).

Trotzdem könnte die Thematik der Beziehung zwischen indigenem und naturwissenschaftlichem Wissen auch eine Bereicherung für den Unterricht darstellen. Als „indigen“ wird in diesem Zusammenhang jenes Wissen gesehen, welches der Kultur einer bestimmten Region entstammt. Derartige Elemente könnten im Unterricht die, für das Verstehen von naturwissenschaftlichen Inhalten nötige, Transferleistung erleichtern (ebd., S. 1044). Manche Autoren, wie zum Beispiel Aikenhead (2003) oder Ma (2012) treten daher dafür ein, den naturwissenschaftlichen Unterricht mit Elementen indigenen Wissens zu erweitern. Ma führte eine Untersuchung durch um herauszufinden, ob sich die Vorstellungen zu Nature of Science im chinesischen Kulturkreis von jenen der westlichen Gesellschaft unterscheiden. Sie schließt dabei an die Frage an, inwiefern eine Hegemonie der westlich geprägten Naturwissenschaft gegenüber

einer multikulturellen Naturwissenschaft begründet werden kann.³⁸ Ma spricht sich dafür aus, die Spannung zwischen Universalismus und Multikulturalität stärker zu thematisieren (Ma, 2012, S. 81). Im europäischen Raum scheint diese Fragestellung jedoch weniger bedeutend, da die „westliche“ Naturwissenschaft hier ihren Ausgang nahm. Die Bedeutung des kulturellen Kontextes der Schülerinnen und Schüler für den naturwissenschaftlichen Unterricht steht international aber durchaus im Interesse der fachdidaktischen Forschung³⁹.

4.1.3 Lehrbücher

Schulbücher sind sowohl für Schülerinnen und Schüler als auch für viele Lehrkräfte die primäre Quelle des Wissens (Höttecke & Silva, 2011). Dementsprechend kommt ihnen auch in Bezug auf Nature of Science im Unterricht eine bedeutende Rolle zu. Da viele Lehrkräfte selbst nicht besonders mit diesem Thema vertraut sind, verlassen sie sich umso mehr auf die vom Schulbuch dargebotene Aufarbeitung von Nature of Science. Fehlende oder falsche Darstellungen führen bei den Schülerinnen und Schülern zu verzerrten Vorstellungen (ebd.). Gemäß Abd-El-Khalick (2012) findet sich in naturwissenschaftlichen Lehrbüchern eine Fülle von explizit angegebenen und didaktisch vermittelten Unwahrheiten über Nature of Science. Alshamrani und McComas (2009) konnten dies in ihrer Studie, welche die Einbeziehung von Nature of Science in sieben High-School Physik-Lehrbüchern sowohl quantitativ als auch qualitativ untersuchte, nicht feststellen. Lediglich 2,3 Prozent aller Bezüge auf die Natur der Naturwissenschaften wurden inakkurat dargestellt, wobei sich in zwei der sieben Bücher gar keine inakkuraten Formulierungen finden. Jedes von den Autoren untersuchte Physikbuch enthielt zwischen fünf und elf Elemente zu Nature of Science, wobei bestimmte Teilbereiche, wie die Veränderlichkeit naturwissenschaftlichen Wissens oder die Unterscheidung zwischen Theorien und Gesetzen, besonders oft vorkamen.

Eine wesentlich umfangreichere, systematische Untersuchung zu Nature of Science in US-amerikanischen High-School-Lehrbüchern haben Abd-El-Khalick et al. (2016) unternommen. Dabei untersuchten sie insgesamt 34 Bücher, davon 16 aus Biologie und 18 aus Physik, hinsichtlich der unterschiedlichen Elemente von NOS. Es wurden vorrangig Buchreihen untersucht, die bereits

³⁸ Diese Diskussion wurde unter anderem von den, seit den neunzehnjährigen Jahren in den Geisteswissenschaften an Einfluss gewinnenden, *postcolonial studies* geprägt. Ziel dieser Forschungsbestrebungen ist es, die Bedeutung von Kolonialisierungs- und Entkolonialisierungsprozessen für die daran beteiligten Kulturen zu untersuchen. Im Zusammenhang mit *Science Technology Society* (STS) spricht man schließlich auch von *postcolonial science studies*, die sich der globalen Perspektive von Naturwissenschaft und Technik widmen (vgl. dazu z.B. Prasad, 2008).

³⁹ Zu diesem Thema befindet sich zurzeit die sehr umfassende, von Kenneth Tobin und Wolff-Michael Roth herausgegebene, Publikationsreihe *The World of Science Education* in Arbeit. Jeder der insgesamt sieben Bände widmet sich dabei der Forschung zu naturwissenschaftlichem Unterricht in einer bestimmten Region. Bis jetzt erschienen sind Nordamerika, Asien, Australien und Neuseeland, Europa und Israel sowie die arabischen Staaten (Taber, 2012).

seit mehreren Jahrzehnten in vielen Auflagen publiziert werden. Die Analyse ergab, dass nur bei weniger als 2,5 Prozent der untersuchten Buchseiten, Themen - die mit Nature of Science in Bezug stehen - behandelt werden. Zudem konnte, trotz eingehenden Veränderungen in den US-amerikanischen Curricula, kaum Veränderungen innerhalb der letzten Jahrzehnte festgestellt werden. Auch zwischen den Disziplinen gab es keine signifikanten Unterschiede.

Höttecke und Silva (2011) argumentieren, dass historische oder wissenschaftstheoretische Inhalte in Lehrbüchern vor allem in getrennten Spalten präsentiert werden. Dagegen konnten Alshamrani und McComas (2009) in ihrer Untersuchung feststellen, dass circa 85 Prozent der Bezüge auf Nature of Science sich innerhalb des fortlaufenden Textes finden und daraus folgend nur 15 Prozent in Graphiken, Glossaren, praktischen Aufgaben oder eben in getrennten Boxen. Nichtsdestotrotz kann davon ausgegangen werden, dass historische Inhalte zum großen Teil auf biografische Anekdoten oder Jahreszahlen, ohne entsprechende Kontextualisierung, reduziert werden. Die daraus entstehenden „pseudo-historischen Narrative“ (Höttecke & Silva, 2011 [Übersetzung des Verfassers]) lassen bei Schülerinnen und Schülern das Bild entstehen, Naturwissenschaft bestehe aus unumstößlichen Wahrheiten, die von Genies erschaffen worden sind.

Zusammenfassend kann man festhalten, dass die Repräsentation von Nature of Science in Physik-Schulbüchern sowohl quantitativ als auch qualitativ nur als unzureichend bezeichnet werden kann. Jedoch existieren auch Ausnahmen, so zum Beispiel das Lehrbuch von Giancoli, welches akkurate implizite und explizite Darstellungen von Nature of Science enthält (Abd-El-Khalick et al., 2016; Alshamrani & McComas, 2009). Dieses Buch ist ebenso auf Deutsch erhältlich und somit auch in Bezug auf Österreich relevant. Für die hierzulande verwendeten Physik-Schulbücher wurde jedoch noch keine umfangreichere Untersuchung in Hinblick auf Nature of Science durchgeführt.

4.2 Vorstellungen zu NOS im schulischen Kontext

Will man Nature of Science erfolgreich im Schulunterricht etablieren, so gilt es, neben methodischer Herangehensweisen auch die Präkonzepte der Schülerinnen und Schüler (Schülervorstellungen) zu berücksichtigen. Gemäß der Kategorisierung nach Wiesner, Schecker und Hopf (2015) lassen sich Präkonzepte zu Nature of Science am ehesten den *lehrbedingten Lernschwierigkeiten* zuordnen. Wie im vorigen Abschnitt erwähnt, findet sich vor allem in Schulbüchern eine Fülle von explizit angegebenen und didaktisch vermittelten Unwahrheiten über Nature of Science (Abd-El-Khalick, 2012). Derlei fachliche Fehler können, ebenso wie ein mangelhaftes Betonen der Schlüsselideen über die Natur der Naturwissenschaften, zu unsachgemäßen Vorstellungen bei Schülerinnen und Schülern führen (Wiesner, Schecker & Hopf,

2015). Im Gegensatz zu physikalischen Fachthemen handelt es sich hier jedoch nicht um „aus der Sicht des Physikexperten unproblematische Vereinfachungen oder Selbstverständlichkeiten“ (ebd., S. 36), die von der Lehrkraft übergangen werden. Wie Höttecke (2001) aufzeigt, haben Lehrkräfte oft selbst erhebliche Wissensdefizite in Bezug auf Nature of Science. Demgemäß lässt sich ein tendenzieller Zusammenhang zwischen den Präkonzepten von Lehrkräften und denen von Schülerinnen und Schülern vermuten. Dies sollte am Ende des Abschnitts noch genauer thematisiert werden. Zuvor folgt eine überblicksmäßige Darstellung der Vorstellungen beider Gruppen.

4.2.1 Lehrkräfte

Höttecke (2001) führt mehrere Untersuchungen (Mellado, 1997; Lakin et al., 1994; zitiert nach Höttecke, 2001, S. 74) an, welche ergaben, dass die daran teilnehmenden Lehrkräfte im Rahmen der Studie zum ersten Mal mit einer Reflexion über ihr eigenes Fach konfrontiert waren. Die universitäre Ausbildung müsse demgemäß, so Höttecke, als lückenhaft bezeichnet werden. Die Lehrerinnen und Lehrer würden auch „nach vielen Jahren der Schul- und Ausbildung nicht zu einem adäquaten Wissenschaftsverständnis“ (Höttecke, 2001, S. 74) gelangen. Zu demselben Schluss gelangen auch Abd-El-Khalick und Lederman (2000, S. 669).

Vorstellungen von Lehrkräften gegenüber der Natur der Naturwissenschaft sind meistens sehr unkonkret und weisen eine Mischung verschiedenster Ansichten auf. Lehrkräfte und Lehramtsstudierende vertreten in der Regel keine klare wissenschaftstheoretische Position, wie Rationalismus oder Empirismus und sind darüber hinaus oft auch nur sehr wenig philosophisch ambitioniert. Es kann daher maximal von Tendenzen zu bestimmten Positionen gesprochen werden, welche zudem häufig unbewusst angenommen wurden (Höttecke, 2012). Laut Abd-El-Khalick und Lederman (ebd.) haben jedoch viele Lehrkräfte positivistische und idealistische Ansichten von Naturwissenschaft. Erkenntnisse werden häufig als absolut gesehen und die Vorläufigkeit von Wissenschaft wird nicht angenommen. Zudem existiert die Vorstellung, Wissen würde direkt aus der Naturbeobachtung heraus entdeckt. Dies hängt zu einem nicht unwesentlichen Teil mit der Unterrichtspraxis zusammen. Aguirre et al. (1990, zitiert nach Höttecke, 2001, S. 79) stellten fest, dass es eine Verbindung von idealistischen Wissenschaftsanschauungen mit den Vorstellungen zum Lernen von Naturwissenschaften gibt. Dieser Zusammenhang kann durch das Vorhandensein einer bestimmten „Fachkultur“⁴⁰ (*subject culture*) erklärt werden. Diese fachspezifische Kultur

⁴⁰ Eine ausführliche Darstellung zu diesem Thema findet sich unter anderem bei Willems (2007), welche sich anhand eines Vergleiches der Fächer Deutsch und Physik, vor allem auf den Aspekt „Geschlecht“ konzentriert. Sie stützt sich dabei vorrangig auf die Arbeit des französischen Soziologen Pierre Bourdieu und wendet dessen Theorie der praxeologischen Herangehensweise im schulischen Bereich an. Angehörige einer

konstituiert sich in der Praxis durch eine (oft stillschweigende) Übereinkunft hinsichtlich von Zielen, Inhalten und Lehrmethoden. Eine Physiklehrkraft zeichnet sich demnach dadurch aus, dass sie gesichertes Wissen exakt vermittelt. Im Unterricht führt dies einerseits zu einem Bild von den Naturwissenschaften als mosaikartige Struktur einzelner Fakten und andererseits zu einem Desinteresse von Schülerinnen und Schülern, welche gerne ihre eigene Meinung ausdrücken wollen. Während in anderen Fächern unterschiedliche Meinungen durchaus ihren Platz haben, zeigt der Physikunterricht eher die Tendenz eines Meinungsmonopols, welches bei der Lehrkraft liegt (Höttecke & Silva, 2011). Aikenhead sieht die Ursache dafür bereits in der universitären Ausbildung begründet:

„Normally science teachers are attracted to, and uniformly socialized into, specific scientific disciplines in university programs where teachers are certified to be loyal gatekeepers and spokespersons for science; and in return they enjoy high professional status and a self-identity associated with the scientific community“ (Aikenhead, 2003, S. 36).

Folgt man Aikenheads These, so erwarten Lehrkräfte von sich selbst einen hohen persönlichen, professionellen Status, indem sie fachsystematisch unterrichten. „Diese Form der Wissenschaftsorientierung nimmt in der gymnasialen Oberstufe die Form einer Wissenschaftspropädeutik an, die sich eng an die Organisation der Lehrinhalte in den universitären Studiengängen anlehnt“ (Höttecke, 2001, S. 5). Die Lehrerinnen und Lehrer werden somit zu Multiplikatoren, welche die ihnen an der Universität vermittelte Fachkultur an ihre Schülerinnen und Schüler weitergeben. Es kann, in weiterer Folge von Aikenheads Aussage, davon ausgegangen werden, dass diese Physik vor allem deshalb als „schwer“ (Osborne, Simon & Collins, 2003, S. 1060) empfinden, weil die Lehrkräfte sich zum Teil auch über diese „Schwierigkeit“ des Fachs profilieren wollen. Ein Physikunterricht, der keine strenge, eindimensionale Wissenssystematik vorgibt, sondern eine Vielzahl an historischen Konzepten und ein Bild der Naturwissenschaften präsentiert, das diese als kulturell gewachsen darstellt, löst dagegen bei vielen Lehrkräften ein Gefühl der Unsicherheit aus (Höttecke & Silva, 2011, S. 298). Diese Unsicherheit führt in der Regel dazu, dass die prozessuale Dimension im Unterricht ausgespart wird. Es sollte jedoch noch angeführt werden, dass Lehrkräfte in der Regel auch nicht über die notwendigen Fähigkeiten dazu verfügen, da Wissen über historische und wissenschaftstheoretische Aspekte der Naturwissenschaft nicht Teil ihrer Fachkultur ist (ebd., S. 302).

Fachkultur verfügen demnach über einen kollektiv ausgeprägten *Habitus*, der als Dispositionssystem Denk- und Handlungsmuster strukturiert (Willems, 2007, S. 96).

4.2.2 Schülerinnen und Schülern

Driver et al. (1996) gehen davon aus, dass Schülerinnen und Schüler kein homogenes Verständnis von den Zielen naturwissenschaftlicher Forschung haben, sondern spezifische Vorstellungen innerhalb ganz unterschiedlicher Kontexte existieren. In ihrer Untersuchung haben sie daher mit sehr differenzierten Aussagen gearbeitet, welche als wissenschaftlich oder nichtwissenschaftlich deklariert werden sollten. Dabei hat sich gezeigt, dass die Begründung für die eine oder die andere Option vorwiegend auf drei Faktoren basierten:

- Ist die Frage offen für eine empirische Untersuchung? (Dabei handelt es sich um eine Untersuchung, welche die Erfassung von Daten durch Messungen oder Beobachtungen enthält).
- Um welche Art von Frage handelt es sich und aus welchem Gebiet stammt sie? Spricht sie ein Naturphänomen an oder nicht?
- Die wahrgenommenen, persönlichen und institutionellen Aspekte wissenschaftlichen Arbeitens und wie diese in der Vorstellung der Schülerinnen und Schüler mit der Frage korrelierten (Driver et al., 2012, S. 74 [*Übersetzung des Verfassers*]).

Zum ersten Punkt wurde von den Autoren festgestellt, dass empirische Untersuchungen als unproblematischer Prozess gesehen werden, bei dem ein kausaler Ursache-Wirkung-Zusammenhang hergestellt werden sollte. Die Vorstellung, dass empirische Untersuchungen durch das Sammeln von Beweisen eine Theorie oder ein Modell überprüfen können, ist ebenso vorhanden. Darüber hinaus gaben manche Schülerinnen und Schüler schlicht Antworten auf die gestellten Fragen, anstatt deren wissenschaftlichen Gehalt zu beurteilen oder konnten keine Begründung angeben, warum sie eine Aussage für wissenschaftlich hielten (ebd., S. 75f).

Hinsichtlich des in einer Frage behandelten Fachgebiets stützen sich die Aussagen der Schülerinnen und Schüler vorwiegend auf ihre Erfahrungen aus dem Schulunterricht und die Darstellungen wissenschaftlicher Inhalte in den Medien. Sie stimmen dabei mit den allgemeinen Vorstellungen, die auch unter Erwachsenen vorherrschen, größtenteils überein. Fragen, die eine Bedeutung für die Gesellschaft haben, wurden zudem eher als wissenschaftlich bedeutsam kategorisiert (ebd., S. 80f).

Zur Vorstellung über die Akteure und Institutionen der Wissenschaft existieren unterschiedliche Vorurteile, welche sich in den Antworten der Schülerinnen und Schüler niederschlugen. Beispielsweise das Bild des „verrückten Professors“, welcher sich den ganzen Tag im Labor, dem zentralen Arbeitsplatz von Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern, aufhält (ebd., S. 82f). Dieser Typ des Forschenden wird in der Regel als intelligent, aber weltfremd und geheimniskrämerisch beschrieben. Dies kann bis zu comic- oder cartoonartigen Vorstellungen reichen, die stark von der medialen Alltagswelt der Schülerinnen und Schüler beeinflusst sind. Das

spielt eine wesentliche Rolle für das Bild von Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern⁴¹, auch wenn viele Kinder und Jugendliche durchaus in der Lage sind, die Authentizität dieser Vorstellungen richtig einzuschätzen (Höttecke, 2004). Wie man sich wissenschaftliches Arbeiten vorstellt, hängt stark mit diesem Bild zusammen und prägt auch die Ideen zu den Zielen der Forschung. Driver et al. (1996) konnten feststellen, dass vor allem jüngere Kinder den wissenschaftlichen Gehalt einer Frage daran messen, ob diese für den von ihnen imaginierten Typus des Wissenschaftlers von Relevanz ist.

Was den epistemologischen Status naturwissenschaftlichen Wissens betrifft, kann allgemein nicht davon ausgegangen werden, dass Schülerinnen und Schüler ein homogenes Verständnis dazu haben. Vielmehr muss von einer Mixtur aus uneinheitlichen realistischen und unrealistischen Vorstellungen ausgegangen werden, die sich auch widersprechen können (Höttecke, 2001, S. 53). Schülerinnen und Schüler stellen sich „unter naturwissenschaftlichen Wissen etwas Gesichertes, Feststehendes und zugleich in fachspezifischen Symbolsystemen Aufbewahrtes“ (ebd.) vor. Wie schon im vorigen Abschnitt zu den Vorstellungen von Lehrkräften festgestellt wurde, hängen auch jene von Schülerinnen und Schülern stark von den Erfahrungen im Unterricht ab. Als physikalisches Wissen gilt folglich, was einmal im Physikunterricht an der Tafel stand.

Meyling (1990, zitiert nach Höttecke, 2001, S. 54) bezeichnet Schülerinnen und Schüler als *ontologische Realisten*, da ihr Interesse auf die Erklärung der Wirklichkeit gerichtet ist. Eine ähnliche Bezeichnung (*naiver Realismus*) findet sich bei mehreren anderen Autoren (Höttecke, 2001, S. 54f). Meyling hat in einer Untersuchung mit Schülerinnen und Schülern der Oberstufe festgestellt, dass Naturgesetze von 99% aller Teilnehmenden nicht als Teil von naturwissenschaftlichen Theorien gesehen wurden. Innerhalb dessen gibt es jedoch graduelle Unterschiede hinsichtlich des Wesens von Naturgesetzen, welche zwischen völliger Unabhängigkeit vom Menschen bis hin zu unvollständigen Kopien der Realität reichen (Meyling, 1997, S. 398f). Naturgesetze werden im Rahmen des Forschungsprozesses dann oft als Endergebnisse dargestellt, welche sich in mehreren Schritten aus Experimenten ableiten lassen. Schülerinnen und Schüler zeigen dabei eine hierarchisch geprägte Vorstellung der Wissensgenese, die sich unter anderem wie folgt darstellen kann:

Experiment → Beobachtung → Hypothese → Theorie → Naturgesetz

↗ Naturgesetz (widerspruchsfrei)

Hypothese → Experiment → Beobachtung

↘ Theorie

⁴¹ Wobei die Vorstellungen deutlich die männlichen Akteure in den Vordergrund stellen. Da vor allem in den Naturwissenschaften und technischen Wissenschaften der Frauenanteil immer noch sehr gering ist, muss diese Vorstellung aber im Einklang mit den realen Begebenheiten gesehen werden. In Österreich beträgt der Anteil an Professorinnen in den Naturwissenschaften nur 19 Prozent (derstandard.at, 2016).

Theorien werden demgemäß nicht als gesichert, sondern mehr oder weniger synonym mit Hypothesen als Erklärungsversuche gesehen. 60 bis 70 Prozent der Schülerinnen und Schüler in der Oberstufe vertreten diese Ansicht (ebd., 399). Die Theorie stellt in der Vorstellung vieler Lernender auch das Gegenstück zum Experiment dar und wird somit, im Gegensatz zur „praktischen“ Herangehensweise des Experiments, oft zum Synonym für jede Art von kognitiver Auseinandersetzung mit einem Thema. Dies bezieht sich jedoch vor allem auf das experimentelle Tun im Unterricht und nicht so sehr auf wissenschaftliche Experimente (Höttecke, 2001, S. 61f). Die Qualität einer Theorie ist wiederum abhängig von der experimentellen Beobachtung und wie gut diese mit der Hypothese übereinstimmt. Stimmen die experimentellen Beweise mit dem Erklärungsversuch überein, dann hat man, nach dieser Vorstellung, ein Naturgesetz „entdeckt“. Die Studie von Driver et al. (1996, S. 111) hat jedoch gezeigt, dass zwischen Beweis und Erklärung oft kaum unterschieden wird. Die experimentellen Ergebnisse liefern somit für die Schülerinnen und Schüler induktiv den wissenschaftlichen Beweis für die Existenz eines Phänomens (ebd., 134). Dies würde auch mit der vorherrschenden Vorstellung eines objektiven Messens, ohne jeglichen theoretischen Hintergrund, zusammenpassen (Höttecke, 2001, 64).

Auch beim Modellbegriff, der nach Kircher (1995) für den Physikunterricht besonders zentral ist, haben viele Schülerinnen und Schüler inadäquate Vorstellungen. Von den meisten wird ein Modell als räumlich abgegrenzte Kopie der Wirklichkeit verstanden, welche eine Theorie veranschaulichen soll (Meyling, 1997, S. 401). Als Beispiele werden dabei oft Atome oder auch Feldlinien angegeben, welche aber entsprechend der Vorstellung zum Modellbegriff eher als reale Entitäten gesehen werden (Höttecke, 2001, S. 60).

Hinsichtlich der sozialen Dimension der naturwissenschaftlichen Wissensproduktion konnten Driver et al. (1996, S. 133) feststellen, dass Schülerinnen und Schüler dafür nur ein geringes Bewusstsein haben. Dies gilt sowohl für interne als auch für externe soziale Einflussfaktoren. Im Rahmen der Studie sollten die Schülerinnen und Schüler Fallstudien bearbeiten, welche Uneinigkeit zwischen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler darstellten.⁴² Es zeigte sich, dass diese, wenn sie mit derartigen Problemstellungen konfrontiert wurden, auf ihr Alltagswissen zur Konfliktlösung zurückgriffen. Dementsprechend gestalteten sie auch die Lösungsvorschläge (konkurrierende Parteien sollten zusammenarbeiten oder einen unabhängigen Dritten entscheiden lassen). Als Grund für Uneinigkeit zwischen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler sahen viele entweder eine mangelnde Beweislage (zu wenig Fakten) oder persönliche Interessen der involvierten Personen (ebd., 140). Prinzipiell schätzen Schülerinnen und Schüler die Rolle von harten Fakten für die Wissenschaft sehr hoch ein, wobei diese als selbstvident gesehen werden. Die Bedeutung der Scientific Community bei der Interpretation dieser Fakten wird in der Regel nicht erkannt. Demnach

⁴² Konkret handelte es sich dabei um Debatten zur Kontinentaldrift-Theorie Alfred Wegeners, sowie zur Sicherheit der Bestrahlung von Lebensmitteln mit Gammastrahlung, um Bakterien und andere Mikroorganismen abzutöten.

sind naturwissenschaftliche Fragestellungen jene, auf die es eindeutige und reproduzierbare Antworten gibt. Gesellschaftlichen Fragen wird dagegen keine derartige Qualität zugeschrieben (ebd., S. 81).

Ebenso wenig sind sich die Schülerinnen und Schüler des Zusammenspiels zwischen Wissenschaft und Gesellschaft bewusst. Sie erkennen zwar, dass naturwissenschaftliche Fragen für die Gesellschaft von Bedeutung sind, jedoch sind die Mechanismen, welche die Wechselwirkung von Wissenschaft und Gesellschaft steuern, weitgehend unklar. Die meistverbreitete Vorstellung diesbezüglich ist, dass Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler vorwiegend aus persönlichem Altruismus gesellschaftliche Probleme bearbeiten wollen (ebd., S. 140). Dies steht im Zusammenhang mit der Vorstellung, Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen seien, zumindest innerhalb ihres Arbeitsbereichs, besonders integre, vorurteilsfreie Menschen (Höttecke, 2001, S. 51). Darüber hinaus wird den Naturwissenschaften an sich eine besondere Rolle zugeschrieben, da sie Fragen bearbeiten, welche für die Mehrheit der Menschen von Nutzen sind.

Zusammenfassend lässt sich somit festhalten, dass Schülerinnen und Schüler eine vereinfachte Vorstellung von der Natur der Naturwissenschaften haben. Naturwissenschaftlerinnen und Naturwissenschaftlern entdecken experimentell beobachtbare, harte Fakten und legen damit eine gesetzmäßige Struktur der Natur fest (*naiver Empirismus*). Dies resultiert auch in einem negativen Selbstkonzept der Schülerinnen und Schüler.

4.2.3 Zusammenfassung

Die vorangegangene Ausführung hat gezeigt, dass bei Schülerinnen und Schülern Nature of Science mit einer Vielzahl von Vorstellungen konnotiert ist, wie dies auch bei so gut wie allen fachlichen Themen in der Physik und anderen Unterrichtsgegenständen der Fall ist. Diese werden einerseits durch die Alltagswelt und hier vorwiegend durch die Medien bestimmt, andererseits auch im Unterricht selbst geprägt. Dies passiert in der Regel implizit, ohne direkte zielgerichtete Absicht der Lehrkraft.

Da jedoch auch die Vorstellungen von Lehrkräften in Bezug auf NOS nicht von einer adäquaten, dem fachlichen Diskurs entsprechenden Ansicht geleitet sind, ist diese Tatsache besonders problematisch. Demnach ist es, wie Abd-El-Khalick und Lederman (2000) ausgeführt haben, sicherlich ratsam, auch dem Zusammenhang zwischen den Vorstellungen von Schülerinnen und Schülern sowie jenen von Lehrkräften über NOS Beachtung zu schenken. Die ersten Untersuchungen (z.B. Dibbs, 1982; Brickhouse, 1989; Mellado, 1997; alle zitiert nach McComas et al., 1998) waren jedoch zu einfach gehalten und oft widersprüchlich. Das Zusammenspiel zwischen Lehrkräften, Schülerinnen und Schülern sowie externen Faktoren erwies sich als

wesentlich komplexer als angenommen. Weitere Untersuchungen haben verschiedene Variablen (z.B. Druck, möglichst viel Stoff durchzunehmen, Disziplin, Motivation der Schülerinnen und Schüler, Erfahrung der Lehrkraft) eruiert, welche die Umsetzung von Naturwissenschaftsbildern im Unterricht beeinflussen. Abd-El-Khalick und Lederman orten jedoch noch viel Potential für weitere Untersuchungen in diesem Bereich (ebd.).

5 Nature of Science im Lehramtsstudium Physik

Nachdem im vorangegangenen Kapitel bereits eingehend auf die Bedeutung von Nature of Science für den Schulunterricht eingegangen wurde, soll im folgenden deren Rolle im Physikstudium untersucht werden. Da eine umfassendere Analyse den Rahmen dieser Arbeit sprengen würde, kann hier nur das Lehramtsstudium im Unterrichtsfach Physik behandelt werden.

5.1 Nature of Science als der Teil der Lehramtsausbildung

Die Notwendigkeit der Implementierung von Inhalten in das Lehramtsstudium Physik, welche die Natur der Naturwissenschaften betreffen, wird von unterschiedlichen Autoren immer wieder betont. Nature of Science spielt für die Vermittlung von *Scientific Literacy* eine bedeutsame Rolle, denn Physikunterricht sollte „zugleich ein Unterricht *von* und *über* Physik“ (Wiesner, Schecker & Hopf, 2015, S. 16) sein. Damit Lehrkräfte auch wirklich *über Physik* unterrichten können, benötigen sie wissenschaftstheoretisches Wissen, ein Repertoire an historischen Fallbeispielen sowie ein eingehendes Bewusstsein für die gesellschaftliche Eingebundenheit der Wissenschaft. All dies steht neben einem fundierten physikalischen und physikdidaktischen Wissen und kann nur in Zusammenhang mit diesem funktionieren.

Als größte Hürde bei der Vermittlung von Nature of Science an angehende Lehrkräfte erweist sich laut Bentley und Fleury (1998) die Weitergabe eines Perspektivenwechsels hin zu einer *post-positivistischen* Ansicht. In der Wissenschaft hat sich dieser Wechsel bereits seit Mitte des 20. Jahrhunderts vollzogen (siehe Abschnitt 3.1), was sich jedoch bis dato kaum in der universitären und schulischen Lehre widerspiegelt.

McComas et al. (1998) schlagen vier verschiedene Herangehensweisen zur Implementierung von Nature of Science-Inhalten in der Ausbildung von Lehrkräften vor: allgemeine Lehrveranstaltungen zu Methodik/Fachdidaktik, fachliche Lehrveranstaltungen, Einbindung von Studierenden in Forschungsprozesse und Lehrveranstaltungen, in denen Wissen über Wissenschaftstheorie und -geschichte direkt vermittelt wird. Die Autoren weisen des Weiteren darauf hin, dass diese Lehrveranstaltungen auf die Bedürfnisse von Lehrkräften ausgelegt sein müssen und sich daher nicht auf eine rein historische oder philosophische Behandlung beschränken können. Es sollte klarwerden, wie dieses Wissen sinnvoll im Unterricht eingesetzt werden kann. Im Folgenden sollte nun die erste Herangehensweise – fachdidaktische Lehrveranstaltungen – näher beschrieben werden.

5.1.1 Fachdidaktische Seminare

Abd-El-Khalick und Lederman (2000) geben einen Überblick zu den Versuchen, die konzeptuellen Vorstellungen von Lehrern sowie Studierenden des Lehramts in naturwissenschaftlichen Fächern zu verändern. Sie unterscheiden dabei zwischen einem impliziten und einem expliziten Ansatz. Jene Zugänge, die auch für die Ausbildung der Physiklehrkräfte für die Sekundarstufe anwendbar sind, sollten nun kurz erläutert werden.

Die erste Untersuchung in diesem Zusammenhang wurde von Carey und Strauss im Jahr 1968 durchgeführt. Im Rahmen eines Methodik-Kurses führten sie Studierende durch die Lektüre von Artikeln und Büchern zu Wissenschaftstheorie und Wissenschaftsgeschichte in das Thema Nature of Science ein. Darüber hinaus wurden Vorlesungen und Diskussionen zur Vermittlung eingesetzt. Das Seminar brachte gemäß den Autoren eine statistisch signifikante Verbesserung des Verständnisses der Studierenden in Bezug auf Nature of Science (Abd-El-Khalick & Lederman, 2000, S. 682).

