

Die Grenzen der Naturwissenschaft als Thema des Physikunterrichts

Stefan Korte

2015

Dissertation
Universität Osnabrück
Fachbereich Physik

Meinen Eltern und meiner Freundin Fatma Danisan gewidmet

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung	9
2	Grenzen der Naturwissenschaften	13
2.1	Wissenschaftliche Theorien	15
2.2	Unterbestimmtheit von Theorien	18
2.3	Grenzen der Naturwissenschaften	19
2.4	Szientismus und Physikalismus	21
2.5	Ansichten von Physikern	24
2.5.1	Albert Einstein	24
2.5.2	Stephen Hawking	26
2.5.3	Herbert Pietschmann	27
2.5.4	Erwin Schrödinger	28
2.6	Verschiedene Grenzen	30
2.6.1	Methodologische Grenzen	30
2.6.2	Physikalische Grenzen	43
2.6.3	Technologische Grenzen	47
2.6.4	Gesellschaftliche Grenzen	48
3	Grundlagen und Ziele	51
3.1	Grundlagen	51
3.1.1	Ansichten zur Reichweite der Naturwissenschaften	57
3.1.2	Weltbild, Identität und Interesse	60
3.2	Fragestellungen, Hypothesen und Ziele	75
3.2.1	Entwicklung einer Szientismus-Skala	75
3.2.2	Entwicklung einer Unterrichtseinheit zu den Möglichkeiten und Grenzen der Physik	76
3.2.3	Empirische Untersuchung des Zusammenhangs zwischen Szientismus und Interesse an Physik	76
4	Skala 'Reichweite der Naturwissenschaften'	79

4.1	Empirische Forschungsmethoden	79
4.1.1	Qualitative Methoden	79
4.1.2	Quantitative Methoden	82
4.2	Messung von Schüleransichten zur Reichweite der Naturwissen- schaften	108
4.2.1	Wahl des Messinstruments	108
4.2.2	Entwicklung des Fragebogens	109
4.2.3	Die endgültige Skala	120
5	Unterrichtseinheit zu Möglichkeiten und Grenzen der Naturwissen- schaften	131
5.1	Unterrichtseinheit zu den Möglichkeiten der Naturwissenschaften	132
5.1.1	Fachlicher Hintergrund	132
5.1.2	Historischer Abriss der Kosmologie	133
5.1.3	Fachliche Grundlagen	141
5.1.4	Infotexte	152
5.1.5	Der Unterricht	161
5.1.6	Weitere fachliche und didaktische Anmerkungen	168
5.2	Unterrichtseinheit zu den Grenzen der Naturwissenschaft	169
5.2.1	Der Unterricht	169
5.2.2	Weitere fachliche und didaktische Anmerkungen	173
5.2.3	Schülertext: Grenzen der physikalischer Forschung	174
6	Quantitative Studie	191
6.1	Fragestellungen und Hypothesen	191
6.1.1	Messinstrumente	195
6.1.2	Untersuchungsplan und Ablauf	196
6.2	Ergebnisse	197
6.2.1	Szientismus	200
6.2.2	Szientismus & Interesse an Physik	204
6.2.3	Wirkung des Unterrichts	209
6.2.4	Evaluation	234
7	Interviews	251
7.1	Vorüberlegungen und Hypothesen	251
7.1.1	Vorüberlegungen	251
7.1.2	Fragestellungen und Hypothesen	254
7.2	Konzeption der Interviews	256
7.3	Durchführung der Interviews	258
7.3.1	Transkription der Interviews	259

7.4	Auswertung	260
7.4.1	Zusammenfassungen der Interviews	261
8	Zusammenfassung	277
	Literatur	280
	Online-Bildquellen	296
	Abbildungsverzeichnis	297
	Tabellenverzeichnis	301
A	Anhang	303
A.1	Materialien zu den Unterrichtseinheiten	303
A.1.1	Unterrichtseinheit zu den Möglichkeiten der Naturwissenschaften	303
A.1.2	UE zu den Grenzen der Naturwissenschaften	317
A.1.3	Fragebögen und Tests	335
A.2	Materialien zur Skala 'Reichweite der Naturwissenschaften'	357
A.2.1	Manual zur Skala 'Reichweite der Naturwissenschaften'	357
A.2.2	Fragebogen zur Validierung der Verständlichkeit	364
A.2.3	Zuordnung der Items zu den Szientismus-Varianten	364
A.2.4	Der Vorfragebogen	369
A.2.5	Leitfaden für die Interviews zur Validierung der Skala 'Reichweite der Naturwissenschaften'	369
A.2.6	Statistische Daten zum Vorfragebogen	369
A.2.7	Der Validierungsfragebogen	389
A.3	Verfahren zur Analyse der Längsschnittdaten	396
A.4	Interviews nach dem Unterricht	399
A.4.1	Leitfaden zu den Interviews	399
A.4.2	Zusammenfassungen der Interviews	401
A.5	Materialien zu den Interviews zum Zusammenhang zwischen Fachinteresse und Szientismus	420
A.5.1	Interviewleitfaden	420
A.5.2	Skala zu Ursachen des Fachinteresses	424
A.5.3	Transkripte der Interviews	425

1. Einführung

Gemeinhin geht es im Physikunterricht um die Vermittlung physikalischen Wissens, also solcher Erkenntnisse über unsere Welt, die die Naturwissenschaft Physik mit ihren spezifischen Methoden gewonnen hat. Diese Erkenntnisse sind ein wertvolles kulturelles Gut und außerdem die Basis zahlloser technischer Innovationen, die für unsere Gesellschaft von grundlegender Bedeutung sind. Es herrscht heute weitgehend Einigkeit darüber, dass zum Kernbestand einer naturwissenschaftlichen Grundbildung jedoch nicht nur fachliche Grundkenntnisse gehören, sondern ebenfalls ein angemessenes Verständnis wissenschaftstheoretischer Grundlagen der Naturwissenschaften. Dazu zählen auch ihre Möglichkeiten und Grenzen. Ein solches Verständnis kann dabei helfen, zu beurteilen, welchen Beitrag die Naturwissenschaften zur Beantwortung grundlegender Fragen leisten können - sowohl solcher, die sich jedem Menschen individuell stellen, als auch solchen, die die Gesellschaft als Ganzes betreffen.

Ausgangspunkt des in dieser Arbeit dokumentierten Forschungsprojektes sind drei zentrale Fragen:

1. Wie schätzen heutige Jugendliche die Möglichkeiten und Grenzen der Naturwissenschaften ein? Bisher ist darüber wenig bekannt. Neben einer rein akademischen Bedeutung könnten derartige Kenntnisse zum Beispiel hilfreich für die Planung von Unterricht zu wissenschaftstheoretischen Aspekten der Naturwissenschaften sein.
2. Gibt es einen Zusammenhang zwischen den Ansichten von Schülerinnen und Schülern zu den Grenzen der Naturwissenschaft¹ und ihrem Interesse an Physik? Theoretische Überlegungen und einige empirische Forschungsergebnisse weisen darauf hin, dass eine große Diskrepanz zwischen den eigenen und den mit der Naturwissenschaft assoziierten Ansichten das Interesse deutlich verringern können.
3. Kann bereits eine relativ kurze, aber explizite Thematisierung der Möglichkeiten und Grenzen der Naturwissenschaften im Unterricht die Kenntnisse und Einstellungen von Schülerinnen und Schülern signifikant beeinflus-

¹ Das Wort Naturwissenschaft wird in dieser Arbeit häufig in der Bedeutung eines generalisierenden Singular verwendet.

1. Einführung

sen? Aufgrund eines begrenzten Zeitbudgets für den Physikunterricht ist diese Frage auch von praktischer Bedeutung. Zu ihrer Beantwortung wurde im Rahmen dieser Arbeit eine Unterrichtseinheit für die Sekundarstufe II entwickelt und evaluiert.

Im Folgenden wird ein Überblick über die Inhalte der einzelnen Kapitel gegeben.

In Kapitel 2 werden wissenschaftstheoretische Grundlagen behandelt. Es wird erörtert, was überhaupt unter *den Grenzen der Naturwissenschaften* verstanden werden kann. Die Antwort auf diese Frage ist abhängig von der zu Grunde gelegten wissenschafts- und erkenntnistheoretischen Position. Diese Abhängigkeit wird in Abschnitt 2.6 diskutiert und außerdem ausgewählte Standpunkte einiger prominenter Philosophen und Naturwissenschaftler² vorgestellt. Zudem werden in diesem Zusammenhang häufig genannte Begriffe wie Reduktionismus, Physikalismus oder Szientismus diskutiert und erläutert. Abschnitt 2.6 thematisiert verschiedene Arten von Grenzen und stellt eine mögliche Einteilung vor.

In Kapitel 3 wird zunächst die Bedeutung des Themas *Grenzen der Naturwissenschaften* für die Physikdidaktik erörtert. Zahlreiche Bildungsstandards und Lehrpläne nennen die Reflexion über die Möglichkeiten und Grenzen der Naturwissenschaften als wichtiges Ziel naturwissenschaftlicher Bildung. Zwar wird die Bedeutung dieses Themas auch in der fachdidaktischen Literatur betont, es existieren bis dato jedoch nur wenige empirische Forschungsergebnisse. Abschnitt 3.1 versucht einen Überblick über die existierende Literatur zu diesem Bereich zu geben und diskutiert das Verhältnis zu wissenschaftstheoretischen Aspekten, die häufig in der *Nature of Science*-Forschung als bedeutsam angesehen werden.

Grundlegend für die vorliegende Arbeit ist eine Interview-Studie von Hansson und Lindahl (Hansson und Lindahl (2007), siehe auch Hansson und Lindahl (2010)), die den Einfluss des Bildes, das sich Jugendliche von den Naturwissenschaften machen, auf ihr Interesse untersucht. Ihre wesentlichen Ergebnisse werden in Abschnitt 6.2.1 vorgestellt. Anschließend wird in knapper Form auf einige in diesem Zusammenhang wichtige theoretische Begriffe, wie z. B. Interesse, Weltbild oder Conceptual Change eingegangen. Zum Schluss des Kapitels werden die wesentlichen Fragestellungen, Hypothesen und Ziele dieser Arbeit im Überblick vorgestellt.

Zur Erfassung der Ansichten von Schülerinnen und Schülern zur Reichweite der

² Zum Zwecke der besseren Lesbarkeit wird in dieser Arbeit häufig ein generisches Maskulinum verwendet, das aber jeweils beide Geschlechter einschließen soll. Dies betrifft insbesondere auch Schülerinnen und Schüler. Sollten tatsächlich einmal nur männliche Schüler gemeint sein, wird explizit darauf hingewiesen.

Naturwissenschaften wurde im Rahmen dieser Arbeit ein Fragebogen eingesetzt, dessen Entwicklung in Kapitel 4 vorgestellt wird. In Abschnitt 4.1 wird zunächst allgemein auf empirische Forschungsmethoden eingegangen. Der Schwerpunkt liegt dabei auf quantitativen Methoden. Abschnitt 4.1.2 versucht eine Einführung in die Konzepte der klassischen und probabilistischen Testtheorie zu geben. In Abschnitt 4.2 wird dann die eigentliche Entwicklung der Skala³ beschrieben. Insbesondere wird auf die verschiedenen Schritte eingegangen, die ihre Validität und Reliabilität gewährleisten sollen⁴.

In Kapitel 5 wird die Unterrichtseinheit beschrieben, die im Rahmen der in dieser Arbeit durchgeführten, quantitativen empirischen Studie (vgl. 6) verwendet wurde. Der Unterricht gliedert sich in zwei Teile: Im ersten Teil wird versucht, die große Leistungsfähigkeit der Physik anhand einer Fragestellung aus der Kosmologie (*Hat das Universum einen Anfang?*) zu verdeutlichen (Abschnitt 5.1). Der zweite Teil des Unterrichts (Abschnitt 5.2) befasst sich dann mit den Grenzen der Naturwissenschaft. Anknüpfend an den ersten Teil, wird untersucht, was »die Physik« zu der Frage *Warum hat das Universum einen Anfang?* sagen kann. Dazu werden in der Unterrichtseinheit verschiedene methodologische Merkmale der Physik erarbeitet und die daraus resultierenden Konsequenzen diskutiert⁵. Kapitel 5 enthält zwei Ergänzungen, die für die vorliegende Arbeit verfasst wurde: 1. Einen Lehrtext zur Kosmologie, der als Hintergrundmaterial für Lehrkräfte gedacht ist. 2. Einen Schülertext zu den methodologischen Merkmalen und Grenzen der Physik, der an den ursprünglichen Unterricht angelehnt ist, aber eine Reihe von Änderungen und Erweiterungen enthält.

In Kapitel 6 werden die oben genannte quantitative Studie und ihre Ergebnisse beschrieben. Diese Interventionsstudie stellt ein zentrales Element des hier vorgestellten Dissertationsprojektes dar. Eine wichtige Fragestellung war es, welchen Effekt ein relativ kurzer, aber expliziter Unterricht zu den Möglichkeiten und methodologischen Grenzen der Physik haben kann. Dabei standen mögliche Einflüsse auf die Ansichten der Schülerinnen und Schüler zur Reichweite der Naturwissenschaften, wie auch ihre Kenntnisse zu den methodologischen Grenzen im Vordergrund. In Hinblick auf die Resultate der Arbeit von Hansson und Lindahl war eine weitere Frage, ob sich quantitativ bestätigen lässt, dass eine mögliche Diskrepanz zwischen den eigenen und den mit der Physik assoziierten Ansichten mit einem verminderten Interesse an Physik einhergeht.

³ sie wird in dieser Arbeit oft kurz als 'Szientismus'-Skala bezeichnet.

⁴ An der Entwicklung und Validierung der 'Szientismus'-Skala sowie an der Planung und Auswertung der quantitativen Studie war Prof. Dr. Martin Hänze von der Universität Kassel mit wichtigen Beiträgen beteiligt.

⁵ Dieser Unterricht zu den Grenzen der Naturwissenschaft wurde weitgehend von Prof. Dr. Roland Berger entwickelt und bereits in R. Berger und Korte (2009) beschrieben.

1. Einführung

Die Ergebnisse dieser Studie wurden durch zwei von Christian Imwalle angefertigte Abschlussarbeiten ((Imwalle, 2010, 2012)) validiert und ergänzt. Diese Arbeiten werden ebenfalls in diesem Kapitel kurz vorgestellt und ihre wesentlichen Resultate zusammengefasst.

Ergänzend zur quantitativen Studie wurden mit einigen Schülern Interviews geführt. Ziel dieser Interviews war einerseits eine Validierung der quantitativen Daten, andererseits sollte der Zusammenhang zwischen den Ansichten zur Reichweite der Naturwissenschaft und dem Interesse am Fach Physik mit Hilfe eines qualitativen Verfahrens näher untersucht werden. Theoretische Vorüberlegungen, Konzeption und erste Auswertungsschritte werden in Kapitel 7 beschrieben. Eine vollständige qualitative Analyse konnte im Rahmen dieser Arbeit nicht mehr angefertigt werden.

Kapitel 8 enthält eine Zusammenfassung der wesentlichen Ergebnisse dieser Arbeit sowie einige abschließende Überlegungen.

2. Grenzen der Naturwissenschaft

Alle Wissenschaft ist nur eine Verfeinerung des Denkens des Alltags.

Albert Einstein (*Physik und Realität*
(1936))

Gibt es sicheres Wissen über die Welt und wie lässt es sich gewinnen? Was sind die Möglichkeiten und Grenzen menschlicher Erkenntnis? Dies sind grundlegende Fragen, die die abendländische Philosophie seit über 2000 Jahren zu beantworten sucht. Die moderne Naturwissenschaft hat im 16. Jahrhundert n. Chr. ihren Siegeszug angetreten. Ihre Methode, Wissen über die Natur zu erlangen, hat sich als außerordentlich erfolgreich herausgestellt. Die philosophische Teildisziplin, die sich mit ihren »Erkenntnisansprüchen und Methoden, den Voraussetzungen und den Interpretationskonsequenzen« (Kühne, 1999, S. 1778) auseinandersetzt, ist die *Wissenschaftstheorie*. »Im Unterschied zur traditionellen Erkenntnistheorie reflektiert die Wissenschaftstheorie nicht die gewöhnliche Erkenntnisleistung des Menschen, sondern das methodisch gewonnene, in Theorien formulierte wissenschaftliche Wissen.« (ebd.).

Als Lehrkraft für Naturwissenschaft an einer Schule oder Hochschule wird man in der Regel Inhalte vermitteln, die zum etablierten Bestand der Wissenschaft gehören. So wird sich unter Physikern sicher weitgehend Einigkeit darüber erzielen lassen, was wesentliche Inhalte und Ergebnisse der klassischen Mechanik oder der Elektrizitätslehre sind. Möchte man das Thema »Möglichkeiten und Grenzen der Naturwissenschaft« im Unterricht behandeln, liegt es also nahe, zunächst einmal nach den etablierten Resultaten der hier einschlägigen (Meta)wissenschaft - also der Erkenntnis- und Wissenschaftstheorie¹ - Ausschau zu halten. Schnell wird man feststellen, dass die Lage hier weitaus

¹ Die *Erkenntnistheorie* behandelt menschliche Erkenntnis im Allgemeinen, also auch »das Alltagserkennen, die ästhetische und die wertende Erkenntnis der Welt und die wissenschaftliche Erkenntnis« (Leinfellner, 1980, S. 11). Die Wissenschaftstheorie befasst sich speziell mit der Letzteren. Sie setzt sich mit »den Erkenntnisansprüchen und Methoden, den Voraussetzungen und Interpretationskonsequenzen der Wissenschaft« auseinander (Kühne, 1999, S. 1778).

2. Grenzen der Naturwissenschaften

unübersichtlicher ist. Je nach philosophischer Grundüberzeugung werden sehr unterschiedliche Standpunkte vertreten. Es gibt nicht *die* Wissenschaftstheorie (engl. *philosophy of science*), sondern verschiedene, zum Teil gegensätzliche wissenschaftstheoretische Positionen und Programme² (Kühne, 1999, S. 1778). Zu allem Überfluss gesellen sich zu den Ansichten der professionellen Philosophie auch noch die Stimmen von Vertretern der Naturwissenschaft selbst. So haben eine Reihe praktizierender und zum Teil prominenter Naturwissenschaftler ihre eigene Sicht der Wissenschaft artikuliert (oft als kritische Reaktionen auf den als zu eng empfundenen Wissenschaftsbegriff der professionellen Wissenschaftstheorie, vgl. z. B. Mutschler (2002)). Trotz der zweifellos vorhandenen Gefahr, einer parteiischen und nicht hinreichend ausgewogenen Darstellung, wird im Folgenden versucht, einen Überblick über wichtige wissenschaftstheoretische Positionen und Ergebnisse zu geben, insofern sie relevant für das Thema dieser Arbeit sind. Das Vorgehen ist dabei folgendermaßen: Zunächst wird die historische Entwicklung wissenschaftstheoretischer Vorstellungen zu den Methoden und Geltungsansprüchen der Naturwissenschaft skizziert. Die Darstellung orientiert sich eng an Carrier (2006, Kap. 4). Bei Carrier wird deutlich, dass diese Entwicklung mit einem zunehmenden Verlust an Gewissheit über die Gültigkeit und die »Wahrheit« wissenschaftlicher Theorien verbunden ist. Eng verbunden mit der Frage nach der Wahrheit, ist die nach dem Verhältnis von Wissenschaft und Wirklichkeit. Verschiedene Standpunkte dazu werden kurz vorgestellt. Zur Illustration des Spektrums möglicher Ansichten werden anschließend exemplarisch die Positionen von vier Physikern etwas detaillierter dargelegt. Es handelt sich um Albert Einstein, Stephen Hawking, Wolfgang Pietschmann und Erwin Schrödinger. Dabei war neben dem Bekanntheitsgrad auch die Mannigfaltigkeit der Auffassungen dieser Wissenschaftler ein Auswahlkriterium.

Im zweiten Abschnitt dieses Kapitels wird versucht die verschiedenen inhaltlichen Aspekte der »Grenzen der Naturwissenschaft« nach stärker systematischen Kriterien zu gliedern und zu erörtern.

² Unter dem Eindruck zweier sehr erfolgreicher physikalischer Theorien, der Relativitätstheorie und der Quantenmechanik, wurde die in diesem engeren Sinne verstandene Wissenschaftstheorie in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts zunächst maßgeblich von den Vertretern des logischen Empirismus (u. a. Schlick, Carnap, Feigl, Neurath, Waismann, Frank, Reichenbach) und des kritischen Rationalismus (Popper) formuliert. Nach dem Zweiten Weltkrieg erfolgte eine Weiterentwicklung und Diversifikation durch Vertreter verschiedener philosophischer Strömungen und Schulen. Wichtige Beiträge stammen z. B. von Vertretern der analytischen Philosophie (Hempel, Hesse, Nagel, Oppenheim, Salmon) sowie von Willard Van Orman Quine und Thomas S. Kuhn. Bedeutende methodische Programme und Schulen sind u. a. der Strukturalismus (Suppes, Sneed, Stegmüller), der Operationalismus (Bridgman, Dingler) oder der Konstruktivismus (Lorenzen, Kamlah) (siehe Kühne (1999)).

2.1. Wissenschaftliche Theorien

Ziele, Methoden und Inhalte der Wissenschaft sind beständigem Wandel unterworfen. Sie sind nicht absolut, sondern sind Resultat historischer Entwicklung. Wesentliche methodologische Grundlagen der modernen Naturwissenschaft wurden im 16. und 17. Jahrhundert gelegt. Diese, heute mit dem Begriff »Wissenschaftliche Revolution« bezeichnete, historische Epoche zwischen Nikolaus Kopernikus und Isaac Newton war mit der Einführung neuer Strategien der Erkenntnisgewinnung verbunden. Drei wesentliche sind: die Suche nach Naturgesetzen³, die Verwendung der Mathematik zur Naturbeschreibung und Anerkennung des Experimentes als Erkenntnismittel (Carrier, 2006, S. 130f.). Naturgesetze wurden als universell gültige, mathematisch formulierte Regularitäten der Natur angesehen. Dies entspricht weitgehend auch der modernen Auffassung: Bei Popper sind sie allgemeingültige »Allsätze« der Form »für alle Raum-Zeitpunkte (oder alle Raum-Zeitgebiete) gilt:« (Popper, 2005, S. 41)⁴. Er betont allerdings die Einbindung der Naturgesetze in Theorien bzw. Theoriesysteme. Wissenschaftliche Theorien bestehen für ihn aus Begriffen und Sätzen aus denen sich durch logische Deduktion empirisch prüfbare Aussagen ableiten lassen (Popper, 2005, Kap. 3). Popper unterscheidet »allgemeine Sätze« - wie Hypothesen und Naturgesetze - von »besonderen Sätzen«, die nur für einen bestimmten Fall gelten. Sie werden auch als Randbedingungen bezeichnet. Aus der Kombination von allgemeinen und besonderen Sätzen lassen sich *Prognosen* über beobachtbare Ereignisse deduzieren. Die Zurückführung dieser Ereignisse auf Gesetze und Randbedingungen ist die »kausale Erklärung« eines Vorgangs (Popper, 2005, S. 36f). Ein Beispiel: Ein Stein wird losgelassen und fällt zu Boden. Dieser Vorgang kann »erklärt« werden mit dem Gravitationsgesetz und der Randbedingung, die die anfängliche Lage und Geschwindigkeit des Steines festlegt⁵. Das Vermögen einer wissenschaftlichen Theorie empirisch prüfbare Aussagen zu produzieren, macht sie falsifizierbar⁶. Für Popper ist dies das entscheidende methodologische Kriterium, das wissenschaftliche von anderen »metaphysischen« Satzsystemen abgrenzt.

³ Im 16. Jahrhundert galten die Naturgesetze als Ausdruck göttlichen Willens, der notwendig unveränderlich und ausnahmslos geht. Durch diese Interpretation wurden ihnen zwei wesentliche Eigenschaften zugeschrieben: zeitliche Invarianz und Universalität (Carrier, 2006, S. 131).

⁴ Vgl. auch Hüttemann (1997, Kap. 3.2.1) für eine Diskussion verschiedener wissenschaftstheoretischer Naturgesetzkonzeptionen. Für Hüttemann schreiben Naturgesetze physikalischen Systemen *Dispositionen* zu einem bestimmten Verhalten zu (Hüttemann, 1997, S. 142ff.). Dispositionen sind dabei Eigenschaften, die nur unter bestimmten Bedingungen manifest sind. Mit Blick auf moderne Quantengravitationstheorien hat Poppers Formulierung möglicherweise den Nachteil, dass sie bereits ein physikalisches Raum-Zeit-Konzept voraussetzt.

⁵ In der Physik wird die Randbedingung in diesem Fall üblicherweise als Anfangsbedingung bezeichnet.

⁶ Auf die Problematik der Falsifizierbarkeit wird unten eingegangen.

2. Grenzen der Naturwissenschaften

Eng verbunden mit der Entwicklung des Verständnisses wissenschaftlicher Theorien, ist die der Rolle des Experimentes im wissenschaftlichen Erkenntnisprozess. Wie erwähnt, war die Einführung des Experimentes als eine aktive und zielgerichtete Beeinflussung von Naturprozessen eine wesentliche methodologische Innovation der Wissenschaftlichen Revolution. Im Experiment werden Einflussfaktoren isoliert und gezielt variiert. Durch diese Variation ist es möglich, das Spektrum relevanter Parameterwerte besser auszuschöpfen als dies bei Beobachtungen in »freier Natur« für gewöhnlich möglich ist (Carrier, 2006, S. 21). Mit dem Erkenntnisfortschritt, der mit dem Einsatz von Experimenten verbunden war, entwickelte sich die Auffassung, dass sich Naturgesetze »induktiv«, also durch direkte Verallgemeinerung von Beobachtungen gewinnen lassen⁷. Befördert durch die großen Erfolge der Naturwissenschaft, setzte sich in den nachfolgenden Jahrhunderten weitgehend die Vorstellung durch, dass der Prozess der Wissenschaft eine stete Anhäufung von Wahrheiten über die Natur darstellt (vgl. Carrier, 2006, Kap. 5.2). Erst im 19. Jahrhundert kamen erste Zweifel an dieser Vorstellung auf: Die Entwicklung zunehmend beobachtungsferner Theorien, wie Maxwells Elektrodynamik, machte deutlich, dass sich wissenschaftliche Theorien keinesfalls auf direktem Wege aus Beobachtungen ableiten lassen. Nichtsdestotrotz war gegen Ende des 19. Jahrhunderts die Meinung weit verbreitet, dass die Physik - zumindest hinsichtlich ihrer Grundlagen - kurz vor ihrem Abschluss stände.⁸ Die Relativitäts- und Quantentheorie führten allerdings kurz darauf vor Augen, dass auch sicher geglaubte Fundamente der Physik unter Umständen revidiert werden müssen. Der Glaube an die Gewissheit wissenschaftlicher Erkenntnisse wurde durch diese Umstände erheblich erschüttert. So haben für Popper wissenschaftliche Aussagen nur noch den Status von Vermutungen. Oder anders gesagt: wissenschaftliche Theorien sind stets hypothetisch⁹. Der Weg zur wissenschaftlichen Wahrheit führt für ihn nicht über die Gewissheit des Bestehenden, sondern die anhaltende Bereitschaft zur Revision des existierenden Kanons akzeptierter Überzeugungen (Carrier, 2006, S. 141). Dies ist eng verbunden mit seiner bereits erwähnten Charakterisierung wissenschaftlicher Theorien durch das methodologische Kriterium der Falsifizierbarkeit. Für Popper sind es gerade die Falsifikationen, die den Theoriewandel befördern und zu wissenschaftlichen Revolutionen führen (Popper, 2005, S. 508). Nach dieser Auffassung bemisst sich also die Wissenschaftlichkeit

⁷ Diese »induktive Methode« wurde maßgeblich von Francis Bacon (1561-1626) begründet und vertreten.

⁸ Interessanterweise findet sich eine solch optimistische Haltung erneut gegen Ende des 20. Jahrhunderts in der Vorstellung einer »Theory of Everything«.

⁹ Popper ist der Auffassung, »...dass es eine logische, rationale nachkonstruierbare Methode etwas Neues zu entdecken, nicht gibt...« (Popper, 2005, S. 8). Eine Aussage, die in ähnlicher Form auch bei vielen Naturwissenschaftlern (zum Beispiel Einstein; s. u.) zu finden ist.

einer Theorie an ihren Falsifikationsmöglichkeiten (s. a. Lyre, 2003, S. 5). Unter Zugrundelegung des Falsifikationskriteriums und der Charakterisierung von Naturgesetzen als Allaussagen folgert Popper deren hypothetischen Charakter. Die Begründung ist, dass empirisch immer nur endlich viele Fälle geprüft werden können. Ein Naturgesetz macht aber eine Aussage über unendlich viele, da seine Gültigkeit in der Regel für alle Raumzeitpunkte postuliert wird. Es ist daher nicht verifizierbar, sondern nur falsifizierbar (Popper, 2005, Kap. 3).¹⁰. Die Grenzen der empirischen Falsifizierbarkeit wissenschaftlicher Hypothesen wurde wohl zuerst von Pierre Duhem (1861 - 1916) herausgearbeitet (vgl. Carrier, 2006, S. 43). In der Naturwissenschaft ist die Verbindung zwischen Beobachtungen und Hypothesen (zum Beispiel Naturgesetzen) nur selten direkt gegeben. In der Regel müssen für die Erklärung eines experimentellen Ergebnisses weitere Annahmen oder Theorien herangezogen werden. Beispielsweise solche, die die Funktionsweise der eingesetzten Messgeräte beschreiben¹¹. Entspricht nun eine Beobachtung nicht den theoretischen Erwartungen, lässt sich auf logischem Wege nicht feststellen, welche der beteiligten Theorien oder Hypothesen falsch sind. Logisch folgt lediglich, dass mindestens eine falsch sein muss¹². Durch eine einzelne Beobachtung kann also stets nur das gesamte für ihre Erklärung herangezogene Geflecht von Theorien falsifiziert werden. Durch die Hinzunahme weiterer Experimente lässt sich zwar möglicherweise der Fehler eingrenzen, es müssen dann aber stets neue Hilfsannahmen gemacht werden. Dieser Spielraum, der logisch nicht völlig zu beseitigen ist, wird auch als »Duhems Problem« bezeichnet (Carrier, 2006, S. 53). Es wird deutlich, dass auch bei der Falsifikation ein gewisses subjektives Element unabwendbar ist, zum Beispiel das »Vertrauen«, das man einzelnen Hypothesen entgegenbringt¹³.

10 Die Auffassung, dass Naturgesetze nicht auf induktivem Wege bewiesen werden können, hat bereits David Hume formuliert (vgl. Russel, 2001, S. 682). Es gibt noch einen weiteren logischen Einwand gegen die Verifizierbarkeit eines Naturgesetzes: Naturgesetze machen in der Regel nicht direkte Aussagen über Beobachtungen, sondern diese folgen aus ihnen erst durch logische Deduktion. Es ist aber eine logische Tatsache, dass aus einer logisch falschen Aussage jede beliebige Aussage folgt. Der Schluss von der Gültigkeit einer Folge auf die Richtigkeit der Ursache (also zum Beispiel eines Naturgesetzes) ist also unmöglich (vgl. Carrier, 2006, S. 44).

11 Diese werden auch als Beobachtungstheorien bezeichnet; Carrier nennt diese Abhängigkeit die *measurelle Theoriebeladenheit der Beobachtung* (Carrier, 2006, Kap. 3.4).

12 Die Anwendung falscher Beobachtungstheorien macht sich zum Beispiel im Auftreten *systematischer* Fehler bemerkbar.

13 Popper ist sich der Bestreitbarkeit empirischer Falsifikationen durchaus bewusst (vgl. Popper, 2005, S. 506 ff.); er weist aber darauf hin, dass sie in vielen Fällen schnell akzeptiert wurden und auch wissenschaftliche Revolutionen einleiteten. Als Beispiel nennt er Rutherfords Hypothese über die Existenz von Atomkernen in Folge der »Widerlegung« des Atommodells von J. J. Thomson durch Geiger und Marsden (Popper, 2005, S. 508).

2.2. Unterbestimmtheit von Theorien

Im Anschluss an Pierre Duhem konnte Willard van Orman Quine (1908 - 2000) zeigen, dass sich formal jede Theorie angesichts beliebiger empirischer Daten aufrechterhalten lässt, wenn man nur hinreichend drastische - und gegebenenfalls unplausible - Anpassungen und Ergänzungen an Teilen des theoretischen Systems vorzunehmen bereit ist (Carrier, 2006, S. 95 f.)¹⁴. Dieses zunächst rein formale Resultat wird als *Duhem-Quine-These* bezeichnet. Es macht nochmals deutlich, dass empirische Daten eine Theorie nicht festlegen können. Diese Tatsache wird oft als *empirische Unterbestimmtheit* von Theorien bezeichnet¹⁵. Die Unterbestimmtheit macht deutlich, dass die empirische Adäquatheit einer Theorie nicht das einzige Kriterium für ihre Akzeptanz in der Wissenschaft sein kann. Von verschiedenen Wissenschaftstheoretikern wurden daher weitere Kriterien für die methodologische Beurteilung von Theorien vorgeschlagen. Thomas Kuhn (1922 - 1996) nennt zum Beispiel (vgl. Carrier, 2006, S. 100):

1. Empirische Adäquatheit
2. Widerspruchsfreiheit und Kohärenz mit dem Hintergrundwissen
3. Größe des Anwendungsbereiches
4. Einfachheit unter Einschluss der Vereinigungsleistung
5. Vorhersagekraft

Ähnliche Beurteilungskriterien wurden auch von anderen, z. B. Quine, vorgeschlagen. Vielleicht bis auf die Einfachheit (die auch als ästhetisches Kriterium auffassbar ist) lassen sich diese Bedingungen als Kriterien für die Erkenntnisleistung einer Theorie deuten. Sie sind normative Qualitätskriterien für eine Theorie, lassen sich aber auch wissenschaftshistorisch zur Rekonstruktion von Ursachen des Theoriewandels anwenden. Kuhn hat jedoch selbst an Beispielen deutlich gemacht, dass diese Kriterien in der Regel kein eindeutiges normatives Urteil beim Vergleich verschiedener Theorien erlauben (sog. *Kuhn-Unterbestimmtheit*; Carrier (2006, S. 101 ff.)¹⁶). Auch in seiner wissen-

¹⁴ Widersprechen zum Beispiel einige empirische Daten der Theorie, so wäre ein mögliches Vorgehen, den Anwendungsbereich der Theorie einzuschränken und für die widersprüchlichen Daten zusätzliche, unabhängige Erklärungen einzuführen. Durch Hinzunahme weiterer Hypothesen, die mit den *bekannt*en Daten kompatibel sind, erhält man so beliebig viele Theorien, die mit allen bekannten Daten in Übereinstimmung sind.

¹⁵ Tatsächlich lassen sich in der Physik Beispiele von empirisch ununterscheidbaren Theorien finden, die sich in ihren mathematischen Strukturen und den verwendeten Grundbegriffen stark unterscheiden. Dazu zählen verschiedene Formulierungen der Quantenmechanik wie auch der Gravitationstheorie.

¹⁶ Im Rahmen des Bayesianismus wurden und werden Versuche gemacht, systematische, probabilistische Kriterien für die Bewertung von Theorien zu entwickeln (vgl. z. B. Carrier (2006, Kap.

schaftstheoretischen Analyse des Wandels von Theorien zeigt sich, dass diese epistemischen Kriterien nicht hinreichen, um die historische Abfolge von Theorien zu rekonstruieren. Kuhn beschreibt den Theorienwandel vielmehr als Übergang von *Paradigmen*. Ein Paradigma drückt die in der »scientific community« geteilten Vorstellungen und Verpflichtungen aus (Carrier, 2006, S. 144). Dies betrifft unter anderem die Frage, was wichtige wissenschaftliche Probleme und die Methoden ihrer Lösung sind (Hoyningen-Huene, 2010). Ein Paradigma prägt die wissenschaftliche Praxis in der historischen Epoche, in der es vorherrscht. Paradigmenwechsel sind für Kuhn revolutionäre Einschnitte im Wissenschaftsverlauf. Wissenschaft ist für ihn nicht durch eine stetige, inhaltliche und methodologische Weiterentwicklung charakterisiert, sondern es werden alte Paradigmen aufgegeben und durch neue ersetzt. Es gibt aber auch für ihn noch einen wissenschaftlichen Fortschritt: er drückt sich in der zunehmenden Problemlösekapazität der Wissenschaft aus. Selbst dieser Fortschritt wird jedoch von einigen zeitgenössischen Philosophen, z. B. Paul Feyerabend, angezweifelt. Sie betrachten die Wissenschaft weitgehend aus soziologischer Perspektive (vgl. Chalmers, 1999).

2.3. Grenzen der Naturwissenschaften

In Hinblick auf die Grenzen der Naturwissenschaften, ergibt sich aus dem bisher Dargelegten folgendes Zwischenfazit: Naturwissenschaftliche Theorien

1. lassen sich nicht ableiten oder beweisen, sondern höchstens widerlegen,
2. sind unsicher und können sich fundamental wandeln,
3. lassen sich sowohl hinsichtlich ihrer Übereinstimmung mit den Erfahrungstatsachen als auch anderer Qualitätskriterien nicht völlig eindeutig und objektiv beurteilen,
4. werden in ihrer Struktur, ihren Inhalten und ihrem Wandel in beträchtlichem Maße durch gesellschaftliche Faktoren beeinflusst.

Während bei wichtigen methodologischen Fragen heute offenbar ein gewisser Konsens unter Wissenschaftstheoretikern existiert¹⁷, verbleiben größere Unterschiede hinsichtlich der Frage des Verhältnisses von Wissenschaft zu »Wahrheit« und »Wirklichkeit«. Bis zum Beginn des 20. Jahrhunderts war die

4.3.), (R. Matthews, 2009)). Eine Stärke dieser Ansätze ist es, die Vorhersagekraft von Theorien quantitativ vergleichen zu können (durch Angabe der Änderung der Wahrscheinlichkeit für das Auftreten bestimmter empirischer Daten, wenn eine gegebene Theorie vorausgesetzt wird). Ein subjektives Element ist aber auch hier bei der Wahl der Wahrscheinlichkeitsmaße unvermeidbar.

¹⁷ Sofern nicht, wie bei Feyerabend, eine radikale »Außenperspektive« eingenommen wird.

2. Grenzen der Naturwissenschaften

Auffassung weit verbreitet, dass Wissenschaft ein »unablässiges Anhäufen von Entdeckungen und Wahrheiten« bedeutet. Diese Vorstellung wird heute als »Akkumulationstheorie der Wissenschaftsgeschichte« bezeichnet (Carrier, 2006, S. 139). Beispielsweise wähten sich viele Physiker um das Jahr 1900 herum kurz vor Vollendung ihrer Wissenschaft. Wenige Jahre später führten dann die Relativitäts- und Quantentheorie zu einer radikalen Änderung der als sicher geglaubten Grundlagen. Wie erwähnt, erschütterte dies nachhaltig den Glauben an die Sicherheit wissenschaftlicher Erkenntnis. Allerdings war auch Popper noch der Ansicht, dass die Entwicklung der Wissenschaft mit einer Annäherung an die Wahrheit verbunden ist. Popper geht von der Existenz einer realen Außenwelt aus, deren Struktur die Wissenschaft mit ihren Theorien zu beschreiben sucht. Eine neue Theorie hat für ihn größeren Wahrheitsgehalt als eine alte, wenn sie alle Beobachtungen, die die alte Theorie erklären konnte, mindestens genauso gut erklären kann, und darüber hinaus auch noch weitere, mit denen die alte Theorie Schwierigkeiten hatte (Popper, 2005, S. 510 ff.). Eine bessere Erklärung kann dabei zum Beispiel eine einfachere sein, oder eine solche, die genauer zu den Beobachtungen passt¹⁸. In diesem Sinne sind aufeinanderfolgende Theorien hinsichtlich ihres Wahrheitsgehaltes vergleichbar und ein Fortschreiten zu größerer Wahrheit ist möglich. Für Kuhn dagegen, kann man bei einem Paradigmenwechsel nicht von einer Annäherung an die Wirklichkeit ausgehen. Seiner Ansicht nach können damit so starke Verwerfungen einhergehen, dass ein neues Paradigma nicht als Weiterentwicklung eines alten angesehen werden kann. Beispielsweise können sich die Vorstellungen darüber, was als gute Erklärung gilt, oder diejenigen von der Beschaffenheit des in Frage stehenden Phänomenbereichs, starken Änderungen unterworfen sein (Kuhn, 1962, S. 97 f.). Dies kann zur Folge haben, dass zwei Theorien dann nicht mehr anhand der oben erwähnten epistemischen Qualitätskriterien vergleichbar sind. Aber selbst wenn dies auf längere Sicht der Fall wäre, lässt nach Kuhns Ansicht der historische Wandel wissenschaftlicher Theorien vor allem in *ontologischer* Hinsicht keine Konvergenz erkennen¹⁹. Damit ist für ihn der wissenschaftliche Realismus - also die Annahme der Realität auch solcher Objekte, die nicht direkt beobachtbar sind, sondern in wissenschaftlichen Theorien konstituiert werden²⁰ - nicht haltbar: seiner Ansicht nach, strebt die Naturwissenschaft hier keinem erkennbaren Ziel zu (Kuhn, 1962, S. 217 f.). Wie

¹⁸ Von diesem Standpunkt aus könnte man zum Beispiel sagen, dass die Allgemeine Relativitätstheorie einen höheren Wahrheitsgehalt besitzt als die Newtonsche Gravitationstheorie. Erstere ist mit mehr Beobachtungen in besserer Übereinstimmung als Letztere, und mit keiner Beobachtung in geringerer Übereinstimmung.

¹⁹ Als ein Beispiel führt er die Entwicklung der Vorstellungen vom Licht an: es wurde im 18. Jahrhundert als Teilchenstrom, im 19. Jahrhundert als Wellenausbreitung, und im 20. Jahrhundert als Strom von Lichtquanten aufgefasst.

²⁰ In der Physik wären zum Beispiel die Elementarteilchen solche Objekte.

erwähnt, existieren jedoch bis heute unterschiedliche Auffassungen zu dieser Frage. Vertreter des wissenschaftlichen Realismus führen zum Beispiel an, dass der Erfolg wissenschaftlicher Theorien völlig unerklärlich wäre - geradezu ein Wunder -, wenn sie nicht einen Teil der Realität erfassen würden (»Wunderargument«, vgl. Carrier (2004))²¹. Teilweise als Reaktion auf Kuhns Kritik wurden in den vergangenen Jahrzehnten eine Reihe weiterer Ontologien im Sinne des Realismus vorgeschlagen: So sind etwa für den *Strukturellen Realismus* (mathematische) Strukturen von Theorien die grundlegenden Bausteine der Realität. Vertreter dieser Strömung sind der Auffassung, dass bestimmte Eigenschaften dieser Strukturen stabil gegenüber Theoriewechseln sind, was als Argument für ihre reale Existenz gewertet wird²².

Ein großer Teil der Wissenschaftstheorie des 20. Jahrhunderts ist dem Anliegen gewidmet, allgemeine Charakteristika der Wissenschaft und ihrer Entwicklung aufzudecken. Der Schwerpunkt von Programmen, wie dem logischen Empirismus oder Poppers kritischem Rationalismus lag dabei auf der logischen Analyse und dem Versuch methodologische Abgrenzungskriterien zu finden. Die Ansicht, dass sich Wissenschaft vor allem methodologisch charakterisieren lasse, wurde in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts zunehmend bezweifelt. Bei Thomas Kuhn und anderen erfolgt die historische Analyse der Wissenschaftsentwicklung verstärkt unter einer soziologischen Perspektive²³.

2.4. Szientismus und Physikalismus

Vor dem oben skizzierten wissenschaftstheoretischem Hintergrund werden in der modernen Erkenntnistheorie auch Fragen zum Verhältnis von Wissenschaft

21 Für eine Darstellung verschiedener Argumente für und wider den wissenschaftlichen Realismus siehe Chakravartty (2014). Vergleiche auch (Hoyningen-Huene, 1999), wo die Einwände des Physik-Nobelpreisträgers Steven Weinberg (der selbst die Ansicht vertritt, dass sie Physik sich der »Wahrheit« annähert) gegen Kuhns Thesen diskutiert werden.

22 Diese Vorstellung steht in engem Zusammenhang mit der sog. modelltheoretischen (»semantischen«) Interpretation wissenschaftlicher Theorien (vgl. Lyre, 2003). Vor allem in Deutschland wurden in den siebziger Jahren des 20. Jahrhunderts von Vertretern des Strukturalismus Programme initiiert, mit dem Ziel einer formalen, mathematischen Rekonstruktion bestehender physikalischer Theorien (vgl. Schmidt, 2014). Diese Ansätze ermöglichten unter anderem die Kuhnsche Inkommensurabilität auf einem weit formaleren Niveau als zuvor zu diskutieren.

23 Für Kuhn ist nicht das Prüfen von Theorien, sondern die Tradition des »Rätsellösens« das entscheidende Charakteristikum der Wissenschaft. Die empirische Prüfung betrachtet er als das in der Naturwissenschaft etablierte Kriterium für die erfolgreiche »Lösung eines Rätsels« (siehe Kuhn, 1978, S. 364). Ein jüngerer Versuch Wissenschaft zu charakterisieren, stammt von Hoyningen-Huene. Für ihn ist Wissenschaft vor allem durch die Struktur des von ihr produzierten Wissens ausgezeichnet. Seiner Ansicht nach unterscheidet es sich von anderen Wissensarten durch einen höheren Grad von »Systematizität« (Hoyningen-Huene, 2008).

2. Grenzen der Naturwissenschaften

und Wirklichkeit diskutiert²⁴. Eng verknüpft mit dieser allgemeinen Diskussion ist die Frage, welchen Beitrag die Naturwissenschaft, und speziell die Physik, zum Verständnis der Welt beitragen kann. Dies tangiert direkt das Thema der »Möglichkeiten und Grenzen der Naturwissenschaft«. Mutschler (2002) versucht eine Art Taxonomie der möglichen Positionen zu dieser Frage aufzustellen. Auf sie soll hier ein wenig näher eingegangen werden; Mutschler unterscheidet zwei Aspekte: der erste, den man als ontologischen bezeichnen könnte, betrifft die Konzeption von »Natur«, also das, womit sich die Naturwissenschaft beschäftigt. Ist Natur die »Totalität des Seienden« oder sind von ihr andere »Regionen«, wie zum Beispiel Kultur oder Geschichte abzugrenzen? Er verwendet für die beiden gegensätzlichen Standpunkte die Bezeichnungen *Nat_{tot}* und *Nat_{reg}*. Der zweite Aspekt ist eher epistemischer Art: lassen sich alle relevanten Aspekte der Natur mit den Mitteln der Naturwissenschaft erfassen oder erlaubt (bzw. erfordert) sie verschiedene nicht aufeinander rückführbare Zugangsweisen? Diese beiden Positionen kennzeichnet Mutschler mit den Abkürzungen *Nat_{szient}* und *Nat_{plur}*. Es ergeben sich also vier verschiedene, mögliche Paarungen:

1. *Nat_{tot}/Nat_{szient}*
2. *Nat_{tot}/Nat_{plur}*
3. *Nat_{reg}/Nat_{szient}*
4. *Nat_{reg}/Nat_{plur}*

Diesen vier Kombinationen ordnet Mutschler zahlreiche, von Philosophen und Naturwissenschaftlern vertretene Positionen zu (Mutschler, 2002, Kap. 1). Obwohl sowohl sein Schema (als auch seine Zuordnung) im Einzelnen diskussionswürdig erscheint, erlaubt es eine grobe Charakterisierung verschiedener Standpunkte. Die Position *Nat_{tot}/Nat_{szient}*, also die Ansicht, dass alles Existierende »Natur« ist und mit den Mitteln der Naturwissenschaft hinreichend erfasst werden kann, wird oft als *Szientismus* bezeichnet. Sie entspricht der Auffassung, dass die Naturwissenschaft auf alle Fragen und Probleme anwendbar ist, bzw. dass diese die Grenze dessen setzt, was über die Realität wissbar ist (vgl. z. B. Scientism, 2013; Stenmark, 2001)²⁵. Aussagen, die sich nicht naturwissenschaftlich begründen lassen, wenn nach dieser Auffassung als sinnlos angesehen. Dazu können zum Beispiel metaphysische oder religiöse Aussagen gehören. In der vorliegenden Arbeit wird dieser Begriff verwendet, um einen »Pol« im Spektrum möglicher Ansichten zu den Grenzen der Naturwissenschaft

²⁴ im Sinne des Popperschen Abgrenzungskriterium könnte man derartige Fragen als »metaphysisch« bezeichnen.

²⁵ Nahezu synonym wird oftmals auch der Begriff *Naturalismus* verwendet (vgl. Papineau, 2009).

zu kennzeichnen (nämlich den, dass sie keine Grenzen haben)²⁶. Stenmark hat bei verschiedenen Philosophen und bekannten Naturwissenschaftlern eine Reihe verschiedener Varianten szientistischer Positionen ausgemacht und gegeneinander abgegrenzt (Stenmark, 1997). Diese Varianten bilden die Grundlage für die psychometrische Skala zum Szientismus, die im Rahmen dieser Arbeit entwickelt wurde (siehe Kapitel 4 und Anhang A.2.1; dort wird näher auf diese eingegangen). Eine spezielle Variante des Szientismus ist der *Physikalismus* (vgl. Poland, 1994)²⁷. Mit diesem Begriff wird in der Regel die Ansicht bezeichnet, dass alles Existierende physisch sei und letztlich alle Wissensgebiete auf die Physik zurückgeführt werden können (Kühne, 1999; Stoljar, 2009). Der Physikalismus kann erkenntnistheoretisch dem Monismus zugeordnet werden. Dieser kennzeichnet die metaphysische Positionen, dass die Wirklichkeit von einheitlicher Beschaffenheit ist bzw. ihr ein einziges Prinzip zu Grunde liegt (Rehfus, 2003, S. 472)²⁸. Gemäß dem Physikalismus existieren in der Welt nur physikalische Objekte, deren Verhalten durch physikalische Gesetze bestimmt wird²⁹. Verbunden mit dieser metaphysischen These, sind häufig weitere Ansichten, die man als physikalistisches Weltbild bezeichnen könnte. Dazu zählen zum Beispiel die Idee einer endgültigen und vollständigen physikalischen Theorie (»Theory of Everything«) oder dass alles Wissen über die Welt letztlich auf Sinneswahrnehmungen gründet (siehe Stoljar (2009, Absch. 12)). Einen Überblick zu den philosophischen Fragen, die im Zusammenhang mit dem Physikalismus diskutiert werden, gibt Stoljar (2009). Dazu zählen zum Beispiel, inwiefern mentale Zustände als physikalische Zustände aufgefasst werden können, oder ob Makroobjekte und ihr Verhalten auf die Mikrophysik zurückgeführt werden können (sog. »Mikrophysikalismus«, vgl. Hüttemann und Papineau (2005)).

26 Eine Bewertung dieser oder verwandter Positionen soll damit übrigens nicht verbunden sein. Diese Bemerkung erscheint angebracht, da dieser Begriff häufiger abwertend verwendet wird.

27 Dieser Begriff wurde ursprünglich von Vertretern des logischen Empirismus geprägt, und bezeichnete dort das Programm alle Erfahrungswissenschaften in einer einheitlichen physikalischen Wissenschaftssprache auszudrücken (vgl. Physikalismus, 2013).

28 Philosophische Alternativen zum Monismus sind die Positionen des Dualismus oder Pluralismus. Ein Beispiel für den Dualismus ist die Annahme von verschiedenen mentalen und physischen Entitäten (Robinson, 2012).

29 Historische Varianten des Physikalismus werden oft unter der Bezeichnung *Materialismus* zusammengefasst. Ein Beispiel ist der physikalische Determinismus, der zum Beispiel von Pierre-Simon Laplace (1749 - 1827) vertreten wurde. Für Laplace ist das gesamte Universum zu jedem Zeitpunkt der Vergangenheit und Zukunft durch die Naturgesetze und seine heutigen Zustand bestimmt (Laplace & Simon, 1951, S. 4).

2.5. Ansichten von Physikern

Im vorangegangenen Abschnitt wurde versucht, einige grundlegende Begriffe und Ideen der Wissenschafts- und Erkenntnistheorie einzuführen, die für das Thema 'Grenzen der Naturwissenschaft' von Bedeutung sein könnten. Zur Ergänzung und Illustration werden in diesem Abschnitt die Positionen von vier »Praktikern« der Naturwissenschaft in knapper Form vorgestellt. Es handelt sich um die Physiker Albert Einstein, Stephen Hawking, Herbert Pietschmann und Erwin Schrödinger. Die Ansichten dieser vier Wissenschaftler machen deutlich, wie unterschiedlich erkenntnistheoretische Positionen selbst bei Vertretern des gleichen Faches sein können. Innerhalb des von Mutschler vorgeschlagenen Schemas (s. o.) könnten sie - in etwa - den Kategorien *Nat_{tot}/Nat_{plur}* (Einstein), *Nat_{tot}/Nat_{sziert}* (Hawking), *Nat_{reg}/Nat_{plur}* (Pietschmann) zugeordnet werden (Schrödinger, der eine Art geistigen Monismus vertritt, fällt etwas aus diesem Schema). Alle vier haben ihre erkenntnistheoretischen Ansichten relativ ausführlich in verschiedenen Aufsätzen, Essays oder Büchern dargelegt.

2.5.1. Albert Einstein

Da Einstein Position hier etwas ausführlicher dargestellt wird, ist sie thematisch unterteilt.

Allgemeine erkenntnistheoretische Ansichten »Alle Wissenschaft ist nur eine Verfeinerung des Denkens des Alltags.« (Einstein, 1936, S. 313) - so kennzeichnet Einstein Wissenschaft. Für ihn treten auf der Bühne des seelischen Erlebens mannigfache Folgen von Sinneserlebnissen, Erinnerungsbildern an solche, sowie Vorstellungen und Gefühle auf. Die Physik beschäftigt sich unmittelbar nur mit den Sinneserlebnissen und versucht diese und ihrem Zusammenhang gedanklich zu erfassen (ebd., S. 314)³⁰.

Eine physikalische Theorie ist für Einstein ein System von Begriffen und Sätzen, die nach festgelegten Regeln der Logik miteinander verknüpft sind. Die Begriffe und Sätze erhalten »Inhalt« durch ihre Verknüpfung mit den Sinneserlebnissen. Diese Verknüpfungen sind *rein intuitiv* und selbst nicht von logischer Natur. Nur der Grad an Sicherheit, mit der sie vorgenommen werden können »...unterscheidet die leere Phantasterei von der wissenschaftlichen »Wahrheit« (Schilpp & Hartmann, 1979, S. 4). Der Wahrheitsgehalt eines Begriffssystems bemisst

³⁰ Einstein weist allerdings darauf hin, dass eine sichere Unterscheidung zwischen Sinneswahrnehmungen und Vorstellungen nicht möglich ist (ebd., S. 314).

sich an der »... Sicherheit und Vollständigkeit seiner Zuordnungsmöglichkeit zu der Erlebnisgesamtheit.« (ebd., S. 5). Physikalische Begriffssysteme, inklusive ihrer syntaktischen Regeln, sind freie Erfindungen des menschlichen Geistes, die sich in keiner Weise a priori rechtfertigen lassen. Sie sind »... logisch gänzlich willkürlich, aber gebunden durch das Ziel, eine möglichst sichere (intuitive) und vollständige Zuordnung zu der Gesamtheit der Sinneserlebnisse zuzulassen ...« (ebd., S. 5).

Gültigkeit physikalischer Theorien Hinsichtlich der Gültigkeit, Wahl und Bewertung physikalischer Theorien sieht Einstein zwei Gesichtspunkte (ebd., S. 8 f.): der eine ist die »äußere Bewährung«, d. h. eine Theorie darf dem vorliegenden Erfahrungsmaterial nicht widersprechen. Einstein weist allerdings darauf hin, dass es eventuell immer möglich ist an einer theoretischen Grundlage festzuhalten, indem man sie durch künstliche zusätzliche Annahmen ergänzt. Den zweiten Gesichtspunkt bezeichnet er als »innere Vollkommenheit«. Diese betrifft die nicht weiter reduzierbaren Grundbegriffe und Grundgesetze einer Theorie. Diese sollten so einfach und so wenig zahlreich wie möglich sein, ohne dem Bereich der erfassten Erfahrungsinhalte einzuschränken (Einstein, 1934, S. 115)³¹ Von zwei Theorien mit gleich »einfachen« Grundlagen ist diejenige überlegen, die die bestimmteren Aussagen enthält (Schilpp & Hartmann, 1979, S. 8). Ein weiteres Güte Merkmal ist es, wenn keine weiteren gleichwertigen Theorien bekannt sind (ebd., S. 9). Die Setzung einer »realen Außenwelt« mit in ihr existierenden Objekten ist für Einstein nur insoweit berechtigt, als sie die Ordnung der Gesamtheit der Sinneserlebnisse erleichtert. Dass diese durch das Denken überhaupt geordnet werden können, ist eine erstaunliche Tatsache »... über die wir nur staunen, die wir aber niemals werden begreifen können. Man kann sagen: Das ewig Unbegreifliche an der Welt ist ihre Begreiflichkeit.« (Einstein, 1936, S. 315).

Physik und Wirklichkeit Einstein ist der Ansicht, dass die theoretische Physik prinzipiell den Anspruch erheben kann für jedes Naturgeschehen, inklusive der Lebensvorgänge, gültig zu sein. Er ist zuversichtlich, dass die Welt der Wahrnehmungen das theoretische System praktisch eindeutig bestimmt und glaubt an eine »prästabilisierte Harmonie« zwischen Denken und Realität (Einstein, 1934, S. 109). Einstein begründet dies mit seiner Erfahrung, dass die Natur die Realisierung des mathematisch denkbar Einfachsten sei, und daher durch mathematische Konstruktion der Schlüssel zum Verstehen der Naturerscheinungen

³¹ Einstein sieht es allerdings als schwierig an für die Einfachheit ein exaktes Kriterium zu finden. Er sieht hier eher eine Art Abwägung inkommensurabler Qualitäten.

2. Grenzen der Naturwissenschaften

gefunden werden könne (ebd., S. 116 f.).

Naturwissenschaft & Religion Einstein hat seine Ansichten zum Verhältnis von Naturwissenschaft und Religion in zwei Aufsätzen erläutert³². Für ihn sind »... diejenigen Überzeugungen, welche für unser Handeln und Werten maßgeblich und nötig sind.« (Einstein, 1979, S. 39) auf wissenschaftlichem Wege nicht zu gewinnen: die fundamentalen Ziele und Werte sind nicht rational begründbar. Sie treten in unser »... Dasein nicht durch Begründung, sondern durch Offenbarung, durch das Wirken starker Persönlichkeiten.« (ebd. S. 39). Sie existieren in einer »... gesunden Gesellschaft ...« als »... mächtige Traditionen.« (ebd. S. 39). Dennoch sind Wissenschaft und Religion miteinander verbunden: Wissenschaft (oder allgemeiner: Vernunft) gibt der Religion Mittel zur Erreichung ihrer fundamentalen Ziele. Religiöses Fühlen, wie der Glaube an die Begreifbarkeit des Seienden mithilfe der Vernunft, ist für Einstein der Antrieb des Naturforschers: »Wissenschaft ohne Religion ist lahm, Religion ohne Wissenschaft ist blind.« (ebd., S. 43).

2.5.2. Stephen Hawking

Bei Stephen Hawking beziehen wir uns vor allem auf sein kürzlich zusammen mit Leonard Mlodinow veröffentlichtes, populärwissenschaftliches Buch »Der große Entwurf« (Hawking und Mlodinow (2010) , engl. Original: »The Grand Design«). Die beiden Autoren vertreten eine erkenntnistheoretische Position, die sie als »modellabhängigen Realismus« bezeichnen. Für sie ist eine physikalische Theorie ein (meist mathematisches) Modell der Wirklichkeit mit einem Satz von Regeln, die die Elemente des Modells mit Beobachtungen verbinden (ebd., S. 42). Die Frage, ob ein Modell (oder Elemente eines Modells) real ist, wird als sinnlos erachtet. Es ist gültig, sofern es mit den Beobachtungen übereinstimmt. Nach Ansicht von Hawking und Mlodinow entspricht der modellabhängige Realismus grundsätzlich der Art und Weise, wie das menschliche Gehirn sensorische Informationen verarbeitet: »Unsere Wahrnehmungen und damit die Beobachtungen, auf die sich unsere Theorien stützen – ist nicht unmittelbar, sondern wird durch eine Art Linse geprägt, die Deutungsstrukturen unseres Gehirns.« (ebd., S. 45). Das Gehirn erzeugt ein unbewusstes oder bewusstes mentales Modell, um die Welt zu deuten und zu verstehen (ebd., S. 45). Sind zwei verschiedene Modelle mit den Beobachtungen kompatibel, kann von keinem gesagt werden, es sei realer als das andere. Ein Modell kann aber auch als nützlich erachtet werden,

³² Die beiden Aufsätze sind unter dem Titel *Naturwissenschaft und Religion Teil 1 (1939) und Teil 2 (1941)* in dem Sammelband Einstein (1979) abgedruckt.

wenn es die vorhandenen Beobachtungen plausibel deuten kann³³. Es werden vier Kriterien für die Güte eines Modells angegeben: »Es ist gut, wenn es

1. elegant ist
2. nur wenige willkürlich oder solche Elemente enthält, die sich gezielt anpassen lassen
3. mit den vorhandenen Beobachtung übereinstimmt und sie erklärt
4. detaillierte Vorhersagen über zukünftige Beobachtungen macht, wie das Modell widerlegen oder falsifizieren können, wenn sie sich nicht bewahrheiten.« (ebd., S. 50).

Die Autoren weisen darauf hin, dass die Kriterien subjektiv und nicht völlig eindeutig sind. Sie führen auch aus, dass ein Netz verschiedener Modelle nötig sein könnte, um »... jeden Aspekt des Universums ...« (ebd., S. 58) zu erklären. Übereinstimmen müssten die einzelne Modelle des Netzes lediglich dort, wo ihre Geltungsbereiche übereinstimmen.

Hawking und Mlodinow vertreten die Ansicht, dass sich alle beobachtbaren Phänomene prinzipiell physikalisch modellieren lassen. Aus praktischen Gründen könne es dabei notwendig sein phänomenologische Modelle einzuführen. Als Beispiele hierfür geben Sie die Theorie des freien Willens oder die Wirtschaftswissenschaft an. Sie stehen außerdem auf dem Standpunkt, dass die Physik zum Beispiel auch die Frage nach dem Grund der Existenz des Universums oder der Menschen beantworten könne. Die Antwort liege darin, dass eine, durch allgemeine Prinzipien ausgezeichnete physikalische Theorie, die so genannte »M-Theorie«, die Existenz einer Vielzahl von Universen bedinge. Unsere eigene Anwesenheit selektiere aus dieser Vielzahl genau solche, die mit unserer Existenz vereinbar seien (ebd., S. 15). Dies erkläre auch die »Feinabstimmung« der Naturgesetze³⁴.

2.5.3. Herbert Pietschmann

Herbert Pietschmann ist ein österreichischer Physiker und Philosoph. Er vertritt einen philosophischen Standpunkt, den er als »dialektischen Realismus«

³³ Dies wird zum Beispiel am Vergleich der wörtlichen Auslegung der biblischen Schöpfungsgeschichte und der physikalischen Kosmologie diskutiert.

³⁴ Die »M-Theorie« ist eine bestimmte Variante der in der theoretischen Physik diskutierten Stringstheorien. Mit *Feinabstimmung* der Naturgesetze ist gemeint, dass offenbar schon geringe Änderungen der Naturgesetze oder der Naturkonstanten die Bedingungen für das Entstehen von Leben, in der uns bekannten Form, erheblich verschlechtern würde (dass die menschliche Existenz den physikalischen Theorien Einschränkungen auferlegt, wird auch als (starkes) »Anthropisches Prinzip« bezeichnet.).

2. Grenzen der Naturwissenschaften

bezeichnet. Er betrachtet ihn als Synthese aus Realismus und Konstruktivismus (in einem dialektischen Sinne). Ausgangspunkt ist dabei die Unterscheidung von *Realität* und *Wirklichkeit*: Die Realität ist für Pietschmann das »Vorhandene«, welches vom Menschen nicht erkannt werden kann. Die Wirklichkeit ist dagegen unser Bild von der Welt, eine Konstruktion unseres Verstandes, auf der unsere Einschätzungen und Handlungen beruhen³⁵.

Es kann verschiedene Wirklichkeiten geben. Die naturwissenschaftliche Wirklichkeit betrifft den reproduzierbar-quantitativen Teil der Lebenswelt³⁶. Die Wirklichkeit entsteht durch Intuition und gedankliche Konstruktion. Sie kann nicht als Abbildung der Realität oder als Annäherung an sie verstanden werden. Sie ist aber nicht völlig willkürlich, sondern über in ihr erdachte Experimente mit der Lebenswelt verbunden. Mit der konstruierten Wirklichkeit verglichen werden, können allerdings nur die mit Experimenten verbundenen Handlungsketten - da Taten und Gedanken niemals direkt verglichen werden, ist eine »sichere Erkenntnis« der Realität nicht möglich. Die »dialektische Verbindung« von Denken und Handeln (von Theorie und Experiment) ist für Pietschmann das Geheimnis des Erfolges der naturwissenschaftlichen Methodik (ebd., S. 267). Insofern Naturgesetze »... das Ergebnis von Handlungsketten in der Lebenswelt unzweifelhaft sicher und unveränderlich vorauszusagen erlauben, wurzeln sie in der Realität.« (ebd. S. 277).

Auch wenn physikalische Theorien nichts über die »wahre Natur« der Realität aussagen können, sind sie doch mit ihr über invariante Voraussagen von Handlungsketten verbunden. »Invariant« heißt dabei unabhängig von einem Paradigmenwechsel (im Sinne Thomas Kuhns) (ebd., S. 279). Für Pietschmann besteht eine grundsätzliche Grenze der Naturwissenschaft in der Beschränkungen auf die Gesetze der Logik und das Reproduzierbar-Quantitative (die »naturwissenschaftliche Wirklichkeit«). Wesentlich Einmaliges, »Ganzheitliches« oder Zielgerichtetes wird davon nicht erfasst (ebd., S. 279; siehe auch (Pietschmann, 1978) und Abschn. 2.6).

2.5.4. Erwin Schrödinger

Schrödingers Ansichten unterscheiden sich recht drastisch von denen seiner drei Fachkollegen. Sie machen deutlich, wie unterschiedlich Auffassungen vom Wesen der Realität sein können, ohne im Widerspruch zur Naturwissenschaft

³⁵ Dies entspricht weitgehend der Kantschen Unterscheidung von »den Dingen an sich« und den »Erscheinungen«. Pietschmann beruft sich auch in dieser Hinsicht explizit auf Kant (Pietschmann, 2007, Kap. 8.3.1).