Eine andere Vorgehensweise wählten Spears und Zollman (1977, zitiert nach Abd-El-Khalick & Lederman, 2000), welche zwei unterschiedliche Gestaltungsmöglichkeiten eines experimentellen Praktikums verglichen. Während ein *strukturierter Zugang* die Verifikation eines Sachverhalts in den Mittelpunkt stellte, ging es im *unstrukturierten Zugang* vordergründig um den Arbeitsprozess. Die erste Variante stellt klare Vorgaben an die Studierenden, während die zweite ihnen große Freiräume bei der Gestaltung ihrer experimentellen Untersuchung ließ. In einem abschließenden Test, der das Verständnis von Nature of Science überprüfen sollte, zeigte sich jedoch kein nennenswerter Unterschied zwischen den beiden Gruppen. Insgesamt konnte mit dieser *impliziten* Herangehensweise keine Verbesserung des Verständnisses erzielt werden (Abd-El-Khalick & Lederman, 2000, S. 678).

Andere Autoren, wie zum Beispiel Akinedehin (1988, zitiert nach Abd-El-Khalick & Lederman, 2000) kamen daher zu dem Schluss, dass der Zugang zur Vermittlung von adäquaten, konzeptuellen Vorstellungen zu Nature of Science bei angehenden Lehrkräften *explizit* sein muss. In dem von ihm entwickelten Seminarkonzept stellt Akinedehin unter anderem die Vorgehensweise im Wissenschaftsbetrieb, die Elemente der Wissenschaftsgeschichte oder den menschlichen Aspekt der Naturwissenschaften in den Mittelpunkt. Die Ergebnisse der Studie zeigen ein sehr hohes Verständnis der Probanden in Bezug auf Nature of Science, wobei die Untersuchungsgruppe der Kontrollgruppe überlegen war (Abd-El-Khalick & Lederman, 2000, S. 686f).

Eine Vielzahl an möglichen Konzepten zur Vermittlung von Nature of Science in naturwissenschaftlichen Lehramtsstudien findet sich auch in dem von McComas (1998) herausgegebenen Band. Im Rahmen eines vergleichenden Überblicks lassen sich dabei unterschiedliche Herangehensweisen feststellen, die auch in Zusammenhang mit der impliziten oder expliziten Vorgehensweise stehen. Dabei wird entweder ein sehr starker Fokus auf die Lektüre

von Fachartikeln und Texten gelegt (McComas, 1998; Boersema, 1998) oder auf das Element des forschenden Lernens (Inquiry Learning) (Meichtry, 1998). Darüber hinaus gibt es auch Ansätze, welche man als „Mischung“ der beiden vorhergehenden bezeichnen könnte, da Elemente beider Zugänge vorhanden sind (Spector, Strong & LaPorta, 1998). Des Weiteren schlagen manche Autoren vor, Nature of Science im Rahmen von *Science–Technology–Society*⁴³ (STS) zu vermitteln (Spector, Strong & LaPorta, 1998; Bentley & Fleury, 1998).

Um Scientific Inquiry vermitteln zu können und dabei die Problematik der mangelnden Reflexion zu umgehen, haben Schwartz, Lederman und Crawford (2004) einen Zugang entwickelt, der versucht die Lücke zwischen Inquiry und Nature of Science zu schließen. Dabei wurden die Studierenden jeweils einem Wissenschaftler oder einer Wissenschaftlerin zur Seite gestellt, um aktiv am Forschungsgeschehen teilhaben zu können. Zusätzlich sollten die Studierenden ein Journal führen, wo sie den beobachtenden Forschungsprozess einerseits beschreiben und andererseits auch reflektieren sollten. Darüber hinaus sollten die Erlebnisse im Rahmen eines Seminars gemeinsam reflektiert und deren Bedeutung für den naturwissenschaftlichen Unterricht diskutiert werden. Die Studierenden haben im Rahmen dieser Tätigkeit bemerkt, dass sich die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler selbst oft nur beschränkt ihres eigenen Handelns bewusst sind und zeigten sich ob dieses Verhaltens sehr verwundert. Das zeigen Kommentare wie „They [die Forschenden, *Anm.*] are concentrated with the doing, not the nature of science“ oder „They [die Forschenden, *Anm.*] are pretty much oblivious to the process. All they see is the goal, to find the answer, and the procedure that comes inbetween“ (Schwarz, Lederman & Crawford, 2004, S. 629). Die Autoren schließen daraus, dass es besonders wichtig ist, durch die Reflexion eine andere Perspektive zu erhalten als die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler selbst. Auf diese Weise könne ein Wechsel der Vorstellungen zu Nature of Science am besten erfolgen.

In Bezug auf die konkrete Methodik lassen sich zwischen den einzelnen Autoren viele Gemeinsamkeiten finden. Eine Auseinandersetzung mit Fachliteratur spielt sehr oft eine wichtige Rolle, ebenso wie die Reflexion über dieselbe, sei es persönlich in schriftlicher Form oder kollektiv in Diskussionen. Inhaltlich werden dabei in der Regel die verschiedenen Aspekte von Nature of Science, wie wissenschaftstheoretische Fragestellungen oder die soziale Konstruktion des Wissens, besprochen. Ebenso wird mit Fallstudien gearbeitet, welche in der Regel historische Beispiele darlegen (Boersema, 1998; Bentley & Fleury, 1998; Tseitlin & Galili, 2005). Manche der Studien haben in ihre Seminarkonzepte auch Unterrichtsphasen in der Schule (Meichtry, 1998) oder

⁴³ Science–Technology–Society fokussiert vor allem auf den sozialen Kontext in Bezug auf die technische Verwertbarkeit der Naturwissenschaften. Dieser Zugang zu naturwissenschaftlichem Unterricht begann sich seit den neunzehnsiebziger-Jahren im angloamerikanischen Bereich aus dem gleichnamigen Forschungsfeld zu entwickeln. Aikenhead (1997) sieht den Begriff in Bezug auf den Unterricht vor allem als ideologisch gefärbtes Symbol, das bildungspolitisch genutzt wird.

innerhalb des Seminars (Spector, Strong & LaPorta, 1998) integriert. Auch Rollenspiele (Bentley & Fleury, 1998) oder *concept mapping* (Spector, Strong & LaPorta, 1998) wurden angewandt.

Zusammenfassend zeigt sich, dass sich bei der Vermittlung von Nature of Science an der Hochschule ähnliche Problemstellungen ergeben wie im Schulunterricht. Dabei ist die zentrale Frage, wie implizite und explizite Elemente angewandt und gewichtet werden. Damit in Zusammenhang stehen methodische Überlegungen in Bezug auf praktisches Experimentieren und reflexive Auseinandersetzung mit der Literatur. Hinsichtlich der Methodik lassen sich ebenso viele Ähnlichkeiten mit der schulischen Praxis finden. Die hier aufgeführten Elemente, wie Rollenspiel, (historische) Fallstudien, Gruppendiskussionen und schriftlichen Reflexionen, finden sich in gleicher Weise bei der Vermittlung von Nature of Science an Schülerinnen und Schüler wieder (Höttecke, Henke & Rieß, 2012).

5.1.2 Lehrbücher

Neben den Lehrveranstaltungen können auch Lehrbücher einen Einfluss auf die Vorstellungen zu Nature of Science haben, da sie eine wichtige Quelle von Wissen für die Studierenden darstellen, sei es zur Prüfungsvorbereitung oder als Nachschlagewerk. Für Physik gibt es im deutschen Sprachraum eine Reihe von Standardlehrwerken. Bei diesen Büchern steht klar der fachliche Inhalt im Vordergrund, welcher den Aufbau der Bücher als Aufeinanderfolge der einzelnen Teilgebiete der Physik (Mechanik, Thermodynamik, Optik, Elektrodynamik etc.) strukturiert. Die Inhalte werden in der Regel stark formalisiert, als Sätze und Gesetze dargestellt, deren Aussagekraft durch mathematische Herleitung oder Experimente gestützt wird (Tseitlin & Galili, 2005, S. 238).

Ein kurzer, exemplarischer Überblick zu einigen Standardlehrwerken der Physik (Bergmann-Schäfer 1998; Demtröder, 2008; Halliday, 2009; Gerthsen, 2010; Giancoli, 2010; Wagner, 2012; Tipler, 2015; Feynman, 2015) zeigt, dass wissenschaftstheoretische und - historische Themen in aller Regel im Rahmen des ersten, einleitenden Kapitels abgehandelt werden. Dabei handelt es sich meist um kurze Abrisse, welche zwischen weniger als einer Seite (Tipler, 2015) und einem mehrseitigen Subkapitel (Demtröder, 2008) variieren. Alternativ verzichten manche Werke auch auf einen derartigen Abriss und stellen historische Bezüge dafür an den Beginn einzelner Kapitel, vor allem, wenn es um *wissenschaftliche Revolutionen*, wie den Wandel von der Aristotelischen zur Newton'schen Physik oder die Einführung der Relativitätstheorie, geht. Eine Darstellung, welche etwas davon abweicht und die historische Entwicklung durchgängiger miteinbezieht, sind die *Feynman-Vorlesungen*. Diese stellen explizit die Frage „Wie ist es so geworden?“ und widmen sich verstärkt dem Wandel des Weltbildes am Anfang des zwanzigsten Jahrhunderts (Feynman, Leighton & Sands, 2015). Von einer Strukturierung der Inhalte am historischen Verlauf, wie er

teilweise in der Fachdidaktik gefordert wird (z.B. Höttecke, 2001), kann zwar hier nicht gesprochen werden, jedoch steht die Darstellung geschichtlicher Ereignisse deutlich mehr im Vordergrund als bei den anderen Werken.

Wissenschaftstheoretische Begriffe finden sich in fast allen Lehrwerken, wenn auch in unterschiedlicher Quantität und mit zum Teil recht unterschiedlichen Aussagen verbunden. Laut Demtröder liefert ein Experiment eindeutige Antworten auf Fragen an die Natur und ermöglicht somit „objektives Wissen über die Wirklichkeit“ (Demtröder, 2008, S. 4), indem es eine singuläre Aussage eines Modells überprüft (diese Aussage steht jedoch im klaren Widerspruch zur *Duhem-Quine-These*). Feynman wiederum bezeichnet das Experiment als „Prüfstein allen Wissens“ in der Physik (Feynman et al., 2015), was dessen Rolle als Generator von Wissen relativiert. Er zieht damit auch eine scharfe Trennlinie zwischen der Physik und benachbarten Wissenschaften (wie z.B. der Astronomie), welche sich nur auf Beobachtungen stützen können. Zur Frage, was ein Modell ist, liefern die Autoren unterschiedliche Aussagen, die von „vereinfachtes Abbild der Wirklichkeit“ (Bergmann-Schäfer, 1998, S. 2) bis hin zur schlichten Beschreibung als „Analogie“ (Giancoli, 2010, S. 4) oder „Idealisierung“ (Wagner, 2012, S.12) reichen. Die mathematische Beschreibung des Modells sieht Wagner wiederum in der Theorie verwirklicht (ebd.).

Bei Giancoli wird darauf hingewiesen, dass Theorien nicht direkt aus der Beobachtung gewonnen werden können, sondern auch von der Kreativität der Forschenden abhängen. Dies ist eine Position, die auch von anderen Autoren geteilt wird. Zudem sollten Modelle und Theorien nicht mit dem „realen System der Phänomene selbst“ (Giancoli, 2010, S. 5) verwechselt werden. Sie können daher auch nicht absolut verifiziert werden. Feynman bezeichnet diesen Prozess als

	<i>Bergmann- Schäfer</i>	<i>Demtröder</i>	<i>Feynman</i>	<i>Gerthsen</i>	<i>Giancoli</i>	<i>Halliday</i>	<i>Tipler</i>	<i>Wagner</i>
Modellbegriff	x	x	x		x			x
Theorie		x		x	x			x
Gesetz	x		x		x		x	
Rolle des Experiments/Messvorganges	x	x	x	x		x	x	x
Verhältnis zu anderen Wissenschaften		x	x					x

Tabelle 1: Wissenschaftstheoretische Elemente in ausgewählten Physik – Lehrwerken (exemplarisch)

„Approximation“ an die Wirklichkeit (Feynman et al., 2015, S. 1). Im Gegensatz dazu beschreiben gesicherte Theorien - nach Demtröders Auffassung - unser Wissen über die Wirklichkeit (Demtröder, 2008, S. 4). Giancoli kommentiert diese Ansicht mit einem Augenzwinkern, wenn er

sagt: „Normalerweise tun Wissenschaftler so, als wären die akzeptierten Gesetze und Theorien wahr“ (Giancoli, 2010, S. 5).

5.2 Vorstellungen zu NOS im universitären Kontext

Bei den Präkonzepten in Bezug auf Nature of Science im schulischen Kontext wurde bereits festgestellt, dass Lehrkräfte ihre Schülerinnen und Schülern nachhaltig beeinflussen (Abd-El-Khalick & Lederman, 2000). Da die an der Universität tätigen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler durch ihre Lehrtätigkeit in ähnlicher Weise einen entscheidenden Einfluss auf die Studierenden nehmen, kann auch hier von einem Zusammenhang ausgegangen werden (Bayir, Cakici & Ertas, 2014). Darüber hinaus sind die Ansichten von Studierenden und Lehrenden auch für den naturwissenschaftlichen Unterricht von Bedeutung. Die Studierenden haben - sofern sie sich für das Lehramt entschieden haben - einen direkten Einfluss auf die Schülerinnen und Schüler. Die Vorstellungen der Lehrenden spielen einerseits bei der Ausbildung zukünftiger Lehrkräfte eine Rolle, andererseits auch dann, wenn sie mit Schülerinnen und Schülern direkt in Kontakt treten. Dies kann am Tag der offenen Tür an der Universität oder durch gezielte Exkursionen von Schulklassen passieren. Hodson und Wong (2014) führen dazu an, dass Schülerinnen und Schüler enorm vom direkten Kontakt mit Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern profitieren können, insbesondere wenn es um die Vermittlung von Nature of Science geht.

In Anbetracht dessen sollten nun Präkonzepte sowohl von Lehrenden als auch von Studierenden überblicksmäßig angeführt werden.

5.2.1 Studierende

Im angloamerikanischen Raum hat King (1991) eine der ersten Studien zu diesem Thema durchgeführt, bei der er die Vorstellungen von Studierenden in einem LehrerInnenbildungsprogramm in den naturwissenschaftlichen Fächern an der Stanford University untersucht hat. Er verwendete dabei eine Kombination aus Fragebogen und Interviews im Prä-Post-Verfahren. Im Gegensatz zu anderen Untersuchungen wurden im Fragebogen von King jedoch nicht nur Fragen über Nature of Science gestellt, sondern auch, was an dem von den jeweiligen Studierenden zukünftig zu unterrichtenden Fach besonders wichtig ist und welche Ziele sich daraus für den Unterricht ergeben. In den Interviews wurde wiederum auf einen Teil der ursprünglichen Fragen eingegangen, vor allem in Hinblick auf die ersten Unterrichtserfahrungen der Studierenden,

welche diese zwischen Prä- und Post-Test bereits sammeln konnten. Eine weitere Darstellung der Vorstellungen von Lehramtsstudierenden zu Nature of Science, welche die Ergebnisse mehrerer Studien zusammenfasst, findet sich bei Bentley und Fleury (1998).

Im deutschen Sprachraum existieren bisher nur wenige Untersuchungen zu den Vorstellungen von Nature of Science bei Studierenden. Höttecke und Rieß (2007) haben im Rahmen eines Seminars, welches die Natur der Naturwissenschaften zum Thema hatte, die Vorstellungen von zehn Studierenden erhoben. Sie haben dabei einen Fragebogen als Prä-Test und semi-strukturierte Interviews als Nachtest verwendet. Ebenfalls erwähnenswert in diesem Zusammenhang ist eine Arbeit von Reinisch und Krüger (2014), welche im Rahmen der Biologiedidaktik fünf Studierende zu den zentralen wissenschaftstheoretischen Begriffen, wie Gesetz, Modell und Theorie, interviewt haben.

King (1991) hat in seiner Untersuchung mit Studierenden festgestellt, dass eine Beschreibung von Abläufen, beziehungsweise Phänomenen in der Natur, als zentrales Ziel der Naturwissenschaften betrachtet wird. Die Vorstellung darüber, wie sich Subjekte und Objekte der Wissenschaft in diesem Beschreibungsvorgang zueinander verhalten, lässt jedoch auf eine indifferente Auffassung der Beziehung zwischen Natur und Wissenschaft schließen. Wie Höttecke und Rieß (2007) feststellen, wird von einer unmittelbaren Zugänglichkeit der Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler zu den Naturphänomenen ausgegangen. Als Ziel der Naturwissenschaften wird somit eher ein „unspezifisches Beobachten und Begreifen der Natur“ (ebd., S. 4) als eine systematische Durchdringung des Forschungsgegenstandes gesehen.

Damit in Verbindung steht auch der Fokus auf Experiment und Beobachtung als zentrale Methoden der Naturwissenschaften, was eine stark empiristisch geprägte Vorstellung impliziert. Höttecke und Rieß konnten in ihrer Untersuchung erkennen, dass viele Studierende dem „Mythos einer auf Empirie basierenden und Experimente - lastigen Naturwissenschaft“ (ebd., S. 7) nachhängen. Demnach werden zuerst Daten gesammelt und dann daraus Schlüsse gezogen, ergo: das Experiment und nicht die Theorie als Ausgangspunkt naturwissenschaftlicher Forschung betrachtet. Demgegenüber werden Experimente jedoch als „Prüfsteine des Wissens“ betrachtet, da sie die Überprüfung von Theorien und Hypothesen ermöglichen. Höttecke und Rieß konnten jedoch in der Post-Phase ihrer Untersuchung die Ausbildung einer *Kohärenz-Vorstellung*⁴⁴ beobachten. Gemäß dieser müssen „verschiedene Wissensformen (Phänomen-, Experiment-, Instrument- und Theorie-bezogenes Wissen)“ (ebd.) zueinander passen und aufeinander bezogen sein. Diese Vorstellung stellt gewissermaßen einen Mittelweg zwischen den beiden zuvor beschriebenen Ansichten dar.

⁴⁴ Als wissenschaftstheoretisch verwandte Position führen die Autoren die *Duhem-Quine-These* (siehe Abschnitt 3.1.2) an.

Das Spannungsfeld zwischen Theorie und Experiment führt immer wieder zu Uneinigkeiten zwischen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern. Daten benötigen Interpretation und diese ist immer auch von subjektiven Faktoren abhängig. Von Studierenden wird Uneinigkeit oft auf eine mangelhafte Datenlage oder methodische Probleme zurückgeführt (Höttecke & Rieß, 2007; Bentley & Fleury, 1998). Die Objektivität „harter Fakten“, die neue Erkenntnisse hervorbringen sollten, stellt in diesem Zusammenhang ein Idealbild dar, welches sozialkonstruktivistischem Aushandeln und Konsensbildung gegenübersteht. Die letztgenannten Aspekte werden jedoch „nur an der Oberfläche verwendet, konnotativ abgewertet und erscheinen bei genauerer Betrachtung nicht in die Vorstellungen“ (Höttecke & Rieß, 2007) der Studierenden integriert.

Ebenso wird die Rolle der menschlichen Kreativität als subjektiver Faktor in den Naturwissenschaften kaum erfasst (Höttecke & Rieß, 2007). Kreatives Handeln wird als Domäne der Kunst betrachtet, welche als Gegenpol zur Naturwissenschaft fungiert. Die Naturwissenschaften werden dagegen als stark strukturiert, ergebnisorientiert und regelgeleitet beschrieben. Diese, an eingegrenzten Erkenntniswegen orientierte Herangehensweise, schafft in der Vorstellung der Studierenden eine Objektivität und Unvoreingenommenheit gegenüber den Naturwissenschaften, die bis zum Allgemeingültigkeitsanspruch reicht (Bentley und Fleury, 1998). Wie das Verhältnis zu Kunst ist auch die Beziehung zwischen Natur- und Geisteswissenschaften mit einer starken Dichotomievorstellung konnotiert. Wie Höttecke und Rieß (2007) zeigen, wird auch hier ein besonderer Objektivitätsanspruch für die Naturwissenschaften geltend gemacht, wogegen Geisteswissenschaften als von „subjektiven Meinen, Glauben und Empfinden“ (ebd., S. 5) bestimmt beschrieben werden. Die Studierenden hätten die These der *Zwei Kulturen* weitgehend verinnerlicht, so die Autoren. Jedoch würden einige auch die Grenzen der physikalischen Erkenntnisse erkennen.

Dass Naturwissenschaften historisch gewachsen sind und in der Vergangenheit auch von unterschiedlichen externen Faktoren, wie zum Beispiel der Kirche, beeinflusst waren, wird von den Studierenden erkannt (ebd., S. 5ff). Demgegenüber wird „[n]aturwissenschaftliches Denken und Arbeiten [...] bezogen auf die Gegenwart für autonom gehalten“ (ebd., S. 8). Auch wenn die Beeinflussbarkeit der Naturwissenschaften durch Kultur und Gesellschaft prinzipiell akzeptiert wird, so finden sich unter den konkret dafür angeführten Beispielen vorwiegend historische Ausnahmesituationen.

Viele Studierende haben, gemäß der Studie von Reinisch und Krüger (2014), keine klare Vorstellung zu den zentralen wissenschaftstheoretischen Begriffen „Theorie“, „Modell“ und „Gesetz“. Modelle werden von den meisten als vereinfachte Darstellung der Realität aufgefasst (ebd.). Dies ist zwar prinzipiell keine falsche Vorstellung, da nicht von einem kongruenten Abbild gesprochen wird. Jedoch wird der Charakter des „Modellhaften“, in Form, die Tetens (2013) als Strukturgleichheit bezeichnet, nur ungenügend dadurch ausgedrückt. Des Weiteren ist die Vorstellung vorhanden, Gesetze seien besser bewiesen als Theorien. Diese Idee des Gesetzes als

„gereifte Theorie“ findet sich bei Höttecke und Rieß (2007), sowie bei Bentley und Fleury (1998). Ebenso werden Gesetze auch als Formeln aufgefasst (Höttecke & Rieß, 2007). Diese Ansicht scheint spezifisch für Physik-Studierende zu sein, da sie, in der mit angehenden Biologie-Lehrkräften durchgeführten Studie von Reinisch und Krüger (2014), nicht aufscheint. Dort wird jedoch darauf hingewiesen, dass es in der Physik eine Vielzahl von Gesetzen gibt, während in der Biologie vorwiegend von Regeln gesprochen wird. Dies führt dazu, dass die Biologie-Studierenden eher dazu neigten, physikalische oder auch juristische Beispiele für Gesetze anzuführen.

5.2.2 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern

Der Beschäftigung mit den Vorstellungen von Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern wurde bisher noch nicht die Aufmerksamkeit in der fachdidaktischen Forschung zuteil, wie dies bei Schülerinnen und Schülern oder Lehrkräften der Fall ist. Frühere Studien zielten meistens darauf ab, Lehrende an der Universität mit jenen an der Schule zu vergleichen. Dabei konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen diesen beiden Gruppen festgestellt werden (Bayir, Cakici & Ertas, 2014). Im Folgenden werden nun die Ergebnisse zweier neuerer Untersuchungen (Bayir, Cakici & Ertas, 2014; Schwartz & Lederman, 2008) angeführt.

Bayir, Cakici und Ertas (2014) haben in ihrer Untersuchung mit insgesamt 69 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern aus fünf unterschiedlichen Disziplinen (Chemie, Physik, Biologie, Sprachwissenschaften und Geschichte) festgestellt, dass knapp ein Drittel der Probanden, Wissenschaft als „bewiesene Wahrheit“ versteht. Fast die Hälfte gab als Ziel der Wissenschaft das Auffinden von konkreten Beweisen an, um zu wissenschaftlichem Wissen zu gelangen. Ähnliche Vorstellungen konnten auch Schwartz und Lederman (2008) in einer Studie mit 24 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern aus vier unterschiedlichen naturwissenschaftlichen Bereichen feststellen. Zum Beispiel gingen vier Probanden davon aus, dass sich die Wissenschaft asymptotisch immer mehr der Wahrheit annähern würde. Eine überwältigende Mehrheit von 87 Prozent der Probanden von Bayir, Cakici und Ertas (2014) merkte an, dass es „die wissenschaftliche Methode“ gäbe, welche objektiv zur Entdeckung neuen Wissens führen würde. Jedoch unterschieden diese hinsichtlich der Objektivität zwischen Sozial- und Naturwissenschaften, wobei Letztere für besonders objektiv und Erstere für eher subjektiv gehalten wurden. Als besonders wichtig für die Wissenschaften erachteten die Teilnehmer der Studie von Schwartz und Lederman (2008) die Empirie. 70 Prozent führten an, dass wissenschaftliches Wissen auf einer empirischen Basis stehen muss.

Ebenfalls eine breite Zustimmung fand die Aussage, dass Kreativität und Phantasie in der Wissenschaft eine wichtige Rolle spielen (Bayir, Cakici & Ertas, 2014; Schwartz & Lederman,

2008). Aus der Untersuchung von Schwartz und Lederman (2008) ging jedoch hervor, dass Kreativität zwar als Teil des Prozesses der Wissenschaft gesehen wird, aber nicht unbedingt für die Entwicklung von fundierten Aussagen notwendig ist. Wissenschaftliches Tun wurde somit von wissenschaftlichem Argumentieren unterschieden.

Hinsichtlich sozialer und kultureller Gesichtspunkte sprach sich in beiden hier angeführten Studien die Mehrheit der Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler für eine soziale Einbettung von Forschung aus. Bayir, Cakici und Ertas (2014) führen an, dass sich diese Einstellung jedoch unter den Probanden aus den Sozialwissenschaften stärker zeigt als unter jenen aus den Naturwissenschaften. Die Teilnehmerinnen und Teilnehmer der Studie von Schwartz und Lederman (2008) gaben in Bezug auf die gesellschaftliche Beeinflussung der Wissenschaft vorwiegend ökonomische Gründe an. Nur vier der 24 Probanden erkannten den gesellschaftlichen und kulturellen Einfluss auf die Methodik wissenschaftlicher Untersuchungen. Ebenso viele führten eine universelle Wissenschaft als Idealbild an.

In Bezug auf wissenschaftstheoretische Begriffe – konkret Theorien und Gesetze – zeigen sich unterschiedliche Vorstellungen in den Studien von Bayir, Cakici und Ertas (2014) und Schwartz und Lederman (2008). Erstere geben für ihre Stichprobe an, dass sich alle Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler über einen prinzipiellen Unterschied zwischen Gesetzen und Theorien einig waren. Letztere Autoren konnten dies jedoch nur bei einem Drittel ihrer Probanden feststellen. Des Weiteren führte jeweils ein Viertel ihrer Teilnehmerinnen und Teilnehmer an, dass die Definition eines Gesetzes abhängig von der wissenschaftlichen Disziplin ist, aus der es stammt, beziehungsweise, dass es in ihrem jeweiligen Forschungsfeld gar keine Gesetze geben würde. Zudem konnten beide Studien die Vorstellung eruieren, wonach Theorien zu Gesetzen würden, nachdem sie bewiesen worden waren. Diese Aussage wurde jeweils von ungefähr der Hälfte der Probanden vertreten.

Zusammenfassend kommen beide aufgeführten Studien zu dem Schluss, dass Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler - allgemein gesprochen - weder besonders fundierte noch besonders unreflektierte Ansichten zu Nature of Science vertreten. Die jeweiligen Ansichten sind abhängig von der jeweiligen Fragestellung. In Bezug auf die Ziele und Eigenarten sowie die soziale Eingebundenheit der Wissenschaften, die Unterscheidung zwischen Theorien und Gesetzen, die Rolle der Kreativität und die „Theoriegeladenheit“ konnten Bayir, Cakici und Ertas (2014) eher fundierte Einstellungen feststellen. Dagegen wurden hinsichtlich der Existenz einer einheitlichen wissenschaftlichen Methode, der Beziehung zwischen Theorien und Gesetzen, der Veränderlichkeit von Gesetzen und der Subjektivität in den Wissenschaften eher unreflektierte Vorstellungen sichtbar. Darüber hinaus zeigte sich, dass die einzelnen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler jeweils in sich konsistente Meinungen vertreten und sich nicht bei verschiedenen Fragen selbst widersprechen (Lederman & Schwartz, 2008). Abschließend lässt sich festhalten, dass, wie das Vorhandensein unreflektierter Vorstellungen zeigt, die Arbeit in der wissenschaftlichen Forschung

allein nicht ausreicht, um zu fundierten Ansichten über Nature of Science zu gelangen. Schwartz und Lederman (2008) führen dazu an, dass für die meisten ihrer Probanden das philosophisch geprägte Reflektieren über ihre eigene Arbeit neuartig und herausfordernd war.

5.2.3 Zusammenfassung

Dass es zwischen den Vorstellungen von Lehrkräften sowie von Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern deutliche Gemeinsamkeiten gibt, wurde bereits angeführt. Wie jedoch die letzten beiden Abschnitte gezeigt haben, gibt es auch zwischen Studierenden und Lehrenden an der Universität durchaus Überschneidungspunkte. So betonen beide Gruppen die Bedeutung der Empirie, haben ähnliche Vorstellungen von den Zielen der Wissenschaft, halten Naturwissenschaften für objektiver als Geisteswissenschaften und sehen Gesetze als „gereifte Theorien“ (Höttecke & Rieß, 2007) an. Unterschiede zeigen sich vor allem in jenen Bereichen, wo die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler durch ihre eigene Forschungstätigkeit einen Wissensvorsprung haben. So erkennen diese die Rolle von Kreativität und Phantasie in der Forschung und sind sich auch der gesellschaftlichen Einflüsse auf ihre Arbeit - vor allem, was die Vergabe von Forschungsgeldern betrifft - eher bewusst.

Ebenfalls unterscheiden sich die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler in der Konsistenz ihrer Aussagen von den Studierenden. Während Letztere sich in verschiedenen Aussagen selbst widersprechen (Höttecke & Rieß, 2007), sind die Vorstellungen der ersten Gruppe in sich konsistent (Schwartz & Lederman, 2008). Dieser Unterschied könnte auf die langjährige Erfahrung und einer damit einhergehenden besseren Fähigkeit zur Reflexion zurückzuführen sein (ebd.).

5.3 Universität Wien

Nachdem allgemein auf Nature of Science in der universitären Lehramtsausbildung eingegangen wurde, sollte dies noch durch ein konkretes Beispiel veranschaulicht werden. Dazu wird das Lehramtsstudium Physik an der Universität Wien herangezogen. Im Hinblick darauf werden sowohl das Curriculum als auch die angebotenen Lehrveranstaltungen untersucht. Auf curricularer Ebene ist momentan eine österreichweite Umstellung vom Diplomstudium auf das durch den Bologna-Prozess initiierte Bachelor-Master-System im Gange. An der Universität Wien wurde ab dem Wintersemester 2014/15 auf das neue System umgestellt, das Diplomstudium kann aber noch bis 2020 abgeschlossen werden. Für die folgende Analyse sollen beide Curricula in Betracht gezogen werden.

5.3.1 Curriculum

Im Curriculum des auslaufenden Diplomstudiums wird Nature of Science nicht explizit erwähnt. Dem ist jedoch hinzuzufügen, dass die Inhalte der aufgelisteten Lehrveranstaltungen generell nicht näher erläutert werden. Im Qualifikationsprofil wird die Bedeutung der Naturwissenschaften und der Mathematik „für die Entwicklung der Philosophie und der Wissenschaftstheorie“ (Universität Wien, 2002, S. 2) betont. Diese fächerübergreifenden Kompetenzen werden im Bereich der Wahlfächer situiert. Dort wird angeführt, dass unter anderem „Wissenschaftstheorie, Wissenschaftsgeschichte [und] Erkenntnistheorie“ (ebd., S. 38) zur Verbreiterung des Studiums geeignet wären.