³⁶ Die »Lebenswelt« ist für Pietschmann die Welt des Handelns.

zu stehen³⁷. In (Dürr, 1986, S. 184 - 189) macht Schrödinger einen möglichen Dualismus von Geist und Materie zum Ausgangspunkt seiner Überlegungen. Eine mögliche Wechselwirkung zwischen diesen beiden erscheint ihm nicht plausibel, da eine Einwirkung des Geistes auf die Materie die Eigengesetzlichkeit des materiellen Geschehens stören würde (die Naturgesetze wären nicht uneingeschränkt gültig), während die Umsetzung des materiellen Geschehens in Gefühle oder Gedanken erst recht völlig unverständlich sei (ebd., S. 184). Der Annahme einer Wechselwirkung zwischen Geist und Materie haften daher etwas »magisch-Geisterhaftes« an (ebd., S. 185). Da das Psychische aber offensichtlich existiere (»cogitat - est«), sei die Annahme einer rein geistigen Realität die Einfachste und Naheliegendste. Die Vorstellung einer parallel existierenden, materiellen Außenwelt sei eine überflüssige Verdopplung, die gegen »Occams Rasierklinge« verstoße (ebd., S. 186). Für Schrödinger sind die Ergebnisse der Relativitäts- und vor allem der statistischen Mechanik Hinweise darauf, dass der Geist ewig existiert und weder erzeugt noch vernichtet werden kann: Zum einen habe die spezielle Relativitätstheorie gezeigt, dass das »starre Gesetz« von »vorher und nachher« nicht mehr gelte³⁸ (ebd., S. 180). Zum anderen weist Schrödinger auf Boltzmanns statistische Erklärung des zeitlichen Richtungsinns der Naturvorgänge hin. Sie erlaube es, die Existenz einer Zeitrichtung bei zeitsymmetrischen Grundgesetzen zu verstehen. In beidem sieht Schrödinger eine »Befreiung von der Tyrannei von Vater Chronos« (ebd., S. 183). Schrödinger begründet schließlich seine Auffassung, dass es nur einen, ewigen Geist gebe. Er fragt, welchen klar fassbaren naturwissenschaftlichen Sinn die Unterscheidung verschiedener Menschen zu verschiedenen Zeiten haben sollte, wo doch »objektiv dasselbe« vorliege (ebd., S. 191). Die Lösung ist für ihn die vedantische Grundansicht³⁹. Das Leben jedes einzelnen sei »... nicht ein Stück nur des Weltgeschehens, sondern in einem bestimmten Sinn das *ganze*. Nur ist dieses Ganze so beschaffen, dass es sich nicht mit *einem* Blick überschauen lässt.« (ebd., S. 191).

Es ist bemerkenswert, dass alle vier Wissenschaftler - obwohl ihre Auffassungen doch sehr verschieden sind - starke Indizien in der Physik für ihre jeweilige philosophische Überzeugung sehen.

37 Wir beziehen uns im Folgenden auf mehrere in dem Sammelband (Dürr, 1986) abgedruckte Aufsätze.

38 Da die zeitliche Ordnung raumartiger Ereignisse vom Bezugssystem abhängt.

39 Die Vedānta ist eine populäre Schule der hinduistischen Philosophie.

2.6. Verschiedene Grenzen

2.6.1. Methodologische Grenzen

Möchte man über die Grenzen naturwissenschaftlicher Erkenntnis sprechen, so stellt sich zunächst die Frage, was denn überhaupt Erkenntnis sein könnte. Für Leinfellner (1980) umfasst der Begriff der Erkenntnis »... das Alltagserkennen, die ästhetische und die wertende Erkenntnis der Welt und die wissenschaftliche Erkenntnis.« (ebd., S. 11). Diese Erkenntnisarten zeichnen sich für ihn durch ein gemeinsames Merkmal aus, nämlich, dass das »Objektgebiet«, das erkannt werden soll, in einer zusammenhängenden symbolischen Form repräsentiert wird (ebd., S. 11). Erfahrungen oder Intuitionen, bei denen dies nicht der Fall ist, gelten in diesem Sinne nicht als Erkenntnis (s. a. Janich, 1992, S. 229 f.)⁴⁰.

Schon diese Explikation des Erkenntnisbegriffes lässt sich auch als eine Grenze auffassen: alle Elemente der Welt, die keine Form der symbolischen Repräsentation erlauben, sind nicht durch die oben genannten Erkenntnisformen - und insbesondere nicht durch die wissenschaftliche - erfassbar. Über die Existenz solcher Elemente lässt sich allerdings - per definitionem - nichts sagen. In jedem Fall bedingt die symbolische Repräsentation eine spezifische Verknüpfung des Wissens mit der Welt: denn die Struktur der Realität bestimmt die Möglichkeiten der Repräsentation; umgekehrt legt die Art der Repräsentation den erfassbaren Teil der Welt fest; H.-P. Dürr formuliert es so: »Die Struktur der eigentlichen Wirklichkeit hat also wesentlichen Einfluss auf die Wahl der Paradigmen und den Schemata, mit denen wir sie zu erfassen und zu beschreiben versuchen.« (Dürr, 1990, S. 35). Die verschiedenen Arten der Erkenntnis unterscheiden sich sowohl in der Darstellungsform als auch in den Bedingungen, die im Allgemeinen an sie geknüpft werden: das Alltagswissen ist häufig individuell und nicht logisch konsistent. Es ist pragmatischer Natur und dient der Orientierung im täglichen Leben. Mathematisches Wissen demgegenüber

⁴⁰ Die Auffassung, dass Erkenntnis sprachlich ausdrückbar sein muss, prägt die gesamte abendländische Philosophie. Bei Platon heißt es: »Wenn nun jemand ohne Erklärung eine richtige Vorstellung von etwas empfinde; so sei zwar seine Seele darüber im Besitz der Wahrheit; sie erkenne aber nicht. Denn wer nicht Rede stehen und Erklärung geben könne, der sei ohne Erkenntnis über diesen Gegenstand« (Theaitetos (202 b-c), zitiert nach Leinfellner (1980, S. 13). Die wohl prägnanteste der Formulierung gibt Wittgenstein mit dem berühmten Schlusssatz seines »Traktatus logico-philosophicus«: »Worüber man nicht sprechen kann, darüber muss man schweigen.« (Wittgenstein, 1982, S. 112). Die östliche Philosophie ist demgegenüber weit skeptischer in der Beurteilung der Erkenntnismöglichkeiten von Sprache und Logik. So heißt es zum Beispiel bei Tschuangtse: »Die Logiker verbringen ihr Leben damit, solche Dinge mit Hui-Shih zu besprechen. Diese Logiker, ..., unterhalten die Menschen und beeinflussen ihr Denken. Sie können andere durch ihre Gegenstände zwar widerlegen, können aber ihre Herzen nicht überzeugen, da sie eigentlich nur mit Worten spielen.« (Lin Yutang: Die Weisheit des Laotse, Fischer TB, Frankfurt/Main (1955), S. 36, zitiert nach (Pietschmann, 2007, S. 127).

besitzt höchste Ansprüche an die logisch formale Richtigkeit und intersubjektive Überprüfbarkeit, aber keine unmittelbare Verbindung mit der sinnlichen Erfahrung. Ästhetische Erkenntnis kann völlig subjektiv sein und in nichtsprachlicher Form vorliegen. In den Erfahrungswissenschaften ist die Erkenntnis vor allem an zwei Arten von Kriterien geknüpft: Ihre Theorien müssen sowohl an der Erfahrung qualitativ oder quantitativ bestätigt werden (operatives Kriterium), als auch bestimmten sprachlich formalen Bedingungen genügen (operationale Kriterien) (Leinfellner, 1980, S. 13). Wie diese Kriterien im einzelnen beschaffen sind und angewandt werden, hängt von den bestehenden Standards innerhalb der jeweiligen »scientific community« ab. Folgt man Poppers methodologischer Charakterisierung der Naturwissenschaft lassen sich diese beiden Kriterien für die Naturwissenschaft etwa wie folgt formulieren (Popper, 2005, Kap. 1, 3) :

Operationales Kriterium: naturwissenschaftliche Erkenntnisse werden durch Systeme von Begriffen, Sätzen und syntaktisch-logischen Regeln repräsentiert. Mithilfe dieser Regeln lassen sich empirisch prüfbare Aussagen ableiten. Das gesamte System sollte logisch widerspruchsfrei und jedes seiner Sätze intersubjektiv prüfbar sein.

Operatives Kriterium: empirisch prüfbare Aussagen sind Behauptungen über experimentelle Beobachtungen, die sich prinzipiell von jedem Menschen überall und zu jeder Zeit reproduzieren lassen sollten, sofern die gleiche experimentelle Situation vorliegt.

Wie erwähnt, haben Kuhn und andere darauf hingewiesen, dass solche Kriterien für die tatsächliche Praxis der Naturwissenschaft nur eingeschränkte Bedeutung haben. Wir wählen sie aber zunächst als normative methodologische Setzungen und erörtern die resultierenden Konsequenzen für die Grenzen der Naturwissenschaften. Anschließend diskutieren wir Einschränkungen dieser Kriterien die sich aus theoretischen und praktischen Gründen ergeben könnten.

Die Grenzen, die sich aus den oben formulierten operationalen und operativen Bedingungen ergeben, werden im folgenden als *methodologische* Grenzen bezeichnet⁴¹. Zunächst ist es eine logische Feststellung, dass alle Elemente der Realität, die sich nicht durch obigen Kriterien genügenden Theoriesystemen beschreiben lassen, nicht Gegenstand naturwissenschaftlicher Erkenntnis sein können⁴². Aber welche Elemente könnten dies sein? Pietschmann versucht dies

⁴¹ Pietschmann (1978) formuliert drei Arten von Grenzen der Naturwissenschaften: technologische, methodologische und ontologische Grenzen. Die hier als methodologisch bezeichneten Grenzen entsprechen weitgehend seinen ontologischen Grenzen.

⁴² Eine Schwierigkeit der Erörterung solcher methodologischer Grenzen ist es, dass diese Erörterung selbst sprachlich-rationaler Natur ist. Die stellt gewissermaßen eine Grenze der Diskussion dieser Grenze dar.

2. Grenzen der Naturwissenschaften

durch Paare komplementärer Begriffe deutlich zu machen:

Reproduzierbares	Wesentlich Einmaliges
Quantifizierbares	Qualitäten
Analysierbares	Ganzheitliches
Eindeutiges	Offenes, »Buntes«
Widerspruchsfreies	Lebendiges
Kausal Begründbares	Zielgerichtetes, Vernetztes

(Pietschmann, 2007, S. 119). Die linke Seite soll dabei das naturwissenschaftlich Erfassbare beschreiben, die rechte Seite das durch die Forderung der logischen Widerspruchsfreiheit und empirischen Prüfbarkeit Ausgeschlossene. Für Pietschmann charakterisieren dabei die beiden Seiten nicht voneinander getrennte Bereiche der Realität, sondern sie stellen für ihn eher verschiedene Aspekte derselben dar. Die Vorstellung, dass die Naturwissenschaft lediglich einen bestimmten Aspekt der Realität erfasst, wird gelegentlich als »Projektionscharakter« der »physikalischen Wirklichkeit« bezeichnet (vgl. z. B. Dürr, 1990, S. 26 ff.). Dürr erläutert dies an einer ursprünglich von Arthur Eddington stammenden Parabel, in der der Naturwissenschaftler mit einem Ichthyologen (einem Fischforscher) verglichen wird (ebd., S. 29 f.): für den Ichthyologen sind nur solche Fische von Interesse und untersuchbar, die er mit seinen Netzen fangen kann. Seine Netze legen fest, was als Fisch gilt und damit Gegenstand seiner Wissenschaft ist. Es könnte aber Fische geben, die sich mit keinem seiner Netze fangen lassen (zum Beispiel, weil sie zu klein sind). Sie wären Teil der gesamten Wirklichkeit, sind aber für den Ichthyologen nicht erfassbar⁴³. In dieser Parabel entspricht der Fischforscher dem Naturwissenschaftler und seine Netze den Methoden der Naturwissenschaft. Diese bilden die Wirklichkeit in einer spezifischen Weise ab. Es gibt aber auch subjektive Erfahrungen der Wirklichkeit, beispielsweise auf religiösem oder künstlerischem Gebiet, die den Auswahlkriterien der Naturwissenschaft nicht genügen. Diese »... können deshalb weder mit der Naturwissenschaft konfrontiert werden noch mit dieser in Widerspruch geraten - sie beziehen sich, in unserer Parabel, auf Fische die man nicht fangen kann.« (ebd., S. 32). Die methodologischen Grenzen lassen sich erkenntnistheoretisch in verschiedener Hinsicht charakterisieren. Neben der ontologischen Perspektive (»Welche Elemente einer vorgestellten Gesamtwirklichkeit kann die Naturwissenschaft erfassen?«) lassen sie sich auch epistemologisch betrachten, also hinsichtlich der Arten des Wissens, die sie beschränken (»Welche Fragen kann die Naturwissenschaft beantworten?«). Ausgehend von den oben formulier-

⁴³ Eddingtons Parabel, und Dürrs Diskussion derselben, sind hier nur sehr verkürzt wiedergegeben.

ten operationalen und operativen Kriterien lassen sich verschiedene ontologische und epistemologische Grenzen diskutieren:

Ontologische Grenzen

1. *Phänomene der sinnliche erfahrbaren Welt, die nicht reproduzierbar sind, werden von den Naturwissenschaften nicht erfasst.* (vgl. z. B. Popper (2005, S. 228), Janich (1992, S. 233)). Dies folgt aus dem operativen Kriterium. Die Formulierung erfordert einige Erläuterungen: Unter einem »Phänomen der sinnlich erfahrbaren Welt« seien hier Sinneserfahrungen oder Beobachtungen einer bestimmten Situation gemeint. Bei Annahme einer unabhängig vom Beobachter existierenden »Außenwelt« bezieht sich das Wort Phänomen auf ein Element dieser Außenwelt. »Nicht reproduzierbar« heißt, dass andere Menschen diese Sinneserfahrung in der gleichen oder einer ähnlichen Situation nicht in jedem Falle nachvollziehen können. »Nicht erfasst« heißt zunächst einmal, dass Berichte derartiger Erfahrungen oder Beobachtungen von den Naturwissenschaften außer Acht gelassen werden (sofern sie sich eben nicht bestätigen lassen). Man denke dabei zum Beispiel an Berichte über »Wunder«, also Geschehnisse, die offensichtlich nicht im Einklang mit wohl bestätigten Naturgesetzen stehen, »PSI-Phänomene« wie Telekinese oder Telepathie, aber auch an naturwissenschaftliche Experimente, wie die »kalte Fusion«, deren Ergebnisse (zumindest bislang) von anderen Forschern nicht reproduziert werden konnten. Die Interpretation derartiger Phänomene kann unterschiedlich sein: eine Möglichkeit ist, ihre Existenz anzuzweifeln, etwa weil der über sie Berichtende lügt, sich getäuscht hat, einen experimentellen Fehler begangen hat, oder einer »Halluzination« erlegen ist. Nimmt man dagegen an, dass die Beobachtung tatsächlich so stattgefunden hat, wie sie beschrieben wurde, sind verschiedene Möglichkeiten denkbar: es könnte sich um ein Phänomen handeln, das prinzipiell naturwissenschaftlich erklärbar ist und reproduzierbar ist. Die Wiederholung könnte bislang misslungen sein, weil nicht alle relevanten Anfangs- und Randbedingungen, die zur Beobachtung eingehalten werden müssten, bekannt sind. Wären diese Bedingungen bekannt, könnte das Phänomen reproduzierbar und mit den bestehenden oder gegebenenfalls neuen naturwissenschaftlichen Theorien erklärbar sein. Eine zweite Möglichkeit ist, dass das Phänomen naturwissenschaftlich erklärbar, aber nicht reproduzierbar ist, da es sich um ein einmaliges »historisches« Ereignis handelt, z. B. ein Erdbeben oder eine Supernova in einer fernen Galaxis. Drittens könnte es sein, dass das Phänomen naturwissenschaftlich nicht erklärbar ist, d.h. es steht im Widerspruch zu dem bekannten Naturgesetzen, aber auch »singulär«, in der Weise, dass es keine weiteren reproduzierbaren

2. Grenzen der Naturwissenschaften

Hinweise auf ähnliche Verletzungen der bestehenden naturwissenschaftlichen Theorien gibt⁴⁴. Für Popper ist ein Streit darüber, ob es derartige Phänomene gibt, innerhalb der Wissenschaft nicht entscheidbar: »... er ist ›metaphysisch.« (Popper, 2005, S. 23).

2.) *Der subjektive Erlebnisgehalt mentaler Zustände, wie Gedanken, Empfindungen, geistige Bilder etc. ist naturwissenschaftlich nicht erfassbar.*⁴⁵ Zugunsten dieser Position wurden in der Philosophie verschiedene Argumente vorgebracht, allerdings ist sie keineswegs unumstritten (vgl. z. B. Beckermann, 2008, Kap. 13). Der Philosoph Thomas Nagel hat das Problem anhand der Frage »Wie ist es eine Fledermaus zu sein?« (»What is it to be a bat?«) erläutert (Nagel, 1974): die Fledermaus lässt sich naturwissenschaftlich in vielerlei Hinsicht untersuchen, zum Beispiel neurowissenschaftlich oder verhaltensbiologisch. Auch ihre Fähigkeit zur räumlichen Orientierung mittels Echoortung konnte ermittelt werden. Die Frage aber, wie die Fledermaus auf sie einwirkende Sinnesreize (zum Beispiel die von ihr bei der Echoortung genutzten Ultraschallwellen) subjektiv erlebt oder wahrnimmt, scheint nicht beantwortbar. Es ist völlig unklar, wie ein solches Erleben - sofern es existiert - naturwissenschaftlich beschrieben werden könnte. Insbesondere ist nicht ersichtlich, wie eine derartige Beschreibung zu intersubjektiv prüfaren, empirischen Aussagen führen könnte. Das Problem besteht in ähnlicher Weise für das menschliche Erleben mentaler Zustände. Wohl wissen wir, wie sich »etwas« für uns selbst »anfühlt«, wir haben jedoch keinen vergleichbaren Zugang zu den Empfindungen anderer Menschen. Intersubjektiv prüfbar - zumindest prinzipiell - scheint lediglich ihr beobachtbares Verhalten, inklusive ihrer sprachlichen Äußerungen. Nichtsdestotrotz interpretieren wir dieses im Alltag ununterbrochen und versuchen auf das geistige Erleben unserer Mitmenschen zu schließen⁴⁶. Implizit nehmen wir dabei an, dass das subjektive Erleben anderer Menschen eine ähnliche Beschaffenheit aufweist wie unser eigenes. Die Frage, ob diese Annahme zumindest prinzipiell naturwissenschaftlich untersuchbar ist, hängt eng damit zusammen, welchen ontologischen Status man den subjektiven Erlebnisinhalten zubilligt und wie ihre Gleichheit oder

44 Im Kontext der Religion kann für den »Gläubigen« ein derartiges Außerkräfttreten der Naturgesetze als Wunder gerade göttliches Handeln offenbaren. Der »Ungläubige« wird die Erzählung des Ereignisses als frei erfunden, nicht erklärbar oder als Ergebnis einer Täuschung erklären.

45 Das Verständnis des subjektiven Erlebens gilt als eines der grundlegenden Probleme der Philosophie des Geistes. Die subjektive Wahrnehmung mentaler Zustände wird dort häufig unter dem Begriff *Qualia* diskutiert (vgl. Tye, 2013).

46 Im Grundsatz genauso, wenn auch systematischer, geht die Psychologie als empirische Wissenschaft vor. So werden etwa in der Wahrnehmungspsychologie die physikalischen Eigenschaften von Sinnesreizen (z. B. Farbreizen) mit den Aussagen von Probanden über ihre Sinnesempfindungen verknüpft. Im Falle der Farbwahrnehmung kann auf der Grundlage dieser Korrelationen die Menge der Farbestimulierung sogar mathematisch modelliert werden (als dreidimensionaler Vektorraum). Dieses Modell kann wiederum in Beziehung gesetzt werden zu physiologischen Merkmalen des Farbensehens (vgl. z. B. Feynman, Leighton und Sands (1997, Kap. 35, 36)).

Ähnlichkeit definiert werden könnte. Für einen Vertreter des Physikalismus, der lediglich physikalische Entitäten als real ansieht, stellen mentale Zustände lediglich spezielle physikalische Zustände dar (vgl. z. B. Papineau, 1998). Von diesem Standpunkt aus betrachtet, wären die subjektiven Erlebnisgehalte verschiedener Personen im Prinzip vergleichbar. Wenn die mit den Erlebnisgehalten verbundenen physikalischen Zustände des Gehirns gleiche oder ähnliche Eigenschaften aufweisen, wären auch die Erlebnisgehalte als gleich oder ähnlich anzusehen. Demgegenüber stehen dualistische Positionen, die Bewusstseinsinhalten eine eigenständige nicht-physische Existenz zuschreiben. In diesem Fall hängt die naturwissenschaftliche Vergleichbarkeit subjektiver Erlebnisgehalte davon ab, in welcher Beziehung diese zu den physikalischen Zuständen stehen (siehe Beckermann, 2008; Tye, 2013). Wie diese Beziehung aussieht, ist aber naturwissenschaftlich nicht untersuchbar und eine metaphysische Frage.

3.) *Es könnte Elemente der Welt geben, die nicht-physisch sind und unabhängig vom menschlichen Bewusstsein existieren.* Der philosophische Standpunkt, dass derartige Elemente existieren wird auch als *Platonismus* bezeichnet (vgl. Balaguer, 2014). Vertreter dieser Position sehen vor allem mathematische Objekte wie Zahlen, Mengen oder auch von Sprache abstrahierte Inhalte von Sätzen (»Propositionen«) als derartige Elemente an. Sowohl über ihre Existenz als auch ihre Beschaffenheit lässt sich naturwissenschaftlich nichts aussagen. Es handelt sich um metaphysische Auffassungen, die keine empirisch prüfbareren Konsequenzen besitzen.

Epistemologische Grenzen

Die Gültigkeit von Satzsystemen, die keine empirisch prüfbareren Konsequenzen haben lässt sich naturwissenschaftlich nicht beurteilen. Dies ist eine Folge des operativen Kriteriums, dass für Popper gerade die naturwissenschaftlichen von metaphysischen Theorien abgrenzt. Metaphysische Aussagen können zu den naturwissenschaftlichen Theorien hinzugenommen werden, ohne deren empirischen Gehalt zu verändern. Ein Beispiel sind die oben betrachteten ontologischen Aussagen. Weitere Beispiele sind teleologische Aussagen, Normen und Werte die im Folgenden diskutiert werden sollen.

Teleologische Aussagen Teleologische Aussagen sind solche über Sinn, Ziele und Zwecke, zum Beispiel Antworten auf Fragen wie »Was ist der Sinn des Lebens« oder »Wozu existiert das Universum?«. Derartige Aussagen sind »... Erklärungen auf Wozu-Fragen, die mit der Angabe eines Zieles oder Zweckes

2. Grenzen der Naturwissenschaften

antworten...« (Rehfus, 2003, S. 641). Sie wurden in der antiken Philosophie vor allem zur Erklärung einzelner Naturprozesse herangezogen und in der scholastischen Philosophie des Mittelalters zu einer universellen kosmologischen Teleologie erweitert. Dabei wird der Natur oder einem »höheren Wesen« (das die Natur hervorbringen oder beeinflussen kann) ein Wille und Ziele zugeschrieben, in ähnlicher Weise, wie es im Alltag bei der Interpretation menschlicher Handlungen verbreitet ist (ebd., S. 692). Technischer Apparate, etwa eine Uhr, sind zum Beispiel Naturobjekte, denen von ihren »Erschaffern« Zwecke zugeschrieben werden (im Falle der Uhr etwa der Zweck die Zeit zu messen). Oft sind diese Zwecke auch für andere Menschen erkennbar. Im Falle der gesamten Natur könnte etwa ein göttlicher Schöpfer ihr einen Zweck »eingepägt« haben oder sie besitzt ihn »von allein«. Insofern ein Mensch einem Objekt einen Zweck zuschreiben kann - oder auch nicht -, handelt es sich um keine intersubjektiv prüfbare Eigenschaft desselben. Zwecke sind daher mit naturwissenschaftlichen Mitteln nicht »erkennbar«. Für Kant sind sie keine Grundbegriffe der Naturerkenntnis, aber geeignet, sich die Existenz von Organismen, insbesondere sich Zwecke setzender Menschen, plausibel zu machen (ebd., S. 692). Obwohl Zwecke subjektive Zuschreibungen sind, kann es möglich sein, intersubjektiv zu prüfen, ob ein Objekt einen *gegebenen* Zweck erfüllt. Beispielsweise, ob ein bestimmter Apparat die Zeit messen *kann*. Auch lassen sich aus der Annahme, dass ein Objekt einen Zweck hat, möglicherweise Vorhersagen über seine Eigenschaften gewinnen, zum Beispiel, dass es mit einem periodischen Vorgang verbunden ist, wenn es die Zeit messen soll. Oder, falls man dem Universum den Zweck zuschreibt, intelligentes Leben hervorzubringen, ergeben sich daraus unter Umständen Einschränkungen der möglichen Naturgesetze und -konstanten, die notwendig sind, um diesen Zweck zu erreichen⁴⁷.

Der wissenschaftstheoretische Status solcher Zweck-Aussagen im Vergleich zu den Aussagen naturwissenschaftlicher Theorien ist a priori nicht völlig klar⁴⁸. Ein wesentlicher Aspekt ist, ob der behauptete Zweck empirische Implikationen besitzt oder nicht. In jedem Fall lässt sich aber sagen, dass niemals die Existenz

⁴⁷ Eine solche Zwecksetzung steht in enger Beziehung zum so genannten »starken anthropischen Prinzip«: »Eine Welt muss in ihren Gesetzen und Anfangsbedingungen (in ihren nomologischen und kontingenten Strukturen) so beschaffen sein, dass Sie zu irgendeinem Zeitpunkt ihrer Lebensdauer einen Beobachter hervorbringt.« (Kanitscheider, 1984, S. 275 (im Original kursiv)). In jüngerer Zeit wurden in der Physik verschiedene Varianten des anthropischen Prinzips vor allem im Zusammenhang mit der Frage der »Feinabstimmung« und dem Landscape-Problem der Stringtheorie diskutiert (vgl. Smolin, 2013). Inwiefern es als naturwissenschaftliches Prinzip mit empirisch prüfbaren Konsequenzen angesehen werden sollte, oder nur als »Ausweichstrategie« (Kanitscheider, 1984, S. 276) in Ermangelung besserer Erklärungen gelten kann, ist umstritten.

⁴⁸ Der Philosoph Thomas Nagel vermutet, dass sowohl zu Erklärung der Evolution von Leben im Universum als auch für das Verständnis des Bewusstseins teleologische Erklärungen Eingang in die Naturwissenschaft finden müssen (Nagel, 2012). Seine Thesen wurden allerdings z. T. heftig kritisiert.

eines Zweckes, sondern höchstens seine Erfüllbarkeit naturwissenschaftlich geprüft werden kann⁴⁹.

Normative Aussagen Ethischen Normen sind Regeln menschlichen Handelns. Sie treten als Vorschriften (Gebote und Verbote) oder auch als Zielsetzungen (Aufforderungen) auf (Rehfus, 2003, S. 499). Mit der Begründung und Formulierung der grundlegenden Normen befassen sich traditionell die Religion und die Philosophie. Man denke etwa an die zehn Gebote der jüdisch-christlichen Tradition oder den kategorischen Imperativ Immanuel Kants. In der Philosophie wurde und wird die Frage der Begründbarkeit und Quelle ethischer Normen kontrovers diskutiert. Als Instanzen, auf denen sich Normen gründen lassen, wurden unter anderem »Gott, die Natur bzw. die natürliche Ordnung, die Vernunft, der Wille, die gesellschaftliche Mehrheit, die Interessen der Herrschenden, eine unverrückbare ontologische Ordnung, die im gleichberechtigten Diskurs erzielten Entscheidungen oder ein ideales Maß der Vollkommenheit angenommen.« (ebd., S. 499)⁵⁰. Hier geht es um die Frage, was die Naturwissenschaft zur Begründung und Rechtfertigung ethischer Normen beitragen kann. Die allgemeine Auffassung, dass sich moralisch-ethische Prinzipien aus der Natur »ableiten« lassen, wird in der Philosophie als meta-ethischer Naturalismus (engl. moral naturalism) bezeichnet (vgl. Lenman, 2013)⁵¹. Für Vertreter dieser Richtung müssen moralische Urteile als Urteile »... über das Vorliegen natürlicher Tatsachen oder strukturell identisch mit solchen Urteilen verstanden werden.« (Düwell et al., 2011, S.13)⁵². Dagegen wurde bereits von David Hume eingewandt, dass ein logischer Schluss vom Sein auf das Sollen unmöglich sei (Hume (1792, Kap. 1); vgl. auch Russell (2010)). Hume bezieht sich dabei auf die präskriptive Funktion ethischer Normen, die nicht beschreiben »was ist«, sondern »was sein soll« (Düwell et al., 2011, S. 2 f.). Die Diskussion wird dadurch

⁴⁹ Ähnlich wie naturwissenschaftliche Theorien höchstens geprüft, aber nicht »bewiesen« werden können.

⁵⁰ Für Einstein sind die fundamentalen Werte und Normen gar nicht nicht begründbar, sondern treten in unser »... Dasein nicht durch Begründung, sondern durch Offenbarung, durch das Wirken starker Persönlichkeiten.« (s. o. Einstein, 1979, S. 39).

⁵¹ In der Ethik unterscheidet man zwischen normativer, deskriptiver und Metaethik. Die normative Ethik befasst sich mit der »... Generierung, Überprüfung und Begründung ...« von Moral, die deskriptive Ethik mit der »... empirischen Erfassung und Beschreibung der vorfindlichen Moral ...« und die Metaethik mit »... den allgemeinen logischen, semantischen und pragmatischen Strukturen moralischen - und ethischen - Sprechens und Argumentierens ...« (Düwell, Hübenal & Werner, 2011, S. 2 f.).

⁵² Der Naturalismus gilt in der Ethik als eine Variante des *Kognitivismus*, dessen Vertreter davon ausgehen, dass moralische Urteile »wahr« oder »falsch« sein können. Der Naturalismus nimmt außerdem an, dass moralische Tatsachen objektiv existieren, er vertritt also in ontologischer Hinsicht eine realistische Position. Diese Auffassung wird auch vom *Intuitionismus* geteilt. Dieser nimmt an, dass moralische Grundwahrheiten intuitiv erkennbar und nicht empirisch überprüfbar auffindbar sind. Der *Konstruktivismus* demgegenüber, sieht moralische »Tatsachen« durch die kognitiven, pragmatischen, sozialen und sprachlichen Strukturen geprägt (ebd., S. 13 f.).

2. Grenzen der Naturwissenschaften

erschwert, dass grundlegende Begriffe wie Normen oder Ziele in verschiedener Weise verwendet werden können. Beispielsweise kann ein Ziel eine Tatsache kennzeichnen (man stellt fest, dass jemand ein Ziel *hat*) oder es kann eine Aufforderung bedeuten (jemand *soll* ein Ziel verfolgen). Ziele im Sinn von Aufforderungen sind präskriptiv (Gegenstand der normativen Ethik), Ziele im Sinne von Feststellungen sind deskriptiv (Gegenstand der deskriptiven Ethik). Man könnte einwenden, dass die (präskriptive) Setzung ethischer Normen nur sinnvoll erscheint, wenn die Menschen, an die sie adressiert sind, ein gewisses Maß an Autonomie besitzen. Welche Bedeutung hat eine Norm, wenn der Mensch keine Wahl hat sich für oder gegen sie zu entscheiden?⁵³ In der Tat wird von Vertretern einer naturalistischen Position häufig angeführt, dass die Ergebnisse der Naturwissenschaft zeigten, dass solch eine Wahlfreiheit nicht existiere. In der »evolutionären Ethik« beispielsweise, wird versucht Moral durch evolutionären Mechanismen zu erklären und zu begründen (vgl. Düwell et al., 2011, S. 347 ff.). Nach dieser Auffassung ist das moralische Handeln des Menschen weitgehend durch seine (evolutionär entstandene) genetische Ausstattung und sozio-kulturelle Umgebung determiniert. Ernst Voland - ein Verfechter dieser Theorie - formuliert das so: »Moralische Autonomie ist illusionär, bleibt philosophische Fiktion [...] Moral ist die Exekution evolutionärer Programme unter den jeweils vorgefundenen sozio-ökologisch begrenzten Handlungsspielräumen.« (Voland, 2004, S. 149). Für ihn ist das »... 'Sollen' im Grunde ein 'Wollen' ...«, wodurch »... die ontologische Unterscheidung von Sein und Sollen eingegebenet« werde (ebd., S. 150). Damit sei auch die Legitimation und Begründung ethischer Normen hinfällig, da eine Trennung von Normen und Fakten nicht mehr konsequent aufrecht zu erhalten sei.

Die Auffassung, dass die Ethik vor allem auf die Naturwissenschaft zu gründen sei, wird auch von einer Gruppe von Philosophen und Naturwissenschaftlern vertreten, die häufig als »Neue Atheisten« bezeichnet werden (vgl. z. B. Taylor, 2010). Zu dieser Gruppe werden unter anderem Sam Harris, Richard Dawkins und Daniel Dennet gezählt. Diese Autoren sind einer breiteren Öffentlichkeit durch einige populärwissenschaftliche Bestseller bekannt, die mit ihrer pointierten, aber auch oft als polemisch empfundenen Darstellung, eine beträchtliche öffentliche Resonanz gefunden haben. So wird z. B. die Vorstellung getrennter Zuständigkeitsbereiche von Religion und Naturwissenschaft - für die Stephen Jay Gould das Akronym NOMA (NonOverlapping MAGisteria) geprägt hat -

⁵³ Diese Entscheidungsfreiheit ist eng verbunden mit dem philosophischen Konzept des »freien Willens«. In der Rechtsprechung, die ja auf der Grundlage normativer Vorschriften erfolgt, hat das angenommene Maß an Entscheidungsfreiheit eine große Bedeutung für die Frage der Schuldzuschreibung.

von ihnen dezidiert abgelehnt (vgl. z. B. Harris, 2011, 2013)⁵⁴. Für Harris bspw. sind »... ethische Fragen - nach dem Sinn, der Moral und der Bestimmung menschlichen Lebens - in Wirklichkeit Fragen nach dem Wohlergehen bewusstseinsfähiger Geschöpfe.« (Harris, 2013). Die Bedingungen für dieses Wohlergehen (»well-being«) seien naturwissenschaftlich erforschbar, so dass ethische Fragen auf wissenschaftlicher Basis traditionsunabhängig und kulturübergreifend beantwortbar würden. In diesem »objektiven Charakter« einer wissenschaftlichen Ethik sieht Harris einen wesentlichen Vorteil gegenüber der Religion, aber auch gegenüber Tendenzen eines moralischen Relativismus in der modernen Philosophie (ebd.). Diese Ansicht wurde in verschiedener Hinsicht kritisiert. Insbesondere wurde darauf hingewiesen, dass das Ziel des Wohlergehens selbst eine Setzung darstellt, die naturwissenschaftlich nicht begründbar ist (Appiah, 2010).

Werte und Werturteile Als Werte werden »... gleichermaßen normierend und motivierend wirkende Zielvorstellungen, Orientierungsgrößen und Qualitäten bezeichnet ...« (Rehfus, 2003, S. 678). Werte können sich auf verschiedene Lebens- und Wirklichkeitsbereiche beziehen, zum Beispiel logische Werte auf das Wahre, ästhetische Werte auf das Schöne oder moralische Werte auf das Gute. Sie sind in der Regel in hierarchisch strukturierte Wertordnungen eingebunden (ebd., S. 679). Werturteile (»axiologische Aussagen«) sind Bewertungen von Objekten, Handlungen, Ereignissen usw., etwa »Dieses Bild ist schön.« oder »Die Tat ist gut.«. Hinsichtlich der Frage, inwieweit sich Werturteile naturwissenschaftlich treffen und begründen lassen, ist die Situation ähnlich wie bei ethischen Urteilen oder Zwecksetzungen. Empirisch erfassen und theoretisch untersuchen lässt sich zum Beispiel die Praxis des Urteilens und die bei einzelnen Menschen oder in der Gesellschaft vorgefundenen Werte und Wertordnungen. In manchen Bereichen können Sie auch quantifiziert werden, etwa bei ökonomischen Werturteilen (»Dieses Auto ist 10000 Euro wert.«). Ein Mensch nimmt im Leben unablässig Bewertungen vor. Auf ihrer Grundlage ist in der Lage sich in der Welt zu orientieren und Entscheidungen zu treffen. Es ist daher naheliegend, sowohl Wertordnungen als auch wissenschaftliche Theorien als verschiedene Arten von Erkenntnisssystemen zu betrachten, mittels derer sich der Mensch in der Welt orientiert und die sie ihm verständlich machen (Leinfellner, 1980, S. 207). In diesem Sinne spricht man zum Beispiel von »ästhetischer Erkenntnis«. Hinsichtlich der Grenzen der Naturwissenschaft stellt sich die Frage, ob und inwieweit sich Wertordnungen auf die Naturwissenschaft zurückführen lassen.

⁵⁴ Zugunsten der Auffassung, dass diese Bereiche sich zunehmend überschneiden, wird auch in (Lineweaver, 2009) argumentiert.

2. Grenzen der Naturwissenschaften

Lässt sich zum Beispiel die Schönheit eines Bildes naturwissenschaftlich beurteilen? Die Situation scheint hier ähnlich wie im Falle ethischer Normen. In der Tat lassen sich diese als spezielle Werturteile auffassen: die Aufforderung etwas tun oder lassen zu sollen entspricht der moralischen Bewertung einer möglichen Handlung als gut oder schlecht⁵⁵. Einerseits haben Werte und Wertordnungen für den einzelnen Menschen also eine präskriptive Funktion; sie sind Maßstäbe, die dabei helfen Situationen oder Dinge zu beurteilen und Entscheidung zu treffen. Bei Mitglieder einer sozialen Gruppe, die bestimmte Ansichten oder Vorlieben teilen, mögen sich diese Maßstäbe ähneln, doch bleiben sie letztlich das Ergebnis einer *individuellen Wahl*. Ob jemand eine Wahl trifft, weil er eine bestehende Tradition akzeptiert oder ihm ein metaphysischer Begründungsversuch eines bestimmten Wertesystems überzeugt, ist aber zunächst für unsere Frage zweitrangig. Nur solange die Annahme einer individuellen Wahlmöglichkeit gemacht werden kann, scheint sich sinnvoll von einer präskriptiven Funktion der Werte sprechen zu lassen⁵⁶.

Neben ihrer präskriptiven Funktion lassen sich Werte aber auch wieder deskriptiv verstehen, nämlich als solche die ein einzelner Mensch besitzt oder die in einer Gesellschaft vorherrschen. In dieser Hinsicht sind sie - zumindest prinzipiell - naturwissenschaftlich erfassbar und intersubjektiv prüfbar. Genauso kann die Naturwissenschaft Aussagen über die Realisierbarkeit bestimmter mit einer Wertordnung verknüpfter Ziele machen⁵⁷ (Carrier, 2006, S. 158 ff.). Genauso wie bei der ethischen Werten und Normen führt aber kein logischer Weg von der Deskription zu Präskription. Der Ausweg, der sich einem naturalistischen Standpunkt böte, wäre wiederum die Möglichkeit einer autonomen Wertewahl gänzlich zu bestreiten und die kategoriale Unterscheidung von Deskription zu Präskription als sinnlos zu proklamieren. Ob der Mensch die Wahlfreiheit besitzt oder sein Wertesystem vollständig durch Evolution, Neurophysiologie, Sozialisation usw. bestimmt sind, ist letztlich eine empirische Frage, die prinzipiell naturwissenschaftlich beantwortet werden könnte. Unabhängig davon, wie die Antwort ausfällt, bleibt aber der subjektive Eindruck gelegentlich vor einer Wahl zu stehen und eine Entscheidung zu treffen.

55 Etwas präziser ließe sich diese Korrespondenz vielleicht so formulieren: eine Anweisung zu einer Handlung (in einer gegebenen Situation) auf der Basis eines Systems von Normen entspricht der Entscheidung zu dieser Handlung auf der Basis moralischer Bewertungen. Insofern Wertordnungen mit Entscheidungsregeln für Handlungen verknüpft sind, lassen sie sich also als Systeme ethischer Normen auffassen.

56 Das ethische Wertesystem zeichnet sich von anderen in dieser Hinsicht nur dadurch aus, dass die Mitglieder einer Gesellschaft voneinander erwarten bzw. fordern, dass es akzeptiert wird.

57 Auf diese Weise gewinnt die Wissenschaft »... ein kritisches Potenzial gegenüber Wertpositionen und kann deren Überzeugungskraft durchaus beeinflussen. (Carrier, 2006, S. 161).

Zusammenfassung Wir versuchen, die wesentlichen Punkte der obigen Betrachtungen zu Zwecken, Normen und Werten in Hinblick auf die Grenzen der Naturwissenschaften zusammenzufassen. Ausgangspunkt war die methodologische Charakterisierung naturwissenschaftlicher Theoriesysteme durch intersubjektive, empirische Prüfbarkeit und logische Widerspruchsfreiheit. Die empirische Prüfbarkeit bedingt den deskriptiven Charakter der Naturwissenschaft, d.h. sie beschreibt, was in der beobachtbaren Welt ist, aber nicht, was sein soll⁵⁸. Zwecke, Normen und Werte haben aber sowohl deskriptive als auch präskriptive Bedeutung. Einerseits können sie beschreiben, welche Ziele, Handlungsregeln und Wertvorstellungen in der Gesellschaft oder bei einzelnen Menschen existieren. In dieser deskriptiven Bedeutung lassen Sie sich - zumindest im Prinzip - naturwissenschaftlich untersuchen. Andererseits können sie aber auch eine präskriptive Funktion haben: Zweck oder Werte *können* Objekten oder Handlungen zugeordnet werden, Normen *können und sollen* befolgt werden. Sie beziehen sich also nicht auf etwas Existierendes, sondern beschreiben Möglichkeiten oder Forderungen, die ein entscheidungsfähiges Subjekt realisieren könnte. In dieser Hinsicht sind sie nicht naturwissenschaftlich prüfbar; untersuchbar ist lediglich die Frage ihrer Realisierbarkeit, zum Beispiel, ob ein Gegenstand die Funktion einer Uhr erfüllen könnte oder ein Mensch eine bestimmte ethische Norm. Die präskriptive Funktion ist eng verknüpft mit dem Begriff der Entscheidung. Insoweit mentale und physikalische Zustände miteinander verknüpft sind, lassen sich die Bedingungen menschlicher Entscheidungen im Prinzip intersubjektiv untersuchen. Eine solche Untersuchung könnte zu dem Ergebnis führen, dass mentale Vorgänge vollständig physikalisch determiniert sind. Selbst wenn dies der Fall sein sollte, haben offenbar viele Menschen den Eindruck eigene Entscheidungen anhand von Zielen, Werten und Normen zu treffen. Zumindest aus einer subjektiven Perspektive besitzen diese also eine präskriptive Funktion. Auch die Frage, ob sie unabhängig vom Menschen als »Ideen« existieren, ist zweifellos nicht empirisch prüfbar und außerhalb der Reichweite der Naturwissenschaft.

Weitere Grenzen methodologischer Art ergeben sich aus der wissenschaftstheoretischen Analyse der Struktur wissenschaftlicher Theorien. Oben wurde bereits ausführlicher darauf eingegangen, so dass die wesentlichen Punkte hier nur noch einmal stichpunktartig aufgezählt werden:

1. Naturwissenschaftliche Theorien (insbesondere Naturgesetze) folgen nicht eindeutig aus empirischen Daten. Denn zum einen lässt sich nicht sicherstellen, dass Regeln, die für die bekannten Fälle gelten, auch in dem noch

⁵⁸ Rein logisch betrachtet, könnte man natürlich präskriptive Aussagen zu einer naturwissenschaftlichen Theorie hinzunehmen. Dies hätte aber keine Auswirkungen auf ihren Gehalt.

2. Grenzen der Naturwissenschaften

unbekannten Fällen erfüllt sind (Unmöglichkeit des induktiven Schlusses). Zum zweiten lassen sich selbst bei Annahme eines vollständig bekannten Datensatzes häufig verschiedene Theorien konstruieren, die mit diesen kompatibel sind (Unterbestimmtheit von Theorien). Diese Theorien unterscheiden sich nicht in ihren beobachtbaren Vorhersagen, aber zum Beispiel in ihren grundlegenden Begriffen und ihrer Ontologie (wie es beispielsweise bei verschiedenen Formulierungen der Quantentheorie der Fall ist). Allerdings wird gelegentlich die Ansicht vertreten, dass durch Hinzunahme weiterer Kriterien, wie zum Beispiel mathematische Einfachheit, die »richtige« Theorie letztlich festgelegt ist.

2. Die Unterbestimmtheit beschränkt auch die Falsifizierbarkeit von Theorien. Zur Erklärung von experimentellen Ergebnissen muss in der Regel ein ganzes System von Theorien herangezogen werden. Widerspricht ein Messresultat theoretischen Erwartungen, so ist nicht klar, welcher Teil des Theoriesystems für die falsche Vorhersage »verantwortlich« ist. In der Praxis versucht man dann oft mittels weiterer Beobachtungen die Fehlerursache ausfindig zu machen.
3. Bislang nicht angesprochen wurde ein weiterer Punkt, den man als Grenze der Formalisierung bezeichnen könnte. Ergebnisse auf dem Gebiet der mathematischen Logik und algorithmischen Informationstheorie zeigen, dass jedes hinreichend komplexe, formale System Aussagen enthält, die formal nicht beweisbar sind (vgl. Chaitin, 2006; D. W. Hoffmann, 2011). Insbesondere lässt sich die Widerspruchsfreiheit nicht in dem System selbst beweisen. Beispiele solcher Systeme sind die Prädikatenlogik höherer Stufe und die Zermelo-Fraenkel-Axiome der Mengenlehre. Beide bilden die Grundlage eines großen Teils der modernen Mathematik. Obwohl Mathematiker Gründe haben an die Konsistenz dieser Systeme zu glauben, ist eine völlige Sicherheit prinzipiell nicht zu erlangen⁵⁹. In gewisser Hinsicht wird die Mathematik damit auch abhängig von der Erfahrung: kaum jemand erwartet wohl, dass sich widersprechende Aussagen aus ihren grundlegenden Axiomsystemen ableiten lassen, aber dass dies passieren könnte, ist nicht mit formalen Argumenten auszuschließen. Prinzipiell gilt diese Einschränkungen auch für mathematisch formulierte naturwissenschaftliche Theorien. Da sich deren Gültigkeit vor allem

⁵⁹ Zumindest nicht in einer formalen Weise, so dass die Konsistenz zum Beispiel von einem Computer in endlich vielen Schritten geprüft werden könnte. Vertreter der intuitionistischen oder konstruktiven Mathematik begegnen diesem Problem, indem sie nur explizit (gedanklich) konstruierte mathematische Objekte als existent zulassen. Auf diese Weise kann die Konsistenz gesichert werden. Allerdings beruht ein großer Teil der modernen Mathematik auf nicht konstruktiven Schlussweisen, wie zum Beispiel dem tertium non datur (vgl. Penrose, 1991, S. 110 ff.).

an der empirischen Bewährung bemisst, stellt sich das Konsistenz- und Entscheidbarkeitsproblem allerdings nicht in dieser Schärfe. Für die empirische Prüfbarkeit einer Theorie ist es hinreichend, wenn sie für die nur potenziell abzählbar unendliche Menge möglicher Beobachtungen Voraussagen machen kann. Die Existenz formal unentscheidbarer oder sogar logisch widersprüchlicher Aussagen ist zunächst hinnehmbar, solange sie nicht die Menge der empirisch prüfbarer Sätze tangiert (Leinfellner, 1980, S. 162 f.). Relevant werden sie aber sicherlich, wenn man weitere Qualitätskriterien, wie mathematische Einfachheit oder »Schönheit« hinzuzunimmt. Es lässt sich aber wohl sagen, dass solche Fragen für die Entwicklung der Naturwissenschaft (wie auch für den größten Teil der Mathematik) bislang keine besondere Rolle gespielt haben. Für eine weitere Diskussion siehe zum Beispiel Barrow (1999, Kap. 8).

2.6.2. Physikalische Grenzen

Neben den bislang betrachteten methodologischen Grenzen gibt es weitere, die sich aus der Beschaffenheit der physikalischen Realität ergeben. Die menschlichen Kenntnisse - oder besser gesagt: Vermutungen - über diese Beschaffenheit sind in den naturwissenschaftlichen Theorien formuliert. Interessanterweise implizieren einige der heute etablierten Theorien selbst Restriktionen der Naturerkenntnis, die vor allem die Beobachtbarkeit und Vorhersage von physikalischen Eigenschaften oder Ereignissen betreffen. Diese Beschränkungen seien daher hier als physikalische Grenzen bezeichnet. Durch den prinzipiell vorläufigen Charakter naturwissenschaftlicher Theorien erscheinen diese jedoch weniger sicher als die methodologischen Grenzen und könnten sich im Laufe der zukünftigen wissenschaftlichen Entwicklung verändern oder gar verschwinden. Ohne in irgendeiner Weise Vollständigkeit anzustreben, sollen derartige physikalischen Grenzen im Folgenden an einigen Beispielen aus der »modernen« Physik⁶⁰ erörtert werden. Damit sind die seit Beginn des 20. Jahrhunderts entwickelten physikalischen Theorien gemeint, insbesondere die Relativitätstheorie und Quantentheorie. Diese haben deutlich gemacht, dass in Bereichen, die der Alltagserfahrung nicht direkt zugänglich sind, bis dato existierende Vorstellungen über die Möglichkeiten physikalischer Naturbeschreibung eingeschränkt bzw. modifiziert werden müssen. Dazu zählt insbesondere die Annahme eines determiniert ablaufenden Naturgeschehens. Sie lässt sich etwa durch folgendes Postulat charakterisieren: »Ist der Zustand des Universums zu einem gegebenen Zeitpunkt bekannt, werden die Zukunft und die Vergangenheit durch einen

⁶⁰ Für eine wesentlich ausführlichere Diskussion vergleiche zum Beispiel Barrow (1999)

2. Grenzen der Naturwissenschaften

vollständigen Satz von Gesetzen restlos bestimmt.« (Hawking & Mlodinow, 2010, S. 33). Hinzufügen könnte man noch, dass es prinzipiell möglich sein sollte, den Zustand eines physikalischen Systems mit vorgegebener Genauigkeit durch endlich viele Beobachtungen festzustellen. Die Eigenschaften eines Systems werden als objektiv vorliegend betrachtet und können unabhängig voneinander empirisch bestimmt werden⁶¹. Historisches Vorbild ist hier natürlich die Newtonsche Mechanik, die durch ihren großen Erfolg in der Beschreibung der Planetenbewegungen und mechanischer Vorgänge wesentlich zur Popularität dieser Auffassung beigetragen hat.

Grundlegende Elemente der Newtonschen Theorie werden auch in der Quanten- und Relativitätstheorie beibehalten: physikalische Vorgänge sind eingebettet in ein Raum-Zeit-Kontinuum. Einem physikalischen System wird ein Zustand zugeordnet, dessen zeitliche Änderung durch dynamische Gesetze beschrieben wird⁶². Im Prinzip kann im Rahmen dieser Theorien auch das gesamte Universum als physikalisches System aufgefasst werden. Dessen allgemeine Eigenschaften und Dynamik untersucht die Kosmologie (vgl. Abschnitte 5.1.3 u. 5.1.3). Sie erfordert sowohl die Anwendung der Quantentheorie (für die Beschreibung der Frühphase des Universums) als auch die Allgemeine Relativitätstheorie (für die Beschreibung der großräumigen Entwicklung zu späteren Zeiten). Nach heutigem Verständnis hat das Universum in einem als »Urknall« bezeichneten Zustand begonnen. Es wird erwartet, dass zur Beschreibung der physikalischen Verhältnisse in unmittelbarer zeitlicher Nähe des Urknalls eine Theorie der »Quantengravitation« erforderlich ist. Gegenwärtig gibt es verschiedene Vorschläge für eine solche Theorie, von denen sich jedoch bislang keine der Variante durchsetzen konnte (vgl. z. B. Kiefer, 2012). Obwohl zurzeit keine allgemein etablierte Theorie existiert, die Quanten- und Gravitationsphänomene konsistent beschreibt, wird in der Regel davon ausgegangen, dass wesentliche Merkmale der heute existierenden Theorien auch zukünftig Bestand haben werden. Die Frage ist nun, welche Beschränkungen sich daraus im Vergleich zur klassischen Physik ergeben:

61 Eine wesentliche sorgfältigere und formalere Formulierung der ontologischen Prämissen der klassischen Physik unternimmt Mittelstaedt (1986). Dort wird dargelegt, inwieweit die Relativitäts- und Quantentheorie eine Einschränkung dieser Prämissen bedingen und welche Konsequenzen sich daraus für eine selbstkonsistente Sprache der Physik ergeben. Wir beschränken uns hier auf eine informelle Darstellung und versuchen lediglich einige zentrale Punkte hervorzuheben.

62 In der klassischen Mechanik sind die Zustände zum Beispiel Punkte des Phasenraums, die sich gemäß den Hamiltonschen Gleichungen ändern. In der Relativitätstheorie sind es geeignete Daten auf einer raumartigen Hyperfläche, die sich gemäß den Einsteinschen Feldgleichungen der Gravitation (und eventuell weiterer Gleichungen für Materiefelder) ändern. In der (Standard-Formulierung der) nichtrelativistischen Quantenmechanik sind die Zustände Wellenfunktionen, die sich gemäß der Schrödinger-Gleichung ändern. Neben der »differenziellen« Formulierung - einem mathematischen Anfangswertproblem entsprechend - lässt sich jede dieser Theorien auch in »integraler« Form - einem Randwertproblem entsprechend - formulieren.

1. Beschränkungen durch die Relativitätstheorie

In der Relativitätstheorie stellt die Lichtgeschwindigkeit eine Obergrenze für die Ausbreitungsgeschwindigkeit physikalischer Signale dar⁶³. Dies hat zum Beispiel Konsequenzen für die Verwendbarkeit bestimmter physikalischer Begriffe. So hat etwa der Begriff der Gleichzeitigkeit verschiedener räumlich getrennter Ereignisse keine beobachterunabhängige Bedeutung mehr. Ereignisse können einem Bezugssystem gleichzeitig sein, in einem anderen aber nicht. In gekrümmten Raumzeitgeometrien, wie sie bei Vorhandensein von Gravitationsquellen auftreten, ergeben sich weitere Beschränkungen: so sind Vektoren, zum Beispiel Geschwindigkeiten oder Beschleunigungen, an verschiedenen Punkten nicht mehr direkt vergleichbar. Ihre Differenz kann davon abhängen, auf welchem Weg sie durch die Raumzeit transportiert werden, um sie zu vergleichen. Eine zweite, offensichtliche Art der Einschränkung betrifft die möglichen Informationen, die einem Beobachter zugänglich sind. Er kann lediglich von solchen Ereignissen Kenntnis erlangen, die durch Licht oder zeitartige Weltlinien mit ihm verbunden sind (seine »kausale Vergangenheit«, (vgl. Carroll, 2004, S. 79)). Wir können die Welt also stets nur in einem für uns bereits vergangenen Zustand beobachten⁶⁴. In einem statischen Kosmos würden wir jedoch zumindest von jedem Objekt, das Licht in unsere Richtung strahlt irgendwann Kenntnis erlangen können. Dies ist für eine dynamische, hinreichend schnell expandierende Raumzeit im Allgemeinen nicht mehr der Fall. Für einen Beobachter existiert dann ein sogenannter *Ereignishorizont*, der die Raumzeit in zwei Bereiche aufgeteilt: einen über den er Informationen erlangen kann und einen, der für ihn unbeobachtbar bleibt⁶⁵ (siehe Kanitscheider, 1984, S. 390 ff.).

2. Beschränkungen durch die Quantentheorie

Die Einschränkungen der Kenntnis und Beobachtbarkeit physikalischer Systeme sind in der Quantentheorie von anderer Art als im Falle der Rela-

⁶³ Formal drückt sich dies in der (lokalen) Lorenzinvarianz relativistischer Theorien aus. Dies gilt sowohl für die spezielle wie auch für die Allgemeine Relativitätstheorie.

⁶⁴ Glücklicherweise ist die Geschwindigkeit des Lichtes so groß, dass wir durchaus das Gefühl haben können mit anderen Menschen etwas *gemeinsam* zu erleben. Die Relativitätstheorie schließt per se nicht aus, dass uns auch Informationen zukünftiger Ereignisse erreichen (von Punkten unserer »kausalen Zukunft«). Dass dies nicht der Fall zu sein scheint, wird gemeinhin mit der Existenz eines »Zeitpfeils« erklärt. Dieser wiederum, scheint vor allem mit dem speziellen Zustand niedriger Entropie verknüpft, in dem sich unser Universum gegenwärtig befindet (vgl. z. B. Penrose, 2004, Kap. 27 -30).

⁶⁵ Eine Ereignishorizont existiert auch für stark gekrümmte, statische Raumzeiten, zum Beispiel bei Schwarzen Löchern. Ereignisse innerhalb dieses Horizontes sind für alle Beobachter außerhalb unbeobachtbar, da zum Beispiel Licht, das von Punkten innerhalb des Horizontes ausgesandt wird, so stark gekrümmt wird, dass es nicht nach außen gelangen kann (vgl. z. B. Carroll, 2004, Kap. 6.2).

2. Grenzen der Naturwissenschaften

tivitätstheorie. Bei einem Quantensystem⁶⁶ ist es prinzipiell nicht möglich alle messbaren Eigenschaften gleichzeitig sicher zu kennen: ist eine Eigenschaft des Systems empirisch bestimmt, so können lediglich die damit *kommensurablen* Eigenschaften gleichzeitig objektivierbar sein. »Objektivierbar« bedeutet hier, dass diese Eigenschaften auch bei wiederholten Messungen an dem System bestätigt werden können⁶⁷ (Mittelstaedt, 1986, S. 86 ff.). Auf experimenteller Ebene drückt sich dies darin aus, dass es offenbar unmöglich ist, einen experimentellen Aufbau zu realisieren, der es erlauben würde, zwei inkommensurable Eigenschaften gleichzeitig zu messen. Werden zwei Experimente zu Messung derartige Eigenschaften nacheinander ausgeführt, kann die mit dem ersten Experiment bestimmte Eigenschaft nach Durchführung des zweiten Experimentes bei nachfolgenden Messungen in der Regel nicht mehr sicher bestätigt werden. Es ist jedoch nicht nur die empirisch erlangbare *Kenntnis* der Eigenschaften eines Quantensystems beschränkt, sondern bereits deren *Zuschreibung*. Mathematische Theoreme, wie das von Kochen und Specker, zeigen, dass die Zuschreibung der Eigenschaften nicht unabhängig vom Kontext der Messung erfolgen kann (vgl. z. B. Gühne & Kleinmann, 2013). Wird an einem System eine Eigenschaft experimentell bestimmt, hängt es im Allgemeinen von experimentellen Aufbau ab⁶⁸, welche weiteren Eigenschaften dem System konsistent zugeordnet werden können. Eine derartige Abhängigkeit ist in dieser Form in der klassischen Physik nicht vorhanden. Wird die Messapparatur dagegen in die physikalische Beschreibung einbezogen, scheint jedoch selbst eine deterministische Zuschreibung aller messbaren Eigenschaften prinzipiell möglich zu sein, wie zum Beispiel die Bohmsche Interpretation der Quantenmechanik zeigt. Auch wenn sich verschiedene Formulierungen der Quantentheorie⁶⁹ in ontologischer Hinsicht unterscheiden mögen, ist ihnen gemein, dass *Voraussagen* über das Verhalten eines Quantensystems prinzipiell nur statistischer Natur sein können (dies ist z. B. auch bei Bohms Formulierung der Fall). Diese Einschränkung ist bereits in der Kinematik angelegt und auch bei einfachen nicht wechselwirkenden Systemen existent. In der klassischen Physik

66 Ein Quantensystem sei hier physikalisches System, das den Gesetzen der Quantentheorie obliegt.

67 Beschreibt man - wie üblich - die quantenmechanischen Observablen als Operatoren auf einem Hilbertraum, dann entspricht die Kommensurabilität eines Satzes von Eigenschaften der paarweisen Kommutativität der ihnen zugeordneten Operatoren. Entsprechend kommutieren die Operatoren inkommensurabler Eigenschaften nicht miteinander. Dies hat eine Unbestimmtheitsrelation zur Folge, die zum Ausdruck bringt, dass ein Paar derartige Eigenschaften nicht gleichzeitig bestimmbar ist.

68 Formal lassen sich verschiedene Aufbauten zum Beispiel dadurch unterscheiden, welche (kommensurablen) Eigenschaften mit Ihnen bestimmt werden.

69 Vgl. Penrose (2004, Kap. 29) für einen kompakten Überblick populärer Interpretationen der Quantentheorie und eine Diskussion ihrer verschiedenen Ontologien.

- oder Relativitätstheorie - ergibt sich die Notwendigkeit einer statistischen Beschreibung dagegen nicht grundsätzlich, sondern nur für solche Systeme, die aufgrund ihrer Komplexität und/oder einer stark nichtlinearen Dynamik lediglich mit statistischen Methoden effektiv beschreibbar sind⁷⁰.

2.6.3. Technologische Grenzen

Historisch eng verbunden mit der Entwicklung des naturwissenschaftlichen Wissens ist die Technik. Technische Apparate sind das Ergebnis einer zweckgebundenen Manipulation der Natur. In der heutigen Gesellschaft dienen sie unter anderem wirtschaftlichen, militärischen oder wissenschaftlichen Zwecken; sie soll das Leben der Menschen erleichtern oder sie auch bloß unterhalten. Das Verhältnis von Naturwissenschaft und Technik ist dergestalt, dass sie sich gegenseitig zugleich befördern und in ihren Möglichkeiten beschränken (vgl. Pietschmann, 1978, Abschn. 2). Ein Beispiel ist die Elektrodynamik: es ist kaum denkbar, dass ohne die Kenntnis der Maxwell-Gleichungen die rasante Entwicklung der Elektrotechnik bis hin zur heutigen digitalen Elektronik möglich gewesen wäre. Diese Elektronik erlaubt aber heute den Physikern Experimente von nie da gewesener Präzision durchzuführen, Naturvorgänge mit Computern zu simulieren oder riesige Datenmengen, wie sie zum Beispiel an Elementarteilchenbeschleunigern anfallen, zu verarbeiten⁷¹. Die Frage ist nun, inwieweit die naturwissenschaftliche Erkenntnis durch diese wechselseitige Abhängigkeit zur Technik nicht nur befördert, sondern auch beschränkt wird. Betrachten wir hierzu wieder die Physik: Technik spielt heute sowohl in der experimentellen, wie der theoretischen Physik eine wichtige Rolle. Bei Experimenten hilft sie die Präzision zu vergrößern (man denke etwa an die Zeitmessung mithilfe von Atomuhren) oder auch den Bereich der beobachtbaren physikalischen Realität zu erweitern (zum Beispiel in der Astronomie mittels Teleskopen und Satelliten oder in der Elementarteilchenphysik durch riesige »Beschleunigermaschinen«). In der theoretischen Physik erlaubt sie zum Beispiel mittels Simulationen, die man als virtuelle Experimente ansehen könnte, Voraussagen aus bestehenden Theorien zu gewinnen, die dann mit realen Experimenten verglichen werden können. Auch die Möglichkeiten der »exakten« mathematischen Analyse physikalischer Theorien wird durch Methoden der Computer-Algebra vergrößert.

⁷⁰ Dies trifft allerdings im Grunde auf alle makroskopische Systeme zu, sofern ihre Eigenschaften aus der Dynamik ihrer mikroskopischen Konstituenten erklärt werden soll (»Statistische Physik«). Fern von Gleichgewichtszuständen ist das zukünftige Verhalten solcher Systeme in der Regel nur statistisch vorhersagbar

⁷¹ Die Technik spielt heutzutage auch in den anderen Naturwissenschaften eine ähnlich große Rolle wie in der Physik.

2. Grenzen der Naturwissenschaften

bert. Da es sich bei technischen Apparaten letztlich um spezielle physikalische Systeme handelt, werden ihre Möglichkeiten andererseits durch die im letzten Abschnitt diskutierten physikalischen Grenzen limitiert. So macht es die Endlichkeit der Lichtgeschwindigkeit unmöglich, physikalische Vorgänge auf fremden Sternensystemen »vor Ort« zu prüfen, da eine Reise dorthin - selbst mit Lichtgeschwindigkeit - zahlreiche Jahre dauern würde. In der Elementarteilchenphysik scheint es kaum möglich noch größere Beschleuniger zu bauen, als sie heute zum Beispiel in Form des Large Hadron Collider am CERN existieren. Dies wäre aber notwendig, um die Naturgesetze bei sehr hohen Teilchenenergien prüfen zu können. Völlig unerreichbar erscheinen zu Beispiel Energien, bei denen messbare Gravitationseffekte zwischen den Elementarteilchen erwartet werden. Hierfür wären Beschleuniger astronomischer Größenordnung erforderlich. In der theoretischen Physik begrenzen die endliche Speicherkapazität und Rechengeschwindigkeit die Möglichkeiten der numerischen Simulation physikalische Systeme. So wächst bei Quantensystemen die Größe des Zustandsraumes exponentiell mit der Zahl der (effektiven) Freiheitsgrade. Betrachtet man die raumzeitliche Entwicklung von Zuständen ist sie sogar unendlich. Nichtsdestotrotz erscheint eine Aussage darüber unmöglich, wo die Grenzen technischer Entwicklung sind und inwieweit diese die Möglichkeiten naturwissenschaftlicher Erkenntnis beschränken. Dies liegt zum einen an der stets vorläufigen Kenntnis der Naturgesetze, zum anderen aber auch am nicht abzuschätzenden Potenzial menschliche Erfindungskraft, die schon oft sicher geglaubte Grenzen durch zuvor ungeahnte Lösungen zu überwinden vermochte⁷².