Das Curriculum für den Bachelor⁴⁵ geht bei der Verlautbarung der Studienziele ebenfalls implizit auf Nature of Science ein, da „auch die Auseinandersetzung mit den Möglichkeiten und Grenzen der Forschung, ihrer Gesellschaftsrelevanz [sowie] der Historie und der Philosophie der Physik“ (Universität Wien, 2016, S. 2) gefordert wird. Darüber hinaus findet sich der Begriff „Nature of Science“ auch explizit im Rahmen des Moduls „Fachdidaktik der Physik II“ wieder. Dieses besteht aus dem zweiten Teil des Schulversuchspraktikums und einem dazugehörigen Begleitseminar. Die Studierenden sollten dabei „die Rolle des Experiments im physikalischen Erkenntnisgewinn als ein wichtiges Element der ‚Nature of Science‘ erfassen“ (ebd., S. 10).

Aufbauend auf den Bachelor wird in Zukunft auch ein Masterstudiengang angeboten werden, zu dem aktuell jedoch nur ein Teilcurriculum verfügbar ist. Dieses enthält (noch) keine expliziten Hinweise auf Nature of Science, ist aber auch noch nicht vollständig ausgearbeitet (Universität Wien, 2015a). Es werden aktuell auch noch keine Lehrveranstaltungen für den Master angeboten.

5.3.2 Lehrveranstaltungen

Der Überblick über die curriculare Situation lässt vermuten, dass Nature of Science an der Universität Wien eher wenig Stellenwert zugemessen wird. Jedoch besteht durchaus die Möglichkeit, dass die Lehrpraxis von den Vorgaben abweichen kann. Eine kurze Darstellung der aus den Vorlesungsverzeichnissen zu entnehmenden Lehrveranstaltungen der letzten Jahre sollte nun darüber Klarheit schaffen, wie sich die praktische Umsetzung wirklich gestaltet. Als Beispiel wird die Fakultät für Physik herangezogen.

⁴⁵ Dieses wurde im Verbund Nord-Ost gemeinsam mit der Pädagogischen Hochschule Niederösterreich, der Pädagogischen Hochschule Wien und der Kirchlichen Pädagogischen Hochschule Wien/Krems beschlossen.

Das umfangreichste Lehrangebot in Bezug auf Nature of Science stellt dort das Erweiterungscurriculum *Naturwissenschaftliches Denken: Fallbeispiele, Grundlagen und Einflüsse*. Dieses besteht aus den drei Modulen:

- *Naturwissenschaftliche Methode und Praxis*
- *Denkrevolutionen: Quanten und Evolution*
- *Facetten der Naturwissenschaft und Wechselwirkung mit der Gesellschaft*

Innerhalb der Module gibt es dann teilweise noch Wahlmöglichkeiten zwischen verschiedenen Schwerpunkten, die zum Beispiel geschichtlich oder sozialwissenschaftlich ausgerichtet sein können. Das ganze Erweiterungscurriculum ist interdisziplinär in Kooperation mit Biologie und Chemie aufgebaut. Es richtet sich vor allen an Studierende, die „in ihrem beruflichen Umfeld mit der gesellschaftlichen Relevanz von Naturwissenschaften als Kulturleistung konfrontiert sein können“ (Universität Wien, 2015b). Dies trifft auf Lehrkräfte sicherlich zu.

Darüber hinaus gab es in den letzten Jahren noch einige weitere Lehrveranstaltungen, die sich mit dem Thema Nature of Science oder einem Teilbereich beschäftigen. Allerdings wurden einige davon nur ein einziges Mal angeboten. So zum Beispiel das einzige Seminar, welches sich explizit mit dem Thema in Bezug auf den Schulunterricht auseinandergesetzt hat: „*Was ist eigentlich Physik?*“ – Die „*Natur*“ der Naturwissenschaften im Physikunterricht. Dabei beschäftigten sich die Studierenden durch Textlektüre und Diskussion mit Forschungsergebnissen zu NOS und entwickelten im Anschluss daran Unterrichtskonzepte. Des Weiteren wurden Präkonzepte und Testinstrumente zu Nature of Science thematisiert. *Forschendes Lernen in der Schule* war ebenfalls eine einmalig angebotene Lehrveranstaltung. Dieses Seminar behandelte theoretische Grundlagen zu *Inquiry Based Learning* sowie deren Umsetzung in konkrete Unterrichtssituationen. Genau genommen wurde dieses Seminar jedoch von der Fakultät für Chemie angeboten, es war aber auch für Lehramtsstudierende der Physik zugänglich.

Eine weitere fachdidaktische Lehrveranstaltung, welche den Fokus vor allem auf die Verbindung mit der Philosophie legte, war das Seminar *Physik und Weltanschauung*. Dabei ging es um die Wechselwirkung zwischen Physik und Philosophie vom 18. bis ins 20. Jahrhundert. Ziel des Seminars sollte ein Verständnis der Schlüsselrolle der Physik als allgemeinbildendes Fach in der AHS sein. In diesem Zusammenhang sei noch einmal auf den bereits erwähnten Beitrag von Gräber (1999) zu Scientific Literacy hingewiesen.

Als letzter Beitrag in diesem Zusammenhang ist die Vorlesung *Geschichte der Physik* erwähnenswert, welche einen Bogen von der Antike bis in die Gegenwart spannen will. Außerdem wird auf die Geschichte der Physik an der Universität Wien eingegangen und die Sammlung historischer Messinstrumente der Fakultät präsentiert. Diese Vorlesung wurde in den letzten Jahren regelmäßig angeboten.

Zusammenfassend lässt sich behaupten, dass sich das Lehrangebot an der Fakultät für Physik der Universität Wien im Hinblick auf Nature of Science ausgiebiger gestaltet, als das die Durchsicht der Curricula hätte vermuten lassen. Die hier vorgestellten Lehrveranstaltungen decken einen großen Teil der Aspekte der Natur der Naturwissenschaften ab. Es wäre jedoch sicherlich von Vorteil, würden diese regelmäßiger als nur einmalig oder jedes zweite Semester angeboten.

5.3.3 Das Projektpraktikum

Eine bisher nicht erwähnte Lehrveranstaltung zu Nature of Science an der Universität Wien wird nun genauer untersucht. Dabei handelt es sich um die Lehrveranstaltung *Projektpraktikum - Vorbereitung und Durchführung eines interdisziplinären Projekts zur Nutzung von Solarenergie in einer Region und Auswertung der Ergebnisse gemeinsam mit einer HTL*. Projektpraktika sind üblicherweise Lehrveranstaltungen, die das Studienfach mit konkreter Arbeit in der Schule verbindet. So bereitet man zum Beispiel einen Inhalt oder ein wissenschaftlich aktuelles Forschungsthema für eine Klasse auf, probiert die entworfenen Konzepte in der Praxis aus und reflektiert dann über deren Erfolg. Im hier konkret betrachteten Beispiel wurde unter anderem versucht, das Thema Energiespeicher für den Schulunterricht aufzuarbeiten und dazu Lernumgebungen zu gestalten. Des Weiteren erfolgte eine Auseinandersetzung mit den Projektergebnissen der HTL.

Die Lehrveranstaltung umfasste wöchentlich sechs Stunden und es nahmen acht Studierende, darunter der Verfasser dieser Arbeit, daran teil. Das Seminar wurde im Zusammenhang mit dem, vom Bundesministerium für Wissenschaft, Forschung und Wirtschaft geförderten, Sparkling Science Projekt *SOLARbrunn – Mit der Sonne in die Zukunft* durchgeführt. Schülerinnen und Schülern der fünften Klassen der HTL Hollabrunn konnten dabei – im Rahmen ihrer Abschlussarbeiten - selbst auf dem Gebiet der nachhaltigen Energienutzung forschend tätig werden. Konkret ging es um die Umwandlung des örtlichen Kindergartens in ein *green building*. Die Schülerinnen und Schüler mussten dabei mit Hilfe ihrer Lehrkräfte jeweils eine Problemstellung abgrenzen, Forschungsfragen entwickeln und sich methodische Zugänge überlegen.

Entscheidende Themen waren zum Beispiel die Versorgung mit Warmwasser oder die viel zu hohe Raumtemperatur im Kindergarten. Da die Schülerinnen und Schüler an der HTL jeweils unterschiedliche Ausbildungsschwerpunkte (Elektronik, Elektrotechnik, Maschinenbau oder Wirtschaftsingenieurwesen) hatten, variierten die konkreten Themen dementsprechend. Alle Schülerinnen und Schüler aus einer Sparte - die ihre Diplomarbeit im Rahmen des Projekts verfassten - bildeten jeweils eine Gruppe, die mit zwei Studierenden zusammenarbeitete. Am Beginn des Semesters präsentierten die Schülerinnen und Schüler ihre Arbeiten und konnten im

Anschluss gemeinsam mit den Studierenden über den Forschungsaspekt ihrer Arbeit reflektieren. Dies war jedoch auch der einzige direkte Kontakt zwischen den Schülerinnen und Schülern und den Studierenden. Im Laufe des Semesters waren die Studierenden noch zwei Mal an der HTL: einmal zur Abschlussveranstaltung des Projektes und einmal zu den Projektpräsentationen im Rahmen der mündlichen Matura. Die Studierenden hatten dabei jedoch nur eine beobachtende Rolle. Grund für den geringen Austausch zwischen Studierenden und Schülerinnen und Schülern war, dass letztere bereits zu Beginn des Semesters mit ihren Arbeiten so gut wie fertig waren und es deshalb nur noch sehr beschränkte Gestaltungsmöglichkeiten gab.

Das Projektpraktikum verfolgte drei konkrete Ziele:

1. „Entwicklung und Durchführung eines Designs für Forschendes Lernen, um die Möglichkeiten zum Erreichen von Energieautarkie 2030 in der Gemeinde Hollabrunn auszuloten (gemeinsam mit den SchülerInnen, LehrerInnen der HTL-Hollabrunn sowie gemeinsam mit den ForscherInnen der Fakultät für Physik)
2. Gewinnen eines realistischen Einblick in das Wesen und die Forschungspraxis der Naturwissenschaft sowie der Sozialwissenschaft (Nature of Science, NOS).
3. Entwicklung von Unterrichtsmaterialien für forschendes Lernen auf Basis der Forschungserfahrungen im Projekt.“⁴⁶

In der ersten Einheit der Lehrveranstaltung erhielten alle Studierenden einen Fragebogen, der ausgewählte Aspekte von Nature of Science beinhaltete und die Vorstellungen der Studierenden dazu erheben sollte. Dadurch sollte ermittelt werden, welches Bild Physikstudierende von Wissenschaft und Forschung haben. Die Studierenden erhielten auch den Auftrag im Laufe des Semesters regelmäßig eine Reflexion zu verfassen, wenn sich ihre Ansichten aus dem Fragebogen ändern sollten.

Ein weiteres Element des Seminars war die Beschäftigung mit Kindergärten, welche möglicherweise ähnliche Probleme mit dem Raumklima hatten wie jener in Hollabrunn. Dazu erhielten die acht Studierenden jeweils ein österreichisches Bundesland (außer Wien) zugewiesen, in dem sie nach Kindergärten, die in den letzten zehn Jahren gebaut worden waren, recherchieren sollten. Nachdem online, über Gemeinden, Architekten oder Bauträger einige Kindergärten für jedes Bundesland ermittelt worden waren, ging es daran, einen Fragebogen zu erarbeiten. Dieser sollte zentrale Problemstellungen, wie Raumtemperatur oder Luftqualität, aber auch die Zusammenarbeit zwischen Architekten, dem Bauträger und den Kindergartenpädagoginnen ermitteln. Der Fragebogen wurde nach Diskussionen in der Gruppe mehrfach überarbeitet und schließlich an die einzelnen Kindergärten per Email verschickt. Dabei wurde darum gebeten, diesen

⁴⁶ Vorlesungsverzeichnis Sommersemester 2016, Universität Wien, URL: <https://ufind.univie.ac.at/de/course.html?lv=260181&semester=2016S>

entweder ausgefüllt zurückzusenden oder in einem Telefoninterview mit den Studierenden zu besprechen.

In Zusammenhang mit den Problemstellungen des Kindergartens beschäftigen sich die Studierenden in der Lehrveranstaltung vorwiegend mit Energiespeichern, wobei allen eine unterschiedliche Speicheroption zugewiesen wurde. Dabei wurden zuerst Kenngrößen an den einzelnen Beispielen erarbeitet, um diese dann für jegliche Art eines Energiespeichers zu verallgemeinern.

Da der Forschungsprozess im Mittelpunkt stand, wurden die Aufgaben an die Studierenden dementsprechend gestellt. Eine konkrete Problemstellung aus dem Kontext des Kindergartens Hollabrunn war die Überlegung, die Heizung nur mit dem günstigeren Nachtstrom zu betreiben und somit Kosten zu sparen. Dafür würde die Anschaffung einer Energiespeicherlösung notwendig werden. Die Studierenden sollten deshalb aus den unterschiedlichen Energiespeichern, mit denen sie sich im Seminar beschäftigt haben, eine möglichst ideale Lösung für den Kindergarten auswählen. Dabei wurden anhand der erarbeiteten Kenngrößen die Anzahl der potentiellen Energiespeichermöglichkeiten immer weiter reduziert. Im Endeffekt sind dann ein elektrischer und ein thermischer Energiespeicher mittels kleinerer Experimente genauer untersucht worden: den thermische Energiespeicher modellierten die Studierenden experimentell im kleinen Maßstab und maßen dabei die Abkühlkurve; in einem anderen Versuch wurden die Ladezyklen von einfachen AA-Akkus untersucht. Schließlich konnten beide Energiespeicher anhand der ermittelten Daten auf eine im Kindergarten anwendbare Größe (überschlagsmäßig) hochskaliert und verglichen werden.

Ein weiteres Vorhaben, das jedoch über den Kontext des Kindergartens hinaus ging war der Bau einer Leuchtboje, welche circa zehn Tage im Wasser schwimmen und dabei blinken sollte. Die Studierenden konnten ihr bereits bei den Energiespeichern erworbenes Wissen anwenden und daher alle Teile des Versuchs, von der theoretischen Konzeption, dem Bau der Boje bis hin zur Durchführung des Experiments selbst, gestalten. Dadurch sollte, wenn auch in kleinem Maßstab klar werden, wie in der Forschung gearbeitet wird. Der Versuch wurde im Team gemeinsam geplant und durchgeführt, was der Arbeitsweise in der Forschung ebenso nahekommt.

Aus den Erkenntnissen der Beschäftigung mit Energiespeichern sollten darüber hinaus auch Lernumgebungen erstellt werden, in denen die Methode des *Inquiry Based Learning* Anwendung findet. Dabei wandten sich wiederum alle Studierenden dem jeweiligen Energiespeicher zu, mit dem sie sich bereits im Vorfeld auseinandergesetzt hatten. Als Input wurden theoretische Grundlagen aus der Fachdidaktik zu Inquiry Learning besprochen. Nachdem ein erster Entwurf fertig gestellt war, sollte darüber reflektiert werden, inwiefern dieses Unterrichtskonzept bereits einem offenen, schülerzentrierten Lernen entsprach und wo noch eher „klassischer“, lehrkraftzentrierter Unterricht eingesetzt wurde. Darauf erfolgte eine Überarbeitung der Konzepte.

Den Abschluss des Seminars bildete ein Gespräch mit der Lehrveranstaltungsleiterin, in dem primär die Reflexionen der Fragen aus dem Fragebogen im Vordergrund stand. Die Studierenden

sollten dabei ihren Lernfortschritt und ihre Ansichten zu diesem Thema noch einmal überdenken. Dabei wurde auch über die Tätigkeiten im Praktikum, insbesondere die dabei durchgeführten Experimente, reflektiert. Den Studierenden sollten dadurch der Transfer ihres eigenen Tuns auf die Metaebene gelingen und somit ein besseres Verständnis von Forschungsprozessen und wissenschaftstheoretischen Überlegungen ermöglicht werden.

6 Forschungsdesign

Gegenstand der Untersuchung ist das im vorigen Kapitel dargestellte Projektpraktikum. Aus den in diesem Kontext erhobenen Daten sollten Vorstellungen zu Nature of Science erhoben werden. Die Auswertung der Daten erfolgt mittels Qualitativer Inhaltsanalyse, welche kurz dargestellt wird. Abschließend erfolgt eine Reflexion über die Aussagekraft des methodischen Vorgehens. Dabei soll, im Hinblick auf die im nächsten Kapitel folgende Darstellung der Ergebnisse geklärt werden, welche Aussagen die Datenlage zulässt und worüber keine Rückschlüsse gezogen werden können.

6.1 Forschungsfragen

Im Zuge dieser Arbeit sollte anhand der Lehrveranstaltung *Projektpraktikum - Vorbereitung und Durchführung eines interdisziplinären Projekts zur Nutzung von Solarenergie in einer Region und Auswertung der Ergebnisse gemeinsam mit einer HTL* folgendes evaluiert werden:

1. Welche Vorstellungen haben die teilnehmenden Physik-Lehramtsstudierenden zum Thema Nature of Science?
2. Haben sich ihre Ansichten zu und ihr Verständnis von Nature of Science durch die Teilnahme an der Lehrveranstaltung verändert und wenn ja, inwiefern?

Im Detail sind dabei folgende Teilbereiche von Nature of Science zu berücksichtigen:

- Bedeutung wissenschaftstheoretischer Begriffe
- Ontologie, beziehungsweise Vorstellung von der Natur des Wissens
- Experiment und Methodik der Naturwissenschaften
- Dynamik der Naturwissenschaften: soziale, kulturelle, gesellschaftliche und subjektive Aspekte
- Ziele und Eigenarten der Naturwissenschaften⁴⁷

⁴⁷ Diese Gliederung wurde Höttecke & Rieß (2007) entnommen.

6.2 Forschungsmethode

6.2.1 Auswahl der Stichprobe

Bei den Probanden der Analyse handelt es sich um Lehramtsstudierende der Universität Wien mit dem Unterrichtsfach Physik. Alter und Geschlecht, sowie das zweite Unterrichtsfach der Probanden sind in Tabelle 2 ersichtlich. Zudem lässt sich erkennen, dass zum Zeitpunkt des Seminars alle Studierenden bereits in der Endphase ihres Studiums angelangt sind. Die Probanden haben alle im Sommersemester 2016 am Seminar *Projektpraktikum - Vorbereitung und Durchführung eines interdisziplinären Projekts zur Nutzung von Solarenergie in einer Region und Auswertung der Ergebnisse gemeinsam mit einer HTL* teilgenommen, welches bereits eingehend beschrieben wurde (siehe Abschnitt 5.3.3). Der Vollständigkeit halber sei hinzugefügt, dass insgesamt acht Studierende am Seminar teilgenommen haben, wobei es sich bei dem nicht in Tabelle 2 aufgeführten Studenten um den Verfasser dieser Arbeit handelt.

	Semester	Alter	Geschlecht	Zweifach
P1	7	25	m	Psychologie und Philosophie
P2	8	22	m	Mathematik
P3	9+	25	m	Mathematik
P4	k.A.	k.A.	m	Mathematik
P5	8	23	w	Mathematik
P6	9+	25	m	Geografie und Wirtschaftskunde
P7	9+	23	w	Mathematik

Tabelle 2: Probandendaten (k.A. = keine Angabe vorhanden)

Um eine möglichst objektive Herangehensweise zu ermöglichen, wurden die Aussagen des Verfassers nicht in die Analyse miteinbezogen und die Probandengruppe somit ein wenig eingeschränkt. Es sei trotzdem darauf hingewiesen, dass eine gewisse Voreingenommenheit, aufgrund der persönlichen Teilnahme am Seminar, nicht auszuschließen ist. Schließlich war das Praktikum recht zeitintensiv und ich habe alle Kolleginnen und Kollegen zweimal die Woche gesehen. Dabei entstehen natürlich automatisch Gespräche und eine gewisse kollektive Meinungsbildung in der Gruppe. Zudem ist mein Blick auf die Daten durch den persönlichen Kontakt mit den Probanden sicherlich ein anderer als der einer außenstehenden Person.

Die Probandengruppe hatte durchaus bereits Vorerfahrungen mit Nature of Science, welche in Punkt 1 des Fragebogens ermittelt wurden. Diese Frage war nicht zwingend zu beantworten, wurde aber trotzdem von allen Probanden mit einer Antwort bedacht. Zwei der Studierenden gaben dabei die experimentellen Praktika in Physik an, welche ihnen etwas zur Arbeitsweise der Physik vermittelt haben (P2, P3). Hier ist jedoch hinzuzufügen, dass alle Studierende diese Praktika als Pflichtveranstaltung im Laufe ihres Studiums besuchen mussten. Eine Studierende nennt ein Seminar zu Mechanik, welches die Prozesshaftigkeit von Naturwissenschaften thematisierte (P6). Weiters wurden Medien, wie Bücher, Webseiten oder Zeitschriften angeführt (P1, P3). Nur eine einzige Person hatte im Philosophiestudium eine Lehrveranstaltung besucht, welche sich explizit mit dem Thema, genauer gesagt mit Wissenschaftsphilosophie, beschäftigt hatte (P1). Ebenfalls im Zweitfach hatte sich ein weiterer Studierender mit subjektiven Wahrheiten beschäftigt (P6). Eine der Studierenden gab an, sie habe sich mit Nature of Science durch Naturbeobachtungen auseinandergesetzt (P5). Insgesamt ist jedenfalls erkennbar, dass im Rahmen des Physikstudiums keine einzige Lehrveranstaltung besucht wurde, welche NOS explizit thematisiert hätte. Wie in Abschnitt 5.3.2 gezeigt, wäre dies – wenn auch nicht vom Curriculum explizit verlangt - zumindest in gewissen Semestern durchaus möglich gewesen.

6.2.2 Methode der Datensammlung

Alle in der Analyse verwendeten Daten sind im Rahmen des Projektpraktikums entstanden. Bereits in der ersten Einheit der Lehrveranstaltung wurde den Studierenden ein „Erhebungsbogen zu deinen Vorstellungen über ausgewählte Aspekte der ‚Natur der Naturwissenschaften‘“ ausgeteilt. Ziel dieses Fragebogens war es, die Vorstellungen von Physikstudierenden über Wissenschaft und Forschung zu ermitteln.

Der Fragebogen basiert auf *Views of Nature of Science (VNOS)* (Lederman, Abd-El-Khalick, Bell & Schwartz, 2002), einem Standard-Testinstrument, um Vorstellungen über Nature of Science zu erheben. Es handelt sich dabei um eine offene Form eines Fragebogens, der schriftlich am Papier ausgefüllt wird. Es existieren bereits mehrere Versionen dieses Testinstruments, wobei dem hier verwendeten Fragebogen die Versionen *VNOS-C* und *VNOS-D+* zugrunde liegen. Dabei stammen die Fragen 2 bis 7 sowie 13 bis 15 aus *VNOS-D+* und die Fragen 8, 11, 12 und 16 aus *VNOS-C*. Für das Seminar wurden Elemente einer deutschen Übersetzung der verwendet. Die Übersetzung erfolgte durch Irene Zilker, eine Erweiterung und Anpassung durch Anja Lembens vom *AECC Chemie* der Universität Wien. Im Rahmen dieser Ergänzung wurden die Fragen 1, 9 und 10 hinzugefügt. Die Lehrveranstaltungsleiterin des Projektpraktikums Ilse Bartosch und die

Projektmitarbeiterin und Lehrende Roswitha Avalos Ortiz, haben diese Version dann noch einmal in Hinblick auf physikalische Fragestellungen geringfügig adaptiert.

Der Fokus der Fragen liegt auf der Natur des Wissens (*Ontologie*), Begriffen der Wissenschaftstheorie wie Modell, Theorie und Experiment sowie der naturwissenschaftlichen Methodik. Auch Lederman et al. (2002) haben den Schwerpunkt auf die Natur des Wissens gelegt. Nicht explizit evaluiert wurden dagegen Vorstellungen zu Erkenntnistheorie (*Epistemologie*) und zur Rolle der *Scientific Community*. Der ausgefüllte Fragebogen wurde abgesammelt, eingescannt und den Studierenden zurückgegeben.

Auf dieser Basis waren die Studierenden dazu angehalten, im Laufe des Semesters über die Fragen des Prä-Tests in Form eines Journals zu reflektieren. Dabei sollten sie vor allem darauf eingehen, wie sich ihre Ansichten zu unterschiedlichen Aspekten durch die konkrete Auseinandersetzung mit den Seminarinhalten verändert haben. Die Reflexionen sollten gesammelt und im Rahmen des Portfolios, das am Ende des Semesters abgegeben werden musste, zusammengefasst werden.

Die Abgabe des Portfolios war schließlich Voraussetzung und Grundlage der abschließenden Interviews mit den Probanden, welche am Ende des Seminars von der Lehrveranstaltungsleiterin Ilse Bartosch geführt wurden. Es wurde absichtlich kein klassisches Prä-Post-Verfahren – wo am Anfang und Ende des Seminars derselbe Fragebogen verwendet wird – angewandt, da dies bei der kleinen Stichprobe nicht aussagekräftig genug gewesen wäre. Basis des Gesprächs sollten die Fragen des Prä-Tests und die verfassten Reflexionen mit dem Ziel sein, Unklarheiten aus den Reflexionen zu klären und wichtige Fragen noch einmal zu reflektieren. Die Interviews wurden mit dem Mikrophon aufgenommen und für die Analyse transkribiert. Sie wurden jedoch nicht vollständig transkribiert, sondern nur jene Teile, die in konkreten Bezug mit dem Fragebogen standen verschriftlicht.

6.2.3 Darstellung der Datenlage

Der Fragebogen wurde von allen Studierenden vollständig ausgefüllt und ist somit als kompletter Datensatz vorhanden.

Bei den Reflexionen variiert die Quantität der Daten innerhalb der Probandengruppe. In den Portfolios findet sich bei sechs der sieben Studierenden ein Abschnitt, wo entweder in zusammenhängender Textform oder in direkter Bezugnahme auf einzelne Fragen des Prä-Tests über Nature of Science reflektiert wurde. Bei der letztgenannten Variante wurde auf wesentlich mehr Fragen Bezug genommen als wenn ein durchgängiger Text verfasst worden war. Der

Datensatz ist somit nur teilweise vollständig, da es nicht zu jedem Element des Fragebogens auch eine Antwort von allen sieben Probanden gibt. Im Schnitt waren es nur drei bis vier pro Frage. Die Fragen 3, 5b, 5b, 6a, 6b und 8a wurden nur von einer oder zwei Person(en) beantwortet, 5a und 8b von gar niemand.

Auch bei den Interviews variiert die Dauer zwischen den Studierenden sehr stark. Dies resultierte vor allem in der unterschiedlichen Bereitschaft der Probanden, von sich aus über ein bestimmtes Thema zu reflektieren. Wenn die Probanden nicht von selbst mehr zu einem Thema zu sagen hatten, leitete die Lehrveranstaltungsleiterin das Gespräch eher in eine andere Richtung oder verkürzte das Interview ein wenig, um nicht in ein Fragen-entwickelndes Gespräch zu gelangen. Daher ist der Datensatz auch bei den Interviews etwas eingeschränkt: zu 4, 5c, 6a, 6b, 8a, 9, 11, und 15 gibt es von einer oder zwei Person(en) eine Antwort, zu 5a, 5b, 7 und 13b gar keine.

Inhaltlich ist auf die Aktivitäten im Seminar und wie sich bestimmte Aspekte dort niedergeschlagen haben, verstärkt eingegangen worden. Beispielsweise, welcher Modellbildungsprozess bei den Überlegungen zu Energiespeicherkonzepten durchlaufen worden ist. Dadurch sollte ein Abstraktionsprozess angeregt werden, um schließlich die Bedeutung des eigenen Vorgehens im Seminar mit wissenschaftstheoretischen Fragestellungen in Verbindung zu bringen. Darüber hinaus ist, insbesondere, wenn es um die Unterscheidung von Naturwissenschaften zu anderen Wissenschaften ging, teilweise auch die Pädagogik miteinbezogen worden. Dies sollte ebenfalls einer Veranschaulichung und besseren Zugänglichkeit der zum Teil eher abstrakt gehaltenen Fragen dienen. Ebenso wurden zu diesem Zweck historische Beispiele, wobei es sich um Personen, Ideen oder Forschungsprogramme handeln konnte, herangezogen.

6.2.4 Methode der Datenauswertung

Die Datenauswertung erfolgte nach dem Konzept der Qualitativen Inhaltsanalyse, welche erstmals Anfang der neunzehnjähriger Jahre diskutiert wurde. Dabei sind vor allem die Publikationen von Rust und Mayring zu nennen (Lamnek, 2010, S. 460). Die folgende Darstellung orientiert sich an der Methode Mayrings, welche seither eine breite Anwendung in verschiedensten Bereichen wie Psychologie, Pädagogik und Soziologie (Mayring, 2015, S. 7) oder auch in der fachdidaktischen Forschung (Gropengießer, 2005) gefunden hat.

Laut Lamnek bringt der „wissenschaftlich kontrollierte Nachvollzug alltagsweltlicher Konzepte durch ein Verfahren der qualitativen Inhaltsanalyse ein empirisch relevantes wissenschaftliches Konzept, eine Theorie über die soziale Wirklichkeit hervor“ (Lamnek, 2010, S. 462). In Folge dessen scheint die Methode besonders für die Erfassung von Lernendenvorstellungen in der

fachdidaktischen Forschung geeignet und bietet sich daher für die Verwendung im Rahmen dieser Arbeit an.

Ziel einer Inhaltsanalyse ist eine Untersuchung von, durch kommunikative Prozesse generiertem, Material. Dieses Material muss fixiert, d.h. in irgendeiner protokollarischen Form festgehalten sein. Die Analyse hat systematisch, von Regeln und Theorie geleitet, zu erfolgen. Schlussendlich sollten Rückschlüsse auf einen bestimmten Aspekt der Kommunikation gezogen werden können (Mayring, 2015, S. 11ff). Dabei ist möglichst die volle Komplexität des Untersuchungsgegenstands abzubilden. Dies kann nur mittels qualitativer Analyse gelingen, da eine quantitative Analyse immer eine starke Reduktion auf bestimmte Variablen hin mit sich bringt. Qualitative Studien orientieren sich bei der Untersuchung am Besonderen und wollen dieses nicht nur erklären, sondern auch verstehen. Dementsprechend zeichnen sich diese in der Regel durch kleine Stichproben aus, welche eine detaillierte Analyse von Einzelfällen zulassen (ebd., S. 19ff).

Zur erwähnten Systematik gibt Mayring eine Abfolge von nacheinander durchzuführenden Einzelschritten an, welche jedoch nicht starr, sondern „an den konkreten Gegenstand, das Material angepasst sein und auf die spezifische Fragestellung hin konstruiert werden“ (Mayring, 2015, S. 51) sollte. Deshalb muss im Vorhinein ein *Ablaufmodell* festgelegt werden, welches die genaue Vorgehensweise und die einzelnen Analyseschritte definiert. Dass dieses schon im Vorhinein festgelegt wird, macht die Analyse nachvollziehbarer und intersubjektiv. Das Ablaufmodell kann und muss teilweise aber auch im Laufe der Analyse weiter modifiziert werden. Zu Beginn ist es jedenfalls notwendig drei *Analyseeinheiten* festzulegen:

- *Kodiereinheit*: kleinster zu analysierender Materialbestandteil
- *Kontexteinheit*: größter kategorisierbarer Materialbestandteil
- *Auswertungseinheit*: Menge an gemeinsam auszuwertenden Materialbestandteilen

Aus diesen drei Einheiten muss theoriegeleitet ein *Kategoriensystem* entwickelt werden, mit Hilfe dessen die Textteile bestimmten, aus der Theorie folgenden Einheiten, zugeteilt werden können (ebd., S. 61).

Bevor man nun an die Analyse herantritt gilt es noch zu entscheiden, welche Analysetechnik verwendet werden sollte. Diese hängt unmittelbar mit dem zum analysierenden Material und der daraus entwickelten Fragestellung zusammen. Auch wenn es eine Vielzahl an verschiedenen Techniken gibt, lassen sich diese im Allgemeinen auf eine der drei folgenden Grundformen zurückführen:

Sollte das Material reduziert werden, um ein überschaubares, aber immer noch aussagekräftiges Abbild zu erhalten, bedient man sich einer *Zusammenfassung*.

Im umgekehrten Fall, wenn das vorhandene Material ergänzt und ausgedeutet werden soll, spricht man von *Explikation*.

Eine *Strukturierung* wird vorgenommen, wenn man bestimmte Aspekte herausarbeiten oder einen Querschnitt durch das Material erstellen will.

Entsprechend der gewählten Analysetechnik gestaltet sich dann im Folgenden der konkrete Ablauf (ebd., S. 67).

6.2.5 Vorgehensweise bei der Datenanalyse

Die Antworten der Studierenden aus den Fragebögen konnten aufgrund der überschaubaren Gruppengröße vollständig kodiert werden. Dazu erfolgte zuerst die Transkription der einzelnen Antworten, wobei es zu keiner inhaltlichen Veränderung kam. Die Textstellen wurden entsprechend der einzelnen Fragen gruppiert und bildeten somit die Auswertungseinheit der ersten Analyse. Jeder Auswertungseinheit wurde dann einer der fünf, im Rahmen der Forschungsfrage definierten, Bereiche von Nature of Science zugeordnet. Im Weiteren erhielt jede Stellungnahme eine deduktive Kodierung, welche sich stark an dem jeweiligen NOS-Bereich und somit an der Forschungsfrage orientierte. Wo sich Überschneidungen innerhalb der Kodierungen einer Auswertungseinheit ergaben, wurden diese zusammengefasst. Dadurch entstand bereits eine erste Reduktion des Materials. Aus den Kodierungen erfolgte dann die Explikation der Vorstellungen und Ansichten der Studierenden zu Nature of Science. Eine vollständige Liste aller Probandenaussagen inklusive Kodierung findet sich in Anhang A.2. Zum besseren Veranschaulichung sei hier nur ein Beispiel anzuführen:

Äußerung einer Probandin: „*Sie [die Experimente] sind insofern wichtig, da mit Hilfe dieser nur überprüft werden kann, ob diese z.B. Theorie wirklich gut ist oder nicht. In der Theorie kann man sich vieles ausdenken.*“

Kodierung: Experimente überprüfen Theorien

Vorstellung: Experimente werden als "Prüfstein des Wissens" betrachtet. Theorien alleine sind nicht ausreichend, da sie der Phantasie des Menschen entspringen.

Die so gewonnenen Vorstellungen der Probanden wurden dann – entsprechend der fünf in der Forschungsfrage definierten Bereiche von Nature of Science – neu gruppiert. Dadurch entstanden fünf Kontexteinheiten. Es hat sich dabei jedoch gezeigt, dass einzelne Vorstellungen nicht ganz ideal in den ihrer Frage zugeteilten NOS-Bereich passten. Deshalb wurden diese Elemente in eine andere der fünf Gruppen verschoben, wo sie in einem klareren Kontext standen. Im Vergleich mit der gesamten Datenmenge ist dies jedoch nur in geringem Umfang geschehen.

Innerhalb der Kontexteinheiten wurden darauf Cluster von gleichen oder sehr ähnlichen Aussagen gebildet. Diese Zusammenfassung hatte eine weitere Reduktion des Materials zum Zweck. Es sei jedoch noch hinzuzufügen, dass nicht alle Vorstellungen gruppiert werden konnten, da manche schlichtweg für sich alleine standen. Diese sind daher zum großen Teil aus der Analyse herausgefallen. Einige vereinzelte sollten jedoch als „Ausreißer“ doch noch Eingang in die Darstellung der Ergebnisse finden und der mehrheitlichen Meinung gegenübergestellt werden. Die vorherrschende Meinung wird dadurch kontrastiert und schärfer eingegrenzt. Schließlich wurden alle Aussagen, die derart zusammengefasst waren, mit einer einzigen, übergreifenden Aussage beschrieben. Auf diese Weise blieben pro Kontexteinheit drei bis sechs Aussagen übrig. Zur Veranschaulichung wurde noch jeder dieser Aussagen ein Ankerzitat zur Seite gestellt. Dieses sollte die Ansichten der Studierenden möglichst aussagekräftig repräsentieren. Zudem wurde bei jeder Aussage vermerkt, welche Probanden dazu beigetragen haben. Eine vollständige Liste aller Aussagen und Ankerbeispiele findet sich in Anhang A.4.1.

Für die Analyse der Reflexionen mussten zuerst aus dem vorhandenen Text relevante Aussagen extrahiert werden. Hier konnte nicht einfach das vollständige Material transkribiert werden, da die Portfolios, die der Analyse zu Grunde lagen, sehr umfangreich sind und mehrere Teilgebiete – wie die Protokolle des Semesters oder von den Studierenden entwickelte Unterrichtskonzepte zu Energiespeichern – enthalten. Die Reflexion des Fragebogens umfasste nur einen sehr kleinen Teil davon. Daraus wurden alle relevanten Aussagen, die sich auf eine Frage des Prä-Tests bezogen, transkribiert und der entsprechenden Frage zugeordnet. Im Folgenden wurde wie bei den Fragebögen vorgegangen. Jede Aussage wurde kodiert und darauf die Kodierungen zusammengefasst, sofern sich inhaltliche Überschneidungen ergaben. Aus den Kodierungen konnte dann die dahinterliegende Vorstellung herausgearbeitet und genauer erläutert werden. Für die weiteren Schritte wurden dann jedoch die Aussagen aus den Reflexionen mit jenen der Interviews zusammengefasst. Daher sollte zuerst die Vorgehensweise bei den Interviews beschrieben werden.

Für die Analyse der Interviews musste das Ausgangsmaterial – die Aufzeichnungen der Gespräche zwischen den Studierenden und der Lehrveranstaltungsleiterin – zuerst entsprechend aufbereitet werden. In einem ersten Schritt wurden die Interviews abgehört und dabei die für die Forschungsfrage relevanten Inhalte ausgewählt. Im Detail handelte es sich dabei um jene Aussagen, die in einem möglichst direkten Zusammenhang mit den Fragestellungen des Prä-Testes standen. Die Fragestellungen und Aussagen der Interviewerin wurden nur, sofern sie für das Verständnis im Rahmen der weiteren Analyse als notwendig erachtet, transkribiert. Bei der Transkription wurden Dialektausdrücke bereinigt und die Aussagen in Schriftdeutsch wiedergegeben. Satzbau, Ausdruck und Stil blieben unverändert. Aus dem transkribierten Material wurden dann prägnante - direkt als Antwort auf eine Frage aus dem Prä-Test zuordenbare - Aussagen ausgewählt. Dadurch, dass wieder nach dem Schema des Fragebogens vorgegangen wurde, war es im Weiteren besser möglich, sich an der Forschungsfrage zu orientieren. Die so gewonnen und strukturierten Aussagen konnten

dann auf ihre wesentliche Aussage gekürzt und kodiert werden. Wie schon bei den Fragebögen und den Interviews wurden die Kodierungen daraufhin zusammengefasst und die dahinterliegende Vorstellung erläutert. Eine vollständige Liste aller Aussagen inklusive Kodierungen findet sich in Anhang A.3.

Im Weiteren wurden dann alle Vorstellungen der Probanden aus den Reflexionen sowie den Interviews zusammengefasst. Die Gruppierung zu Kontexteinheiten erfolgte dabei wiederum nach den fünf in der Forschungsfrage definierte Bereichen von Nature of Science. Wie bereits bei den Fragebögen erwähnt, wurden einzelne Vorstellungen zwischen den Kontexteinheiten umgeschichtet. Innerhalb der fünf Bereiche wurden dann wiederum Cluster von gleichen oder sehr ähnlichen Aussagen gebildet, wobei nicht alle Vorstellungen berücksichtigt werden konnten. Diesen Clustern wurde eine einzelne Aussage vorangestellt. Jede Aussage wurde mit einem Ankerzitat versehen, das entweder aus den Reflexionen oder den Interviews stammen konnte. Zudem erhielt jede Aussage einen Vermerk mit den Probanden, die sie vertreten haben. Der Nummer der Probanden wurde außerdem noch ein „r“ (Reflexion) oder „i“ (Interview) hinzugefügt (wobei auch Mehrfachnennungen möglich waren), um die Verbindung mit den Daten eindeutig zu ermöglichen. Eine vollständige Liste aller Aussagen aus dem Post-Test inklusive der Ankerzitate findet sich in Anhang A.4.2.

Durch die eben beschriebene Vorgehensweise sollte schließlich ein Prä-Post-Vergleich ermöglicht werden. Ebenso konnten in dieser Form auch quantitative Aussagen, zum Beispiel wie oft eine bestimmte Vorstellung vorkommt, gemacht werden.

6.3 Reflexion

Um die Aussagekraft der soeben beschriebenen Forschungsmethode beurteilen zu können, ist es notwendig sich mit deren Grenzen auseinanderzusetzen. Daraus resultierend, müssen gewisse Einschränkungen hinsichtlich der Interpretation der Daten gemacht werden.

Bei der Stichprobe ergeben sich zwei Problemstellungen: Erstens war die Probandengruppe relativ klein, wenn auch im Rahmen der Fragestellung durchaus repräsentativ. Ein Vergleich mit der Literatur sollte aber eine Einschätzung, inwiefern die Aussagen verallgemeinerbar sind, ermöglichen. Zweitens stellt meine eigene Teilnahme am Projektpraktikum eine mögliche Fehlerquelle bei der Interpretation der Daten dar, da hier ein gewisser Grad an Voreingenommenheit nicht ausgeschlossen werden kann.

Die Datensammlung erfolgte im Projektpraktikum durch die Lehrveranstaltungsleiterin Ilse Bartosch. Ich selbst war an diesem Prozess nicht beteiligt, sondern habe nur die bereits erhobenen Daten von ihr zur Auswertung erhalten. Der Fragebogen basiert auf einem evaluierten Standard-Testinstrument und sollte daher valide Aussagen hervorbringen. Die Reflexionen der Studierenden

und die Interviews beziehen sich zum größten Teil auf den Fragebogen und können somit ebenfalls als zuverlässige Informationsquelle herangezogen werden.

Hinsichtlich der Datenlage müssen in mehrerer Hinsicht Eingrenzungen gemacht werden: Erstens waren im Rahmen des Fragebogens die fünf in der Forschungsfrage definierten Kategorien, wie Ontologie oder Ziele der Naturwissenschaften, nicht durch gleich oder ähnlich viele Fragen abgedeckt. Aus diesem Grund konnten zum Beispiel zu Experiment und Methodik der Naturwissenschaften wesentlich weniger Vorstellungen eruiert werden als zur Bedeutung wissenschaftstheoretischer Begriffe.

Zweitens stellt sich der Umfang der Reflexionen innerhalb der Probandengruppe sehr unterschiedlich dar. Manche der Studierenden haben dies ausführlicher bearbeitet wie andere, jedoch gibt es Fragen zu denen niemand oder nur sehr wenige Probanden eine Antwort hatten. Auch bei den Interviews variiert die Dauer der Gespräche innerhalb der Probandengruppe teilweise recht deutlich. Dies ist jedoch insofern weniger problematisch, als die Interviews nicht als zusätzliche Intervention gedacht waren, sondern nur die Inhalte des Fragebogens noch einmal vertiefen sollten. Dabei wurde auch verstärkt auf die Inhalte des Seminars Bezug genommen, damit die Studierenden auf der Metaebene eine Verbindung zwischen ihrem eigenen Tun und Nature of Science herstellen konnten. In der Analyse konnte dies jedoch kaum berücksichtigt werden, da hier nur die Aussagen, welche sich konkret auf den Fragebogen bezogen haben herangezogen wurden, um eine bessere Vergleichbarkeit mit diesem zu gewährleisten.

Bei einem Vergleich der beiden Ebenen macht sich der quantitative Unterschied zwischen Prä- und Post-Phase deutlich bemerkbar. Insgesamt gibt es - inklusive der Unterfragen - nur vierzehn Datensätze, wo dieselbe Frage nicht nur im Fragebogen, sondern auch in den Reflexionen und Interviews beantwortet wurde. Es kann daher nur direkt zwischen den beiden Phasen verglichen und somit ein möglicher Fortschritt festgestellt werden, wenn die entsprechende Frage auch im Rahmen des Post-Tests behandelt wurde.

Die Methode der Qualitativen Inhaltsanalyse eignete sich im Allgemeinen zwar gut für die Analyse, stieß jedoch teilweise auch an ihre Grenzen. Die Kodierung setzte eine starke Zusammenfassung und Reduktion des Ausgangsmaterials voraus. Die Stellungnahmen der Probanden enthielten zum Teil aber mehrere Aussagen, die sich kaum auf einige Worte reduzieren ließen, ohne einen Teil der ursprünglichen Bedeutung zu verlieren. Im Rahmen der Kodierung muss somit von einem relativ großen Interpretationsspielraum ausgegangen werden. Dieser ist teilweise auch inhaltlich bedingt, da bei einigen Antworten der Probanden nur mühsam eine Verbindung zu Nature of Science hergestellt werden konnte. Das wurde vor allem bei jenen Fragen deutlich, wo nicht direkt nach der Definition beispielsweise eines Modells gefragt wurde, sondern die wissenschaftstheoretische Metaebene in ein konkretes Beispiel (Atommodell, Klimamodelle, etc.) eingebettet war.

Darüber hinaus mussten, um die in den Daten vorhandenen Ansichten der Studierenden auf ein überschaubares Maß zu reduzieren, die Kodierungen zusammengefasst werden. Daraus ergibt sich eine weitere Unsicherheit, da die Aussagen nicht immer zu hundert Prozent deckungsgleich waren. Anderwärtig wäre es jedoch nicht möglich gewesen, Gemeinsames zusammenzufassen und man hätte eine Menge an Einzelaussagen ohne strukturelle Verbindung erstellt.

In einem bestimmten Fall – den Fragen nach dem Wesen und Zweck von Modellen – konnte jedoch überhaupt keine ernst zu nehmende Überschneidung zwischen den Kodierungen festgestellt werden. Die Aussagen der Studierenden klafften zu weit auseinander, um sich vernünftig zusammenfassen zu lassen. Die Qualitative Inhaltsanalyse stieß hier an Ihre Grenzen, da keine systematische Reduzierung des Materials mehr möglich war. In Bezug auf den Modellbegriff können daher nur einzelne Probanden und deren Entwicklung beispielhaft dargestellt, aber keine allgemeineren Aussagen getätigt werden.

Zu Beginn der Datenanalyse wurde jedem Element des Fragebogens einer der fünf, in der Forschungsfrage definierten Bereiche von Nature of Science, zugeordnet. Dies konnte nicht bei allen Fragen gänzlich reibungslos geschehen, da nicht immer eine hundertprozentig eindeutige Zuordnung möglich war. Des Weiteren hat sich gezeigt, dass die Antworten der Probanden oft nur bedingt dem NOS-Bereich und somit der Forschungsfrage entsprachen. Ein Versuch, dem entgegenzuwirken, wurde insofern unternommen, als bei der Zusammenfassung der Vorstellung in die Kontexteinheiten einzelne Aussagen innerhalb der fünf Gruppen verschoben wurden.

Die Tatsache, dass zwischen Prä- und Post-Test ein quantitativer Unterschied besteht, könnte sich in der Datenanalyse verzerrend ausgewirkt haben. Es wäre möglich, dass bestimmte Vorstellungen auch am Ende des Seminars noch vorhanden waren, aber nicht mehr besprochen wurden. Möglicherweise konnten die Studierenden nichts Neues mehr dazu sagen oder waren sich ob ihrer eigenen Meinung unsicher. Vergleiche werden deshalb nur dann in der Darstellung der Ergebnisse erwähnt, wenn sie sich sowohl auf Aussagen aus der Prä- als auch der Post-Phase stützen.

Abschließend möchte ich hinzufügen, dass hier keine zweite, unabhängige Kodierung der Aussagen durchgeführt wurde. Dies stellt eine weitere Einschränkung der Validität der Analyse dar.

7 Empirische Erhebung und Analyse

In diesem Kapitel werden nun die Ergebnisse der Untersuchung dargestellt. Dabei wird nach den in der Forschungsfrage verankerten fünf Bereichen von Nature of Science vorgegangen. Die jeweiligen Abschnitte werden von den Ergebnissen des Prä-Tests, die sich aus den Antworten in den Fragebögen ergeben haben, eingeleitet. Darauf folgen jene des Post-Tests, welche Reflexionen der Studierenden und die abschließenden Interviews zusammenfassen. Jede Vorstellung sollte mittels eines Ankerzitats veranschaulicht und belegt werden. Abschließend werden die Ergebnisse interpretiert und mit jenen aus der Literatur verglichen. Der letzte Schritt sollte vor allem Veränderungen zwischen Prä- und Post-Phase deutlich machen, wobei zwischen allgemeinen Trends und einzelnen „Ausreißern“ zu differenzieren ist. Diese drei Schritte sollten für jeden der fünf Bereiche getrennt durchgeführt werden, um immer möglichst nahe an der Fragestellung zu bleiben.

7.1 Vorstellungen zu den Zielen und Eigenarten der Naturwissenschaften

Im Rahmen der Analyse des Fragebogens wird klar, dass so gut wie alle Probanden (P1, P3, P4, P5, P6) die Beschreibung und Erklärung der realen Natur als Ziel der Naturwissenschaften betrachten. „In den Naturwissenschaften versucht man Vorgänge und Abläufe oder Dinge zu erklären und zu untersuchen“ (P4), so einer der Studierenden. Als wichtiges Element wird von einigen (P1, P3, P7) das Experiment gesehen. Naturwissenschaft zeichne sich dadurch aus, dass „[g]enaue Messungen [, ,] durchgeführt werden, um bestimmte Daten zu erheben“ (P7). „Das selbstständige Arbeiten bzw. „entdecken“ durch Experimente“ (P7) wird auch als entscheidend gesehen wenn es darum geht, Naturwissenschaften von anderen Wissenschaften abzugrenzen. Die Vorstellung, Naturwissenschaften würden nur beobachten und Untersuchungen durchführen, während andere Wissenschaften aus sich selbst heraus Dinge konstruieren, hat sich in Aussagen wie: „Naturwissenschaften beschäftigen sich mit realen Dingen, wobei z.B. Geisteswissenschaften nur vom Menschen erdacht sind“ (P5) gezeigt. Dass Beobachtung ein wichtiges Element naturwissenschaftlicher Methodik ist, wurde aber auch unabhängig davon von einigen Probanden (P1, P2, P7) angeführt. Demnach wird Naturwissenschaft als „ein sich Auseinandersetzen mit Vorgängen, die beobachtbar sind (egal wo!)“ (P2) betrachtet. Dieser Fokus auf die Beobachtung

impliziert eine direkte Zugänglichkeit zur Natur, bei der *„das menschliche Handeln wenig Einfluss hat“* (P6).

Im Rahmen des Interviews meint einer der Studierenden, er würde bei der Abgrenzung zu anderen Wissenschaften *„streng genommen [...] auf keinen grünen Zweig [kommen], weil es ist entweder Wissenschaft oder nicht“* (P6i). Ansonsten zeigen sich dieselben Vorstellungen wie bereits bei den Fragebögen: Als Ziel der Naturwissenschaft wird die Beschreibung der Natur gesehen (P1i, P2r, P4ri) und das Experiment stellt dafür eine zentrale Untersuchungsmethode dar (P2i, P3ri, P7i). Die Möglichkeit, in den Naturwissenschaften theoretische Behauptungen mit Experimenten zu überprüfen, wird wiederum als Argument für deren Objektivität angeführt. Er würde *„Naturwissenschaften eher objektiv, Geisteswissenschaften eher subjektiv“* (P2i) empfinden, so die Aussage eines Probanden.

Dass auch die Naturwissenschaften ihr Wissen konstruieren, wird den Studierenden erst bewusst, wenn sie im Interview anhand eines konkreten Beispiels damit konfrontiert werden. Dies führt in der Regel zumindest zu einer Relativierung der vorherigen Ansicht: *„Theorien entwickeln ist möglich, nur ob dann im Experiment eine Theorie irgendwie sozusagen unterstützt wird oder eher das Gegenteil im Experiment beobachtet wird, das ist halt dann die Frage“* (P2i).

In der gemeinsamen Betrachtung zeigt sich, dass zwischen Prä- und Post-Test in diesem Zusammenhang keine wirklichen Unterschiede existieren. Lediglich zwei Studierende scheinen durch die Reflexion über die Ziele und Eigenarten der Naturwissenschaften eher verunsichert worden zu sein, da sie in der Post-Phase plötzlich keine eindeutige Vorstellung darüber, was Naturwissenschaft ist, aufweisen können. Dies könnte möglicherweise daran liegen, dass sie bereits zuvor keine genaue Vorstellung darüber hatten und im Fragebogen eher unbedacht etwas hingeschrieben haben. Durch die Reflexion über das Thema wurde ihnen zwar bewusst, dass ihre bisherige Ansicht problematisch sein könnte, jedoch haben sie sich nicht intensiv genug mit dem Thema auseinandergesetzt, um zu einer adäquateren Vorstellung zu kommen.

Die Ergebnisse stimmen weitgehend mit jenen aus der Untersuchung von Höttecke und Rieß (2007) überein. Diese betonen besonders den - den Naturwissenschaften zugeschriebenen - Charakter des Unmittelbaren und Faktischen. Des Weiteren konnte beobachtet werden, dass die meisten Studierenden zwischen Natur- und Geisteswissenschaften deutlich unterscheiden, auch wenn einzelne eine scharfe Trennlinie für falsch halten. Auch Höttecke und Rieß konnten in ihrer Probandengruppe feststellen, dass diese *„die ‚zwei Kulturen‘ weitgehend verinnerlicht haben“* (ebd., S. 5). Die Vorstellung, Naturwissenschaften seien objektiver als andere Wissenschaften, findet sich zudem auch bei Bentley und Fleury (1998).

7.2 Vorstellungen zur Ontologie/Natur des Wissens

Auch wenn teilweise auf Fehlergrenzen hingewiesen wurde, gehen mehr als die Hälfte der Probanden (P2, P4, P5, P6) davon aus, dass sich Naturwissenschaftlerinnen und Naturwissenschaftler über naturwissenschaftliches Wissen sicher seien. Am Beispiel des Atommodells behauptet eine Studentin, „*dass die Materie aus Protonen, Neutronen im Kern und den darum "kreisenden" Elektronen besteht*“, darüber seien sich die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler „*sehr sicher*“ (P5). Dem gegenüber werden erst vor kurzem experimentell nachgewiesene Teilchen des Standardmodells eher als unsicher betrachtet. Dieser Vorstellung könnte man die wissenschaftstheoretische Position eines naiven Realismus zuordnen. Einer der Studierenden bringt dies besonders überspitzt zum Ausdruck, wenn er behauptet „*[d]ie Newton'schen Axiome gelten auch am Mars, egal, wer gerade Präsident ist*“ (P3).

Im Prä-Test wurde ebenso in Bezug auf Theorien nach der Veränderlichkeit des Wissens gefragt. Dass Theorien nichts Starres und Unwiderlegbares sind, davon sind alle Studierenden überzeugt, schließlich „*weiß [man] nicht sofort alle Antworten - die Theorien entwickeln sich mit der Zeit und sind noch nicht abgeschlossen*“ (P7). Manche bringen dafür auch historische Beispiele aus der Physikgeschichte, wie die Entwicklung der Relativitätstheorie oder der Quantenmechanik. In Bezug auf naturwissenschaftliches Wissen an sich geht mehr als die Hälfte der Probanden davon aus, dass dieses unvollständig ist. Aus einer Aussage wird erkennbar, dass dabei Erweiterungen bekannten Wissens als möglich angesehen, grundlegende Veränderungen jedoch eher nicht in Betracht gezogen werden. „*Das bisher erlangte bzw. erzeugte Wissen wird sich wohl nur dahingehend verändern, dass die verwendeten Modelle erweitert werden*“ (P1).

Alle Studierenden sind sich einig, wenn es um die Frage nach der Sicherheit der von Naturwissenschaftlerinnen und Naturwissenschaftlern getätigten Aussagen geht. Eine Studentin bringt dies in ihrer Aussage sehr treffend auf den Punkt: „*Was heißt hier sicher? Das ist immer eine Frage der Wahrscheinlichkeit!*“ (P5). Die Gründe, welche für diese Unsicherheit angegeben werden, unterscheiden sich jedoch. Häufig wird auf die Datenlage verwiesen, welche, wenn unzureichend, zu unterschiedlichen Interpretationen führen kann. An anderen Stellen wird die Komplexität des Naturgeschehens oder auch die Art der Fragestellung für Unsicherheiten verantwortlich gemacht.

Diese Vorstellung herrscht auch im Rahmen des Post-Tests noch vor. Nach der Sicherheit von Wettervorhersagen gefragt, argumentiert ein Student besonders deutlich mit der Komplexität des Naturgeschehens, beziehungsweise der Datenlage: „*Da kommt es darauf an, wenn wir alle Daten zu jedem Sauerstoffmolekül [...] [hätten], vielleicht könnte man, keine Ahnung, das sind Dinge die vielleicht in ferner Zukunft, wenn man Rechenmaschinen hat die ganz arge Dinge ausdrücken können, vielleicht aber momentan*“ (P3i). Ebenso findet sich auch bei einigen Studierenden (P2i,

P3r, P4r, P5r) die Veränderlichkeit von Theorien wieder. Zudem kann eine Vorstellung, gemäß der naturwissenschaftliches Wissen als veränderlich betrachtet wird, festgestellt werden. In Bezug auf die Physik ist einer der Studenten *„der Meinung, dass sich das Wissen durch neue Erkenntnisse und fachliche Diskussionen immer wieder ändern kann und wird“* (P4r). Zumindest mehr als die Hälfte der Probanden (P2ri, P4r, P5r, P6i) lässt diese Vorstellung erkennen.

Vergleicht man nun Prä- und Post-Test, so lässt sich ganz eindeutig erkennen, dass Vorstellungen, die einem naiven Realismus zugrunde liegen, sich nur zu Beginn des Seminars zeigen und gegen Ende nicht mehr vorhanden sind. Des Weiteren herrschte bei den Fragebögen noch die Ansicht eines unvollständigen Wissens vor, wogegen im Rahmen der Interviews und Reflexionen die Veränderlichkeit von Wissen betont wird. Unvollständiges Wissen meint einen in sich abgesicherten und bewiesenen Wissenskanon, der erweitert werden kann, wogegen die Vorstellung der Veränderlichkeit auch das aktuell verfügbare Wissen in Frage stellt. Die Wissenschaftsgeschichte zeigt eindeutig, dass Wissensbestände auch gänzlich verworfen werden können, wie beispielsweise bei der Äthertheorie in der Physik (vgl. Kuhns *Paradigmenwechsel*).

Die Antworten aus dem Fragebogen hinsichtlich der Sicherheit der von Naturwissenschaftlerinnen und Naturwissenschaftlerin getätigten Aussagen lassen zudem eine gewisse Abhängigkeit vom konkreten Themenbereich der Fragestellung erkennen. Am Beispiel des Atommodells wurde bereits gezeigt, dass bereits länger als akzeptiert geltendes Wissen eher als sicher angenommen wird, wogegen anderes, erst kürzer experimentell nachgewiesenes Wissen, eher als unsicher betrachtet wird. Bei der Frage, wie sicher sich Naturwissenschaftlerinnen und Naturwissenschaftler über das Aussehen von Dinosauriern sind, stellt sich die Situation ähnlich dar. Hier wird vor allem mit dem Skelettaufbau argumentiert, der durch zahlreiche Funde als sehr gut abgesichert gesehen wird. Andere Fragen, wie zum Beispiel nach dem Aussehen der Haut, welche in der neueren Forschung behandelt werden, können dagegen nach der Meinung der meisten Studierenden nicht mit Sicherheit beantwortet werden. Weitgehend einig über eine bestehende Unsicherheit waren sie sich jedoch bei Computermodellen zur Wettervorhersage oder dem Modell zum Aufbau der Erde. Eine allgemeine Aussage über die Vorstellungen der Studierenden in Bezug auf Ontologie kann somit nur schwer getroffen werden, da hier eindeutig einander widersprechende Aussagen, je nachdem in welchen Kontext die Frage gestellt wurde, festzustellen sind. Das Wissen der Probanden stellt sich somit kontextabhängig dar.

Die Ergebnisse des Prä-Tests, wonach manche Studierenden Vorstellungen, die einem naiven Realismus zugeordnet werden könnten, vertreten, konnten Höttecke und Rieß (2007) nicht feststellen. Jedoch kommen auch sie zu dem Schluss, man könne „nicht von konsistenten ontologischen Vorstellungen ausgehen, denn Wissen kann zugleich als veränderlich und bewiesen verstanden werden“ (ebd., S. 6). Dabei zeigt sich, ebenso wie im Rahmen der hier dargestellten Untersuchung, dass konkrete Beispiele anders beurteilt werden wie allgemeine Aussagen.

7.3 *Vorstellungen zur Rolle des Experiments und Methodik der Naturwissenschaft*

Aus der Analyse der Fragebögen lässt sich bei vielen Studierenden (P1, P3, P5, P6, P7) die Vorstellung ausmachen, dass Experimente der Überprüfung theoretischen Wissens dienen. Ein Experiment ist demnach „[e]in Versuch, um eine Theorie zu überprüfen (also zu bestätigen oder widerlegen)“ (P7). Als Überprüfung wird ein Beweisverfahren oder auch eine Widerlegung verstanden, wobei sich die Idee des Falsifikationismus jedoch wesentlich seltener zeigt. Experimente werden allgemein als unabdingbares methodisches Instrument für die Generierung neuen naturwissenschaftlichen Wissens angesehen, nur ein einziger Proband (P1) vertritt die Meinung, es könnten auch auf rein theoretischem Weg neue Erkenntnisse gewonnen werden. Einige Studierende (P2, P3, P7) nennen Reproduzierbarkeit als wichtige Eigenschaft eines Experiments. Dieses ist demnach „ein reproduzierbares Vorhaben, mit dem man etwas entdecken möchte“ (P2). Die Vorstellung des „Entdeckens“ neuer Gegebenheiten in der Natur legt nahe, dass hier das Experiment als Ausgangspunkt des Erkenntnisgewinns betrachtet wird (P2, P4, P5, P6, P7).

Die Vorstellung, Experimente dienen der Überprüfung theoretischen Wissens, zeigt sich auch im Rahmen des Post-Tests sehr deutlich. Ebenso wird vereinzelt auf die Reproduzierbarkeit und die Idee des Falsifikationismus eingegangen. Ansonsten konnten keine weiteren Vorstellungen ermittelt werden.

Wie soeben gezeigt, erachten die meisten Studierenden das Experiment als Prüfstein des Wissens. Diese Vorstellung konnten auch Höttecke und Rieß (2007) ermitteln. Die „Bestätigung, Überprüfung oder Widerlegung von Theorien [sowie] Reproduzierbarkeit“ werden von der Probandengruppe der Autoren als wesentliche Funktionen des Experiments aufgefasst. Ebenso vertreten diese die Vorstellung des Experiments als Ausgangspunkt des naturwissenschaftlichen Wissens. Diese Ansicht steht aber prinzipiell mit der ersten in Kontrast. Ein ausgewogenes Verhältnis zwischen Theorie und Experiment konnten den Autoren zufolge nur zwei Studierende aufweisen.