2.6.4. Gesellschaftliche Grenzen

Wissenschaft wird von Menschen betrieben und diese sind Teil einer Gesellschaft. In dem Maße, wie das Handeln des Menschen durch seine Eingebundenheit in die Gesellschaft beschränkt wird, beschränkt diese daher auch die Wissenschaft. Das Handeln des einzelnen Wissenschaftlers kann dabei sowohl durch gesellschaftliche Werte und Normen, als auch durch die von der Gesellschaft bereitgestellten Möglichkeiten (zum Beispiel materielle Ausstattung oder Gelegenheit zur Kooperation mit anderen Forschern) beschränkt werden. Carrier sieht drei Typen von Werten als bedeutende Einflussfaktoren auf den wissenschaftlichen Erkenntnisprozess: »*epistemische* Werte, die den Erkenntnisanspruch der Wis-

⁷² Auf der anderen Seite könnte die enge Bindung der modernen Naturwissenschaft an technische Eingriffe in die Natur aber auch eine Erkenntnisbarriere darstellen (vgl. Janich, 1992, S. 232 ff.). Die Frage ist allerdings, ob mögliche Erkenntnisse jenseits dieser Barriere den methodologischen Kriterien der Naturwissenschaft genügen können. Wenn sie existiert, würde es sich wohl hierbei eher um eine methodologische Grenze handeln.

senschaft oder die Natur wissenschaftlichen Wissens näher bestimmen, *ethische* Werte, die Freiheits- und Schutzansprüche von Personen betreffen, sowie *soziale* Werte, die Mitwirkungs-, Teilhabe- und Schutzansprüche von gesellschaftlichen Gruppen zum Ausdruck bringen.« (Carrier, 2006, S. 158). Die wissenschaftliche Entwicklung beeinflusst in der Gesellschaft existierende Werthaltungen. Sie wird aber auch von ihnen beeinflusst (Carrier, 2006, S. 162): die ethischen Werte unserer Gesellschaft haben zum Beispiel zur Konsequenz, dass Experimente, die Menschenrechte verletzen, gesetzlich untersagt sind. Oder bestimmte Forschungen werden mit Blick auf die Gefahren oder den Missbrauch ihrer Produkte beendet oder eingeschränkt. Dass soziale Werte eine wichtige Rolle für den Wissenschaftsprozess und die Durchsetzung naturwissenschaftliche Theorien spielen hat - wie bereits erwähnt - vor allem Thomas Kuhn deutlich gemacht. Aufgrund der Unterbestimmtheit naturwissenschaftlicher Theorien spielen epistemische Werte, wie etwa Genauigkeit oder Vorhersagevermögen einer Theorie, eine wichtige Rolle bei der Auswahl von Theorien. Genauso beeinflussen aber auch soziale Werte (heutzutage etwa der »Schutz« des Weltklimas oder der Anwendungsbezug wissenschaftliche Erkenntnisse) die Wahl und Förderung von Forschungsgegenständen. Die Fokussierung auf bestimmte Forschungsthemen bedingt natürlich zugleich die Vernachlässigung anderer. Eng verknüpft mit den sozialen Werten sind auch die Interessen gesellschaftliche Akteure, wie politische Parteien oder Wirtschaftsunternehmen. Sie bestimmen wesentlich die Inhalte und Themen öffentlicher und privatwirtschaftlicher Forschung (vgl. Chalmers, 1999, Kap. 8). Diese Abhängigkeit wird noch dadurch verstärkt, dass moderne naturwissenschaftliche Forschung häufig beträchtliche finanzielle Ressourcen erfordert, die von Privatpersonen in der Regel nicht aufgebracht werden können. Besonders deutlich wird dies bei wissenschaftlichen Großprojekten und -einrichtungen, die oft nur durch internationale Zusammenarbeit und Unterstützung realisierbar sind. In den gesellschaftlichen Beschränkungen des Forschungsbetriebes wird auch deutlich, dass die Frage nach den Grenzen der Naturwissenschaft nicht nur deskriptiv, sondern auch normativ gestellt werden kann (Janich, 1992, S. 232). Sie lautet dann nicht mehr »Was kann die Naturwissenschaft?«, sondern »Was soll die Naturwissenschaft?«. Die zweite, im normativen Sinne formulierte Frage, wird hier nicht erörtert. Doch vermutlich sind Antworten auf beide Fragen für die Zukunft der modernen Gesellschaft und die Entwicklung der Wissenschaft von grundlegender Bedeutung.

3. Grundlagen und Ziele

Das Umfeld der Forschung, in das die vorliegende Arbeit eingebettet ist, sowie wesentliche theoretische Konzepte und empirische Resultate, auf denen sie aufbaut, sollen im ersten Teil dieses Kapitels vorgestellt werden. Anschließend werden ihre zentralen Fragestellungen, Hypothesen und Ziele formuliert.

3.1. Grundlagen

Nature of Science

Im schulischen Kontext versteht man unter Bildungszielen gemeinhin Kenntnisse und Fähigkeiten – heute oft als Kompetenzen bezeichnet – die Schülerinnen und Schüler im Laufe ihrer Schulzeit erwerben sollen. Die Frage, ob und wie diese allgemein begründet werden können, war Gegenstand intensiver bildungstheoretischer Debatten (vgl. Brügelmann, 2005, Kap. 8).¹ Hinsichtlich der Ziele naturwissenschaftlicher Bildung (»scientific literacy«) scheint heute jedoch weitgehend Konsens darüber zu bestehen, dass diese nicht nur fachliche Grundkenntnisse (*knowledge of science*), sondern auch ein angemessenes Verständnis der »Natur der Naturwissenschaften«² (*knowledge about science*) umfassen sollten. Ein Indiz dafür ist etwa, dass diese beiden Wissensbereiche Gegenstand der internationalen PISA – Studie der OECD waren (Organisation for Economic Cooperation and Development, 2007). Auch in vielen nationalen Bildungsrichtlinien und -empfehlungen nehmen NOS-Inhalte inzwischen einen festen Platz ein (vgl. Deng, Chen, Tsai & Chai, 2011, S. 962), beispielsweise in den US-amerikanischen *Benchmarks for Science Literacy* der American Association for the Advancement of Science (AAAS, 1993). Ähnliches gilt in Deutschland

¹ Der Pädagoge und Didaktiker Hans Brügelmann diskutiert in Brügelmann (2005, S. 262 ff.) die Schwierigkeit Bildungsziele aus allgemeinen gesellschaftlichen Normen »abzuleiten«. Er argumentiert, dass Bildungstheorien, psychologische Entwicklungstheorien und allgemeine Normen wohl bildungspolitische Entscheidungen begründen helfen, aber keine Handlungsanweisungen liefern könnten. Die Vorstellung davon, was Bildung ausmacht, sei letztlich das Ergebnis eines beständig stattfindenden, gesellschaftlichen Aushandlungsprozesses.

² Im englischen Sprachraum: *Nature of Science* (NOS). Auch in der deutschsprachigen Didaktik-Literatur ist diese Bezeichnung inzwischen sehr verbreitet. Wir verwenden Sie im Folgenden ebenfalls.

3. Grundlagen und Ziele

für die von der Kultusministerkonferenz verabschiedeten *Nationalen Bildungsstandards*, die die an allgemeinen Bildungszielen orientierten Kompetenzen für verschiedene Schulfächer formulieren sollen.³

Innerhalb der Naturwissenschaftsdidaktik gibt es eine anhaltende Debatte darüber, welche Inhalte im Einzelnen zum Kernbestand von NOS zu zählen sind⁴. Eine sehr weit gefasste Charakterisierung gibt z. B. McComas (McComas, Clough & Almazroa, 2002, S. 4):

The Nature of Science is a fertile hybrid arena which blends aspects of various social studies of science including the history, sociology, and philosophy of science combined with research from the cognitive sciences such as psychology into a rich description of what science is, how it works, how scientists operate as a social group and how society itself both directs and reacts to scientific endeavors.

Eine wesentlich engere, häufig zitierte inhaltliche Bestimmung des NOS-Konstruktes stammt von der Forschergruppe um den Didaktiker Norman G. Lederman⁵ (vgl. M. R. Matthews, 2012, S. 10 f.):

1. Naturwissenschaft ist empirisch (»empirical nature of science«). Sie enthält sowohl Beobachtungen als auch theoretische Begriffe und logische Schlussfolgerungen. Beobachtungen beruhen auf Sinneswahrnehmungen und werden im Rahmen von Theoriesystemen interpretiert.
2. Theorien und Gesetze sind verschieden: Gesetze sind Beschreibungen der Beziehungen zwischen beobachtbaren Phänomenen, während Theorien diese erklären.
3. Das Hervorbringen naturwissenschaftlicher Erkenntnisse erfordert Vorstellungsvermögen und Kreativität (»creative and imaginative nature of scientific knowledge«). Sie können nicht direkt aus Beobachtungen gefolgert werden.
4. Naturwissenschaftliches Wissen ist »theorie-beladen« (»theory-laden nature of scientific knowledge«). Vorwissen, Erfahrungen und Erwartungen beeinflussen die Arbeit von Wissenschaftlern. Sie wirken auf die Planung und Durchführung wissenschaftlicher Untersuchungen sowie die Interpretation empirischer Daten ein.

³ Die Bildungsstandards sind auf der Homepage der Kultusministerkonferenz als Download verfügbar (siehe KMK, 2004a). Zu den Standards für das Fach Physik vgl. auch Schecker (2007).

⁴ Eine ausführliche Darstellung dieser Diskussion, die auch die deutschsprachige Literatur berücksichtigt, findet sich in Hofheinz (2008, Kap. 3). Einen Überblick zum Stand der empirischen Forschung auf dem Gebiet NOS geben Lederman (2007) und Deng et al. (2011).

⁵ Siehe z. B. Lederman, Abd-El-Khalick, Bell und Schwartz (2002) für eine ursprüngliche Formulierung durch die Gruppe um Lederman.

5. Wissenschaft wird in einem sozialen und kulturellen Rahmen betrieben (»social and cultural embeddedness of scientific knowledge«). Sie beeinflusst die Kultur, in die sie eingebettet ist und wird von ihr beeinflusst.
6. Wissenschaftliches Wissen ist vorläufig (»tentative nature of scientific knowledge«). Es hat sich bewährt, ist aber niemals absolut oder sicher und kann sich verändern.
7. Es gibt nicht nur eine wissenschaftliche Methode (»myth of scientific method«). Wissenschaftliche Ergebnisse werden nicht durch eine feststehende Abfolge bestimmter Aktivitäten gewonnen.

Diese sieben Aspekte⁶ bilden die Grundlage für die Operationalisierung von NOS in vielen empirischen Studien zu Schüleransichten und -kenntnissen in diesem Bereich (vgl. Deng et al., 2011).⁷ Eine detaillierte Erörterung und Kritik der einzelnen Punkte findet sich in (M. R. Matthews, 2012). Matthews kritisiert insbesondere ihre Etablierung als eine Art »Kanon« und sieht verschiedene Probleme, die es zu eruieren und zu diskutieren gelte; so beziehe sich Ledermans Charakterisierung von NOS (Punkte 1-6) vor allem auf die Epistemologie der Naturwissenschaften, also auf Fragen wie die nach der Herkunft, Beschaffenheit und Sicherheit naturwissenschaftlichen Wissens. Matthews plädiert dafür, sich nicht darauf zu beschränken: weitere Aspekte, die ebenfalls in einem Unterricht über Naturwissenschaften thematisiert werden könnten, seien (vgl. M. R. Matthews, 2012, S. 18 ff.)

- Experimente
- Idealisierungen
- Modelle
- Werte und wissenschaftssoziologische Aspekte
- Mathematisierung
- Technologie

6 Für eine nähere Diskussion der einzelnen Punkte vgl. auch Kapitel 2 dieser Arbeit. Im Unterschied zu Punkt 2 der obigen Liste werden dort Gesetze allerdings lediglich als Teile von Theorien bzw. Theoriesystemen aufgefasst. Die Unterscheidung von Gesetzen und Theorien als Beschreibungen bzw. Erklärungen beobachtbarer Phänomene erscheint aus wissenschaftstheoretischer Sicht zumindest zweifelhaft. Erkenntnistheoretisch beziehen sich die Punkte 1-6 vor allem auf die Epistemologie der Naturwissenschaften, also auf Fragen, wie die nach der Beschaffenheit, den Bedingungen oder der Sicherheit naturwissenschaftlichen Wissens, während Punkt 7 methodologische Fragen anspricht.

7 Es sei darauf hingewiesen, dass in Lederman (2007) lediglich die Charakteristika naturwissenschaftlichen Wissens (Punkte 1-6 der obigen Liste) zum Konstrukt NOS gezählt werden, Prozesse und Methoden seiner Gewinnung (Punkt 7) dagegen als eng verknüpftes, aber von NOS zu unterscheidendes Konstrukt »scientific inquiry«. Wir folgen hier der weit verbreiteten Praxis scientific inquiry als Teilaspekt von NOS aufzufassen (vgl. auch Deng et al., 2011).

3. Grundlagen und Ziele

- Erklärungen
- Weltbild und Religion
- Theoriewahl und Rationalität
- Feminismus
- Realismus und Konstruktivismus

Matthews' Ansicht nach ist nicht begründbar, warum gerade die sieben von Lederman genannten Aspekte⁸ als Charakteristika von NOS ausgezeichnet seien.⁹ Es existierten eine Reihe weiterer Merkmale von Naturwissenschaft (s. o.), die in ähnlicher Weise bedeutsam, allgemein akzeptiert und für den Schulunterricht zugänglich seien¹⁰. In der vorliegenden Form sei die Liste in wesentlichen Punkten mehrdeutig und bedürfe einer sorgfältigeren philosophischen Charakterisierung. Außerdem berge sie die Gefahr, auf kurze, deklarative Behauptungen reduziert und von Schülern wie auch Lehrkräften als eine Art auswendig zu lernender »Katechismus« angesehen zu werden. Dies laufe jedoch gerade der angestrebten, kritischen Reflexion zuwider (M. R. Matthews, 2012, S. 11). Ähnliche Argumente wurden auch von anderen Autoren vorgebracht, insbesondere in Hinblick auf die Frage, wie »angemessene« Vorstellungen von Schülerinnen auf dem Gebiet NOS zu charakterisieren sind. Eine Zusammenfassung der diesbezüglichen Debatte gibt Deng et al. (2011).

Grenzen der Naturwissenschaften und NOS

Im deutschsprachigen Raum wurde schon früh gefordert, dass der naturwissenschaftliche Unterricht neben den Möglichkeiten auch die Grenzen der Naturwissenschaft thematisieren sollte. So sah der Philosoph und Pädagoge Theodor Litt die Kenntnis ihrer begrenzten Reichweite als wichtiges Element eines umfassenden Bildungsbegriffes an (vgl. Litt, 1952). Auch der Didaktiker Martin Wagenschein war der Auffassung, es sei notwendig, im Unterricht zu thematisieren, dass es neben der auf das Quantifizierbare in der Natur gerichteten naturwissenschaftlichen Methode auch andere Perspektiven auf die Wirklichkeit gebe. Andernfalls könnten Schülerinnen und Schüler zu der Auffassung gelangen, dass letztlich alle sinnvollen Aussagen von naturwissenschaftlicher Art seien (Wagenschein, 1965). Ähnliche Befürchtungen wurden im englischsprachigen

⁸ Matthews nennt sie die »Lederman Seven«.

⁹ Im Sinne einer offeneren Perspektive schlägt er vor, zukünftig eher von »Features of Science« anstelle von »Nature of Science« zu sprechen.

¹⁰ Diese Kriterien wurden von Lederman und anderen zur Auszeichnung und Verteidigung der Liste angeführt (vgl. M. R. Matthews (2012, S. 10) und die dort zitierte Literatur).

chigen Raum z. B. von Eastman (1969) geäußert. Auch in jüngerer Zeit wurde an verschiedener Stelle dafür plädiert, die Grenzen der Naturwissenschaften als wichtiges Thema des naturwissenschaftlichen Unterrichts zu begreifen (vgl. Poole (1995), Cobern und Loving (1998), Machamer (1998), Schecker, Fischer und Wiesner (2004), Gauch Jr (2009)). In Hinblick auf das Fach Physik schreiben z. B. Schecker et. al., dass »die Bildungswirkung von Physik (...) nur dann realisiert werden (kann), wenn im Unterricht eine wissenschaftstheoretische Reflexion über 'Rechte und Grenzen' der Physik erfolgt« (Schecker et al., 2004, S. 155).

Auch in vielen Bildungsplänen finden sich die Fähigkeit zur Reflexion über die Grenzen oder auch den Aspektcharakter naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung als anzustrebende Lernziele. Gemäß den oben erwähnten Benchmarks for Science Literacy der AAAS sollen etwa Schüler am Ende der achten Klasse wissen, dass nur empirisch Prüfbares naturwissenschaftlich untersucht werden könne:

Some matters cannot be examined usefully in a scientific way. Among them are matters that by their nature cannot be tested against observations.

Außerdem könnten die Naturwissenschaften zwar dabei helfen, die Konsequenzen bestimmter Handlungen zu untersuchen, es sei aber nicht möglich, mit ihnen zu entscheiden, ob eine Handlung moralisch oder nicht sei.¹¹

Science can sometimes be used to inform ethical decisions by identifying the likely consequences of particular actions, but science cannot be used by itself to establish that an action is moral or immoral.

Die deutschen Bildungsstandards für das Fach Physik führen dem Gebiet Nature of Science zuzuordnende Lernziele in den »Kompetenzbereichen« *Erkenntnisgewinnung* und *Bewertung* auf¹². Im Bereich *Bewertung* bezieht sich eines der Lernziele explizit auf die Grenzen der Physik (KMK, 2005, Lernziel B1, S. 12):

Die Schülerinnen und Schüler... zeigen an einfachen Beispielen die Chancen und Grenzen physikalischer Sichtweisen bei inner- und außerfachlichen Kontexten auf, [...]

¹¹ Die beiden Lernziele sind im Abschnitt »The Scientific Worldview« des Kapitel »The Nature of Science« in (AAAS, 1993) aufgeführt.

¹² Für das Fach Physik werden in den nationalen Bildungsstandards für den Erwerb des mittleren Schulabschlusses die Kompetenzbereiche *Fachwissen*, *Erkenntnisgewinnung*, *Kommunikation* und *Bewertung* unterschieden. Der Bereich *Erkenntnisgewinnung* bezieht sich auf physikalische Untersuchungsmethoden und Modelle (entspricht also weitgehend dem, was im Englischen mit dem Begriff *scientific inquiry* verbunden wird), während es im Bereich *Bewertung* darum geht, »Physikalische Sachverhalte in verschiedenen Kontexten erkennen und bewerten« zu können (KMK, 2005, S. 7).

3. Grundlagen und Ziele

Schon in der Präambel heißt es zuvor : »Ziel naturwissenschaftlicher Grundbildung ist es [...] sich mit ihren spezifischen Methoden der Erkenntnisgewinnung und deren Grenzen auseinander zu setzen.« (KMK, 2005, S. 6). In den von der Kultusministerkonferenz herausgegebenen einheitlichen Prüfungsanforderungen für die Abiturprüfung im Fach Physik wird erwartet, dass die Schülerinnen und Schüler mit dem »Aspektcharakter der Physik« vertraut sind: »Die Prüflinge haben Erfahrungen mit der Natur- und Weltbetrachtung unter physikalischer Perspektive und dem Aspektcharakter der Physik [...]« (KMK, 2004b, S. 4). Ähnliche Lernziele werden auch in den Curricula für das Fach Physik auf Länderebene formuliert. Beispielsweise sollen nach den Vorgaben des niedersächsischen Kerncurriculums für die gymnasiale Oberstufe Schülerinnen und Schüler am Ende der Einführungsphase (Klasse 10 bzw. 11) »[...] physikalische Aspekte selbstständig von außerphysikalischen trennen und am Ende der Qualifikationsphase (Klasse 12 bzw. 13) »[...] den Aspektcharakter der Wissenschaft Physik an ausgewählten Beispielen erläutern« können (KC, 2009, S. 30).

Dieser Betonung der Grenzen der Naturwissenschaft als wichtiges Element naturwissenschaftlichen Unterrichts - sowohl in der didaktischen Diskussion als auch in vielen Bildungsplänen - steht eine kaum vorhandene Berücksichtigung in der empirischen NOS-Forschung gegenüber. Soweit uns bekannt ist, existierten hierzu bis dato lediglich einzelne Items oder Subskalen, die in einigen quantitativen Untersuchungen eingesetzt wurden (siehe 4.2.1). Dies mag damit zusammenhängen, dass häufig verwendete Operationalisierungen von Nature of Science, wie die von Lederman et. al. (s. o.), vornehmlich epistemologische und (bei Hinzunahme von scientific inquiry) methodologische Merkmale enthalten¹³. Diese berühren durchaus einige Aspekte der Grenzen der Naturwissenschaften, wie etwa die Vorläufigkeit oder die Theoriebeladenheit naturwissenschaftlichen Wissens. Andere Gesichtspunkte, etwa die Frage, inwieweit die Naturwissenschaft metaphysische oder ethische Probleme lösen kann, kommen dagegen nicht vor.

Das Fehlen empirischer Studien sowie geeigneter Messinstrumente, die explizit den Ansichten von Schülerinnen und Schülern zu der Möglichkeiten und Grenzen der Naturwissenschaften gewidmet sind, war ein wesentlicher Anlass für das in dieser Arbeit beschriebene Forschungsprojekt.

¹³ Über die Ursachen für diese Beschränkung kann an dieser Stelle nur spekuliert werden. Ein Grund könnte sein, dass eine Thematisierung der (methodologischen) Grenzen der Naturwissenschaften nahezu unweigerlich mit einer Diskussion der Beziehung zwischen naturwissenschaftlichen und metaphysischen Aussagen verbunden ist. Über diese Beziehung besteht aber keineswegs Konsens. Eine weitere Ursache könnte die Kritik an der methodologisch-logischen Analyse durch Thomas Kuhn und die heutige Popularität konstruktivistischer und/oder soziologisch-historisch orientierter Wissenschaftstheorien sein (vgl. Kapitel 2).

3.1.1. Ansichten zur Reichweite der Naturwissenschaften

Zu den empirisch untersuchten Vorstellungen von Schülerinnen und Schülern über die »Natur der Naturwissenschaften« gehören unter anderem solche über

- die Person des Wissenschaftlers, seine Arbeit und ihre Bedingungen,
- den epistemologischen Status naturwissenschaftlichen Wissens,
- das Experiment im Unterricht und als Forschungspraxis,
- sowie die naturwissenschaftliche Wissensproduktion und ihre Bedingungen

(vgl. Höttecke, 2001, S. 7). Unter diesen Punkten berühren am ehesten der zweite und der vierte die Frage nach der Reichweite der Naturwissenschaften, insofern sie die Sicherheit und den Status naturwissenschaftlichen Wissens betreffen. Die empirischen Studien zeigen hier allerdings kein einheitliches Bild. Eine häufiger gemachte Beobachtung ist, dass viele »Schüler Naturgesetze als unzweifelhafte Abbilder der in der Natur beobachteten Gesetzmäßigkeiten« (Höttecke, 2001, S. 13) verstehen¹⁴. Auch dass naturwissenschaftliches Wissen durch menschliche Kreativität hervorgebracht wird und vorläufiger Art ist, scheint vielen Schülern nicht hinreichend bekannt zu sein (vgl. Lederman, 2007, S. 838).

Wie erwähnt, wurden Überzeugungen, die direkt die Reichweite der Naturwissenschaften betreffen, bis dato kaum empirisch untersucht. In der internationalen Vergleichsstudie ROSE (*The Relevance of Science Education*) wurden die Einstellungen Jugendlicher gegenüber Naturwissenschaft und Technik erhoben. Dabei sollte unter anderem auch die Aussage »Science and technology can solve nearly all problems« bewertet werden. Abbildung 3.1 zeigt die Ergebnisse für dieses Item, differenziert nach Ländern und Geschlecht. Demnach schätzen Jugendliche in europäischen Ländern die Möglichkeiten von Naturwissenschaft und Technik wesentlich skeptischer ein als Jugendliche in weniger industrialisierten, afrikanischen oder asiatischen Ländern. In Europa existieren außerdem größere Unterschiede zwischen den Geschlechtern: Jungen beurteilen die Möglichkeiten in der Tendenz positiver als Mädchen. In einer Reihe von qualitativen Studien haben Hansson, Lindahl und Redfors untersucht, welches metaphysischen Ansichten schwedische Oberstufenschüler mit Naturwissenschaft assoziieren und in welcher Beziehung diese zu ihren eigenen Überzeugungen stehen (Hansson & Redfors, 2006, 2007a, 2007b; Hansson & Lindahl, 2007, 2010; Hansson, 2014). Ein wesentliches Ergebnis dieser Untersuchungen ist, dass hier häufig eine

¹⁴ Diese Vorstellung wird häufig als »naiver Realismus« bezeichnet.

3. Grundlagen und Ziele

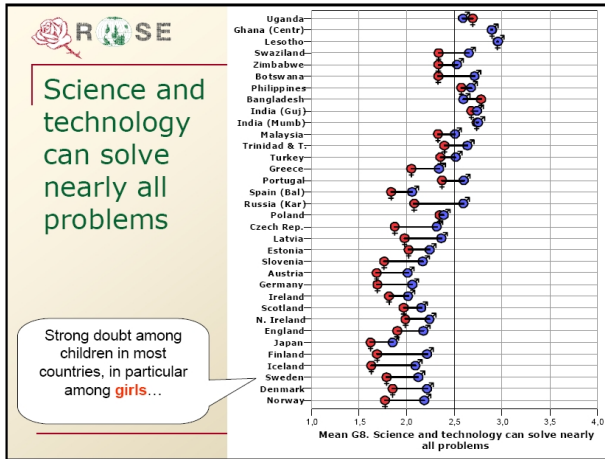


Abb. 3.1. Bewertungen eines Items der ROSE-Studie zu den Möglichkeiten von Naturwissenschaft und Technik. (Bildquelle: Sjøberg & Schreiner, 2007, S. 18)

Diskrepanz besteht: Naturwissenschaft wird oft mit szientistischen Positionen verknüpft, die von den Schülern selbst aber nicht geteilt werden¹⁵. In Hansson und Redfors (2007a) wurde untersucht, inwieweit Schüler eine naturwissenschaftliche Sicht auf das Universum als vereinbar mit religiösen Überzeugungen (wie zum Beispiel dem Glauben an einen Schöpfer oder die Existenz von Wundern) ansehen¹⁶. Eine solche Vereinbarkeit wurde von vielen Schülern mit der Begründung verneint, dass Naturwissenschaft und Religion zwei verschiedene, einander ausschließende Beschreibungen der Realität seien (ebd., S. 468). Gemäß einer physikalischen Weltsicht seien nur naturwissenschaftliche Erklärungen legitim und alles, was existiere, müsse auch naturwissenschaftlich erklär- und beweisbar sein. Für religiöse Überzeugungen - wie z. B. der an die Existenz von Wundern - seien solche Erklärungen aber nicht möglich, und daher mit der Naturwissenschaft auch nicht vereinbar (ebd., S. 471 - 472). Zahlreiche Schüler sehen also ein physikalisches oder naturwissenschaftliches Weltbild als notwendig verbunden mit epistemologischen oder ontologischen Prämissen, die als szientistisch charakterisiert werden können. Hansson und Redfors konnten

¹⁵ In Übereinstimmung mit den Resultaten der ROSE-Studie vertreten die meisten Schüler in diesen Untersuchungen keine besonders szientistischen Ansichten.

¹⁶ Methodisch wurde in dieser Studie ein offener Fragebogen und anschließende, halbstrukturierte Interviews eingesetzt. Als inhaltlicher Kontext wurde die Kosmologie gewählt (wie auch in den anderen oben genannten Arbeiten). Hansson und Redfors begründen diese Wahl damit, dass die Kosmologie häufig mit grundlegenden, existenziellen Fragen verknüpft wird. Dies war auch für das von uns durchgeführte Forschungsprojekt ein wesentlicher Grund für die Wahl dieses Kontextes.

diese Beobachtung in weiteren Studien bestätigen: In der in (Hansson & Redfors, 2007b) beschriebenen Untersuchung legten sie Schülern verschiedene Aussagen metaphysischer Natur vor, und forderten sie auf diese in die drei Kategorien

- mit der Physik verbunden,
- mit der Physik kombinierbar (also nicht im Widerspruch zu ihr),
- im Widerspruch zur Physik

einzuordnen. In einem von Cobern inspirierten Vorgehen (vgl. Cobern, 2000) wurden dazu die Aussagen auf Karten geschrieben und die Schüler gebeten, diese den drei Kategorien zuzuordnen. Anschließend wurden sie aufgefordert über ihre Wahl zu diskutieren und - als Gruppe - eine erneute Zuordnung vorzunehmen (ebd., S. 1011). Die Autoren selbst ordneten jede diese Aussagen einer der folgenden drei Gruppen zu (ebd., S. 1011)¹⁷:

1. notwendige Annahmen der Naturwissenschaft
2. szientistische Behauptungen
3. Aussagen, die häufig mit religiösen Weltbildern assoziiert werden

In ihrer Analyse der Gruppendiskussionen kommen die Autoren zu dem Schluss, dass einerseits vielen Schülern notwendige Voraussetzungen der Naturwissenschaft nicht hinreichend bekannt seien, sie diese andererseits aber mit szientistischen und atheistischen Prämissen assoziierten. Hansson und Redfors sehen darin die Gefahr eines potentiellen Identitätsproblems, und zwar bei solchen Schülern, die Naturwissenschaft mit szientistischen Annahmen verbinden, selbst aber Überzeugungen haben, die mit diesen Annahmen in Konflikt stehen. Ein derartiger Konflikt könne die Motivation, sich mit Naturwissenschaft zu beschäftigen, vermindern (ebd., S. 1023)¹⁸. Indizien, die diese Hypothese stützen, wurden von Hansson und Lindahl in einer Interviewstudie mit Schülern, die kurz vor Abschluss ihrer Schullaufbahn standen, gefunden (Hansson und Lindahl (2007), Hansson und Lindahl (2010)). Schüler mit wenigen Konflikten zwischen dem eigenen und dem mit der Naturwissenschaft assoziiertem Weltbild waren in der Mehrzahl sehr an Naturwissenschaft interessiert und

17 Zur ersten Gruppe gehörten Aussagen wie »es gibt Regularität und Ordnung im Universum« und »Menschen können etwas von dieser Ordnung verstehen«. Als szientistische Aussagen (zweite Gruppe) wurden etwa »Alles hat eine naturwissenschaftliche Erklärung« oder » Dinge, die nicht erklärt oder bewiesen werden können, existieren nicht« gewählt. Zur dritten Gruppe gehörten unter anderem »Es existiert ein Gott oder eine göttliche Macht« und »Ein Gott oder eine göttliche Macht hat das Universum erschaffen«. (Übertragung der Aussagen aus dem Englischen vom Verfasser dieser Arbeit).

18 In ähnlicher Weise hatten dies zuvor bereits Cobern und Loving vermutet (Cobern und Loving (1998); vgl. auch Cobern (1991, 1996)). Sie weisen außerdem darauf hin, dass auch Schüler, die szientistischen Positionen zustimmen, später enttäuscht und desinteressiert werden könnten, wenn sie bemerkten, dass die Naturwissenschaft die hohen Erwartungen nicht erfüllen könne.

3. Grundlagen und Ziele

wählten häufig in der Oberstufe ein naturwissenschaftliches Fächerprofil. In den Fällen, in denen dies nicht der Fall war, gaben sie als Gründe mangelnde Begabung (insbesondere mathematische) oder das Überwiegen anderer Interessen an. Schüler mit vielen Konflikten zeigten dagegen ein geringes Interesse an Naturwissenschaft und wählten mehrheitlich nicht-naturwissenschaftliche Fächerprofile¹⁹.

3.1.2. Weltbild, Identität und Interesse

Inwieweit Weltbild, Identität und Interesse relevante Faktoren für das Erlernen von Naturwissenschaft sind, wurde in der Didaktik - weit über den hier betrachteten Kontext hinaus - diskutiert und sowohl theoretisch als auch empirisch untersucht. In besonderem Maße gilt dies für die Bedeutung des Interesses²⁰. Da alle drei Konstrukte für die vorliegende Arbeit von Bedeutung sind, wird auf sie im Folgenden etwas näher eingegangen.

Interesse

Theoretische Konzepte Lernen lässt sich als Prozess der Aneignung von Kenntnissen und Fähigkeiten auffassen. Der Mensch lernt vermutlich ständig, teils beiläufig und unbewusst, teils aktiv, mit einer bewußten Lernabsicht. Vor allem mit letzterer Art des Lernens - dem sogenannten intentionalen Lernen - beschäftigt sich die pädagogische Psychologie (Krapp & Hascher, 2014b). Theorien zur Lernmotivation, zu denen auch die Interessentheorien zählen, beschäftigen sich mit den psychischen Mechanismen und Ursachen des intentionalen Lernens²¹. Als wichtige Komponente der Lernmotivation gilt das In-

¹⁹ Auch in diesen Gruppen gab es jedoch einige Schüler, die sich für ein naturwissenschaftliches Profil entschieden hatten. Sie betrachteten die Naturwissenschaft als sinnvoll, interessant und nützlich (etwa in Hinblick auf den späteren Beruf) - trotz der Unterschiede zwischen dem (vermuteten) naturwissenschaftlichen und ihrem eigenen Weltbild. Hansson und Lindahl sehen hierin Beispiele für »interkulturelles Lernen« (engl. »cross-cultural learning« im Sinne von Aikenhead (1996)), bei dem bestehende Konflikte nicht automatisch zur Abwendung von der Naturwissenschaft führen.

²⁰ Ein wichtiges Ergebnis dieser Forschung ist der positive Zusammenhang zwischen Interesse und Lernerfolg, der empirisch belegt werden konnte (vgl. Schiefele, 2009, S. 169). In der Geschichte der Pädagogik wurde zudem schon früh dafür plädiert (z. B. von Johann Friedrich Herbart) das Interesse an Naturwissenschaft auch als ein eigenständiges Ziel schulischer Bildung zu begreifen.

²¹ *Motivationen* bezeichnen in der Psychologie ganz allgemein die psychischen Ursachen und Gründe menschlichen Handelns (vgl. z. B. Schiefele, 2009; Krapp & Hascher, 2014a). *Lernmotivation* ist ein Sammelbegriff für Motivationen, die dem Lernen zugrunde liegen. Diese konkurrieren häufig mit anderen Formen der Motivation, wie z. B. dem Bedürfnis nach sozialem Kontakt (»Ich gehe lieber mit Freunden aus als zu Hause zu lernen«) oder körperlichen Bedürfnissen wie Müdigkeit oder Hunger (Spinath, 2011). Als wichtige Faktoren der Lernmotivation gelten u. a. Interesse, extrinsische und intrinsische Motivation, persönliche Erwartungen, Ziele und Werte, sowie Motive, etwa das »Leistungsmotiv«. Für einen aktuellen Überblick der verschiedenen motivationalen Konstrukte und

teresse. Grundlage der meisten modernen Konzeptualisierungen des Interesses ist die sogenannte Person-Gegenstands-Konzeption: Interesse wird aufgefasst als eine »spezifische Beziehung zwischen einer Person und einem Gegenstand« (Schiefele, 2009, S. 164). Es ist keine Einstellung oder allgemeines Persönlichkeitsmerkmal, sondern charakterisiert durch die Relation zwischen einer Person und einem konkreten Objekt, das ein materieller Gegenstand, ein Thema oder auch eine Tätigkeit sein kann. Ausschlaggebend für die Qualifizierung eines Objektes als Interessengegenstand ist, dass es von der Person als Sinn- und Bedeutungseinheit wahrgenommen wird²² (vgl. Ferdinand, 2013, S. 22). Im Kontext schulischen Lernens können dies etwa Unterrichtsthemen, Sachgebiete oder Schulfächer sein²³. Das Spezifische einer auf Interesse basierenden Person-Gegenstandsbeziehung wird nun darin gesehen, dass sie sich im subjektivem Erleben einer Person durch das Zusammentreffen von zwei positiven Bewertungstendenzen äußert: eine hohe Wertschätzung des Interessengegenstandes (sog. wertbezogene Valenz) und eine positive emotionale Erfahrung während der Auseinandersetzung mit diesem (sog. emotionale Valenz) (Krapp, 1998). Diese positiven kognitiv-affektiven Bewertungen veranlassen die Person sich mit dem Interessengegenstand auseinanderzusetzen, ihn zu erschließen und so ein vertieftes Wissen und neue Fähigkeiten zu erwerben: »Über seine Interessen erarbeitet sich der Mensch Sach- und Sinnzusammenhänge« (Krapp, 1998, S. 186).

Als wichtiges Merkmal interessengeleiteter Lernhandlungen gilt ihr intrinsischer Charakter. Eine Person beschäftigt sich dauerhaft mit einem Interessengegenstand, weil ihr dieser »am Herzen liegt« und sie sich mit ihm *identifiziert* (Krapp, 1998, S. 180), im Unterschied zu extrinsisch motivierten Handlungen, deren Ursache äußerer Druck oder Zwang, oder das Erreichen nicht direkt mit dem Lerngegenstand verbundener Ziele ist²⁴.

Zentrale Fragen der Interessentheorie sind nun, wie neue Interessen entstehen und welche Faktoren ihre Entwicklung beeinflussen. In dieser Hinsicht ist es

der Theorieentwicklung auf diesem Gebiet siehe z. B. Schiefele (2009), Krapp und Hascher (2014b) oder Schmalt und Langens (2009).

22 Allerdings beschränkt sich die Interessentheorie dabei offenbar auf nichtpersonale Objekte, d. h. soziale Beziehungen werden ausgeklammert (Fink, 1991). Auch hinsichtlich der Frage, ob Tätigkeiten einbezogen werden sollten, gibt es keine völlige Einigkeit (siehe Ferdinand, 2013, S. 23).

23 Diese drei Interessensvarianten werden üblicherweise als *topologisches Interesse* (Interesse an einem Thema), *Sachinteresse* (Interesse an einem Sachgebiet) und *Fachinteresse* (Interesse an einem Schulfach) bezeichnet.

24 Dies wäre etwa der Fall, wenn ein Schüler sich mit einer Aufgabe beschäftigt, weil er eine gute Note haben oder sich nicht blamieren möchte (Spinath, 2011, S. 47). Es ist natürlich prinzipiell möglich, dass beide Motivationsarten gemeinsam vorhanden sind. Es wurde allerdings beobachtet, dass extrinsische Motivationen - wie z. B. Belohnungen oder Strafordrohungen - die intrinsische Motivation beeinträchtigen können (sog. »Korrumpierungseffekt«).

3. Grundlagen und Ziele

üblich, ein relativ dauerhaftes Interesse, das als dispositionales Merkmal einer Person aufgefasst werden kann, als *individuelles* Interesse zu bezeichnen. Davon unterschieden wird das sogenannte *situationale* Interesse, das zum Beispiel durch die Anreizqualität einer bestimmten Situation²⁵ oder Lernumgebung hervorgerufen werden kann, aber zeitlich nicht stabil ist. Es wird davon ausgegangen, dass wiederholte Auseinandersetzungen zwischen Person und Interessengegenstand dazu führen können, dass situationales Interesse in individuelles Interesse übergeht. Zur Frage, wie und unter welchen Bedingungen dies geschieht, wurden im Rahmen der sogenannten Person-Gegenstands-Theorie des Interesses (engl. person-object theory of interest (POI)) einige Vorschläge gemacht, die im Folgenden kurz vorgestellt werden²⁶.

Die POI nimmt an, dass sowohl das Entstehen eines situationalen Interesses als auch die Ausbildung eines individuellen Interesses durch ein »duales« kognitiv-emotionales Regulationssystem gesteuert wird. Die kognitive Komponente dieses Systems funktioniert auf der Ebene bewusst-planvoller Überlegungen und subjektiv als »vernünftig« wahrgenommener Entscheidungen. Die emotionale Komponente arbeitet dagegen weitgehend auf der Basis primärer Erlebnisqualitäten, wie Gefühlen und Empfindungen, die oftmals nur unterbewusst wahrgenommen werden (Krapp & Hascher, 2014b, S. 268). Es wird nun postuliert, dass für die Entwicklung von Interesse beide Komponenten bedeutsam sind: sowohl das unmittelbare emotionale Erleben während der Beschäftigung mit einem Interessengegenstand als auch dessen bewusst-rationale Bewertung (»Herz und Verstand«). Nur wenn in beiden Fällen ein insgesamt positives Feedback erfolge, könne eine Person dauerhaftes Interesse an einem Gegenstand entwickeln. Hinsichtlich der rationalen Bewertung werden als wichtige Kriterien genannt, dass die Beschäftigung mit dem Gegenstand von der Person als sinnvoll und bedeutsam eingeschätzt wird (Krapp, 2005, S. 384). Dabei ist zu beachten, dass diese Einschätzung vor dem Hintergrund aktuell verinnerlichter Werte und Zielorientierungen vorgenommen wird. Hinsichtlich des emotionalen Erlebens wird vermutet, dass es vor allem dann als positiv empfunden bzw. bewertet wird, wenn es im Einklang mit »grundlegenden psychologischen Bedürfnissen« (»basic psychological needs«) steht. Im Anschluss an die Selbstbestimmungstheorie der Motivation (»self-determination theory«) von Deci und Ryan (vgl. z. B. Deci & Ryan, 2000, 2002) wird angenommen, dass dabei drei Bedürfnisse von besonderer Bedeutung sind: das Streben nach Kompetenz, Autonomie und

²⁵ dies kann zum Beispiel ein spannender Vortrag sein, der erhöhte Aufmerksamkeit, Neugier oder Faszination hervorruft (Schiefele, 2009, S. 164).

²⁶ Die POI ist eine pädagogisch orientierte Interessentheorie, die von Schiefele, Krapp, Prenzel und anderen in jüngerer Zeit entwickelt wurde (vgl. z. B. Krapp, 2005; Krapp & Prenzel, 2011). Insbesondere in der didaktischen Forschung wird sie bei empirischen Interessenstudien häufig als theoretischer Rahmen zugrunde gelegt (siehe z. B. Daniels, 2008; Ferdinand, 2013).

sozialer Eingebundenheit²⁷. Das Bedürfnis nach Kompetenz - oder genauer: das Bedürfnis nach dem Erleben von Kompetenz - bezieht sich auf das Empfinden mit dem eigenen Handeln etwas bewirken und vorgegebenen oder selbst gewählten Aufgaben gerecht werden zu können²⁸. Das Streben nach Autonomie »bezieht sich auf die natürliche Tendenz, sich selbst als primäre Ursache des Handelns erleben zu wollen« (Krapp & Ryan, 2002, S. 72). Es ist » eine wichtige Voraussetzung für das Kompetenz erleben, da die erfolgreiche Bewältigung eine Aufgabe nur dann als Bestätigung des eigenen Könnens erfahren wird, wenn sie weit gehend selbstständig gelöst wurde« (Krapp, 1998, S. 194). Schließlich bezieht sich soziale Eingebundenheit auf das Bedürfnis mit anderen Menschen verbunden zu sein und von diesen anerkannt zu werden, oder einer Gruppe von Personen anzugehören, die einem wichtig ist. Die Bedeutung dieses Bedürfnisses in Hinblick auf das Lernen besteht u. a. darin, dass es einen Anreiz bieten kann sich mit neuen Tätigkeits- oder Wissensgebieten auseinanderzusetzen - nämlich gerade solchen, die von den Menschen, die einem wichtig sind, geschätzt werden (Krapp, 1998). Die POI nimmt an, dass die Voraussetzungen für die Entwicklung eines individuellen Interesses gerade dann vorliegen, wenn in der Auseinandersetzung mit dem Interessengegenstand die drei grundlegenden psychischen Bedürfnisse hinreichend erfüllt sind. Krapp und andere haben vorgeschlagen, drei Phasen der Interessenentwicklung zu unterscheiden²⁹ (Krapp, 2002)

1. Das situationale Interesse an einem Gegenstand wird durch eine Aufmerksamkeit oder Neugier hervorrufende Situation geweckt (*interest catching* oder *interest triggering*).
2. Das situationale Interesse bleibt über einen längeren Zeitraum erhalten und besitzt bereits einen gewissen intrinsischen Charakter (*working interest*). Im Kontext schulischen Lernens könnte dies zum Beispiel das über den Zeitraum seiner Behandlung im Unterricht bestehen bleibende Interesse eines Schülers an einem bestimmten Thema sein. Für diese

²⁷ Deci und Ryan gehen davon aus, dass beim Menschen neben grundlegenden physiologischen Bedürfnissen (beispielsweise Hunger oder das Schlafbedürfnis) genauso fundamentale psychische Bedürfnisse existieren. Sowie die physiologischen Bedürfnisse der Aufrechterhaltung der körperlichen Funktionsfähigkeit dienen, wird die Funktion der psychischen Grundbedürfnisse darin gesehen, die mentale Gesundheit des Individuums zu gewährleisten und zu fördern. Dem liegt die Vorstellung einer im Menschen angelegten Tendenz zur Entwicklung einer selbstbestimmten Persönlichkeit und einer personalen Identität zugrunde.

²⁸ Kompetenzerleben ist eng verknüpft mit dem »Gefühl der Selbstwirksamkeit« (»feeling of self-efficacy«). Dieses spielt in verschiedenen Motivationstheorien eine wichtige Rolle. So sind etwa in der Selbstwirksamkeitstheorie von Bandura die Einschätzung der eigenen Fähigkeit zur Ausführung einer Handlung (efficy expectation) und deren erwartetes Ergebnis (outcome expectation) zentrale Komponenten der Verhaltenssteuerung. In der Selbstbestimmungstheorie und der POI werden diese dagegen lediglich als eine von mehreren motivationalen Faktoren betrachtet (Krapp & Ryan, 2002)

²⁹ Ein detaillierteres Vier-Phasen-Modell wurde von Hidi und Renninger vorgeschlagen; siehe (Hidi & Renninger, 2006).

3. Grundlagen und Ziele

Phase wird es als wichtig angesehen, dass die Inhalte vom Lernenden als sinn- und bedeutungsvoll in Hinblick auf eigene, längerfristige Ziele und Motive eingestuft werden (Krapp, 2002, S. 399). Im Laufe seines Lebens kann ein Mensch viele solcher working interests entwickeln. Sie bleiben aber noch von äußeren Anregungen abhängig und lassen nach, wenn diese ausbleiben.

3. Vergleichsweise selten bildet sich dagegen ein zeitlich stabiles, individuelles Interesse aus. Dies wäre zum Beispiel der Fall, wenn einem Unterricht erworbenes Interesse an einem Thema oder Fach erhalten bleibt und die Beschäftigung damit etwa als Hobby, Liebhaberei oder gar Beruf weitergeführt wird. In diesem Fall macht sie das Individuum die mit dem Interessengegenstand verbundenen Aufgaben und Ziele zu eigen und identifiziert sich zunehmend mit ihnen (*Internalisation* und *Identifikation*). Das neue Interesse wird in das subjektive Wertesystem integriert und als Teil des personalen Identität wahrgenommen. Entscheidend für diesen Übergang ist, dass der Interessengegenstand als hinreichend bedeutsam eingeschätzt wird, sowie eine angemessene Befriedigung der »basic needs« (Krapp & Hascher, 2014b, S. 267 f.).

Wenn die Annahme zutrifft, dass die Interessengenese von wenigen grundlegenden Bedürfnissen angetrieben wird, stellt sich natürlich die Frage, warum Menschen so unterschiedliche individuelle Interessen entwickeln. Es ist naheliegend, dass hierbei sowohl Unterschiede in den angeborenen Veranlagungen und Begabungen der Menschen, wie auch der physischen und sozialen Bedingungen unter denen sie aufwachsen, eine wichtige Rolle spielen. In der Interaktion mit dieser inneren und äußeren Umwelt entwickelt der Mensch im Laufe seines Lebens eine zunehmend individuelle und differenzierte Persönlichkeitsstruktur, zu der neben kognitiven Merkmalen auch emotionale und motivationale Komponenten gehören³⁰ (Krapp & Hascher, 2014b, S. 259).

Auf der Basis empirischer Ergebnisse und allgemeiner entwicklungspsychologischer Überlegungen wurden von Todt und anderen typische Etappen der Interessenentwicklung im Kindes- und Jugendalter vorgeschlagen (vgl. z. B. Daniels, 2008; Krapp & Hascher, 2014b): Demnach dominieren in der frühen Kindheit (bis etwa 4 Jahre) *universelle* Interessen. Kleinkinder zeigen ein hohes Interesse die Natur der physikalischen und sozialen Welt um sie herum zu erkunden. Diese Phase dient primär dem »Aufbau allgemeiner mentaler Strukturen und Kompetenzen« (Krapp & Hascher, 2014b, S. 266). In der nächsten Phase kommt es zu einer ersten geschlechtsspezifischen Differenzierung: Kinder lernen

³⁰ Der Begriff *Persönlichkeit* - genau so wie oben *personale Identität* - wird hier nicht näher spezifiziert. Ein wenig ausführlicher wird darauf im Abschnitt 3.1.2 eingegangen.

die Geschlechter zu unterscheiden und entwickeln eine »Geschlechtsrollenidentität«. Sie »filtern« ihre Interessen gemäß den vorherrschenden Rollenstereotypen, wodurch geschlechtsspezifische *kollektive* Interessen entstehen. In der dritten Phase (ab etwa 7 Jahren) beginnen Kinder »Selbstkonzepte« hinsichtlich ihrer Fähigkeiten zu entwickeln. Hierbei spielt die Schule eine wichtige Rolle: Schüler erhalten einerseits durch die Lehrkräfte eine Rückmeldung über ihre Fähigkeiten und andererseits durch eigene Vergleiche mit ihren Mitschülern³¹. Sie schätzen ihre Leistungsfähigkeit in den verschiedenen Schulfächern ein und entwickeln »fachspezifische Fähigkeitsselbstkonzepte«. Ihre schulischen Interessen richten sich tendenziell auf Fächer mit einem positiven Selbstkonzept aus. Ab einem Alter von etwa 10 Jahren beginnen Jugendliche Vorstellungen über ihre aktuelle und zukünftige Position in der Gesellschaft zu entwickeln. Das gesellschaftliche Prestige und die soziale Bedeutung von Berufen wird wahrgenommen und beeinflusst die Entwicklung individueller Interessen. In der Adoleszenz beginnen Jugendliche ihre persönliche Identität zu erforschen und versuchen ein kohärentes Selbstbild aufzubauen. Sie werden sich ihrer Interessen stärker bewusst und akzentuieren diejenigen, die mit ihrem Selbstbild im Einklang stehen. Solche, die damit nicht vereinbar sind, werden dagegen ausgeschlossen. Insgesamt ist nach diesem Modell die zeitliche Entwicklung der Interessen also durch zwei Tendenzen gekennzeichnet: eine Differenzierung auf interindividueller Ebene und eine Fokussierung auf innerindividueller Ebene. Ausgehend von einer nahezu universellen Interessiertheit am Lebensanfang entwickeln sich zunehmend spezifische Vorstellungen über die eigene Geschlechtsrolle, die eigenen Fähigkeiten, die eigene Position in der Gesellschaft und die eigene persönliche Zukunft. Die Integration dieser Vorstellungen in das Bild, das eine Person von sich selbst hat, akzentuieren seine Interessen und schränken sie zugleich ein³² (Daniels, 2008, S. 108 f.).

31 Neben diesen interindividuellen, sozialen Bezugsnormen besitzen Kinder offenbar auch eine angeborene Tendenz zur Selbstbewertung ihrer Handlungsergebnisse. Von Anfang an versuchen sie ihre Fähigkeiten zu verbessern und freuen sich über Fortschritte dabei (Krapp & Hascher, 2014b, S. 265).

32 Von Hofer (vgl. Hofer, 2010) wurde kürzlich vorgeschlagen, die Formierung individueller Interessen im Jugendalter als einen Prozess der Selbstregulation zu beschreiben: Für das Individuum entstehen mit der Integration neuer Vorstellungen in sein Selbstbild stets auch neue Entwicklungsziele. Es ist so konfrontiert mit einer dynamischen Hierarchie verschiedener, u. U. miteinander konkurrierender Ziele. Anhand dieser Zielkomplexes werden potentielle Interessengegenstände bewertet. Ist die Bewertung der ersten Auseinandersetzung mit einem Gegenstand hinreichend positiv, erhöht sich die Wahrscheinlichkeit einer erneuten Beschäftigung damit. In wiederholt durchlaufenen Schleifen aus Exploration, Feedback und Auswahl verstärkt sich das Interesse an positiv bewerteten Gegenständen, während andere zunehmend weniger beachtet werden. Die Endlichkeit äußerer und innerer Ressourcen (z. B. des Aufmerksamkeits- und Zeitbudgets) sowie die Konkurrenz der Ziele führt schließlich zur Stabilisierung der Interessenstruktur und Fokussierung auf relativ wenige individuelle Interessen.

3. Grundlagen und Ziele

Empirische Befunde Zentrale Hypothesen der oben skizzierten Person-Gegenstands-Theorie des Interesses konnten von ihren Vertretern (und anderen) durch quantitative und qualitative empirische Untersuchungen gestützt werden. Dies betrifft insbesondere die These, dass die drei psychischen Grundbedürfnisse Autonomie, Kompetenzerleben und soziale Eingebundenheit für die Ausbildung und Aufrechterhaltung schulischer Interessen von Bedeutung sind³³. So konnte in einer Reihe von Studien bestätigt werden, dass Unterrichtsbedingungen, die Schülern ein höheres Maß an Autonomieerleben ermöglichen, zu tendenziell höherem situationalen Interesse am Unterrichtsgegenstand führen. Ein ähnlicher Effekt wurde hinsichtlich der Wirkung des Kompetenzerlebens gezeigt. Hierbei ist wichtig, dass nach Wahrnehmung der Schüler die Schwierigkeit des Unterrichts ihren eigenen Fähigkeiten entspricht; Überforderung kann aufgrund von Inkompetenzerleben und Leistungsangst, Unterforderung aufgrund von Langeweile zu Desinteresse führen. Die Relevanz der sozialen Eingebundenheit für das Interesse ist empirisch weniger gut belegt. Es konnte aber besonders bei jüngeren Kindern gezeigt werden, dass die Beziehung zu Lehrkräften und Eltern (insbesondere deren Engagement und Unterstützung) für die Aufrechterhaltung des (situationalen) Interesses wichtig sein können (siehe Daniels (2008, S. 39 ff.) für weitere Details und Hinweise auf die Originalliteratur). Retrospektive Interviewstudien an Berufsschülern scheinen darauf hinzudeuten, dass alle drei Grundbedürfnisse auch einen substanziellen Einfluss auf die Entwicklung individueller, berufsspezifischer Interessen haben (vgl. Krapp, 2005). Eine kürzlich durchgeführte quantitative Längsschnittstudie an über 1500 Realschülern im Fach Sozialkunde zeigte alle drei Grundbedürfnisse als signifikante Kovariaten auf das Fachinteresse (dies betrifft sowohl das situationale wie auch das individuelle Fachinteresse; siehe Ferdinand (2013)). Als signifikante Faktoren für die *Entwicklung* des Fachinteresses über den Erhebungszeitraum von sechs Monaten konnten in dieser Studie das Autonomieerleben und die ebenfalls erhobene Bedeutsamkeit der Unterrichtsinhalte identifiziert werden (nicht jedoch die soziale Eingebundenheit). Emotionale und wertbezogene Komponenten (Bedeutsamkeit) ließen sich dabei statistisch voneinander trennen. Eine Interviewstudie mit Schülern einer elften Klasse zu ihrer Sicht auf das Fach Physik ergab, dass auch die subjektive wahrgenommene Sinnhaftigkeit von Unterrichtsinhalten für die Entwicklung individueller fachlicher Interessen von hoher Bedeutung ist (Lechte, 2008). Dies ist in Übereinstimmung mit der Interessentheorie, die

³³ Eine Kernaussage, nämlich dass emotionales Erleben - und nicht nur kognitive Bewertungen - eng mit der Ausrichtung motivationalen Handelns verknüpft ist, wird im Übrigen auch durch neuropsychologische Erkenntnisse gestützt: Sowohl positive Empfindungen (z. B. das Erleben von »Freude«) als auch motivationale Antriebe (»Lust« etwas zu tun) werden offenbar beide maßgeblich vom Botenstoff Dopamin im sog. mesolimbischen System gesteuert (siehe z. B. Schmalz und Langens (2009).

Bedeutsamkeit und Sinnhaftigkeit als wichtigste wertbezogene Komponenten für die Aufrechterhaltung individuellen Interesses postuliert.

Hinsichtlich der Entwicklung des Interesses an Schulfächern über einen längeren Zeitraum hinweg, stellen die meisten Studien eine generelle Tendenz zur Abnahme fest. Dieser Trend scheint über die gesamte Schulzeit anzuhalten und für nahezu alle Schulfächer und Schulformen zu gelten (vgl. z. B. Schiefele (2009, S. 171), Ferdinand (2013, S. 52 f.)). Allerdings ist das Ausmaß der Abnahme zeitlich nicht konstant; außerdem konnten signifikante fächer- und geschlechtsspezifische Unterschiede festgestellt werden. So scheint der Interessenverlust sowohl im Verlauf der Sekundarstufe I als auch mit dem Eintritt in die gymnasiale Oberstufe tendenziell nachzulassen (in einigen Fächern konnte ein relativ stabiles Interesse in der Oberstufe beobachtet werden (Ferdinand, 2013, S. 52)). Vergleichsweise stark verringert sich in der Sekundarstufe I das Interesse an Mathematik und den Naturwissenschaften Physik und Chemie (vgl. z. B. Daniels, 2008). Der Interessenverlust am Fach Physik ist dabei bei Mädchen noch ausgeprägter als bei Jungen, was aufgrund eines ohnehin geringeren Ausgangsinteresses zu relativ gravierenden Unterschieden im Verlauf der Schulzeit führt³⁴ (L. Hoffmann, Häußler & Lehrke, 1998). Dabei ist zu beachten, dass dies lediglich für das durchschnittliche Interesse am Fach Physik gilt. Insbesondere konnte festgestellt werden, dass das Interesse stark vom Unterrichtskontext abhängt. Beispielsweise zeigten sowohl Jungen als auch Mädchen ein vergleichsweise großes Interesse am Kontext Astronomie/Universum (vgl. z. B. Elster, 2007).

In der Literatur werden vor allem die folgenden drei Ursachen für den allgemeinen Interessenverlust im Laufe der Schulzeit diskutiert (vgl. Daniels, 2008; Ferdinand, 2013; Schiefele, 2009):

1. *Mangelhafte Bedürfnisbefriedigung im Unterricht.* Unterrichtsmerkmale wie Themen, Kontexte, Methoden oder die Unterrichtsführung durch die Lehrkraft sind nicht hinreichend im Einklang mit den Bedürfnissen der Schüler (insbesondere den drei »basic needs«).
2. *Entwicklungsbedingte Änderungen der Interessenstruktur.* Hierzu zählen Verunsicherungen bezüglich der eigenen Fähigkeiten - vor allem in der Pubertät - und damit einhergehender Interessenverlust, Geschlechtsrollenentwicklung und Identitätsfindung oder intensiviertere Freizeitbeschäftigungen. Außerschulische Interessen gewinnen so an Bedeutung und konkurrieren mit den schulischen.

³⁴ Neuere internationale Vergleichsstudien deuten aber darauf hin, dass sich diese Unterschiede inzwischen verkleinert haben (Krapp & Prenzel, 2011, S. 41 f.).

3. Grundlagen und Ziele

3. *Interessendifferenzierung.* Die Schüler entwickeln anhand inter- und intraindividuelle Vergleiche zunehmend stabile Fähigkeitsselbstkonzepte für die einzelnen Fächer. Sie konzentrieren ihr Interesse auf Fächer, in denen sie ihre Fähigkeit höher einschätzen und die zu ihrem sich entwickelnden Selbstbild passen. Die Interessendifferenzierung hängt daher eng mit den entwicklungsbedingten Veränderungen zusammen.

Für alle drei diskutierten Ursachen liegen empirische Indizien vor. In (Daniels, 2008) wurden der Einfluss der drei Faktoren auf die Interessenentwicklung in der Sekundarstufe I verglichen. Statistisch belegt werden konnte dabei insbesondere der Einfluss der Interessendifferenzierung. In der Tat korrespondiert auch der starke Abfall des Interesses an Mathematik und Physik mit einem überdurchschnittlichen Absinken des Fähigkeitsselbstkonzeptes in diesen Fächern. Auch für den Interessenverlust aufgrund mangelnder Passung von Selbstbild und den mit einem Schulfach verknüpften Vorstellungen wurden Hinweise in Untersuchungen zum sog. »self-to-prototype matching« gefunden. So werden gerade der Mathematik und der Physik, bzw. prototypischen Vertretern dieser Fächer, Persönlichkeitsmerkmale zugeordnet, mit denen sich viele Schülerinnen und Schülern nur wenig identifizieren³⁵. Es wurde ein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen diesem »mismatch« und dem von den Schülern gewählten Fächerprofil gefunden (Hannover & Kessels, 2004; Kessels & Taconis, 2012). Auch die Ergebnisse der oben erwähnten Studien von Hansson, Lindahl und Redfors lassen sich in diesem Sinne interpretieren: Sie zeigen, dass sich das »mismatch« auch auf Aspekte des Weltbildes erstrecken kann und dann ebenfalls mit einem Interessenverlust verbunden ist.

In diesem Abschnitt wurde versucht, einige grundlegende theoretische Konzepte und empirische Befunde der Interessenforschung zusammenzufassen. Der Schwerpunkt lag dabei auf der Person-Gegenstands-Theorie des Interesses, die in dieser Arbeit als theoretischer Rahmen für die Untersuchung des Interesses dient (dies gilt insbesondere für die verwendeten Fragebogenskalen zum Interesse an Physik; vgl. 6.1.1). Für wesentlich umfassendere und detailliertere Darstellungen sei z. B. auf (Daniels, 2008) oder (Ferdinand, 2013) verwiesen³⁶.

³⁵ Zum Beispiel wird der »Prototyp« eines Schülers, der sich besonders für Naturwissenschaften interessiert, als in der Regel physisch und sozial weniger attraktiv, weniger sozial kompetent und integriert, sowie weniger kreativ und emotional, aber dafür intelligenter und motivierter als andere Schüler charakterisiert (Hannover & Kessels, 2004).

³⁶ In diesen Werken finden sich auch zahlreiche Verweise auf die umfangreiche Originalliteratur. Darauf wurde hier weitgehend verzichtet.

Identität und Weltbild

Identität Der Begriff der (personalen) Identität ist Gegenstand zahlreicher psychologischer, soziologischer, pädagogischer und philosophischer Theorien und Konzepte. Wir verwenden den Begriff hier vor allem im Sinne dynamischer Persönlichkeitstheorien, wie zum Beispiel der oben erwähnten Selbstbestimmungstheorie von Deci und Ryan. Es wird angenommen, dass jeder Mensch eine individuelle psychische Struktur - seine Persönlichkeit - besitzt. Diese lässt sich als System miteinander wechselwirkender kognitiver (Wissen, Kompetenzen, Überzeugungen und Werte, Ziele), emotionaler (Ängste und Hoffnungen, ...) und motivationaler (Instinkte, Motive, Interessen etc.) Komponenten auffassen³⁷. Sie äußert sich »von außen betrachtet« in spezifischen Handlungsmustern des Individuums, die eine gewisse zeitliche Stabilität aufweisen. Der Mensch besitzt aber auch die Fähigkeit zur »Innenperspektive«: er entwickelt ein eigenes Bild seiner Persönlichkeit und nimmt sich als in Raum und Zeit abgegrenzter, autonomer Teil der Welt wahr; dieser besitzt eine in der Zeit stetige *Identität*, auch wenn sich seine Eigenschaften - zumindest über längere Zeiträume hinweg - verändern und entwickeln können³⁸. Diese Selbstwahrnehmung der eigenen Person in ihrer zeitlichen Kontinuität verstehen wir hier als »personale Identität«³⁹. In (Aikenhead, 1996) wird diese Bedeutung sehr konzise durch »who they are, where they have been, where they are going, and who they want to become« (S. 108) beschrieben.

Aus entwicklungspsychologischer Sicht sind die Veränderungen der personalen Identität bei Kindern und Jugendlichen aufgrund zahlreicher »Entwicklungsaufgaben« am größten (vgl. Lechte, 2008, Kap. 2.2); mit zunehmendem Alter stabilisiert sich in der Regel die Persönlichkeit und damit auch ihre Eigenwahrnehmung. Die hier verwendete Charakterisierung des Begriffes 'personale

³⁷ Der »Kern« dieser Persönlichkeitsstruktur wird in der Terminologie der Selbstbestimmungstheorie als das »Individuelle Selbst« (»individual self« bezeichnet (vgl. z.B. Krapp & Hascher, 2014b). Es sei an dieser Stelle angemerkt, dass zum gegenwärtigen Zeitpunkt - nach Kenntnis der Autors - keine umfassende Theorie der Persönlichkeit existiert, die die wechselseitige Abhängigkeit und Dynamik ihrer verschiedenen Komponenten vollständig zu beschreiben vermag bzw. auch nur diesen Anspruch erhebt. Auch ist die obige Einteilung der Persönlichkeitskomponenten weder völlig eindeutig noch die einzig denkbare. In der Tat wurden innerhalb der Psychologie eine große Zahl verschiedener Persönlichkeitskonzepte entwickelt.

³⁸ Diesen stetigen Verlauf nehmen wir als unsere *Biografie* wahr. Offenbar sind sowohl die Fähigkeit sich selbst bewusst wahrzunehmen (»Selbstbewusstsein«) als auch eine gewisse Gedächtnisleistung essenzielle kognitive Voraussetzungen für diese Fähigkeit.

³⁹ Zu dieser Selbstwahrnehmung zählen wir hier auch unterbewusste und/oder nicht von der Person verbalisierbare Wahrnehmungen ihrer selbst. Mit der Unterscheidung von Innen- und Außenperspektive sind natürlich sehr grundsätzliche erkenntnistheoretische Fragen verbunden, die wir an dieser Stelle aber nicht weiter thematisieren. In der Praxis der empirischen Forschung entspricht die personale Identität einer Person letztlich einer theoriegeleiteten, rationalen Rekonstruktion ihres Selbstbildes auf der Basis von Handlungsbeobachtungen und/oder Selbstauskünften.

3. Grundlagen und Ziele

Identität' entspricht weitgehend dem in der pädagogisch-psychologischen Forschung verwendeten 'Selbstkonzept' (s. o.) bzw. dem 'Selbstbild' (»self-image«) in der 'self-to-prototype'-Forschung (Hannover & Kessels, 2004).

Weltbild Ähnlich wie Identität ist auch 'Weltbild' (engl. *world view*⁴⁰) ein Begriff, der in verschiedenen Fachgebieten wie Philosophie, Literaturwissenschaft, Anthropologie, Didaktik und Psychologie verwendet wird. Entsprechend zahlreich sind die existierenden Definitionen (vgl. Cobern, 1991; Koltko-Rivera, 2004; Nilsson, 2013). Die Bedeutung des Weltbildes von Schülern wurde in der Naturwissenschaftsdidaktik vor allem von Cobern theoretisch diskutiert und auch empirisch untersucht (vgl. Cobern, 1991, 1996, 2000)⁴¹. In Anlehnung an Arbeiten des Anthropologen Kearney charakterisiert Cobern Weltbild als einen kulturell beeinflussten, nicht-rationalen Komplex von Annahmen und Überzeugungen über die Welt, der die Grundlage für Denken, Emotionen und Handeln einer Person bildet:

Worldview provides a non rational foundation for thought, emotion, and behavior. Worldview provides a person with presuppositions about what the world is really like and what constitutes valid and important knowledge about the world. (Cobern, 1996, S. 584)

Nicht-rational bedeutet hier, dass das Weltbild nicht Ergebnis rationaler Erklärungen oder Rechtfertigungen ist, sondern rationales Denken vielmehr auf den Annahmen und Überzeugungen des Weltbildes aufbaut. Das Weltbild enthält Annahmen über die Beschaffenheit der Welt; es dient damit der Ordnung und Interpretation unserer Sinneswahrnehmungen und erlaubt es Dingen und Vorgängen einen Sinn zu geben⁴².

Wir folgen hier weitgehend Coberns Auffassung und betrachten das Weltbild eines Individuums als »Fundament« des kognitiven Teilsystems seiner Persön-

⁴⁰ Begriffsgeschichtlich eng verwandt mit dem Term Weltbild ist 'Weltanschauung'. In der Regel werden diese Begriffe dahingehen unterschieden, dass sich Weltbild eher auf die Lebensumwelt und Weltanschauung eher auf philosophische, religiöse oder ideologische Aspekte bezieht. Wir machen diese Unterscheidung hier nicht und verwenden Weltbild als übergeordneten Begriff. Für einen Überblick der Etymologie dieser Begriffe siehe (Cobern, 1991).

⁴¹ Zur Rolle des Weltbild-Begriffs in der Psychologie siehe (Koltko-Rivera, 2004; Nilsson, 2013).