7.4 *Vorstellungen zur Dynamik der Naturwissenschaften*

Die Analyse des Fragebogens zeigt, dass hier der Einfluss subjektiver und gesellschaftlicher Einflussfaktoren sich noch nicht in den Vorstellungen der Studierenden niederschlägt. Anstatt subjektiver Faktoren werden von der Mehrheit der Probanden (P2, P4, P5, P7) andere Gründe, wie mangelhafte Datenlage oder methodische Probleme für Uneinigkeit in der Wissenschaft angeführt

(Uneinigkeit meint in diesem Kontext, dass sich Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler nicht über die „richtige“ Interpretation der Daten einig sind). *„Die Informationen reichen nicht aus, um es mit Sicherheit zu sagen. Sicher ist nur, dass sie [die Dinosaurier] ausgestorben sind, nicht jedoch wie“* (P7), so einer der Studierenden. Die übrigen drei Studierenden (P1, P3, P6) erkennen jedoch die Bedeutung von subjektiven Faktoren bei der Erzeugung von Wissen an. Demnach gibt es in der Naturwissenschaft immer wieder unterschiedliche Meinungen *„[w]eil Information immer auch interpretiert werden muss“* (P1).

Was gesellschaftliche Einflüsse auf die Naturwissenschaften angeht, nimmt die Mehrheit der Probanden (P2, P5, P6, P7) an, dass diese vorhanden sind. Aus der Aussage eines Studenten wird jedoch ersichtlich, dass dies zwar erkannt, aber nicht als wünschenswert angesehen wird: *„Prinzipiell sollte Naturwissenschaft allgemeingültig sein aber es gibt gesellschaftliche und kulturelle Einflüsse, wenn es darum geht für welche Forschungsbereiche wie viel Geld ausgegeben wird“* (P2). Zwei Studenten (P1, P3) sprechen sich dafür aus, dass die Gesellschaft keinen Einfluss auf die Wissenschaft ausüben sollte.

Hinsichtlich der Rolle der Kreativität und Phantasie waren sich zumindest alle Probanden in der Weise einig, dass sie deren Bedeutung für Experimente anerkannten. Jedoch zeigen sich Unterschiede, in welchen Phasen des Experimentes Kreativität eine Rolle spielten. Diese reichen von der Planung (P2) über Planung und Interpretation (P1, P4, P7) hin bis zu allen Phasen (P3, P5, P6) des Experiments. Zudem wird betont, dass Kreativität besonders wichtig ist, *„wenn das Ergebnis [des Experiments] den Erwartungen widerspricht“* (P1).

Bei der Analyse der Reflexionen und Interviews wird deutlich, dass wiederum viele Studierende (P1i, P3i, P4r, P6i, P7r) die Abhängigkeit der Naturwissenschaften von gesellschaftlichen Werten am Ende des Seminars anerkennen. Demnach *„spiegeln aktuelle Forschungen immer die derzeitigen Anliegen der Gesellschaft wieder“* (P7). Ebenso finden sich die Vorstellungen zum Einfluss subjektiver Faktoren auf die Wissenschaft sowie die Rolle von Kreativität im Forschungsprozess.

Ein Vergleich der beiden Analysen zeigt, dass die Vorstellung, Naturwissenschaften seien von gesellschaftlichen Faktoren unabhängig, sich nur im Prä-Test, aber nicht mehr im Post-Test zeigt. Die Studierenden (P1, P3), welche im Fragebogen noch davon ausgingen, dass die Gesellschaft keinen Einfluss auf die Wissenschaft habe, revidierten dies und antworteten in den Interviews dementsprechende anders. Auch die Vorstellung, Naturwissenschaft sei nicht von subjektiven Faktoren beeinflusst, konnte im Post-Test nicht mehr festgestellt werden. Daraus ließe sich folgern, dass die Studierenden durch die explizite Auseinandersetzung mit Nature of Science hier zu einer adäquateren Ansicht über die Dynamik der Naturwissenschaften gelangen konnten.

Es hat sich gezeigt, dass unter den meisten Studierenden die Vorstellung vorherrscht, Uneinigkeit unter den Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern würde normalerweise beigelegt, wenn neue Daten in Bezug auf das Problem generiert werden. Dies steht auch im Einklang mit den

Ergebnissen von Bentley und Fleury (1998). Auch hinsichtlich des gesellschaftlichen Einflusses auf die Naturwissenschaft lassen sich Zusammenhänge zwischen den Untersuchungsergebnissen und der Literatur finden. Höttecke und Rieß (2007) konnten ermitteln, dass der gesellschaftliche Einfluss vorwiegend auf die Vergangenheit bezogen erkannt, die gegenwärtige Wissenschaft aber als weitgehend autonom betrachtet wird. „Sozialkonstruktivistische Begrifflichkeit wird nur an der Oberfläche verwendet [und] konnotativ abgewertet“ (ebd., S. 9). Relativierend sei jedoch hinzugefügt, dass in der Post-Phase eine größere Akzeptanz derartiger Vorstellungen festgestellt wurde. Dies steht ebenfalls in Einklang mit den Ergebnissen von Höttecke und Rieß.

7.5 Vorstellungen zur Bedeutung wissenschaftstheoretischer Begriffe

In Bezug auf wissenschaftstheoretische Begriffe zeigt sich im Fragebogen eine Vielzahl an unterschiedlichen Vorstellungen, sowohl was deren Bedeutung als auch deren Beziehung untereinander betrifft. In Hinblick auf den Modellbegriff ist dies besonders drastisch, weswegen in diesem Kontext nur beispielhaft Vorstellungen aufgezeigt, aber keine allgemeinen Aussagen getätigt werden können.

Eine Studentin sieht Modelle als „*Abbild der Realität, das so vereinfacht wurde, dass die Natur möglichst genau beschrieben, dass sich jedoch dadurch aber nicht unmögliche Beschreibungsversuche ergeben*“ (P5) verstanden. Andere Studierende sehen Modelle als „*Beschreibung einer Begebenheit*“ (P3), oder „*etwas nicht genau bestimmtes*“ (P7). Modelle sollten etwas „*beschreiben, darstellen, erklären und vielleicht sogar vorhersagen*“ (P2) können oder auch dem Erkenntnisgewinn (P5) sowie der besseren Kommunikation (P6) von Inhalten dienen.

Was die ebenfalls wichtigen wissenschaftstheoretischen Begriffe Theorie und Gesetz angeht, so zeigt sich in den Fragebögen ein gewisser Widerspruch zwischen den Studierenden. Während einerseits Gesetz und Theorie als Synonyme betrachtet werden (P1, P3, P6), zeigt sich andererseits die Vorstellung Gesetzte seien besser bewiesen als Theorien (P2, P4, P7).

Letztere ist auch aus der Analyse des Post-Tests zu erkennen. Demnach ist ein Gesetz „*irgendwie was, so wie $F=ma$, also irgendwie was Fixes*“, dagegen könne sich eine Theorie „*auch verändern über die Jahre hinweg*“ (P7i). Daraus wird bereits ersichtlich, dass Gesetze durchaus als Formeln betrachtet werden können (P1ri, P5r, P7i). Zudem kann bei zwei Studierenden (P2i, P4r) beobachtet werden, dass keine klare Vorstellung hinsichtlich der beiden Begriffe Theorie und Gesetz vorherrscht, was einer wie folgt zum Ausdruck bringt: „*Na ich weiß ja eben nicht genau was eine Theorie ist und ich weiß nicht genau was ein Gesetz ist*“ (P2i).

Zu den Modellen können auch im Post-Test nur Beispiele angeführt werden: die Vorstellung des „vereinfachten Abbildes der Realität“ (P5r) wurde von der Probandin beibehalten, ebenso wie die Vorstellung der „Beschreibung einer Begebenheit“ (P3i). Eine weitere Studentin betont: „[e]in Modell hat stets Grenzen und ist nur eine beschränkte Abbildung der Wirklichkeit“ (P7r). Was den Zweck eines Modells betrifft, so bleiben zwei der Studierenden bei ihren Antworten Erkenntnisgewinn (P5r) beziehungsweise Kommunikation (P6i). Ein Dritter (P2r) nennt nun jedoch Berechnungen und Experimente, welche in seiner Antwort im Prä-Test überhaupt nicht vorgekommen sind.

Ein Vergleich der beiden Analyseebenen zeigt, dass von den hier beispielhaft angeführten Studierenden zwei (P3, P5) ihre Meinung zum Wesen von Modellen beibehalten haben, während bei der dritten Person (P6) eine Weiterentwicklung zu beobachten ist. Diese hatte im Prä-Test nur eine diffuse Vorstellung eines Modells und betont dagegen im Post-Test dessen beschränkte Gültigkeitsgrenzen. Ebenso haben hinsichtlich des Zwecks von Modellen zwei Studierende (P5, P6) ihre Meinung beibehalten, während der Dritte im Post-Test eine gänzlich andere Antwort gegeben hat. Dass er dort mehr auf Experimente und Berechnungen einging, wogegen am Beginn noch die beschreibende, darstellende und erklärende Funktion im Vordergrund gestanden hatte, könnte auf die Aktivitäten im Praktikum (wo im Zusammenhang mit Experimenten und Berechnungen über Modellbildung gesprochen wurde) zurückzuführen sein.

Was Gesetze und Theorien betrifft, so finden sich manche Ansichten, wie die Vorstellung, Gesetze seien besser bewiesen als Theorien, in beiden Analysen, wogegen die Interpretation eines Gesetzes als Formel erst im Post-Test auftritt. Warum bei zwei Studierenden (P2, P4) in den Reflexionen und Interviews plötzlich keine klare Vorstellung zu Theorie und Gesetz mehr auszumachen ist, kann nur gemutmaßt werden. Entweder war diese bereits zu Beginn nicht vorhanden, was aber im Prä-Test nicht dementsprechend kommuniziert wurde, oder die Beschäftigung mit der Thematik hat eher zu Verwirrung als zur Klärung dieser Fragestellung beigetragen. Möglicherweise ist diese Verwirrung aber auch produktiv, da den Studierenden bewusst geworden ist, dass ihre bisherige Antwort zu kurz greift. Zusammenfassend kann man festhalten, dass die Studierenden eher vage Vorstellungen von wissenschaftstheoretischen Begriffen haben und diese auch im Rahmen des Seminars kaum verbessern konnten.

Die Vorstellung des Gesetzes als „gereifte Theorie“ (Höttecke & Rieß, 2007), wie sie im Rahmen dieser Untersuchung angeführt wurde, findet sich ebenso bei Bentley und Fleury (1998). Die Interpretation von Gesetzen als Formel konnten auch Höttecke und Rieß (2007) feststellen. Hinsichtlich von Modellen kann kein Vergleich mit der Literatur gezogen werden, da die Ergebnisse zu stark fragmentiert sind. In der Zusammenschau kommen Reinisch und Krüger (2014) ebenfalls zu dem Schluss, dass die Vorstellungen ihrer Probandengruppe zu wissenschaftstheoretischen Begriffen nur als vage zu bezeichnen sind. Höttecke und Rieß (2007)

geben dies im Rahmen der Prä-Studie ebenfalls an, jedoch gelang es deren Studierende im Rahmen der Post-Phase wesentlich besser mit den Begriffen Theorie, Gesetz und Modell umzugehen.

8 Schlussbetrachtung

In Bezug auf die erste der in Kapitel sechs angeführten Forschungsfragen lässt sich festhalten, dass Vorstellungen von Studierenden zu Nature of Science im Rahmen der im Forschungsdesign dargelegten Grenzen ermittelt werden konnten. Dabei hat sich gezeigt, dass der Großteil das Beschreiben und Erklären der Natur als Ziel der Naturwissenschaften annimmt und, dass Naturwissenschaftlerinnen und Naturwissenschaftler sich über das von ihnen generierte Wissen sicher sind. Experimente, so der allgemeine Tenor der Probandengruppe, dienen der Überprüfung von theoretischem Wissen. Der Einfluss subjektiver Faktoren auf die Wissenschaft wurde von der Mehrheit der Studierenden jedoch verneint. Im Hinblick auf wissenschaftstheoretische Begriffe, zeigt sich ein gewisser Widerspruch innerhalb der Stichprobe, da eine Hälfte Gesetze und Theorien als synonym, die andere Hälfte dagegen Gesetze als besser bewiesen wie Theorien betrachtet.

Es muss aber betont werden, dass sich die Ergebnisse aufgrund der kleinen Stichprobe nicht verallgemeinern lassen. Da sich in so gut wie allen Bereichen auch Überschneidungen mit der Literatur ergeben haben, kann jedoch zumindest teilweise von einem repräsentativen Charakter der Ergebnisse ausgegangen werden.

Einschränkend muss hinzugefügt werden, dass trotzdem eine gewisse Unsicherheit darüber, inwieweit diese Ergebnisse die tatsächlichen Einstellungen der Studierenden zu Nature of Science widerspiegeln, gegeben ist. Ein Grund dafür ist die Datenlage: Zwar gibt es im Fragebogen auf jede der gestellten Fragen auch von allen Studierenden eine Antwort, jedoch ist dies bei den Reflexionen und Interviews nicht mehr der Fall. Einerseits haben nicht alle Studierenden eine ausführliche Reflexion abgegeben, andererseits wurden bei den Interviews nur selektiv immer einige Fragen herausgenommen, da eine durchgehende Diskussion des Prä-Tests sicherlich zu umfangreich gewesen wäre. Dementsprechend sind nur knapp drei Viertel der Datensätze vollständig. Des Weiteren sollte beachtet werden, dass die Antworten der Studierenden im Fragebogen teilweise einen relativ großen Interpretationsspielraum hinsichtlich ihrer Bedeutung für Nature of Science haben. Darüber hinaus lässt sich nicht eruieren, inwiefern die Antworten im Rahmen der Reflexionen auch von den Studierenden konstruiert wurden, um implizit in der Lehrveranstaltung vermittelten Anforderungen zu entsprechen und somit auch eine bessere Note zu bekommen. Es wäre jedenfalls im Bereich des Möglichen, dass beispielsweise die Bedeutung von wissenschaftstheoretischen Begriffen unreflektiert (ohne diese wirklich verstanden zu haben) widergegeben wurde.

Die zweite Forschungsfrage - ob und wie sich diese Vorstellungen im Laufe des Seminars verändert haben – lässt sich, da die Daten im Prä-Post-Verfahren erhoben wurden, ebenfalls hypothetisch beantworten.

So wurden zum Beispiel Vorstellungen, die einem naiven Realismus zugeordnet werden können, nur im Prä-Test, jedoch nicht mehr im Post-Test festgestellt. Ebenso hat sich gezeigt, dass ein gesellschaftlicher Einfluss auf die Naturwissenschaften zu Beginn des Semesters noch von manchen Studierenden negiert wurde, was aber in den abschließenden Interviews nicht mehr zu beobachten war. Demgegenüber wurden hinsichtlich der Bedeutung wissenschaftstheoretischer Begriffe kaum Fortschritte ersichtlich, wobei einige der Studierenden auch im Rahmen ihrer Reflexionen anführen, dass dies im Seminar nicht ausreichend thematisiert worden war. Jedenfalls herrschte auch am Ende des Semesters bei vielen noch Unklarheit darüber, wie nun die Begriffe Theorie, Gesetz und Modell korrekt einzuordnen seien. Keine nennenswerten Unterschiede zwischen Prä- und Post-Test ergaben sich bei den Bereichen „Experiment und Methodik der Naturwissenschaften“ sowie „Ziele und Eigenarten der Naturwissenschaften“. So war bei den meisten Studierenden auch zum Ende des Semesters noch die These der „Zwei Kulturen“ verankert.

Welche Ergebnisse bietet nun die fachdidaktische Forschung, um Lernen über die Natur der Naturwissenschaften an der Universität zu verbessern und Studierenden zu reflektierteren Vorstellungen zu diesem Thema zu verhelfen? Dabei muss unterschieden werden zwischen Lehrveranstaltungen, die sich vorrangig Nature of Science widmen und jenen, welche das Thema nur als Teilaspekt mit einfließen lassen. Das hier bearbeitete Beispiel des Projektpraktikums wäre der zweiten Gruppe zuzuordnen. Welchen Beitrag konnte die Lehrveranstaltung zum Lernen über die Natur der Naturwissenschaften leisten und wie könnte sie noch verbessert werden?

In der fachdidaktischen Forschung wird ein expliziter Zugang zu Nature of Science favorisiert (u.a. Abd-El-Khalick, 2012; Schwartz, Lederman & Crawford, 2004; Abd-El-Khalick & Lederman, 2000). Die Lernenden sollten dazu angeleitet werden, explizit über ihr eigenes Lernhandeln zu reflektieren. Auch wenn beispielsweise nach der Methode des forschenden Lernens (Inquiry Learning) gearbeitet wird, findet ein Lernprozess über Nature of Science nicht automatisch statt. Eine methodische Orientierung an der Arbeitsweise der Wissenschaft genügt demnach nicht, um Lernprozesse über die Natur der Naturwissenschaften zu implementieren. Der Ansatz von Schwartz, Lederman und Crawford (2004) versucht deshalb eine Brücke zwischen wissenschaftlicher Praxis und wissenschaftstheoretischer Reflexion zu schlagen. Dabei nehmen Studierenden aktiv an der Arbeit in der Forschung teil, indem sie Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern zur Seite gestellt werden. Die Studierenden arbeiten in einer authentischen Forschungssituation mit und müssen dann im Anschluss daran Reflexionen verfassen, inwiefern dabei verschiedene Aspekte von Nature of Science deutlich geworden sind.

Forschendes Lernen war auch ein Thema des Projektpraktikums. Die Studierenden haben zu Energiespeichern recherchiert, Vermutungen aufgestellt, Experimente durchgeführt und daraus ein Modell eines Energiespeichers entworfen. Reflexion fand ebenso in Form von Journalen statt. Die von Schwartz, Lederman und Crawford (2004) vorgeschlagene Mitarbeit in der Forschung wäre noch eine Ergänzungsmöglichkeit in diesem Zusammenhang.

Neben dem eher praktischen Ansatz von Schwartz, Lederman und Crawford (2004) schlugen manche Autoren (u.a. McComas, 1998; Boersema, 1998) vor, sich mit entsprechender Literatur zu Nature of Science auseinanderzusetzen. In Bezug auf Wissenschaftstheorie könnten dadurch zentrale Begriffe wie Modell, Theorie und Gesetz oder auch die Veränderlichkeit des Wissens geklärt werden⁴⁸. Wissenschaftsgeschichte könnte man, bevor konkrete Beispiele herangezogen werden, hinsichtlich der Entwicklung des naturwissenschaftlichen Wissens⁴⁹ sowie der Darstellung von historischen Ereignissen⁵⁰ thematisieren (Kipnis, 1998). In Bezug auf die Wissenschaftssoziologie wäre vor allem die gesellschaftliche Einbettung der Naturwissenschaften sowie die Rolle der *Scientific Community* von Bedeutung⁵¹. All diese Themen sollten aber immer in Zusammenhang mit dem Physikunterricht anhand von konkreten Beispielen in der Physik betrachtet werden, um den Praxisbezug aufrecht zu erhalten (Bentley & Fleury, 1998).

Wie aus den Protokollen zur Lehrveranstaltung hervorgeht, hat die Auseinandersetzung mit wissenschaftstheoretischer, -historischer oder -soziologischer Literatur im Projektpraktikum eher eine untergeordnete Rolle gespielt. Kurze Episoden aus der Wissenschaftsgeschichte (z.B. Galilei) wurden in einer Einheit diskutiert, jedoch ohne sich dabei mit Literatur auseinander zu setzen. Betrachtet man die Ergebnisse der Analyse – vor allem in Hinsicht auf den Themenbereich wissenschaftstheoretische Begriffe – so wäre eine Basislektüre zur Wissenschaftstheorie sicherlich eine gewinnbringende Ergänzung gewesen. Wie bereits dargestellt hatten die Studierenden mit den Begriffen Modell, Theorie und Gesetz teils erhebliche Probleme.

Ziel einer fachdidaktischen Lehrveranstaltung sollte es sein, dass die Studierenden ihr erworbenes Wissen auch in der Praxis anwenden können. Um im Lernumgebungen im Kontext von Nature of Science erstellen können benötigen sie dementsprechendes methodisches Rüstzeug. Verschiedene Ansätze dazu, insbesondere das *Inquiry Learning*, wurden bereits thematisiert. Gemäß der didaktischen Rekonstruktion sind dabei auch die Vorstellungen von Schülerinnen und Schülern über Nature of Science miteinzubeziehen (Höttecke, 2007). Die erstellten Unterrichtskonzepte sollten dann auch – entweder in der Klasse (Meichtry, 1998) oder im Rahmen des Seminars (Spector, Strong & LaPorta, 1998) – durchgeführt und eingehend reflektiert werden. Insgesamt solle ein möglichst praxisnahes Vorgehen die Bedeutung von Nature of Science für den Physikunterricht zu jeder Zeit verdeutlichen und vor allem zeigen, dass sich das Thema mittels verschiedenster Methoden gut in der Klasse umsetzen lässt. Die Studierenden sollten am Ende der Lehrveranstaltung wissen, welche Möglichkeiten eine Auseinandersetzung mit Nature of Science

⁴⁸ Eine knappe und gut verständliche Zusammenfassung findet sich bei Tetens (2013).

⁴⁹ In diesem Zusammenhang ist Kuhns *Die Struktur wissenschaftlicher Revolutionen* (1997) mehr oder weniger unvermeidbare Lektüre.

⁵⁰ Ein guter Einstieg aus fachdidaktischer Perspektive findet sich bei Höttecke (2001).

⁵¹ Beiträge dazu in *Handbuch Wissenschaftssoziologie* (Maasen et al., 2012).

bietet und welche Lernziele dabei angesprochen werden. Bereits vorhandene Konzepte, Experimente oder Fallstudien können dabei ein entscheidendes Hilfsmittel darstellen⁵².

Die Erarbeitung von Lernumgebungen hat im Projektpraktikum eine wichtige Rolle eingenommen. Die Studierenden sollten mit der Methode des Inquiry Learnings ihren jeweiligen Energiespeicher für den Unterricht aufbereiten. Die daraus entstandenen Lernumgebungen wurden jedoch nicht im Seminar oder in der Schule ausprobiert und reflektiert. Dies wäre sicherlich noch eine zielführende Ergänzung für das Seminar gewesen.

Zusammenfassend benötigen Lehrkräfte, um Nature of Science gut in den Physikunterricht integrieren zu können, fachliches Wissen über Wissenschaftstheorie, die historische Entwicklung der Physik sowie ein Verständnis für die Arbeitsweise von Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern. Darüber hinaus ist ein umfangreiches fachdidaktisches Wissen zu Nature of Science, sowie ein Repertoire an Methoden für den Unterricht unerlässlich. Gelingt es, dies in der LehrerInnenbildung zu vermitteln, ergeben sich für die Lehrkräfte neue Möglichkeiten zur Gestaltung ihres Unterrichts. Sie können nicht nur Physik lehren, sondern auch *über* Physik unterrichten. Die Schülerinnen und Schüler können sich dadurch der Prozesshaftigkeit der Physik im historischen sowie im aktuellen Kontext bewusst werden und erhalten ein klareres Bild der Wissenschaft. Die Entwicklung eines Verständnisses für die Arbeitsweise der Naturwissenschaften durch selbstständiges forschendes Lernen und die Gabe von ausreichend Raum, um darüber zu reflektieren, sind demnach als wichtige Ziele des Unterrichts zu betrachten.

Das Projektpraktikum konnte zu diesen Zielen bereits entscheidende Beiträge leisten. Die Methode des forschenden Lernens wurde sowohl praktisch im Seminar angewandt als auch theoretisch – in Bezug auf die fachdidaktische Literatur – behandelt. Durch Reflexion über den Fragebogen konnten die Studierenden sich mit zentralen wissenschaftstheoretischen Fragestellungen auseinandersetzen. Im Rahmen der Reflexionen und der Interviews gaben einige Studierende auch an, dass sich ihre Einstellungen zu Wissenschaft und Forschung durch das Seminar verändert haben.

Über dieses konkrete Beispiel hinaus hat sich jedoch gezeigt, dass Nature of Science in der naturwissenschaftlichen Wissensvermittlung Österreichs keine sonderlich bedeutende Rolle spielt. Weder der Lehrpläne an der AHS noch die Curricula des Physik-Lehramtsstudium haben dies nahegelegt. Da die Untersuchung hier jedoch nur überblicksmäßig durchgeführt wurde, ergeben sich noch weitere Vertiefungsmöglichkeiten bei der Erhebung des Ist-Zustandes an unterschiedlichen Universitäten. Was die Gestaltung von Lehrveranstaltungen zu Nature of Science angeht, so wurden – in Bezugnahme auf die fachdidaktische Literatur – bereits Möglichkeiten dargestellt. Diese und weitere könnten evaluiert werden, um deren Signifikanz für die Vermittlung der Natur der Naturwissenschaften an der Universität zu eruieren. Dabei stellt sich vor allem die

⁵² In diesem Zusammenhang sei noch einmal auf die Ergebnisse der HIPST-Projekts verwiesen.

Frage, wie man Nature of Science in einer breiten Basis von Lehrveranstaltungen etablieren könnte. Einerseits ist eine Wissensfundierung in einer spezialisierten NOS-Lehrveranstaltung nötig, andererseits wäre es aber wünschenswert, wenn eine Vielzahl von Lehrveranstaltungen einzelne, abgegrenzte Bereiche des Themas rekonstruieren würde.

Im schulischen Kontext würde eine Analyse der österreichischen Schulbücher in Bezug auf Nature of Science einen besseren Überblick zum aktuellen Status Quo bieten, da das Schulbuch in der Regel die zentrale Quelle des Wissens ist. Darüber hinaus ergibt sich - will man Nature of Science im Unterricht etablieren - die Notwendigkeit, Lehrmaterialien und Unterrichtskonzepte zu entwickeln und zu testen.

Es gibt also noch Raum für eine Fülle von fachdidaktischen Untersuchungen, um einerseits den Ist-Zustand zu erheben und andererseits die Implementierung von Nature of Science in den österreichischen Physikunterricht (ebenso wie den anderen Naturwissenschaften) voranzutreiben. Die Notwendigkeit dazu wurde von Seiten der Fachdidaktik durchaus schon erkannt⁵³, die konkrete Umsetzung verspricht möglicherweise noch eine Vielzahl an Publikationen in den nächsten Jahren.

⁵³ Stadler, Lembens, und Weiglhofer (2009) haben angesichts der österreichischen Ergebnisse in den Naturwissenschaften im Rahmen der PISA-Studie 2006 bereits darauf hingewiesen, dass es sinnvoll wäre, die Erkenntnisse der internationalen Forschung zu Nature of Science für Österreich nutzbar zu machen.

Literaturverzeichnis

- 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. doi:10.1080/09500690050044044
- Abd-El-Khalick, F., Myers, J. Y., Summers, R., Brunner, J., Waight, N., Wahbeh, N., . . . Belarmino, J. (2016). A longitudinal analysis of the extent and manner of representations of nature of science in U.S. high school biology and physics textbooks. *Journal of Research in Science Teaching*, 54(1), 82–120. doi:10.1002/tea.21339
- Aikendhead, G. S. (2003). Review of Research on Humanistic Perspectives in Science Curricula. Retrieved from https://www.usask.ca/education/documents/profiles/aikenhead/ESERA_2.pdf
- Aikenhead, G. S. (1997). Exploring Ideologies: STS and HPS. Retrieved from <https://www.usask.ca/education/documents/profiles/aikenhead/explideo.htm>
- Alshamrani, S., & McComas, W. F. (2009). The Context, Accuracy and Frequency of Inclusion of Key Nature of Science Concepts in Current Secondary Level Physics Textbooks. Paper Presented at the 2009 Annual Meeting of The National Association for Research in Science Teaching Anaheim, CA April 17-21, 2009. Retrieved from https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0ahUKEwiA7en80q_RAhVFVxQKHR9ZCF0QFggcMAA&url=http%3A%2F%2Ffaculty.ksu.edu.sa%2FaIshamrani%2FDocLib%2FThe%2520Key%2520NOS%2520Aspects%2520in%2520Physics%2520Textbooks.pdf&usq=AFQjCNEXk8cacIREyHS9i3XyT6ivCUP_lg
- Baumgart, U., Krüger, U.-H., Niedderer, H., & Schecker, H. (1982). Übersicht über wichtige wissenschaftstheoretische Fragestellungen und Positionen. *Der Physikunterricht*, 16(2), 5–20.
- Bayir, E., Cakici, Y., & Ertas, O. (2014). Exploring Natural and Social Scientists' Views of Nature of Science. *International Journal of Science Education*, 36(8), 1286–1312. doi:10.1080/09500693.2013.860496
- Bell, R. L., & Lederman, N. G. (2003). Understandings of the nature of science and decision making on science and technology based issues. *Science Education*, 87(3), 352–377. doi:10.1002/sce.10063
- Bentley, M. L., & Fleury, S. C. (1998). Of Starting Points and Destinations: Teacher Education and the Nature of Science. In W. F. McComas (Ed.), *Science & technology education library:*

- Vol. 5. The nature of science in science education. Rationales and strategies* (pp. 277–292). Dordrecht [u.a.]: Kluwer.
- Boersema, D. (1998). The Use of Real and Imaginary Cases in Communicating the Nature of Science: A Course Outline. In W. F. McComas (Ed.), *Science & technology education library: Vol. 5. The nature of science in science education. Rationales and strategies* (pp. 255–266). Dordrecht [u.a.]: Kluwer.
- Bora, A. (2012). Wissenschaft und Politik: Von Steuerung über Governance zu Regulierung. In S. Maasen, M. Kaiser, M. Reinhart, & B. Sutter (Eds.), *Handbuch Wissenschaftssoziologie* (pp. 342–353). Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.
- Brandstetter, T. (2012). Wissenschaftsgeschichte. In S. Maasen, M. Kaiser, M. Reinhart, & B. Sutter (Eds.), *Handbuch Wissenschaftssoziologie* (pp. 241–249). Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.
- Bundesinstitut für Bildungsforschung, Innovation und Entwicklung des Bildungswesens (bifie). (2011). Kompetenzmodell Naturwissenschaften: 8. Schulstufe. Vorläufige Endversion Oktober 2011. Retrieved from https://www.bifie.at/system/files/dl/bist_nawi_kompetenzmodell-8_2011-10-21.pdf
- Bundesministerium für Bildung. Österreichischer Lehrplan AHS – Oberstufe: Unterrichtsfach Physik. Retrieved from https://www.bmb.gv.at/schulen/unterricht/lp/lp_neu_ahs_10_11862.pdf?5i84ki
- Bundesministerium für Bildung. Österreichischer Lehrplan AHS – Unterstufe: Unterrichtsfach Physik. Retrieved from https://www.bmb.gv.at/schulen/unterricht/lp/ahs16_791.pdf?5i81nx
- Association, N. S. T. (Ed.). (2010). *The teaching of science: 21st century perspectives*.
- Castellvecchi, D. (2015). Physics paper sets record with more than 5, 000 authors. Retrieved from <http://www.nature.com/news/physics-paper-sets-record-with-more-than-5-000-authors-1.17567>
- Cobern, W. W., & Loving, C. C. (1998). The Card Exchange: Introducing the Philosophy of Science. In W. F. McComas (Ed.), *Science & technology education library: Vol. 5. The nature of science in science education. Rationales and strategies* (pp. 73–82). Dordrecht [u.a.]: Kluwer.
- Dannemann, F. (1924). Wissenschaft als Einheit. *Isis*, 6(3), 395–399.
- Demtröder, W. (2008). *Experimentalphysik I: Mechanik und Wärme* (5th ed.). Springer-Lehrbuch. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag.
- derstandard.at. (2016). Frauenquote an Unis wächst nur langsam. Retrieved from <http://derstandard.at/2000036911218/Frauenquote-waechst-nur-langsam>

- Döbrich, P. (Ed.) 2002. *Qualitätsentwicklung im naturwissenschaftlichen Unterricht: Fachtagung am 15. Dezember 1999*. Materialien zur Bildungsforschung. Frankfurt am Main.
- Dorfmüller, T., Bergmann, Ludwig, 1898-1959, & Schaefer, Clemens, 1878-1968 (Eds.). (1998). *Mechanik, Relativität, Wärme: Lehrbuch der Experimentalphysik* (11., völlig Neubearb. Aufl.). Berlin [u.a.]: de Gruyter.
- Driver, Rosalind, 1941-1997 (Ed.). (2009). *Young people's images of science* (Reprint). Maidenhead: Open Univ. Pr.
- Ewers, M. (Ed.). (1978). *Texte zur mathematisch-naturwissenschaftlich-technischen Forschung und Lehre: Vol. 3. Wissenschaftsgeschichte und naturwissenschaftlicher Unterricht*. Bad Salzdetfurth ü. Hildesheim: Franzbecker, Didaktischer Dienst.
- Feist, G. J., & Gorman, Michael E., 1952- (Eds.). (2013). *Handbook of the psychology of science*.
- Feynman, R. P., Leighton, R. B., & Sands, M. L. (2015). *Feynman-Vorlesungen über Physik I: Mechanik: New millenium edition* (6. Auflage). De Gruyter Studium.
- Galili, I. (2012). Promotion of Cultural Content Knowledge Through the Use of the History and Philosophy of Science. *Science & Education*, 21(9), 1283–1316. doi:10.1007/s11191-011-9376-x
- Gerstenmaier, J., & Mandl, H. (1995). Wissenserwerb unter konstruktivistischer Perspektive. *Zeitschrift für Pädagogik*, 41(6), 867–888.
- Giancoli, D. C. (2010). *Physik: Lehr- und Übungsbuch* (3., erw. Aufl.). Physik. München [u.a.]: Pearson Studium / Pearson, Higher Education.
- Gläser, J. (2012). Scientific Communities. In S. Maasen, M. Kaiser, M. Reinhart, & B. Sutter (Eds.), *Handbuch Wissenschaftssoziologie* (pp. 151–162). Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.
- Gräber, W. (2002). "Scientific Literacy": Naturwissenschaftliche Bildung in der Diskussion. In P. Döbrich (Ed.), *Qualitätsentwicklung im naturwissenschaftlichen Unterricht. Fachtagung am 15. Dezember 1999. Materialien zur Bildungsforschung* (pp. 1–28). Frankfurt am Main.
- Gropengießer, H. (2005). Qualitative Inhaltsanalyse in der fachdidaktischen Lehr- Lernforschung. In Mayring, Philipp, 1952- (Ed.), *UTB: 8269 : Pädagogik, Psychologie. Die Praxis der Qualitativen Inhaltsanalyse* (pp. 172–189). Weinheim [u.a.]: Beltz.
- Halliday, D., Resnick, R., & Walker, J. (2009). *Physik* (2., überarb. u. erg. Aufl.). *Fundamentals of physics* <dt.>. Weinheim: Wiley-VCH.
- Hamel, J. (1998). *Geschichte der Astronomie: Von den Anfängen bis zur Gegenwart*. Basel [u.a.]: Birkhäuser.

- Hammerich, P. L. (1998). Confronting Students' Conceptions of the Nature of Science with Cooperative Controversy. In W. F. McComas (Ed.), *Science & technology education library: Vol. 5. The nature of science in science education. Rationales and strategies* (pp. 127–136). Dordrecht [u.a.]: Kluwer.
- Heering, P. (2015). Storytelling im Physikunterricht: Ein Ansatz zum Einbezug physikgeschichtlicher Inhalte. *Praxis der Naturwissenschaften - Physik in der Schule*, 64(6), 13–17.
- Heering, P., & Asmussen, S. Ein neuartiger Zugang zur Implementierung historischer Geräte und Experimente im Unterricht. *PhyDid A, Physik und Didaktik in Schule und Hochschule*, 2014, Vol.13(1), pp.1-10, 1.
- Henke, A. (2016). Lernen über die Natur der Naturwissenschaften – Forschender und historisch orientierter Physikunterricht im Vergleich. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 22(1), 123–145. doi:10.1007/s40573-016-0046-z
- Henke, A., & Höttecke, D. (2009). Case Studies for Teaching and Learning with History and Philosophy of Science: Exemplary Results of the HIPST Project in Germany.
- Henke, A., & Höttecke, D. (2015). Physics Teachers' Challenges in Using History and Philosophy of Science in Teaching. *Science & Education*, 24(4), 349–385. doi:10.1007/s11191-014-9737-3
- Hodson, D., & Wong, S. L. (2014). From the Horse's Mouth: Why scientists' views are crucial to nature of science understanding. *International Journal of Science Education*, 36(16), 2639–2665. doi:10.1080/09500693.2014.927936
- Höttecke, D. (2004). Schülervorstellungen über die "Natur der Naturwissenschaften". In Höble, Corinna, 1965- (Ed.), *Lehren und Lernen über die Natur der Naturwissenschaften* (pp. 264–277). Baltmannsweiler: Schneider Hohengehren.
- Höttecke, D. (2010). Forschend-entdeckender Physikunterricht: Ein Überblick zu Hintergründen, Chancen und Umsetzungsmöglichkeiten entsprechender Unterrichtskonzeptionen. *Unterricht Physik*. (119), 4–12.
- Höttecke, D. (2012). HIPST—History and Philosophy in Science Teaching: A European Project. *Science & Education*, 21(9), 1229–1232. doi:10.1007/s11191-011-9435-3
- Höttecke, D., & Barth, M. (2011). Geschichte im Physikunterricht: Argumente, Methoden und Anregungen, um Wissenschaftsgeschichte in den Physikunterricht einzubeziehen. *Unterricht Physik*. (126), 4–10.
- Höttecke, D., Henke, A., & Riess, F. (2012). Implementing History and Philosophy in Science Teaching: Strategies, Methods, Results and Experiences from the European HIPST Project. *Science & Education*, 21(9), 1233–1261. doi:10.1007/s11191-010-9330-3

- Höttecke, D., & Riess, F. (2007). Rekonstruktion der Vorstellungen von Physikstudierenden über die Natur der Naturwissenschaften - eine explorative Studie. *PhyDid*, 6(1), 1–14.
- Höttecke, D., & Silva, C. C. (2011). Why Implementing History and Philosophy in School Science Education is a Challenge: An Analysis of Obstacles. *Science & Education*, 20(3-4), 293–316. doi:10.1007/s11191-010-9285-4
- Höttecke, D. (2001). *Die Natur der Naturwissenschaften historisch verstehen: Fachdidaktische und wissenschaftshistorische Untersuchungen. Studien zum Physiklernen: Vol. 16*. Berlin: Logos-Verl.
- Höttecke, D. (2007). Historisch orientierter Physikunterricht. In S. Mikelskis-Seifert & T. Rabe (Eds.), *Physik Methodik. Handbuch für die Sekundarstufe I und II* (1st ed., pp. 57–69). Berlin: Cornelsen Verl. Scriptor.
- Jansen, F., & Vogt, P. (1998). Learning by Designing: A Case of Heuristic Theory Development in Science Teaching. In W. F. McComas (Ed.), *Science & technology education library: Vol. 5. The nature of science in science education. Rationales and strategies* (pp. 151–162). Dordrecht [u.a.]: Kluwer.
- Jung, W. (1982). Phänomen, Begriff, Theorie: 3 Thesen zu Wissenschaftstheorie und Didaktik der Physik. *Der Physikunterricht*, 16(2), 21–31.
- Jung, W. (1983). Kann man Physik nur historisch "wirklich verstehen"? *Der Physikunterricht*, 17(3), 5–15.
- Kattman, U., Duit, R., Gropengießer, H., & Komorek, M. (1997). Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion: Ein Rahmen für naturwissenschaftsdidaktische Forschung und Entwicklung. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 3(3), 3–18.
- Kipnis, N. (1998). A History of Science Approach to the Nature of Science: Learning Science by Rediscovering it. In W. F. McComas (Ed.), *Science & technology education library: Vol. 5. The nature of science in science education. Rationales and strategies* (pp. 177–198). Dordrecht [u.a.]: Kluwer.
- Kircher, E., & Dittmer, A. (2004). Lehren und Lernen über die Natur der Naturwissenschaften: Ein Überblick. In Hößle, Corinna, 1965- (Ed.), *Lehren und Lernen über die Natur der Naturwissenschaften* (pp. 2–22). Baltmannsweiler: Schneider Hohengehren.
- Kircher, E., Girwidz, R., & Häußler, P. (2010). *Physikdidaktik*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Kircher, E. (1995). *Studien zur Physikdidaktik: Erkenntnis- und wissenschaftstheoretische Grundlagen. IPN: Vol. 145*. Kiel.

- Koslowski, B. (2013). Scientific Reasoning: Explanation, Confirmation, Bias and Scientific Practice. In G. J. Feist & Gorman, Michael E., 1952- (Eds.), *Handbook of the psychology of science* (pp. 151–192).
- Krüger, D., Schmiemann, P., Dittmer, A., & Möller, A. (Eds.) 2014. *Erkenntnisweg Biologiedidaktik. : Vol. 13.*
- Kubli, F. (2001). Narrative Aspekte im naturwissenschaftlichen Unterricht. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 7, 25–32.
- Künkler, T. (2011). *Lernen in Beziehung: Zum Verhältnis von Subjektivität und Relationalität in Lernprozessen. Pädagogik.* Bielefeld: Transcript-Verl.
- Kuhn, T. S. (1996). *Die Struktur wissenschaftlicher Revolutionen* (2., rev. und um das Postskriptum von 1969 erg. Aufl., 13. Aufl.). *Suhrkamp-Taschenbuch Wissenschaft: Vol. 25.* Frankfurt am Main: Suhrkamp.
- Kuhn, W. (1982). Die Rolle der Physikgeschichte in der Physiklehrer-Ausbildung und im Physikunterricht. *Physikalischer Blätter*, 38(7), 196–204.
- Kuhn, W. (1983). Physikgeschichte - wissenschaftstheoretische und didaktische Thesen. *Der Physikunterricht*, 17(3), 19–40.
- Lamnek, S. (2010). *Qualitative Sozialforschung: Lehrbuch* (5., überarb. Aufl.). Weinheim [u.a.]: Beltz.
- Lederman, N. G., & Abd-El-Khalick, F. (1998). Avoiding De-Natured Science: Activities that Promote Understandings of the Nature of Science. In W. F. McComas (Ed.), *Science & technology education library: Vol. 5. The nature of science in science education. Rationales and strategies* (pp. 83–126). Dordrecht [u.a.]: Kluwer.
- 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.
doi:10.1002/tea.10034
- Loving, C. C. (1998). Nature of Science Activities Using Scientific Theory Profile: From the Hawking-Gould Dichotomy to a Philosophy Checklist. In W. F. McComas (Ed.), *Science & technology education library: Vol. 5. The nature of science in science education. Rationales and strategies* (pp. 137–150). Dordrecht [u.a.]: Kluwer.
- Ma, H. (2012). *The images of science through cultural lenses: A Chinese study on the nature of science.*
- Mayring, P. (2015). *Qualitative Inhaltsanalyse: Grundlagen und Techniken* (12., überarb. Aufl.). Weinheim [u.a.]: Beltz.

- Mayring, Philipp, 1952- (Ed.). (2005). *UTB: 8269 : Pädagogik, Psychologie. Die Praxis der Qualitativen Inhaltsanalyse*. Weinheim [u.a.]: Beltz.
- McComas, W. F. (1998). A Thematic Introduction to the Nature of Science: The Rationale and Content of a Course for Science Educators. In W. F. McComas (Ed.), *Science & technology education library: Vol. 5. The nature of science in science education. Rationales and strategies* (pp. 211–222). Dordrecht [u.a.]: Kluwer.
- McComas, W. F., Clough, M. P., & Amlaroza, H. (1998). The Role and Character of the Nature of Science in Science Education. In W. F. McComas (Ed.), *Science & technology education library: Vol. 5. The nature of science in science education. Rationales and strategies* (pp. 2–40). Dordrecht [u.a.]: Kluwer.
- McComas, W. F., & Olson, J. K. (1998). The Nature of Science in International Science Education Standard Documents. In W. F. McComas (Ed.), *Science & technology education library: Vol. 5. The nature of science in science education. Rationales and strategies* (pp. 41–52). Dordrecht [u.a.]: Kluwer.
- Meichtry, Y. (1998). Elementary Science Methods: Developing and Measuring Students Views of a Nature of Science in Science Education. In W. F. McComas (Ed.), *Science & technology education library: Vol. 5. The nature of science in science education. Rationales and strategies* (pp. 231–242). Dordrecht [u.a.]: Kluwer.
- Meschede, D. (Ed.). (2010). *Springer-Lehrbuch: Vol. 0. Gerthsen Physik* (24., überarbeitete Auflage). Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Meyling, H. (1997). How to Change Students' Conceptions of the Epistemology of Science. *Science & Education*, 6, 397–416.
- Meyling, H. (2004). Lernen über Physik. In Hößle, Corinna, 1965- (Ed.), *Lehren und Lernen über die Natur der Naturwissenschaften* (pp. 202–215). Baltmannsweiler: Schneider Hohengehren.
- National Academy of Sciences (NAS) Working Group on Teaching Evolution (Ed.). (1998). *Teaching about evolution and the nature of science*.
- National Research Council (Ed.). (1996). *National Science Education Standards: Observe, interact, change, learn*.
- Niedderer, H., & Schecker, H. (1982). Ziele und Methodik eines wissenschaftstheoretisch orientierten Physikunterrichts. *Der Physikunterricht*, 16(2), 58–71.
- OECD. (2013). PISA 2015: Draft Science Framework. Retrieved from <https://www.oecd.org/pisa/pisaproducts/Draft%20PISA%202015%20Science%20Framework%20.pdf>

- Osborne, J., Collins, S., Ratcliffe, M., Millar, R., & Duschl, R. (2003). What Ideas-about-science? should be taught in school science?: A Delphi study of the expert community. *Journal of Research in Science Teaching*, 40(7), 692–720. doi:10.1002/tea.10105
- Osborne, J., Simon, S., & Collins, S. (2003). Attitudes towards science: A review of the literature and its implications. *International Journal of Science Education*, 25(9), 1049–1079. doi:10.1080/0950069032000032199
- Prasad, A. (2008). Science in motion: What postcolonial science studies can offer. *RECIIS*, 2(2). doi:10.3395/reciis.v2i2.187en
- Pukies, J. (1979). *Das Verstehen der Naturwissenschaften* (1. Aufl.). Westermann-Taschenbuch: Vol. 67. Braunschweig: Westermann.
- Reinhart, M. (2012). Wissenschaft und Wirtschaft: Von Entdeckung zu Innovation. In S. Maasen, M. Kaiser, M. Reinhart, & B. Sutter (Eds.), *Handbuch Wissenschaftssoziologie* (pp. 365–378). Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.
- Reinisch, B., & Krüger, D. (2014). Vorstellungen von Studierenden über Gesetze, Theorien und Modelle in der Biologie. In D. Krüger, P. Schmiemann, A. Dittmer, & A. Möller (Eds.), *Erkenntnisweg Biologiedidaktik* (41-56).
- Ruhrig, J., & Höttecke, D. (2015). Components of Science Teachers' Professional Competence and Their Orientational Frameworks when Dealing with Uncertain Evidence in Science Teaching. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 2015, Vol.13(2), pp.447-465, 447.
- Sambûrsqî, Šemû'ēl, 1900-1990 (Ed.). (1975). *Physical thought from the presocratics to the quantum physicists <dt.>*. *Der Weg der Physik: 2500 Jahre physikalischen Denkens; Texte von Anaximander bis Pauli* (German ed.). Zürich [u.a.]: Artemis.
- Schimak, U. (2012). Wissenschaft als gesellschaftliches Teilsystem. In S. Maasen, M. Kaiser, M. Reinhart, & B. Sutter (Eds.), *Handbuch Wissenschaftssoziologie* (pp. 114–123). Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.
- Schlüter, K. (2004). Fallstudien in entscheidungsorientierten Unterricht. In Höble, Corinna, 1965- (Ed.), *Lehren und Lernen über die Natur der Naturwissenschaften* (pp. 224–230). Baltmannsweiler: Schneider Hohengehren.
- Schuldt, C. (1988). Zur Genese des genetischen Lernens im Physikunterricht. *physica didactica*, 15(3), 3–17.
- Schwartz, R. S., & Lederman, N. G. (2008). What Scientists Say: Scientists' views of nature of science and relation to science context. *International Journal of Science Education*, 30(6), 727–771.

- Schwartz, R. S., Lederman, N. G., & Crawford, B. A. (2004). Developing views of nature of science in an authentic context: An explicit approach to bridging the gap between nature of science and scientific inquiry. *Science Education*, 88(4), 610–645. doi:10.1002/sce.10128
- Schwartz, R. S., Lederman, N. G., & Lederman, J. S. (2008). An Instrument To Assess Views Of Scientific Inquiry: The VOSI Questionnaire. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/251538349_An_Instrument_To_Assess_Views_Of_Scientific_Inquiry_The_VOSI_Questionnaire
- Segre, M. (1991). *In the wake of Galileo*. New Brunswick, NJ: Rutgers Univ. Press.
- Spector, B., Strong, P., & LaPorta, T. (1998). Teaching Nature of Science as an Element of Science, Technology and Society. In W. F. McComas (Ed.), *Science & technology education library: Vol. 5. The nature of science in science education. Rationales and strategies* (pp. 267–276). Dordrecht [u.a.]: Kluwer.
- Stadler, H., Lembens, A., & Weiglhofer, H. (2009). PISA 2006 Naturwissenschaft: Das Konzept aus fachdidaktischer Sicht. In C. Schreiner (Ed.), *PISA 2006. Österreichischer Expertenbericht zum Naturwissenschafts-Schwerpunkt*. Graz: Leykam. Retrieved from <https://www.bifie.at/buch/815/3/3>
- Stangl, W. (1989). *Das neue Paradigma der Psychologie: Die Psychologie im Diskurs des radikalen Konstruktivismus. Wissenschaftstheorie, Wissenschaft und Philosophie: Vol. 28*. Braunschweig [u.a.]: Vieweg.
- Ströker, E. (1992). *Einführung in die Wissenschaftstheorie* (4., gegenüber der 3. unveränd. Aufl.). *Die Philosophie*. Darmstadt: Wiss. Buchges.
- Sullenger, K., & Turner, S. (1998). Nature of Science: Implications for Education: An Undergraduate Course for Prospective Teachers. In W. F. McComas (Ed.), *Science & technology education library: Vol. 5. The nature of science in science education. Rationales and strategies* (pp. 243–254). Dordrecht [u.a.]: Kluwer.
- Taber, K. S. (2012). The cultures of science education across the world. *Studies in Science Education*, 48(2), 229–235. doi:10.1080/03057267.2012.738021
- Teichmann, J. (2007). Galilei und das Experiment. *Praxis der Naturwissenschaften - Physik in der Schule*, 56(8), 5–11.
- Tetens, H. (2013). *Wissenschaftstheorie: Eine Einführung* (Orig.-Ausg). *Beck'sche Reihe: 2808 : C. H. Beck Wissen*. München: Beck.
- Tseitlin, M., & Galili, I. (2005). Physics Teaching in the Search for Its Self. *Science & Education*, 14(3-5), 235–261. doi:10.1007/s11191-004-7943-0
- Universität Wien. (2016). Curriculum Bachelor of Education: Unterrichtsfach Physik. Retrieved from

- http://studentpoint.univie.ac.at/fileadmin/user_upload/studentpoint_2011/Curricula/Lehramt/LA_BA_Physik.pdf
- Universität Wien. (2015). Teilcurriculum Master of Education: Unterrichtsfach Physik. Retrieved from http://studentpoint.univie.ac.at/fileadmin/user_upload/studentpoint_2011/Curricula/Lehramt_Master/Teilcurriculum_Physik_MA_Lehramt.pdf
- Universität Wien. (2015). Erweiterungcurriculum Naturwissenschaftliches Denken: Fallbeispiele, Grundlagen und Einflüsse. Retrieved from http://studentpoint.univie.ac.at/fileadmin/user_upload/studentpoint_2011/Curricula/EC/EC_NaturwissenschaftlichesDenken.pdf
- Universität Wien. (2002). Studienplan für das "Lehramtsstudium" an der Fakultät für Naturwissenschaften und Mathematik. Retrieved from http://www.univie.ac.at/mtbl93/nummer/2001_02_344.pdf
- Wagner, P., Reischl, G. P., & Steiner, G. (2012). *Einführung in die Physik* (2., neu bearb. Aufl.). Wien: Facultas.WUV.
- Wiesner, H., Schecker, H., & Hopf, M. (Eds.). (2015). *Physikdidaktik kompakt* (2nd ed.). Freising: Aulis-Verl.
- Willems, K. (2007). *Schulische Fachkulturen und Geschlecht: Physik und Deutsch - natürliche Gegenpole? Theorie Bilden: Vol. 10*. Bielefeld: transcript Verlag. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.14361/9783839406885>
- Wilsche, H. A. (2013). *Einführung in die Wissenschaftstheorie* (1. Aufl.). *utb-studi-e-book*.

Anhang A

A.1 Fragebogen

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

In diesem Fragebogen geht es darum zu erfahren, welches Bild Physikstudierende von Wissenschaft und Forschung haben.

Frage 1

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.)

Hier geht es richtig los:

Bitte beantworte jede der folgenden Fragen in Form geschlossener Texte (keine Stichworte). Zur Beantwortung kannst du den ganzen zur Verfügung gestellten Platz und die Rückseite der Blätter verwenden.

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 interessiert nur deine Vorstellung zu den folgenden Fragen.

Frage 2

Was ist für dich Naturwissenschaft?

Frage 3

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

Frage 4

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

Frage 5

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?

Frage 6

MeteorologInnen sammeln Informationen zu Klima und Wetter. Oft erstellen sie Computermodelle unterschiedlicher Wettermuster.

- a) Denkst du, dass MeteorologInnen sicher sind, was die Aussagen dieser Computermodelle zu Wettermustern betrifft?
- b) Warum schon oder warum nicht?

Frage 7

Das Modell des Erdinneren besteht aus mehreren Schalen: der Erdkruste, dem Oberen Mantel, dem Unteren Mantel, dem Äußeren Erdkern, dem Inneren Erdkern. Entspricht dieses Modell exakt dem, wie die Erde in ihrem Inneren aussieht? Erläutere deine Antwort!

Frage 8

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

- a) Was denkst du: Sind sich die WissenschaftlerInnen über den Aufbau von Atomen sicher? Begründe bitte deine Entscheidung!
- b) Auf welche Belege stützen sich die WissenschaftlerInnen dabei?

Frage 9

Was ist ein naturwissenschaftliches Modell?

Frage 10

Wofür dienen naturwissenschaftliche Modelle?

Frage 11

Was ist ein Experiment?

Frage 12

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

Frage 13

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?

☐

JA

☐

NEIN

a) Falls NEIN, erkläre bitte warum!

b) Falls 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.

Frage 14

Gibt es einen Unterschied zwischen einer naturwissenschaftlichen Theorie und einem naturwissenschaftlichen Gesetz? Illustriere bitte deine Antwort mit einem Beispiel.

Frage 15

Ändert sich eine naturwissenschaftliche Theorie (z.B. Atomtheorie, Evolutionstheorie) irgendwann einmal, nachdem NaturwissenschaftlerInnen sie entwickelt haben? Bitte begründe deine Antwort!

Frage 16

Manche Menschen behaupten, dass die Naturwissenschaft von gesellschaftlichen und kulturellen Werten durchdrungen ist. Das bedeutet, dass die Naturwissenschaft gesellschaftliche und politische Werte und Normen und philosophische Ideen widerspiegelt. Andere Menschen behaupten, dass die Naturwissenschaft nicht von gesellschaftlichen und politischen Werten, Normen und philosophischen Ideen beeinflusst ist.

Denkst du, dass Naturwissenschaft gesellschaftliche und kulturelle Werte widerspiegelt?

☐

JA

☐

NEIN

- Wenn du glaubst, dass Naturwissenschaft **gesellschaftliche und kulturelle Werte widerspiegelt**, erkläre bitte warum und wie. Begründe deine Antwort und illustriere diese mit Beispielen.
- Wenn du glaubst, dass Naturwissenschaft **allgemeingültig** ist, erkläre bitte warum und wie. Begründe deine Antwort und illustriere diese mit Beispielen.

This image shows a blank sheet of white paper with horizontal ruling lines. The lines are evenly spaced and run across the width of the page. There are no margins, text, or other markings on the paper.

Frage 17**Angaben zur Person**

Du bist: ☐ weiblich ☐ männlich _____ Jahre alt

Frage 18**Welche(s) naturwissenschaftliche(n) Fach/Fächer studierst du? (Bitte ankreuzen)**

(Mehrfachnennungen möglich)

☐ Biologie ☐ Chemie ☐ Physik ☐ andere _____

Bitte angeben!

Frage 19**Welche(s) weiteren(n) Fach/Fächer studierst du? (Bitte angeben)**

Frage 20**Studierst du ein Lehramtsstudium oder ein fachwissenschaftliches Studium?**

☐ Lehramt ☐ Fachwissenschaft

Frage 21**In welchem Semester studierst du Physik? (Bitte ankreuzen)**

1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9. u. >
----	----	----	----	----	----	----	----	---------

Frage 22**Hast du den ersten Studienabschnitt / den Bachelor bereits abgeschlossen? (Bitte ankreuzen)**

1. Studienabschnitt ☐ JA ☐ NEIN
abgeschlossen

Bachelor abgeschlossen ☐ JA ☐ NEIN

Vielen Dank für deine Mitarbeit!!

A.2 Auswertung des Prä-Tests

Zitat	Person	Generalisierung
Frage 2) Was ist für dich Naturwissenschaft?		
<i>Die Suche nach Erkenntnissen/dem Verstehen der Natur nach neopositivistischen Kriterien wie Falsifikation, Deduktion, ...</i>	P1	
<i>In den Naturwissenschaften versucht man Vorgänge und Abläufe oder Dinge zu erklären und zu untersuchen</i>	P4	Nw. will Erkenntnisse gewinnen/erklären
<i>Erkenntnisse über die Natur gewinnen und mit Hilfe von Versuchen und Messwerten belegen können.</i>	P7	
<i>Modelle/Theorien über nicht zu 100% belegbare Situationen aufstellen.</i>		
<i>Naturwissenschaft ist ein sich Auseinandersetzen mit Vorgängen, die beobachtbar sind (egal wo!); Naturwissenschaft ist getrieben von Neugier</i>	P2	Nw. beruht auf Beobachtung
<i>Die Bedienungsanleitung des Universums</i>	P3	Nw. erklärt die Funktionsweise des Universums
<i>Der Versuch auf menschlicher Ebene die Natur z.B. mit Hilfe der Mathematik innerhalb eines Realitätsabbildes zu beschreiben und zu verstehen versuchen</i>	P5	Nw. will ein Abbild der Natur zeichnen
<i>Jede Wissenschaft ist Naturwissenschaft, wenn man es genau nimmt. Wenn man auf die gleichen Fragen unter gleichen Bedingungen die gleichen Antworten erhält</i>	P6	Nw. beruht auf Reproduzierbarkeit
Frage 3) Wie unterscheidet sich für dich Naturwissenschaft von anderen Fächern/Disziplinen?		
<i>Die Kriterien für Erkenntnis sind in den Naturwissenschaften anders. Damit auch die Methodik des Erkenntnisgewinns. Inhalte können sich allerdings überschneiden.</i>	P1	Nw. verfügen über eine spezifische Methodik
<i>Naturwissenschaft ist fast so präzise wie Mathematik. Naturwissenschaft empfinde ich präziser und vor allem weniger subjektiv als sonstige Wissenschaften.</i>	P2	
<i>Naturwissenschaften befassen sich mit Vorgängen in der Natur ohne Beachtung des Menschen,</i>	P3	Nw. sind frei von menschlichem Einfluss

während Fächer wie Sprachen, Geschichte, Wirtschaft ... nur auf den Menschen bezogen sind.

Dass das menschliche Handeln wenig Einfluss hat. Der Mensch steht nicht im Zentrum.

P6

Naturwissenschaften behandeln Themen die meist beobachtbar sind und keine menschliche Erfindung sind (wie z.B. Wirtschaft (Geld))

P4

Nw. beruht auf Beobachtung

Naturwissenschaften beschäftigen sich mit realen Dingen wobei z.B. Geisteswissenschaften nur vom Menschen erdacht sind.

P5

Nw. befassen sich mit der Realität

Das selbstständige Arbeiten bzw. "entdecken" durch Experimente. Genaue Messungen können durchgeführt werden, um bestimmte Daten zu erheben.

P7

Nw. sind durch Experimente charakterisiert

Frage 4) Denkst du, dass sich naturwissenschaftliches Wissen in Zukunft verändern kann?

Das bisher erlangte bzw. erzeugte Wissen wird sich wohl nur dahingehend verändern, dass die verwendeten Modelle erweitert werden. Wie z.B. Newtons Modell der Mechanik erweitert wurde. Die davon abgeleiteten Vorstellungen über die Welt (z.B. Nicht – Lokalität) veränderten sich in einem Maß, dass wohl nicht abzusehen ist. Aber beispielsweise das Thema Gravitation wird wohl noch zu einigen spannenden Umdenkprozessen führen.

P1

nw. Wissen wird im Lauf der Zeit erweitert und verändert

Wissen wird aufgebaut und Unklarheit geklärt. Naturwissenschaftliche Entdeckungen können aber auch neue Fragen aufwerfen.

P2

neues Wissen kann unvollständig sein

Schaut man sich die Geschichte der Naturwissenschaften an, ist es nicht abzustreiten, dass neue Entdeckungen gemacht werden, die zu einem Umdenken führen z.B. Relativitätstheorie, Quantenphysik

P3

nw. Wissen unterliegt historischem Wandel

Das kommt auf das Wissen an. Grundlegende Dinge wie z.B. in der Biologie, dass eine Kuh 4 Mägen hat ändern sich hoffentlich nicht. Unbewiesene Theorien ändern sich hingegen ständig.

P4

nw. Wissen teilt sich in veränderbare und unveränderliche Teile

<i>Es wird sicher Veränderungen geben. Die Menschheit entwickelt sich weiter und es neueste Messmethoden ermöglichen und, noch genauere Ergebnisse zu bekommen, um Antworten zu finden einer Theorie (im besten Fall) die besser (genauer) widerspiegelt, wie die Natur „wirklich“ gestrickt ist.</i>	P5	nw. Wissen ist vorläufig
<i>Ja, da es auch noch ungeklärte Fragen in den Naturwissenschaften gibt bzw. neue Erkenntnisse zu anderen Theorien führen können.</i>	P7	
<i>Das Wissen selbst verändert sich nicht. Aber die Theorien, welche das "Nichtwissen" erklären, verändern sich.</i>	P6	nw. Theorien können sich verändern

Frage 5 a) Woher wissen NaturwissenschaftlerInnen, dass es Dinosaurier wirklich gab?

<i>Durch Fossilienfunde und deren Datierung und Interpretation</i>	P1	
<i>Skelettfunde und deren Vergleich mit noch nicht ausgestorbenen Lebewesen</i>	P2	NWS treffen Aussagen aufgrund von Beobachtungen und deren Interpretation
<i>Weil man versteinerte Knochen gefunden hat die keinem noch existierenden Lebewesen zugeordnet werden konnten</i>	P4	
<i>Auf Grund archäologischer Funde (Knochen etc.) Fossilisierte Knochen, Eier, Spuren ... die sich datieren lassen</i>	P7 P3	NWS treffen Aussagen anhand von experimentellen Untersuchungen
<i>Knochenfunde, Fossilien</i>	P5	
<i>Sie wissen es nicht. Aber aufgrund von Forschungsergebnissen ist es sehr wahrscheinlich, dass es sie gab</i>	P6	NWS können keine sicheren Aussagen treffen

Frage 5 b) Wie sicher sind sich NaturwissenschaftlerInnen darüber, wie Dinosaurier aussahen?

<i>Man kennt ihre Skelettform. Inzwischen ist man sich recht sicher, dass sie Federn hatten, was aber noch teilweise umstritten ist. Farbe der Dinosaurier ist unbekannt</i>	P1	
<i>Über Körpergröße. und Masse können, denke ich, präzise Angaben gemacht werden (ebenso über die</i>	P2	

Ernährungsweise). Farbe z.B. könnte unklar sein (getarnt oder nicht?)