⁴² Bezug nehmend auf die anthropologische Theorie des Logico-Strukturalismus teilt Cobern Weltbildinhalte in sieben Kategorien oder Universalen ein: Self, NonSelf, Classification, Relationship, Causality, Time and Space (für Details siehe (Cobern, 1991, 2000)). Die Kategorie Self beispielsweise, bezieht sich auf alles, was die eigene Person betrifft, NonSelf entsprechend auf das, was außerhalb von ihr liegt. Innerhalb dieser universalen Kategorien können die Weltbilder einzelner Personen durch weitere, individuelle, hierarchisch angeordnete Klassen von Begriffen charakterisiert werden. Im Fall eines Atheisten kann eine erste weitere Unterteilung von NonSelf zum Beispiel Gesellschaft und Natur sein, im Falle eines Theisten zum Beispiel Gesellschaft, Natur und Gott (oder eine andere transzendente Entität) (Cobern, 1991, S. 45).

lichkeit und damit auch seiner personalen Identität. Es enthält seine fundamentalen Werte und Überzeugungen. Insbesondere zählen wir dazu Überzeugungen über die grundlegende Struktur der Welt, die es dem Individuum erlauben seine Wahrnehmungen im Rahmen der von ihm mental konstruierten Realität zu interpretieren und den Elementen dieser Realität - inklusive der eigenen Existenz - Sinn und Bedeutung zu verleihen. Zu diesen Überzeugungen können solche metaphysischer oder auch religiös-spirituelle Natur gezählt werden. Sie enthalten fundamentale Annahmen über die Beschaffenheit der Welt (ontologische), des menschlichen Wissens (epistemologische), darüber, was wahr, wert- und bedeutungsvoll ist (axiologische) und über fundamentale Ursachen, die Sinnzuschreibungen ermöglichen (religiös-spirituelle). Auch Ansichten zur Reichweite der Naturwissenschaften sind in diesem Sinne Teil des Weltbildes bzw. Ableitungen daraus.

Cobern sieht die Ursache für die Bildung eines Weltbildes in dem Bedürfnis des Menschen eine Beziehung zu äußeren Welt aufzubauen⁴³ (Cobern, 2000, S. 9). Elemente des Weltbildes werden vom Individuum im Verlauf der Auseinandersetzung mit seiner sozialen und physischen Umwelt weitgehend unbewusst konstruiert. Der größte Teil dieser Konstruktion findet in der Kindheit und Jugend statt. Mit zunehmendem Alter wird das Weltbild dann stabiler und resistenter gegenüber Änderungen (allerdings sind solche auch noch im Erwachsenenalter möglich). Hinsichtlich des Wissenserwerbs in der Schule weist Cobern darauf hin, dass eine wechselseitige Beeinflussung vorliegt: neues Wissen kann das Weltbild verändern, dass bestehende Weltbild kann aber auch auf den Lernprozess einwirken (Cobern, 1996). Insbesondere ist es möglich, dass die Integration neuen Wissens be- oder sogar verhindert wird, wenn dieses inkompatibel mit dem Weltbild des Lernenden ist. Ein eng verwandtes Phänomen wurde in der Naturwissenschaftsdidaktik unter dem Stichwort *Konzeptwechsel* (»conceptual change«) intensiv diskutiert und empirisch untersucht: wenn Schüler im Unterricht ein neues naturwissenschaftliches Konzept erlernen sollen, bringen sie oftmals schon ein Alltagsverständnis mit, dass sich häufig als sehr fest verankert und resistent gegenüber instruktionalen Maßnahmen erweist

43 In ähnlicher Weise wurde ein derartiges, fundamentales psychisches Bedürfnis auch von anderen Autoren postuliert. Nach Ansicht des Psychoanalytikers und Sozialpsychologen Erich Fromm verursacht die im Vergleich zu anderen Tieren nur schwache Instinktausstattung des Menschen, zusammen mit seiner Fähigkeit sich selbst als getrennt vom Rest der Natur wahrzunehmen, den existenziellen Wunsch, diese anfängliche Trennung von der Außenwelt zu überwinden und eine neue Form der Einheit herzustellen (vgl. z. B. Fromm, 1977). Der Psychologe Nilsson sieht ein existenzielles Bedürfnis des Menschen nach Sinn und Bedeutung als psychische Ursache seiner Weltbildkonstruktion an: »meaning is constructed within a worldview - the person's most basic beliefs, values, constructs, and scripts for understanding, evaluating, and acting upon reality, which ground the network within which more specific beliefs, goals, intentions, etc., are embedded.« (Nilsson (2014, S. 1), vgl. auch Nilsson (2013)).

3. Grundlagen und Ziele

(vgl. z. B. Murphy & Mason, 2006). Wird trotzdem Wissen erworben, so steht das Schulwissen häufig unverbunden neben dem Alltagswissen.

Cobern argumentiert, dass aus konstruktivistischer Sicht keine klare Trennung zwischen Wissen und Überzeugungen möglich ist. Ähnlich wie Alltagsvorstellungen, die sich häufig bewährt haben, sind auch metaphysische Überzeugungen als Teil des Weltbildes fest im kognitiven System verankert. Sie bilden den Rahmen, innerhalb dessen Erlerntes in die kognitive Struktur integriert wird. Wenn neu erworbenes Wissen nicht in diesem Rahmen passt, kann es sein, dass die Gründe für seine Gültigkeit zwar gedanklich nachvollzogen (»comprehension«), aber nicht akzeptiert und als »wahr« anerkannt werden (»apprehension«) (Cobern, 1996) (siehe auch den folgenden Abschnitt zum *conceptual change*). Cobern plädiert dafür, metaphysische Annahmen im Unterricht explizit zu diskutieren. Dies könne Schülern helfen, die Organisation des eigenen Wissens zu reflektieren, und zu erkennen, dass Naturwissenschaft mit verschiedenen metaphysischen Orientierungen vereinbar ist (Cobern, 1996).

Conceptual Change Die Entwicklung einer Unterrichtseinheit, die die methodologischen Grundlagen der Naturwissenschaft thematisiert und aufzeigt, dass verschiedene metaphysische Überzeugungen mit diesen verträglich sind, ist eines der Ziele des in dieser Arbeit dokumentierten Forschungsprojektes. Die oben erwähnten Studien von Hansson, Lindahl und Redfors deuten darauf hin, dass viele Schülerinnen und Schüler Naturwissenschaft mit szientistischen Überzeugungen in Verbindung bringen. Es stellt sich die Frage, mit welchen instruktionalen Maßnahmen diesem Vorverständnis begegnet werden kann, um hier einen »Konzeptwechsel« zu erreichen. Betrachten wir die Integration neuen Wissens als Lernprozess, also als Abfolge von Lernhandlungen, so ist zu vermuten, dass dabei neben kognitiven auch motivationale Faktoren eine wichtige Rolle spielen. Hinsichtlich des kognitiven Prozesses wird häufig unterschieden, ob die neuen Informationen in die bestehende Wissenstruktur »passen« oder ob größere Umstrukturierungen für ihren »Einbau« erforderlich sind. In Anlehnung an die soziogenetische Entwicklungstheorie Jean Piagets sprechen Posner, Strike, Hewson und Gertzog (1982) hier von *Assimilation* bzw. *Akkommodation*. Gemäß Piagets Theorie werden diese Prozesse getrieben vom Prinzip der *Äquilibrium*, bei dem das Individuum versucht einen kognitiven Konflikt in einen neuen »Gleichgewichtszustand« zu überführen (Piaget, 1985). Dies kann durch die Integration, aber auch durch das Ignorieren oder den »abgekapselten Einbau« neuer Informationen in die Wissensstruktur geschehen. Analog zu den Vorstellungen über die Entwicklung wissenschaftlicher Paradigma werden häufig die folgenden vier Bedingungen für einen erfolgreichen Akkomodationsprozess ge-

nannt: der Lernende muss mit seine bisherigen Vorstellungen *unzufrieden* sein, das neue Konzept muss für ihn *verständlich* und *plausibel* sein und es muss ihm *fruchtbar* erscheinen, d. h. es muss für ihn Erklärungskraft besitzen und auf neue Bereiche anwendbar (vgl. Posner et al., 1982). Neben diesen kognitiven Faktoren sind aber - wie erwähnt - auch motivationale Faktoren relevant (Pintrich, Marx & Boyle, 1993). So sollte etwa Interesse am Erwerb des neuen Wissens den Konzeptwechsel begünstigen. Murphy und Mason (Murphy & Mason, 2006) erwähnen in ihrem Überblicksartikel außerdem die Berücksichtigung des Vorwissens des Lernenden, die Förderung metakognitiver Bewusstheit sowie die Herstellung affektiver Bezüge zum Lerngegenstand als förderliche Maßnahmen⁴⁴. Hinsichtlich der Berücksichtigung des Vorverständnisses gilt die anfängliche Erzeugung kognitiver Konflikte als eine Erfolg versprechende Strategie, denn durch die Konfrontation mit andersartigen Auffassungen können Zweifel an der eigenen Position initiiert werden. Methodisch kann diese Konfrontation zum Beispiel mittels widerlegender (»refutational«) Texte, die auf das Vorverständnis des Lernenden eingehen, realisiert werden. Dies wird vor allem dann als geeignete Methode angesehen, wenn nur wenig Unterrichtszeit zur Verfügung steht (vgl. z.B. Tippett, 2010). Hinweise auf ihre Wirksamkeit konnten dabei auch hinsichtlich des Wechsels epistemologischer Überzeugungen gefunden werden (Kienhues, Bromme & Stahl, 2008). Als weitere Möglichkeit gilt Nutzung kooperativer Lernformen. Hier können kognitive Konflikte und die Beschäftigung mit den Lerninhalten durch den diskursiven Austausch von Argumenten zwischen den Schülerinnen und Schülern angeregt werden. Die Notwendigkeit, den Mitlernenden Fragen zu beantworten - oder zu stellen - fördert die kognitive Auseinandersetzung mit den Inhalten. Außerdem kann die soziale Interaktion metakognitive Prozesse unterstützen, wie auch das Hervorbringen von Erklärungen (Murphy & Mason, 2006, S. 319). Letzteres gilt als sehr effektive Methode der Integration neuer Informationen in die vorhandene Wissenstruktur, auch wenn die empirischen Belege dafür nicht eindeutig sind (vgl. Springer, Stanne & Donovan, 1999). Seinen Mitschülern etwas erklären zu können, kann auch mit einem gesteigerten Kompetenzerleben verbunden sein, was das Interesse fördern und damit - indirekt - einen positiven Effekt auf den Konzeptwechsel haben kann.

Lernziele können im Unterricht implizit oder explizit verfolgt werden. Bei Vorstellungen, die das Weltbild des Lernenden berühren, ist zu vermuten, dass

⁴⁴ Man beachte, dass sich ein Teil der genannten Faktoren aus der oben dargestellten Interessentheorie ergeben: in kognitiver Hinsicht sind dies die Bewertungen der Bedeutsamkeit und Sinnhaftigkeit des neuen Wissens, in affektiver Hinsicht ist es das positives emotionales Erleben während der Lernhandlungen. Auch in der Literatur zum Wechsel epistemologischer Überzeugungen wurden ähnliche Mechanismen diskutiert, siehe z. B. (Bendixen & Rule, 2004).

3. Grundlagen und Ziele

diese relativ tief verankert und vergleichsweise schwer zu modifizieren sind. Im Rahmen der NOS-Forschung wird daher häufig die Ansicht vertreten, dass eine explizite und reflektive Thematisierung der Inhalte im Unterricht erforderlich ist, um einen Konzeptwechsel zu erreichen (vgl. Clough, 2006).

Bedürfnis nach kognitiver Geschlossenheit

Eine der Fragestellungen dieser Arbeit ist, ob ein vergleichsweise kurzer, die Grenzen der Naturwissenschaften explizit thematisierender Unterricht, szientistische Überzeugungen beeinflussen kann. Es ist zu vermuten, dass dies umso weniger der Fall ist, je fester diese Überzeugungen im Weltbild der Schülerinnen und Schüler verankert sind. Im Rahmen der Differenzialpsychologie wurden verschiedene Konstrukte vorgeschlagen, die in enger Verbindung mit der Bereitschaft einer Person stehen sollten, ihre Überzeugungen zu ändern, wenn sie mit neuen Informationen konfrontiert wird, die mit ihren bisherigen Überzeugungen im Konflikt stehen. In dieser Arbeit wird hierfür eine Operationalisierung des Konstruktes »Bedürfnis nach kognitiver Geschlossenheit« (siehe z. B. Webster, Kruglanski et al., 1994; Schlink & Walther, 2007) verwendet. Es kann aufgefasst werden als »Bedürfnis nach eindeutigen Antworten bei gleichzeitiger Ablehnung von Ambiguität«. Aspekte dieses Konstruktes sind eine Präferenz für sicheres Wissen und vorhersagbare, zukünftige Ereignisse, sowie die Abneigung die eigene Position durch verschiedene Blickwinkel oder neue Informationen infrage zu stellen (Hänze, 2002). Hinsichtlich der genannten Fragestellung erscheint dieses Konstrukt in zweierlei Hinsicht interessant: einerseits ist zu vermuten, dass Schülerinnen und Schüler mit einem geringen Grad an kognitiver Geschlossenheit neuen Informationen gegenüber aufgeschlossener sind, so dass sie unter dem Einfluss einer unterrichtlichen Instruktion eher bereit sein sollten, ihre Ansichten zu ändern, selbst wenn das Erlernte in Konflikt zu ihren bisherigen Auffassungen steht. Andererseits sollten Personen mit hoher kognitiver Geschlossenheit eventuell in größerem Maße zu szientistischen Positionen neigen, da die Naturwissenschaften ein vergleichsweise einheitliches Erklärungsschema und klare Antworten liefern.

Eine Prüfung des Zusammenhangs zwischen Szientismus und dem Bedürfnis nach kognitiver Geschlossenheit ist auch von Bedeutung für die Entwicklung einer Fragebogen-Skala, die das Szientismus-Konstrukt operationalisiert. Eine positive Korrelation ließe sich als Indiz für die Validität einer derartigen Skala betrachten. In enger Beziehung zum Bedürfnis nach kognitiver Geschlossenheit stehen die zwei Persönlichkeitsmerkmale »Offenheit für Erfahrung« und »Need for Cognition«. Letzteres beschreibt »das Ausmaß, in dem jemand Freude am

Denken hat« (Hänze, 2002). Ersteres ist eine Dimension des Fünf-Faktoren-Modells der Persönlichkeitspsychologie(»Big Five«) (vgl. Borkenau & Ostendorf, 2008) . Diese beiden Merkmale sollten negativ mit dem Bedürfnis nach kognitiver Geschlossenheit korrelieren. In dieser Arbeit werden sie als weitere Kontrollvariablen im Rahmen der Validierung der Szientismus-Skala eingesetzt (vgl. 4).

3.2. Fragestellungen, Hypothesen und Ziele

Hansson, Lindahl und Redfors haben in ihren qualitativen Untersuchungen Indizien dafür gefunden, dass viele Schülerinnen und Schüler Naturwissenschaft mit szientistischen Ansichten verbinden, und dass dies, wenn diese Ansichten nicht geteilt werden, mit einem Interesseverlust verbunden sein kann (Hansson & Redfors, 2006, 2007a, 2007b; Hansson & Lindahl, 2007, 2010; Hansson, 2014) - siehe 6.2.1. Die Absicht, diese Befunde durch eine quantitative Untersuchung zu prüfen und zu ergänzen, ist eine wesentliche Motivation des hier dokumentierten Forschungsprojektes. Es besitzt drei Schwerpunkte, deren Zielsetzungen im Folgenden zusammenfassend vorgestellt werden. Weitere Details sowie die Umsetzung dieser Ziele finden sich in den anschließenden Kapiteln.

3.2.1. Entwicklung einer Szientismus-Skala

Zu Beginn des Projektes existierte kein validiertes, quantitatives Messinstrument zur Erfassung szientistischer Einstellungen von Schülerinnen und Schülern. Wie bereits in Abschnitt 6.2.1 dargelegt, wurden derartige Ansichten in anderen Studien bis dato nur partikulär durch einzelne Items oder Subskalen von z. T. unklarer Validität erfasst. Ein erstes Ziel war daher die Entwicklung einer validen, theoriegeleiteten Skala zur Erfassung von Schüleransichten zur »Reichweite« der Naturwissenschaften (siehe 4). Die Skala sollte ein möglichst großes Spektrum von Schüleransichten zu diesem Bereich erfassen können, verschiedenen Facetten dieses komplexen Konstruktes abbilden, dabei aber immer noch für größere quantitative Untersuchungen handhabbar bleiben. Um die von Hansson, Lindahl und Redfors festgestellte Diskrepanz zwischen den eigenen Ansichten von Schülerinnen und Schülern, und denen, die sie »der Naturwissenschaft« zuordnen, prüfen zu können, sollten beide mit Hilfe der Skala messbar sein. Das Messinstrument sollte für Schüler der gymnasialen Oberstufe geeignet sein, da die geplanten quantitativen Untersuchungen in diesem Rahmen stattfinden sollten.

3.2.2. Entwicklung einer Unterrichtseinheit zu den Möglichkeiten und Grenzen der Physik

Ein weiteres Ziel des Projektes war die Entwicklung einer Unterrichtseinheit, die die Reichweite der Physik - oder allgemeiner, der Naturwissenschaften - explizit thematisieren sollte (siehe Kapitel 5). Dabei sollten sowohl deren Möglichkeiten als auch deren Grenzen verdeutlicht werden. Als Beitrag zur Förderung des erkenntnistheoretischen Verständnisses von Schülerinnen und Schülern sollte der Fokus des Unterrichts zu den Grenzen dabei auf solche methodologischer Art gelegt werden. In diesem Zusammenhang sollte auch der häufig in den Bildungsplänen hervorgehobene Aspektcharakter der Physik betont werden. Mit Blick auf die bei Schülern anzutreffende Verknüpfung der Naturwissenschaften mit szientistischen Positionen sollte deutlich gemacht werden, dass verschiedene metaphysische Positionen mit den Methoden der Physik vereinbar sind. Als Kontext des Unterrichts wurde die Kosmologie gewählt, da diese einerseits in Hinblick auf »letzte Grenzen« besonders geeignet erscheint und andererseits sowohl für Jungen als auch für Mädchen ein interessanter Unterrichtskontext ist, wie verschiedene Studien zeigen (vgl. z. B. Elster, 2007). Mittels der Unterrichtseinheit sollte weiterhin im Rahmen der geplanten quantitativen Untersuchung geprüft werden, ob bereits eine vergleichsweise kurze, aber explizite Instruktion Änderungen in den Überzeugungen von Schülerinnen und Schülern evozieren kann (siehe folgender Abschnitt). Infolge dieser Randbedingung war der Unterricht auf wenige Stunden zu beschränken.

3.2.3. Empirische Untersuchung des Zusammenhangs zwischen Szientismus und Interesse an Physik

Im Rahmen der quantitativen Studie wurden verschiedene Fragenkomplexe untersucht. Im Detail werden diese - zusammen mit den damit verbundenen Hypothesen - nochmals in Abschnitt 6.1 erläutert. Die Fragen beziehen sich auf folgende drei Bereiche:

1. *Einstellungen zur Reichweite der Physik (»Szientismus«)*

Es sollte ermittelt werden, *wie verbreitet szientistische Einstellungen unter deutschen Schülerinnen und Schülern der gymnasialen Oberstufe sind und ob es dabei gegebenenfalls Unterschiede zwischen Mädchen und Jungen gibt*. Als Operationalisierung des Szientismus-Konstruktes sollte dabei die im Rahmen dieses Projektes entwickelte Skala eingesetzt werden. Gleichzeitig sollte geprüft werden, welche Einstellungen die Schülerinnen und

Schüler bei Physikern vermuten. Bei einer Zweiteilung der Ansichten in 'szientistisch' und 'nicht szientistisch' ergeben sich vier mögliche Kombinationen, die in Tabelle 3.1 dargestellt sind. Aufgrund der Ergebnisse von Hansson, Lindahl und Redfors war die Vermutung, dass Schülerinnen und Schüler Physiker in der Regel szientistischer einschätzen als sich selbst, so dass die Kombination IV eher selten auftreten sollte. Für die anderen Typen existierten keine Hypothesen hinsichtlich der Häufigkeit ihres Auftretens.

Tab. 3.1. Kombinationen der eigenen und vermuteten Überzeugungen von Schülern hinsichtlich der Reichweite der Naturwissenschaften

		Vermutete Überzeugung von Physikern	
		nicht szientistisch	szientistisch
<i>Eigene Überzeugung der Schüler</i>	nicht szientistisch	I. Kongruentes Weltbild	II. Diskrepantes Weltbild (Potential für Interessenzuwachs)
	szientistisch	IV. Diskrepantes Weltbild (vermutlich selten)	III. Kongruentes Weltbild (Möglichkeit der Interessenabnahme)

2. Szientismus und Interesse an Physik

- a) *Gibt es einen Zusammenhang zwischen szientistische Ansichten und dem Interesse an Physik?*

Hier wurde eine positive Korrelation vermutet.

- b) *Ist eine Diskrepanz zwischen den eigenen und den bei Physikern vermuteten Ansichten mit einem geringeren Interesse an Physik verbunden?*

Aufgrund der Ergebnisse von Hansson, Lindahl und Redfors wurde vermutet, dass eine größere Diskrepanz mit einem verminderten Interesse an Physik verbunden ist. Diese (zentrale) Vermutung ist noch einmal in Abbildung 3.2 veranschaulicht.

3. Wirkung der Unterrichtseinheit

- a) *Verändert die Unterrichtseinheit die eigenen und die bei Physikern vermuteten Ansichten über die Reichweite der Naturwissenschaften?*

Es wurde angenommen, dass mit dem Zuwachs an Kenntnissen über

3. Grundlagen und Ziele

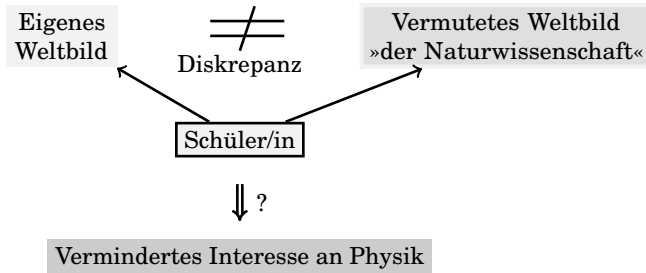


Abb. 3.2. Eine Diskrepanz zwischen dem eigenen und dem »der Naturwissenschaft« zugeschriebenen Weltbild könnte das Interesse an Physik vermindern.

methodische Grenzen der Physik szientistische Überzeugungen seltener auftreten - sowohl hinsichtlich der eigenen Ansichten als auch der bei Physikern vermuteten.

- b) *Hat die Unterrichtseinheit eine Auswirkung auf das Interesse an Physik? Falls ja, gibt es Unterschiede zwischen Schülern mit kongruenten bzw. diskrepanten Ansichten?* Hier wurde ein komplexerer Zusammenhang vermutet - siehe 6.1. Wie in Tabelle 3.1 angedeutet, wurde bei Schülerinnen und Schülern mit diskrepantem Weltbild aber eher ein Potenzial für Interessenzuwachs, bei solchen mit kongruentem Weltbild jedoch eher die Möglichkeit der Interessenabnahme gesehen.
- c) *Vergrößert die Unterrichtseinheit die fachlichen und wissenschaftstheoretischen Kenntnisse (zur Kosmologie bzw. zu den Methoden der Physik)?*

Dies wurde zumindest erhofft.

Die quantitativen Ergebnisse sollten durch Interviews ergänzt werden, um weitere qualitative Informationen zu erhalten (siehe Kapitel 7). Zwei Zielsetzungen standen dabei im Vordergrund:

1. Die qualitative Validierung der Korrelationen zwischen dem Interesse an Physik und den Vorstellungen von Schülerinnen und Schülern zur Reichweite der Naturwissenschaften, sowie eines möglichen Interessenverlustes infolge der Diskrepanz zwischen ihren eigenen Vorstellungen und denen, die sie mit Naturwissenschaft assoziieren.
2. Weitere Hinweise auf Ursachen und Kausalitäten bezüglich dieser Zusammenhänge zu finden.

4. Skala 'Reichweite der Naturwissenschaften'

Um Kenntnisse darüber zu erlangen, welche Ansichten Schülerinnen und Schüler über die »Reichweite der Naturwissenschaften« haben, wurde im Rahmen dieser Arbeit ein Fragebogen verwendet. Die Entwicklung dieses »Messinstruments« wird in diesem Kapitel dokumentiert. Insbesondere wird auf das Verfahren zur Sicherung seiner Validität und Reliabilität eingegangen.

Bei der Entwicklung und Anwendung des Fragebogens sind eine Reihe empirischer Methoden zum Einsatz gekommen. Diese werden zunächst in Abschnitt 4.1 beschrieben.

4.1. Empirische Forschungsmethoden

Empirische Untersuchungen sind heute ein wichtiger Teil der physikdidaktischen Forschung. Sie greift dabei weitgehend auf etablierte Methoden der empirischen Sozialwissenschaft zurück. Das ist auch in dieser Arbeit der Fall.

Zur Einordnung und Begründung der hier verwendeten Instrumente wird im folgenden zunächst ein kurzer, allgemeiner Überblick über empirische Forschungsmethoden gegeben.

4.1.1. Qualitative Methoden

In den Sozialwissenschaften unterscheidet man qualitative und quantitative Methoden. Letztere arbeiten häufig mit standardisierten Daten, wie sie zum Beispiel aus Umfragen mit festen Antwortalternativen gewonnen werden. Pro Individuum werden so nur relativ wenige Informationen erhoben. Dafür ist die Zahl der Individuen groß, so dass eine Auswertung mit formalen statistischen Verfahren erfolgen kann. Qualitative Methoden verwenden dagegen wenig vorstrukturierte Daten, zum Beispiel Antworten aus einem Interview oder aufgezeichnete Gespräche innerhalb einer Gruppe. Für eine wenige Personen erhält man so viele Informationen pro Individuum. Die Auswertung ist weniger formal, sondern eher subjektiv deutend.

4. Skala 'Reichweite der Naturwissenschaften'

Historisch haben sich quantitative und qualitative Sozialforschung seit den 1920iger Jahren weitgehend parallel entwickelt. Es kam dabei wiederholt zu sehr kontroversen Auseinandersetzungen darüber, welches die für die Sozialwissenschaften angemessenere Forschungsmethodik sei. Vertreter der quantitativen Forschung argumentierten, dass nur mit einer an die Naturwissenschaften angelehnten Methodik die Wissenschaftlichkeit ihrer Disziplin zu gewährleisten sei. Demgegenüber stand die Position einer eigenen (auf Max Weber zurückgehenden) sozialwissenschaftlichen Methodik mit dem Ziel der Rekonstruktion von sozialen Handlungen zugrundeliegenden »Sinnzusammenhängen« (Saldern, 1995). In den letzten Jahrzehnten scheint sich weitgehend die Ansicht durchzusetzen, dass beide Methoden legitime, einander ergänzende Verfahren der Erkenntnisgewinnung sind. So können qualitative Verfahren bei der Interpretation und Validierung statistischer Ergebnisse hilfreich sein, während quantitative Methoden vielfach zur Objektivierung qualitativer Deutungen dienen (siehe (Kelle, 2007) für verschiedene Konzepte zur Integration beider Verfahren). Auch neuere Arbeiten der Physikdidaktik - so auch die vorliegende - verwenden zunehmend eine Kombination qualitativer und quantitativer Methoden.

Das »Erkenntnisziel qualitativer Forschung ist das Verstehen subjektiver Bedeutungen und Sinnzusammenhänge, die durch Auslegung und Interpretation aus dem gewonnenen Material herausgearbeitet werden« (Gläser-Zikuda, 2011, S. 110). Dabei interpretiert der Forscher verbale Äußerungen oder Handlungen im Kontext ihrer Entstehung und vor dem Hintergrund seines eigenen Erlebens. Um dies zu gewährleisten bedarf es nach Bohnsack (2008, Kapitel 2.3) der Offenheit bei der Erhebung der Daten. So sollten zum Beispiel bei einem Interview die Fragen möglichst offen gestaltet sein, um den Interviewten nicht in Richtung vorab festgelegter Hypothesen einzuengen oder zu beeinflussen.

Die hermeneutische Interpretation der Daten durch den Forscher (oder die Forscherin) ist zunächst individuell und subjektiv. Mit dem Ziel einen höheren Grad an Intersubjektivität zu erreichen, sind verschiedene Verfahren der Datendokumentation und -auswertung wie die z. B. die Grounded Theory ((vgl. Theory, 2012)) oder die Qualitative Inhaltsanalyse (Mayring, 2010; Mayring & Gläser-Zikuda, 2008) vorgeschlagen worden. Diese Verfahren geben Regeln vor, nach denen das Datenmaterial in mehreren Schritten aufbereitet und analysiert wird.

Qualitative Inhaltsanalyse

Ein Teil der im Rahmen dieser Arbeit geführten Interviews wurde in Anlehnung an die Qualitative Inhaltsanalyse ausgewertet (siehe Kapitel 7). Die Grundideen dieses vor allem von Philipp Mayring entwickelten Verfahrens seien hier kurz beschrieben. Eine ausführliche Darstellung findet sich in Mayring (2008); Mayring und Gläser-Zikuda (2008). Einen Überblick geben die Artikel Mayring (2000, 2010). Für einen Vergleich mit anderen qualitativen Auswertungsverfahren siehe z. B.. Mayring (2002, Kapitel 4) oder Kuckartz (2010).

Die Qualitative Inhaltsanalyse ist eine Methode der Auswertung von aufgezeichneter Kommunikation. Bei den Daten kann es sich um schriftliche Texte, aber auch um Audio- oder Videoaufnahmen handeln. Seine Ursprünge hat das Verfahren in der *Content Analysis*, einer aus den Kommunikationswissenschaften stammenden Technik der Textanalyse. Von anderen qualitativen Verfahren grenzt es sich durch ein vergleichsweise systematisches und regelgeleitetes Vorgehen ab. Dadurch soll ein größeres Maß an Nachvollziehbar- und Überprüfbarkeit gewährleistet werden. Laut Mayring (2000) ist die Qualitative Inhaltsanalyse durch folgende Merkmale gekennzeichnet:

- *Einordnung in ein Kommunikationsmodell.* Hierzu gehören u. a. das Ziel der Analyse, Textproduzent und -adressat, die Beschreibung der Entstehungs- und Rezeptionsbedingungen des Textes sowie der sozio-kulturelle Hintergrund.
- *Regelgeleitetheit.* Das Textmaterial wird nach festgelegten und formulierten Regeln analysiert.
- *Kategorien.* Grundlegend für die Analyse ist die Zuordnung von Textstellen zu Kategorien. Diese stellen prägnante Formulierungen der Aspekte dar, unter denen der Text analysiert wird.
- *Gütekriterien.* Das gesamte Analyseverfahren soll nachvollziehbar sein. Insbesondere die Zuordnung der Kategorien (»Kodierung«) sollte für Teile des Textes von einem zweiten Kodierer vorgenommen werden und der Grad der Übereinstimmung überprüft werden (»Interkoderreliabilität«).

Im Unterschied zur Content Analysis erfolgt die Zuordnung von Textstellen zu Kategorien nicht automatisiert, sondern durch regelgeleitete Interpretation. Die Regeln werden in einem *Kodierleitfaden* festgelegt. Er umfasst die Formulierung der Kategorien sowie ggfs. Anwendungsregeln, Beispiele und Zweifelsfälle¹. Die Anwendung der Kategorien erfolgt häufig in mehreren Durchgängen. Unter

¹ Ein vergleichbarer Leitfaden wurde auch für die Zuordnung von Items bei der Entwicklung der Szientismus-Skala erstellt (siehe Anhang A.2.1).

4. Skala 'Reichweite der Naturwissenschaften'

Umständen ist es erforderlich den Kodierleitfaden zu überarbeiten und dann erneut anzuwenden.

Die Formulierung der Kategorien sollte *theoriegeleitet* erfolgen. Existiert keine hinreichende theoretische Basis kann die Qualitative Inhaltsanalyse auch explorativ angewendet werden. Bei der *induktiven Kategorienbildung* wird versucht anhand des Textmaterials Kategorien zu bilden. Vorgegeben werden die Aspekte, für die Kategorien formuliert werden sollen, die Analyseeinheiten (bei einem Interview kann dies z. B. ein Satz, eine Antwort oder das ganze Interview sein) sowie das angestrebte Abstraktionsniveau der Kategorien. Durch verschiedene Methoden wie Paraphrasieren, Zusammenfassen und Abstrahieren wird dann versucht geeignete Kategorien zu formulieren. Mayring hat dafür detaillierte Ablaufmodelle und Regeln vorgeschlagen (siehe Mayring (2008))².

Ein abgeschlossene Kategorisierung kann im Prinzip auch mit statistischen Methoden weiter analysiert werden, falls hinreichend viele Daten vorliegen. Die Qualitative Inhaltsanalyse liegt damit im Spektrum existierender Auswertungsverfahren zwischen subjektiven hermeneutischen und quantitativen Methoden.

4.1.2. Quantitative Methoden

In der Physik hat sich die Verwendung mathematischer Methoden zur Beschreibung Von Naturvorgängen als außerordentlich erfolgreich herausgestellt. Seit Ende des 19. Jahrhunderts wurde versucht auch biologische, psychologische oder ökonomische Fragestellungen quantitativ zu analysieren. Eng damit verknüpft, entwickelte sich ein neues Teilgebiet der Mathematik: die Statistik³. Tatsächlich sind heute die Quantitativen Methoden der Sozialwissenschaften und der Psychologie gekennzeichnet durch die Analyse empirischer Daten mit Hilfe statistischer Verfahren. Prinzipiell kann jede Art von Daten Gegenstand einer solchen Analyse sein. So können zum Beispiel Textdaten aus offenen Interviews quantitativ analysiert werden, nachdem sie in geeigneter Weise in numerische Daten »übersetzt« worden sind. Der Unterschied zu den qualitativen Methoden liegt also weniger in der Art der Datenerhebung, sondern eher in der Art der Datenanalyse. In der Praxis werden die Daten bei quantitativen Untersuchungen jedoch häufig mithilfe von Fragebögen gewonnen. Dies erlaubt

² Durch diese detaillierten Vorgaben soll offenbar auch ein derartiges induktives Vorgehen intersubjektiv prüfbar gemacht werden (vgl. Mayring (2010, S. 606). Dieser Standpunkt scheint mir allerdings aus wissenschaftstheoretischer Perspektive eher zweifelhaft.

³ Die Entwicklung eines substantiellen Teils der Statistik war direkt durch derartige Probleme motiviert (Hall, 2001, S. 566)

größere Fallzahlen, die oftmals für statistisch signifikante Aussagen erforderlich sind.

In der Psychologie werden die Instrumente zur Datenerhebung in einer quantitativen Untersuchung als *Tests* bezeichnet. Sie entsprechen den Messinstrumenten bei einem physikalischen Experiment. Nach (Lienert & Raatz, 1998, S. 1) ist ein Test »ein wissenschaftliches Routineverfahren zur Untersuchung eines oder mehrerer empirisch abgrenzbarer Persönlichkeitsmerkmale mit dem Ziel einer möglichst quantitativen Aussage über den relativen Grad der individuellen Merkmalsausprägung«. So soll zum Beispiel der im Rahmen dieser Arbeit entwickelte Test eine quantitative Aussage über das Persönlichkeitsmerkmal⁴ »Szientismus«⁵ ermöglichen. In der Regel besteht ein Test aus mehreren *Items*, die eine Reaktion oder Antwort bei der Testperson hervorrufen sollen. Ein Item kann zum Beispiel eine Frage, eine Aussage, eine Aufgabe oder ein Bild sein.

Es ist Gegenstand der so genannten *Testtheorie*⁶, wie man aus dem Testergebnis eine quantitative Aussage über das Vorliegen eines Persönlichkeitsmerkmals treffen kann. Sie beschäftigt sich mit Fragen der Konstruktion, Prüfung und Auswertung von Tests.

Voraussetzung für die Anwendung der Testtheorie ist das Vorliegen einer psychologischen Theorie, die Aussagen darüber macht, wie das Verhalten einer Person von ihren Persönlichkeitsmerkmalen und der Situation in der sie sich befindet, beeinflusst wird.⁷ (siehe (J. Rost, 2004, S. 24). In der Praxis sind solche theoretischen Aussagen von recht einfache Natur. Typischerweise postulieren sie einen Zusammenhang zwischen dem beobachteten Verhalten (also der Testantwort) und einer geringen Zahl von Persönlichkeits- und Situationsmerkmalen. Quantitativ prüfbar wird dieser Zusammenhang durch Annahme eines mathematischen *Testmodells*. Hierbei handelt es sich um ein (in der Regel) stochastisches Modell, das die Formulierung statistischer Hypothesen gestattet. Die empirische Prüfung der Theorie erfolgt durch den Test dieser Hypothesen anhand der vorliegenden Daten.

Typischerweise wird in der Psychologie (und auch in den meisten fachdidaktischen Untersuchungen) ein sogenanntes *reflexives* Modell⁸ als Testmodell zu

⁴ Unter einem Persönlichkeitsmerkmal versteht man eine relativ stabiles und konsistentes Merkmal einer Person, das für das im Test gezeigte Verhalten verantwortlich ist (J. Rost, 2004, S.17).

⁵ Genauer gesagt, soll der Test die Ansichten der Schülerinnen und Schüler zur Reichweite der Naturwissenschaften bestimmen. Der Kürze halber werden wir im Folgenden aber oft einfach vom »Szientismus«-Test sprechen.

⁶ Die Testtheorie ist ein wichtiges Teilgebiet der *Psychometrie*, die sich allgemein mit der Theorie und Methode des psychologischen Messens beschäftigt.

⁷ In Bezug auf einen Test wäre eine solche Situation zum Beispiel das Lesen eines Testitems und das Verhalten die Antwort darauf.

⁸ In der Ökonomie und den Sozialwissenschaften wird dagegen häufig das so genannte *formative*

4. Skala 'Reichweite der Naturwissenschaften'

Grunde gelegt ((J. R. Edwards & Bagozzi, 2000), (Borsboom, Mellenbergh & Van Heerden, 2003)). Abbildung 4.1 verdeutlicht die Idee.

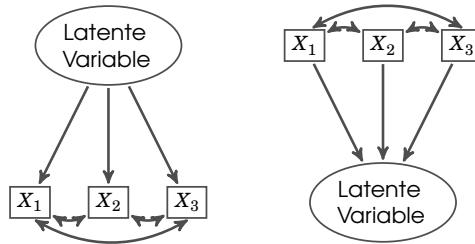


Abb. 4.1. Links: das in der Psychologie übliche reflexive Testmodell. Die nicht direkt messbare latente Variable ist verantwortlich für die beobachteten Korrelationen zwischen den manifesten Variablen (den Items). Rechts: ein formatives Messmodell.

Den quantitativen Methoden der empirischen Sozialwissenschaft liegt die Annahme zu Grunde, dass sich psychologische oder sozialwissenschaftliche Phänomene bis zu einem gewissen Grade durch statistische Modelle quantitativ beschreiben lassen. Vorbild waren und sind hier sicherlich die Naturwissenschaften, in denen sich durch Einführung statistischer Methoden entscheidende Fortschritte erzielen ließen.⁹ Gegenüber den qualitativen Methoden erscheinen größere Objektivität und Allgemeingültigkeit der Ergebnisse als möglicher Vorteil der statistischen Beschreibung. Bei qualitativen Verfahren haben die Daten in der Regel einen individuelleren Charakter und sind von größerer Komplexität. Nur ein Teil der Informationen ist »relevant«, und schon deren Auswahl erfordert inhaltliche Interpretationen. Die quantitativen Methoden stellen in gewisser Weise eine hierzu komplementäre Herangehensweise dar:

- Die Gewinnung und Verarbeitung der Daten kann weitgehend standardisiert erfolgen. Wird beispielsweise ein Fragebogen mit geschlossenem Antwortformat (»ankreuzen«) verwendet, so erhält jeder Versuchsteilnehmer die gleichen Fragen und die Antworten sind maschinell erfassbar. Die Auswertung erfolgt weitgehend nach formalen, mathematischen Kriterien und besitzt zudem ein hohes Maß an Nachvollziehbarkeit und Intersubjektivität.

Modell verwendet ((J. R. Edwards & Bagozzi, 2000)). Hier die Beziehung zwischen den manifesten und den latenten Variablen genau umgekehrt. Erstere bestimmen den Wert der letzteren.

⁹ So konnte z. B. auf dem Gebiet der Physik durch die Verwendung statistischer Methoden erstmals eine Verbindung zwischen der Thermodynamik makroskopischer Systeme und der mikroskopischen Dynamik der Atome hergestellt werden.

- Da die Erhebung der Daten im Vergleich zu qualitativen Verfahren wenig aufwändig ist, lassen sich höhere Fallzahlen erzielen, so dass sich eine geringere Abhängigkeit von der gewählten Stichprobe und damit eine größere Allgemeingültigkeit der Ergebnisse erhoffen lässt.
- Theoretische Hypothesen lassen sich in statistische Modelle »übersetzen« und werden so empirisch prüfbar. Die quantitativen Methoden besitzen also offenbar im Hinblick auf wesentliche Gütekriterien wissenschaftlicher Theorien Vorteile gegenüber den qualitativen Methoden. In diesen Vorteilen liegen jedoch zugleich auch ihre Nachteile begründet, zum Beispiel:
 1. Es ist im Allgemeinen nicht möglich anhand einer statistischen Analyse auf kausale Zusammenhänge und individuelles Verhalten zu schließen.¹⁰
 2. Es ist schwierig zu prüfen, ob man mit einem Fragebogen diejenige Personeneigenschaft »misst«, die man messen möchte. Wird beispielsweise ein Item auf dem Fragebogen von den Versuchsteilnehmern anders verstanden als vom Versuchsplaner intendiert, kann dies zu völlig falschen Schlussfolgerungen führen.
 3. Es wird nicht das Verhalten von Personen in ihrem alltäglichen Umfeld beobachtet, sondern im Rahmen einer spezifischen Versuchssituation. Dies kann die Ergebnisse stark beeinflussen.

An diesem Problem zeigt sich, dass eine Kombination aus quantitativen und qualitativen Methoden am ehesten der Forderung nach Objektivität, Allgemeingültigkeit und Validität zu entsprechen vermag. Vielleicht lässt sich sagen, dass qualitative Methoden ihre Stärken eher in der Aufdeckung kausaler Beziehungen und der Validierung haben, während quantitativen Methoden insbesondere zur empirischen Prüfung einer bestehenden Theorie geeignet sind.

Im folgenden soll näher erläutert werden, wie eine solche Prüfung aussehen kann. Dazu wird zunächst das allgemeine Vorgehen skizziert und dann etwas ausführlicher auf die in dieser Arbeit verwendeten statistischen Verfahren eingegangen.

In den Sozialwissenschaften, der Psychologie und auch der Didaktik, wird untersucht wie menschliches Verhalten durch äußere und innere Umstände beeinflusst wird. Eine physikdidaktische Fragestellung wäre zum Beispiel, ob und wie der Erfolg beim Erlernen eines physikalischen Sachverhaltes von Faktoren wie der Lehrmethode, den Vorkenntnissen der Schüler oder ihrem Interesse

¹⁰ Ein Vergleich aus der Physik möge dies deutlich machen: aus der thermodynamischen Zustandsgleichung eines Gases kann man nicht auf die mikroskopische Dynamik der Gasteilchen schließen.

4. Skala 'Reichweite der Naturwissenschaften'

an Physik beeinflusst wird. Lernerfolg, Vorkenntnisse und Interessen wären hier Eigenschaften des Individuums, die Lehrmethode dagegen eine Eigenschaft seiner »Umgebung«. Auf der Grundlage einer psychologischen bzw. didaktischen Theorie wird dann vielleicht eine Hypothese formuliert, ob und wie diese Eigenschaften einander beeinflussen. Oftmals werden die vermuteten Zusammenhänge grafisch mit Hilfe eines »Pfaddiagramms« dargestellt:

Die Pfade in Abbildung 4.2 kennzeichnen die Richtung der kausalen Beeinflussung. An den Pfeilen angebrachte positive oder negative Zahlenwerte könnten zudem Aussagen über die Stärke und Art (Verstärken bzw. Vermindern) dieses Einflusses machen.

Heutige Theorien können in der Regel lediglich qualitative Zusammenhänge postulieren. Ihre Prüfung und Quantifizierung sind wesentliche Ziele einer quantitativen Untersuchung. Sie umfasst mehrere Schritte:

- (1) Operationalisierung des theoretischen Modells
 - a) Alle betrachteten Größen werden als quantitative Variablen aufgefasst, ihre Werte auf einer diskreten oder kontinuierlichen Skala angegeben.¹¹ Für jede Variable muss ein Messverfahren, (ein »Test«) vorhanden sein oder entwickelt werden. Oft handelt es sich dabei um einen Fragebogen. Die Messvorschrift, wie also aus den Antworten auf die Testitems der Wert der Variable zu bestimmen ist, wird in Form eines sogenannten *Messmodells* spezifiziert.

¹¹ Im obigen Beispiel würde die Lehrmethode sicherlich auf einer diskreten Skala, das Interesse an Physik dagegen eher auf einer kontinuierlichen Skala gemessen werden. Auf letzterer wäre zudem in natürlicher Weise eine Ordnungsrelation definiert (ein größerer Zahlenwert entspricht höherem Interesse). Man spricht dann von einer Ordinalskala. Lehrmethoden sind nicht so offensichtlich angeordnet. Eine Skala mit endlich vielen, ungeordneten Werten nennt man Kategorienskala.

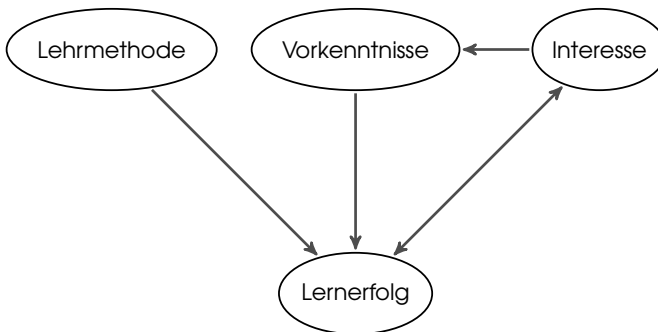


Abb. 4.2. Ein Pfaddiagramm.

- b) Der theoretisch postulierte Zusammenhang wird mathematisch modelliert. In der Regel geschieht dies in Form eines statistischen Modells, dem so genannten *Strukturmodell*¹², das die vermuteten Korrelationen zwischen den Variablen widerspiegelt. Eine theoretische Aussage der Art »Das Interesse steigert den Lernerfolg« wäre dann im Falle einer positiven Korrelation zwischen den Variablen Interesse und Lernerfolg empirisch bestätigt.

(2) Datenerhebung

Die Untersuchung wird mit einer hinreichend großen Zahl von Probanden durchgeführt. Die Stichprobe sollte die Annahmen des theoretischen Modells erfüllen und groß genug sein, um statistisch signifikante Ergebnisse zu produzieren. Diese Bedingungen zu erfüllen, stellt häufig eine beträchtliche Hürde in den Sozialwissenschaften dar.

(3) Datenauswertung und -interpretation

Anhand der Daten aus einer Stichprobe werden die freien Parameter des Strukturmodells geschätzt. Entsprechen die Ergebnisse der theoretischen Prognose kann diese als Bestätigung der Theorie angesehen werden, andernfalls als Widerlegung. Der Grad der Entsprechung wird mittels geeigneter statistischer »Gütekriterien« beurteilt. In der Praxis formuliert man häufig verschiedene Modelle, und prüft, welches am besten zu den gegebenen Daten passt.

(4) Prüfung des Modells

Das statistische Modell mit den spezifizierten numerischen Parametern sollte an einer oder mehreren weiteren unabhängigen Stichproben geprüft werden. Gerade, weil es nur schwer zu prüfen ist, ob eine gegebene Stichprobe die Voraussetzungen des Modells erfüllt, ist dies von besonderer Bedeutung.

Testentwicklung

Tests zur Messung der latenten Variablen und geeignete Messmodelle sind entscheidende Elemente jeder quantitativen Analyse. Im Folgenden werden einige Aspekte aufgeführt, die bei der Testkonstruktion von Bedeutung sind. Umfassende Darstellungen zur Theorie und Erstellung psychologischer Tests finden sich in einschlägigen Lehrbüchern, zum Beispiel (J. Rost, 2004), (Moosbrugger,

¹² Die Bezeichnungen Mess- und Strukturmodell sind insbesondere im Rahmen der Modellierung mittels sogenannter Strukturgleichungsmodelle üblich (siehe unten).

4. Skala 'Reichweite der Naturwissenschaften'

2012) oder (Bühner, 2011).

Damit ein Test tatsächlich als ein angemessenes Verfahren zur Messung eines Persönlichkeitsmerkmals angesehen werden kann, sollte er eine Reihe von Gütekriterien erfüllen. An erster Stelle werden hier oft *Objektivität*, *Reliabilität* und *Validität* genannt¹³ (siehe z. B.. Moosbrugger, 2012, Kapitel 2).

Validität Das wohl wichtigste Gütekriterium ist die Validität. Damit ist gemeint, dass der Test tatsächlich auch »das misst, was er messen soll« (J. Rost, 2004, S.34), also typischerweise ein psychologisches Konstrukt, das in der zu Grunde liegenden Theorie spezifiziert wird. Es lassen sich verschiedene Aspekte unterscheiden:

- *Inhaltsvalidität*

Hierunter versteht man, »inwieweit ein Test oder ein Testitem das messende Merkmal repräsentativ erfasst« (Moosbrugger, 2012, S. 15). Die Prüfung dieses Kriteriums erfolgt anhand fachlicher Überlegungen. Bei einem schon in der Literatur diskutierten Konstrukt, sollte dieses zur Beurteilung herangezogen werden. In diesem Fall ist auch eine Einschätzung der Inhaltsvalidität durch »Experten« eine übliche Methode (» Expertenbefragung«). Es ist aber nicht nur die inhaltliche Validität aus Sicht der Testkonstrukteure zu gewährleisten, sondern auch in Hinblick auf die Testprobanden. Hierfür können zum Beispiel Personen aus der vorgesehenen Zielgruppe des Tests befragt werden. Sie sollten die Testitems so interpretieren, wie es von den Testkonstrukteuren intendiert ist.

- *Konstruktvalidität*

Hiermit ist die Übereinstimmung zwischen dem beobachteten Verhalten der Testpersonen und den Annahmen des theoretischen Testmodells gemeint. Die Prüfung erfolgt auf statistischem Wege. In der Praxis wird oft eine Klasse konkurrierender statistischer Modelle gewählt, und dann ermittelt, welches Modell am besten mit einem vorhandenen Datensatz übereinstimmt¹⁴. Die Prüfung ist dabei umso überzeugender, je restriktiver die Annahmen des Modells sind. Einige der verbreiteten statistischen

¹³ Rost weist darauf hin, dass diese klassische Dreiteilung einer testtheoretischen Tradition entstammt, die eine Testauswertung nicht als Anwendung eines theoretischen Testmodells auffasste. Insbesondere sind die drei Kriterien nicht voneinander unabhängig. Nichtsdestotrotz eignen sie sich auch im Rahmen eines modellbasierten Ansatzes zu Beschreibung der Testgüte (J. Rost, 2004, vgl. S. 32).

¹⁴ D.h., für die Prüfung der Konstruktvalidität ist bereits eine Datenerhebung notwendig. Man beachte, dass das Ergebnis dieses Verfahrens sowohl vom verwendeten Datensatz, der Wahl der Klasse der Konkurrenzmodelle als auch der verwendeten Übereinstimmungskriterien abhängt. Die hiermit verbundene Willkür ist bis zu einem gewissen Grade unvermeidlich.

Modelle (Klassische Testtheorie, Item-Response und Strukturgleichungsmodelle) werden in Abschnitt 4.1.2 etwas ausführlicher diskutiert.

Eine weitere Möglichkeit zur Prüfung der Konstruktvalidität ergibt sich, wenn man aus theoretischen Erwägungen einen Zusammenhang des zu messenden Konstruktes mit anderen Persönlichkeitsmerkmalen, für die bereits Tests existieren, erwartet. Man kann dann diese Merkmale für die Teststichprobe mit erheben und prüfen, ob sich der erwartete Zusammenhang ergibt. Man spricht in diesem Fall auch von externer Validität (J. Rost, 2004, S. 35).

Reliabilität Voraussetzung für eine valide Messung ist die Reliabilität des Tests. Darunter versteht man die Messgenauigkeit eines Tests (unabhängig davon, was er misst). Hierbei wird angenommen, dass die beobachtete Varianz der Messwerte zwei Ursachen hat: die Streuung des Persönlichkeitsmerkmals in der beobachteten Population und die Fehlerbehaftetheit des Messinstruments. Wie diese beiden Größen voneinander getrennt werden, hängt vom verwendeten statistischen Modell ab. Es ist üblich, die Reliabilität eines Tests durch numerische Größen (»Reliabilitätskoeffizienten«) zu quantifizieren. Sie werden anhand eines vorliegenden Testdatensatzes berechnet bzw. geschätzt (Näheres dazu in Abschnitt 4.1.2).

Objektivität Das letzte der klassischen Gütekriterien ist die Objektivität. Damit ist gemeint, dass ein Test unabhängig von den Personen, die ihn durchführen, das gleiche Ergebnis liefern sollte. Man unterscheidet Durchführungs-, Auswertungs-, und Interpretationsobjektivität. So sollte die Durchführung eines Tests so weit wie möglich unter gleichen Bedingungen (zum Beispiel Bearbeitungsdauer, Testmaterial, Erläuterungen der Durchführung, et cetera) erfolgen. Die Objektivität bei der Auswertung ist im Falle geschlossener Antwortformate (»Ankreuztests«) weitgehend unproblematisch. Bei offenen Antwortformaten sind dagegen detaillierte Auswertungsregeln erforderlich, deren einheitliche Anwendung mit verschiedenen Testauswertern geprüft werden sollte (»Interraterübereinstimmung«). Auch die Interpretation der Testergebnisse sollte nach einheitlichen Regeln erfolgen, insbesondere wenn verschiedene Stichproben miteinander verglichen werden.

Neben diesen »klassischen« Gütekriterien werden in der Literatur noch zahlreiche weitere genannt. Bei der *Skalierung* zum Beispiel geht es darum, dass das Antwortformat der Testitems die theoretisch vermuteten Skaleneigenschaften des zu Grunde liegenden Persönlichkeitsmerkmals angemessen wiedergibt. Die

4. Skala 'Reichweite der Naturwissenschaften'

Normierung ist von Bedeutung, wenn bereits andere Tests des Konstrukts existieren. Idealerweise sollten verschiedene Tests des gleichen Merkmals miteinander vergleichbar sein und den gleichen Wert bei derselben Person ergeben. Für diese und weitere Gütekriterien wie zum Beispiel Testökonomie, Nützlichkeit, Unverfälschbarkeit oder Fairness siehe (Moosbrugger, 2012, Kapitel 2).

Zusammengefasst betreffen die Gütekriterien einerseits Aspekte der Durchführung und Auswertung. Diese sollen vor allem ein möglichst hohes Maß an Objektivität der Messung gewährleisten. Die andere Gruppe der Kriterien ist bei der Konstruktion des Tests zu berücksichtigen, zum Beispiel Validität, Reliabilität oder Skalierung. Hier spielen einerseits inhaltliche Überlegungen eine Rolle und andererseits statistische Kriterien, die eine Erprobung des Tests an einer Stichprobe erfordern.

Bei der Entwicklung des im Rahmen dieser Arbeit verwendeten Fragebogens zum »Szientismus« wurde versucht die obigen Kriterien zu berücksichtigen. Das konkrete Vorgehen wird in Abschnitt 4.2 beschrieben. Einen allgemeinen Überblick, welche Aspekte im Prozess der Testentwicklung zu beachten sind, gibt zum Beispiel Moosbrugger (2012, Kapitel 3).

Statistische Modelle

Sind verschiedene Menschen zu einem Zeitpunkt oder ein Mensch zu verschiedenen Zeitpunkten nahezu der gleichen äußeren Situation ausgesetzt, so verhalten sich oft sehr unterschiedlich. Das Verhalten unbelebter makroskopischer Objekte lässt sich dagegen in vielen Fällen gut mit wenigen Parametern beschreiben und vorhersagen. Dies ist zum Beispiel die Grundlage des Erfolges der klassischen Physik. Beim Menschen dagegen beeinflussen offenbar seine aktuelle körperliche und mentale Verfasstheit in entscheidender Weise das beobachtbare Verhalten. Dieser sehr komplexe und dynamische innere Zustand ist dabei weitgehend einer äußeren Beobachtung unzugänglich¹⁵.

Bei den im Folgenden diskutierten statistischen Modellen geht man davon aus, dass sich diesem inneren Zustand jedoch einige zeitlich relativ stabile Merkmale

¹⁵ Zum einen ist der Mensch aus physikalischer Perspektive ein sehr komplexes System. Nur sehr wenige Freiheitsgrade seines körperlichen Zustandes sind (zum Beispiel bei einer medizinischen Untersuchung) von außen messbar. Hinsichtlich der mentalen Zustände ist die Situation noch dramatischer: sowohl hinsichtlich ihrer Beschaffenheit als auch ihrer Wechselwirkung mit den körperlichen Zuständen ist noch sehr viel ungeklärt. Psychologie und Kognitionswissenschaften versuchen hier mit unterschiedlichen Mitteln etwas Licht ins Dunkel zu bringen (siehe auch Atmanspacher (2011) für verschiedene Versuche psychologische und physikalische Ebenen der Beschreibung zu verknüpfen.)

zuordnen lassen, deren Einfluss sich in statistischen Korrelationen beobachtbaren Verhaltens zeigt. Die Eigenschaften dieser Persönlichkeitsmerkmale und die Art ihres Zusammenwirkens sind Gegenstand psychologischer Theorien. In der mathematischen Beschreibung eines statistischen Modells wird jedes dieser Merkmale als eine Zufallsvariable mit numerischen Werten angesehen. Da diese Variablen nicht direkt gemessen, sondern ihre Werte anhand der Antworten auf die Items eines Tests bestimmt bzw. geschätzt werden, spricht man oft von *latenten Variablen*. Variablen, die die Itemantworten kodieren, also direkt gemessen werden können, werden dagegen als *manifeste Variablen* oder als Messvariablen bezeichnet. Der Einfluss der latenten Variablen auf die Messvariablen wird häufig in Form von Regressionsmodellen beschrieben. Im Folgenden werden einige der heute gebräuchlichen Modelle vorgestellt. Der Schwerpunkt liegt dabei auf solchen, die auch in dieser Arbeit verwendet werden. Die Darstellung ist weitgehend informell, und soll vor Allem die zugrundeliegenden Ideen verdeutlichen. Für Details sei auf die Literatur verwiesen¹⁶.

Betrachten wir zunächst die Modellierung des Zusammenhangs zwischen einer latenten Variablen und den Messvariablen eines Tests. Abbildung 4.3 zeigt das Pfaddiagramm eines solchen Messmodells:

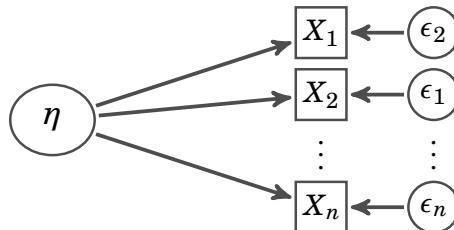


Abb. 4.3. Pfaddiagramm eines Modells zur Messung eines Persönlichkeitsmerkmals. Latente Variablen werden als Ellipsen dargestellt, manifeste Variablen als Rechtecke.

Der Test soll die latente Variable η messen und besteht aus n Items. Die Messvariablen X_1, \dots, X_n kodieren die Antworten. Es wird angenommen, dass neben der latenten Variablen weitere (ebenfalls latente) Faktoren die Antworten beeinflussen. Sie werden in den Fehlervariablen $\epsilon_1, \dots, \epsilon_n$ zusammengefasst.

¹⁶ Regressionsmodelle sind in vielen empirisch arbeitenden Wissenschaften gebräuchlich. Entsprechend umfangreich - und unübersichtlich - ist die verfügbare Literatur. Didaktisch sehr gelungene Lehrbücher sind nach meiner Ansicht J. Rost (2004) (insbesondere für psychometrische Modelle) und Fahrmeir, Kneib und Lang (2007) (für Regressionsmodelle im Allgemeinen). Einen Überblick geben die Artikel Skronal und Rabe-Hesketh (2007), Tuerlinckx, Rijmen, Verbeke und Boeck (2006), M. C. Edwards und Wirth (2009), Wirth und Edwards (2007).

4. Skala 'Reichweite der Naturwissenschaften'

Hinsichtlich der Formulierung des Zusammenhangs zwischen diesen Variablen kann man zwei Herangehensweisen unterscheiden: die klassische und die probabilistische Testtheorie.

Klassische Testtheorie

Es wird angenommen, dass jeder Testperson zum Zeitpunkt einer Messung ein Wert der latenten Variablen zugeordnet werden kann¹⁷. In der klassischen Testtheorie ist die Messvariable X_i gleich dem Wert der latenten Variablen plus der Störung:

$$X_i = \eta + \epsilon_i \quad \text{für } i = 1, \dots, n. \quad (4.1a)$$

Weitere Annahmen sind¹⁸

$$E(\epsilon_i) = 0, \quad (4.1b)$$

$$\text{Cov}(\epsilon_i, \epsilon_j) = \text{Cov}(\epsilon_i, \eta) = 0 \quad \text{für } i, j = 1, \dots, n. \quad (4.1c)$$

(4.1b) drückt aus, dass kein systematischer Messfehler vorliegt und (4.1c), dass die Fehlereinflüsse auf die einzelnen Items voneinander und vom Personenparameter η unabhängig sind.¹⁹ Eine wichtige Konsequenz aus (4.1a) ist, dass sich der Personenparameter durch den Mittelwert der gemessenen Itemantworten abschätzen lässt

$$E(\eta) = \frac{1}{n} E(\sum_{i=1}^n (X_i - \epsilon_i)) = E(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i). \quad (4.2)$$

Außerdem folgt mit (4.1c)

$$\text{Cov}(X_i, X_j) = \text{Cov}(\eta + \epsilon_i, \eta + \epsilon_j) = \text{Var}(\eta) \quad \text{für } i = 1, \dots, n.. \quad (4.3)$$

Die Gleichungen (4.1c) bzw. (4.3) drücken die Grundidee des reflexiven Messmodells aus, nämlich, dass der Zusammenhang zwischen den direkt beobachteten Variablen X_i auf die latente Größe η zurückführbar ist. Spezifisch für die klassische Testtheorie ist, dass jedes Item den Parameter η in gleicher Weise misst -

¹⁷ Im Rahmen der klassischen Testtheorie spricht man oft von sogenannten »wahren« Werten. Im Folgenden wird das gleiche Symbol für die latente (Zufalls)variable η und ihre Werte verwendet. Die Bedeutung sollte jeweils aus dem Kontext hervorgehen.

¹⁸ $E(x)$ bezeichne den Erwartungswert einer Zufallsvariablen X , $\text{Var}(X)$ ihre Varianz, und $\text{Cov}(X, Y)$ die Kovarianz von X und Y .

¹⁹ Gelten die Gleichungen (4.1a) - (4.1c) spricht man von einer essenziell tau-äquivalenten Messung, sind auch die Varianzen der Fehlervariablen gleich von einer tau-äquivalenten (siehe DeVellis, 2003, S. 24ff.).

(4.1a) enthält mit Ausnahme des Fehlerterms keine itemspezifischen Parameter²⁰.

Die Reliabilität, also die Messgenauigkeit eines Tests, wird im Rahmen der klassischen Testtheorie durch das Verhältnis der (n -fachen) Varianz des »wahren« Wertes zur Varianz der gemessenen Werte definiert:

$$\text{Rel}(X_1, \dots, X_n) = \frac{\text{Var}(n\eta)}{\text{Var}(\sum_{i=1}^n X_i)} = \frac{\text{Var}(\sum_{i=1}^n (X_i - \epsilon_i))}{\text{Var}(\sum_{i=1}^n X_i)} \quad (4.4a)$$

$$= 1 - \frac{\sum_{i=1}^n \text{Var}(\epsilon_i)}{\text{Var}(\sum_{i=1}^n X_i)}. \quad (4.4b)$$

An Gleichung (4.4b) erkennt man, dass die Reliabilität gleich 1 wird, wenn keine Messfehler vorliegen, bzw. gleich 0, wenn die gesamte gemessene Varianz in den Messfehlern steckt. Die Reliabilität wird häufig auch als Maß für die *innere Konsistenz* eines Tests angesehen. Es gilt nämlich

$$\begin{aligned} \text{Korr}(\eta, \sum_{i=1}^n X_i) &= \frac{\text{Cov}^2(\eta, \sum_{i=1}^n X_i)}{\text{Var}(\eta)\text{Var}(\sum_{i=1}^n X_i)} \\ &= \frac{\eta^2 \text{Var}^2(\eta)}{\text{Var}(\eta)\text{Var}(\sum_{i=1}^n X_i)} \\ &= \frac{\text{Var}(n\eta)}{\text{Var}(\sum_{i=1}^n X_i)} \\ &= \text{Rel}(X_1, \dots, X_n). \end{aligned} \quad (4.5)$$

D.h. die Reliabilität ist gleich der Korrelation der Summe der Itemwerte mit dem Personenparameter. Aus (4.5) ergibt sich mit einer kleinen Rechnung

$$\text{Rel}(X_1, \dots, X_n) = \frac{n}{n-1} \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^n \text{Var}(X_i)}{\text{Var}(\sum_{i=1}^n X_i)} \right). \quad (4.6)$$

Der Ausdruck auf der rechten Seite von (4.6) ist anhand der Messwerte einfach abschätzbar und wurde von Lee Cronbach (Cronbach, 1951) als Maß für die innere Konsistenz einer Skala vorgeschlagen. Er wird üblicherweise als Cronbachs α bezeichnet²¹.

Wie Gleichung (4.6) nahelegt, ist die Reliabilität abhängig von der Anzahl der

²⁰ Eine Verallgemeinerung des Modells der essenziell tau-äquivalenten Messung, die sogenannte *kogenerische* Messung (Jöreskog, 1971) führt solche Parameter ein. (4.1a) wird durch $X_i = \lambda_i \eta + \epsilon_i$ ersetzt. Ein solches Vorgehen diskutieren wir unten im allgemeineren Rahmen der probabilistischen Testtheorie.

²¹ Die Bedeutung von α ergibt sich auch daraus, dass er bei korrelierten Messfehlervariablen immer noch eine untere Schranke der Reliabilität darstellt (Guttman, 1953).

4. Skala 'Reichweite der Naturwissenschaften'

Items. Im Falle gleicher Messfehlervarianzen für alle Items (tau-äquivalente Messungen) ist die Reliabilität eines um den Faktor k verlängerten Tests gleich

$$\frac{k \text{ Rel}}{1 + (k - 1)\text{Rel}} \quad (4.7)$$

(Spearman-Brown-Formel, siehe J. Rost, 2004). Die Reliabilität vergrößert sich also mit zunehmender Testlänge²². Im Rahmen der Testentwicklung wird häufig die Änderung der Reliabilität bei Herausnahme eines Items bestimmt. Eine möglichst geringe Abnahme der Reliabilität des verbleibenden Tests gilt als Qualitätsmerkmal eines Items.

Das Messmodell der klassischen Testtheorie erlaubt - sofern ihre Voraussetzungen erfüllt sind - eine einfache und leicht zu interpretierende Berechnung der latenten Personenparameter und wichtiger Testmerkmale. Hinsichtlich der genannten Gütekriterien wird es in der psychometrischen Literatur jedoch oft als unzureichend angesehen. Als Schwachpunkte gelten unter anderem (siehe z. B. Moosbrugger, 2012, Kapitel 5.7):

- Der Zusammenhang zwischen den Messgrößen und der latenten Personenvariable wird a priori vorgegeben (Gl. (4.1a)). Die Annahme, dass jedes Item die latente Variable in gleicher Weise misst ist aber nicht unbedingt plausibel. Auf jeden Fall sollte sie anhand der empirischen Daten untermauert werden (Kriteriumsvalidität).
- Viele Tests verwenden diskrete Antwortskalen für ihre Items. Die klassische Testtheorie geht aber in der Regel von intervallskalierten Variablen aus²³.
- Die möglichen Werte des Personparameters werden durch die Antwortskalen der Items festgelegt. Zwei verschiedene Tests desselben Merkmals sind daher nicht ohne Weiteres vergleichbar, falls unterschiedliche Antwortskalen verwendet werden.

²² In der Praxis stehen dem allerdings gegenteilige Effekte, wie zum Beispiel Ermüdungserscheinungen oder sinkende Motivation, entgegen.

²³ Prinzipiell ist diese Annahme nicht notwendig. Diskrete Messvariablen würden aber wegen Gl. (4.1a) auch diskrete Fehlervariablen implizieren. Diese wären dann nicht mehr normalverteilt, was aber bei vielen Verfahren der inferenten Statistik (z. B. der Regressionsanalyse oder bei Signifikanztests) vorausgesetzt wird. In der Praxis behilft man sich hier oft mit Korrekturverfahren. Im Rahmen der probabilistischen Testtheorie wird dieses Problem auf andere Weise gelöst (siehe unten).

Probabilistische Testtheorie

Die probabilistische Testtheorie versucht den soeben genannten Problemen durch eine flexiblere Modellierung des Zusammenhangs zwischen Messgrößen und Personenparametern zu begegnen. Es existieren zwei populäre Varianten: die Theorie der Strukturgleichungsmodelle (SEM) und die Item-Response-Theorie (IRT). Beide Ansätze wurden seit Mitte des 20. Jahrhunderts weitgehend parallel entwickelt (siehe Borsboom et al., 2003). Strukturgleichungsmodelle sind eine Verallgemeinerung faktoranalytischer Modelle für kontinuierliche Variablen. Sie dienen insbesondere der Modellierung kausaler Beziehungen zwischen mehreren latenten Variablen. Ein wesentliches Ziel der Item-Response-Theorie war dagegen die Entwicklung von Messmodellen für Tests mit diskreten Antwortskalen. Durch die Entwicklung zunehmend allgemeinerer Modelle im Rahmen der jeweiligen Ansätze verschwinden die Unterschiede jedoch zusehens²⁴.

Wir versuchen die grundlegende Idee der probabilistischen Testtheorie wieder anhand der Situation in Abbildung 4.3 zu verdeutlichen. Ziel sei zunächst, das klassische Messmodell so zu verallgemeinern, dass der Zusammenhang zwischen dem Personenparameter und den Messvariablen nicht mehr als gleich für alle Items vorgegeben wird. Dazu wird ein itemspezifischer Parameter λ_i eingeführt:

$$X_i = \lambda_i \eta + \epsilon_i \quad \text{für } i = 1, \dots, n. \quad (4.8)$$

Offensichtlich ist λ_i ein Maß für die Stärke des Einflusses der latenten Eigenschaft η auf den Messwert X_i . Ist zum Beispiel $\lambda_i = 0$, so existiert überhaupt kein Zusammenhang und die Varianz der Itemantworten wird lediglich durch andere, im Fehlerterm zusammengefasste, Ursachen hervorgerufen. Etwas anders gesagt, λ_i ist ein Maß dafür, wie gut das i -te Item den Personenparameter misst. Er wird auch als *Ladung* des Items auf den *Faktor* η bezeichnet²⁵. Anhand der Beobachtungen an einer Stichprobe wird der Wert der Faktorladungen so bestimmt, dass das Modell zu den Daten möglichst gut passt (siehe unten).

Auch der Fall einer diskreten Messvariable lässt sich dadurch berücksichtigen, dass der unmittelbare Zusammenhang zwischen den beobachteten Werten und dem Personenparameter aufgehoben wird. Wir beschränken uns hier auf den

²⁴ Tatsächlich gehören praktisch alle in der Literatur betrachteten SEM und IRT-Modelle mathematisch zur Klasse der sogenannten generalisierten linearen gemischten Regressionsmodelle (engl. *Generalized Linear Mixed Models* (GLMM); siehe Skrondal und Rabe-Hesketh (2007), Fahrmeir et al. (2007).)

²⁵ Diese Begrifflichkeiten sind üblich bei der Faktorenanalyse, einem Verfahren der multivariaten Statistik. Hier wird geprüft, ob sich Beobachtungen eine Anzahl von Zufallsvariablen durch eine geringere Zahl latenter Variablen (»Faktoren«) im Rahmen eines linearen Regressionsmodells statistisch beschreiben lassen. Man kann ein solches Modell als Spezialfall der unten beschriebenen Strukturgleichungsmodelle auffassen.

4. Skala 'Reichweite der Naturwissenschaften'

Fall einer sogenannten Likert-Skala, also einer diskreten Ordinalskala. Die Itemantworten mögen q mögliche Werte annehmen und der Wertebereich der Variablen X_i sei $\{1, \dots, q\}$. Die Variable X_i wird nun als Diskretisierung einer kontinuierlichen, latenten Messvariable X_i^* aufgefasst, derart dass

$$X_i = r \Leftrightarrow \tau_{ir-1} < X_i^* \leq \tau_{ir} \quad \text{für } r = 1, \dots, q-1, \quad (4.9)$$

wobei $\tau_{i0} < \tau_{i1} < \dots < \tau_{iq} = \infty$. Der Wertebereich von X_i^* ist also $[\tau_{i0}, \infty]$. τ_{i0} ist frei wählbar, z. B. $\tau_{i0} = -\infty$. Die τ_{ir} stellen Schwellen dar, die den Übergang zwischen den Antwortkategorien des i -ten Items markieren. Dieses Modell wird daher auch *Schwellenwertmodell* genannt²⁶. Gleichung (4.8) wird ersetzt durch

$$X_i^* = \lambda_i \eta + \epsilon_i \quad \text{für } i = 1, \dots, n. \quad (4.10)$$

Genauso wie die Faktorladungen, werden auch die Schwellenwerte anhand der Daten einer Stichprobe geschätzt. Damit dies möglich ist, müssen Annahmen über die statistische Verteilung des Personenparameters und der Fehlervariablen gemacht werden²⁷. Die Verteilung von ϵ_i hat eine besondere Bedeutung: sie bestimmt nämlich die Wahrscheinlichkeit für einen Messwert $X_i = x_i$ bei gegebenem Personenparameter η . Abbildung 4.4 soll dies verdeutlichen²⁸. f sei dort

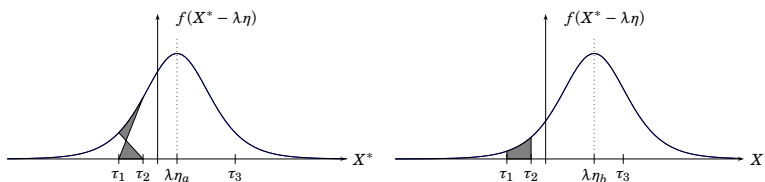


Abb. 4.4. Die Wahrscheinlichkeitsdichte ist zentriert um $\lambda\eta$. Gezeigt sind die Kurven für zwei verschiedene Personenparameter $\eta_a < \eta_b$. Für den größeren Wert liegt die Kurve weiter rechts, so dass die Wahrscheinlichkeit einer Antwort in Kategorie 2 kleiner ist.

die Wahrscheinlichkeitsdichte von ϵ (der Index i ist weggelassen). Die Fläche unter der Kurve zwischen τ_1 und τ_2 ist zum Beispiel gleich der Wahrscheinlichkeit

²⁶ Die hier gegebene Darstellung der Schwellenwertmodells folgt weitgehend Fahrmeir et al. (2007, S. 242ff).

²⁷ Der Personenparameter η wird in der Regel als normalverteilt angenommen. Dies ist aber nicht zwingend notwendig. Die genaue Art der Annahmen hängt von der Schätzmethode und den Größen, die geschätzt werden sollen, ab. Man beachte, dass jetzt durch Einführung der kontinuierlichen Messvariablen X_i^* sowohl der Personenparameter als auch die Messvariablen stetig verteilt sein können.

²⁸ Abb. 4.4 entspricht weitgehend Abb. 5.1 bei Fahrmeir et al. (2007). Gezeigt ist die logistische Wahrscheinlichkeitsdichte. Sie besitzt in dem hier diskutierten Zusammenhang einige Vorteile gegenüber der Normalverteilung (siehe z. B. Gleichung 4.15 unten).

für die zweite Antwortkategorie. Außerdem ist gezeigt, wie die Wahrscheinlichkeiten von $\lambda\eta$ abhängen. Rechnerisch kann man dies so nachvollziehen: Sei F die Verteilungsfunktion von ϵ_i , dann folgt aus (4.10)

$$P(X_i \leq r \mid \eta) = P(X_i^* \leq \tau_{ir} \mid \eta) = P(\epsilon_i \leq \tau_{ir} - \lambda_i\eta \mid \eta) = F(\tau_{ir} - \lambda_i\eta) \quad (4.11)$$

für $r = 1, \dots, q$.²⁹ Man beachte, dass $P(X_i \leq r) = P(X_i = 1) + \dots + P(X_i = r)$ und $P(X_i \leq q \mid \eta) = F(\infty) = 1$ gilt. Daraus folgt für die Wahrscheinlichkeit einer Antwort in der Kategorie r bei gegebenem Personenparameter

$$P(X_i = 1 \mid \eta) = F(\tau_{i1} - \lambda_i\eta) \quad (4.12)$$

$$P(X_i = r \mid \eta) = F(\tau_{ir} - \lambda_i\eta) - F(\tau_{ir-1} - \lambda_i\eta) \quad (4.13)$$

für $r = 2, \dots, q$. Wählt man für F die logistische Verteilungsfunktion

$$F(x) = \frac{e^x}{1 + e^x}, \quad (4.14)$$

so spricht man vom kumulativen *Logit*-Modell, wählt man stattdessen die Normalverteilung, von einem *Probit*-Modell. Eine Interpretation des Logit-Modells ergibt sich aus der folgenden Gleichung

$$\log \frac{P(X_i > r \mid \eta)}{P(X_i \leq r \mid \eta)} = \lambda_i\eta - \tau_{ir}. \quad (4.15)$$

Der Quotient $\frac{P(X_i > r \mid \eta)}{P(X_i \leq r \mid \eta)}$ lässt sich als *Chance* auffassen, dass jemand mit dem Personenparameter η eine Kategorie größer als r wählt³⁰. Die in logarithmischen Einheiten (den »Logits«) gemessene Chance hängt dann wieder linear von η ab.

Die Verwendung latenter kontinuierlicher Messvariablen für Items mit diskreten Antwortskalen ist vor allem in der Theorie der Strukturgleichungsmodelle üblich. In der Psychometrie wurde dieses Verfahren zuerst für faktoranalytische Modelle von Christoffersson (1975) und Muthén (1978) formuliert und später in allgemeineren Modellvarianten angewandt³¹.

Demgegenüber befasste die sich weitgehend parallel verlaufende Entwicklung der Item-Response-Theorie originär mit Modellen für diskrete Antwortskalen. Eines der frühesten und bis heute wichtigsten Modelle ist das Rasch-Modell

²⁹ $P(X \mid Y)$ bezeichnet die bedingte Wahrscheinlichkeit einer Zufallsvariablen X bei gegebenem Wert von Y .

³⁰ Eine ausführliche Diskussion dieser Interpretation findet sich für den dichotomen Fall ($r = 1, 2$) zum Beispiel bei (J. Rost, 2004, S. 116f).

³¹ Auch in der Ökonometrie wurden entsprechende Modelle (sog. *Discrete Choice Methods*) von Daniel McFadden entwickelt (z. B. McFadden, 1973). Er wurde dafür im Jahre 2000 mit dem Nobelpreis für Wirtschaftswissenschaften ausgezeichnet.

4. Skala 'Reichweite der Naturwissenschaften'

(Rasch, 1960) für dichotome Messvariablen: Man stelle sich beispielsweise einen Leistungstest mit verschiedenen Aufgaben als Items vor. Wird eine Aufgabe gelöst, entspricht dies dem Wert 1 der zugehörigen Messvariable, wird sie nicht gelöst, dem Wert 0. Der Personenparameter η wird interpretiert als *Fähigkeit* die Aufgaben zu lösen³². Im Zentrum der Formulierung eines IRT-Messmodells steht die Wahrscheinlichkeit ein Item zu lösen als Funktion der Fähigkeit einer Person: Abbildung 4.5 zeigt ein Beispiel. Die Funktion $\eta \rightarrow P(\eta)$ wird *Itemfunktion* oder

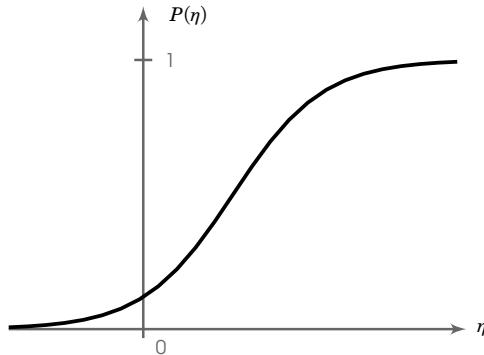


Abb. 4.5. Verlauf einer Itemfunktion im Raschmodell.

Itemcharakteristik, kurz ICC (engl. Item Characteristic Function) genannt. Der ogivenförmige Kurvenverlauf ist durchaus plausibel: Mit steigender Fähigkeit sollte auch die Wahrscheinlichkeit wachsen das Item zu lösen. Es ist also ein monotoner Zusammenhang zu erwarten. Außerdem ist es naheliegend, dass sich die Lösungswahrscheinlichkeit nur in einem eingeschränkten Bereich merklich ändert. Ist sie für einen bestimmten Fähigkeitswert nahezu 0, so wird sie auch für kleinere Fähigkeiten ebenfalls nahe 0 bleiben. Wird der Item mit einer Wahrscheinlichkeit von nahezu 1 gelöst, so wird eine Person mit noch größerer Fähigkeit das Item ebenfalls mit hoher Wahrscheinlichkeit lösen.

Es ist üblich die Itemfunktion durch zwei Größen zu parametrisieren: Die Steigung bei einer Lösungswahrscheinlichkeit von 0,5 und der Fähigkeitswert an dieser Stelle (siehe Abbildung 4.6) Diese beiden Parameter charakterisieren Eigenschaften eines Items. σ kann als Maß für die *Schwierigkeit* eines Items aufgefasst werden. Je größer σ , desto höher die zur Lösung des Items erforderliche Fähigkeit. Die Steigung an dieser Stelle ist dagegen als *Trennschärfe* des Items interpretierbar. Je größer sie ist, desto besser unterscheidet das Item

³² In der Item-Response-Theorie wird der Personenparameter typischerweise mit θ bezeichnet. Wir bleiben hier beim Buchstaben η , der in der SEM-Literatur üblich ist.

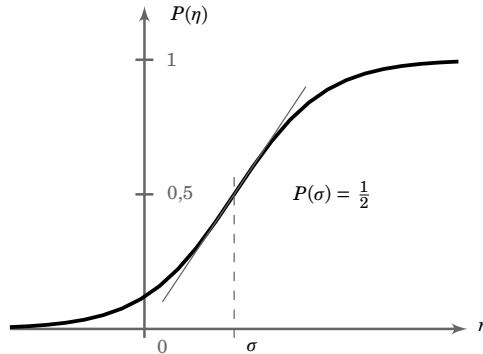


Abb. 4.6. σ ist der Wert des Personenparameters bei dem die Wahrscheinlichkeit das Item zu lösen gleich 0,5 ist.

Personen offenbar niedriger und hoher Fähigkeit (insbesondere in der Nähe des Wertes σ). Häufig werden die Itemfunktionen mithilfe der logistischen Funktion modelliert:

$$P(\eta) = \frac{e^{\lambda(\eta-\sigma)}}{1 + e^{\lambda(\eta-\sigma)}} \quad (4.16)$$

Es gilt $P(\sigma) = 1/2$ und $\lambda = 4P'(\sigma)$. σ und λ können also als Kennzahlen für die Schwierigkeit bzw. Trennschärfe eines Items angesehen werden. Beim Rasch-Modell wird angenommen, dass alle Items eines Tests die gleiche Trennschärfe haben. Sie unterscheiden sich lediglich in der Schwierigkeit. Da es nur von einem Parameter abhängt, wird das Rasch-Modell auch 1-PL-Modell (PL für Parameter-Logistic) genannt, das von zwei Parametern abhängige Modell entsprechend 2-PL-Modell. Das Raschmodell zeichnet sich dadurch aus, dass Itemschwierigkeiten und Fähigkeiten auf einer gemeinsamen Skala dargestellt werden können. Die Wahrscheinlichkeit einer korrekten Antwort hängt nur vom Abstand $\eta - \sigma$ ab. Der Unterschied in der Schwierigkeit zweier Items ist für jede Person identisch, genauso ist der Unterschied in der Fähigkeit zweier Personen für jedes Item identisch. Diese Eigenschaft wurde von Rasch »Spezifische Objektivität« genannt³³. Bei verschiedenen Trennschärfen der Items gilt dies nicht mehr.

Die Verbindung zwischen dem IRT-Modell für dichotome Antwortskalen und dem

³³ Der statistische Grund dafür ist, dass der ungewichtete Summenscore einer Person eine suffiziente Statistik für die Schätzung des Personenparameters im Rasch-Modell ist. Eine wichtige Konsequenz der Spezifischen Objektivität ist, dass jeder Auswahl von Testitems die gleiche Schätzung (der Differenzen) der Personenparameter liefert. Dies setzt natürlich die Gültigkeit des Rasch-Modells für die untersuchte Stichprobe voraus. Auch sinkt die Messgenauigkeit der Schätzung, wenn weniger Items verwendet werden.

4. Skala 'Reichweite der Naturwissenschaften'

oben betrachteten Schwellenwertmodell für Likert-Skalen ist leicht zu sehen: Im Schwellenwertmodell entspricht eine dichotome Antwortskala dem Fall $q = 2$. Die Wahrscheinlichkeit, dass eine Person mit einer Fähigkeit η ein Item löst ist nun aber nichts Anderes als die bedingte Wahrscheinlichkeit $P(X = 2 \mid \eta)$ den Wert 2 zu messen³⁴. Gleichung (4.13) des Schwellenwertmodells entspricht dann (4.16) des IRT-Modells mit

$$\sigma = \frac{\tau_0}{\lambda}. \quad (4.17)$$

Die Proportionalität zwischen σ und dem Schwellenwertparameter macht deutlich, dass dieser auch als Maß für die Schwierigkeit eines Items aufgefasst werden kann. Auch für λ erhalten wir zwei Perspektiven: es gibt an wie »gut« ein Item den Personparameter misst und bestimmt zugleich dessen Trennschärfe.

Auch polytome Items ($q > 2$) können im Rahmen der Item-Response-Theorie behandelt werden. Für jedes Item mit der Antwortkategorien $1, \dots, q$ sind die $q - 1$ Itemfunktionen

$$P_r(\eta) = P(X = r \mid \eta) \quad r = 2, \dots, q \quad (4.18)$$

zu spezifizieren³⁵. Wählt man sie gemäß (4.13), so gilt die Äquivalenz mit dem Schwellenwertmodell auch in diesem allgemeinen Fall. Als Item-Response-Modell wurde es 1969 von Samejima formuliert und wird in der IRT-Literatur als Graded Response Model (GRM) bezeichnet. Es existieren jedoch auch andere populäre IRT-Modelle für Ordinalskalen, z. B. das Partial Credit Model (PCM) von Masters oder das sequentielle Modell von Tutz (siehe J. Rost, 2004, Kapitel 3.3)³⁶.

Zur vollständigen Spezifikation eines IRT-Modells ist neben den Itemfunktionen noch eine Wahrscheinlichkeitsdichte g für den Personenparameter η zu wählen. Dann lässt sich die (unbedingte) Wahrscheinlichkeit, ein beliebiges Antwortmuster $\mathbf{x} = (x_1, \dots, x_n)$ zu beobachten, durch

$$P(\mathbf{X} = \mathbf{x}) = \int_I P(\mathbf{X} = \mathbf{x} \mid \eta)g(\eta) d\eta \quad (4.19)$$

34 Üblicherweise wählt man bei dichotomen Items 0 und 1 als Messwerte. Wir bleiben hier der Einheitlichkeit halber bei der oben eingeführten Nummerierung für Likert-Skalen. Die Werte sind dann also 1 und 2.

35 Da $\sum_{r=1}^q P_r(\eta) = 1$ gelten muss, benötigt man nur $q - 1$ Funktionen. Bei mehr als zwei Kategorien wird die alte Funktion oft als Kategorienfunktion bezeichnet (J. Rost, 2004, S.203).

36 Neben diesen Modellen, bei denen die Itemfunktionen durch wenige Parameter charakterisiert werden, sind auch nicht-parametrische Modelle vorgeschlagen worden, die eine flexiblere Wahl gestatten (zum Beispiel die sogenannte Mokken-Analyse (J. Rost, 2004, S.137). Zum aktuellen Forschungsstand hinsichtlich solcher Modelle siehe (Kelava, Kohler, Krzyzak & Weinbender, 2012).

berechnen. Dabei ist $\mathbf{X} = (X_1, \dots, X_n)$ der Zufallsvektor der Messvariablen und I ist der Wertebereich des Personenparameters.

Die grundlegende Idee des reflexiven Messmodells, dass die latente Variable die Ursache der Korrelationen zwischen den Messvariablen ist, wird in der probabilistischen Testtheorie durch die Annahme der *lokalen stochastischen Unabhängigkeit* ausgedrückt:

$$P(\mathbf{X} | \eta) = \prod_{i=1}^n P(X_i | \eta) \quad (4.20)$$

Gleichung (4.20) drückt die bedingte Unabhängigkeit der Messvariablen bei gegebener latenter Variable aus³⁷

Diskrete Personenparameter Bisher wurde angenommen, dass der Personenparameter Werte auf einer kontinuierlichen Skala annehmen kann. Es kann aber auch interessant sein, diesen als eine diskrete Größe zu modellieren. Zum Beispiel dann, wenn eine psychologische Theorie die Ausprägungen eines Persönlichkeitsmerkmals durch eine endliche Zahl von Typen beschreibt. Formal lässt sich diese Situation weitgehend analog zum kontinuierlichen Fall beschreiben. η nimmt in diesem Fall nur Werte aus einer endlichen Menge $W_\eta = \{k_1, \dots, k_l\}$ an. Aus den Itemfunktionen werden jetzt *Itemprofile*:

Im allgemeinen Fall unterliegen die Itemprofile keiner Parametrisierung. Sie werden stattdessen direkt durch l Wahrscheinlichkeitswerte charakterisiert³⁸. Die Wahrscheinlichkeit eines Antwortmusters \mathbf{x} ergibt sich wie in Gleichung (4.19), es wird lediglich das Integral durch eine Summe ersetzt

$$P(\mathbf{X} = \mathbf{x}) = \sum_{j=1}^l P(\mathbf{X} = \mathbf{x} | \eta = k_j)g(k_j) \quad (4.21)$$

g ist die Wahrscheinlichkeitsverteilung von η . Oft möchte man die Personen einer

³⁷ Bedingung (4.20) scheint etwas restriktiver als die Forderung (4.1c) der klassischen Testtheorie, da aus der Unabhängigkeit zweier Zufallsvariablen deren Unkorreliertheit folgt, aber nicht umgekehrt (für multivariat normalverteilte Variablen sind Unabhängigkeit und Unkorreliertheit allerdings äquivalent). Tatsächlich ist es jedoch so, dass es - sofern überhaupt eine gemeinsame Wahrscheinlichkeitsverteilung für die X_i existiert - immer eine latente Variable gibt, so dass die lokale stochastische Unabhängigkeit erfüllt ist (Suppes & Zanotti, 1981). Gl. (4.20) ist also zunächst gar keine Einschränkung an die Daten. Sie wird es erst zusammen mit weiteren plausiblen Annahmen, wie z. B. der eines monotonen Zusammenhangs zwischen η und den bedingten Erwartungswerten $E(X_i | \eta)$ (siehe z. B. Bechger, Maris, Verstralen & Béguin, 2003). Die Existenz einer gemeinsamen Wahrscheinlichkeitsverteilung der X_i ist dagegen eng verknüpft mit ihre unabhängigen Messbarkeit.

³⁸ Wie zuvor gehört zu jeder Antwortkategorie ein Itemprofil. Ein Item mit q Antwortkategorien wird also durch $q \cdot l$ Parameter beschrieben.

4. Skala 'Reichweite der Naturwissenschaften'

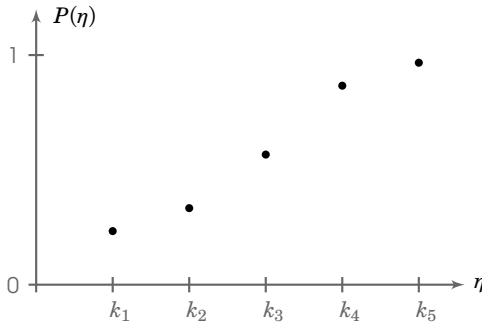


Abb. 4.7. Ein Itemprofil einer Antwortkategorie. Der Personenparameter kann hier fünf diskrete Werte annehmen.

Stichprobe tatsächlich einem Typus, also einem Wert des latenten Parameters zuordnen. Ein naheliegendes Verfahren ist, eine Person dem Wert zuzuordnen, der angesichts ihres Antwortmusters am wahrscheinlichsten ist³⁹. Auf diese Weise wird die Stichprobe in l Klassen von Personen aufgeteilt. Dieses auf Paul Lazarsfeld zurückgehende Modell wird als *Latent-Class-Modell* (LCM) bezeichnet⁴⁰. Laut J. Rost (2004, S. 160) ist es das Grundmodell aller gängigen Testmodelle für kategoriale Personenvariablen. In der Regel werden bei diesen zusätzliche Annahmen über den Verlauf der Itemprofile gemacht und die Zahl der zu schätzenden Parameter auf diese Weise verringert.

Strukturmodelle Bis hierhin wurden Messmodelle für Testskalen entsprechend dem Pfaddiagramm 4.3 vorgestellt. In einer empirischen Untersuchung werden jedoch in der Regel verschiedene Personenmerkmale gemessen und miteinander in Beziehung gesetzt. Oder ein Personenmerkmal setzt sich aus verschiedenen Untermerkmalen zusammen, die im Modell als eigene latente Variablen berücksichtigt werden (sogenannte »mehrdimensionale« Merkmale). Eine weitere Möglichkeit ist, dass dasselbe Merkmal im Rahmen einer Längsschnittstudie zu verschiedenen Zeitpunkten gemessen wird.

³⁹ Die Wahrscheinlichkeit für den Wert k_j bei gegebenem Antwortmuster \mathbf{x} ist $P(\eta = k_j | \mathbf{X} = \mathbf{x})$, man kann sie aus dem Itemprofil mithilfe des Satzes von Bayes bestimmen:

$$P(\eta | \mathbf{X} = \mathbf{x}) = \frac{g(\eta)P(\mathbf{X} = \mathbf{x} | \eta)}{P(\mathbf{X} = \mathbf{x})}.$$

⁴⁰ Sind die Messvariablen intervallskaliert, spricht man stattdessen von *Latent Profile Modellen*. In diesem Fall sind die bedingten Wahrscheinlichkeiten $P(\mathbf{X} = \mathbf{x} | \eta = k_j)$ in Gl. (4.22) kontinuierliche Funktionen der Messvariablen \mathbf{X} .

Um die Beziehungen zwischen verschiedenen latenten Variablen zu berücksichtigen, werden die Messmodelle durch ein Strukturmodell ergänzt⁴¹. Abbildung 4.8 zeigt beispielhaft ein Pfaddiagramm für drei latente Variablen. In diesem

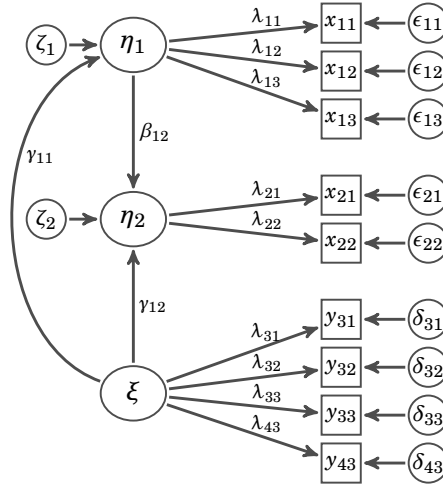


Abb. 4.8. Pfaddiagramm mit drei latenten Variablen η_1 , η_2 und ξ .

Beispiel sind η_1 , η_2 und ξ die latenten Variablen, X_{ij} , Y_{ij} die Mess- und ϵ_{ij} , δ_{ij} die Fehlervariablen. Die latente Variable ξ wird nicht von anderen latenten Variablen beeinflusst (es zeigen keine Pfeile auf sie). Solche unabhängigen latenten Variablen heißen *exogen*, die übrigen *endogen*. Es ist üblich exogene und endogene Variablen mit unterschiedlichen Buchstaben zu bezeichnen. Die exogenen Variablen ζ_1 und ζ_2 sind theoretisch nicht weiter interpretierte Einflüsse, die die verbleibende Varianz von η_1 und η_2 hervorrufen (sie wurden im Pfaddiagramm 4.3 des Messmodells nicht extra eingezeichnet). Um eine übersichtliche Notation zu erhalten, ist es praktisch die Variablen eines Typs zu Vektoren zusammenzufassen, also z. B. $\boldsymbol{\eta} = (\eta_1, \eta_2)^t$, $\mathbf{X} = (\mathbf{X}_1, \mathbf{X}_2)^t$ mit $\mathbf{X}_i = (X_{ij})$ usw.. Dann lässt sich das Messmodell für die latenten Variablen $\boldsymbol{\eta}$ und $\boldsymbol{\xi}$ in den Gleichungen

$$\mathbf{X} = \Lambda_X \boldsymbol{\eta} + \boldsymbol{\epsilon}, \quad \mathbf{Y} = \Lambda_Y \boldsymbol{\xi} + \boldsymbol{\delta} \quad (4.22)$$

41 Wir verwenden hier die in der SEM-Literatur übliche Terminologie.

4. Skala 'Reichweite der Naturwissenschaften'

zusammenfassen. Λ_X und Λ_Y heißen Faktorladungsmatrizen⁴². Die Einträge λ_{ij} geben die Stärke des Einflusses der latenten Variablen auf ihre Messvariablen wieder. Das Strukturmodell, das die Beziehungen der latenten Variablen untereinander beschreibt, wird üblicherweise in der Form

$$\eta = B\eta + \Gamma\xi + \zeta \quad (4.23)$$

geschrieben. Die Matrix $B = (\beta_{ij})$ legt die Einflüsse der endogenen, die Matrix Γ die der exogenen Variablen fest⁴³. Feste Kovariate (also Einflussgrößen, die als messfehlerfrei angesehen werden, wie zum Beispiel Geschlecht oder Alter) können im Strukturmodell als exogene Variablen im Vektor ξ berücksichtigt werden.

In den Gleichungen des Messmodells (4.22) sind die Messvariable als kontinuierlich angenommen. Sind einige von ihnen diskret, ist es - wie oben diskutiert - geeignet zu modifizieren, zum Beispiel durch Einführung kontinuierlicher latenter Messvariablen mithilfe von Schwellenparametern.

Sind Mess- und Strukturmodell festgelegt, verbleiben die Schätzung der freien Modellparameter und die Prüfung der Modellgüte.

Die Schätzung der Parameter erfolgt anhand der Daten einer Stichprobe. Dazu benötigt man eine Schätzfunktion⁴⁴, in die diese Daten eingesetzt werden, um einen konkreten Schätzwert zu erhalten. Diese Funktion sollte möglichst günstige statistische Eigenschaften, wie (asymptotische) Erwartungstreue, Konsistenz oder Effizienz besitzen⁴⁵.

Zwei prominente Verfahren um geeignete Schätzfunktionen zu konstruieren, sind die Methode der kleinsten Quadrate und die Maximum-Likelihood-Methode. Bei der Methode der kleinsten Quadrate betrachtet man die quadrierten Abwei-

42 Ihre explizite Form für das in Abbildung 4.8 gezeigte Beispiel ist

$$\Lambda_X = \begin{pmatrix} \lambda_{11} & 0 \\ \lambda_{12} & 0 \\ \lambda_{13} & 0 \\ 0 & \lambda_{21} \\ 0 & \lambda_{22} \end{pmatrix}, \quad \Lambda_Y = \begin{pmatrix} \lambda_{31} \\ \lambda_{32} \\ \lambda_{33} \\ \lambda_{43} \end{pmatrix}.$$

43 Für das Beispiel sind sie

$$B = \begin{pmatrix} 0 & \beta_{12} \\ 0 & 0 \end{pmatrix}, \quad \Gamma = \begin{pmatrix} \gamma_{11} \\ \lambda_{12} \end{pmatrix}.$$

44 Andere geläufige Bezeichnungen sind Schätzer, Stichprobenfunktion oder Statistik.

45 Man betrachte eine Folge von Stichproben zunehmender Größe: die zugehörige Folge der Schätzfunktionen heißt asymptotisch erwartungstreu, falls ihre Erwartungswerte gegen den tatsächlichen Wert konvergieren. Sie heißt konsistent, falls die Wahrscheinlichkeiten, dass sich die Schätzwerte vom wahren Wert unterscheiden, gegen Null geht. Eine Schätzung heißt effizient, wenn sie möglichst kleine Varianz besitzt (für exakte Definitionen siehe z. B. Pruscha (2000)).

chungen, also zum Beispiel $\epsilon^t \epsilon$, $\delta^t \delta$ und $\zeta^t \zeta$ in dem durch die Gln. (4.22), (4.23) definierten Modell. Die Schätzfunktion für die Modellparameter wird dann so gewählt, dass sie diese quadratischen Abweichung minimiert⁴⁶.

Bei der Maximum-Likelihood-Schätzung betrachtet man dagegen die Wahrscheinlichkeit für ein beliebiges Antwortmuster in der Stichprobe bei gegebenen Parametern. Ist \mathbf{z} ein beliebiges Antwortmuster der Stichprobe und θ der Vektor aller Parameter des Modells, so wird die bedingte Wahrscheinlichkeit von \mathbf{z} , aufgefasst als Funktion von θ , als *Likelihood* $L(\theta)$ bezeichnet⁴⁷

$$L(\theta) \doteq P(\mathbf{Z} = \mathbf{z} \mid \theta) \quad (4.24)$$

Die Schätzfunktion $\mathbf{z} \mapsto \hat{\theta}(\mathbf{z})$ wird nun so bestimmt, dass $L(\theta)$ maximal wird. Bei stetigen Messvariablen Z_i verwendet man statt der Wahrscheinlichkeit die Wahrscheinlichkeitsdichte. In der Regel ist $L(\theta)$ differenzierbar, so dass die Schätzfunktion durch Nullsetzen der ersten Ableitung und anschließendem Auflösen des resultierenden Gleichungssystems nach θ bestimmt werden kann. Einsetzen des tatsächlich beobachteten Antwortmusters in die Schätzfunktion liefert dann die Schätzwerte für die Komponenten von θ . Die Parameter werden also so bestimmt, dass das beobachtete Antwortmuster gerade für sie die größte Wahrscheinlichkeit hat. Bei diskreten Messvariablen ist die Auflösung des Gleichungssystems normalerweise nicht mehr analytisch möglich und die Schätzwerte müssen mit numerischen Verfahren näherungsweise ermittelt werden. Unter anderem aus diesem Grund werden in der Praxis auch noch andere Varianten der Likelihood-Funktion verwendet. Eine ausführliche Darstellung der verschiedenen Schätzverfahren für eine große Klasse von Regressionsmodellen gibt Fahrmeir et al. (2007). Einen Überblick geben z. B. Wirth und Edwards (2007) oder Tuerlinckx et al. (2006).

Nach Schätzung der Modellparameter ist das statistische Modell vollständig spezifiziert. Man kann es als eine empirisch prüfbare Theorie auffassen und sich Fragen wie »gut« diese Theorie ist. Man wird dann zu ähnlichen Kriterien gelangen, wie sie zum Beispiel für physikalische Theorien formuliert werden, zum Beispiel:

- 1) Möglichst gute Beschreibung vorhandener empirischer Daten
- 2) Einfachheit

⁴⁶ Sind die Messfehlervariablen korreliert oder besitzen ungleiche Varianzen, ergibt die Kleinste-Quadrate-Methode schlechte Schätzungen der Kovarianzmatrizen. In diesem Fall muss zum Beispiel die Methode der gewichteten kleinsten Quadrate verwendet werden (siehe Fahrmeir et al., 2007, Kapitel 3.4)

⁴⁷ Man beachte, dass sich unter Annahme der bedingten Unabhängigkeit die Wahrscheinlichkeit $P(\mathbf{Z} \mid \theta)$ als Produkt der Wahrscheinlichkeiten der Einzeldaten ergibt: $P(\mathbf{Z} \mid \theta) = \prod_i P(Z_i \mid \theta)$.

4. Skala 'Reichweite der Naturwissenschaften'

3) Geltungsbereich

4) Empirisch prüfbare Vorhersagen

J. Rost (2004, S. 330) nennt die Punkte 1-3 als Kriterien für ein »gültiges« statistisches Modell. Zwischen den Kriterien besteht ein gewisses Spannungsverhältnis: durch Einführung hinreichend vieler Parameter in ein Modell lässt sich im Prinzip eine beliebig gute Passung zwischen einem gegebenen Datensatz und der Modellvorhersage erreichen. D.h. Kriterium 1 kann gegebenenfalls zulasten der Einfachheit (Kriterium 2) erfüllt werden. Ähnliches gilt für den Zusammenhang zwischen dem Geltungsbereich (Kriterium 3) und der Komplexität einer Theorie. In der Psychologie lässt sich der Geltungsbereich allerdings weit weniger formal charakterisieren als dies zum Beispiel in der Physik mit ihrem mathematisch formulierten Theoriegebäude⁴⁸.

Es sind eine Reihe von »Prüfgrößen« vorgeschlagen worden, um die Güte eines statistischen Modells anhand der Kriterien 1 und 2 zu quantifizieren. Zwei der bekanntesten sind der Likelihood-Quotient und Pearsons χ^2 -Statistik (siehe z. B. J. Rost, 2004, Kapitel 5). Der Likelihood-Quotient wird für eine gegebene Stichprobe als Verhältnis aus dem Likelihood $L(\hat{\theta})$ des zu prüfenden Modells und dem Likelihood eines weniger restriktiven Modells definiert. Ersteres sollte sich aus Letzterem durch zusätzliche, die Zahl der unabhängigen Parameter verringernde Bedingungen ergeben. Häufig wird das sogenannte saturierte Modell als Obermodell verwendet. In diesen werden die Wahrscheinlichkeiten für jedes mögliche Antwortmuster als unabhängige Parameter gewählt⁴⁹. Die Schätzwerte dieser Wahrscheinlichkeiten sind dann einfach die in der Stichprobe beobachteten relativen Häufigkeiten der Antwortmuster. Das saturierte Modell bietet somit die bestmögliche Anpassung an die Daten der Stichprobe. Ist der Likelihood-Quotient mit dem saturierte Modell als Obermodell nahe bei 1 bedeutet dies also eine gute Erklärung der Daten durch das infrage stehende Modell.

Pearsons χ^2 -Statistik ist definiert als

$$\sum_{\mathbf{z}} \frac{(H_{\mathbf{z}} - E_{\mathbf{z}})^2}{E_{\mathbf{z}}}. \quad (4.25)$$

⁴⁸ Wie die Vorhersagefähigkeit eines Modells (Kriterium 4) mit seiner Komplexität zusammenhängt, ist eine interessante Frage, die an dieser Stelle nicht erörtert werden soll. Sicherlich hängt die Antwort davon ab, welche latenten Variablen man zu den »Anfangsbedingungen« zählt (zum Beispiel Werte der Personparameter) und welche zu den Vorhersagen (zum Beispiel Korrelationen zwischen den Personenparametern).

⁴⁹ Die Zahl der unabhängigen Parameter des saturierten Modells ist also gleich der Zahl der möglichen Antwortmuster -1 (-1, da die Summe der Wahrscheinlichkeiten gleich 1 sein muss).

Die Summe läuft dabei über alle möglichen Antwortmuster \mathbf{z} . $H_{\mathbf{z}}$ bezeichnet die beobachtete Häufigkeit von \mathbf{z} , $E_{\mathbf{z}}$ die vom Modell erwartete Häufigkeit. Die Verwendung der χ^2 -Statistik ist ein klassisches Verfahren zur Prüfung der Passung zwischen Stichprobendaten und statistischem Modell. Likelihood-Quotient und χ^2 -Statistik sind gewissermaßen die Pedants zu den Verfahren der Maximum-Likelihood- und Kleinste-Quadrate-Schätzung. Für hinreichend große Stichproben sind beide Prüfgrößen annähernd χ^2 -verteilt und erlauben einen Test auf Signifikanz der beobachteten Abweichungen⁵⁰.

Neben diesen statistischen Prüfgrößen existieren Gütemaße, die informationstheoretisch begründbar sind. Eines ihrer Vorteile ist, dass sie auch für kleinere Stichprobengrößen anwendbar sind. Sie ermöglichen jedoch keine Tests auf die statistische Signifikanz unterschiedlicher Werte. Das wohl am häufigsten verwendete statistische Gütemaß ist der AIC (Akaiikes Information Criterion). Er ist definiert als

$$AIC = -2\log L + 2n_p. \quad (4.26)$$

Hierbei bezeichnet L den Likelihood-Wert des Modells und n_p die Anzahl der Modellparameter. Kleinere Werte des AIC bedeuten eine bessere Übereinstimmung von Modellvorhersage und Stichprobendaten. Man beachte, dass der AIC sowohl das Gütekriterium der Datenpassung als auch das der Einfachheit berücksichtigt, da durch den Term $2n_p$ die Modellkomplexität »bestraft« wird.

Es existieren noch eine Reihe weiterer informationstheoretischer Gütemaße (z. B. BIC oder CAIC, siehe J. Rost (2004, Kapitel 5.2)), die sich vor allem im Maß der Bestrafung der Komplexität unterscheiden. Im Allgemeinen wird empfohlen, stets mehrere Prüfverfahren zur Beurteilung der Modellgüte zu verwenden, da jedes einzelne unter bestimmten Bedingungen zu Fehleinschätzungen führen kann.

Neben diesen »globalen« Kriterien, die die Güte des gesamten Modells beschreiben, gibt es auch solche, die die Güte einzelner Items zu charakterisieren versuchen, sogenannte *Item-Fit-Indizes*. Sie bemessen die Abweichung der für ein einzelnes Item beobachteten Antwortmuster von den vom Modell erwarteten. Auch hier existieren wieder Residuen- und Likelihood-basierte Maße. Von Bedeutung sind sie vor allem für die Testkonstruktion, um »schlechte« Items zu identifizieren. Für Details sei auf die Literatur (z. B. J. Rost, 2004, Kapitel 6.2) verwiesen.

Vor jeder Anwendung quantitativer Prüfverfahren sollte aber die theoretische

⁵⁰ Das Ergebnis des χ^2 -Tests hängt sowohl von der Stichprobengröße als auch der Normalverteilung der Messwerte ab. Es sind daher eine Reihe von Varianten vorgeschlagen worden, um diese Abhängigkeit in geeigneter Weise zu berücksichtigen (siehe z. B. Hooper, Coughlan & Mullen, 2008).

4. Skala 'Reichweite der Naturwissenschaften'

Plausibilität eines Modells beurteilt werden. Das allgemeine wissenschaftstheoretische Problem der Unterbestimmtheit von Theorien ist für die hier diskutierten Modelle latenter Variablen besonders markant. Es ist nämlich ohne Weiteres möglich, verschiedene Modelle zu definieren, die empirisch äquivalent sind (vgl. Borsboom et al., 2003). Eine Entscheidung ist dann nur anhand theoretischer Überlegungen möglich⁵¹.

4.2. Messung von Schüleransichten zur Reichweite der Naturwissenschaften

4.2.1. Wahl des Messinstruments

Soll im Rahmen einer quantitativen empirischen Untersuchung ein bestimmtes Merkmal gemessen werden, stellt sich zunächst die Frage, ob hierfür bereits geeignete Instrumente existieren. Soweit bekannt, wurden bis dato keine validen quantitativen Tests zur Messung von Ansichten über die Grenzen der Naturwissenschaften bzw. zum Konstrukt 'Szientismus' veröffentlicht. Die Untersuchungen von Hansson und Lindahl (2007, 2010) sind weitgehend qualitativer Natur⁵². In der NOS-Literatur finden sich lediglich einzelne Items oder Subskalen, die bestimmten Facetten des Konstrukts Szientismus zugeordnet werden können. So enthält zum Beispiel der Fragebogen der internationalen ROSE-Studie (Schreiner & Sjöberg, 2007, S. 91) das Item

»Science and technology can solve nearly all problems.«

Weitere Beispiele finden sich bei (Chen, 2006), (Priemer, 2003), (Lin & Chiu, 2004), (Stathopoulou & Vosniadou, 2007) oder (Driver, Leach, Millar & Scott, 1996). Eine quantitative Studie, die eine Subskala 'limits of science' verwendet ist Lombrozo, Thanukos und Weisberg (2008). Die dort verwendete Skala wurde allerdings hinsichtlich ihrer testtheoretischen Güte von Neumann, Neumann und Nehm (2011) stark kritisiert.⁵³

⁵¹ Auch in der Physik existieren für eingeschränkte Geltungsbereiche äquivalente theoretische Modelle. Das Theoriengebäude ist dort aber weitaus formaler und hierarchischer strukturiert als in der Psychologie. Zusammen mit der - in der Regel - einfacheren empirischen Prüfbarkeit ergeben sich so weitere Auswahlkriterien für die »richtige« Theorie.

⁵² In Hansson und Lindahl (2010) wurde auch ein Fragebogen eingesetzt, allerdings offenbar ohne den Anspruch eines validierten, quantitativen Messinstruments.

⁵³ Nach Abschluss dieser Arbeit wurden wir auf die Existenz weiterer Szientismus-Skalen aufmerksam (siehe Fulljames, Gibson und Francis (1991), Francis und Greer (2001)). Diese wurden in Studien bezüglich des Zusammenhangs von Haltungen zur Naturwissenschaft und Religion verwendet. Die Grundlage der Konstruktion und Informationen zu den psychometrischen Eigenschaften der Skalen sind der Literatur allerdings nicht zu entnehmen.

4.2. Messung von Schüleransichten zur Reichweite der Naturwissenschaften

Im Rahmen dieser Arbeit wurde daher eine neue Skala zum Konstrukt 'Szientismus' entwickelt⁵⁴. Insbesondere auf Grundlage von Stenmark (1997) wurde versucht verschiedene Aspekte des Szientismus in diesem Instrument zu berücksichtigen. Es handelt sich um einen geschlossenen Fragebogen mit zehn Aussagen zur Reichweite der Naturwissenschaften. Zu jeder Aussage bekundet die Testperson das Maß ihrer Zustimmung auf einer fünfteiligen Likert-Skala.

Gelegentlich wird die Auffassung vertreten, dass sich NOS-Konstrukte aufgrund ihrer Vielschichtigkeit nicht valide mithilfe von »paper-and-pencil«-Tests untersuchen lassen (siehe zum Beispiel Lederman (2007, S. 867f.)). Diese Kritik ist möglicherweise berechtigt, sie betrifft aber sicherlich auch viele andere psychologische Konstrukte. Letztlich muss immer zwischen Aspekten wie Objektivität, Validität und Aufwand der Messmethode abgewogen werden. Hinsichtlich des hier entwickelten Tests wurde versucht die Validität sowohl durch qualitative Verfahren, wie zum Beispiel Interviews, als auch quantitativ, zum Beispiel durch externe Konstruktvalidierung, so gut wie möglich zu gewährleisten.

4.2.2. Entwicklung des Fragebogens

In diesem Abschnitt werden die verschiedenen Schritte der Entwicklung und Validierung des Fragebogens dargestellt.

Theoriegeleitete Itemkonstruktion

Die Charakterisierung des dem Fragebogen zu Grunde liegenden Konstrukts 'Szientismus' basiert, wie erwähnt, maßgeblich auf Mikael Stenmarks Artikel 'What is scientism?' (Stenmark, 1997). Szientismus bezeichnet allgemein die Auffassung, dass allein die Naturwissenschaften ein akzeptables und umfassendes Instrument der Erkenntnisgewinnung sind. Stenmark differenziert in der Literatur anzutreffende Varianten des Szientismus nach verschiedenen (insbesondere philosophisch-erkenntnistheoretischen) Kriterien. Er berücksichtigt dabei vornehmlich Standpunkte, die von Naturwissenschaftlern und Philosophen veröffentlicht wurden. Allgemein unterscheidet er zwei Gruppen szientistischer Standpunkte: solche die sich lediglich auf die Wissenschaft beschränken und solche die alle Lebensbereiche und die gesamte Gesellschaft umfassen. Im Folgenden führen wir diese Varianten der Reihe nach auf. Sie bilden die Grundlage für die Konstruktion der Items des Fragebogens. Jede Variante wird durch eine

⁵⁴ Vgl. Korte, Berger, Imwalle und Hänze (2014). Die Entwicklung dieser Skala erfolgte in Zusammenarbeit mit Martin Hänze von der Universität Kassel.

4. Skala 'Reichweite der Naturwissenschaften'

Aussage charakterisiert und kurz erläutert⁵⁵.

1. Wissenschaft

Wissenschaft-Reduktion-1 - 3 beziehen sich auf die mögliche Reduktion der Inhalte und Ergebnisse anderer Wissenschaften (z.B. Geistes- oder Sozialwissenschaften) auf die Naturwissenschaften bzw. die Physik. Wissenschaft-Methode bezieht sich auf die Methoden und Kriterien der Erkenntnisgewinnung.

a) Wissenschaft-Reduktion-1

Alle akademischen Disziplinen können auf die Naturwissenschaften zurückgeführt werden.

Inhalte und Resultate aller Wissenschaften können vollständig auf die Naturwissenschaften zurückgeführt werden, d.h. sie können in die Termini naturwissenschaftlicher Theorien übersetzt und mittels dieser beschrieben bzw. erklärt werden. Sofern dies heute noch nicht der Fall ist, wird es zukünftig möglich sein.

b) Wissenschaft-Reduktion-2

Alle Naturwissenschaften können auf die Physik zurückgeführt werden.

Inhalte und Resultate aller Naturwissenschaften können vollständig auf die Physik zurückgeführt werden, d.h. sie können in physikalische Termini übersetzt und mittels physikalischer Theorien beschrieben bzw. erklärt werden. Sofern dies heute noch nicht der Fall ist, wird es zukünftig möglich sein.

c) Wissenschaft-Reduktion-3

Die gesamte Physik lässt sich auf die Mikrophysik zurückführen.

Jedes physikalische System lässt sich in räumliche Subsysteme aufteilen, z.B. Atome oder Elementarteilchen. Das Verhalten des Gesamtsystems lässt sich dann vollständig durch die Eigenschaften und die Wechselwirkung dieser Teilssysteme verstehen und beschreiben. Alle physikalischen Phänomene lassen sich auf die Theorie der kleinsten »Bausteine der Materie« zurückführen.

d) Wissenschaft-Methode

Alle Wissenschaften sollten ausschließlich naturwissenschaftliche Me-

⁵⁵ Die in Klammern aufgeführten Seitenzahlen und Nummern beziehen sich auf Stenmarks Artikel und die dortige Nummerierung der verschiedenen Standpunkte.

4.2. Messung von Schüleransichten zur Reichweite der Naturwissenschaften

thoden der Erkenntnisgewinnung verwenden.

Alle Wissenschaften, insbesondere auch die Geisteswissenschaften, sollten die gleichen Kriterien an ihre Forschung anlegen wie die Naturwissenschaften. Zum Beispiel sollten ihre Ergebnisse intersubjektiv testbar sein.

2. Gesellschaft

Die Positionen Gesellschaft-Epistemologisch bis Gesellschaft-Umfassend beziehen sich auf jede (nicht notwendigerweise wissenschaftliche) Art von Erkenntnis oder Wissen, die der Mensch erlangen kann.

a) Gesellschaft-Epistemologisch

Nur über diejenigen Bereiche der Wirklichkeit, die mit naturwissenschaftlichen Methoden zugänglich sind, können wir etwas zuverlässig wissen.

Jede Art von Erkenntnis muss den Kriterien der Naturwissenschaften genügen, um als zuverlässig gelten zu können. Subjektives Wissen, das von anderen nicht überprüft werden kann, genügt dieser Anforderung beispielsweise nicht.

b) Gesellschaft-Rational

Vernünftig ist nur, was naturwissenschaftlich bewiesen oder bekannt ist.

Vernünftigerweise sollte man nur an naturwissenschaftlich fundierte Erkenntnisse glauben. An andere 'Wahrheiten' zu glauben, die nicht von den Naturwissenschaften nahe gelegt werden, oder sogar im Widerspruch zu ihnen stehen, kann nicht als vernünftig oder sinnvoll angesehen werden.

c) Gesellschaft-Ontologisch-1

Die Naturwissenschaften definieren, was existiert.

Es gibt keine Realität außerhalb des naturwissenschaftlich Beschreibbaren. Es existiert kein Aspekt der Wirklichkeit, der den Naturwissenschaften nicht zugänglich wäre.

d) Gesellschaft-Ontologisch-2

Nur physikalische Objekte sind real – alles (Leben, Bewusstsein, Moral, Religion etc.) kann mit Hilfe physikalischer Begriffe und Entitäten beschrieben und erklärt werden.

4. Skala 'Reichweite der Naturwissenschaften'

Alle Elemente der Realität haben physikalischen Charakter. Die Physik hat auch innerhalb der Naturwissenschaften eine Sonderstellung: Sie definiert, was tatsächlich existiert.

e) Gesellschaft-Axiologisch-1

Naturwissenschaften sind das einzig Wertvolle. Alle anderen Bereiche des Lebens sind dagegen unbedeutend.

Der bedeutendste Aspekt des menschlichen Lebens ist die Beschäftigung mit den Naturwissenschaften. Andere Bereiche, wie z. B. soziale Beziehungen, Politik oder Sport sind im Vergleich dazu unwichtig.

f) Gesellschaft-Axiologisch-2

Moral kann naturwissenschaftlich erklärt werden. Die naturwissenschaftliche Ethik sollte die traditionelle Ethik ersetzen.

Die Naturwissenschaft (zum Beispiel die Evolutionstheorie) kann moralisches Verhalten erklären und sollte zukünftig die einzige oder zumindest die wichtigste Quelle für die Entwicklung ethischer Normen sein.

g) Gesellschaft-Religiös

Die Naturwissenschaft kann alle religiösen und weltanschaulichen Fragen beantworten.

Alle religiös-weltanschaulichen Fragen (z. B. »Hat das Leben/Universum Sinn oder ein Ziel?«, »Gibt es einen Schöpfer?«) können von den Naturwissenschaften untersucht und beantwortet werden. Sie können daher Religionen auch hinsichtlich ihrer sinnstiftenden Funktion vollständig ersetzen.

h) Gesellschaft-Umfassend

Die Naturwissenschaft kann und wird in der Zukunft alle, oder fast alle, bedeutsamen Fragen beantworten können.

Die Naturwissenschaft hat keine prinzipiellen Grenzen. Sie hat das Vermögen in der Zukunft alle wichtigen theoretischen Fragen beantworten und Lösungen für all unsere praktischen Probleme liefern zu können.

Weitere Erläuterungen (Abgrenzungen, Beispiele und Zweifelsfälle) zu diesen Varianten der Szientismus finden sich in einem Manual, das für die Zuordnung der Fragebogenitems erstellt wurde. Siehe Anhang A.2.1.

4.2. Messung von Schüleransichten zur Reichweite der Naturwissenschaften

Die von Stenmark beschriebenen Varianten decken einen großen Teil der in der Literatur unter den Begriffen 'Szientismus' und 'Physikalismus' zu findenden Positionen ab (siehe zum Beispiel (Scientism, 2013), (Stoljar, 2009)).

Einige Bemerkungen:

- Der Begriff 'Szientismus' soll hier eine Haltung hinsichtlich der »Reichweite« der Naturwissenschaften und der Physik kennzeichnen. Damit ist keine Bewertung dieser Position verbunden.
- Die oben genannten Varianten des Szientismus sind nicht exakt voneinander abgrenzbar und insbesondere nicht unabhängig. Gesellschaft-ontologisch-2 ist zum Beispiel eine Verschärfung von Gesellschaft-ontologisch-1. Gesellschaft - umfassend impliziert Wissenschaft-Reduktion-1, Gesellschaft-ontologisch-1, Gesellschaft-axiologisch-2 und Gesellschaft-religiös.
- Die Auffassung, dass alle Naturwissenschaften auf die Physik zurückgeführt werden können, wird als Physikalismus bezeichnet. Je nach Definition bezieht sich diese Position auf die Methodologie (siehe Stenmark, 1997, S. 18 2') und/oder die Ontologie (Physikalismus, 2013).
- Der Mikrophysikalismus Wissenschaft-Reduktion-3 findet sich nicht explizit bei Stenmark, wurde aber als wichtige Variante des Physikalismus (siehe z.B. Hüttemann & Papineau, 2005) mit aufgenommen.
- In Stoljar (2009, Abschnitt 12) werden elf Aspekte des Physikalismus aufgeführt. Sie stimmen zu einem beträchtlichen Teil mit Stenmarks Varianten des Szientismus überein (unter anderem entspricht 'Methodological Naturalism' (Abschnitt 12 (a)) Gesellschaft-epistemologisch oder 'Exploratory Reductionism' (Abschnitt 12 (f)) entspricht Wissenschaft-Reduktion-2).

Inhaltliche Validierung Im Hinblick auf die Messung von Ansichten über die Reichweite der Naturwissenschaften markiert das Konstrukt 'Szientismus' quasi das obere Ende der Skala. Allen oben genannten Varianten zuzustimmen, entspricht der Auffassung, dass letztlich alle sinnvollen Fragen physikalisch beantwortbar sind. Die Ablehnung einzelner Varianten bedeutet, dass die »Reichweite« geringer eingeschätzt wird⁵⁶.

Mit dem Ziel, alle Facetten des Szientismus angemessen zu repräsentieren, wurde ein erster Fragebogen mit 111 Items erstellt (siehe Anhang A.2.2). Die

⁵⁶ Die Gründe für eine Ablehnung können natürlich mannigfaltig sein. Vergleiche Mutschler (2002, Kapitel 1) für den Versuch einer Einordnung verschiedener naturphilosophischer Standpunkte, insbesondere hinsichtlich der den Varianten des Szientismus zu Grunde liegenden erkenntnistheoretischen Aspekte.

4. Skala 'Reichweite der Naturwissenschaften'

Verständlichkeit der Items wurde in vier Schulklassen der Sekundarstufe II durch Schülerinnen und Schüler jeweils auf einer 3-stufigen Likert-Skala eingeschätzt (»Ist die Aussage gut verständlich?« trifft nicht zu – trifft zu). Außerdem wurde mit einer kleineren Stichprobe leitfadengestützte Interviews geführt mit dem Ziel, neben den weniger verständlichen Items auch andere, kritische Items zu verbessern bzw. zu eliminieren. Dazu wurde die Concurrent-Think-Aloud-Methode (Ericsson und Simon (1985), s. a. Prüfer und Rexroth (1996)) herangezogen. Bei diesem Verfahren werden die Befragten aufgefordert, laut zu denken, während sie ihre Antwort formulieren. Ergänzend wurden die Schüler/innen gebeten den Inhalt der Items mit eigenen Worten auszudrücken.

Die Zuordnung der Items zu den verschiedenen Varianten des Szientismus erfolgte mit Hilfe des Manuals unabhängig voneinander durch zwei Mitarbeiter der Arbeitsgruppe. Items, die nicht zugeordnet werden konnten oder nicht die gleiche Zuordnung erhielten, wurden entfernt.

Durch Streichung schlecht verständlicher und/oder schwer zuzuordnender Items wurde der Itempool letztlich auf 66 Items reduziert (siehe Anhang A.2.3 für die Zuordnung der Items). Alle Items, die der Variante Wissenschaft-Reduktion-3, also dem Mikrophysikalismus zugeordnet waren, wurden von vielen Schülerinnen und Schülern als schwer verständlich eingestuft⁵⁷. Diese Variante wurde daher im Weiteren nicht mehr berücksichtigt.

Zur weiteren Prüfung der inhaltlichen Validität der verbliebenen 67 Items wurden Fachleute⁵⁸ auf dem Gebiet der Naturphilosophie gebeten die Items hinsichtlich ihrer Zugehörigkeit zum Konstrukt Szientismus zu beurteilen. Sie erhielten dazu einen Fragebogen mit den Items. Für jedes sollte auf einer 5-stufigen Likert-Skala eingeschätzt werden, in welchem Umfang es eine bedeutsamen Aspekt des Szientismus erfasst (1: gar nicht; 5: in vollem Umfang). Außerdem wurden sie gebeten ggfs. noch nicht abgedeckte Aspekte von Szientismus zu ergänzen. Drei Experten haben an der Befragung teilgenommen. Für eine quantitative Auswertung der Übereinstimmung der Einschätzungen konnten allerdings letztlich nur zwei vollständig ausgefüllte Fragebögen herangezogen werden. Der Intra-Class-Korrelationskoeffizient (ICC), ein übliches

⁵⁷ Die vier Items lauteten: '1. Die Eigenschaften aller Dinge resultieren aus den Eigenschaften der elementaren Bestandteile der Materie. 2. Es gibt Naturphänomene, die sich nicht vollständig auf die Gesetze der Mikrophysik zurückführen lassen. 3. Alle Vorgänge auf der Welt lassen sich durch die Mikrophysik erklären. 4. Das Verhalten des Ganzen ist vollständig bestimmt durch das Verhalten seiner Teile.' In den Interviews zeigte sich, dass die Physikern geläufige Idee makroskopische Phänomene auf mikroskopische zurückzuführen, vielen Schülerinnen und Schülern unbekannt war. Problematisch war auch die relativ abstrakte Formulierung dieser Items. Hier wäre möglicherweise ein Bezug zu bekannten mikroskopischen Modellen, wie dem Teilchen- oder Elementarmagnetmodell günstig gewesen.

⁵⁸ Hochschul- und ein Gymnasiallehrer für Philosophie.

4.2. Messung von Schüleransichten zur Reichweite der Naturwissenschaften

Maß zur Beurteilung einer Raterübereinstimmung, beträgt $ICC=0.7$, was gemeinhin als »guter« Wert angesehen wird. Von allen drei Experten wurden keine weiteren Aspekte genannt, die nicht durch die Items abgebildet würden. Ein vierter Experte lehnte die Teilnahme an der Befragung ab, da er das Konzept einer quantitativen Untersuchung nicht befürwortete.

Der Vorfragebogen

Mit dem Ziel aus einer Untermenge der 67 Items einen Test möglichst hoher Güte zu gewinnen, wurde eine Vorversion (siehe A.2.4) einer größeren Stichprobe vorgelegt. Dieser 'Vorfragebogen' enthält 66 der 67 Szientismus-Items⁵⁹. Zu jedem Item wurde wieder nach der eigenen Ansicht sowie der bei Physikerinnen und Physikern vermuteten Einstellung gefragt. Daneben wurden

- Jahrgangsstufe,
- Geschlecht,
- Interesse an verschiedenen Schulfächern,
- Fachbelegung,
- Schulnoten in Mathematik, Deutsch und Physik
- und das Interesse am Fach Physik (Kurzskala mit 3 Items)

erfasst. Der Fragebogen wurde im Herbst 2008 an sechs Gymnasien in Deutschland verschickt. Insgesamt wurde er von 888 Schülerinnen und Schülern der Sekundarstufe II bearbeitet. Wesentliche Ergebnisse der statistischen Auswertung finden sich in A.2.6.

Dimensionalität der Skala Zur Auswahl der Items für die endgültige Szientismus-Skala wurden vornehmlich Kriterien der klassischen Testtheorie herangezogen. Eine nachträglich durchgeführte Analyse mit einer Methode der probabilistischen Testtheorie (Item-Informations-Kurven) kommt aber zu ähnlichen Ergebnissen (siehe unten).

Vor der Analyse der Itemeigenschaften wurde die Dimensionalität der Skala untersucht. Von besonderem Interesse war hier natürlich die Frage, inwieweit sich die verschiedenen Varianten des Szientismus auch statistisch bei den mit dem Vorfragebogen erfassten Schüleransichten wiederfinden lassen. Ein übliches Verfahren zur Ermittlung der Dimension einer Skala ist die sog. explorative

⁵⁹ Aufgrund eines Versehens sind Item Nr. 50 und 51 des Fragebogens identisch, so dass das dritte Item der Variante Gesellschaft-umfassend nicht enthalten ist.

4. Skala 'Reichweite der Naturwissenschaften'

Faktorenanalyse⁶⁰. Je nach Kriterium für die Modellgüte können sich hier jedoch unterschiedliche Ergebnisse ergeben. Generell lässt sich durch Erhöhung der Zahl der Faktoren eine bessere Datenpassung erreichen, es erhöht sich aber die Komplexität des Modells. Wichtig ist daher stets auch die Plausibilität und Interpretierbarkeit des Modells. Im Falle der 66 Items des Vorfragebogens wurde die Zahl der Faktoren von 1 bis 11 (der Zahl der Szientismus-Varianten) variiert und die resultierende Faktorstruktur visuell inspiziert. Dabei ließen sich jedoch insgesamt keine gut interpretierbaren Faktoren ermitteln⁶¹.

Einige Items der Varianten Gesellschaft-Religiös und Gesellschaft-Umfassend sowie Gesellschaft-Axiologisch-2 lassen sich in verschiedenen Modellen einem Faktor zuordnen und weisen relative hohe Ladungen auf. Die Mehrzahl der Items lädt jedoch unabhängig von der angenommenen Faktorzahl nur gering.

Auch eine nachträglich durchgeführte Analyse mit Hilfe von Item-Response-Modellen ergab kein eindeutiges Ergebnis. Höherdimensionale Modelle zeigen - wie zu erwarten - eine bessere Datenpassung (bessere χ^2 -basierte Indizes) aber zum Teil schlechtere Werte bei informationstheoretischen Kriterien wie AIC oder BIC. Die Ergebnisse sind hier (auch in Abhängigkeit vom verwendeten Schätzverfahren) uneinheitlich. Ein Vergleich zwischen einem eindimensionalen Modell und einem 11-dimensionalen, bei der die Zuordnung der Messvariablen entsprechend den Szientismus-Varianten vorgegeben wird, ergab einen etwas besseren Fit für das 11-dimensionale Modell.

Im Anhang ist ein Heatmap der Korrelationsmatrix aller 66 Items dargestellt (Anhang A.2.6, S. 385). Auch hier wird visuell deutlich, dass keine allzu starke Clusterung der Items existiert. Lediglich wenige Items - weitgehend diejenigen, die auch bei der Faktorenanalyse hohe Ladungen aufweisen - zeigen eine größere Zahl hoher Korrelationen. Entsprechend haben die Subskalen, denen sie angehören, auch recht hohe Reliabilitäten (0.82 - 0.87, siehe A.10). Obwohl die Items des gesamten Fragebogens im Mittel eher schwach korrelieren ($\bar{r} = 0.19$), ist die Gesamtreliabilität mit 0.94 sehr hoch. Hier muss man allerdings die recht große Stichprobe ($N = 888$) in Betracht ziehen.

Hinsichtlich der bei den Physikern vermuteten Ansichten ergibt sich ein ähnliches Bild. Dies gilt sowohl für die Korrelationen der Items als auch die Reliabilitäten der Subskalen und der Gesamtskala (siehe die Tabellen A.9, A.10).

⁶⁰ Vereinfacht gesagt, ordnet man hier für eine gegebene Zahl von latenten Variablen (»Faktoren«) die Messvariablen so zu, dass die beobachtete Varianz möglichst gut durch den Einfluss der latenten Variablen erklärt wird.