Vom Aussehen lebender Reptilien werden Rückschlüsse gezogen, zudem gibt es Funde mit teilweise erhaltener Haut. Komplette sicher sind aktuelle Vermutungen wahrscheinlich nicht P3

Bezüglich der Skellete sehr sicher. Der Rest könnte anders aussehen haben P4

Teilweise sehr sicher, da sie mittels Computermodellen und den Knochen der Tiere, die Körper rekonstruieren können. Auch können dabei z.B. Essgewohnheiten helfen ("Zähne") P5

Ziemlich, was Körperbau & Knochen betrifft. Unsicher, was Farbe, Feder, etc. betrifft P6

Ich denke, dass sie, die Struktur des Skellets sehr gut nachbilden können, wie diese jedoch von außen betrachtet aussahen ist nicht ganz klar P7

Frage 5 c) Warum sind sich WissenschaftlerInnen, trotz gleicher Datenlagen, nicht über die Gründe für das Aussterben der Dinosaurier einig?

Weil Information immer auch interpretiert werden muss. Das führt zwangsweise zu unterschiedlichen Meinungen P1

Die vorhandenen Informationen lassen unterschiedliche Ergebnisse zu bzw. werden unterschiedliche interpretiert P3

Weil dieselben Infos mehrere Theorien zulassen und keine ausgeschlossen werden kann P6

Möglicherweise sind nicht ausreichend Informationen über Wetterverhältnisse, Vulkane, Kometen, usw. von vor 65 Millionen Jahren vorhanden. Man kennt nur mögliche Ursachen für ein Massensterben P2

Die Informationen reichen nicht aus, um die mit Sicherheit zu sagen. Sicher ist nur, dass sie ausgestorben sind, nicht jedoch wie P7

Das Alter der Knochen kann objektiv gemessen werden. Die Todesursache nicht. P4

Quellenlage bestimmt Validität

Daten benötigen einer Interpretation

unzureichende Datenlage führt zu Uneinigkeit in der Naturwissenschaft

NWS benötigen Messverfahren

Vermutlich führen diese Informationen zu verschiedenen Ansichten. Mit 100% Wahrscheinlichkeit kann diese Frage nie beantwortet werden, da wir nicht dabei waren bzw. keine Zeitmaschine besitzen.

P5

nw. Wissen sind Grenzen gesetzt

Frage 6 a) Sind sich MeteorologInnen sicher was die Aussagekräftigkeit von Computermodellen zu Wettermustern betrifft?

Die Aussagen in der Meteorologie sind nie 100% sicher, sondern immer Wahrscheinlichkeiten bzw. groben Unsicherheiten unterworfen.

P1

Was heißt hier sicher? Das ist immer eine Frage der Wahrscheinlichkeit!

P5

NWS können nie absolut sichere Aussagen treffen

Ich denke sie können zu einer bestimmten Wahrscheinlichkeit Aussagen über das Wetter treffen.

P7

MeteorologInnen sind sich sicher dessen bewusst, dass Computermodelle eine Näherung bzw. Extrapolation darstellen und somit Fehler aufweisen können. Im Rahmen des erwarteten Fehlers sind sie sich aber glaub ich sicher.

P2

NWS können innerhalb gewisser Grenzen sichere Aussagen treffen

Es ist eine Wahrscheinlichkeit. Sie sind sich sicher, dass die Wahrscheinlichkeitsverteilung stimmt (70% sonne, 20% Regen, 10% Hagel). Wie das Wetter aber tatsächlich wird, darüber sind sie sich nicht sicher.

P6

Frage 6 b) Warum schon oder warum nicht?

Das Resultat aus der Methodik des Deduktiven Schließens in der Form in der die Meteorologie diese betreibt.

P1

nw. Methodik ist eine grundsätzliche Unsicherheit inherant

Extreme Wetterphänomene können wahrscheinlich schwerer vorhergesagt werden, als das Wetter über einem bestimmten Bundesland, da Anzeichen wie Druckunterschiede und Luftströmungen dabei deutlicher interpretiert werden können

P3

die Unsicherheit ist abhängig von der Fragestellung

Da die Meteorologen nie die exakten Ausgangsdaten kennen kann dann auch die beste Simulation von der Wirklichkeit abweichen, da schon eine kleine Änderung der Ausgangssituation das Ergebnis verändern kann

P4

NWS können die Komplexität der Natur nie vollständig abbilden

Es müssen sich nur ein paar kleine Parameter verändern und die Situation sieht anders aus. Kein Computermodell kann die komplexe Natur vollständig wiedergeben.

P5

Die Computermodelle beruhen auf bisherigen Erfahrungen und können die Vorhersage eingrenzen, nicht jedoch zu 100% vorhersagen wie warm es zu einer bestimmten Zeit an einem bestimmten Ort sein wird.

P7

Modelle sind erfahrungsbasiert

Frage 7) Entspricht des Modell des Erdaufbaus (Kruste, Oberer Mantel, Unterer Mantel, ...) exakt dem, wie die Erde im Inneren aussieht?

Nein. Diese Schichten sind nicht so extrem klar voneinander getrennt, was nicht zuletzt mit ihrer stetigen Bewegung zusammenhängt. Ein Beispiel dafür sind die Vulkanausbrüche und tektonische Verschiebungen

P1

naturwissenschaftliche Modelle entsprechen nicht exakt der Wirklichkeit

Es handelt sich um ein Modell, welches im Groben den Aufbau der Erde beschreibt. Ob sich dazwischen jedoch noch "dünnere" andere Schichten befinden kann man nicht mit Sicherheit sagen

P7

Exakt weiß man das nicht. Noch kein Messinstrument ist bisher tief genug eingedrungen um tatsächlich Gewissheit zu haben. Über Erdbebenwellen z.B. kann man aber zu Aussagen über die Eigenschaften (und Existenz) von Mantel, Kern kommen

P2

ohne direkte Beobachtung können keine validen Aussagen gemacht werden

Keine Ahnung! Niemand hat je das Erdinnere gesehen. Wir können also nie sicher sein ob die Ergebnisse richtig interpretiert werden

P4

Das Modell beruht auf Wahrscheinlichkeit und Berechnungen

P3

Modelle beruhen auf Wahrscheinlichkeit und Berechnungen

Entspricht nicht dem exakten Modell, dass ich habe! Erdkruste, flüssige Lavaschicht, Mantel (viele verschiedene) Erdkern

P5

-

Nein! Es ist ein Modell, welche das Kommunizieren erleichtern soll. Mehr nicht

P6

Modelle dienen der Kommunizierbarkeit

Frage 8 a) Sind sich WissenschaftlerInnen über den Aufbau von Atomen sicher?

<i>Die Wissenschaft ist sich über den Aufbau auf der Ebene der Protonen/Neutronen/Elektronen wohl sehr einig, zumindest habe ich diesbezüglich noch nie etwas Widersprüchliches gehört bzw. gelesen. Das Standardmodell der Teilchen ist da eher umstritten, zumindest was die Vollständigkeit betrifft</i>	P1	Die scientific community legt das akzeptierte Wissen fest
<i>Ich glaube zurzeit gibt es von theoretischen Physikern viele Vorhersagen zum Atomaufbau, die experimentell noch nicht bestätigt werden konnten. Je kleiner ein zu suchendes Teilchen ist desto aufwendiger gestaltet sich oftmals das Finden dessen.</i>	P2	Experimentell bestätigtes Wissen wird als geltend angenommen
<i>Ich gehe davon aus, dass sich Wissenschaftler aktuell über den Aufbau sicher sind, beruhend auf Experimenten.</i>	P3	
<i>Ich denke die Tatsache, dass Atome aus Protonen, Neutronen & Elektronen bestehen ist sicher. Was jedoch die Bewegung bzw. den Aufenthalt der Elektronen betrifft lässt sich keine sehr genaue Aussage machen</i>	P4	NWS sind sich ob der von ihnen erstellten Modelle sehr sicher
<i>Dass die Materie aus Protonen, Neutronen im Kern und den darum "kreisenden" Elektronen besteht, sind sich die Wissenschaftler sehr sicher</i>	P5	
<i>Es hängt vom Ziel ab, welches Modell das Beste ist. Manchmal ist dann auch das Bohr-Modell das Beste. Im Groben sind sie sich einig, im Feinen nicht, denn es gibt noch viel Unerforschtes</i>	P6	NWS sind sich über allgemeine Aussagen einig
<i>Da es schon mehrere Modelle für den Atomaufbau gab, welche im Laufe der Zeit jedoch wieder verworfen wurden, denke ich nicht, dass sie sich 100% sicher sind</i>	P7	NWS sind sich über nw. Modelle nicht sicher

Frage 8 b) Auf welche Belege stützen sich die WissenschaftlerInnen dabei?

<i>Das Orbitalmodell ist durch die theoretische Physik und durch Experimente bezüglich der Quanten-Natur der e- belegt</i>	P1	Theorie und Experimente untermauern die Qualität eines Modells
<i>Zerfalls- und Stoßprozesse (z.B. in Teilchenbeschleunigern)</i>	P2	
<i>Die Struktur der Atome wurde durch diverse Versuche ermittelt</i>	P4	

Ein Beleg dafür, dass es Atome gibt, seit dem Versuch von Max Laue, bei dem mittels Röntgenbeugung an Kristallen deren Struktur offenbart werden konnte. Weitere Streuexperimente haben die Existenz der Protonen, Neutronen, Elektronen gezeigt

P5

Experimente untermauern die Qualität eines Modells

Massen & Ladungen von Teilchen, Ionisierungsenergien von Elementen

P6

Untersuchungen und Messungen von Atomen bzw. über ihr Verhalten

P7

Frage 9) Was ist ein naturwissenschaftliches Modell?

Ein naturwissenschaftliches Modell ist eine verbale und theoretische Darstellung von Phänomenen

P2

Modelle stellen Phänomene theoretisch dar

Die Beschreibung einer Begebenheit

P3

Modelle beschreiben beobachtete Phänomene

Ein naturwissenschaftliches Modell ist eine vereinfachte bzw. unvollständige Repräsentation eines Teils der Natur

P1

Modelle sind vereinfachte Repräsentationen eines Teils der Natur

Ein Modell versucht einen Vorgang in der Natur zu beschreiben indem man gewisse Annahmen & Idealisierungen trifft

P4

Modelle sind vereinfachte Darstellungen der Natur unter idealisierten Bedingungen

ein Modell ist ein Abbild der Realität, das so vereinfacht wurde, dass die Natur möglichst genau beschrieben, dass sich jedoch dadurch aber nicht unmögliche Beschreibungsversuche ergeben (z.B. in der Thermodynamik: jedes einzelne Teilchen mit Hilfe der Schrödingergleichung beschreiben innerhalb eines Gases)

P5

Modelle sind ein vereinfachtes Abbild der Realität

Es beschreibt einen Ausschnitt der Natur. Es verallgemeinert, um auf bestimmte Fragen einfache Antworten zu geben.

P6

Modelle sind verallgemeinerte Beschreibungen eines Wirklichkeitsausschnitts

Ein Modell beschreibt etwas nicht genau bestimmtes, über was nur Theorien aufgestellt werden können.

P7

Modelle beschreiben etwas nicht genau Bestimmtes

Frage 10) Wofür dienen naturwissenschaftliche Modelle?

<i>Zur verbesserten Vorstellung und um Berechnungen durchführen zu können, zu denen dann Experimente durchgeführt werden können um das Modell Teil einer Theorie werden zu lassen</i>	P1	Modelle ermöglichen Berechnungen und Experimente
<i>Man möchte beschreiben, darstellen, erklären und vielleicht sogar vorhersagen können, wie etwas funktioniert.</i>	P2	Modelle dienen zur Beschreibung, Darstellung und Erklärung der Wirklichkeit
<i>Zur vereinfachten Darstellung</i>	P3	Modelle dienen der vereinfachten Darstellung
<i>Um Vorhersagen gewisser Ereignisse treffen zu können</i>	P4	Modelle dienen der Vorhersagbarkeit von Ereignissen
<i>Um mit Hilfe dieser Erkenntnisse zu gewinnen und diese an ähnlichen Situationen anzuwenden bzw. neue zu erklären</i>	P5	Modelle dienen dem Erkenntnisgewinn
<i>Fragen zu beantworten & zu kommunizieren/lernen</i>	P6	Modelle dienen der Beantwortung von Fragen und Kommunikation von Inhalten
<i>Um Erklärungsversuche für nicht genau Belegbares aufzustellen bzw. dieses anschaulich zu machen.</i>	P7	Modelle dienen der Erklärung und Veranschaulichung

Frage 11) Was ist ein Experiment?

<i>Ein Experiment ist die kontrollierte Nachbildung eines Modells mit dem Ziel einer Bestätigung der Theorie oder deren Falsifikation</i>	P1	Experimente bilden Modelle nach und überprüfen Theorien
<i>Ein Experiment ist ein reproduzierbares Vorhaben, mit dem man etwas entdecken möchte, etwas beobachtet oder etwas bestätigt</i>	P2	mit Experimenten möchte man Neues entdecken, Beobachtungen machen und Dinge bestätigen
<i>Die Überprüfung eines Modells bzw. einer Vermutung</i>	P3	Experimente überprüfen Modelle und Theorien
<i>Ein Versuch, um eine Theorie zu überprüfen (also zu bestätigen oder widerlegen</i>	P7	

<i>innerhalb eines Experiments können z.B. eine Theorie/eine Hypothese oder ähnliches falsifiziert werden. Das Experiment ist praktischer Natur, d.h. hier wird der Versuch unternommen Modelle "anschaulich" zu überprüfen</i>	P5	Experimente können Theorien/Hypothesen falsifizieren
<i>Das Beobachten eines Vorganges unter genau definierten Bedingungen mit Messung und Auswertung dieser Daten</i>	P4	Experimente sind Beobachtungsvorgänge unter genau definierten Bedingungen, wobei Daten erhoben und ausgewertet werden
<i>Fragen an die Natur, mit gleichbleibenden Bedingungen und wiederholbar</i>	P6	Experimente sind reproduzierbare Fragestellungen

Frage 12) Sind Experimente notwendig für die Entwicklung naturwissenschaftlichen Wissens?

<i>Experimente sind für die Entwicklung von naturwissenschaftlichen Wissen nicht zwingend notwendig. Erkenntnis lässt sich im naturwissenschaftlichen Sinn im kleineren Maßstab auch auf theoretischer Basis erlangen. Praktisch sind sie aber unerlässlich im effektiv Wissen zu generieren.</i>	P1	nw. Wissen kann auch ohne Experiment generiert werden
<i>Ich glaube schon, da Experimente Widersprüche in theoretischen Arbeiten aufdecken können und auch theoretische Überlegungen bestätigen können</i>	P2	Experimente sind notwendig um neues nw. Wissen zu generieren
<i>Physikalische Berechnungen müssen reproduzierbar sein, dazu dienen Experimente</i>	P3	Experimente prüfen die Reproduzierbarkeit
<i>Ja. Man benötigt zuerst einen Vorgang den man beschreiben will. Dafür muss man ihn beobachten also ein Experiment durchführen</i>	P4	experimentelle Beobachtung ist die Basis für nw. Wissen
<i>Sie sind insofern wichtig, da mit Hilfe dieser nur überprüft werden kann, ob diese z.B. Theorie wirklich gut ist oder nicht. In der Theorie kann man sich vieles ausdenken</i>	P5	
<i>Ja, denn sie sind das Bindeglied zwischen Theorie und Natur, bzw. "Wirklichkeit"</i>	P6	Experimente überprüfen Theorien
<i>Ja, da man sonst nur Theorien aufstellen kann. Durch Experimente werden diese "bewiesen" (wobei es natürlich keine Garantie gibt, dass die Experimente immer dieselben Ergebnisse liefern)</i>	P7	

Frage 13 b) Falls JA, in welchem Teil ihrer Untersuchung denkst du, benutzen sie ihre Phantasie und Kreativität?

<i>Planung: man muss sich in Experiment AUSDENKEN, ergo ist Kreativität gefragt. Bei der Interpretation ist ebenfalls Kreativität und Phantasie gefragt. Besonders wenn das Ergebnis den Erwartungen widerspricht</i>	P1	
<i>Ich denke vor allem in der Planung und der Interpretation von Daten ist Phantasie & Kreativität gefragt. Bsp.: Deutung des Photoeffekts durch Einstein. Die Idee Licht als Teilchen aufzufassen obwohl andere Versuche dies genau widerlegt haben ist kreativ</i>	P4	NWS benötigen Kreativität bei der Planung und Interpretation ihrer Experimente
<i>Ich denke, dass Kreativität in allen Teilen mehr oder weniger wichtig ist. Einerseits, um sich ein Experiment überhaupt zu überlegen, andererseits, um die Ergebnisse zu interpretieren. Demnach ist Kreativität besonders zu Beginn und um Abschluss wichtig.</i>	P7	
<i>Phantasie und Kreativität kommt, so denke ich, speziell bei der Planung vor, z.B. wenn man eine Versuchsanordnung versucht kompakter und leichter bedienbar zu machen. Bsp.: Bei der Beobachtung von Gravitationswellen mussten erst einmal qualitativ hochwertige halbdurchlässige Spiegel kreiert werden</i>	P2	NWS benötigen Kreativität bei der Planung ihrer Experimente
<i>Planung, Experimentieren und Interpretation erfordern Phantasie und Kreativität z.B. Michelson-Morley Experiment (wenn auch fehlgeschlagen zeugt das Experiment von viel Kreativität)</i>	P3	
<i>In der Planung auf jeden Fall. Auch im Experimentieren und Beobachten. Und sicher auch bei der Interpretation</i>	P5	NWS benötigen Kreativität in allen Phasen des Experiments
<i>In allen. Kreativität heißt unkonventionelle Wege zu denken.</i>	P6	

Frage 14) Gibt es einen Unterschied zwischen einer naturwissenschaftlichen Theorie und einem naturwissenschaftlichen Gesetz?

<i>Nein. Zwar werden die Begriffe unterschiedlich angewandt doch es sind beides Theorien</i>	P1	nw. Theorien und Gesetze sind synonym
--	----	---------------------------------------

<i>Es gibt keinen Unterschied. Das Gesetz der Schwerkraft und die Relativitätstheorie sind beide bewiesen und gültig</i>	P3	
<i>Nein. Theorien & Gesetze werden fallen gelassen, wenn sie nicht mehr zielführend sind. Addieren von Geschwindigkeiten -> relativistische Geschwindigkeitsaddition</i>	P6	
<i>Ein Gesetz dürfte wohl ohne Zweifel Gültigkeit haben. Eine Theorie ist glaube ich umfassender und erweiterbar</i>	P2	
<i>Bei einem Gesetz ist man sich sicherer, dass es gilt als bei einer Theorie</i>	P4	nw. Gesetze sind besser bewiesen als Theorien
<i>Eine Theorie kann sich verändern bzw. entwickeln, ein Gesetz ist etwas bereits Belegtes (z.B. Mechanik $F=ma$)</i>	P7	
<i>Eine Theorie ist allumfassender als ein Gesetz. z.B. Ohm'sches Gesetz ist eine Gleichung und unterliegt dem Drude-Modell (Könnte man als Theorie bezeichnen)</i>	P5	Theorien sind umfassender wie Gesetze
Frage 15) Ändert sich eine naturwissenschaftliche Theorie irgendwann einmal, nachdem NaturwissenschaftlerInnen sie entwickelt haben?		
<i>Ja. Gerade die Atomtheorien haben sich stark verändert (von Rutherford bis zum Orbitalmodell waren viele Änderungen)</i>	P1	
<i>Ich glaube Theorien werden laufend ergänzt und auch in Frage gestellt. Experimente können beispielsweise etwas bestätigen oder neue Fragen aufwerfen.</i>	P2	
<i>Theorien können angepasst werden z.B. Relativitätstheorie → spezielle und allgemeine Relativitätstheorie. Theorien können auch widerlegt werden z.B. Äther-Theorie</i>	P3	nw. Theorien unterliegen einer zeitlichen Veränderung
<i>Ja. Gibt es neue Erkenntnisse die in der Theorie nicht enthalten sind oder ihr widersprechen wird sie angepasst</i>	P4	
<i>Sie könnte widerlegt werden!</i>	P5	
<i>Ja. Neue Forschungsergebnisse müssen auch mit der Theorie erklärt werden. Wenn nicht, muss die Theorie angepasst werden oder eine neue muss</i>	P6	

gebaut werden und die alte kommt auf die Müllhalde der Wissenschaft.

Ja, man weiß nicht sofort alle Antworten - die Theorien entwickeln sich mit der Zeit und sind noch nicht abgeschlossen

P7

Frage 16) Denkst du, dass Naturwissenschaft gesellschaftliche und kulturelle Werte widerspiegelt?

NEIN. Weil ihr Gegenstand das ganze Universum ist. Folglich gibt es auf der Welt nur eine Physik die gilt. Beweis: Wissenschaftler kommen weltweit zu gleichen Ergebnissen

P1

Nw. ist von gesellschaftlichen, kulturellen Werten unabhängig

NEIN. Die Newton'schen Axiome gelten auch am Mars, egal wer gerade Präsident ist.

P3

JA. Prinzipiell sollte Naturwissenschaft allgemeingültig sein aber es gibt gesellschaftliche und kulturelle Einflüsse, wenn es darum geht für welche Forschungsbereiche wie viel Geld ausgegeben wird. Dadurch könnten manche Bereiche besser untersucht sein, andere schlechter.

P2

Nw. ist abhängig von gesellschaftlichen Einflüssen in Form von politischen Eingriffen in die Forschung

JA. Trauriges Beispiel ist bzw. war die Rüstungsindustrie. Auslöser zum Bau der Atombombe war sicher nicht reines naturwissenschaftliches Interesse

P5

Ich denke, das kann man allgemein nicht sagen. Ich denke, alle Kulturen akzeptieren Theorien & Gesetze z.B. Gravitation. Aber andere Bereiche wie z.B. die Evolution wird in diversen Kulturen anders aufgefasst. Zudem waren viele Wissenschaftler früher Philosophen und haben sich vermutlich von ihren Ansichten beeinflussen lassen.

P4

Manche Bereiche der Nw. sind allgemeingültig, andere kulturell verschieden

JA. Es wird nur in die Richtung geforscht, die akzeptiert wird. Menschenverachtenden Experimente werden in Österreich heute nicht mehr durchgeführt, früher aber schon. Tierversuche werden heute noch durchgeführt, in Zukunft vielleicht nicht mehr.

P6

Nw. sind von ethischen Werten beeinflusst

Wie schon erwähnt handelt es sich bei Naturwissenschaften um Prozesse, nicht nur um allgemeingültige, abgeschlossene Gesetze. Selbstverständlich werden in diesen

P7

Nw. spiegeln die gesellschaftliche Entwicklung wieder

*Denkprozessen auch gesellschaftliche Werte
wiedergespiegelt, da sich die Interessen der
Menschen [unleserlich] sowie die Möglichkeiten
auch verändern*

A.3 Auswertung der Post-Tests

Zitat	Person	Generalisierung
Frage 2) Was ist für dich Naturwissenschaft?		
<i>Ich seh die Naturwissenschaften so, dass es darum geht, wir wollen wissen wie funktioniert die Welt um uns herum und wie können wir dieses Wissen dann einsetzen, um uns das Leben zu vereinfachen</i>	P3i	Nw. will die Realität beschreiben
<i>Dass man nicht beobachtbare Vorgänge beschreiben will, sondern generell die Realität beschreiben möchte.</i>	P2i	
<i>Wenn ich wissen will, wie Materie überhaupt zustande kommt. Da will ich ja das wissen, also bin ich neugierig, versuche das zu untersuchen. Oder wenn ich wissen will, wenn ich blaue und rote Farbe zusammenschütte was kommt da raus, bin ich neugierig.</i>	P2i	Nw. ist angetrieben von Neugier
<i>Das ist das Ziel von dieser Wissenschaft, dass ich Erkenntnisse darüber gewinne, was ist gut was ist schlecht, dass ich das Gute dann anwenden kann.</i>	P6i	Nw. dient dem Erkenntnisgewinn
<i>Als Naturwissenschaften bezeichnet man jene die sich mit unserer Umwelt beschäftigen. Wesentlicher Bestandteil dieser Wissenschaften ist die empirische Erforschung der Natur.</i>	P4r	Ziel der Nw. ist die empirische Erforschung der Natur
<i>[W]ürde ich heute sagen, dass man sich zwar auf Methoden geeinigt hat, die weitgehend anerkannt werden, und aus der Strömung des Realismus kommen, doch gibt es nicht die eine Wissenschafts-Philosophie die von allen Forschern akzeptiert wird.</i>	P1r	es gibt keine eindeutige Antwort darauf was Wissenschaft ist
<i>Wissenschaft beschreibt natürliche Phänomene mit natürlichen Erklärungen. Diese Erklärungen können getestet und gegebenenfalls auch widerlegt werden</i>	P3r	Nw. beschreibt Naturphänomene

Die Naturwissenschaften sind kein vorgegebenes Konzept sondern vielmehr ein Prozess in welchem es noch viel Neues zu entdecken gibt

P7r

Nw. sind prozesshaft

Frage 3) Wie unterscheidet sich für dich Naturwissenschaft von anderen Fächern/Disziplinen?

Physik arbeitet ganz anders als Geschichte und hat ganz andere Gültigkeitskriterien in dem Sinn

P1i

Nw. hat andere Methoden und Gültigkeitskriterien

Die Naturwissenschaften gelten, egal wo, egal zu welcher Zeit, egal ob jetzt Menschen da sind, die Naturgesetze sind gültig. Während Dinge wie Wirtschaft oder Sprachen, diese Dinge betreffen nur uns Menschen.

P3i

Nw. sind unabhängig vom Menschen

Wenn ich jetzt an die Mathematik denke, die Theorien und Gesetze in der Mathematik sind eigentlich alle, sag ich, sehr abstrakt und in der Physik, na ja ich mein ein Atom kann ich jetzt zwar auch nicht angreifen aber es ist was, was in unserer Welt wirklich existiert, was ich mit Experimenten überprüfen kann.

P4i

Nw. beruhen auf experimentellen Untersuchungen

Ich würde mal sagen in der Physik das Experiment, ist eher objektiver als wie wenn ich jetzt eine Befragung von Personen mache, das kann sich alle hundert Jahre, sagen wir mal, wieder ändern, wenn ich die gleiche Befragung durchführe, aber wenn ich jetzt ein Experiment durchführe und das in hundert Jahren genauso wieder durchführe, dann sollte eigentlich das Gleiche wieder rauskommen. Weil sich halt die Gesellschaft ändert, aber die Physik, dass was uns umgibt, das sollte ich eigentlich nie ändern.

P4i

Nw. ist objektiver als andere Wissenschaften

Naturwissenschaften eher objektiv, Geisteswissenschaften eher subjektiv, ist mein persönliches Empfinden. In der Physik ist es ja eher so, dass man untereinander diskutiert, welche Dinge könnten stimmen, welche werden falsch sein und da ist es leichter einen Konsens zu finden, weil man durch Experimente rausfinden kann: "So ist es sicher nicht" und bei der Pädagogik ist das eher schwierig.

P2i

Naturwissenschaften sind Wissenschaften, die man experimentell bearbeitet und eben zum Beispiel bei der Wirtschaft macht man keine Experimente, da hab ich gemeint, es gibt keine beobachtbaren

P5i

Nw. untersuchen bereits vorhandenes, andere Ws. konstruieren Wissen

Vorgänge in dem Sinn, dass ich nicht die Natur beschreibe sondern Dinge beschreibe, die der Mensch konstruiert hat.

Durch die Präzision und durch das Gebiet, das untersucht wird. Also ich würde jetzt generell sagen, die Naturwissenschaft untersucht und die Geisteswissenschaft kann aus sich heraus Dinge erschaffen.

P2i

In der Naturwissenschaft stützt man sich im Gegensatz zu anderen Wissenschaften stark auf seine empirischen Daten. Diese werden dann anhand von Modellen und Theorien interpretiert und im Diskurs zwischen Wissenschaftlern auf Stichhaltigkeit überprüft.

P4r

Nw. ist von empirischen Daten bestimmt

Aussortierung von Fehlerquellen (bestmögliche Arbeitsweise beim Experimentieren)

- Optimierung
- Suche („fachlich inspirierte Intuition“) nach Prototypen (z. B. einfache Experimente)
- Vergleich anhand von Kenngrößen

P2r

Experimente sind charakteristisch für die Nw.

Frage 4) Denkst du, dass sich naturwissenschaftliches Wissen in Zukunft verändern kann?

Klassische Mechanik, hat man lange Zeit geglaubt, dass das endgültig ist und perfekt bis man halt draufgekommen ist: bei hohen Geschwindigkeiten von Körpern passt das nicht mehr ganz und deswegen hat man dann eben das optimieren müssen, hin zur Quanten- also zur relativistischen Physik.

P2i

nw. Wissen ist veränderlich

[W]enn ich jetzt etwas Neues weiß, wenn ich eine Erkenntnisgewinn verzeichne ändert sich auch das Wissen und das bestehende Wissen erweist sich vielleicht als nicht richtig und dann ist es weg, dann wandert es am Müll der Wissenschaft

P6i

Wie schon zu Beginn bin ich fest davon überzeugt, dass sich gewisse Dinge nicht mehr ändern werden wie zum Beispiel biologische Fakten über gewisse Tiere (solange diese nicht mutieren). In der Physik bin ich jedoch der Meinung, dass sich das Wissen durch neue Erkenntnisse und fachliche Diskussionen immer wieder ändern kann und wird.

P4r

Bestimmtes Wissen kann sich verändern

Nicht nur neueste Messmethoden, sondern auch andere Denkansätze (im Hinblick auf die Theoretische Physik) ermöglichen Geheimnisse der Natur zu erklären.

P5r

Neue Messmethoden bringen neue Erkenntnisse

Ja, durch (fachlichen) Diskurs, Literaturrecherche kann verschiedene Erkenntnisstände zusammenbringen

P2r

Nw. ist veränderlich

Frage 5 b) Wie sicher sind sich NaturwissenschaftlerInnen darüber, wie Dinosaurier aussahen?

Die Wissenschaftler interpretieren ihre Funde anhand ihrer Modelle und Theorien. Da man sich hierbei nicht sicher sein kann, dass diese korrekt sind kann man sich auch über das Aussehen nicht sicher sein und es ist gut möglich, dass sich in Zukunft durch neue Erkenntnisse unser Bild der Dinosaurier ändert.

P4r

Modelle und Theorien können sich ändern

Frage 5 c) Warum sind sich WissenschaftlerInnen, trotz gleicher Datenlagen, nicht über die Gründe für das Aussterben der Dinosaurier einig?

Weil Sie die Daten individuell nach Ihrem Wissen gedeutet haben.

P4r

nw. Erkenntnisgewinn ist subjektiv

Die Experimente und die Befunde die haben ja alle Forscher gemein, ich schätze mal die werden ja irgendwo veröffentlicht worden sein, aber eine Forscher kann es jetzt so interpretieren, sagen wir mal, da ist eine Staubablagerung, der sagt: "Nein, das war ein großer Vulkanausbruch" der andere sagt: "Nein, das ist durch einen Kometeneinschlag verursacht worden" weil der das halt, ja ich weiß es nicht genau ...

P4i

die Interpretation von Daten ist subjektiv

Frage 6 a) Sind sich MeteorologInnen sicher was die Aussagekräftigkeit von Computermodellen zu Wettermustern betrifft?

Die Meteorologen nehmen Daten und speisen die in Algorithmen und so ein, und dann schaut man wenns so war wie bis jetzt dann wirds wahrscheinlich so wieder sein. Bei den Klimamodellen muss man ja quasi extrapolieren auf eine Zeit die noch nicht war.

P1i

von NWS getroffene Voraussagen sind mit Unsicherheit behaftet

Da kommt es darauf an, wenn wir alle Daten zu jedem Sauerstoffmolekül oder keine Ahnung alle möglichen hätten, Bewegungsdaten oder keine Ahnung was, vielleicht könnte man, keine Ahnung,

P3i

sichere Vorhersagen von Ereignissen sind in der Nw. (noch) nicht möglich

*das sind Dinge die vielleicht in ferner Zukunft,
wenn man Rechenmaschinen haben die ganz arge
Dinge ausdrücken können vielleicht aber momentan*

...