⁶¹ Auch übliche Verfahren zur Bestimmung der Faktorzahl lieferten hier unterschiedliche Ergebnisse. Velicers MAP Kriterium (Velicer, 1976) ergibt eine Faktorzahl von 5, eine Parallel-Analyse 9 Komponenten. Dass derartige Kriterien verschiedene Resultate liefern ist allerdings nicht ungewöhnlich. Siehe hierzu (Revelle, 2013a).

4.2. Messung von Schüleransichten zur Reichweite der Naturwissenschaften

Die feine Aufspaltung nach verschiedenen erkenntnistheoretischen Aspekten, wie sie in den Szientismus-Varianten formuliert ist, findet sich also offenbar so nur zum Teil in den Fragebogendaten wieder. Eine mögliche Ursache könnten eine nicht hinreichend trennscharfe Formulierung der Items sein. Eine andere Möglichkeit ist, dass die Schüleransichten nicht in dieser Weise differenziert sind.

Insbesondere aufgrund der nicht eindeutigen Faktorstruktur wurde hinsichtlich des endgültigen Fragebogens die Entscheidung getroffen, eine relativ kurze Skala für das Gesamtkonstrukt Szientismus zu erstellen. Um die verschiedenen Facetten des Konstrukts in der Skala zu repräsentieren, wurde zu jeder Szientismus-Variante jeweils ein Item ausgewählt. Wissenschaft-Reduktion-1 und Wissenschaft-Reduktion-2 wurden dabei allerdings zu einer Kategorie zusammengefasst, so dass die Skala letztlich 10 Items umfasst.

Itemauswahl Die Itemauswahl erfolgte zunächst vornehmlich nach Kriterien der klassischen Testtheorie wie Schwierigkeitsindex, Varianz und Item-Testwert-Korrelation (siehe z. B. Moosbrugger (2012, Kapitel 4)) sowie inhaltlichen Überlegungen.

In Tabelle A.7 sind die Werte dieser Gütekriterien für die Items des Vorfragebogens dargestellt⁶². Hinsichtlich der Item-Testwert-Korrelation, die man auch als ein Maß für die Trennschärfe auffassen kann, gelten Werte zwischen 0,4 und 0,7 als günstig. Die Schwierigkeitsindizes sollten einigermaßen gleichmäßig zwischen 0 und 1 verteilt sein (sofern die entsprechenden Items ausreichende Trennschärfen besitzen), um alle Merkmalsausprägungen zu erfassen (Moosbrugger, 2012, S. 84f).

Eine Inspektion von Tabelle A.7 zeigt, dass in den Subskalen Wissenschaft-Reduktion-1 und -2 das Item `w_red1_5` durch eine hohe Trennschärfe von 0.6 heraussticht. Obwohl das Item recht schwer ist ($P = 0.19$) wurde es aus diesem Grunde gewählt.

In der Subskala Wissenschaft-Methode besitzt Item `w_meth_4` die höchste Trennschärfe (0.51) bei $P = 0.34$. `w_meth_1` und `w_meth_3` sind deutlich leichter ($P = 0.79$ bzw. 0.63) haben aber nur eine geringe Trennschärfe. Gewählt wurde `w_meth_4`.

In Gesellschaft-Epistemologisch haben 5 Items Trennschärfen größer als 0.4.

⁶² Bei der Item-Testwert-Korrelation sind die polychorischen Korrelationen angegeben, da die Pearson-Korrelationen der diskreten Messvariablen die der kontinuierlichen latenten Variable unterschätzen (für die Items in Tabelle A.7 liegen diese etwas 10 % unter den Werten der polychorischen Korrelationen). Ursprünglich wurden die Korrelationen der diskreten Variablen verwendet.

4. Skala 'Reichweite der Naturwissenschaften'

g_epis_2 und g_epis_3 sind mittelschwerig ($P = 0.48$ bzw. 0.51), die anderen schwierig. g_epis_2 besitzt die höchste Varianz und wurde gewählt.

In Gesellschaft-Rational besitzen g_rati_2 und g_rati_4 hohe Trennschärfen (0.57 bzw. 0.63), aber g_rati_2 ist äußerst schwierig ($P = 0.07$). Gewählt wurde daher g_rati_4.

In Gesellschaft-Ontologisch-1 besitzen vier Items Trennschärfen größer als 0.5 . Von den beiden etwas leichteren g_ont1_3 und g_ont1_6 wurde ersteres - insbesondere auch auf aufgrund seiner kurzen und allgemeinen Formulierung - gewählt.

Letzteres gilt auch für Item g_ont2_4 der Subskala Gesellschaft-Ontologisch-2. Dieses Item zeichnet sich auch durch die größte Trennschärfe und Varianz dieser Subskala bei mittlerer Schwierigkeit aus. Es wurde daher gewählt.

In Gesellschaft-Axiologisch-1 zeichnet sich g_axi1_3 durch eine sehr hohe Trennschärfe (0.60) aus und wurde gewählt.

In der Subskala Gesellschaft-Axiologisch-2 sind die Trennschärfen und Schwierigkeitsindizes aller Items ähnlich. Mit g_axi1_1 wurde ein Item gewählt, das u. E. eine einfache und leicht verständliche Formulierung besitzt.

In Gesellschaft-Religiös wurde mit g_reli_2 das Item mit der höchsten Trennschärfe und einer sehr einfachen Formulierung gewählt.

Alle Items der Subskala Gesellschaft-Umfassend besitzen Trennschärfen größer als 0.5 . Außer dem sehr schweren Item g_umfa_5 sind auch die Schwierigkeitsindizes ähnlich. Gewählt wurde g_umfa_1. Die Formulierung dieses Items entspricht ziemlich genau Stenmarks Charakterisierung eines umfassenden Szientismus.

Ergänzend zu den obigen Kriterien wurden auch die Änderung der Reliabilität bei Herausnehmen eines Items betrachtet. Da die Gesamtskala hier viele Items umfasst, ändert sich die Gesamtreliabilität dabei nahezu nicht, wohl aber die Reliabilität der Subskala zu der das Item gehört. Auch die Berücksichtigung dieses Kriteriums stützt die obige Itemwahl.

Im Rahmen der Item-Response-Theorie ist die Betrachtung der Item-Informationsfunktion⁶³ ein geeignetes Mittel zur Beurteilung der Itemgüte. Für jeden Wert des Personenparameters ist sie ein Maß dafür, wieviel das Item zur Bestimmung

⁶³ Die Item-Informationsfunktion gibt die sog. Fisher-Information (information, 2013) der Messvariable eines Items über den Personenparameter an. Für eine ordinale Messvariable ist sie durch $\sum_r I_r(\eta)P_r(\eta)$ mit $I_r(\eta) = -\frac{\partial^2}{\partial \eta^2} \log P_r(\eta)$ gegeben. $P_r(\eta)$ ist dabei die Itemfunktion zur Kategorie r (siehe Gl. (4.18)). Für eine Diskussion siehe (Samejima, 1994).

4.2. Messung von Schüleransichten zur Reichweite der Naturwissenschaften

dieses Wertes beitragen kann. In Abschnitt A.2.6 des Anhangs sind Verläufe von Item-Informations-Funktionen für die Items des Vorfragebogens dargestellt. Es zeigt sich, dass für sieben der zehn Subskalen jeweils Items mit der insgesamt größten Item-Information ausgewählt wurden. Dieses Gütekriterium wurde bei der ursprünglichen Itemselektion nicht berücksichtigt, bestätigt aber in befriedigender Weise die dort getroffene Wahl. Die gesamte Information eines Tests über den Personenparameter ist die Summe der Item-Informations-Funktionen der einzelnen Items. Abbildung 4.9 zeigt ihren Verlauf.

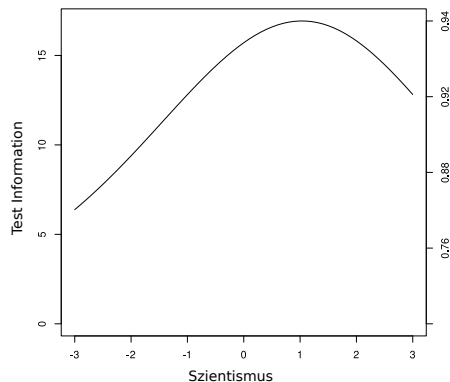


Abb. 4.9. Item-Information der Gesamtskala des Vorfragebogens. Zugrunde gelegt ist hier ein eindimensionales GRM-Modell für die eigene Ansichten der Schüler.

Abbildung 4.10 zeigt zum Vergleich die Verteilung der Personenparameter in der Stichprobe. Offenbar misst die Skala besser im Bereich großer Personenparameter, also für Schüler mit eher großem Szientismus. Dies bestätigt den Eindruck, dass die Mehrzahl der Items relativ schwierig ist. D. h. die Antworten sind stärker im unteren Bereich der Skala konzentriert und die Items trennen hier weniger gut.

4. Skala 'Reichweite der Naturwissenschaften'

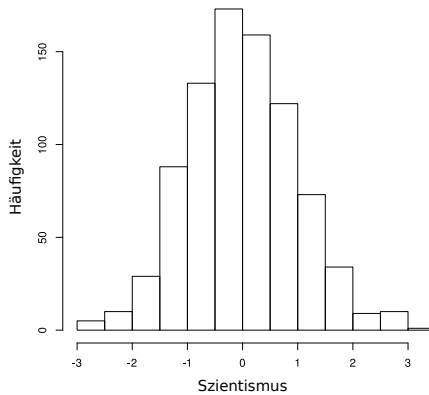


Abb. 4.10. Histogramm der Verteilung der Personenparameter in der Stichprobe (die Verteilung wurde um den Szientismus-Wert 0 zentriert.).

4.2.3. Die endgültige Skala

Die endgültige Szientismus - Skala umfasst die folgenden Items:

1. *w_red1_5*
Die Naturwissenschaften werden alle anderen Wissenschaften irgendwann überflüssig machen.
2. *w_meth_4*
Physik ist Vorbild für alle anderen Wissensgebiete.
3. *g_epis_2*
Nur die Naturwissenschaften können uns zuverlässige Informationen über die Welt liefern.
4. *g_rati_4*
Ein vernünftiger Mensch sollte nur an Dinge glauben, die naturwissenschaftlich erklärbar sind.
5. *g_ont1_3*
Nur was man zumindest prinzipiell messen kann, existiert auch tatsächlich.
6. *g_ont2_4*
Alles was real ist, kann auch physikalisch beschrieben werden.

4.2. Messung von Schüleransichten zur Reichweite der Naturwissenschaften

7. *g_axi1_3*

Naturwissenschaftliches Wissen ist das mit Abstand wertvollste Wissen.

8. *g_axi2_1*

Moralische Vorstellungen sollten naturwissenschaftlich begründet werden.

9. *g_reli_2*

Die Naturwissenschaften können den Sinn des Lebens herausfinden.

10. *g_umfa_1*

Die Naturwissenschaften werden irgendwann in der Lage sein, alle für die Menschheit bedeutsamen Fragen zu beantworten.

Diese Skala wurde als Messinstrument für den Szientismus bei den in Kapitel 6 beschriebenen empirischen Studien verwendet. Außerdem wurde eine Kurzversion, bestehend aus den fünf Items *w_red1_5*, *g_rati_4*, *g_axi1_3*, *g_reli_2*, *g_umfa_1* für den Fragebogen vor der ersten Unterrichtseinheit zur Kosmologie eingesetzt.

Dieser Abschnitt befasst sich mit der statistischen Güte dieser Skala.

Reliabilität In Tabelle 4.1 sind die Reliabilitäten der Skala für verschiedene Stichproben angegeben. Die Werte für den Vorfragebogen beziehen sich auf die 10-Item-Subskala des gesamten Fragebogens. Im Rahmen der empirischen Studie wurde sie zu vier verschiedenen Messzeitpunkten eingesetzt. Lediglich die Werte für den verzögerten Nachtest sind nicht aufgenommen, da die Stichprobe in diesem Fall sehr klein war. Die Ergebnisse einer externen Validierung (siehe unten) mit einer weiteren Stichprobe von Schülern und Studierenden sind ebenfalls in die Tabelle aufgenommen.

Werte von Cronbachs α größer als 0.8 werden gemeinhin als gut, zwischen 0.7 und 0.8 als akzeptabel angesehen. Wie Tabelle 4.1 zeigt, liegen für alle Stichproben die Werte der Szientismus-Skala in diesem Bereich.

Dimensionalität Aufgrund der Ergebnisse beim Vorfragebogen wurde erwartet, dass die Skala keine klar erkennbare Substruktur besitzt und die zehn Items weitgehend als Repräsentanten einer latenten Dimension 'Szientismus' aufgefasst werden können. In der Tat legen in diesem Fall gebräuchliche explorative Verfahren für die Bestimmung der Faktorzahl nahe, dass nur ein Faktor vorliegt. Abbildung 4.11 zeigt das Ergebnis einer Parallelanalyse (siehe Moosbrugger (2012, S. 331) für eine Erläuterung dieses Verfahrens).

Sowohl die Parallelanalyse als auch der visuelle Scree-Test (die Anzahl der

4. Skala 'Reichweite der Naturwissenschaften'

Tab. 4.1. Reliabilität der Szientismus-Skala.

Erhebung	N	Schüler ^a			Physiker ^b		
		α^c	α^d	mittl. r^f	α	α	mittl. r
Vorfragebogen	846	0.83	0.79	0.33	0.82	0.78	0.31
Studie vorher ^f	233	0.78	0.74	0.42	0.79	0.77	0.42
Studie zwischen	233	0.87	0.85	0.41	0.89	0.86	0.44
Studie nachher	233	0.9	0.89	0.46	0.91	0.89	0.51
Validierung Schüler	227	0.86	0.83	0.38	0.9	0.86	0.46
Validierung Studier.	255	0.79	0.75	0.28	0.87	0.84	0.4

^a Eigene Ansicht (N = 846).

^b Bei Physiker/innen vermutete Ansicht (N = 846).

^c Cronbachs α basierend auf polychorischen Korrelationen.

^d Cronbachs α basierend auf Korrelationen der diskreten Messvariablen.

^e Mittlere (polychorische) Korrelation zwischen den Items.

^f Kurzversion der Skala mit fünf Items.

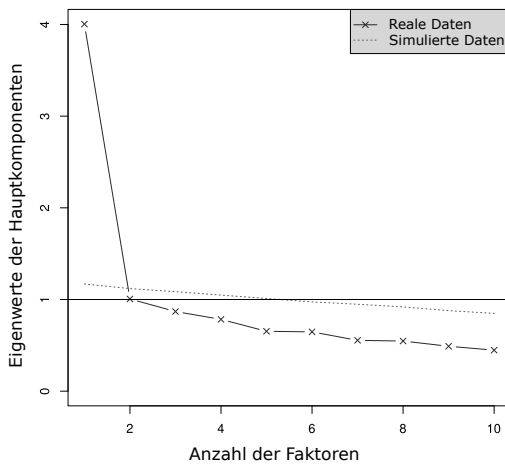


Abb. 4.11. Parallelanalyse der 10-Item-Subskala des Vorfragebogens (eigene Ansichten der Schüler).

Faktoren wird bestimmt durch die Stelle bei der die Eigenwertkurve »abknickt«) ergeben nur einen Faktor. Dasselbe Ergebnis liefert Verlicers MAP Kriterium.

Zur weiteren Prüfung der Eindimensionalität wurden die Daten der 10-Item-

4.2. Messung von Schüleransichten zur Reichweite der Naturwissenschaften

Subskala des Vorfragebogens mit dem eindimensionalen GRM-Modell gefittet. Tatsächlich ergab sich eine gute Passung hinsichtlich gebräuchlicher Fitindizes ($\chi^2(35, N = 811) = 85.14, p < 0.001, CFI = 0.99, NFI = 0.98$ und $RMSEA = 0.04$)⁶⁴. Zusammengenommen stehen also eine Reihe von Indikatoren im Einklang mit der Annahme, dass der Skala lediglich ein latenter Faktor zugrunde liegt.

Validität Neben den oben beschriebenen Maßnahmen zur Gewährleistung der inhaltlichen Validität der einzelnen Items wurde auch die Konstruktvalidität der Skala anhand verschiedener Kriterien geprüft.

Als ein Indiz dafür, dass eine Skala ein theoretisches Konstrukt angemessen beschreibt, gilt die Übereinstimmung von empirisch bestimmten Faktorladungen mit den theoretisch erwarteten (siehe M. C. Edwards und Wirth (2009)). In der Regel sind psychologische Theorien zwar nicht in der Lage diese vorherzusagen, wohl aber lässt sich gelegentlich eine Ordnung der Items prognostizieren. Im Falle der Szientismus-Skala scheint eine solche theoretische Prognose kaum möglich. Man kann jedoch den Standpunkt einnehmen, dass alle Szientismus-Varianten gleichberechtigte Aspekte des Gesamtkonstruktes repräsentieren. Bei solch einer normativen Setzung, wäre es naheliegend alle Items gleich zu gewichten⁶⁵. Sollten sich die empirisch gefundenen Gewichte nun stark unterscheiden, wäre dies zumindest ein Indikator dafür, dass die Ansichten eines größeren Teils der Testpersonen diesem theoretischen Standpunkt nicht entsprechen. Tabelle 4.2 zeigt die bei Annahme eines eindimensionalen GRM-Modells bestimmten Faktorladungen für drei verschiedene Stichproben:

Da der Item `g_umfa_1` inhaltlich am ehesten das Gesamtkonstrukt beschreibt, wurde er als Referenz gewählt. Seine Ladung ist auf den Wert 1 normiert. Offenbar laden tatsächlich alle Items ähnlich stark auf die latente Variable. Die stärksten Abweichungen zeigen die Items `g_axi2_1` mit einem Wert von 0.67 im Vorfragebogen und `g_rati_4` mit 1.36 im Nachtest der Studie.

Hinsichtlich formaler Kriterien ergibt sich folgendes Bild: Für den χ^2 -Modelltest⁶⁶ sind die Abweichungen so groß, dass ein Modell mit gleichen Faktorladungen signifikant schlechter abschneidet. Dies gilt für alle Stichproben. Bezüglich einiger gebräuchlicher Fitindizes würde man aber noch von einem akzeptablen

⁶⁴ Die Schätzung erfolgte mit der Prozedur `sem` des R-Software-Pakets *lavaan* (Rosseel (2012)). $\chi^2(df, N)$ ist die χ^2 -Statistik bei df Freiheitsgraden und N Beobachtungen. CFI ist der *Comparative Fit Index*, NFI der *Normed Fit Index* und RMSEA der *Root Mean Square Error of Approximation*. Für die Bedeutung und Interpretation dieser Indizes siehe Moosbrugger (2012, S. 319) oder Hooper et al. (2008).

⁶⁵ Dies entspricht der Annahme, dass jedes Item die latente Variable in gleicher Weise misst.

⁶⁶ Bei diesem Test wird die Differenz $\chi^2_{Modell A}(df_A) - \chi^2_{Modell B}(df_B) = \Delta\chi^2(\Delta df)$ (df = Zahl der Freiheitsgrade) betrachtet.

Tab. 4.2. Faktorladungen der Szientismus-Items

Item	Vorfragebogen ^a		Studie zwischen/nach ^a		Validierung ^a	
	Ladung ^b	SD ^c	Ladung	SD	Ladung	SD
g_umfa_1	1		1 / 1		1	
g_reli_2	0.95	0.07	1.11 / 1.03	0.10 / 0.09	0.87	0.11
g_axi1_3	1.21	0.07	1.12 / 1.22	0.10 / 0.1	1.05	0.12
g_rati_4	1.09	0.07	1.12 / 1.36	0.10 / 0.1	1.14	0.12
w_red1_5	1.12	0.07	1.15 / 1.23	0.09 / 0.1	1.06	0.13
g_axi2_1	0.67	0.07	0.93 / 1.04	0.12 / 0.1	1.11	0.13
g_epis_2	0.89	0.07	0.98 / 0.96	0.11 / 0.1	1.23	0.12
g_ont1_3	0.95	0.07	1.06 / 1.14	0.10 / 0.1	1.17	0.14
w_meth_4	1.03	0.07	1.07 / 1.08	0.11 / 0.09	0.86	0.11
g_ont2_4	0.96	0.06	0.88 / 0.86	0.10 / 0.09	1.07	0.12

^a Jeweils für die eigenen Ansichten der Schüler/innen.

^b Die Ladung des Items g_umfa_1 ist jeweils auf 1 normiert. Die Variablen sind nicht standardisiert.

^c Geschätzte Standardabweichung.

Modellfit sprechen (für die Stichprobe des Vorfragebogens z. B. CFI = 0.96, NFI = 0.95 und RMSEA = 0.07). Ein Likelihood-Quotiententest⁶⁷ zwischen einem eindimensionalen GRM-Modell und einem restringierten Modell bei dem die Ladungen gleich 1 gesetzt werden, ergibt signifikante Werte bei den Stichproben des Vorfragebogen ($p < 0.001$) und der Studie ($p = 0.035 / p < 0.001$), aber nicht bei der Validierung ($p = 0.088$). Im Hinblick auf die Validität der Skala sind diese Ergebnisse insgesamt gut mit der Annahme gleichbedeutender Items verträglich.

Zur Prüfung der Invarianzeigenschaften der Skala wurde außerdem für zwei Stichproben der Studie (Zwischen- und Nachtest) Modelle mit verschiedenen starken Restriktionen verglichen (vgl. z. B. van de Schoot, Lugtig und Hox (2012)):

- Modell 1: Die zu den zwei Messzeitpunkten eingesetzten Skalen werden a priori als verschieden angenommen. Jeder Skala wird eine latente Variable zugeordnet (vgl. Abbildung 4.12). Die Faktorladungen λ_{zi} und λ_{ni} sowie die Schwellenwerte der Items können verschieden sein.
- Modell 2: Die jeweiligen Faktorladungen der Items werden gleichgesetzt: $\lambda_{zi} = \lambda_{ni}$, $i = 1, \dots, 10$. Die Schwellenwerte der Items können aber verschieden sein.
- Modell 3: Die jeweiligen Faktorladungen und Schwellenwerte der Items

⁶⁷ Verwendet wurde hierfür die Prozedur `anova` des R-Paketes `'ltm'` (siehe Rizopoulos (2013)).

4.2. Messung von Schüleransichten zur Reichweite der Naturwissenschaften

werden gleichgesetzt.

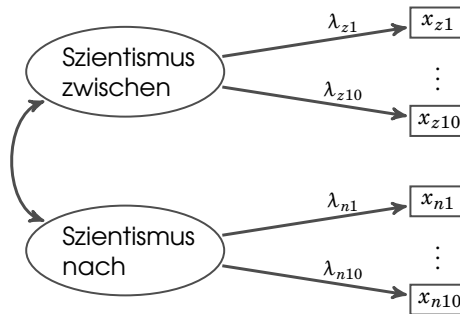


Abb. 4.12. Messmodell 1 für Zwischen- und Nachtest. x_{z1}, \dots, x_{z10} bzw. x_{n1}, \dots, x_{n10} seien jeweils die Messvariablen der 10 Items. Fehlervariablen und Korrelationen zwischen den Messvariablen, die für einen hinreichenden Modell zugelassen wurden, sind nicht eingezeichnet.

Ein χ^2 -Differenztest ergibt einen signifikanten Unterschied für den Vergleich von Modell 2 mit Modell 3 aber nicht für den Vergleich von Modell 1 mit Modell 2. Allerdings weist auch Modell 3 noch Fit-Indizes auf, die als akzeptabel gelten ($\chi^2(194) = 404.13$, $p < 0.001$, CFI = 0.97, NFI = 0.95, RMSEA = 0.08)⁶⁸ Legt man den χ^2 -Differenztest als Kriterium zugrunde, so besitzt die Skala eine metrische, aber keine skalare Invarianz. Auf eine ausführlichere Analyse, insbesondere eine Prüfung auf partielle skalare Invarianz (vgl. van de Schoot et al. (2012) für diese psychometrische Terminologie), wurde im Rahmen dieser Arbeit verzichtet⁶⁹.

Fragebogen zur Konstruktvalidierung Wie in Abschnitt 3.1.2 erläutert, kann man psychologisch einen Zusammenhang zwischen einer szientistischen Haltung und Persönlichkeitsmerkmalen wie dem 'Bedürfnis nach kognitiver Geschlossenheit' vermuten. Zur weiteren Konstruktvalidierung wurde daher ein Fragebogen (siehe Anhang A.6) eingesetzt, der neben der Szientismus-Skala die Skala 'Bedürfnis nach kognitiver Geschlossenheit' sowie die Skalen der verwandten Konstrukte 'Need for Cognition' und 'Offenheit für Erfahrung' enthält. Erwartet wurde, dass letztere negativ und die ersteren positiv mit dem

⁶⁸ Zum Vergleich: $\chi^2(155) = 252.8$, $p < 0.001$, CFI = 0.99, NFI = 0.99, RMSEA = 0.06 für Modell 1 und $\chi^2(164) = 276.7$, $p < 0.001$, CFI = 0.99, NFI = 0.97, RMSEA = 0.06 für Modell 2. Es existiert in der Literatur eine anhaltende Debatte darüber, welche Kriterien bzw. Fit-Indizes für einen Test auf Invarianz herangezogen werden sollten (vgl. z. B. Fan und Sivo (2009)).

⁶⁹ Wie erwähnt, fand die Entwicklung der Skala, wie auch die Auswertung der empirischen Studie weitgehend auf Basis der klassischen Testtheorie statt. Die nachträglich durchgeführten Analysen mit Methoden der probabilistischen Testtheorie werden hier lediglich als ergänzende Informationen zur Qualität der Skala aufgeführt.

4. Skala 'Reichweite der Naturwissenschaften'

Szientismus (eigene Ansicht) korrelieren⁷⁰

Der Fragebogen wurde im Herbst 2010 an 227 Schüler/innen der gymnasialen Oberstufe (Klasse 11 und 12) sowie 255 Studierende aus Kassel und Osnabrück verteilt. Unter den Studierenden hatten 58 Physik als ein Studienfach, 100 eine Naturwissenschaft (aber kein Physik), und 97 studierten keine Naturwissenschaft. Unter den Schüler/innen hatten 14 einen Leistungskurs Physik, 83 einen Grundkurs Physik und 47 eine Naturwissenschaft (aber kein Physik) als Leistungskurs.

Neben den oben genannten Skalen wurde außerdem das Interesse an Physik als weitere Kontrollvariable gemessen. Man unterscheidet das Interesse am Schul- bzw. Studienfach Physik (*Fachinteresse*), das zum Beispiel in der Studie zum Einfluss der wissenschaftstheoretischen Instruktion (siehe Kapitel 6.1.1) erhoben wurde, vom Interesse an Physik als Sachgebiet (*Sachinteresse*). Da ein relevanter Teil der Studierenden der Stichprobe Physik nicht als Studienfach hatte, der letzte Kontakt mit dem Fach Physik also schon länger zurücklag, wurde eine Skala für das Sachinteresse eingesetzt. Sie besteht aus vier (geringfügig angepassten) Items, die für die BIJU-Bildungsstudie (Max-Planck-Institut für Bildungsforschung, o. J.) entwickelt und in einer weiteren großen Längsschnittstudie zur Entwicklung schulischer Interessen eingesetzt wurde (vgl. Daniels (2008)). Die vier Items sollen verschiedene Aspekte des Interessenkonstruktes wie Emotionalität, Wertbindung und Selbstbestimmtheit repräsentieren (Daniels (2008, S. 157)).

Der Fragebogen wurde im Rahmen der klassischen Testtheorie ausgewertet, d.h. die zu den einzelnen Skalen gehörenden latenten Variablen sind als ungewichtete Mittelwerte der diskreten Messvariablen der jeweiligen Skala definiert. Deren Werte sind von 1 bis 5 kodiert (alle Skalen besitzen eine 5-stufige Likert-Skala für die Itemantworten). Die Korrelationen wurden als Pearson-Korrelationen dieser latenten Variablen berechnet.

Die Reliabilitäten der einzelnen Skalen für die gesamte Stichprobe sind

Interesse an Physik $\alpha = 0.91$,

Kognitive Geschlossenheit $\alpha = 0.73$,

Need for Cognition $\alpha = 0.85$,

Offenheit für Erfahrungen $\alpha = 0.61$,

Szientismus (eigene Ansicht) $\alpha = 0.79$,

Szientismus (Einschätzung d. Physiker) $\alpha = 0.85$.

⁷⁰ Die Items der 'Need for Cognition'-Skala sind durchgehend negativ gepolt, kennzeichnen also eine *mangelnde* » Freude am Denken« .

4.2. Messung von Schüleransichten zur Reichweite der Naturwissenschaften

Der Wert von 'Offenheit für Erfahrungen' ist überraschend schlecht, gemessen daran, dass es sich um eine etablierte Skala handelt. Die übrigen Reliabilitäten gelten nach gängiger Einschätzung als zufriedenstellend bis gut.

Die folgende Tabelle zeigt die Mittelwerte der einzelnen Skalen aufgeteilt nach Schülern und Studierenden:

Tab. 4.3. Deskriptive Statistik der Skalen des Validierungsfragebogens

Skala	Schüler			Studierende		
	Mittelwert	SD ^a	N	Mittelwert	SD	N
Interesse an Physik	2.33	1.09	232	2.33	1.10	275
Kognitive Geschlossenheit	2.89	0.52	232	2.82	0.44	256
Need for Cognition	2.51	0.69	232	2.30	0.54	276
Offenheit für Erfahrungen	3.47	0.54	233	3.54	0.47	276
Szientismus Schüler ^a	2.34	0.75	232	2.30	0.62	276
Szientismus Physiker ^b	3.85	0.76	228	3.53	0.76	256
Szientismus-Diskrepanz	1.52	0.98	228	1.24	0.82	276
Naturwiss. Orientierung ^c	0.47	0.50	232	0.66	0.48	276

^a Standardabweichung.

^a Eigene Ansicht der Schüler.

^b Bei Physikern vermutete Ansicht.

^c Belegung eines naturwissenschaftlichen oder mathematischen Leistungskurses bzw. Studienfaches.

Diese Tabelle ist hier aufgeführt, da sie einige interessante Unterschiede zwischen den beiden Gruppen zeigt: Bei der Variablen 'Need for Cognition' und hinsichtlich der Einschätzung der Physiker zum Szientismus zeigen die Schüler/innen auffällig höhere Mittelwerte. Die Unterschiede sind auch statistisch signifikant ($p < 0.001$). Dies gilt auch für die Diskrepanz in der Einschätzung der Physiker und der eigenen Ansicht zur Reichweite der Naturwissenschaften⁷¹. Salopp gesagt, zeigen die Schüler im Schnitt also weniger Freude am selbständigen Denken und schätzen Physiker als szientistischer ein als es die Studierenden tun. Man könnte spekulieren, dass die Entscheidung für ein Studium, also eine weitgehend geistige Tätigkeit, sicherlich eher von jemandem getroffen wird, der eine gewisse Freude am Denken empfindet. Ein Grund für die geringere Szientismus-Diskrepanz bei Studierenden ist möglicherweise, dass ein größerer Teil von ihnen selbst Physik oder eine Naturwissenschaft studiert. Tatsächlich beträgt der Mittelwert der Szientismus-Diskrepanz für die 58 Studierenden mit Fach Physik nur 0.85, in der Gruppe der übrigen Studierenden

⁷¹ Die Diskrepanz-Variable ist als Differenz 'Szientismus Physiker' - 'Szientismus Schüler' definiert. Eine Alternative wäre der Mittelwert der absoluten Differenzen («Manhattan-Distanz»). Beide Definitionen ergeben ähnlich Werte, da es nur sehr wenige Probanden gibt, die Physiker weniger szientistisch einschätzen als sich selbst.

4. Skala 'Reichweite der Naturwissenschaften'

aber 1.35. Allerdings bleibt auch bei dieser Gruppe der Unterschied zu den Schülern sowohl bezüglich der Einschätzung der Physiker als auch der Diskrepanz signifikant, jedoch auf geringerem Niveau ($p = 0.002$ bzw. $p = 0.029$).

Für die Konstruktvalidierung sind natürlich die Korrelationen von besonderem Interesse. Sie sind in der Tabelle 4.4 aufgeführt:

Tab. 4.4. Korrelationen zwischen den Konstrukten des Validierungsfragebogens

	Sachint.	Offenh. für Erf.	Need f. Cog.	Szient. Eigen.	Szient. Phys.	Szient.- Diskr.	Kogn. Geschl.	Naturw. Orient.
Sachinteresse		0.01	-0.24**	0.18**	-0.27**	-0.35**	-0.10	0.24**
Offenheit für Erfahrungen	1.00 (481)		-0.49**	-0.14*	-0.09	0.03	-0.40**	-0.15*
Need for Co- gnition	0.00 (481)	0.00 (482)		0.10	0.14*	0.05	0.54**	-0.03
Szientismus Eigener	0.00 (481)	0.03 (482)	0.27 (482)		0.25**	-0.54**	0.13*	0.12
Szientismus Physiker	0.00 (478)	0.40 (479)	0.02 (479)	0.00 (479)		0.67**	0.18**	-0.11
Szientismus- Diskrepanz	0.00 (478)	1.00 (479)	1.00 (479)	0.00 (479)	0.00 (479)		0.05	-0.19**
Kognitive Geschlossen- heit	0.24 (481)	0.00 (481)	0.00 (481)	0.04 (482)	0.00 (479)	1.00 (479)		-0.04
Naturwiss. Orientierung	0.00 (481)	0.01 (482)	1.00 (481)	0.07 (482)	0.15 (479)	0.00 (479)	1.00 (482)	

^a Signifikanzen (zweiseitig, Holm-Bonferroni korrigiert): ** ($p < 0.01$), * ($p < 0.05$).

Oberhalb der Diagonale sind die Korrelationen, unterhalb der Diagonalen die Wahrscheinlichkeiten (p-Werte) und die jeweilige Zahl der in die Berechnung eingangenen Personen dargestellt.

Insgesamt zeigen die Korrelationen die erwartete Tendenz. Der eigene Szientismus korreliert negativ mit 'Offenheit für Erfahrungen' und positiv 'Need for Cognition' und 'Kognitive Geschlossenheit'. Mit -0.14, 0.10 und 0.13 sind die Werte zwar eher klein, aber zum Teil signifikant. Die Partialkorrelationen

4.2. Messung von Schüleransichten zur Reichweite der Naturwissenschaften

mit dem Sachinteresse als Kontrollvariable sind etwas größer⁷² (-0.14, 0.14 und 0.14) und alle signifikant mit $p < 0.05$. Die drei psychologischen Konstrukte korrelieren untereinander ebenfalls in der erwarteten Weise. Insbesondere korreliert 'Offenheit für Erfahrungen' negativ mit den beiden anderen Konstrukten. Diese Korrelationen sind auch betragsmäßig vergleichsweise stark (≥ 0.4) und hoch signifikant. Zusammengenommen stützen diese Ergebnisse die Konstruktvalidität der Szientismus-Skala.

Bemerkenswert ist die vergleichsweise starke negative Korrelation (- 0.35) zwischen dem Interesse und der Szientismus-Diskrepanz. Dieses Ergebnis stützt die Hypothese von Hansson und Lindahl (siehe Abschnitt 6.2.1), dass ein großer Unterschied zwischen der eigenen Sichtweise und der mit der Physik assoziierten Sicht zu einer Verringerung des Interesses an Physik führt.

Im Anhang (A.11) sind die Korrelationen noch einmal getrennt nach Schüler und Studierenden dargestellt. Die Werte unterscheiden sich zwar im Einzelnen, die Tendenz ist aber identisch. Ein bemerkenswertes Detail ist, dass die Korrelation zwischen dem Interesse an Physik und eigenem Szientismus bei den Studierenden zwar positiv ($r = 0.11$, $p = 0.08$), aber nicht signifikant, bei den Schülern dagegen hoch signifikant ist ($r = 2.52$, $p < 0.001$). Die Ursache für diesen Unterschied kann an dieser Stelle nicht geklärt werden.

Zusammenfassung Anhand der in Abschnitt 4.1 beschriebenen Methoden der Testtheorie wurde eine Skala zur Messung von Ansichten zur Reichweite der Naturwissenschaften entwickelt. Theoriegeleitet wurde zunächst ein Itempool von 111 Items erstellt. Die inhaltliche Validität der Items wurde anschließend unter anderem durch Schülerinterviews und eine Expertenbefragung geprüft. Ein Testfragebogen mit 66 Items wurde einer Stichprobe von 888 Schülern vorgelegt. Auf dieser Grundlage wurden für die endgültige Skala zehn Items mit günstigen statistischen Eigenschaften ausgewählt. Die Skala wurde auf Eindimensionalität geprüft und besitzt eine zufriedenstellende Reliabilität. Zur Sicherung der Konstruktvalidität wurde anhand einer weiteren Stichprobe von 482 Schülern und Studierenden ein psychologisch vermuteter Zusammenhang zwischen den Konstrukten Szientismus und kognitiver Geschlossenheit sowie zwei weiteren verwandten Konstrukten geprüft. Die gefundenen Korrelationen

⁷² Bei einer Partialkorrelation ist der Einfluß der Kontrollvariable auf die Korrelation »entfernt« (siehe z. B. Correlation (2012) für mathematische Details und Thomas und O'quigley (1993) für eine geometrische Interpretation). Dass die Partialkorrelationen in zwei Fällen größer als die Korrelationen sind, ist dadurch zu erklären, dass das Sachinteresse positiv mit dem Szientismus, aber negativ mit den entsprechenden psychologischen Konstrukten korreliert. Dies deutet darauf hin, dass für einen Teil der Stichprobe der vermutete Zusammenhang zwischen diesen Konstrukten und dem Szientismus *nicht* gilt.

4. Skala 'Reichweite der Naturwissenschaften'

bestätigten - wenn auch schwach ausgeprägt - die theoretischen Erwartungen.

5. Unterrichtseinheit zu Möglichkeiten und Grenzen der Naturwissenschaften

Das Ziel der Unterrichtseinheit¹ ist es sowohl die beeindruckende Leistungsfähigkeit physikalischer Methoden als auch deren prinzipielle Beschränkungen zu thematisieren. Die Dauer des Unterrichts beträgt insgesamt 4 Stunden. Die ersten beiden Stunden sollen exemplarisch die Möglichkeiten der Physik demonstrieren und zugleich den fachlichen Hintergrund für die Diskussion ihrer Grenzen bereitstellen. Dies ist Gegenstand der folgenden dritten und vierten Stunde. Als fachlicher Kontext des Unterrichts wurde die Kosmologie gewählt. Zwei Gründe waren dafür ausschlaggebend: zum einen hat die Kosmologie per definitionem die gesamte (physikalische) Welt als Untersuchungsgegenstand; sie erscheint damit für die Diskussion fundamentaler Grenzen besonders geeignet. Zum anderen zeigen verschiedene empirische Untersuchungen, dass es sich hierbei um einen Kontext handelt, der für Mädchen und Jungen gleichermaßen interessant ist (siehe z. B. Sjøberg & Schreiner, 2007).

Eine Zusammenfassung der Inhalte und des zeitlichen Ablaufs des Unterrichts zeigt Abbildung 5.1. Im ersten Teil geht es darum, dass sich mit den Mitteln der

Kontextbausteine	Gegenstände
Entwicklung des Universums (2 Schulstunden)	<ul style="list-style-type: none">• Planeten, Sterne und Galaxien als sichtbare Objekte• Rotverschiebung des Spektrums• Expansion des Raumes nach Einstein
Grenze der physikalischen Methode (2 Schulstunden)	<ul style="list-style-type: none">• Merkmale der physikalischen Methode• Methodische Grenze• Aspektcharakter der Physik

Abb. 5.1. Ablauf und Gegenstände der Unterrichtseinheit. [Bildquelle: R. Berger und Korte (2009)]

Physik begründete Aussagen über den Beginn und die Entwicklung des Univer-

¹ Der Unterricht wurde zuvor bereits in (R. Berger & Korte, 2009) vorgestellt. Der Schwerpunkt lag dabei auf der Darstellung des zweiten Teils.

5. Unterrichtseinheit zu Möglichkeiten und Grenzen der Naturwissenschaften

sums machen lassen. Zentrales Ergebnis ist, dass das Universum vermutlich einen Anfang hatte (den »Urknall«). Daran wird im zweiten Teil angeknüpft, in dem die Frage aufgeworfen wird, was sich physikalisch über die Ursachen dieses Anfangs sagen lässt. Anhand dieser Frage werden im Anschluss verschiedene Merkmale der physikalischen Methode und die aus ihnen resultierenden Grenzen thematisiert. In diesem Zusammenhang wird auch versucht, den Aspektcharakter des physikalischen Zugangs zu Natur zu verdeutlichen.

5.1. Unterrichtseinheit zu den Möglichkeiten der Naturwissenschaften

5.1.1. Fachlicher Hintergrund

Die Unterrichtseinheit zur Kosmologie versucht deutlich zu machen, wie sich mit physikalischen Methoden begründbare Aussagen über die zeitliche Entwicklung des Universums machen lassen. Das zentrale Ergebnis ist die räumliche Expansion des Kosmos², beginnend mit dem »Urknall«. Plausibel gemacht wird diese Vorstellung durch die Deutung der beobachtbaren Rotverschiebung der Galaxienspektren als Resultat der »Ausdehnung des Raumes« im Sinne von Albert Einsteins Allgemeiner Relativitätstheorie.

Zur fachlichen Einordnung dieser Unterrichtsinhalte folgt im nächsten Abschnitt zunächst ein Abriss der Kosmologie aus historischer Perspektive. Anschließend werden die heutigen Vorstellungen zur zeitlichen Entwicklung des Universums noch einmal etwas technischer - aber ohne den mathematischen Apparat der Allgemeinen Relativitätstheorie vorauszusetzen - vorgestellt. Diese beiden Texte haben auch die Funktion Lehrkräften, die nicht mit der Kosmologie vertraut sind, einen ersten Einblick in dieses Gebiet zu geben. Für ausführlichere Darstellungen sei auf die Literatur verwiesen³. Die in der Fußnote angegebenen Lehrbücher dienen auch als zusammenfassender Literaturnachweis hinsichtlich der mathematischen Ableitungen in Abschn. 5.1.3. Da es sich hier weitgehend um Standardlehrstoff handelt, wird auf detaillierte Einzelnachweise verzichtet.

² Die Begriffe Universum, Kosmos und Weltall werden hier synonym verwendet. Sie bezeichnen »Alles, was in einem physikalischen Sinne existiert« (Ellis, 2007, S. 1).

³ Es existiert eine beträchtliche Zahl von populärwissenschaftlichen Werken sowie wissenschaftlichen Überblicksartikeln und Lehrbüchern zur Kosmologie. Ein populäres Buch zur Geschichte der Kosmologie ist Singh (2007), eine historische Darstellung aus philosophischer Perspektive gibt Kanitscheider (1984). Einführende Lehrbücher sind z. B. Ryden (2003), Schneider (2006) oder Liddle (2012). Fortgeschrittenere und umfassendere Darstellungen sind Peebles (1993), Dodelson (2003) oder Weinberg (2008). Darüber hinaus werden in vielen Lehrbüchern zur Allgemeinen Relativitätstheorie kosmologische Themen behandelt, zum Beispiel in Straumann (1988), Carroll (2004) oder Grøn und Hervik (2007).

Die Darstellung in diesem Abschnitt ist in Teilen angelehnt an (Olive, Group et al., 2014).

5.1.2. Historischer Abriss der Kosmologie

Antike und Mittelalter

Es entspringt offenbar einem tiefen Bedürfnis des Menschen, sich ein Bild vom Ursprung und der Entwicklung der Welt im Ganzen zu machen. Dies findet schon früh in der Menschheitsgeschichte seinen Ausdruck in religiösen Schöpfungsmythen, die von vielen Kulturen überliefert sind (vgl. Tworuschka, 2005)⁴. Ein gemeinsames Merkmal nahezu aller religiösen Beschreibungen ist, dass die zeitliche Dynamik der Welt maßgeblich durch die Eingriffe eines übernatürlichen Wesens beeinflusst wird. Erste Versuche darauf zu verzichten, sie also durch allgemein gültige Gesetzmäßigkeiten zu beschreiben, wurden von chinesischen Philosophen im zweiten Jahrhundert v. Chr. unternommen (vgl. Kanitscheider, 1984). In der abendländischen Philosophie stammt der erste Entwurf einer allein auf Gesetze beruhenden kosmologischen Theorie von Anaximander (6. Jh. v. Chr.; (vgl. Kanitscheider, 1984, Kap. 3.2.2)). Bei ihm haben die Himmelsobjekte eine physikalische Natur und folgen kausalen Regeln. Auch wenn seine Vorstellungen schwerlich als wissenschaftliche Theorie im modernen Sinne bezeichnet werden können, besitzen sie doch erstmals einige ihrer wichtigsten Charakteristika. In der griechischen Philosophie der nachfolgenden Jahrhunderte wurden zunehmend verfeinerte, geometrisch-mechanische Modelle vom Aufbau der Welt entwickelt. Diese gipfelten in der von Ptolemäus um ca. 150 n. Chr. vorgeschlagenen Epizykeltheorie. In seinem Modell bewegen sich Mond und Sonne auf Kreisbahnen, die Planeten aber auf sogenannten Epizykeln⁵ um die Erde, die im Zentrum der Welt steht. Ptolemäus konnte auf diese Weise erstmals die beobachtete Schleifenbewegung der Planeten am Himmel erklären. Sein geozentrisches System wurde von den christlichen Kirchen als konform zu den Aussagen der Bibel angesehen. Es wurde für viele Jahrhunderte zum allgemein akzeptierten Weltmodell.

⁴ So enthalten z. B. die Schriften der »Weltreligionen« Hinduismus, Buddhismus, Islam und Christentum mehr oder weniger detaillierte Aussagen zur Schaffung und Entwicklung der Welt.

⁵ Diese Bahnen lassen sich als Ergebnis einer Überlagerung zweier gleichförmiger Kreisbewegungen auffassen (vgl. Singh, 2007, S. 40 ff.).

Neuzeit

Seine vorherrschende Stellung verlor das geozentrische System erst im Verlauf der sich im 16. Jahrhundert vollziehenden *kopernikanischen Wende* (vgl. Kanitscheider (1984, Kap. 5), Singh (2007, Kap. 1)). Abgelöst wurde es durch ein 1543 von Kopernikus vorgeschlagenes, heliozentrisches System. In diesem bewegen sich die Planeten auf Kreisbahnen um die Sonne, die sich im Zentrum der Welt befindet. Begrenzt wird diese durch die Sphäre der Fixsterne, die sich ebenfalls um die Sonne dreht⁶. Auch das kopernikanische Modell erlaubt es, die Schleifenbewegung der Planeten zu beschreiben, benötigt dafür aber nicht die Einführung von Epizykeln. Es wurde von bedeutenden Vertretern der aufkommenden Naturwissenschaft, wie Galilei und Kepler, unterstützt, und konnte sich schließlich gegen das ptolemäische System durchsetzen. Ein wichtiger Schritt war dabei Keplers mathematische Charakterisierung der Planetenbewegung. Die von ihm gefundenen Gesetze sind heute Teil jeder Vorlesung zur klassischen Mechanik. Sie ergaben eine sehr exakte Übereinstimmung mit den astronomischen Beobachtungen und übertrafen in dieser Hinsicht das Epizykelmodell⁷. Eine *physikalische Erklärung* gelang Isaac Newton im Jahre 1687 im Rahmen seiner Mechanik und des von ihm postulierten Gravitationsgesetzes. Damit wurde zum ersten Mal eine einheitliche Beschreibung von Naturerscheinungen am Himmel und auf der Erde erreicht. Newtons Resultat ist in mehrfacher Hinsicht von hoher Bedeutung für die physikalischen und philosophischen Grundlagen einer naturwissenschaftlichen Theorie des Kosmos:

1. Es kann als Bestätigung der Annahme universell gültiger Naturgesetze angesehen werden. Damit ist gemeint, dass diese an jedem Ort und zu jedem Zeitpunkt im Universum gültig sind.
2. Es gibt die erste kinematische Rechtfertigung des heliozentrischen Systems⁸ und kann als Hinweis auf das *kopernikanische Prinzip* angesehen

⁶ Bereits in der griechischen Philosophie wurden unter anderem von Herakles (4. Jh. v. Chr.) und Aristarch (3. Jh. v. Chr.) heliozentrische Modelle diskutiert. Diese konnten sich aber nicht durchsetzen.

⁷ Kepler konnte seine Gesetze auf Basis der sehr präzisen Beobachtungsdaten von Tycho Brahe gewinnen. Er behielt Kopernikus' Annahme bei, dass sich die Planeten um die Sonne bewegen, verwarf aber die Forderung der exakten Kreisförmigkeit ihrer Bahnen und nahm diese stattdessen allgemeiner als elliptisch an. Neben der Analyse der Planetenbewegung waren es vor allem die Beobachtungen Galileis, die das kopernikanische Modell zu stützten. Dazu zählen unter anderem seine Entdeckung der Jupitermonde und die Beobachtung der Venusphasen.

⁸ Die beobachteten Planetenbewegungen ergeben sich in Newtons Theorie unter der Annahme, dass ein relativ zur Sonne ruhendes Bezugssystem existiert, das in guter Näherung ein Inertialsystem darstellt. In dieser Hinsicht ist also die Sonne und nicht die Erde kinematisch ausgezeichnet. Diese Auszeichnung gilt natürlich nur so lange, wie man die Bewegung der Sonne relativ zu anderen Sternen, Galaxien etc. vernachlässigt. Man kann allerdings sagen, dass auch die Newtonsche Mechanik bestimmte Objekte kinematisch auszeichnet, nämlich diejenigen, die sich gleichförmig zur Klasse der Inertialsysteme bewegen (bzw. gleichförmig zum »absolutem Raum«). In der Allgemeinen Relativitätstheorie wird diese Auszeichnung aufgehoben, da der Begriff des absoluten Raumes nun

5.1. Unterrichtseinheit zu den Möglichkeiten der Naturwissenschaften

werden. Dieses besagt, dass der Mensch bzw. die Erde keine ausgezeichnete Stellung im Kosmos einnehmen. Erweitert zum *kosmologischen Prinzip*, der Annahme, dass es überhaupt keinen ausgezeichneten Ort im Universum gibt, bildet es die Grundlage der modernen Kosmologie⁹ (vgl. Kanitscheider, 1984, S. 120 f.).

3. Aus physikalischer Sicht wird erstmals die maßgebliche Rolle der Gravitation für die Kosmologie deutlich.

20. Jahrhundert

Die weitere Entwicklung der Kosmologie wurde im 18. und 19. Jahrhundert vor allem durch Fortschritte in den astronomischen Beobachtungsverfahren befördert. Diese ermöglichten ein zunehmend besseres Verständnis der Entfernung, räumlichen Verteilung und physikalischen Natur der am Himmel sichtbaren Objekte. Insbesondere konnten mit verbesserten Teleskopen neben einzelnen Sternen auch Sternhaufen und eine große Anzahl von »Nebeln« als weitgehend fix am Himmel positionierte Objekte beobachtet werden. Noch zu Beginn des 20. Jahrhunderts war die physikalische Natur dieser Nebel jedoch nicht geklärt. Insbesondere war nicht bekannt, ob sie, zusammen mit der Sonne und den übrigen Sternen, Teil einer einzigen großen Sternansammlung - der Milchstraße - waren. Erst 1923 konnte Edwin Hubble (1889 - 1853) mithilfe der von Henrietta Leavitt entwickelten Cepheidenmethode erstmals die Entfernung einer Galaxie bestimmen¹⁰. In der Folge stellte sich heraus, dass die Mehrzahl der Nebel eigenständige Galaxien sind. Jede dieser Galaxien ist - wie unsere Milchstraße - eine Ansammlung von Milliarden von Sternen. Nach der heute etablierten Vorstellung ist das gesamte Universum weitgehend homogen und isotrop mit diesen »Sterneninseln« angefüllt; vgl. Abbildung 5.2 und 5.3¹¹. Parallel zu diesen Fortschritten auf dem Gebiet der Beobachtung vollzog sich in den ersten

keine Bedeutung mehr hat. Selbst hier existiert allerdings eine - bezüglich der Gravitationswechselwirkung - ausgezeichnete Klasse von Objekten, nämlich die frei fallenden.

- 9 Die Formulierung »ausgezeichnete Stellung« hat dabei genau genommen zwei Aspekte: erstens ist damit gemeint, dass die Naturgesetze an jedem Ort und zu jeder Zeit im Universum die gleichen sind. Zweitens, soll aber auch die Anfangsbedingungen keinen Ort auszeichnen. Dies drückt sich in der Forderung nach räumlicher Homogenität und Isotropie aus. Diese Forderung ist fundamental für das heutige Standardmodell der Kosmologie.
- 10 Hubble entdeckte einen Cepheiden in der unserer Milchstraße benachbarten Andromeda-Galaxie. Cepheiden sind Sterne, die ihre Helligkeit periodisch ändern, derart, dass ihre absolute Helligkeit in einer bestimmten Weise von der Periodendauer abhängt. Aus der Messung der scheinbaren Helligkeit und der Periode lässt sich so die Entfernung bestimmen. Hubble kam zu dem Ergebnis, dass die Entfernung der Andromeda Galaxie die Ausdehnung der Milchstraße um eine Größenordnung überschreitet (vgl. Singh, 2007).
- 11 Die Verteilung der Galaxien scheint allerdings erst auf sehr großen Skalen homogen zu werden (vgl. Scrimgeour et al., 2012). Auf kleineren Skalen zeigen sich in Inhomogenitäten, die eine eher netzartige Struktur bilden.

5. Unterrichtseinheit zu Möglichkeiten und Grenzen der Naturwissenschaften

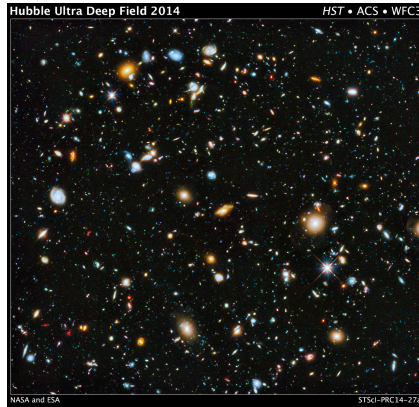


Abb. 5.2. Ausschnitt des Sternhimmels im Sternbild Fornax. Das Bild wurde aus Aufnahmen des Hubble Teleskops erstellt. Eine Seitenlänge des Ausschnitts entspricht einem Winkel von ca. zwei Bogenminuten. [Bildquelle: NASA/ESA, NASA/ESA (2014)]

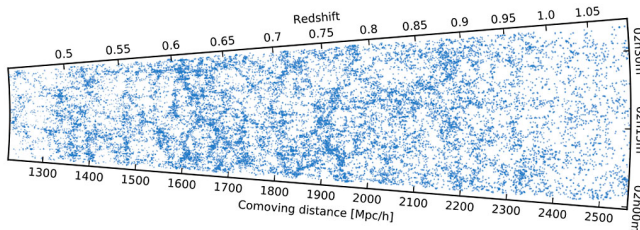


Abb. 5.3. Verteilung der Galaxien im Universum, die im Rahmen der VIPERS-Durchmusterung mit dem Very Large Telescope der ESA vermessen wurde. Im Bild befindet sich ein Beobachter auf der Erde links. Die Laufzeit des Lichtes von den Galaxien am rechten Rand bis zur Erde beträgt ca. 8 Milliarden Jahre. [Bildquelle: ESA/VIPERS ESA/VIPERS (2014)]

Jahrzehnten des 20. Jahrhunderts eine Umwälzung der theoretischen Basis. Die während dieser Zeit entwickelte Quantentheorie, sowie die Allgemeine Relativitätstheorie bilden heute die theoretische Grundlage der modernen Kosmologie. Albert Einstein machte 1919, also nur drei Jahre nach der Veröffentlichung der Allgemeinen Relativitätstheorie, den ersten Versuch einer Anwendung sei-

5.1. Unterrichtseinheit zu den Möglichkeiten der Naturwissenschaften

ner neuen Theorie auf die Kosmologie: er ging aber zunächst noch von einer statischen Materieverteilung im Universum aus¹².

Den Grundstein für das heutige Bild eines expandierenden Universums legte dann Edwin Hubble im Jahre 1929. Er verknüpfte Beobachtungsdaten über die Entfernung von Galaxien mit der Verschiebung der Spektrallinien in dem von diesen ausgesandten Licht. Zwischen diesen beiden Größen ergab sich ein linearer Zusammenhang. Hubble interpretierte die Verschiebung der Spektrallinien hin zu größeren Wellenlängen (»Rotverschiebung«) als Dopplereffekt und postulierte damit einen Zusammenhang zwischen Entfernung und Geschwindigkeit der Galaxien. Je weiter die Galaxien von der Erde entfernt sind, desto schneller bewegen sie sich von ihr weg. Zusammen mit dem kosmologischen Prinzip, demzufolge die Erde keine gesonderte Stellung im Universum einnimmt, ergab sich ein neues Bild eines dynamischen, expandierenden Universums. Dass sich ein solches Universum zwanglos im Rahmen der Allgemeinen Relativitätstheorie beschreiben lässt, hatten wenige Jahre zuvor bereits Friedmann und Lemaitre gezeigt. Die von Ihnen gefundenen Lösungen der Einsteinschen Feldgleichungen ergeben einen sich mit der Zeit ausdehnenden Raum. Die Materie ist an die Punkte dieses Raumes »geheftet«. Durch die Raumexpansion vergrößert sich mit dem Vergehen der Zeit der Abstand zweier räumlich getrennter Punkte¹³. Dies erklärt die beobachtete Rotverschiebung der Spektrallinien des von den Galaxien ausgesandten Lichtes. Geht man dagegen der Zeit zurück, verringern sich die Abstände und die Materiedichte vergrößert sich unbeschränkt. Man gelangt so zu einem Beginn der Expansion bei dem die Dichte und Temperatur im Prinzip unendlich groß war. Dieser »Anfang des Universums« wird heute gemeinhin als »Urknall« (engl. Big Bang) bezeichnet¹⁴. Diese Urknalltheorie war zunächst keinesfalls allgemein akzeptiert. Einer der Gründe dafür war ein Widerspruch zwischen dem anhand der astronomischen Daten berechneten Alter des Universums und dem Alter der Erdkruste. Dieses konnte anhand radioaktiver Mineralien auf mindestens 3 Milliarden Jahre geschätzt werden, während aus Hubbles Daten zum Zusammenhang zwischen Entfernung der

12 Um im Rahmen seiner Theorie ein statisches Universum beschreiben zu können, musste Einstein seine Feldgleichungen um einen Term, das sogenannte »kosmologische Glied«, erweitern. Dies sollte mit der Entdeckung der beschleunigten Expansion des Kosmos am Ende des 20. Jahrhunderts erneut Bedeutung erlangen (siehe unten). Ein verbleibendes Problem des statischen Modells war seine dynamische Instabilität.

13 Ein häufig verwendetes Bild hierfür ist ein Luftballon, der aufgeblasen wird. Bringt man auf der Oberfläche des Ballons in gleichmäßigen Abständen Knöpfe (»Galaxien«) an, so vergrößert sich der Abstand zweier Knöpfe mit einer Rate, die proportional zum ursprünglichen Abstand der Knöpfe ist. Diese entspricht dem vom Hubble gefundenen Zusammenhang zwischen Abstand und Geschwindigkeit der Galaxien.

14 Bereits Lemaitre hat den Urknall mit einer Explosion verglichen. Die Bezeichnung »Big Bang« wurde von dem Astrophysiker Fred Hoyle geprägt. Ironischerweise war sie von ihm eher spöttisch gemeint, da er selbst eine konkurrierende Theorie vertrat.

5. Unterrichtseinheit zu Möglichkeiten und Grenzen der Naturwissenschaften

Galaxien und ihrer Geschwindigkeit ein Weltalter von ca. 1,8 Milliarden Jahre resultierte. Dieser Widerspruch konnte erst in den fünfziger Jahren von Baade durch eine Neubestimmung der Galaxientfernungen gelöst werden. Diese ergaben ein älteres Universum, das mit dem Alter der Erde, Sterne und Galaxien vereinbar war (vgl. Singh, 2007, Kap. 5).

Weitere Indizien, die für die Urknalltheorie sprachen, ergaben sich aus den großen Fortschritten in der Atom- und Kernphysik auf Basis der neuen Quantentheorie. In den vierziger Jahren gelang es Gamow, Alpher und Herman die Entstehung der leichten Elemente Wasserstoff und Helium unter den physikalischen Bedingungen einer heißen Anfangsphase des Universums (»primordiale Nukleosynthese«) zu erklären¹⁵. Von vermutlich noch größerer Bedeutung für die Akzeptanz der Theorie war jedoch ihre Vorhersage, dass das gesamte Universum von einer isotropen Schwarzkörperstrahlung erfüllt sei. Diese sollte entstehen, wenn das Universum so weit abgekühlt war, dass es zur Rekombination von Protonen und Elektronen kommen konnte. Bis zu diesem Zeitpunkt sollten diese als Plasma vorliegen und sich im thermischen Gleichgewicht mit den Photonen befinden. Wenn die Temperatur auf ca. 3000 K absinkt, sollten Protonen und Elektronen sich zu Wasserstoffatomen verbinden, so dass Strahlung und Materie entkoppeln. Im Laufe der weiteren Expansion des Universums sollte die Temperatur der Strahlung weiter abnehmen und heute nur noch wenige Kelvin betragen. Im Jahr 1964 entdeckten dann Penzias und Wilson erstmals die Existenz einer solchen Schwarzkörperstrahlung mit einer Temperatur von etwa 3 Kelvin. Die hohe Isotropie der Strahlung, genauso wie später vorhergesagte kleine Temperaturschwankungen, konnten 1993 durch Messungen mit dem COBE-Satelliten bestätigt werden. Mit dem Nachweis dieser heute als *kosmische Hintergrundstrahlung* (engl. CMB (Cosmic Microwave Background)) bezeichneten Strahlung etablierte sich die Urknalltheorie als Standard der modernen Kosmologie.

In den letzten Jahrzehnten haben satellitengestützte Beobachtungsinstrumente, zahlreiche neue Großteleskope¹⁶ und Fortschritte der digitalen Messtechnik, die

¹⁵ Die Entstehung schwerer Elemente konnte später von Hoyle durch Fusion im Innern alternder Sterne plausibel gemacht werden.

¹⁶ Zwischen 1949 und 1993 waren das Hale-Teleskop am Palomar Observatorium in Kalifornien (Baujahr 1949, Spiegeldurchmesser 5,1 m) und das Teleskop am Selentschuk-Observatorium (Baujahr 1975, Spiegeldurchmesser 6 m) die weltweit größten Teleskope. Zwischen 1993 und 2007 wurden 15 (!) neue Teleskope mit Spiegeldurchmessern zwischen sechs und 11,8 m in Betrieb genommen. Des weiteren wurden allein im Rahmen des »Great Observatory Program« der NASA zwischen 1990 und 2003 vier Teleskope im Weltraum stationiert: das Hubble Space Telescope, das Compton Gamma Ray Telescope, das Chandra X-Ray Observatory und das Spitzer Space Telescope. Diese können Strahlung im sichtbaren, Gamma-, Röntgen- und Infrarotbereich des elektromagnetischen Spektrums registrieren. Speziell zur Vermessung der kosmischen Mikrowellenhintergrundstrahlung wurden außerdem die Satelliten COBE (1989 - 1992), WMAP (2001 - 2010) und Planck (2009 - heute) entwickelt und eingesetzt.

5.1. Unterrichtseinheit zu den Möglichkeiten der Naturwissenschaften

empirische Kenntnis über den Aufbau des Kosmos wesentlich erweitert. Parallel dazu hat vor allem die Entwicklung leistungsstarker Computer es ermöglicht die Eigenschaften verschiedener kosmologischer Modelle zunehmend detailliert zu studieren. So ist es heute möglich die Bildung großer Strukturen¹⁷ im Universum numerisch zu simulieren und mit den empirischen Beobachtung zu vergleichen. Ein wesentliches Ergebnis dieser Fortschritte aus jüngerer Zeit ist die Entdeckung einer offenbar beschleunigten Expansion des Universums. Den ersten direkten Hinweis darauf lieferten 1998 systematische Beobachtungen von Supernovae in weit entfernten Galaxien¹⁸. Eine mögliche Erklärung der beschleunigten Ausdehnung des Weltalls ist die Existenz einer Energieform mit abstoßender Gravitationswirkung. Um im Einklang mit den aktuellen Beobachtungen zu stehen, müsste diese sogenannte »Dunkle Energie« etwa 68 % der heutigen Energiedichte im Universum ausmachen. Etwa 27 % der Energiedichte würde gravitativ anziehende, aber nicht direkt beobachtbare »Dunkle Materie«, und nur knapp 5 % »gewöhnliche« Materie beisteuern¹⁹. Die physikalische Natur der »dunklen« Energieformen ist bis heute weitgehend ungeklärt, obwohl für beide eine Reihe theoretischer Vorschläge existieren²⁰. Rein formal lässt sich die Dunkle Energie durch Annahme eines positiven Wertes für die kosmologische Konstante in der Einsteinschen Gravitationstheorie berücksichtigen.

17 In den kosmologischen Modellen von Friedmann und Lemaitre wird eine perfekt isotrope und homogene Materieverteilung angenommen. Dies erlaubt es die Einsteinschen Feldgleichungen analytisch zu lösen. Lässt man diese Idealisierungen fallen, müssen Sie numerisch gelöst werden. Dies ist mit den in den letzten Jahren verfügbaren Rechnerleistungen möglich. So konnte simuliert werden, wie aus kleinen, anfänglichen Abweichungen von der homogenen Materieverteilung die heute beobachteten, großräumigen Strukturen entstehen können. Zur Frage, wie die anfänglichen Dichtefluktuationen entstanden sind, wurden verschiedene theoretische Modelle vorgeschlagen. Das prominenteste ist wohl die sogenannte »kosmische Inflation« (s. u.) (vgl. z. B. Liddle, 2012).

18 Supernovae sind thermonukleare Explosionen von Sternen am Ende ihres Lebens. Supernova eines bestimmten Typs (Typ-1A) werden in der Kosmologie als »Standardkerzen« zur Messung weiter Entfernungen verwendet, weil sie eine hohe absolute Helligkeit besitzen und aus theoretischen Gründen angenommen werden kann, dass ihre Lichtkurve einen bestimmten universellen Verlauf hat. Die beschleunigte Expansion wurde durch Messungen an Typ-1A-Supernovae nahezu zeitgleich und unabhängig voneinander durch zwei Forschergruppen um Saul Perlmutter bzw. Brian Schmidt und Adam Riess entdeckt. Die drei Wissenschaftler erhielten dafür 2011 den Nobelpreis. Wenige Jahre zuvor war sie bereits von Ostriker und Steinhardt vorhergesagt worden.

19 Den wesentlichen Anteil der »gewöhnlichen« Materie steuern die Neutronen und Protonen in den Atomkernen bei. Man spricht daher auch von »baryonischer« Materie. Dunkle Materie ist nicht direkt beobachtbar, ihre Existenz muss aber angenommen werden, um etwa die beobachteten Rotationskurven von Spiralgalaxien oder die Bildung großräumiger Strukturen, wie Galaxienhaufen, erklären zu können. Mögliche Kandidaten sind zum Beispiel bislang unbeobachtete Elementarteilchen. Ein indirektes Indiz für die Existenz der Dunklen Energie ist neben der beschleunigten Expansion vor allem die aus verschiedenen Beobachtungen folgende geringe Krümmung des Raumes.

20 Die relativistische Quantenfeldtheorie legt die Existenz einer Nullpunktsenergie des Vakuums nahe. Sie ist ein möglicher Kandidat für die Dunkle Energie. Es existiert allerdings keine überzeugende Ableitung des beobachteten Wertes. Andere Erklärungen für die Dunkle Energie basieren auf der Einführung eines skalaren Feldes, das häufig als »Quintessenz« bezeichnet wird (vgl. Ostriker & Steinhardt, 2001).

5. Unterrichtseinheit zu Möglichkeiten und Grenzen der Naturwissenschaften

Ein weiteres bislang völlig ungelöstes Problem ist die theoretische Beschreibung der unmittelbaren Anfangsphase des Universums. Mit den leistungsfähigsten, heute verfügbaren Teilchenbeschleunigern lassen sich physikalisch Verhältnisse erzeugen, wie sie etwa eine Mikrosekunde nach dem Urknall geherrscht haben sollten²¹. Theoretische Modelle zur Entwicklung des Universums in dem Zeitraum davor sind daher gegenwärtig nicht direkt experimentell prüfbar. Dies betrifft insbesondere Mechanismen, die zur Erklärung zweier Charakteristika des heute beobachtbaren Universums - nämlich der hohen Isotropie und der verschwindenden Raumkrümmung - gemacht werden. Beide Eigenschaften erfordern sehr spezielle Anfangsbedingungen zu Beginn der Expansion. Eine zuerst in den achtziger Jahren vorgeschlagene Erklärung hierfür ist die »kosmische Inflation«, derzufolge sich das Universum in den ersten 10^{-30} Sekunden um einen Faktor 10^{30} oder mehr ausgedehnt haben soll²². Ein derartiges Szenario wird heute offenbar von vielen Kosmologen favorisiert, allerdings konnten für weitere aus ihnen folgende Vorhersagen bis dato keine eindeutigen empirischen Belege gefunden werden.

Ein wesentliches Problem der theoretischen Beschreibung der unmittelbaren Anfangsphase des Universums ist die Notwendigkeit einer Verknüpfung von Quanten- und Gravitationstheorie. Hierzu existieren verschiedene Ansätze²³, die zum gegenwärtigen Zeitpunkt allerdings nicht den Status abgeschlossener Theorien erreicht haben. Die Entwicklung einer konsistenten Theorie des Urknalls und ihre empirische Prüfung zählen damit zu den großen Herausforderungen zukünftiger kosmologischer Forschung.

21 Die Temperatur des Universums zu diesem Zeitpunkt betrug etwa 10^{13} Kelvin. Etwa $50 \mu\text{s}$ nach dem Urknall sollten sich die Nukleonen (Neutronen und Protonen) gebildet haben. In der Folge befanden sich im Universum folgende Teilchen: Protonen, Neutronen, Elektronen und Neutrinos sowie deren Antiteilchen, und eventuell weitere schwer wechselwirkende Teilchen, die zur Dunklen Materie beitragen.

22 Am Ende dieser exponentiellen Expansion sollte der Durchmesser des Universums etwa 1 cm betragen haben. Die Analogie mit einem Luftballon kann den Effekt der Expansion verdeutlichen: am Anfang liegt der Ballon in irgend einem »verschrumpelten«, ungleichmäßigen Zustand vor, entsprechend einer nahezu beliebigen Energieverteilung und Raumkrümmung. Wird der Ballon nun stark aufgeblasen, glättet sich die Oberfläche und ihre Krümmung nimmt mit zunehmendem Durchmesser des Ballons ab, analog der heute beobachteten großen Isotropie der Energie- und Materieverteilung sowie der verschwindenden Raumkrümmung. Die verbleibenden Unregelmäßigkeiten der Oberfläche entsprechen den Unregelmäßigkeiten der Materieverteilung, die auf verschiedenen Skalen beobachtbar sind (Galaxien, Galaxienhaufen, etc.). Als Ursache der Inflation wird - ähnlich wie bei der Dunklen Materie - die Existenz eines skalaren Feldes mit geeigneten Eigenschaften angenommen. Kritiker dieses Szenarios weisen allerdings darauf hin, dass die Parameter dieses Feldes ebenfalls sehr fein abgestimmt sein müssen, um mit den heutigen Beobachtungen in Einklang zu stehen.

23 Die populärsten und am intensivsten untersuchten sind vermutlich die Schleifenquantengravitation und die Stringtheorie. Für populäre Darstellungen der Anwendung dieser theoretischen Ansätze auf die Beschreibung des Urknalls siehe z. B. Bojowald (2009) bzw. Gasperini (2008).

5.1.3. Fachliche Grundlagen

Die Expansion des Weltalls und die kosmische Rotverschiebung

Die Rotverschiebungs-Entfernungs-Relation Bei Betrachtung der Sonne durch einen Prismen- oder Gitterspektrometer sind bei genauerem Hinsehen feine dunkle Linien im kontinuierlichen Farbverlauf des Spektrums erkennbar. Diese so genannten Fraunhoferlinien lassen sich als Absorptionslinien deuten²⁴. Strahlung, die aus dem Inneren der Sonne kommt, wird von den in den äußeren Schichten existierenden chemischen Elementen absorbiert. Die den Linien zugeordneten Wellenlängen korrespondieren zu den atomaren Übergängen dieser Elemente. Derartige Spektrallinien finden sich nicht nur im Licht der Sonne, sondern auch in dem anderer Sterne, leuchtender galaktische Gasnebel und dem der Galaxien²⁵. Bei Letzteren ist jedoch ein Phänomen beobachtbar, das erstmals 1929 von Edwin Hubble aufgedeckt wurde: die Positionen der Spektrallinien sind bei weiter entfernten Galaxien zu größeren Wellenlängen verschoben (vgl. Abb. 5.4). Hubble stellte fest, dass diese so genannte »Rotverschiebung« unabhängig von der Beobachtungsrichtung auftritt und proportional mit der Entfernung der Galaxien anwächst (Abb. 5.5). Dieser Zusammenhang lässt sich durch die Formel

$$z = \frac{H_0}{c} d \quad (5.1)$$

ausdrücken. In dieser heute als *Hubblesches Gesetz* bezeichneten Relation ist z die Rotverschiebung und d die Entfernung. Die Proportionalitätskonstante wird traditionell als Verhältnis der so genannten *Hubble-Konstante* H_0 und der Lichtgeschwindigkeit c geschrieben. Der heutige Wert von H_0 wird auf etwa $70 \frac{\text{km/s}}{\text{Mpc}}$ geschätzt. z ist definiert als relative Änderung der ursprünglich emittierten Wellenlänge λ_{em} zu beobachteten Wellenlänge λ_{obs} :

$$z = \frac{\lambda_{obs} - \lambda_{em}}{\lambda_{em}} \quad (5.2)$$

Hierbei wird angenommen, dass die Wellenlänge des emittierten Lichts den auf der Erde gemessenen Wert hat. Hubble fasste die Rotverschiebung als klassischen Dopplereffekt auf, d.h. er nahm an, dass sie durch eine Fluchtbewegung

²⁴ Die Linien wurden erstmals 1802 von William Hyde Wollaston beobachtet. Unabhängig davon wurden sie 1814 von Joseph von Fraunhofer neu entdeckt und systematisch untersucht. Um 1859 entdeckten Gustav Robert Kirchhoff und Robert Bunsen, dass sie den Spektrallinien entsprechen, die bei der Beobachtung von chemischen Elementen im irdischen Labor auftreten.

²⁵ Das Strahlungsspektrum stellt daher eine einzigartige Informationsquelle über die Zusammensetzung astronomischer Objekte dar. Auf der spektroskopischen Analyse der von ihnen empfangenen Strahlung basiert der allergrößte Teil unserer Kenntnisse über den Aufbau und die Entwicklung von Objekten außerhalb unseres Sonnensystems.

5. Unterrichtseinheit zu Möglichkeiten und Grenzen der Naturwissenschaften

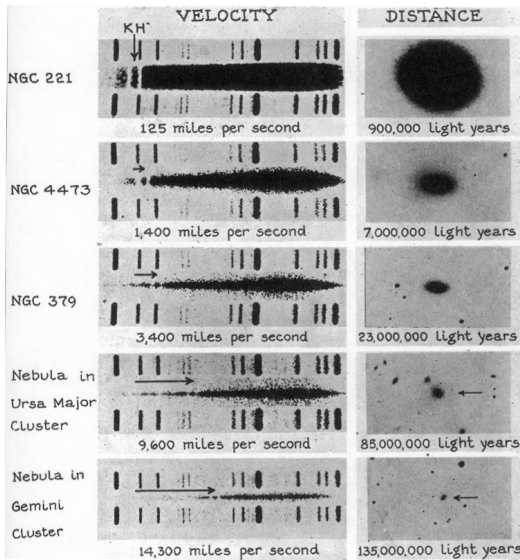


Abb. 5.4. Die Abbildung zeigt einige von Hubble gemessene Galaxienspektren sowie jeweils rechts daneben Bilder dieser Galaxien. In Spektren ist jeweils die Position der K- und H-Linien von Calcium mit einem Pfeil markiert. Die Linien sind mit zunehmender Entfernung der Galaxien nach rechts, zu größeren Wellenlängen hin, verschoben (ober und unterhalb jedes Galaxienspektrums ist zum Vergleich jeweils das im Labor gemessene Spektrum von Helium eingeblendet). Die angegebenen Geschwindigkeiten entsprechen der Fluchtgeschwindigkeit der Galaxien, wenn man die Rotverschiebung als Dopplereffekt interpretiert. [Bildquelle: (Hubble, 1936)]

der Galaxien von der Erde weg verursacht wird. In Diagrammen wissenschaftlicher Veröffentlichungen wird auch heute oft die »Fluchtgeschwindigkeit« cz anstelle der Rotverschiebung aufgetragen²⁶. Eine derartige Interpretation ist allerdings für größere z -Werte nicht mehr ohne Weiteres möglich. Eine konsistente Erklärung für beliebige Werte von z ergibt sich dagegen im Rahmen der Allgemeinen Relativitätstheorie. Die Rotverschiebung ist hier eine Konsequenz der »Expansion des Raumes« zwischen den Galaxien²⁷. Dies sei etwas näher erläutert: in den Newtonschen Mechanik ist der dreidimensionale Raum die »Bühne«, auf der sich die Bewegungen der Massepunkte abspielen. Räumliche

²⁶ Bei Annahme des nichtrelativistischen Dopplereffektes wäre die relative Zunahme der Wellenlänge bei einer sich mit der Geschwindigkeit v von der Erde entfernenden Galaxie gleich v/c .

²⁷ Im begrifflichen Rahmen der Allgemeinen Relativitätstheorie sind Relativgeschwindigkeiten zunächst nur lokal sinnvoll definiert. In den letzten Jahren wurde in der Literatur recht kontrovers diskutiert, inwieweit eine Interpretation der Rotverschiebung als Abfolge gewöhnlicher lokaler Dopplereffekte möglich und sinnvoll sein könnte (vgl. z. B. Bunn & Hogg, 2009; Cook & Burns, 2009; Østvang, 2013).

5.1. Unterrichtseinheit zu den Möglichkeiten der Naturwissenschaften

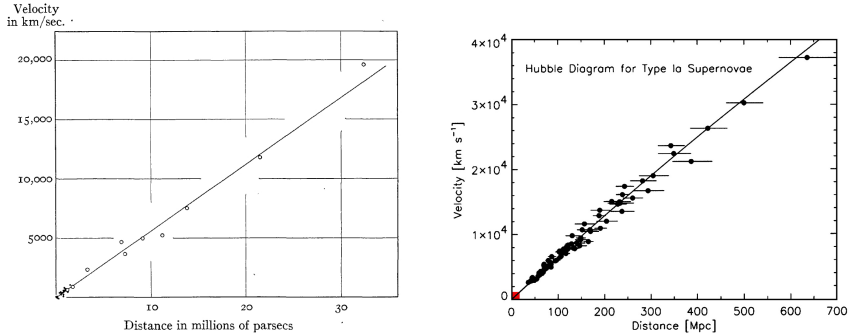


Abb. 5.5. Die Abbildungen zeigen Messergebnisse zum Zusammenhang zwischen Rotverschiebung (ausgedrückt als Fluchtgeschwindigkeit $v = cz$ und Entfernung der Galaxien. Das linke Diagramm stellt von Hubble und Humason im Jahre 1931 veröffentlichte Messungen dar (Hubble & Humason, 1931); Das rechte Diagramm zeigt moderne Messungen. Das kleine rote Quadrat markiert den von Hubble untersuchten Entfernungsbereich. [Bildquellen: linke Abb.: Hubble und Humason (1931, Fig. 4), rechte Abb. Kirshner (2004, Fig. 3)]

Abstände sind durch die euklidischen Geometrie bestimmt und insbesondere unabhängig von der Verteilung und Dynamik der Materie. Auch die Zeit ist hier ein universeller Parameter: sie läuft an jedem Ort und zu jedem Zeitpunkt in gleicher Weise ab. In der Speziellen Relativitätstheorie wird diese Trennung von Raum und Zeit aufgehoben. Die raumzeitlichen Verhältnisse werden nun durch eine vierdimensionale Geometrie beschrieben. Eine der Konsequenzen ist, dass bestimmte Eigenschaften räumlich getrennter Ereignisse - z. B. ihre Gleichzeitigkeit - vom Bezugssystem des Beobachters abhängig werden. Allerdings ist auch in der Speziellen Relativitätstheorie die Geometrie global, denn die metrischen Eigenschaften und Kausalbeziehungen sind in der gesamten Raumzeit durch eine Minkowski-Metrik der Form $ds^2 = c^2 dt^2 - dl^2$ beschreibbar (dl^2 ist hier das dreidimensionale Linienelement der euklidischen Geometrie²⁸). Insbesondere existieren globale Bezugssysteme (Inertialsysteme) in denen die Metrik diese Form annimmt. In der Allgemeinen Relativitätstheorie ist dies in der Regel nicht mehr der Fall. Die Geometrie der Raumzeit ist jetzt von der Energie-Impulsverteilung der Materie abhängig und kann sich wie diese von Punkt zu Punkt ändern. Die metrischen und kausalen Verhältnisse werden im Allgemeinen nur noch lokal durch die Minkowski-Metrik angemessen wiedergegeben. Mathematisch wird der Zusammenhang zwischen Raumzeitgeometrie und Materie durch die Einsteinschen Feldgleichungen (siehe unten) beschrieben. Im Standardmodell der Kosmologie wird nun davon ausgegangen, dass die

²⁸ In kartesischen Koordinaten x, y, z : $dl^2 = dx^2 + dy^2 + dz^2$.

5. Unterrichtseinheit zu Möglichkeiten und Grenzen der Naturwissenschaften

Materie im Mittel homogen und isotrop verteilt ist²⁹. Es ist daher naheliegend, dass die Geometrie der Raumzeit die gleiche Symmetrie besitzt. In diesem Falle lässt sich das Linienelement in der Form

$$ds^2 = c^2 dt^2 - a(t) dl^2 \quad (5.3)$$

schreiben (Robertson-Walker-Metrik). $a(t)$ ist hierin ein globaler Skalenfaktor, der von der Zeit abhängen kann³⁰. Aufgrund der Isotropie lässt sich das räumliche Linienelement dl^2 durch Koordinaten r , θ und ϕ ausdrücken, so dass

$$dl^2 = dr^2 + f_K^2(r) d\Omega^2; \quad (5.4)$$

dabei ist $d\Omega^2 = d\theta^2 + \sin^2 \theta d\phi^2$ das Raumwinkelelement. Ist die Funktion $f_K(r)$ proportional zur Radialkoordinate r , so ist die räumliche Geometrie euklidisch. Die Symmetrieannahmen erlauben aber auch einen Raum konstanter positiver oder negativer Krümmung, was durch den Index K angedeutet ist³¹. Die Zeitkoordinate t - die sog. *kosmische Zeit* - entspricht der Eigenzeit eines relativ zu Materie ruhenden Beobachters (»Fundamentalbeobachter«). Die räumlichen Koordinaten markieren die Position eines solchen Beobachters. Sie entsprechen einem mit der Materie mitbewegten Koordinatensystem. Betrachten wir zwei beliebige Materiepunkte zu einer beliebigen kosmischen Zeit t , so ist ihre Koordinatendifferenz Δl zeitlich konstant, ihr physikalischer Abstand $\Delta s = a(t)\Delta l$ wächst dagegen proportional zum Skalenfaktor $a(t)$ an. Dieses Modell, mit der Annahme perfekter Isotropie und Homogenität, ist natürlich eine Idealisierung von der das reale Universum in wichtigen Punkten abweicht: die Materie ist heute weitgehend in Galaxien konzentriert und deren Verteilung ist nur im großräumigen Mittel homogen. Diese Inhomogenitäten waren zu Beginn der kosmischen Entwicklung viel kleiner und vergrößern sich mit der Zeit. Aus diesem Grunde können sich nah benachbarte Galaxien durchaus aufeinander zu bewegen, wie es beispielsweise bei der Andromeda-Galaxie und der Milchstraße der Fall ist. Im Standardmodell der Kosmologie lassen sich diese Bewegungen

29 Wie erwähnt, beobachten wir nämlich von der Erde aus eine Verteilung der Galaxien, die auf großen Skalen isotrop ist. Davon ausgehend, dass dies an jedem Ort im Universum der Fall wäre, dass also die Erde kein in irgendeiner Weise ausgezeichnete Beobachtungsort ist, ergibt sich die Homogenität.

30 Es ist praktikabel den gegenwärtigen Wert von a auf 1 zu normieren: $a_0 = a(t_0) = 1$ (wie der Kosmologie üblich, kennzeichnen wir die heutigen Werte zeitabhängiger Parameter mit dem Index 0).

31 Die Forderung der räumlichen Homogenität legt die Form der Funktionen f_K fest. Für die gewählten Koordinaten sind sie durch

$$f_K(r) = \begin{cases} |K|^{1/2} \sin(|K|^{1/2}r) & (K > 0) \\ r & (K = 0) \\ |K|^{-1/2} \sinh(|K|^{1/2}r) & (K < 0) \end{cases}$$

gegeben. Die Konstante K parametrisiert dabei die Krümmung.

5.1. Unterrichtseinheit zu den Möglichkeiten der Naturwissenschaften

beschreiben, indem man den Galaxien Eigengeschwindigkeiten relativ zur homogenen kosmischen Expansion zuordnet³². Der Raum expandiert also nur zwischen gravitativ nicht gebundenen Masseinhomogenitäten, wie etwa hinreichend weit voneinander entfernten Galaxien (vgl. Abb. 5.6). Darüber hinaus

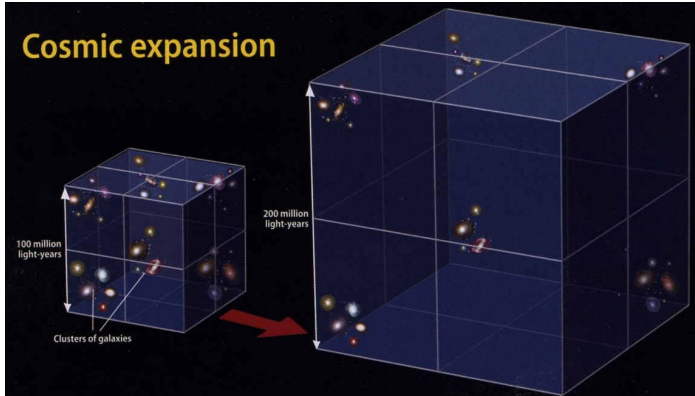


Abb. 5.6. Darstellung der kosmischen Expansion: die räumlichen Abstände zwischen den gravitativ gebundenen Strukturen (im Bild Galaxiencluster) vergrößern sich. [Bildquelle: Kruesi (2007)]

existieren neben der Gravitation noch die übrigen Wechselwirkungen, wie die starke Kraft oder die elektrische Anziehung, die vor allem für die Entstehung gebundener Strukturen auf mikro- und mesoskopischer Skala (Kerne, Atome, Moleküle, Festkörper etc.) verantwortlich sind. Auch diese Strukturen nehmen nicht an der kosmischen Expansion teil³³. Betrachten wir jetzt die Wirkung der Raumexpansion auf eine Lichtwelle, die uns von einer fernen Galaxie erreicht: wie auch die Anschauung nahelegt, (vgl. Abb. 5.7) vergrößert sich der Abstand zweier Wellenberge in dem gleichen Maße wie die Abstände der Galaxien, so dass also

$$\frac{\lambda(t_0)}{\lambda(t)} = \frac{a(t_0)}{a(t)} \quad (5.5)$$

gilt, wobei t bzw. t_0 die Zeiten der Aussendung bzw. des Ankommens der Wellenberge bezeichnen³⁴. Unter Verwendung der Rotverschiebung (Gl. 5.2) lautet Gl.

³² Die homogene Expansion der Materie und das mit ihr verbundene räumliche Koordinatensystem bezeichnet man auch als *Hubble-Flow*.

³³ D.h., auch ein einzelnes Atom im intergalaktischen Raum behält seine Größe bei. Diese Tatsache, dass es lokal gebundene Objekte gibt, die nicht am Hubble-Flow teilnehmen, macht überhaupt erst die Messung der kosmischen Expansion anhand der Rotverschiebung möglich.

³⁴ Um dies rechnerisch einzusehen, bemerken wir zunächst dass die Koordinatendistanz Δr für beide Wellenberge gleich ist, da ja beide Galaxien konstante (mitbewegte) Koordinaten haben.

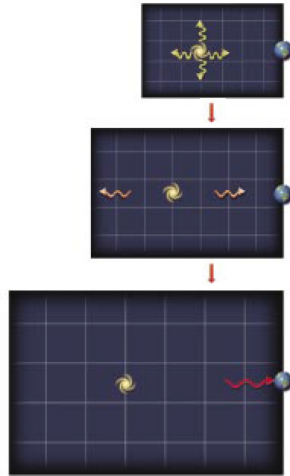


Abb. 5.7. Die Lichtquelle wird auf ihrem Weg zur Erde »gedehnt«. Eine andere Veranschaulichung gibt das im Rahmen der Unterrichtseinheit entwickelte Modell-experiment, vgl. Abschn. 5.1.5. [Bildquelle: Lineweaver und Davis (2005)]

5.5 $1 + z = \frac{a(t_0)}{a(t)}$ bzw. etwas prägnanter

$$1 + z = \frac{1}{a} \quad (5.6)$$

für Beobachtungen in der Gegenwart (a ist hier der Wert des Skalenfaktors zum Zeitpunkt der Aussendung des Lichtes). Gleichung 5.6 drückt den Zusammenhang zwischen der Rotverschiebung und der Expansion des Universums aus. Bei Annahme des Robertson-Walker-Linienelements (Gl. 5.3) ist er exakt gültig³⁵. Die rechte Seite von Gleichung 5.6 ist allerdings nicht direkt bestimmbar. Da die Lichtlaufzeit $t_0 - t$ mit der Entfernung der Licht aussendenden Galaxie anwächst, lässt sich $\frac{a(t_0)}{a(t)}$ im Prinzip durch diese ausdrücken. Allgemein ist die

Die Welle bewegt sich entlang einer lichtartigen Geodäte, d.h. es gilt $ds^2 = 0$. Legt man die Metrik 5.3 zugrunde, so ist also $\Delta l = c \int_t^{t_0} \frac{dt'}{a(t')}$. Da Δl nicht vom Zeitpunkt t abhängt, gilt $\frac{\Delta l}{dt} = c \left(\frac{1}{a(t_0)} \frac{dt_0}{dt} - \frac{1}{a(t_0)} \right) = 0$. also $\frac{dt_0}{dt} = \frac{a(t_0)}{a(t)}$. Fasst man dt als zeitlichen Abstand der Aussendung zweier aufeinanderfolgender Wellenberge auf, so gilt $\lambda = c dt$ und damit Gl. 5.5. Für eine formale Ableitung dieses Ergebnisses sei auf die Literatur verwiesen, z. B. (vgl. Carroll, 2004, S. 344 f.).

35 In der Praxis sind natürlich noch weitere Effekte, die den Wert von z beeinflussen, zu berücksichtigen. Dies sind vor allem die Eigenbewegung und die Rotverschiebung durch das Gravitationsfeld des Objektes, das die Strahlung emittiert.

5.1. Unterrichtseinheit zu den Möglichkeiten der Naturwissenschaften

heutige Entfernung mit der Rotverschiebung über die Beziehung

$$D = c \int_0^z \frac{dz'}{H(z')} \quad (5.7)$$

verknüpft³⁶. Hierbei ist $H(z)$ der sog. *Hubble-Parameter*, aufgefasst als Funktion der Rotverschiebung z . Definiert wird H üblicherweise zunächst als Funktion der Zeit t gemäß

$$H(t) \doteq \frac{\dot{a}(t)}{a(t)}. \quad (5.8)$$

Aufgrund des eindeutigen Zusammenhangs zwischen z und t , kann aber auch z als Zeitparameter verwendet werden ($z = 0$ entspricht der heutigen kosmischen Zeit t_0 und $z = \infty$ dem Zeitpunkt des Urknalls). Gegenüber t hat er den Vorteil der direkten Messbarkeit. Für Galaxien mit kleinen Rotverschiebungen gilt $H(z) \approx H(0)$ und Gleichung 5.7 ergibt

$$D = \frac{c}{H(0)} \cdot z.$$

Mit $H_0 \equiv H(0)$ ist dies Hubbles Gesetz (Gl. 5.1). Für größere Rotverschiebungen ergeben sich Korrekturen zu diesem Gesetz. Eine Entwicklung von z bis zur zweiten Ordnung von l ergibt

$$z = \frac{H_0 D}{c} + \frac{1}{2} \left(\frac{H_0 D}{c} \right)^2 (1 + q_0), \quad (5.9)$$

mit dem Bremsparameter $q_0 = \frac{-\ddot{a}_0}{a_0 H_0^2}$ ³⁷. Ist $q_0 > 0$, verlangsamt sich die Expansion mit der Zeit. Die gegenwärtigen Messdaten deuten jedoch auf $q_0 < 0$, also eine zunehmende Expansionsrate hin. Genau genommen stellen auch die obigen Relationen 5.8 und 5.9 noch keinen Zusammenhang zwischen beobachtbaren Größen her, da die heutige Distanz l nicht direkt messbar ist. Es lassen sich aber - wieder unter Zugrundelegung der Metrik 5.3 - Formeln angeben, die l bzw. z durch experimentell bestimmbare Entfernungsmaße ausdrücken³⁸.

36 Für das Licht gilt $ds^2 = 0$ in 5.3. Daraus folgt $a dl = c dt = c da/\dot{a} = c da/(aH)$ mit $H = \dot{a}/a$. Aus Gl. 5.6 folgt andererseits $0 = \frac{da}{dz}(1+z) + a = \frac{da}{dz} \frac{a_0}{a} + a$. Also $a_0 dl = \frac{c}{H(z)} dz$. Durch Integration ergibt sich $D = a_0 \Delta l = c \int_0^z \frac{dz'}{H(z')}$.

37 Für eine Ableitung siehe Misner und Wheeler (1973, S. 781).

38 Vgl. z. B. Carroll (2004, Kap. 8.5). Ein wichtiges solches Entfernungsmaß ist etwa die sogenannte *Helligkeitsdistanz*, die über das Verhältnis der absoluten Leuchtkraft zum auf der Erde gemessenen Strahlungsfluss definiert ist. Da die absolute Leuchtkraft nicht messbar ist, ist eine Kalibrierung mittels anderer Entfernungsmaße erforderlich (vgl. Infotext 'Entfernungsbestimmung'). Die Helligkeitsdistanz ist für die Kosmologie von großer Bedeutung, weil die Bestimmung großer Rotverschiebungen mit Typ-1A-Supernovae mit diesem Maß erfolgt.

Dynamik der kosmischen Expansion Die zeitliche Entwicklung des Expansionsparameters $a(t)$, genauso wie die Funktion $H(z)$, ergibt sich aus den Einsteinschen Feldgleichungen. Unter der oben genannten Annahme räumlicher Isotropie und Homogenität hat die Metrik die Form 5.3 und die zeitliche Dynamik wird vollständig durch $a(t)$ beschrieben. Die Materie wird durch zwei Parameter, nämlich die Energiedichte ρ und den Druck p , repräsentiert³⁹. Unter Verwendung der Robertson-Walker-Metrik 5.3 ergeben sich aus den Einsteinschen Gleichungen zwei gewöhnliche Differenzialgleichungen, die sog. *Friedmann-Gleichungen*:

$$\left(\frac{\dot{a}}{a}\right)^2 = \frac{8\pi G}{3}\rho - \frac{Kc^2}{a^2} \quad (5.10)$$

$$\frac{\ddot{a}}{a} = -\frac{4\pi G}{3}\left(\rho + \frac{3p}{c^2}\right) \quad (5.11)$$

Die Konstante K in Gl. 5.10 ist die Krümmung, die in das 3-dimensionale räumliche Linienelement dl^2 (vgl. Gl. 5.4) eingeht⁴⁰. Die Gleichungen 5.10 und 5.11 implizieren eine Art Energieerhaltungsgleichung:

$$\frac{d}{dt}(a^3 \rho c^2) + p \frac{d}{dt}(a^3) = 0. \quad (5.12)$$

Der erste Summand kann als Änderung der inneren Energie, und der zweite als vom Druck verrichtete Arbeit betrachtet werden. Für $\dot{a} \neq 0$ ziehen je zwei der drei Gleichungen 5.10, 5.11 und 5.12 die dritte nach sich und enthalten damit die gesamte Information der Einsteinschen Feldgleichungen. Ist $\rho \neq 0$, muss zur Lösung noch eine Zustandsgleichung $p(\rho)$ hinzukommen. Im heutigen Universum dominiert nicht-relativistische Materie (»Staub«), in der Frühphase (vor der Entkopplung) waren es Photonen (»Strahlung«). Neben diesen »gewöhnlichen« Energieformen wird heute auch die Existenz einer sogenannten Dunklen Energie angenommen, um die beschleunigte Expansion des Universums zu erklären. Deren physikalische Natur und Zustandsgleichung ist nicht bekannt. Eine Möglichkeit ist es, sie formal durch Einführung einer kosmologischen Konstanten in den Einsteingleichungen zu berücksichtigen, oder als »Vakuumenergie« mit

³⁹ Die Einsteinschen Gleichungen lauten $G_{\mu\nu} = \frac{8\pi G}{c^4} T_{\mu\nu}$. Hierbei ist $G_{\mu\nu}$ der Einstein-Tensor, $T_{\mu\nu}$ der Energie Impuls-Tensor der Materie und $g_{\mu\nu}$ der metrische Tensor. G ist die Gravitationskonstante. Der Einstein-Tensor wird aus dem Riemannschen Krümmungstensor gebildet, der erste und zweite Ableitungen des metrischen Tensors enthält. Insgesamt handelt es sich um 10 nichtlineare, partielle Differenzialgleichungen, die sich beim Standardmodell aufgrund der Symmetrieannahmen auf zwei gewöhnliche Differenzialgleichungen, die Friedmann-Gleichungen, reduzieren. Für eine didaktisch interessante Möglichkeit den physikalischen Inhalt der Einsteinschen Gleichungen auch ohne Verwendung des Tensorkalküls exakt zu formulieren, sei auf Baez (2005) verwiesen.

⁴⁰ Erfüllt der Expansionsparameter $a(t)$ die Friedmann-Gleichungen, so wird die Metrik 5.3 auch als Friedmann-Lemaitre-Robertson-Walker-Metrik bezeichnet.

5.1. Unterrichtseinheit zu den Möglichkeiten der Naturwissenschaften

negativem Druck $p = -\rho c^2$.⁴¹ In der folgenden Tabelle sind die jeweiligen Zustandsgleichungen aufgeführt. Setzt man diese in Gleichung 5.12 ein, ergibt sich die Abhängigkeit der Energiedichte vom Expansionsparameter a ⁴²:

Tab. 5.1. Abhängigkeit der Energiedichte vom Expansionsparameter.

Energieform	Zustandsgleichung	Energiedichte
Strahlung (relativist. Teilchen)	$p_R = 0$	$\rho_R \propto a^{-4}$
Nicht-relativist. Materie	$p_M = \frac{\rho_M c^2}{3}$	$\rho_M \propto a^{-3}$
Vakuumenergie (Dunkle Energie)	$p_\Lambda = -\rho_\Lambda c^2$	$\rho_\Lambda = \text{const.}$

Die rechte Spalte kann man sich plausibel machen. Die Energiedichte von »Staub« entstammt der Ruhemasse der Teilchen. Da sich die Anzahl der Teilchen in einem mitbewegten Volumen nicht ändert, das physikalischer Volumen aber proportional zu a^3 ist, sollte die Energiedichte mit a^{-3} abfallen. Bei der Strahlung ist die Energie jedes einzelnen Photonen aufgrund der Rotverschiebung proportional zu a^{-1} , so dass die Energiedichte mit a^{-4} abfällt. Jedes physikalische Volumen enthält einen konstanten Betrag an Vakuumenergie, also ist deren Dichte konstant. Diese Abhängigkeiten können zum Auffinden der Zeitabhängigkeit des Expansionsparameters durch Lösen der Friedmann-Gleichungen verwendet werden. Der zeitliche Verlauf ist bestimmt durch die Werte der verschiedenen Energiedichten. Es ist praktikabel, diese durch dimensionslose Parameter auszudrücken, indem man sie durch die sogenannte *kritische Dichte* dividiert. Dies ist die Energiedichte, bei der die räumliche Geometrie gerade flach ist, also $K = 0$ gilt. Aus Gl. 5.10 folgt, dass sie durch

$$\rho_{kr} = \frac{3H^2(t)}{8\pi G} \quad (5.13)$$

gegeben ist; hierbei ist $H(t)$ der oben eingeführte Hubble-Parameter (siehe Gl. 5.8). Die Dichteparameter sind dann für jede Energieform durch

$$\Omega_i(t) = \frac{\rho_i(t)}{\rho_{kr}(t)} \quad (5.14)$$

definiert. Die gesamte Dichte ist $\Omega = \sum_i \Omega_i$ und Gl. 5.10 lautet mit diesen

⁴¹ Die kosmologische Konstante wird mit Λ bezeichnet. Die erweiterten Einsteinschen Gleichungen lauten nun $G_{\mu\nu} = \frac{8\pi G}{c^4} T_{\mu\nu} + \Lambda g_{\mu\nu}$. Die Hinzunahme des kosmologischen Gliedes entspricht daher der Einführung einer zusätzlichen Energiedichte vom Betrage $\frac{3\Lambda c^2}{8\pi G}$.

⁴² Gl. 5.12 ist äquivalent mit $\dot{\rho} = -3\frac{\dot{a}}{a}(\rho + p/c^2)$. Die Zustandsgleichungen haben die Form $p = w\rho$. Einsetzen ergibt $\frac{\dot{\rho}}{\rho} = -3\frac{\dot{a}}{a}(1 + w/c^2)$ mit der Lösung $\rho \propto a^{-3}(1 + w/c^2)$.

5. Unterrichtseinheit zu Möglichkeiten und Grenzen der Naturwissenschaften

Variablen

$$H^2(\Omega - 1) = \frac{Kc^2}{a^2}. \quad (5.15)$$

Die Werte der Dichteparameter zum heutigen Zeitpunkt t_0 werden wie üblich mit dem Index 0 gekennzeichnet: $\Omega_{i0} = \Omega_i(t_0)$. Aus Gleichung 5.15 folgt, dass der Wert von Ω_0 die Geometrie des Universums bestimmt:

$$\begin{aligned} \Omega_0 < 1 &\iff K < 0 \quad (\text{negative Raumkrümmung}) \\ \Omega_0 = 0 &\iff K = 0 \quad (\text{flacher Raum}) \\ \Omega_0 > 1 &\iff K > 0 \quad (\text{positive Raumkrümmung}) \end{aligned}$$

Berücksichtigt man die drei in Tabelle 5.1 genannten Energieformen, lässt sich die Friedmann-Gleichung 5.10 nun in der Form

$$H^2(a) = H_0^2[\Omega_{R0}a^{-4} + \Omega_{M0}a^{-3} + \Omega_{\Lambda 0} + \Omega_{K0}a^{-2}] \quad (5.16)$$

schreiben. Dabei wurde der Raumkrümmung formal ein Dichteparameter $\Omega_K \doteq 1 - \Omega$ zugeordnet. Gl. 5.16 ergibt mit $a = \frac{1}{1+z}$ (Gl. 5.6) die Funktion $H(z)$, also die funktionale Abhängigkeit der Hubble-Konstanten von der Rotverschiebung⁴³. Unter Verwendung von Gl. 5.7 lässt sich mit ihrer Hilfe der allgemeine Zusammenhang zwischen Entfernung und Rotverschiebung bestimmen. Wie oben angemerkt, ergibt sich der quadratische Term in dieser Relation aus dem Wert des Bremsparameters $q_0 = \frac{-\ddot{a}_0}{a_0 H_0^2}$ (siehe Gl. 5.9). Dieser folgt für das heutige, materiedominierte Universum (der Materiedruck p_M ist verschwindend) aus der zweiten Friedmann Gleichung (Gl. 5.11), indem man diese durch die kritische Dichte dividiert und die Werte zum heutigen Zeitpunkt betrachtet:

$$q_0 = \frac{1}{2}\Omega_{M0} - \Omega_{\Lambda 0}. \quad (5.17)$$

Die Materiedichte hat also eine abbremsende, die kosmologische Konstante eine beschleunigende Wirkung. Der Wert von Ω_{M0} wird anhand der heute vorliegenden Messdaten auf etwa 0,3, der von $\Omega_{\Lambda 0}$ auf ca. 0,7 geschätzt (vgl. Olive et al., 2014); das Universum expandiert also mit zunehmender Rate ($\ddot{a} > 0$). Diese Schätzungen beruhen maßgeblich auf der Bestimmung der Entfernungs-Rotverschiebungs-Relation für große Werte von z durch Beobachtungen an Typ-1A-Supernovae (siehe Abb. 5.8).

Sehr hilfreich für das Verständnis der Dynamik ist auch die Darstellung von Gl. 5.10 in folgender dimensionsloser Form (siehe Giulini & Straumann, 2000):

⁴³ Man beachte, dass letztlich die Zustandsgleichung (die mittels Gl. 5.12 die Funktion $\rho(a)$ ergeben) sowie die Konstanten H_0 und Ω_0 (bzw. alternativ K) in die Funktion $H(a)$ eingehen.

5.1. Unterrichtseinheit zu den Möglichkeiten der Naturwissenschaften

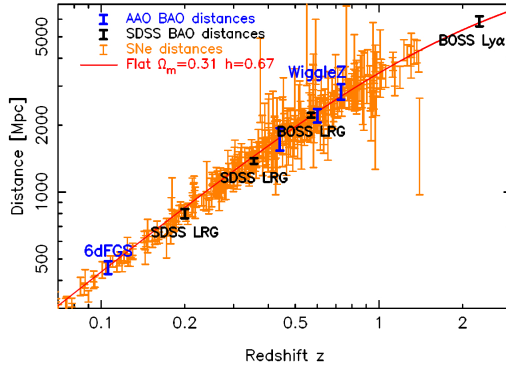


Abb. 5.8. Bei großen Rotverschiebungen zeigen die Daten eine Abweichung von der linearen Relation zwischen Rotverschiebung und Entfernung (Stand: Anfang 2014). Den besten Fit (rote Linie) ergibt ein Modell mit $K = 0$ und $\Omega_{M0} = 0,3$. Die Daten basieren auf Messungen an Typ-1A-Supernovae (orange) sowie der Analyse der Verteilung leuchtkräftiger Galaxien. Diese ergibt durch Vergleich mit Anisotropien der kosmischen Hintergrundstrahlung eine alternative Methode der Entfernungsbestimmung (Baryonic Acoustic Oscillations (BAO), vgl. (Eisenstein & Bennett, 2008) für eine nichttechnische Darstellung dieses vergleichsweise neuen Verfahrens.) [Bildquelle: Olive et al. (2014, Fig. 24.2, S. 349)]

Setzt man $\tau \doteq H_0 t$ und $x(\tau) \doteq \frac{a(t)}{a(t_0)}$, so ergibt sich mit $\rho_M a^3 = \text{const}$ und für $\rho_M = 0$ die Gleichung

$$\left(\frac{dx}{d\tau}\right)^2 + U(x) = \Omega_K \quad \text{mit}$$

$$U(x) = -\frac{\Omega_M}{x} - \Omega_\Lambda x^2,$$

die formal (bis auf einen unerheblichen Faktor 1/2) dem Energiesatz der Newtonschen Mechanik für die eindimensionale Bewegung eines Teilchens im Potenzial $U(x)$ entspricht. Man beachte, dass $U(x)$ für $\Omega_\Lambda = 0$ gerade die Form des gewöhnlichen Gravitationspotentials besitzt. Abhängig vom Betrag der »Gesamtenenergie« Ω_K ergibt sich in diesem Fall einer der drei bekannten Lösungstypen: für $\Omega_K > 0$ ($\doteq \Omega < 1$) expandiert das Universum für immer mit endlicher Rate, für $\Omega_K < 0$ ($\doteq \Omega > 1$) wird es zukünftig wieder kollabieren und für $\Omega_K = 0$ ($\doteq \Omega = 1$) wird es weiterhin expandieren, allerdings mit einer gegen Null gehenden Rate. Ist $\Omega_\Lambda > 0$, so hat U genau ein Maximum (vgl. Abb. 5.9). Für $\Omega_\Lambda > \frac{1}{2}\Omega_M$ kann es überwunden werden und es folgt eine unendlich lange Zeit beschleunigter Expansion. In dieser scheinen wir uns gegenwärtig zu befinden (ebd., S. 43).

5. Unterrichtseinheit zu Möglichkeiten und Grenzen der Naturwissenschaften

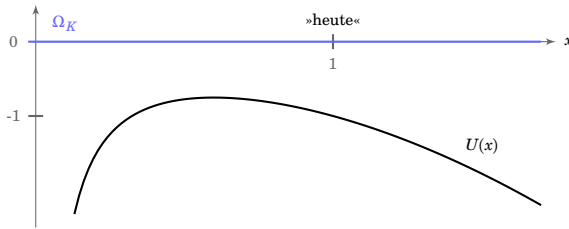


Abb. 5.9. Verlauf des Potentials U für $\Omega_M = 0,3$ und $\Omega_\Lambda = 0,7$.

5.1.4. Infotexte

Die folgenden Texte sollen Lehrkräften in kompakter Form einige Hintergrundinformationen zum Thema der Unterrichtseinheit bereitstellen. Es handelt sich um das Prinzip der kosmischen Entfernungsbestimmung, die kosmische Hintergrundstrahlung und die Nukleosynthese (die neben der Rotverschiebung als die wichtigsten Indizien zugunsten der Urknallhypothese gelten), sowie eine »Zeitleiste« der Entwicklung des Universums.

5.1. Unterrichtseinheit zu den Möglichkeiten der Naturwissenschaften

Infokasten 1: Entfernungen in der Kosmologie Die Messung kosmischer Entfernungen erfordern eine besondere Methodik, die oft als »kosmische Entfernungsleiter« bezeichnet wird: alle bekannten Verfahren der astronomischen Entfernungsbestimmung sind nur für bestimmte Distanzbereiche verwendbar¹ (siehe Abbildung 5.10). Diese Bereiche entsprechen »Sprossen« der Entfernungsleiter. Verfahren, die für eine Sprosse geeignet sind, dienen dazu die Verfahren der nächsthöheren Sprosse zu kalibrieren². Dies ist möglich, weil sich die Anwendungsbereiche der Messmethoden zum Teil überlappen. Die Sicherheit dieses Vorgehens steigt dabei natürlich mit der Größe des Überlappungsbereiches sowie der Anzahl der verfügbaren Verfahren. Allerdings vergrößern sich mit zunehmender Entfernung der astronomischen Objekte sowohl die statistischen als auch die systematischen Fehler. Eine zusätzliche Unsicherheit ergibt sich aus der Endlichkeit der Lichtgeschwindigkeit: je weiter die Objekte entfernt sind, desto jünger ist das Universum zum Zeitpunkt der Lichtaussendung. Bei Anwendung der Entfernungsleiter muss daher angenommen werden, dass sich der dem Messverfahren zu Grunde liegende physikalische Mechanismus³ über beträchtliche Zeiträume der kosmischen Entwicklung nicht wesentlich ändert. Auch wenn dies durch theoretische Überlegungen untermauert werden kann, vergrößert sich so die Theorieabhängigkeit bei Messungen großer Entfernungen. Dies zeigt die Bedeutung der Existenz verschiedener unabhängiger Messverfahren für einen Entfernungsbereich. Im Angesicht dieser Schwierigkeiten ist es eine außerordentliche Tatsache, dass sich durch die Nutzung der kosmischen Entfernungsleiter wohl begründete Entfernungsangaben über einen Bereich von mehr als 10 Milliarden Lichtjahren machen lassen.

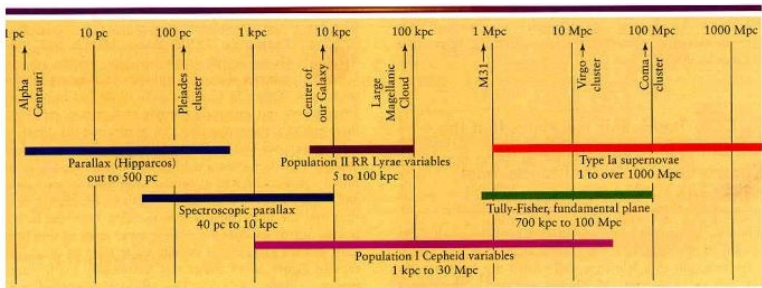


Abb. 5.10. Die kosmische Entfernungsleiter mit einigen wichtigen Methoden der Distanzbestimmung. [Bildquelle: Sambruna (2005)]

- 1 Eine direkte geometrische Entfernungsbestimmung ist nur auf der untersten Sprosse der Entfernungsleiter möglich. Mithilfe der trigonometrischen Parallaxe sind heute die Entfernungen von Sternen bis zu mehreren 100 Parsec messbar.
- 2 So kann etwa die Entfernungsbestimmung durch Typ-Ia-Supernovae mittels der Cepheiden-Methode kalibriert werden. Dazu werden beide Verfahren auf Galaxien angewandt, die sowohl geeignete Cepheiden als auch Typ-Ia-Supernovae enthalten.
- 3 Zum Beispiel Leuchtkraft-Perioden-Relation der Cepheiden oder die Lichtkurve der Typ-Ia-Supernovae.

Infokasten 2: Die Expansion des Weltalls und die kosmische Rotverschiebung

Im Spektrum des Lichtes ferner Galaxien finden sich charakteristische Maxima der Intensität¹. Sie entsprechen den Spektrallinien, die wir auch hier auf der Erde bei der Analyse des Lichtes angeregter Gase beobachten können. Die Wellenlängen der Linien im Spektrum einer fernen Galaxie sind jedoch gegenüber denen auf der Erde um einen konstanten Faktor vergrößert. Diese so genannte *Rotverschiebung* vergrößert sich mit der Entfernung der Galaxien. Entdeckt wurde dieser Zusammenhang erstmals 1929 von Edwin Hubble, der die Entfernungen und Rotverschiebungen von 20 Galaxien bestimmen konnte. Hubbles Beobachtungen waren mit der Annahme einer linearen Relation zwischen Entfernung und Rotverschiebung vereinbar (vgl. Abb. 5.11):

$$z = \frac{H_0}{c} d. \quad (5.18)$$

Die Konstante H_0 wird heute als *Hubble-Konstante* und die Relation 5.18 als *Hubble-sches Gesetz* bezeichnet. Die Rotverschiebung z ist definiert als relative Änderung der Wellenlänge:

$$z = \frac{\lambda_{Galaxie} - \lambda_{Erde}}{\lambda_{Erde}}.$$

Dabei ist λ_{Erde} die Wellenlänge, die im irdischen Labor messbar ist und $\lambda_{Galaxie}$ diejenige im Licht, das wir von einer Galaxie empfangen.

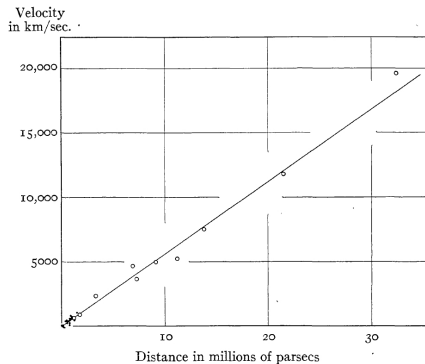


Abb. 5.11. Die Abbildung zeigt Messergebnisse von Hubble und Humason aus dem Jahre 1931 zum Zusammenhang zwischen Rotverschiebung (ausgedrückt als Fluchtgeschwindigkeit $v = cz$ und Entfernung der Galaxien. [Bildquelle: Hubble und Humason (1931, Fig. 4)]

¹ Dies sind einerseits Absorptionslinien, deren Ursprung die Absorption von Strahlung durch die äußeren, kühleren Schichten der Sterne ist, und andererseits Emissionslinien, die vor allem bei Galaxien mit aktiven galaktischen Kernen (sog. Seyfert-Galaxien) beobachtbar sind. Es wird vermutet, dass die breitbandige Strahlung, die von einem aktiven Kern ausgeht, kühlere interstellare Gaswolken in der Umgebung anregt.

Infokasten 3: Kosmische Mikrowellenhintergrundstrahlung

Am Ende der Nukleosynthese, also etwa 3 Minuten nach dem Urknall ist das Universum von Strahlung (Photonen und Neutrinos) und einem Plasma geladener Materieteilchen (Protonen, leichte Kerne, v. a. Helium und Elektronen) erfüllt. Materie und Strahlung befinden sich im Gleichgewicht und die Temperatur beträgt etwa eine Milliarde Kelvin ($\cong 0,05 \text{ MeV}/k_B$). Die Strahlung bestimmt aufgrund ihrer wesentlich höheren Energiedichte die Ausdehnung des Universums. Da ihre Dichte aber schneller abnimmt als die der Materie ($\propto a^{-4}$ anstatt $\propto a^{-3}$), beginnt diese nach ca. 1000 Jahren zunehmend die Dynamik zu dominieren¹. Etwa 200 000 bis 300 000 Jahre später ist die Temperatur auf wenige Tausend Kelvin (bzw. wenige eV/k_B) gesunken. Elektronen und Kerne verbinden sich zunehmend zu elektrisch neutralen Wasserstoff- und Heliumkernen². Dieser Über-

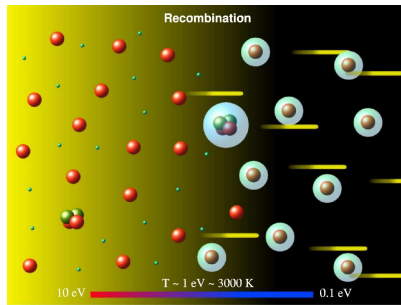


Abb. 5.12. Durch die Expansion kühlt sich das Plasma aus Kernen und freien Elektronen ab. Es bilden sich elektrisch neutrale Wasserstoff- und Heliumkerne. Photonen können sich jetzt nahezu ungehindert bewegen: das Universum wird »durchsichtig«. [Bildquelle: Kinney (2003, S. 19, Fig. 3)]

gang wird als Phase der *Rekombination* bezeichnet³. Mit der Rekombination verbunden ist die Entkopplung der Photonen von der Materie. Es existieren kaum noch freie Elektronen, an denen die Photonen streuen können, so dass die zu dieser Zeit existierende elektromagnetische Strahlung das Universum fortan nahezu ungehindert durchdringen kann. Ihre Temperatur beträgt in dieser Phase etwa 3000 Kelvin und ihre räumliche Verteilung ist homogen und isotrop. Durch die Expansion des Universums verringert sich die Temperatur in der Folge gemäß $T = \frac{T_0}{1+z}$ (z : Rotverschiebung) bis auf den heutigen Wert von etwa 2,7 Kelvin⁴. Die Existenz dieser »Hintergrundstrahlung« wurde 1946 von Gamow vorhergesagt⁵. Ihre Messung durch Penzias und Wilson im Jahre 1965 gilt heute als eine der bedeutendsten wissenschaftlichen Entdeckungen des 20. Jahrhunderts

1 Man spricht vom Übergang der »strahlungsdominierten Ära« in die »materiedominierte Ära«.

2 Die Ionisationsenergien von Wasserstoff und Helium betragen 13,6 bzw. 24,6 eV.

3 Diese Bezeichnung ist etwas irreführend, da sich zum ersten Mal Atome im Universum bilden.

4 Die mittlere Besetzungszahl in einem Photonengas der Temperatur T ist $n(E, T) = \frac{1}{e^{E/kT} - 1}$. Sei T_0 die Temperatur zur Entkopplungszeit t_0 und $E_0 = hc/\lambda_0$ die Energie eines Photons zu diesem Zeitpunkt. Wegen $\frac{\lambda(t)}{\lambda_0} = \frac{a(t)}{a(t_0)} = 1 + z$ ist die Energie des Photons zur Zeit t dann gleich $\frac{hc}{\lambda_0} = \frac{E_0}{1+z}$. Die mittlere Besetzungszahl zur Zeit t ist somit $n(E, T(t))$ mit $T(t) = \frac{1}{1+z} T_0$, d. h. die Photonen bleiben Planck-verteilt mit der Temperatur $T(t)$.

5 Gamows Mitarbeiter Alpher und Herman konnten 1948 sogar eine Schätzung der heutigen Strah-

5. Unterrichtseinheit zu Möglichkeiten und Grenzen der Naturwissenschaften

und hat maßgeblich zur Durchsetzung der Urknallhypothese beigetragen. Mit Hilfe der Satelliten COBE, WMAP und Planck wurden die Eigenschaften der Strahlung in den letzten Jahrzehnten sehr genau untersucht. Die Messungen konnten die nahezu perfekte Planck-Verteilung und hohe Isotropie der Strahlung eindrucksvoll bestätigen. Gegenwärtig stellt die Analyse der geringfügigen Abweichungen von dieser Isotropie eine der erfolgversprechendsten Ansätze zur Prüfung von Theorien zur Frühphase des Kosmos dar.

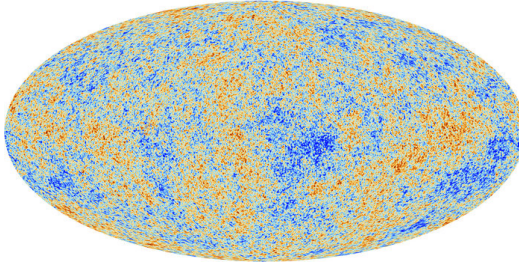


Abb. 5.13. Aufnahme der kosmischen Mikrowellenhintergrundstrahlung mit dem Planck-Satelliten. Die relativen Abweichungen sind von der Größenordnung 10^{-5} . [Bildquelle: ESA und the Planck Collaboration (2013)]

Infokasten 4: Primordiale Nukleosynthese

Bei hinreichend hoher Dichte und Temperatur wurden Protonen und Neutronen im frühen Universum durch die von der schwachen Wechselwirkung vermittelten Austauschprozesse



ineinander umgewandelt¹. Bei Annahme eines thermodynamischen Gleichgewichts war das Verhältnis von Neutronen- zu Protonendichte durch einen Boltzmann-Faktor bestimmt:

$$\frac{n_n}{n_p} = e^{-(m_n - m_p)c^2}$$

$(m_n - m_p)c^2 \approx 1,3 \text{ MeV}$ ist hier die Differenz der Ruhenergien der Nukleonen. Etwa eine Sekunde nach dem Urknall entkoppeln die Neutrinos und die Austauschreaktionen 5.19 und 5.20 kommen zu Erliegen. Das Verhältnis n_n/n_p wird dabei auf einen Wert von ca. $1/5$ »eingefroren«. Die Temperatur beträgt zu diesem Zeitpunkt etwa $0,8 \text{ MeV}/k_B$. Anschlie-

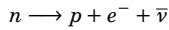
lungstemperatur angeben. Ihr Wert von 5 Kelvin kommt dem tatsächlichen erstaunlich nahe. Diese Vorhersage fand in der Wissenschaft allerdings zunächst kaum Beachtung.

1 p , n und e^\pm stehen hierbei für Protonen, Neutronen und Positronen/Elektronen, ν und $\bar{\nu}$ für Elektron- und Anti-Elektron-Neutrinos.

2 Man beachte, dass dies zugleich der minimalen thermischen Energie der Elektronen entspricht, bei der die Neutronenerzeugung gemäß 5.19 energetisch noch möglich ist (denn die Ruhemasse der Elektronen beträgt $\approx 0,5 \text{ MeV}$).

5.1. Unterrichtseinheit zu den Möglichkeiten der Naturwissenschaften

End wird dieses Verhältnis maßgeblich nur noch durch den Zerfall freier Neutronen



mit einer mittleren Lebensdauer von 880 s verändert. Es werden schließlich aber weniger als 20 % der Neutronen auf diese Weise umgewandelt werden. Der Grund dafür ist, dass ab jetzt mit zunehmender Rate gebundene Zustände aus Neutronen und Protonen entstehen können. Dieser Prozess der starken Wechselwirkung verläuft wesentlich rascher als der Neutronenzerfall. Zunächst bilden sich Deuterium-Kerne aus einem Proton und einem Neutron (Bindungsenergie 2,2 MeV), die sich anschließend über weitere Reaktionen fast ausnahmslos zu ^4He -Kernen verbinden (^4He hat die größte Bindungsenergie pro Nukleon unter allen leichten Elementen). Diese gebundenen Zustände können sich in nennenswertem Ausmaß allerdings erst ca. 3 Minuten nach dem Urknall bilden, da sie zuvor rasch wieder von Photonen dissoziiert werden. Dies liegt daran, dass es wesentlich mehr Photonen als Baryonen im Universum gibt. Obwohl die Temperatur des Photongases ja bereits eine Sekunde nach dem Urknall kleiner als $2,2 \text{ MeV}/k_B$ ist, existieren zu diesem Zeitpunkt noch wesentlich mehr Photonen höherer Energie als Nukleonen. Erst etwa 180 Sekunden später ist ihre Zahl aufgrund der mit der Expansion des Weltalls verbundenen Wellenlängenzunahme auf die Größenordnung der Nukleonenzahl gesunken. Kurze Zeit später sind dann praktisch alle Neutronen in ^4He gebunden und das Neutron-Proton-Verhältnis ist

$$\frac{n_n}{n_p} \approx \frac{1}{5} \cdot e^{-\frac{180 \text{ s}}{880 \text{ s}}} \approx \frac{1}{7}.$$

Der Anteil von ^4He an der gesamten baryonischen Materie ist damit

$$\frac{4(n_n/2)}{n_n + n_p} \approx 25\%.$$

Von den Deuterium-Kernen verbleibt nur ein kleiner Masseanteil ($\approx 10^{-4}$); schwerere Elemente bilden sich praktisch nicht, mit Ausnahme von ^7Li (Masseanteil $\approx 10^{-9}$).

Die obigen Abschätzungen können mit spektroskopischen Beobachtungen an verschiedenen astrophysikalischen Umgebungen verglichen werden. Besonders geeignet sind dafür Regionen, deren Zusammensetzung vermutlich wenig durch Kernreaktionen in Sternen verändert wurde. Abbildung 5.14 zeigt einen Vergleich der vorhergesagten Werte mit den Beobachtungen. Wie erwähnt, hängt die Bildung der Kerne wesentlich vom Verhältnis der Zahl der Nukleonen zu dem der Photonen ab, daher sind in dem Diagramm die vorhergesagten Häufigkeiten in Abhängigkeit von diesem mit η bezeichneten Parameter aufgetragen. Der tatsächliche Wert von η konnte durch Vermessung der kosmischen Hintergrundstrahlung eingegrenzt werden. Dieser Bereich ist durch die vertikale Linie markiert. Die gemessenen Verhältnisse sind durch die horizontalen Bänder dargestellt. Die Abbildung zeigt für ^4He , ^3He und ^2D eine bemerkenswerte Übereinstimmung zwischen Beobachtung und theoretischer Vorhersage³. Die Häufigkeit von ^7Li ist dagegen um einen Faktor 2 bis 3 geringer als theoretisch erwartet. Die Ursache dieser Diskrepanz ist momentan noch ungeklärt⁴.

³ Vgl. Coc, Uzan und Vangioni (2014) für einen detaillierten Vergleich aktueller Messergebnisse mit der Theorie der primordialen Nukleosynthese. Für eine allgemeinverständliche Darstellung siehe Weiss (2006b).

⁴ Das Vorkommen von ^7Li wird vor allem anhand spektroskopischer Untersuchungen von Licht

5. Unterrichtseinheit zu Möglichkeiten und Grenzen der Naturwissenschaften

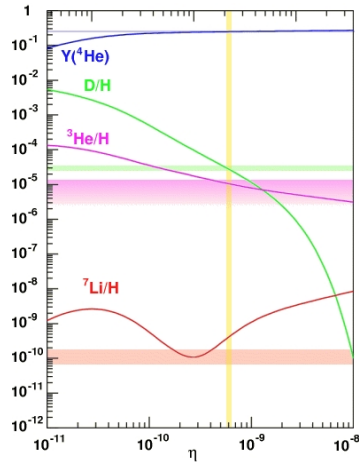


Abb. 5.14. Theoretische Vorhersagen und Messungen der Häufigkeiten leichter Elemente im Universum. [Bildquelle: Weiss (2006a)]

aus den äußeren Schichten alter, metallarmer Sterne im Halo der Milchstraße geschätzt. ^7Li kann in solchen Sternen sowohl erzeugt als auch vernichtet werden. Es liegt daher nahe, dass die beobachtete Diskrepanz ihre Ursache in einem unzureichenden Verständnis der kernphysikalischen Prozesse in solchen Sternen hat (vgl. Weiss, 2006a).

Infokasten 5: Entwicklung des Universums

Die folgende Tabelle ist angelehnt an (Mukhanov, 2005, S. 37 f.). Abb. 5.15 veranschaulicht noch einmal die einzelnen Etappen der Entwicklung des Kosmos.

Tab. 5.2. Entwicklung des Universums.

Zeit	Vermutetes Geschehen	Theoret. Status
$\lesssim 10^{-43} \text{ s}$	<i>Planck Ära</i> Effekte der Quantengravitation sind bedeutend. Die klassische Allgemeine Relativitätstheorie ist (vermutlich) nicht mehr anwendbar.	sehr spekulativ
$\lesssim 10^{-30} \text{ s}$	<i>Inflation</i> Anwachsen der Größe des Universums um einen Faktor von mehr als 10^{30} (der Durchmesser des heute beobachtbaren Teils des Universums beträgt ca. 1 cm). Mögl. Erklärung der Flachheit des Universums und des Ursprungs der Energiedichtefluktuationen, die zur Entwicklung von Galaxien und anderen großräumigen Strukturen führen.	ungesichert
$\lesssim 10^{-14} \text{ s}$	<i>Elektroschwacher Phasenübergang</i> Die elektromagnetische und die schwache Kraft trennen sich hinsichtlich Stärke und Reichweite. Dies steht möglicherweise im Zusammenhang mit der Materie/Antimaterie-Asymmetrie im Universum. Die Eichbosonen der schwachen Wechselwirkung erhalten Masse durch den Higgs-Mechanismus.	Empirische Indizien existieren; Bedingungen z. T. im Labor reproduzierbar
$\lesssim 10^{-5} \text{ s}$	<i>QCD-Phasenübergang</i> Quarks und Gluonen verbinden sich zu Neutronen und Protonen. Die Details des Übergangs sind noch wenig erforscht. Im Universum befinden sich jetzt Protonen, Neutronen, Elektronen und Neutrinos sowie deren Antiteilchen.	relativ gut gesichert; Bedingungen z. T. im Labor reproduzierbar
$\lesssim 1 \text{ s}$	<i>Entkopplung der Neutrinos</i> Die Entwicklung der Neutrinos verläuft ab jetzt weitgehend unabhängig vom Rest der Materie.	relativ gut gesichert
$\lesssim 3 \text{ m}$	<i>Primordiale Nukleosynthese</i> Ein Teil der Neutronen und Protonen verbindet sich zu Deuterium und anschließend zu Helium-Kernen. Knapp 25 % der Nukleonen ist schließlich in ^4He gebunden.	gut gesichert

5. Unterrichtseinheit zu Möglichkeiten und Grenzen der Naturwissenschaften

Tab. 5.3. Entwicklung des Universums (Forts.).

Zeit	Vermutetes Geschehen	Theoret. Status
$\lesssim 3,8 \cdot 10^5 \text{ y}$	<i>Rekombination</i> Elektronen und Neutronen verbinden sich zu elektrisch neutralen Wasserstoffatomen. Das Universum wird »transparent«, d. h. die Photonen werden nicht länger an freien elektrisch geladenen Materieteilchen gestreut. Die Photonen aus dieser Ära sind heute als kosmische Mikrowellenhintergrundstrahlung nachweisbar.	gut gesichert
$\approx 2 \cdot 10^8 \text{ y}$	<i>Reionisation</i> Das Ende des »dunklen Zeitalters«. Erste Sterne haben sich gebildet und erzeugen elektromagnetische Strahlung, die das Wasserstoffgas außerhalb der Galaxien reionisiert. Das Universum wird dadurch transparent für ultraviolette Strahlung, die zuvor von den intergalaktischen Wasserstoffatomen absorbiert wurde. In den folgenden Milliarden Jahren bilden sich weiterhin Sterne sowie die großräumigen Strukturen des heutigen Universums, wie Galaxien, Cluster und Supercluster.	gut gesichert
$7 \cdot 10^9 - 13,7 \cdot 10^9 \text{ y}$	<i>Beschleunigte Expansion</i> Das Universum expandiert bis heute mit zunehmender Rate.	gut gesichert
$15 \cdot 10^9 - 20 \cdot 10^9 \text{ y}$	Die Sonne schrumpft zum weißen Zwerg; die Milchstraße und die benachbarte Andromeda-Galaxie kollidieren.	gut gesichert
$\approx 10^{11} \text{ y}$	Aufgrund der beschleunigten Expansion erreicht kein Licht anderer Galaxien mehr unsere Milchstraße.	unsicher
$\approx 10^{14} \text{ y}$	Die letzten Sterne im Universum erlöschen.	unsicher
$\gtrsim \cdot 10^{100} \text{ y}$	Die gesamte Materie ist in galaktischen Schwarzen Löchern konzentriert. Diese »verdampfen« zu Strahlung.	unsicher

5.1. Unterrichtseinheit zu den Möglichkeiten der Naturwissenschaften

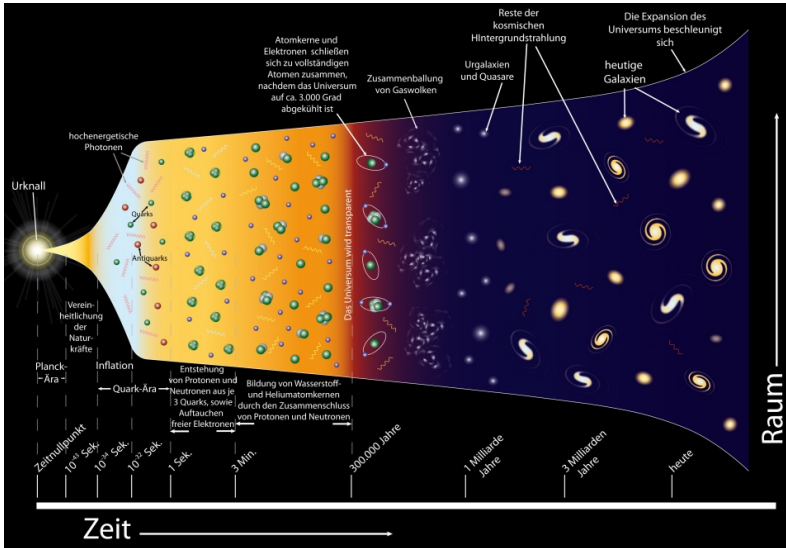


Abb. 5.15. Die Entwicklung des Universums. [Bildquelle: Schmidke (o. J.)]