<i>JA</i>	P2r	NWS sind sich über die Aussagekraft von Modellen sicher
-----------	-----	---

Frage 6 b) Warum schon oder warum nicht?

<i>Einerseits weil es ein sehr komplexes System ist, [...] weil man ganz viele große Faktoren drinnen hat die man nicht weiß</i>	P1i	die Natur ist zu komplex um exakt beschrieben zu werden
<i>Weil man en einfach nicht weiß, weil man nicht weiß wie funktioniert das jetzt genau, weil es einfach so viele Faktoren gibt, die da miteinbezogen werden müssen</i>	P6i	
<i>1. Modelle sind theoriegeleitet. 2. MeteorologInnen sind sich der Grenzen ihrer Computermodele bewusst. Aussagen werden im Rahmen dieser Einschränkungen getätigt.</i>	P2r	sichere Aussagen sind innerhalb gewisser Grenzen möglich

Frage 7) Entspricht des Modell des Erdaufbaus (Kruste, Oberer Mantel, Unterer Mantel, ...) exakt dem, wie die Erde im Inneren aussieht?

<i>Nein! Bei der Erstellung eines Modells werden immer Nährungen oder Vereinfachungen gemacht. Sie spiegeln nicht die Wirklichkeit wieder.</i>	P4r	Modelle bilden nicht die Wirklichkeit ab
<i>NEIN, denn bei der Erstellung eines Modells findet Abstraktion statt.</i>	P2r	
<i>Das kann man nicht beantworten, denn ein Modell soll die Realität möglichst gut darstellen, aber es ist eben nur ein Modell, das durch Messungen und deren Interpretation erstellt wird.</i>	P5r	Modelle beruhen auf interpretierbaren Messungen

Frage 8 a) Sind sich WissenschaftlerInnen über den Aufbau von Atomen sicher?

<i>Wie auch schon bei vorherigen Fragen erwähnt ist unsere Ansicht über in diesem Fall Atome nur eine Interpretation von Messungen. Man kann die Modelle die daraus entstehen nicht als Abbild der Wirklichkeit auffassen.</i>	P4r	NWS können sich über das nw. Wissen nie gänzlich sicher sein
<i>da gibt's eben diese Versucher wo man mit alpha-Teilchen auf eine Goldfolie geschossen hat und</i>	P3i	

dann sind sie nur abgelenkt worden wenn sie wirklich beim, nah auf zum Kern geflogen sind und wenn sie bei der Hülle waren sind sie grad durchgeflogen. Da hat man draufschließen können "Die Masse muss im Zentrum konzentriert sein".

NWS stützen sich auf Experimente

Da fällt mir jetzt einmal das Experiment ein mit den alpha-Teilchen auf Goldfolie. Wo man dann eben gemerkt hat, ok, meistens gehen die alpha-Teilchen durch und eher selten werden sie irgendwie zur Seite gelenkt. Man hat einen Grund dafür gesucht und hat dann eben behauptet, ok, abgelenkt wird dort wo positive Ladung ist und wenn's selten abgelenkt wird dann wird die positive Ladung irgendwie nur konzentriert vorkommen. Und dann hat man eben die Vermutung aufgestellt, ok da gibt's irgendwie positive Knödel und rundum fast nichts.

P2i

Stoßprozesse

P2i

Frage 9) Was ist ein naturwissenschaftliches Modell?

Eine Idee wie etwas funktionieren kann, ja wie etwas funktionieren kann aber nicht wie funktionieren muss. Also eine Idee, die alle Dinge die man kann abdeckt, so gut wie möglich, aber ja es kann Dinge geben, die man noch nicht kennt, die mit den Modellen dann auch wahrscheinlich nicht vereinbar sind.

P3i

Modelle beschreiben die bekannte Wirklichkeit

Ein Modell ist etwas, dass irgendeinen Sachverhalt beschreibt und das ganze vereinfacht darstellt und man muss sich halt bewusst sein wo sind die Grenzen von dem Modell

P7i

Modelle sind vereinfachte Darstellungen

Ein Modell ist ein vereinfachtes Abbild der Realität, sodass die Natur möglichst genau beschrieben werden kann. Modelle sind immer theoriegeleitet.

P5r

Modelle bilden vereinfacht die Realität ab

Ein Modell hat stets Grenzen und ist nur eine beschränkte Abbildung der Wirklichkeit.

P7r

Ein Modell ist eine vereinfachte Erklärung einer Theorie. Eine Theorie ist eine Erklärung der Wirklichkeit. Ein Modell beschränkt sich nur auf eine bestimmte Sichtweise und nach dieser Sichtweise wird es auch ausgerichtet.

P6r

ein Modell vereinfacht eine Theorie

Annahme zur Beschreibung (Bsp.: Modell des idealen Gases) Als Grundannahme dient ein theoretischer Hintergrund (z. B.: Materie besteht aus Teilchen).

P2r

Modelle sind
theoriegeleitete
Beschreibungsversuche

Frage 10) Wofür dienen naturwissenschaftliche Modelle?

Modelle dienen als Basis für unsere Vorstellungen von der Natur und als Grundlage für Berechnungen und Experimente.

P4r

Modelle
veranschaulichen die
Natur

Modelle sind dazu da, um die Natur so zu veranschaulichen, dass man dadurch neue Erkenntnisse gewinnen kann.

P5r

Als Näherung entsprechen sie dann schon der Wirklichkeit, also unter gewissen Bedingungen kann ich sagen das ist genau genug, dass ich das verwenden kann

P4i

Modelle sind
Näherungen der realen
Begebenheiten

Man findet Modelle, damit man mit Hilfe der Modelle dann auf Theorien kommt, also auf Gesetze und dann auf große Theorien kommt, sodass man dann eben die Vorgänge beschreiben kann.

P5i

Modelle ermöglichen
Theorien

Ein Modell ist eine möglichst breit gültige Verallgemeinerung, weiß nicht, ob man das so sagen kann, aber sie dient zu Kommunikation, sie sollte vereinfachen, es sollte der Kommunikation dienen und es soll trotzdem die wesentlichen Punkte, die mich interessieren beinhalten.

P6i

Modelle dienen der
Kommunikation

*Modelle ermöglichen Berechnungen
Basis für Experimente*

P2r

Modelle ermöglichen
Berechnungen und
Experimente

Frage 11) Was ist ein Experiment?

Dass es wiederholbar ist, dass ich es gut dokumentiert habe, dass ich die gleichen Anfangsbedingungen habe und dass ich die Messung gleich durchführe.

P4i

Experimente müssen
reproduzierbar sein

Ja, dann muss ich, einen Experimentprototyp finden, das ausprobieren und [...] wenn es komplett anderes rauskommt als erwartet: optimieren, schauen wo könnte es gelegen sein, dass es nicht funktioniert.

P2i

Experimente versuchen
Vorhersagen zu
belegen

Das Experiment stellt eine „Frage an die Natur“ dar. Ausgehend von einem Modell oder einer Theorie plant man das Experiment. Das Ergebnis kann dann entweder zu den Erwartungen passen, was aber nicht heißen muss, dass die Theorie stimmt. Oder die Ergebnisse passen nicht in die Theorie, dann muss diese geändert werden. Das Experiment kann eine Theorie also nur falsifizieren.

P4r

Experimente sind theoriegeleitete Fragestellungen an die Natur

Ein Experiment ist eine durchdachte Untersuchung zur Gewinnung von empirischen Informationen. Bei wissenschaftlichen Experimenten wird die Reproduzierbarkeit gefordert.

P5r

Experimente sind Untersuchungen zur Beschaffung empirischer Informationen

Reproduzierbare Tätigkeit, die ausgehend von einem Modell (einer Theorie) Evidenzen produziert, sowie bestätigen oder falsifizieren kann

P2r

Experimente produzieren Evidenzen

Frage 12) Sind Experimente notwendig für die Entwicklung naturwissenschaftlichen Wissens?

JA! Da wir theoretisch nie sicher sagen können wie sich die Natur verhält. Deshalb müssen wir in einem Experiment die Natur „verhören“ um festzustellen, ob sie sich so verhält wie angenommen oder auch nicht.

P4r

Experimente sind notwendig um Theorien zu überprüfen

Mit Hilfe von Experimenten können nicht nur Theorien falsifiziert werden, sondern auch neue Theorieansätze gefunden werden.

P5r

Man muss zeigen, dass diese Vermutungen, diese Hypothesen, diese Theorien die man hat auch stimmen, es muss reproduzierbar sein, das heißt wenn ich sage: "Wenn ich das und das mache dann kommt immer das heraus" und das zeige ich halt mit einem Experiment.

P3i

Experimente sind notwendig, um Theorien zu beweisen

Man kann auch neue Erkenntnisse finden wollen oder Theorien falsifizieren wollen, weil eine Theorie wirklich beweisen kann man ja in der Physik nicht.

P4i

Experimente können Theorien nur falsifizieren

Ja zum Beispiel Wärmespeicher, da wollten wir experimentell einmal so eine Abkühlkurve finden damit wir irgendeine Grundlage haben um dann

P2i

Experimente ermöglichen konkrete Berechnungen

auch was berechnen zu können. Also da würde ich sagen das war notwendig.
ermöglichen argumentative Diskussion über Optionen

P2r

Experimente
ermöglichen Diskurs

Frage 13 b) Falls JA, in welchem Teil ihrer Untersuchung denkst du, benutzen sie ihre Phantasie und Kreativität?

Ich denke vor allem in der Planung sowie beim Interpretieren der Daten ist Kreativität gefordert. Zum Beispiel deuten des Lichts als Teilchenstrom um den Photoeffekt zu erklären.

P4r

bin ich der Meinung, dass Kreativität und Phantasie einen wesentlichen Teil bei der Planung und dem Interpretieren eines Experimentes darstellen. Ohne die nötige Kreativität wäre es Forschern unmöglich neue Lösungsansätze zu finden oder Hypothesen aufzustellen

P7r

Planung und
Interpretation von
Versuchen benötigen
Kreativität

„fachlich inspirierte Intuition“ – Finden eines Prototypen

- Optimierung

- „Erklärungen von Phänomenen basieren auf Theorien oder Modellen, die aus diesen Theorien abgeleitet sind. Dies ist ein kreativer Prozess.“

P2r

Frage 14) Gibt es einen Unterschied zwischen einer naturwissenschaftlichen Theorie und einem naturwissenschaftlichen Gesetz?

Ein Gesetz setzt physikalische Größen meist in einem formelmäßigen Zusammenhang in Verbindung. (z.B.: Ohm'sches Gesetz). Eine Theorie ist ein Zusammenschluss von mehreren Gesetzen. (z.B.: Elektro-magnetische Theorie von Maxwell)

P5r

Ich würde am ehesten sagen, dass ein Naturgesetz eine mathematische Formulierung eines Zusammenhanges ist. Eben $U=R \cdot I$. Dieses Naturgesetz beschreibt einen sehr eingeschränkten Aspekt der Wirklichkeit. Eine Theorie versucht diese Naturgesetze zu einen größeren Ganzen zu verbinden, mit dem Ziel, alle Naturgesetze zu vereinigen.

P1r

Theorien bestehen aus
Gesetzen, welche
physikalischen Formeln
entsprechen

<i>Was ich mitgenommen hab ist, dass es [das Naturgesetz] quasi eine Formel ist einfach ein Zusammenhang den man mathematisch beschreibt. Also als Gesetz sehe ich eher eine Formel an, wie man Größen in Zusammenhang bringt</i>	P1i	Naturgesetze sind Formeln
	P2i	
<i>[W]as ich ganz interessant finde, das es auch Ausnahmen geben kann bei einem Gesetz.</i>	P1i	Gesetze haben einen bestimmten Geltungsbereich
<i>Theorie ist für mich das andere Ende dann, "es ist ja nur eine Theorie" sagt man</i>	P1i	Gesetze sind aussagekräftiger als Theorien
<i>Na ich weiß ja eben nicht genau was eine Theorie ist und ich weiß nicht genau was ein Gesetz ist.</i>	P2i	-
<i>Gesetz ist irgendwie was, so wie $F=ma$, also irgendwie was Fixes. Theorie ist nicht nur eine Formel, eine Theorie kann sich auch verändern über die Jahre hinweg.</i>	P7i	Gesetze sind besser bewiesen als Theorien
<i>Ein Gesetz, ein mathematisches Gesetz ist aus dem Prinzip der Logik abgeleitet von ein paar wenigen Grundbausteinen, die was die Mathematik aber definiert hat, das ist nur eine logische Ableitung würde ich sagen. Und ein physikalisches Gesetz würde ich ablehnen</i>	P6i	Gesetze basieren auf mathematischer Logik
Frage 15) Ändert sich eine naturwissenschaftliche Theorie irgendwann einmal, nachdem NaturwissenschaftlerInnen sie entwickelt haben?		
<i>Na man erweitert es [die Newton'sche Gravitationstheorie] hin in Richtung Quantenphysik</i>	P2i	Theorien können erweitert werden
<i>Ja! Wenn neu Erkenntnisse vorliegen, die nicht in die Theorie passen muss diese geändert werden.</i>	P4r	
<i>Sie kann sich verändern auf Grund von neuen Erkenntnissen. Ebenso kann sie z.B.: durch ein Experiment komplett widerlegt werden.</i>	P5r	
<i>Erklärungen sind nie zu 100% sicher. Sie können entsprechend unserem derzeitigen Wissensstand getestet werden und genügen diesem, es können aber in Zukunft Entdeckungen gemacht werden, die eine Theorie wieder widerlegen</i>	P3r	Nw. Theorien können durch neue Erkenntnis widerlegt werden

Frage 16) Denkst du, dass Naturwissenschaft gesellschaftliche und kulturelle Werte widerspiegelt?

Was in der Naturwissenschaft erforscht wird, hängt ganz klar von der Gesellschaft und der Politik ab, da die Forschung finanziert werden muss.

Ist nun eine neue Technologie militärisch vielversprechend so steht dafür mehr Geld zur Verfügung und es wird dementsprechend intensiver daran geforscht. Für Dinge, die politisch und gesellschaftlich uninteressant erscheinen ist es schwer Investoren zu finden die die Forschung finanzieren

P4r

Nw. ist von der Politik abhängig, da diese Forschungsgelder bereitstellt

[S]piegeln aktuelle Forschungen immer die derzeitigen Anliegen der Gesellschaft wieder bzw. versuchen diese gegebenenfalls zu klären. Die Fragestellungen der Naturwissenschaftler werden durch gesellschaftliche Forderungen maßgeblich beeinflusst. Auch legen diese Werte fest, wie mit den Ergebnissen der Forschung letztendlich umgegangen wird.

P7r

nw. Forschung spiegelt gesellschaftliche Anliegen wieder

Natürlich, das Ideal wäre, dass es [gesellschaftliche und kulturelle Werte] es [die Naturwissenschaft] nicht beeinflusst, das es die reine Wissenschaft ist und natürlich, wenn man sich es historisch anschaut, dann ist es ganz klar, dass es immer wieder beeinflusst worden ist. Von Newton das Beispiel [...], das Newton das eigentlich schon angedeutet hat, diese Relativität aber dann das beendet hat mit dem Schritt, dass Gott Raum und Zeit absolut geschaffen hat und deswegen war es das.

P1i

Nw. waren (und sind) von gesellschaftlichen Werten beeinflusst

Ich sage immer noch, die Naturwissenschaften die gelten aber das Gesellschaftliche hat einen Einfluss darauf was man jetzt erforscht.

P3i

die Gesellschaft beeinflusst Forschungsgebiete

[D]er Mensch bestimmt sehr wohl in welche Richtung er forscht und deshalb sind die Antworten die man erhält auch vom Menschen abhängig, weil eben der Mensch die Fragen stellt

P6i

Naturwissenschaften werden von Menschen gemacht

[Worüber geforscht wird bestimmt] jeder einzelne Forscher für sich ein wenig und der muss sich aber in einem gewissen Rahmen bewegen, den die Gesellschaft vorgibt.

P6i

Forschung bewegt sich in einem gesellschaftlichen Rahmen

- politische Gestaltung: Einfluss von gesetzlichen Bestimmungen (z. B.: vorgeschriebene Grenzwerte

P2r

Naturwissenschaftliche Forschung spiegelt

rücken bestimmte Gebiete (Stichwort Energiewende) ins Rampenlicht)
 - Einfluss von Macht (Stichwort Weltbild: Was darf gesagt werden?)
 - Forschung muss finanziert werden → Geldgeber fordern Legitimation
 - Forschung zwecks Entwicklung von Waffensystemen

gesellschaftliche Anliegen wieder

A.4 Zusammenfassung der Auswertungsergebnisse

A.4.1 Prä-Test

Konzept	Ankerbeispiel
Ontologie, Natur des Wissens	
NaturwissenschaftlerInnen können keine sicheren Aussagen treffen, dafür werden verschiedene Gründe angeführt: Datenlage, Komplexität des Naturgeschehens, Fragestellung (P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7)	<i>Was heißt hier sicher? Das ist immer eine Frage der Wahrscheinlichkeit! (P5)</i>
Naturwissenschaftliches Wissen wird als unvollständig betrachtet (P1, P2, P4, P7)	<i>Das bisher erlangte bzw. erzeugte Wissen wird sich wohl nur dahingehend verändern, dass die verwendeten Modelle erweitert werden. Wie z.B. Newtons Modell der Mechanik erweitert wurde. (P1)</i>
Naturwissenschaftliche Theorien werden als veränderlich gesehen. Durch neue Erkenntnisse kann es zu einer Anpassung/Erweiterung oder Widerlegung kommen (P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7)	<i>Ja, man weiß nicht sofort alle Antworten - die Theorien entwickeln sich mit der Zeit und sind noch nicht abgeschlossen. (P7)</i>
Es wird die Ansicht vertreten, NaturwissenschaftlerInnen seien sich über das naturwissenschaftliche Wissen sicher (P2, P4, P5, P6)	<i>Dass die Materie aus Protonen, Neutronen im Kern und den darum "kreisenden" Elektronen besteht, sind sich die Wissenschaftler sehr sicher. (P5)</i>
Ziele und Eigenarten der Naturwissenschaften	

Naturwissenschaft wird als unabhängig vom Menschen betrachtet (P3, P7)	<i>Dass das menschliche Handeln wenig Einfluss hat. Der Mensch steht nicht im Zentrum. (P6)</i>
Die Methode des Experiments wird als bezeichnend für die Naturwissenschaften gesehen (P1,P3, P7)	<i>Das selbstständige Arbeiten bzw. "entdecken" durch Experimente. Genaue Messungen können durchgeführt werden, um bestimmte Daten zu erheben. (P7)</i>
Eine Beschreibung der realen Natur wird als Ziel der Naturwissenschaft gesehen (P1, P3, P4, P5, P6)	<i>In den Naturwissenschaften versucht man Vorgänge und Abläufe oder Dinge zu erklären und zu untersuchen. (P4)</i>
Als Merkmal von NW wird angeführt, dass sie Dinge untersuchen, während andere Wissenschaften Dinge konstruieren (P2, P4, P5)	<i>Naturwissenschaften beschäftigen sich mit realen Dingen wobei z.B. Geisteswissenschaften nur vom Menschen erdacht sind. (P5)</i>
Beobachtungen werden als zentrales Element der Naturwissenschaft betrachtet (P1, P2, P7)	<i>Naturwissenschaft ist ein sich Auseinandersetzen mit Vorgängen, die beobachtbar sind (egal wo!). (P2)</i>

Experiment und Methodik der Naturwissenschaften

Experimente sollten der Überprüfung theoretischen Wissens dienen (P1, P3, P5, P6, P7)	<i>Ein Versuch, um eine Theorie zu überprüfen (also zu bestätigen oder widerlegen) (P7)</i>
Experimente werden als Basis für Wissen gesehen, indem Dinge entdeckt werden (P2, P4, P5, P6, P7)	<i>Ein Experiment ist ein reproduzierbares Vorhaben, mit dem man etwas entdecken möchte, etwas beobachtet oder etwas bestätigt. (P7)</i>

Dynamik der Naturwissenschaften: soziale, kulturelle, gesellschaftliche und subjektive Aspekte

NaturwissenschaftlerInnen benötigen Kreativität bei Planung (P2), Planung und Interpretation (P1, P4, P7) oder Planung, Interpretation und Durchführung (P3, P5, P6) von Experimenten	<i>Planung: man muss sich ein Experiment AUSDENKEN, ergo ist Kreativität gefragt. Bei der Interpretation ist ebenfalls Kreativität und Phantasie gefragt. Besonders wenn das Ergebnis den Erwartungen widerspricht. (P1)</i>
Subjektive Faktoren spielen eine Rolle bei der Erzeugung von Wissen (P1, P3, P6)	<i>Weil Information immer auch interpretiert werden muss. Das führt zwangsweise zu unterschiedlichen Meinungen. (P1)</i>
Naturwissenschaft wird als abhängig von gesellschaftlichen Werten betrachtet, besonders wenn	<i>Prinzipiell sollte Naturwissenschaft allgemeingültig sein aber es gibt gesellschaftliche und kulturelle Einflüsse, wenn</i>

es um politischen Willen bei der Vergabe von Forschungsbudgets geht (P2, P5, P6, P7)

es darum geht für welche Forschungsbereiche wie viel Geld ausgegeben wird. Dadurch könnten manche Bereiche besser untersucht sein, andere schlechter. (P2)

Der Einfluss subjektiver Faktoren auf die Wissenschaft wird nicht erkannt. Wenn Uneinigkeit herrscht, so aufgrund mangelhafter Datenlage oder methodischer Probleme (P2, P4, P5, P7)

Die Informationen reichen nicht aus, um es mit Sicherheit zu sagen. Sicher ist nur, dass sie [die Dinosaurier] ausgestorben sind, nicht jedoch wie. (P7)

Naturwissenschaft wird als unabhängig von gesellschaftlichen und kulturellen Werten gesehen. Sie wird daher auch nicht durch politische Ereignisse beeinflusst (P1, P3)

NEIN. Die Newton'schen Axiome gelten auch am Mars, egal wer gerade Präsident ist. (P3)

Bedeutung wissenschaftstheoretischer Begriffe

Theorie und Gesetz werden als synonym betrachtet (P1, P3, P6)

Es gibt keinen Unterschied. Das Gesetz der Schwerkraft und die Relativitätstheorie sind beide bewiesen und gültig. (P3)

Modelle werden als vereinfachte Darstellung der Realität betrachtet (P1, P3, P4, P5, P7)

[E]in Modell ist ein Abbild der Realität, das so vereinfacht wird, dass die Natur möglichst genau beschrieben, dass sich jedoch dadurch aber nicht unmögliche Beschreibungsversuche ergeben. (P5)

Modelle werden als Werkzeug betrachtet, welches auch Vorhersagen ermöglicht (P2, P4, P5)

Um Vorhersagen gewisser Ereignisse treffen zu können. (P4)

Als Zweck von Modellen wird die Veranschaulichung und bessere Kommunikation von Inhalten gesehen (P6, P7)

Um Erklärungsversuche für nicht genau Belegbares aufzustellen bzw. dieses anschaulich zu machen. (P7)

Gesetz sind besser bewiesen als Theorien (P2, P4, P7)

Bei einem Gesetz ist man sich sicherer, dass es gilt als bei einer Theorie (P4)

Modelle beschreiben Phänomene (P2, P3)

Ein naturwissenschaftliches Modell ist eine verbale und theoretische Darstellung von Phänomenen (P2)

A.4.2 Post-Test

Konzept	Ankerbeispiel
Ontologie, Natur des Wissens	
NaturwissenschaftlerInnen können keine sicheren Aussagen treffen, dafür werden verschiedene Gründe angeführt: Datenlage, Komplexität des Naturgeschehens, Fragestellung (P1i, P3i, P4r, P6i)	<i>Da kommt es darauf an, wenn wir alle Daten zu jedem Sauerstoffmolekül oder keine Ahnung alle möglichen hätten, Bewegungsdaten oder keine Ahnung was, vielleicht könnte man, keine Ahnung, das sind Dinge die vielleicht in ferner Zukunft, wenn man Rechenmaschinen ha[t] die ganz arge Dinge ausdrücken können vielleicht, aber momentan ... (P3i)</i>
Naturwissenschaftliches Wissen wird als veränderlich betrachtet (P2ri, P4r, P5r, P6i)	<i>In der Physik bin ich jedoch der Meinung, dass sich das Wissen durch neue Erkenntnisse und fachliche Diskussionen immer wieder ändern kann und wird. (P4r)</i>
Naturwissenschaftliche Theorien werden als veränderlich gesehen. Durch neue Erkenntnisse kann es zu einer Anpassung/Erweiterung oder Widerlegung kommen (P2i, P3r, P4r, P5r)	<i>Erklärungen sind nie zu 100% sicher. Sie können entsprechend unseres derzeitigen Wissensstandes getestet werden und genügen diesem, es können aber in Zukunft Entdeckungen gemacht werden, die eine Theorie wieder widerlegen (P3)</i>
Ziele und Eigenarten der Naturwissenschaften	
Es ist kein eindeutiges Bild der Naturwissenschaften vorhanden (P1r, P6i)	<i>[S]treng genommen komme ich da auf keinen grünen Zweig, weil es ist entweder Wissenschaft oder nicht, ich habe diese Trennlinie nicht so (P6i)</i>
Die Methode des Experiments wird als bezeichnend für die Naturwissenschaften gesehen (P1i, P2r, P4ri)	<i>[I]n der Physik, na ja, ich mein, ein Atom kann ich jetzt zwar auch nicht angreifen aber es ist was, was in unserer Welt wirklich existiert, was ich mit Experimenten überprüfen kann. (P4i)</i>
Eine Beschreibung der realen Natur wird als Ziel der Naturwissenschaft gesehen (P2i, P3ri, P7i)	<i>Wissenschaft beschreibt natürliche Phänomene mit natürlichen Erklärungen. (P3r)</i>
Nw. werden als objektiver als anderen Wissenschaften gesehen, da sie experimentell überprüfbar sind (P2i, P4i)	<i>Naturwissenschaften eher objektiv, Geisteswissenschaften eher subjektiv, ist mein persönliches empfinden. (P2i)</i>

Experiment und Methodik der Naturwissenschaften

Experimente sollten der Überprüfung theoretischen Wissens dienen (P2ri, P3i, P4r, P5r)	<i>Man muss zeigen, dass diese Vermutungen, diese Hypothesen, diese Theorien die man hat auch stimmen, es muss reproduzierbar sein. (P3i)</i>
--	---

Dynamik der Naturwissenschaften: soziale, kulturelle, gesellschaftliche, und subjektive Aspekte

NaturwissenschaftlerInnen benötigen Kreativität bei Planung und Interpretation (P2r, P4r, P7r) von Experimenten	<i>[...] bin ich der Meinung, dass Kreativität und Phantasie einen wesentlichen Teil bei der Planung und dem Interpretieren eines Experimentes darstellen. Ohne die nötige Kreativität wäre es Forschern unmöglich neue Lösungsansätze zu finden oder Hypothesen aufzustellen. (P7r)</i>
---	--

Subjektive Faktoren spielen eine Rolle bei der Erzeugung von Wissen (P4ri, P6i)	<i>Die Experimente und die Befunde die haben ja alle Forscher gemein, [...] aber eine Forscher kann es jetzt so interpretieren, sagen wir mal da ist eine Staubablagerung, der sagt: "Nein, das war ein großer Vulkanausbruch" der andere sagt: "Nein das ist durch einen Kometeneinschlag verursacht worden". (P4i)</i>
---	--

Naturwissenschaft wird als abhängig von gesellschaftlichen Werten betrachtet, besonders wenn es um politischen Willen bei der Vergabe von Forschungsbudgets geht (P1i, P3i, P4r, P6i, P7r)	<i>[...] spiegeln aktuelle Forschungen immer die derzeitigen Anliegen der Gesellschaft wieder bzw. versuchen diese gegebenenfalls zu klären. Die Fragestellungen der Naturwissenschaftler werden durch gesellschaftliche Forderungen maßgeblich beeinflusst. Auch legen diese Werte fest, wie mit den Ergebnissen der Forschung letztendlich umgegangen wird. (P7r)</i>
--	---

Bedeutung wissenschaftstheoretischer Begriffe

Es sind keine klaren Vorstellungen zu Theorie, Modell und Gesetz vorhanden (P2i, P4r)	<i>Na ich weiß ja eben nicht genau, was eine Theorie ist und ich weiß nicht genau was ein Gesetz ist. (P2i)</i>
Naturgesetze werden als Formel betrachtet (P1ri, P5r)	<i>Was ich mitgenommen hab ist, dass es [das Naturgesetz] quasi eine Formel ist, einfach ein Zusammenhang, den man mathematisch beschreibt. (P1i)</i>
Modelle werden als vereinfachte Darstellung der Realität betrachtet (P4i, P5r, P7ri)	<i>Ein Modell ist ein vereinfachtes Abbild der Realität, sodass die Natur möglichst genau beschrieben werden kann. (P5r)</i>
Gesetze sind besser bewiesen als Theorien (P1i, P7i)	<i>Gesetz ist irgendwie was, so wie $F=ma$, also irgendwie was Fixes. Theorie ist nicht nur eine</i>

*Formel, eine Theorie kann sich auch verändern
über die Jahre hinweg. (P7i)*

Als Zweck von Modellen wird die
Veranschaulichung und bessere
Kommunikation von Inhalten
gesehen (P4r, P5r, P6i)

*Ein Modell ist eine möglichst breit gültige
Verallgemeinerung, weiß nicht ob man das so
sagen kann aber sie dient zu Kommunikation, sie
sollte vereinfachen. (P6i)*

Anhang B

B.1 Abstract

Ist die Physik nur eine starre Ansammlung unwiderlegbarer und nicht zu hinterfragender Formeln und Theorien, oder eine lebendige Wissenschaft, die vielfach mit der Gesellschaft verflochten ist und über eine facettenreiche Geschichte verfügt? Nature of Science, als multidimensionaler Ansatz für den naturwissenschaftlichen Unterricht, geht klar von Letzterem aus und versucht, dies auf vielfältige Art und Weise den Schülerinnen und Schülern näher zu bringen. In der fachdidaktischen Literatur wird die Bedeutung des Begriffs für die Vermittlung eines adäquaten Bildes von Naturwissenschaft im schulischen, ebenso wie im universitären Kontext betont.

Diese Arbeit beschäftigt sich daher mit der Frage, inwiefern Studierende des Lehramtes Physik über adäquate Vorstellungen über die Natur der Naturwissenschaften verfügen, welche unabdingbar sind, um Nature of Science zielführend im Unterricht zu implementieren. Dafür werden anhand einer Stichprobe von sieben Probanden ein offener Fragebogen (Prä-Test), persönliche Reflexionen der Studierenden über NOS sowie halbstrukturierte Interviews (Post-Test) mittels Qualitativer Inhaltsanalyse nach Mayring analysiert.

Es zeigt sich, dass die Beschäftigung mit dem Thema für den Großteil Neuland ist und viele auch über unreflektierte Vorstellungen zur Natur der Naturwissenschaften verfügen. Im Post-Test lassen sich zum Teil fundierte Vorstellungen beobachten.

Is physics just a rigid accumulation of irrefutable and not to be questioned formula, or a vital science with various connections to society and a multifaceted history? Nature of Science, a multidimensional approach to teaching science, clearly favors the later perspective and tries to give students an understanding of it. Literature concerning didactics stresses the importance of this term as a key aspect, to impart an adequate image of science at schools as well as universities.

This paper is concerned with whether students aspiring to become physics teachers have got adequate views on Nature of Science or not, which is crucial for their upcoming teaching activities. For this, an open-ended questionnaire, student's personal reflections on NOS, and semi-structured interviews based on a seven-member sample are analyzed by means of the Qualitative Content Analysis by Mayring.

It appears that dealing with this certain topic is new for most of the students and that they also show naive views on the Nature of Science. Concerning the post-test, more reflected views could be observed.