5.1.5. Der Unterricht

Im Folgenden wird der Unterricht zur Kosmologie im Überblick vorgestellt⁴⁴. Ein detaillierter Ablaufplan sowie wichtige Unterrichtsmaterialien sind in Anhang A.1.1 wiedergegeben. Weitere Materialien, die in elektronischer Form vorliegen (Beamer-Folien, Lehrfilm und Animationen), sind auf Anfrage erhältlich⁴⁵.

Der Unterricht lässt sich inhaltlich in die folgenden Abschnitte gliedern:

1. Einstieg: Hat das Universum einen Anfang?
2. Größen und Entfernungen im Weltall
3. Die Rotverschiebung der Galaxienspektren als experimenteller Befund
4. Deutung der Rotverschiebung als ein Indiz für die Expansion des Raumes
5. Der Anfang des Universums als Beginn der Expansion

⁴⁴ Die Entwicklung der Unterrichtseinheit wurde durch zahlreiche wertvolle Anregungen und Diskussionsbeiträge von Michael Kahnt, Daniel Schwarz und Michael Frenzel unterstützt. Ihnen sei hiermit herzlich gedankt!

⁴⁵ Die Abbildungen des folgenden Abschnitts zeigen einige der Folien, die im Unterricht verwendet werden.

5. Unterrichtseinheit zu Möglichkeiten und Grenzen der Naturwissenschaften

Aufgrund der relativ geringen zur Verfügung stehenden Zeit, ist der Unterricht methodisch über weite Strecken als Unterrichtsgespräch bzw. Lehrervortrag angelegt. Darin eingebettet sind drei Phasen mit stärkerer Schüleraktivität: zwei experimentelle Abschnitte, sowie eine Gruppenarbeitsphase. Ein möglicher Unterrichtsverlauf mit Formulierungsvorschlägen für die Lehrkraft ist in Anhang A.1.1 wiedergegeben.

Einstieg: Hat das Universum ein Anfang?

Zum Einstieg in den Unterricht wird ein Bild projiziert, das im oberen Teil eine Fotografie des Himmels über der Burg Hohenzollern und im unteren Teil Vincent van Goghs Gemälde *Sternennacht über der Rhone (Nuit étoilée sur le Rhône)* zeigt - siehe Abb. 5.16. Die obere Fotografie stammt aus dem Jahr 2004 und van Gogh malte sein Gemälde im Jahre 1888. Auf beiden Bildern ist das Sternbild des Großen Bären zu sehen, das in den dazwischenliegenden 116 Jahren keine offensichtliche Änderung erfahren zu haben scheint. Dies wird als Anlass genommen die Ausgangsfrage des Unterrichts aufzuwerfen:

»Existiert das Weltall mit seinen Sternen, das Universum, ewig, ohne Anfang und Ende - anders als etwa das Leben hier auf der Erde?«

Die Schülerinnen und Schüler werden darauf hingewiesen, dass es im folgenden Unterricht darum gehen soll, wie die moderne Naturwissenschaft dieser Frage untersucht und zu welchen Ergebnissen sie bislang gekommen ist.

Größen und Entfernungen im Weltall

In diesem Unterrichtsabschnitt werden die am Himmel sichtbaren Objekte mithilfe von an die Wand des Klassenraums projizierten, astronomischen Fotografien im Rahmen eines Lehrervortrages vorgestellt. Dabei handelt es sich um die mit bloßem Auge sichtbaren Planeten und Sterne, inkl. derjenigen im Band der Milchstraße. Anschließend werden Abbildungen einzelner Galaxien gezeigt, die mit modernen Großteleskopen gewonnen wurden, sowie eine Deep Field Aufnahme des Hubble Teleskops, auf der Ausschnitt des Himmels mit Tausenden von Galaxien sichtbar ist. Die Größenordnungen und Entfernungen dieser Strukturen im Universum werden dabei jeweils mit Hilfe von Analogiemodellen zu veranschaulichen versucht. Abbildung 5.17 zeigt ein Beispiel einer solchen Veranschaulichung. Zum Abschluss dieses Abschnitts wird das Lichtjahr als Entfernungseinheit eingeführt und verdeutlicht, dass die endliche Ausbreitungsgeschwindigkeit des Lichtes zur Folge hat, dass das was wir die astronomischen Objekte in einem vergangenen Zustand beobachten.

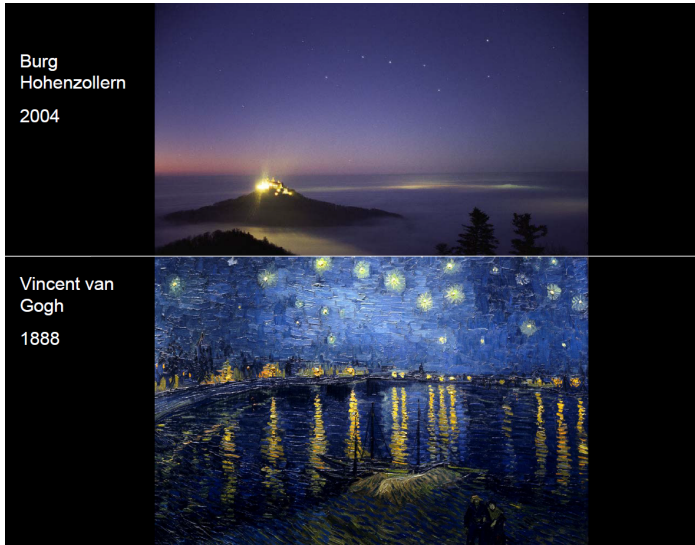


Abb. 5.16. Fotografie des Himmels über der Burg Hohenzollern und van Goghs *Sternennacht über der Rhone*. [Bildquellen: Credner T. (o. J.) (oben), IAU and Sky & Telescope (o. J.) (unten)]

Die Rotverschiebung der Galaxienspektren als experimenteller Befund

Nachdem die Schüler mit wichtigen Objekten im Universum und ihren Entfernungen vertraut gemacht wurden, wird in diesem Abschnitt das Licht als Informationsquelle in der Astronomie thematisiert. Hierzu werden verschiedene, zuvor im Klassenraum aufgestellte Gasentladungslampen (Wasserstoff, Natrium und Cadmium) eingeschaltet, die die Schüler anschließend mithilfe von Handspektrometern beobachten können. Zugleich wird eine Spektraltafel an die Wand projiziert (siehe Abb. 5.18). Die Schüler werden aufgefordert, mit ihrer Hilfe herauszufinden, welches Gas sich in den jeweiligen Lampen befindet. Die soll verdeutlichen, dass zu jedem Element ein charakteristisches Linienspektrum gehört - quasi eine Art »Fingerabdruck«. Anschließend werden Abbildungen von Wasserstoffwolken in Gasnebeln unserer Milchstraße und anderer Galaxien gezeigt, die in einer ähnlich violetten Farbe leuchten, wie das Wasserstoffgas in der Balmer-Lampe, die im Unterrichtsraum aufgestellt ist. Auch die daraufhin gezeigten Spektren dieser astronomischen Objekte zeigen die gleichen Linien wie sie durch die Handspektrometer bei Beobachtung des Wasserstoffs sichtbar sind. Bei näherer Betrachtung stellt man jedoch fest, dass die entsprechenden

5. Unterrichtseinheit zu Möglichkeiten und Grenzen der Naturwissenschaften



Abb. 5.17. Die relativen Abstände der inneren Planeten zur Sonne werden durch diejenigen von Objekten in der Nähe des Physikgebäudes der Universität Osnabrück veranschaulicht. Die Sonne hat in diesem Modell etwa einen Durchmesser von einem Meter. [Bildquelle: Google Earth (Bild wurde verändert).]

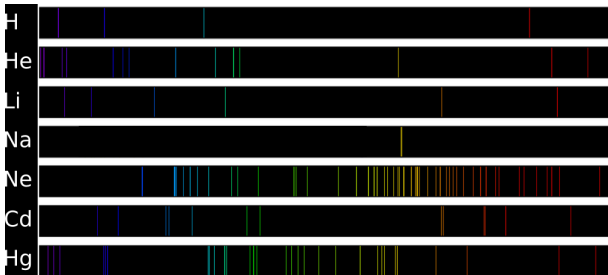


Abb. 5.18. Spektraltafel, die zur Identifizierung der verschiedenen Elemente an die Wand projiziert wird.

Linien der Galaxienspektren gegenüber denen des irdischen Wasserstoffs zu größeren Wellenlängen hin verschoben sind (siehe Abb. 5.19). Es wird darauf hingewiesen, dass dieses Phänomen bei allen weiter entfernten Galaxien auftritt und ein Schlüssel zur Beantwortung der Ausgangsfrage nach dem Beginn des Universums sein wird.

Im Anschluss wird ein Arbeitsblatt verteilt, das die Spektren verschiedener Galaxien zeigt. Zusätzlich ist darauf die Entfernung dieser Galaxien angege-

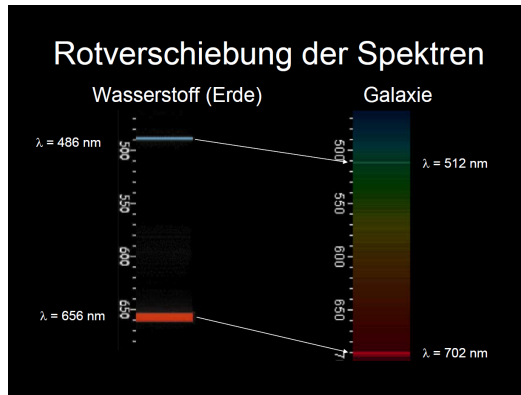


Abb. 5.19. Die Spektrallinien der Galaxie sind zu größeren Wellenlängen hin verschoben im Vergleich zu denen auf der Erde.

ben⁴⁶. Das Arbeitsblatt ist im Anhang in Abschn. A.1.1 wiedergegeben. Die Aufgabe für die Schüler besteht nun darin, einen Zusammenhang zwischen der Entfernung der Galaxien zu entdecken und zu formulieren (diese Aufgabe soll in Partnerarbeit gelöst werden). Dazu sollen die Entfernungen gegen die (relative) Verschiebung der Linien in ein Diagramm eingetragen werden. Das Ergebnis ist, dass diese Linienverschiebung - die sogenannte kosmologische Rotverschiebung - proportional mit der Entfernung der Galaxien anwächst (vgl. die Musterlösung in Anhang A.1.1).

Sollte die Stunde mit der Bearbeitung des Arbeitsblattes enden, kann kann den Schülern eine Hausaufgabe mitgegeben werden (siehe Anhang A.1.1). Hier soll mit Hilfe des Rotverschiebungs-Entfernungsdiagramms die Entfernung einer Galaxie bestimmt werden.

Es wird jetzt daran erinnert, dass die Zahlenwerte auf dem Spektrometer verschiedenen Wellenlängen entsprechen⁴⁷. Die Rotverschiebung bedeutet also, dass das Licht der Galaxien, wenn es uns erreicht, eine größere Wellenlänge besitzt, als zu dem Zeitpunkt, zu dem es ausgesandt wurde⁴⁸.

⁴⁶ Auf die Frage, wie diese Entfernungen bestimmt werden können, wird aus Zeitgründen im Unterricht nicht weiter eingegangen.

⁴⁷ Sollte der Begriff der Wellenlänge den Schülern noch nicht bekannt sein, wird er dieser Stelle in knapper Form eingeführt. Wesentlich vorteilhafter ist es aber natürlich, wenn sie bereits damit vertraut sind.

⁴⁸ Hierbei geht implizit die Annahme ein, dass die Naturgesetze überall im Universum in gleicher Weise gelten. Dies wird im Unterricht allerdings aus Zeitgründen nicht weiter thematisiert.

5. Unterrichtseinheit zu Möglichkeiten und Grenzen der Naturwissenschaften

Deutung der Rotverschiebung als ein Indiz für die Expansion des Raumes

Es wird ein Porträt Albert Einsteins gezeigt (5.20), und darauf hingewiesen, dass seine revolutionäre Theorie - die Allgemeine Relativitätstheorie - der Schlüssel zum Verständnis der Rotverschiebungs-Entfernungs-Relation ist.

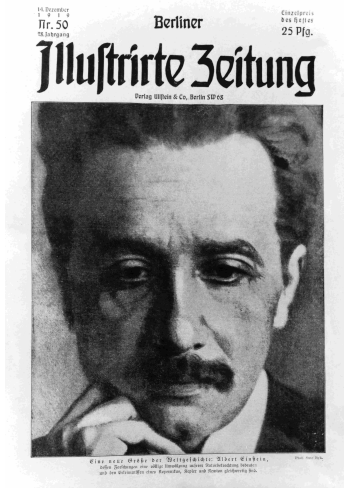


Abb. 5.20. Albert Einstein auf der Titelseite der Berliner Illustrierten vom 14. Dezember 1919 - kurz nachdem die von Einstein vorhergesagte Lichtablenkung durch Beobachtungen bei einer Sonnenfinsternis spektakulär bestätigt worden waren. Die Bildunterschrift lautet: »Eine neue Größe der Weltgeschichte: Albert Einstein, dessen Forschungen eine völlige Umwälzung unserer Naturbetrachtung bedeuten und den Erkenntnissen eines Kopernikus, Kepler und Newton gleichwertig sind.« [Bildquelle: Berliner Illustrierte (1919)].

Es wird den Schülern mitgeteilt, dass in Einsteins Theorie der Raum nicht mehr als absolut und unveränderlich angenommen wird, sondern dynamisch ist, d.h. dass er sich »dehnen« oder auch »zusammenziehen« kann⁴⁹. Die Erklärung erfolgt nun mithilfe eines Modellexperimentes, in dem der dynamische »Raum« durch ein dehnbare Gummiband⁵⁰, und die Enden eines sich im Raum ausbreitenden Lichtwellenzuges durch zwei mit gleicher Geschwindigkeit auf diesem Gummiband fahrende, batteriebetriebene Spielzeuglokomotiven repräsentiert

⁴⁹ Dass es im Sinne der Allgemeinen Relativitätstheorie eigentlich angemessener wäre von einer dynamischen Raum-Zeit zu sprechen, wird im Unterricht nicht weiter angesprochen. Dies erscheint insofern vertretbar, als im Standardmodell der Kosmologie eine global ausgezeichnete Zeitkoordinate existiert (»Kosmische Zeit«; vgl. Abschn. 5.1.3).

⁵⁰ Es handelt sich um ein Fitnessband, das etwa zwei Meter lang und 20 Zentimeter breit ist. Etwas genauer gesagt, soll das Band den Raum entlang einer Richtung darstellen.

5.1. Unterrichtseinheit zu den Möglichkeiten der Naturwissenschaften

werden. Die beiden Spielzeuglokomotiven sind durch einen ziehharmonika-



Abb. 5.21. Das gelbe Gummiband repräsentiert den »dehnbaren« Raum. Die kreisförmigen Scheiben entsprechen den in den Raum eingebetteten Galaxien. Bei der rechten Galaxie startet ein »Wellenzug« (unter den gelben Schachteln sind die Spielzeugloks versteckt). Die zwei roten Punkte auf dem Pappstreifen zwischen den Loks sollen Wellenberge markieren.

förmig gefalteten Pappstreifen - den »Wellenzug des Lichtes« - miteinander verbunden. Auf dem Gummiband sind in konstanten Abständen Scheiben, die Abbildungen von Galaxien zeigen, angebracht. Das Gummiband ist an einem Ende eines Tisches fest eingespannt und am anderen Ende auf die Welle eines Elektromotors aufgewickelt. Auf diese Weise ist es möglich das Band zu dehnen, während sich die Lokomotiven auf ihm bewegen. Bei ausgeschaltetem Elektromotor wird zunächst demonstriert, dass der Abstand der beiden Lokomotiven konstant bleibt, während sie sich von einer »Galaxie« auf dem Gummiband zur nächsten bewegen. Wird nun erneut ein Wellenzug ausgesandt und dabei gleichzeitig das Band mit Hilfe des Elektromotors gedehnt, ist sichtbar, wie sich der Abstand der Lokomotiven vergrößert - und damit auch die Länge des Wellenzuges. Dies entspricht der Rotverschiebung des Lichtes. Der Versuch wird nochmals durchgeführt, allerdings werden die Lokomotiven jetzt nicht nur bis zur benachbarten Galaxie, sondern bis zur übernächsten fahren gelassen. Es wird beobachtet, dass sich nun auch der Abstand der Wellenberge in etwa verdoppelt hat. Dies entspricht der Proportionalität zwischen Entfernung und Rotverschiebung. Zur weiteren Verdeutlichung können auch zuvor aufgenommene Videofilme des Versuches ergänzend gezeigt werden. Das Versuchsergebnis wird an der Tafel festgehalten:

»Die Rotverschiebung des Spektrums ferner Galaxien kann nach Albert Einstein durch eine Expansion des Raumes erklärt werden. Auch die Zunahme der Rotverschiebung mit wachsender Entfernung der Galaxien ergibt sich daraus.«

Der Anfang des Universums als Beginn der Expansion

Jetzt wird auf den Ausgangspunkt des Unterrichts, also die Frage, ob das Universum ein Anfang hatte, zurückgekommen. Dazu wird die Zeit »zurückgespult«; im Modellexperiment wird dies dadurch realisiert, dass die Drehrichtung des

5. Unterrichtseinheit zu Möglichkeiten und Grenzen der Naturwissenschaften

Motors umgekehrt wird, so dass das (zuvor gedehnte) Gummiband sich wieder zusammenzieht. Die Abstände der Galaxien verringern sich. Jetzt wird überlegt, was passiert, wenn dieses Zurückspulen immer weiter fortgeführt werden könnte⁵¹. Das Ergebnis der Überlegung ist, dass die Massendichte im Universum mit zunehmendem »Zusammenziehen des Raumes« immer weiter ansteigen und im Prinzip unendlich groß werden könnte, wenn die im Raum »angehefteten« Galaxien sich beliebig nah kommen⁵². Der Unterricht endet mit einem Résumé, das z. B. lauten könnte:

»Wir sind damit bei dem Bild angelangt, das die moderne Naturwissenschaft von der Entwicklung des Universums gewonnen hat: das Universum hat einen Anfang - den Beginn der Expansion - an dem seine Dichte ungeheuer groß war. Man schätzt, dass dieser Anfangszustand, der oft als 'Urknall' bezeichnet wird, etwa 13,7 Milliarden Jahre zurückliegt. Ob die Dichte des Universums zu diesem Zeitpunkt tatsächlich unendlich - oder nur sehr groß war, wie unserem Modell -, ist Gegenstand aktueller Forschung. Die Materie war auf jeden Fall so dicht 'zusammengepresst', dass es noch keine Strukturen, wie z.B. Galaxien gab. Aus diesem Anfangszustand heraus expandierte dann das Universum und es bildeten sich Sterne und Galaxien.«

5.1.6. Weitere fachliche und didaktische Anmerkungen

- Aufgrund der zeitlichen Rahmenbedingungen wird im Unterricht lediglich die kosmologische Rotverschiebung als Indiz für die Expansion des Universums behandelt. Der Zusammenhang zwischen Rotverschiebung und Entfernung der Galaxien wird auf dem Arbeitsblatt (siehe Anh. , S. 314) durch die Erstellung eines »Hubble-Diagramms« zu vermitteln versucht. Hierzu wurden die Galaxienspektren aus Smithsonian (2004)⁵³ in leicht bearbeiteter Form verwendet (ebd., S. 50ff). Es handelt sich um Spektren realer Galaxien, die mit dem vom Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics entwickelten Programm 'Virtual Telescope' (vgl. Smithsonian Institution (o. J.)) farbig dargestellt wurden. Auf diese Weise sollte der Übergang von den mit den Handspektroskopen beobachteten Spektren der Gasentladungslampen, zu denen der Galaxien, möglichst nachvollziehbar gestaltet werden. Im Gegensatz zu Smithsonian (2004) erfolgt die Erklä-

⁵¹ Bei dem Gummiband ist dies natürlich nur bis zum Erreichen des ungespannten Zustandes möglich.

⁵² Dass die Materieverteilung im Raum dabei auch homogener werden sollte, wird nicht weiter vertieft.

⁵³ Auf der Website des Smithsonian Center finden sich eine Reihe von Unterrichtsmaterialien zur Kosmologie (siehe Smithsonian (2013)). Für weitere Vorschläge, wie die Kosmologie in die Physik-Ausbildung an der Schule und Hochschule integriert werden kann, siehe Wallace und Prather (2012) und die dort zitierte Literatur.

rung des Hubble-Diagramms hier aber über den »gedehnten Raum« und nicht über den Doppler-Effekt.

- Die Nutzung eines Gummibandes zur Demonstration der kosmischen Expansion wurde bereits in Price und Grover (2001) vorgeschlagen. Der in der Unterrichtseinheit verwendete Modellversuch erweitert diese Idee um die Veranschaulichung der Wellenlängenvergrößerung im expandierenden Raum. Dies geschieht mit Hilfe der beiden Spielzeugloks, die auf dem durch einen Motor gedehnten Gummiband mit konstanter Geschwindigkeit fahren. Es ist leicht zu einzusehen, dass dieses Modell tatsächlich eine Proportionalität zwischen der »Rotverschiebung« (relative Abstandsvergrößerung der beiden Loks) und dem Skalenfaktor des Raumes (Dehnungsfaktor des Gummibandes) liefert. Um anzudeuten, dass die Expansion nur im Raum *zwischen* den Galaxien stattfindet, wurden diese als Pappscheibchen auf dem Band befestigt.

5.2. Unterrichtseinheit zu den Grenzen der Naturwissenschaft

5.2.1. Der Unterricht

Im Folgenden wird der Unterricht zu den (methodischen) Grenzen der Naturwissenschaft im Überblick vorgestellt⁵⁴. Ein detaillierter Ablaufplan mit Formulierungsvorschlägen für die Lehrkraft sowie wichtige Unterrichtsmaterialien sind in Anhang A.1.2, S. 317 ff. wiedergegeben. Zu den wissenschaftstheoretischen Grundlagen siehe Kap. 2; zu didaktischen Aspekten insbesondere zum Conceptual Change vgl. 3.1.2.

Der Unterricht lässt sich inhaltlich in die folgenden Abschnitte gliedern:

1. Einstieg: Warum ist das Universum entstanden?
2. Gruppenpuzzle: Merkmale der physikalischen Methode
3. »Aspektcharakter« der Physik
4. Vereinbarkeit der Physik mit verschiedenen metaphysischen Standpunkten

⁵⁴ Die Unterrichtseinheit wurde weitgehend von Prof. Dr. Roland Berger geplant und erstellt. Daneben haben Michael Kahnt, Michael Frenzel, Daniel Schwarz und der Autor dieser Arbeit durch verschiedene Anregungen und Vorschläge an der Erstellung der Unterrichtsmaterialien mitgewirkt.

Einstieg: Warum ist das Universum entstanden?

Der Unterricht schließt an die ersten beiden Stunden an, indem zunächst auf die großartigen Möglichkeiten der Physik hingewiesen wird, wie das Beispiel des Schlusses auf die kosmische Expansion anhand der Beobachtungen der Rotverschiebung gezeigt habe. Im Angesicht solcher Möglichkeiten sei es ja vielleicht denkbar, dass jede Frage physikalisch beantwortbar ist. Zum Beispiel die nach der Ursache der Entstehung des Universums. Als Antworten würde man hier ja unter anderem »Alles ist nach den Gesetzen der Physik von selbst entstanden.« oder aber auch »Das Universum wurde geschaffen, damit es Leben gibt.« hören. Nun wird den Schülern das Ziel des kommenden Unterrichts genannt: Es solle darum gehen, was die physikalische Methode zur Beantwortung solcher Fragen beitragen könne und was nicht. Sie werden darauf hingewiesen, dass es dafür erforderlich sei, sich näher mit Merkmalen der physikalischen Methode zu beschäftigen.

Gruppenpuzzle: Merkmale der physikalischen Methode

Es werden drei methodische Grenzen der Physik thematisiert. Sie lauten:

1. »Physik befasst sich nur mit Aussagen, die nachprüfbar sind.«
2. »Physik kann Zwecke nicht entdecken.«
3. »Physik kann ›Alle-Aussagen‹ nicht beweisen.«

Unterrichtsmethodisch werden diese Grenzen im Rahmen eines Gruppenpuzzles erarbeitet. Die Schüler bilden dabei zunächst sogenannte »Expertengruppen« (jeweils drei Schüler pro Gruppe), wobei jede dieser Gruppen sich mit einer der drei genannten Grenzen auseinandersetzt und vertraut macht. Dies geschieht anhand kurzer Texte, die diese Grenzen beschreiben und thematisieren⁵⁵. Die Schüler sind aufgefordert, ihren Text zunächst allein zu lesen und sich den Inhalt so weit wie möglich klarzumachen. Sie werden darauf hingewiesen, dass sie in der nächsten Phase des Gruppenpuzzles »ihre« Grenze anderen Schülern erläutern sollen. Zunächst werden die Erklärungen jedoch innerhalb der jeweiligen Expertengruppen geübt. Die Schüler sind dabei aufgefordert, die Qualität der Erklärungen ihrer Mitschüler durch konstruktive Rückmeldungen zu verbessern. Anschließend soll von jeder Expertengruppe eine Verständnisfrage auf der Grundlage des jeweiligen Textes beantwortet werden.

⁵⁵ Die gesamten Materialien, die die Schüler im weiteren Verlauf des Gruppenpuzzles benötigen, werden ihnen zu Beginn der Expertengruppenphase ausgehändigt. Diese Materialien, die auch die Texte enthalten, sind im Anhang in Abschn. A.1.2 wiedergegeben.

Nachdem die Expertengruppenphase beendet ist, wechseln die Schüler in die sogenannten »Stammgruppen«. Jede Stammgruppe besteht aus drei Schülern, so dass in jeder Gruppe jeweils ein »Experte« für jede der drei Grenzen vorhanden ist. Jedes Mitglied einer Stammgruppe erklärt anschließend seinen beiden Gruppenmitgliedern, die Grenze für die es Experte ist. Zur Festigung des Lernerfolges werden in der Gruppe noch Verständnisaufgaben bearbeitet, deren Lösung die Kenntnis der drei Grenzen erfordert. Zum Abschluss soll jede Gruppe noch einmal diese Grenzen in einem Satz formulieren und diese in eine Grafik eintragen.

Damit endet das Gruppenpuzzle und auch die Unterrichtsstunde. Die folgende Unterrichtsstunde beginnt mit einer Zusammenfassung und Erinnerung an die drei im Gruppenpuzzle behandelten Grenzen bzw. Merkmale der physikalischen Methode. Dazu wird ein Poster gezeigt, auf dem jedes dieser Merkmale durch einen Satz charakterisiert ist. Im Rahmen eines Unterrichtsgesprächs werden die Schüler aufgefordert die Merkmale in knapper Form an einem Beispiel zu erläutern. Es wird resümiert, dass die Physik sich einer Methode bedient, die bestimmte Fragen von vornherein ausschließt, um ihre Stärken bei anderen Fragen voll zur Geltung bringen zu können.

An der Tafel wird festgehalten:

Die »methodische Grenze« der Physik

Die Merkmale der physikalischen Methode begrenzen die physikalische Forschung auf bestimmte Fragestellungen. Fragen außerhalb dieser »methodischen Grenze« werden daher nicht behandelt.

»Aspektcharakter« der Physik

Die methodische Begrenzung der Physik soll anschließend mithilfe eines »Projektions-Modells« deutlich gemacht werden. Abbildung 5.22 zeigt das Modell⁵⁶. In seinem Inneren befindet sich ein kleiner Tisch mit achteckiger Platte. Der auf der Seite liegenden Tisch kann aus zwei verschiedenen Richtungen auf die Mattscheiben des Modells projiziert werden. Die beiden Projektionen werden nacheinander den Schülern vorgeführt: die erste Projektion zeigt den Schatten der Tischplatte - es ist ein Achteck, dessen geometrische Form leicht durch Messung weniger Längen und Winkel vollständig bestimmbar wäre. Es wird mitgeteilt, dass diese Projektion ein Sinnbild für die physikalische Methode, da diese ja durch Messung und mathematische Modellierung gekennzeichnet ist,

⁵⁶ Die abgebildete Version dieses Modells wurde von der Tischlerei der Universität Osnabrück angefertigt.

5. Unterrichtseinheit zu Möglichkeiten und Grenzen der Naturwissenschaften

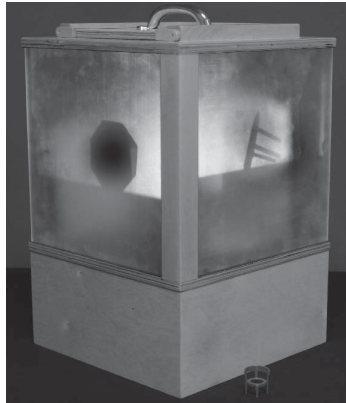


Abb. 5.22. »Projektions-Modell«: Durch zweifache Projektion eines kleinen Tischchens mit achteckiger Platte (gefertigt aus Pappe und angeklebten Holzstäbchen) wird der Aspektcharakter der physikalischen Methode versinnbildlicht.

sein solle. Anschließend wird die zweite Projektion gezeigt. Sie enthält sowohl den Schatten der Tischplatte als auch den der Beine des Tisches. Mit etwas Phantasie ist erkennbar, dass es sich bei dem zu Grunde liegenden Objekt im Innern um einen Tisch handelt. Mit einem Tisch verbindet man nicht nur eine geometrische Form, sondern erkennt in ihm auch intuitiv einen Zweck für den Menschen. Diese Projektion soll deutlich machen, dass wir in den Dingen Aspekte erkennen können - zum Beispiel Zwecke -, die mit der physikalischen Methode nicht erschließbar sind. Es wird mitgeteilt, dass beide Projektionen unterschiedliche, einander ergänzende Sichtweisen auf die Gesamtwirklichkeit symbolisieren sollen⁵⁷. An der Tafel wird zusammengefasst:

Projektions-Modell

Veranschaulicht sinnbildhaft verschiedene Sichtweisen auf die Gesamtwirklichkeit.

Vereinbarkeit der Physik mit verschiedenen metaphysischen Standpunkten

Im abschließenden Teil des Unterrichts werden die erworbenen Kenntnisse wiederholt und angewendet. Die Schüler bearbeiten dazu in Gruppen (den Stammgruppen des Gruppenpuzzles) ein Arbeitsblatt (siehe Anhang A.1.2), auf dem ein Dialog zwischen einem Wissenschaftler und einem interessierten Laien ergänzt werden soll. Die Schüler sollen dazu in die Rolle des Wissenschaftlers

⁵⁷ Zum Abschluss wird das Tischchen herausgenommen und kurz gezeigt.

schlüpfen, und die auf dem Arbeitsblatt dargestellten Fragen des Laien mithilfe ihrer Kenntnisse über die Merkmale der physikalischen Methode beantworten. Die letzte Frage des Laien in dem fiktiven Gespräch lautet:

»Man hört ja dazu [zur Frage „Warum entstand das Universum?“] ganz unterschiedliche Äußerungen. Die einen sagen: „Das Universum wurde geschaffen, damit es Leben gibt. Andere wiederum sagen: „Alles ist nach den Gesetzen der Physik von selbst entstanden.“ Kann denn die Physik hier nicht als „Schiedsrichterin“ entscheiden, was richtig und was falsch ist?«

Nach dem Ende der Bearbeitungsphase werden exemplarisch Antworten einzelner Gruppen auf die Fragen des fiktiven Dialogs im Unterrichtsgespräch diskutiert. Lediglich die Antworten auf die letzte Frage werden von jeder Gruppe vorgestellt (dazu sollen die Gruppen ihre Antwort auf eine Overheadfolie schreiben und der Klasse präsentieren). Nach einer abschließenden Diskussion endet die Stunde mit dem folgenden Fazit, das ebenfalls an der Tafel festgehalten wird:

Fazit

Bei Aussagen, die außerhalb der methodischen Grenze der Physik liegen, kann die Physik nicht über deren »Richtigkeit« entscheiden. Daher sind unterschiedliche Standpunkte (»philosophische Überzeugungen«) möglich.

Es wird eventuell noch darauf hingewiesen, dass dies ein Grund sein könne, warum sich Physiker in solchen Fragen nicht einig seien, obwohl sie auf ihrem Gebiet sehr kompetent sein können.

5.2.2. Weitere fachliche und didaktische Anmerkungen

- Das Gruppenpuzzle (Aronson, Blaney, Stephan, Silkes & Snapp, 1978; Aronson, 2002) gilt als Lernmethode, die aufgrund ihrer Charakteristika günstige Effekte auf die intrinsische Motivation und die Einleitung von Konzeptwechseln haben könnte. Als kooperative Lernform sollte sie sich günstig auf die soziale Eingebundenheit und das Autonomieerleben auswirken und durch das Element der »Experten« auch das Kompetenzerleben fördern (vgl. R. Berger & Hänze, 2004, 2009). Die Erfüllung dieser »basic needs« wird als wichtige Bedingung für Interesse und intrinsische Motivation (vgl. Abschn. 3.1.2) angesehen. Das Erklären - wie es von den »Experten« im Gruppenpuzzle gefordert ist - gilt als günstig für die Integration neuer Informationen. Die im Gruppenpuzzle verwendeten Texte haben zudem einen widerlegenden Charakter (»refutational texts«)

5. Unterrichtseinheit zu Möglichkeiten und Grenzen der Naturwissenschaften

(Guzzetti, Snyder, Glass & Gamas, 1993). Beides sollte in Hinblick auf den »Konzeptwechsel« der Schüler förderlich sein (vgl. Abschn. 3.1.2).

- Die drei im Unterricht behandelten methodischen Grenzen der Physik orientieren sich an den Merkmalen der empirischen Prüfbarkeit und der Nicht-Verifizierbarkeit von Naturgesetzen, wie sie insbesondere von Popper diskutiert wurden. Aussagen über Zwecke sind in diesem Sinne aufgrund ihrer fehlenden empirischen Falsifizierbarkeit als Grenzen angegeben (vgl. Kapitel 2 für eine weitere Diskussion sowie die Bemerkungen im folgenden Abschnitt).
- Das »Projektionsmodell« ist in Anlehnung an Wagenschein (1965) konzipiert. Er prägte den Begriff des »physikalischen Scheinwerfers« um den Aspektcharakter der Physik zu verdeutlichen.

5.2.3. Schülertext: Grenzen der physikalischer Forschung

In diesem Abschnitt wird ein Lehrtext zu den Grenzen physikalischer Forschung vorgestellt. Er ist inhaltlich eng an die in der Unterrichtseinheit verwendeten Materialien (A.1.2) angelehnt. Diese wurden jedoch an verschiedener Stelle modifiziert und ergänzt, um Schülerinnen und Schülern eine vom Unterricht unabhängige Einführung in die Thematik zur Verfügung zu stellen. Der Text kann auch zur Nachbereitung oder Vertiefung des Unterrichts eingesetzt werden⁵⁸.

Vorbemerkung

Bei jeder Art von Lehre ist es unvermeidlich eine Position einzunehmen, etwa durch die Auswahl der Inhalte und der Betonung ihres Wertes. Dies geschieht auch bei der Vermittlung fachlicher Inhalte im Physikunterricht: in der Regel werden solche physikalische Theorien und Erklärungen von der Lehrkraft ausgewählt, die in der Wissenschaft etabliert sind oder wenigstens in den Lehrplänen für wichtig erachtet werden. Es ist aber nicht nur unvermeidlich, sondern kann auch aus didaktischer Sicht sinnvoll sein, zunächst einmal *eine* mögliche Erklärung eines Phänomens deutlich zu machen und anschließend auf dieser Basis mögliche Alternativen zu betrachten und zu erörtern. In diesem Sinne ist der nachfolgende Lehrtext als möglicher Ausgangspunkt einer Erörterung der Grenzen physikalischer Forschung im Physikunterricht gedacht. Seine Thesen sollten im weiteren Unterricht diskutiert, vertieft und ergänzt werden.

⁵⁸ Der Text wurde in der empirischen Studie nicht eingesetzt und erst später angefertigt.

Empirische Untersuchungen »weisen darauf hin, dass Schüler und Schülerinnen in der Tendenz einem naiven Realismus zuneigen.« (Höttecke, 2001, S. 13). Angenommen wird dabei die Existenz einer nicht infrage zu stellenden Realität, deren Gesetzmäßigkeiten in eindeutiger Weise durch die Naturgesetze abgebildet werden. Aufgabe der Wissenschaft sei es, diese Abbildungen der Wirklichkeit aufzufinden.

Die im folgenden Lehrtext vertretene Position knüpft an diesen »naiven Realismus« an. Sie entspricht weitgehend einem »wissenschaftlichen Realismus«, etwa in dem folgenden Sinne: Es gibt eine unabhängig vom Menschen, und seinem Denken, existierende Wirklichkeit. Durch Sinneswahrnehmungen kann der Mensch Informationen über diese Wirklichkeit gewinnen. Die Sinneswahrnehmungen werden mit Begriffen verknüpft und sind durch Aussagen beschreibbar. Wissenschaftliche Theorien sind von Menschen geschaffene Systeme aus Begriffen und Sätzen, die Strukturen in der Gesamtheit der Sinneswahrnehmungen beschreiben und erklären. Sie konstituieren zugleich auch Objekte, denen eine Realität zugeschrieben wird, solange die zugrundeliegenden Theorien als gültig erachtet werden. Ihre Rechtfertigung erfahren Theorien durch die Bestätigung in der Erfahrung. Dabei werden lediglich solche Sinneserfahrungen herangezogen, die von verschiedenen Menschen - wenigstens prinzipiell - bestätigt werden können. Stehen die Erfahrungen im Widerspruch zu den Vorhersagen einer Theorie, kann sie durch eine neue, besser mit den empirischen Daten übereinstimmende Theorie abgelöst werden. Allerdings ist im Allgemeinen die Bewertung und der Vergleich der Güte verschiedener Theorien nicht frei von subjektiven Einschätzungen.

Diese sehr knappe Beschreibung soll lediglich die erkenntnistheoretische Grundlage andeuten, auf der der Lehrtext beruht. Weitere Details ergeben sich aus dem Text selbst.

Die Boxen »Fragen« enthalten Fragen und Aufgaben, die den Inhalt des Textes an weiteren Beispielen verdeutlichen oder aber zur Diskussion anregen sollen.

Die Anmerkungen in den Boxen »Zum Weiterdenken« greifen einzelne Aspekte des Haupttextes auf. Sie sind vornehmlich als Denkanstöße für interessierte Schülerinnen und Schüler gedacht. Daneben sollen sie aber auch Lehrkräften Anregungen für Diskussionen und Möglichkeiten der Vertiefung im Unterricht geben.

Der Lehrtext

Die physikalische Forschung kann viele beeindruckende Erfolge vorweisen. Ohne die Kenntnis physikalischer Gesetze wäre die Entwicklung technischer Apparate wie z. B. Handys, Röntgengeräte, Laser und auch der Flug zum Mond nicht möglich gewesen. Mit Hilfe der Physik sind viele Naturphänomene erklärbar, und selbst die Entwicklung des Universums lässt sich mit ihr erforschen.

Manche Menschen vermuten, dass sich irgendwann alle Fragen physikalisch beantworten lassen. Stimmt das - oder gibt es Grenzen? Nehmen wir zum Beispiel die Kosmologie. Wir haben gelernt, dass das Universum offenbar mit dem »Urknall« seinen Anfang hatte. Dafür kann die Physik gute Gründe liefern. Aber kann sie auch eine noch weitergehende Frage beantworten, kann sie uns sagen *warum* Alles so begonnen hat? Zum Beispiel gibt es die Ansicht, dass das Universum da ist, damit Leben entstehen kann. Andere glauben dies nicht. Lässt sich hier mit den Mitteln der Physik eine Entscheidung treffen?

Um diese Frage diskutieren zu können, müssen wir die Physik ganz grundsätzlich betrachten und uns mit ihren Methoden auseinandersetzen. Wir werden sehen, wie sich aus diesen Methoden bestimmte Grenzen ergeben. Mit diesem Wissen werden wir anschließend zur Frage zurückkehren, was die Physik zur *Ursache* der Existenz des Universums - und damit auch von uns selbst - sagen kann.

Betrachten wir aber zunächst an drei Beispielen, wie methodische Merkmale der Physik zu Grenzen führen können.

Merkmal 1: Forderung der Nachprüfbarkeit

Physikerinnen und Physiker befassen sich während ihrer Forschungsarbeit nur mit Beobachtungen, die sie und andere Kollegen nachprüfen können. Was damit gemeint ist, machen wir uns an zwei Beispielen klar.

1. Beispiel: Betrachten wir das Licht einer Gasentladungslampe durch ein Hand-Spektrometer, dann erblicken wir farbige Linien (> Versuch). Eine bestimmte farbige Linie (z. B. die gelbe Linie der Natrium-Lampe) sehen wir immer an derselben Stelle der Skala. Im Prinzip kann jeder Mensch diesen Versuch durchführen und wird diese Beobachtung höchstwahrscheinlich bestätigen. 2. Beispiel:

Bei normalem Luftdruck gefriert Wasser stets bei derselben Temperatur zu Eis, nämlich bei 0°C . Auch diese Beobachtung kann jeder mit einem Thermometer nachprüfen. Beide Beispiele haben eines gemein-



sam: Es kommt offenbar nicht auf die Person des Beobachters an, sondern nur auf die Sache selbst, auf das beobachtete Phänomen.

Nachprüfbare Beobachtungen haben einen großen Vorteil. Ergibt jede Prüfung das gleiche Ergebnis, lässt sich hinter ihnen ein allgemeines *Gesetz* vermuten. Im Falle der farbigen Linie könnte es lauten: »Die gelbe Linie der Natrium-Lampe erscheint *immer* an derselben Stelle des Hand-Spektrometers.« Beachten Sie, dass dieses unscheinbar wirkende Gesetz eine Vorhersage macht! Es sagt uns, dass wir auch zukünftig immer an dieser bestimmten Stelle die farbige Linie sehen werden.

Betrachten wir ein weiteres Beispiel: Ein Physiker beobachtet die rote Linie im Lichtspektrum einer Galaxie bei einer Wellenlänge von z. B. 690 Nanometern. Als »Nachweis« wird er z. B. eine Fotografie des Spektrums anfertigen. Er wird sorgfältig beschreiben, wie er sein Experiment durchgeführt hat. Dadurch kann sein Ergebnis - zumindest im Prinzip - von anderen Forschern wiederholt und nachgeprüft werden.

Die Forderung der Nachprüfbarkeit ist sehr sinnvoll, aber sie bedeutet auch eine Beschränkung: Die physikalische Forschung beschäftigt sich *nur* mit solchen Phänomenen, die reproduzierbar sind. Alles Andere lässt sie außer Acht. Was könnte das sein? Nun, angenommen jemand behauptet ein »Wunder« gesehen zu haben, welches physikalisch nicht erklärbar ist. Das geschilderte Ereignis hat keine »Spuren« hinterlassen und lässt sich auch nicht wiederholen. Seine Aussage kann man nun für glaubhaft halten oder auch nicht. Aber mit physikalischen Mitteln lässt sich nicht beurteilen, ob er lügt oder sich geirrt hat.



Zusammenfassung

Physik befasst sich nur mit Aussagen, die nachprüfbar sind.



Fragen

1. Vor Gericht gilt eine einzelne Zeugenaussage als wichtiges Beweismittel. Sie kann zu einer Verurteilung führen, selbst wenn keine weiteren »Spuren« auf den Täter hindeuten. Vergleichen Sie dies mit der Physik. Welche Gemeinsamkeiten und Unterschiede sehen Sie?
2. Überlegen Sie für die folgenden Aussagen, inwiefern sie physikalisch nachprüfbar sind oder nicht.
 - (a) Der Jupiter ist der größte Planet des Sonnensystems.
 - (b) Der Saturn ist der schönste Planet des Sonnensystems.
 - (c) Gestern sah ich eine helle Sternschnuppe, die mir Glück bringen wird.
3. Wie ist Ihre Ansicht: Sind auch Gefühle wie Liebe oder Hass physikalisch nachprüfbar? Diskutieren Sie mit Ihren Mitschülerinnen und Mitschülern!
4. Am Forschungszentrum CERN in Genf befindet sich der weltgrößte Beschleuniger zur Untersuchung von Elementarteilchen (das sind z. B. die Teilchen aus denen die Atome zusammengesetzt sind). Mit keinem anderen Gerät auf der Erde lassen sich Elementarteilchen auf so hohe Energien beschleunigen wie dort. Überlegen Sie, inwiefern dies ein Problem für die Nachprüfbarkeit bedeuten könnte.



Zum Weiterdenken

- Die Physik beschäftigt sich mit dem Teil der Welt, den wir mit unseren Sinnen wahrnehmen können. Dazu zählen z. B. Töne, die wir hören, oder Licht, das wir mit unseren Augen registrieren. Physikalische Experimente untersuchen meistens ziemlich einfache Phänomene, wie z. B. die Spektrallinien. Hier lässt sich das Versuchsergebnis durch eine Abfolge einfacher Beobachtungen bestimmen: nämlich durch Ablesen der Position der Linien auf einer Skala. Durch diese Beschränkung auf einfache Vorgänge können sich die Physikerinnen und Physiker in der Regel gut über Versuchsergebnisse verständigen und einigen.
- Das Nachprüfen physikalischer Aussagen kann trotzdem durchaus knifflig sein. Zum Beispiel, weil es für Beobachtungen mehrere Erklärungen geben kann. Nehmen wir die Aussage, dass das Weltall expandiert: Durch sie lässt sich die Rotverschiebung der Galaxienspektren erklären. Aber könnte es dafür nicht auch einen anderen Grund geben? Vielleicht dehnt sich das Universum gar nicht aus? Tatsächlich gab es Mitte des 20. Jahrhunderts einige Physiker, die diese Meinung vertraten. Später fand man aber neben der Rotverschiebung noch zahlreiche Indizien, die auf die Expansion hindeuten. Deshalb zweifelt heute kaum noch jemand an ihr.
- Dass sich mit physikalischen Gesetzen genaue Vorhersagen machen lassen, zeichnet sie besonders aus. Auch die Astrologie macht ja z. B. Vorhersagen mit ihren Horoskopen. Sie behauptet, dass die Position der Planeten einen Einfluss auf unser Leben hat. Die Aussagen in den Horoskopen sind aber meistens sehr ungenau, z. B. »In ihrem Privatleben wird demnächst ein glückliches Ereignis eintreten«. So lässt sich später oft kaum sagen, ob sie eingetroffen sind oder nicht. Physikalische Vorhersagen wie »Die gelbe Linie der Natrium-Lampe ist auf der Skala bei 659 Nanometern sichtbar« sind viel präziser. Beobachtet man diese Linie z. B. bei 630 Nanometern, so war die Vorhersage mit Sicherheit falsch.

Merkmals 2: Keine Zwecke in der Physik

Physikalische Forschung sucht nach *physikalischen Ursachen* von Beobachtungen. Beispielsweise hatten wir uns gefragt, welche Ursache die Rotverschiebung haben könnte. Nach Einstein liegt sie in der Expansion des Universums. Eine

5. Unterrichtseinheit zu Möglichkeiten und Grenzen der Naturwissenschaften

physikalische Ursache zu finden, bedeutet, beobachtbare Phänomene auf Naturgesetze zurückzuführen. Es geht darum das *Wie* und *Warum* herauszufinden. Es geht jedoch nicht um das *Wozu*, also der Zweck, den etwas haben könnte. Beispielsweise gibt es die Ansicht, dass die Sonne existiert, damit das Leben auf unserem Planeten gedeihen kann. Ob sie tatsächlich diesen Zweck hat, ist aber keine physikalische Frage. Zwecke können wir Menschen uns wohl zu einem Ding oder Vorgang dazudenken. Aber mit den Methoden der Naturwissenschaft lassen sie sich nicht ermitteln.

Machen wir uns das am Beispiel einer Uhr klar. Angenommen, jemand wüsste nicht, welchen Zweck eine Uhr hat. Er könnte mit physikalischen Mitteln die Spannung der Batterie messen, die Länge der Zeiger bestimmen usw.. Er könnte daraus vielleicht schließen, dass die Existenz der Batterie eine wesentliche Ursache für die Drehung des Zeigers ist. Aber auch wenn er alles an und in der Uhr physikalisch erforscht hat, so kann er aus seinen Messungen und Beobachtungen nicht auf den Zweck der Uhr schließen, nämlich die Zeit zu messen. Zwecke sind Bedeutungen, die wir persönlich Dingen oder Vorgängen beimessen. Sie lassen sich nicht aus physikalischen Gesetzmäßigkeiten ableiten.

Zur Abgrenzung der beiden Gesichtspunkte betrachten wir noch eine andere Frage aus dem Alltag: »Warum ist es nachts dunkel?« Eine mögliche Antwort wäre »Nachts ist es dunkel, damit ich schlafen kann«. Hier geht es also um den Zweck der Dunkelheit, den ich mit ihr verbinde. Anders ist es dagegen bei einer anderen möglichen Antwort: »Nachts ist es dunkel, weil sich die Sonne auf der anderen Seite der Erde befindet.« Hier geht es um die physikalische Ursache der Dunkelheit. Sie lässt sich - im Gegensatz zur ersten Antwort - mit physikalischen Mitteln prüfen.

Noch ein Hinweis: Fragen nach dem »Warum« sind manchmal doppeldeutig, z. B.: »Warum leuchten die Sterne am Himmel?« Hier kann eine physikalischen Ursache oder ein Zweck gemeint sein. Eine physikalische Ursache wären die physikalischen Prozesse in den Sternen, die ihr Leuchten verursachen. Es könnte aber auch der Zweck gemeint sein. In diesem Fall sollte man vielleicht besser fragen: „Wozu leuchten die Sterne am Himmel?“



Zusammenfassung

Aus der Physik ergeben sich keine Zwecke.

? Fragen

1. Welche möglichen Erklärungen fallen Ihnen zu den drei folgenden Vorgängen ein? Versuchen Sie zu begründen, ob es sich jeweils um eine physikalische Ursache oder um einen Zweck handelt.
 - a) Die Sonne beleuchtet die Erde.
 - b) Ein ICE-Zug fährt von München nach Frankfurt.
 - c) Ein Song ertönt aus den Boxen der Stereo-Anlage.

i Zum Weiterdenken

- In enger Beziehung zu Fragen nach dem Zweck stehen solche nach Zielen, Werten oder dem Sinn. Solche Fragen sind zum Beispiel »Was sollte das Ziel menschlichen Handelns sein?«, »Welche sind die höchsten ethischen Werte?« oder »Was ist der Sinn des Lebens?«. Auch diese Fragen sind mit den Mitteln der Naturwissenschaft nicht beantwortbar. Der Grund ist ähnlich: »... von der Erkenntnis, von dem *was ist*, [führt] kein Weg ..., zu dem *was sein soll*.«¹ (Albert Einstein).
- Die Naturwissenschaft kann keine Zwecke, Ziele oder Werte ermitteln. Sie kann aber helfen, gegebene Ziele zu erreichen, oder zu prüfen, ob etwas seinen Zweck erfüllen kann. Zum Beispiel sind physikalische Kenntnisse sehr hilfreich, wenn man eine besonders genau gehende Uhr konstruieren möchte.

Merkmal 3: Physikalische Gesetze als »Alle-Aussagen«

In der Physik werden häufig umfassende Verallgemeinerungen formuliert. Betrachten wir zum Beispiel die Behauptung: »Alle Galaxien entfernen sich zu allen Zeiten voneinander.« Angenommen diese Aussage wäre richtig, wie könnte man sie beweisen? Nun, man müsste jeden Einzelfall durch Beobachtungen nachprüfen. Abgesehen davon, dass das praktisch unmöglich ist (schon wegen der riesigen Zahl von Galaxien) - es ist auch theoretisch unmöglich. Denn es gibt ja unendlich viele Zeitpunkte. Und für keinen Zeitpunkt ist von vorneherein *sicher* sein, dass die Behauptung stimmt. Sie lässt sich also nicht beweisen. Solche Aussagen, die sich auf »alle Fälle« (hier z. B.: alle Galaxien und Zeiten) beziehen, nennen wir »Alle-Aussagen«.

¹ Einstein, A.: Naturwissenschaft und Religion. Teil 1. In: Einstein (Hrsg.): Aus meinen späten Jahren. Neu Isenburg: Melzer 2005 (Original 1936).

5. Unterrichtseinheit zu Möglichkeiten und Grenzen der Naturwissenschaften

Naturgesetze sind »Alle – Aussagen«. Nehmen wir z. B. das Gesetz für die Schwerkraft (Gravitationsgesetz). Aus ihm folgt, dass *jeder* Gegenstand zu Boden fällt, wenn er losgelassen und nicht auf andere Weise beeinflusst wird. Bei Naturgesetzen wird angenommen, dass sie für alle Zeitpunkte in der Vergangenheit und der Zukunft gelten. Überprüfen können wir sie jedoch nur in der Gegenwart. Sie lassen sich nicht beweisen, sondern nur an Einzelfällen nachprüfen.

Auch wenn sich Naturgesetze nicht beweisen lassen, hat man großes Vertrauen in ihre Gültigkeit. Besonders dann, wenn sich Vorhersagen bestätigen, die auf ihrer Grundlage gemacht wurden. Ein einziges Gegenbeispiel genügt jedoch, um sie zu widerlegen: Würde eines Tages ein Stein von der Erde abgestoßen, dann müsste das Gravitationsgesetz für falsch erklärt oder zumindest einschränkt werden.

Beachten Sie, dass Worte wie »Alle«, »Jede« oder »Immer« in einer »Alle–Aussage« gar nicht vorkommen müssen. Nehmen wir zum Beispiel die Aussage: »Wasser gefriert bei 0 °C zu Eis.« Diese physikalische Aussage meint nicht ein bestimmtes »Stück« Wasser, sondern jedes denkbare. Und sie soll nicht nur für heute, sondern für alle Tage gelten.



Zusammenfassung

Naturgesetze lassen sich nicht beweisen.



Fragen

1. Inwiefern handelt es sich Ihrer Ansicht nach bei den folgenden Aussagen um »Alle-Aussagen«? Welche würden Sie als Naturgesetz bezeichnen? Begründen Sie!
 - a) Die Erde ist größer als der Mond.
 - b) Ein Magnet hat einen Nord- und einen Südpol.
 - c) Alle geraden Zahlen sind durch 1 und 2 teilbar.



Zum Weiterdenken

- Die *Annahme* der Gültigkeit von Naturgesetzen in Vergangenheit und Zukunft ist für die Physik essentiell: Nur so lässt sich mit ihnen die Entstehung des Heutigen erklären und Zukünftiges vorhersagen. Der *Glaube* an die Richtigkeit dieser Annahme beruht auf der häufigen Bestätigung in der Erfahrung.
- In Kosmologie nehmen wir an, dass die Naturgesetze, die wir hier auf der Erde herausgefunden haben, auch in fernen Galaxien gelten. Zum Beispiel, dass das dortige Wasserstoff Licht mit der gleichen Wellenlänge aussendet, wie hier auf der Erde. Auf dieser Annahme beruht die Erklärung der Rotverschiebung. Dass sich viele astronomische Beobachtungen so erklären lassen und Vorhersagen eingetroffen sind, macht diese Annahme plausibel.
- Einem »Wunder« entspricht es, wenn die Naturgesetze an einem bestimmten Ort zu einer bestimmten Zeit verletzt werden. Gäbe es solche Ereignisse, dann wäre die beobachtbare Welt nicht nur praktisch, sondern auch prinzipiell nicht »lückenlos« naturwissenschaftlich erklärbar. Wie erwähnt, lässt sich die Existenz derartiger Ereignisse naturwissenschaftlich nicht untersuchen, solange sie keine »Spuren« hinterlassen. Falls es sie gibt, scheinen sie aber jedenfalls sehr selten zu sein.
- Die drei Merkmale und die aus ihnen resultierenden Grenzen sind nicht voneinander unabhängig. So ist die Nachprüfbarkeit von grundlegender Bedeutung für alle drei genannten Grenzen: Zwecke sind nicht physikalisch *nachprüfbar* - also sind sie nicht Gegenstand der Physik. Physikalische Gesetze können nicht für alle Einzelfälle *nachgeprüft* werden - also sind sie nicht beweisbar.
- Dass physikalische Gesetze nicht beweisbar sind, ist eine *logische Konsequenz*, da wir von unendlich vielen Fällen immer nur eine endliche Zahl tatsächlich durch Beobachtung nachprüfen können. Rein mathematische »Alle-Aussagen« lassen sich dagegen oft beweisen. In der Philosophie und Mathematik hat man sich intensiv mit solchen logischen Problemen auseinandergesetzt. Dort werden die »Alle-Aussagen« übrigens häufig als »All-Aussagen« bezeichnet.



Zum Weiterdenken

- Dass sich Naturgesetze nicht beweisen lassen, bedeutet auch: *Sie lassen sich nicht aus Experimenten herleiten*. Im Physikunterricht wird manchmal anhand einer Messreihe auf eine allgemeine Gesetzmäßigkeit »geschlossen«. Doch genau genommen ist jedes physikalische Gesetz nur eine gut begründete *Vermutung*. Sie müssen trotzdem nicht allzu besorgt sein im Unterricht etwas Nutzloses zu lernen, denn die Gesetze wurden schon sehr viele Male geprüft. Aber niemand kann *mit Sicherheit* sagen, dass ihre Vorhersagen immer eintreffen werden.

Wir haben drei Grenzen der Physik formuliert. Sie ergeben sich aus den Methoden, auf die sich die Physikerinnen und Physiker geeinigt haben. Diese Methoden sind entscheidend für die großen Erfolge physikalischer Forschung, beschränken sie aber auch auf bestimmte Fragestellungen. Diese - selbst auferlegte - Beschränkung könnte man die »methodische Grenze« der Physik nennen².



Die »methodische Grenze« der Physik

Die Methoden der Physik begrenzen die Fragestellungen physikalischer Forschung.



Fragen

1. Vom bekannten Physiker und Philosoph Carl Friedrich von Weizsäcker stammt folgende Aussage: »Philosophie stellt diejenigen Fragen, die nicht gestellt zu haben die Erfolgsbedingung des wissenschaftlichen Verfahrens war. Damit ist also behauptet, dass die Wissenschaft ihren Erfolg unter anderem dem Verzicht auf das Stellen gewisser Fragen verdankt.«^a Diskutieren Sie, was er damit gemeint haben könnte!

^a Weizsäcker, Carl Friedrich von: Deutlichkeit, München (1978), S. 167.

Der folgende Text skizziert wichtige Stationen in der Erforschung der Gravitation. Dabei wird deutlich, wie sich die Ziele und Methoden der Physik entwickelt haben.

² Dabei sollte man bedenken, dass nur die Nichbeweisbarkeit von Naturgesetzen eine *logische* Grenze darstellt. Die andere beiden Grenzen beruhen letztlich auf einer *Vereinbarung* darüber, was die Methoden und Ziele physikalischer Forschung sind.

Vertiefung: Ziele und Methoden der Physik

Jeden Morgen geht die Sonne auf. Ein zerbrochene Glas wird nicht »von allein« wieder ganz. Ein Stein fällt zu Boden, wenn er losgelassen wird. Dies sind drei Beispiele für Regelmäßigkeiten, die wir in der Welt beobachten können. Das Ziel der Physik ist es, solche regelhaften Erscheinungen in der Natur aufzudecken und begreifbar zu machen.

Betrachten wir das Beispiel des fallenden Steins. Wir beobachten, dass nicht nur Steine zum Erdboden fallen, sondern jeder Körper, sofern er nicht durch andere Einflüsse an dieser Bewegung gehindert wird. Was ist der Grund dafür? Im Altertum gab der griechische Philosoph Aristoteles³ die Begründung, dass jeder Körper danach strebt an seinen »natürlichen Ort« zurückzukehren (für Aristoteles war dies der Erdmittelpunkt). Ähnlich, wie wir es bei Menschen gewohnt sind, wurde so auch das Verhalten unbelebter Körper durch Ziele und Zwecke erklärt. Fast zweitausend Jahre lang war es üblich, sich Naturvorgänge in solcher Weise verständlich zu machen. Erst im 16. Jahrhundert etablierte sich eine neue Methode: Galileo Galilei war einer ersten Wissenschaftler⁴, der den »freien Fall« in einer Weise untersucht hat, die für die moderne Physik richtungweisend wurde: Nicht das Philosophieren über Ziele und Zwecke, sondern die sorgfältige *Beobachtung* war für ihn der erste Schritt zum Verständnis einer physikalischen Erscheinung. Die Frage, *wie* sich etwas verhält, stand für ihn vor der Frage, *warum* es das tut. So hat er zahlreiche Experimente gemacht, um den zeitlichen Ablauf des freien Falls genau zu analysieren. Außerdem hat er seine Beobachtungen nicht nur mit Worten beschrieben, sondern quantitativ mit Hilfe von Zahlenwerten festgehalten. Galilei war in der Lage diese aufgezeichneten Messwerte durch ein einfaches mathematisches Gesetz zu beschreiben - das sogenannte Fallgesetz. Vermutlich kennen Sie es aus dem Physikunterricht. In diesem Fall konnten Sie nachprüfen, dass Körper heute noch in der gleichen Weise zu Boden fallen wie zu Lebzeiten Galileis.

Eine *physikalische* Erklärung für das Fallgesetz lieferte Jahrzehnte später der große Physiker Isaac Newton⁵. Newton führte neue physikalische Begriffe wie Masse und Kraft ein. Mithilfe dieser Begriffe formulierte er ein Gesetz für die Schwerkraft. Wir haben es schon beim Merkmal »Alle-Aussagen« angesprochen. Es beschreibt, wie Orte und Bewegungen von Körpern mit den zwischen ihnen wirkenden Gravitationskräften zusammenhängen⁶. Dieses Gravitationsgesetz lieferte aber nicht nur die physikalische Ursache für den freien Fall. Newton postulierte, dass es für *alle Körper* gültig sei und konnte mit ihm unter anderem die Bewegungen der Planeten erklären. Mehr noch, seine Theorie ermöglicht es sogar, die Positionen der Planeten für *beliebige Zeitpunkte in der Vergangenheit und Zukunft vorherzusagen*. Newtons Theorie wurde in den folgenden Jahrhunderten immer wieder bestätigt: Zum Beispiel können mit ihr Ebbe und Flut erklärt und die Bahnen von Flugkörpern berechnet werden. Selbst die Existenz eines neuen Planeten - des Neptun - wurde im 19. Jahrhundert mit ihrer Hilfe vorhergesagt und dann durch Beobachtungen bestätigt.

³ Aristoteles (* 384 v. Chr.; † 322 v. Chr.), griechischer Philosoph.

⁴ Galileo Galilei (* 1564; † 1642), italienischer Philosoph, Mathematiker, Physiker und Astronom. Galilei gilt als einer der »Gründerväter« der Physik.

⁵ Isaac Newton (* 1643; † 1727), englischer Naturforscher.

⁶ Vermutlich haben Sie im Physikunterricht bereits einen Teil von der Newtons Theorie kennengelernt; nämlich das Bewegungsgesetz $\vec{F} = m\vec{a}$. Es beschreibt ganz allgemein, wie sich die Geschwindigkeit eines Körpers unter dem Einfluss beliebiger äußerer Kräfte ändert. Im Falle der Gravitation konnte Newton einen genauen mathematischen Ausdruck für diese Kräfte angeben.

5. Unterrichtseinheit zu Möglichkeiten und Grenzen der Naturwissenschaften

Im 20. Jahrhundert hat dann Albert Einstein die Gravitation auf eine neue Weise physikalisch beschrieben. Für alltägliche Vorgänge, wie das Fallen eines Steines, macht seine Theorie praktisch die gleichen Vorhersagen wie die Newtons. Aber bei den Planetenbewegungen gibt es kleine Unterschiede. Hier passt Einsteins Theorie mit noch größerer Präzision zu den Beobachtungen. Einstein konnte mit seiner Theorie aber auch spektakuläre, zuvor nicht bekannte Phänomene genau vorhersagen - zum Beispiel die Krümmung von Lichtstrahlen durch die Wirkung der Gravitation. Auch diese Vorhersagen wurden durch Experimente bestätigt. Die große Bedeutung seiner Theorie für die Kosmologie haben wir ja bereits kennengelernt.

Am Beispiel der Gravitation lassen sich allgemeine Merkmale der Methoden physikalischer Forschung erkennen:

1. Physiker/innen beschäftigen sich mit beobachtbaren Regelmäßigkeiten in der Natur. Mit *Experimenten* untersuchen sie dabei gezielt bestimmte Aspekte. Sie zeichnen sorgfältig auf, was sie beobachten, und unter welchen Bedingungen die Beobachtung auftritt. Auf diese Weise kann diese im Prinzip *von jedem Menschen nachgeprüft* werden.
2. Physiker/innen *erschaffen Theorien*, mit denen sie ihre Beobachtungen erklären. Diese Theorien beinhalten häufig neue physikalische *Begriffe*, sowie *Naturgesetze*, die diese Begriffe miteinander verknüpfen. In der Regel sind diese Gesetze mathematisch formuliert.
3. Naturgesetze dienen nicht nur der Erklärung bekannter Beobachtungen, sondern machen allgemeinere Aussagen. Durch logische Schlüsse lassen sich aus ihnen neue Vorhersagen ableiten. Diese können wiederum durch Beobachtungen geprüft werden. Auf diese Weise kann eine Theorie bestätigt oder auch widerlegt werden⁷.
4. Alte Theorien können durch neue ersetzt werden. Ein möglicher Grund ist, dass eine neue Theorie besser zu den bestehenden Beobachtungen passt. Vor allem aber sind es es Vorhersagen, die dann auch tatsächlich eintreffen (wie z. B. bei Einsteins Theorie). Eine Theorie ist umso leistungsfähiger, je mehr solcher Vorhersagen sich aus ihr folgern lassen und je präziser diese sind. Es gibt aber noch weitere mögliche Gründe, warum sich eine neue Theorie durchsetzt: Zum Beispiel kann es sein, dass sie nach Ansicht der meisten Forscherinnen und Forscher die Beobachtungen einfacher oder einleuchtender erklärt. Daran wird deutlich, dass auch die Naturwissenschaft nicht ganz frei von subjektiven Einschätzungen ist.



Fragen

Versuchen Sie sich diese Merkmale anhand des obigen Textes klarzumachen. Vielleicht fallen Ihnen auch weitere Beispiele ein, die sie - etwa im Physikunterricht - kennen gelernt haben.

Physik als eine Sichtweise auf die Welt

⁷ Die Widerlegung einer Theorie kann allerdings schwierig sein: Oft spielen bei der Erklärung einer Beobachtung mehrere Theorien eine Rolle. Wenn ein Ergebnis nicht den Vorhersagen entspricht, ist zunächst nicht immer klar, welche der Theorien dafür verantwortlich ist.

Dass nicht alle Fragen physikalisch beantwortbar sind, wird manchmal auch so ausgedrückt: Die Physik ist eine, aber nicht die einzig mögliche, *Sichtweise* auf die Wirklichkeit. Was damit gemeint ist, soll Abbildung 5.23 veranschaulichen. Das Bild zeigt zwei Schatten desselben Objektes. Links ist ein Achteck zu sehen. Diese einfache geometrische Form soll ein Sinnbild für die physikalische Sichtweise sein - die Physik verwendet ja die Mathematik, um ihre Gesetze auszudrücken. Der rechte Schatten ist eine Projektion aus einer anderen Richtung. Mit etwas Phantasie erkennt man darin einen auf der Seite liegenden Tisch. Wir sehen also jetzt etwas, mit dem wir einen *Zweck* verbinden. Es ist eine Bedeutung, die durch die linke Projektion nicht nahe gelegt wird. Die Abbildung macht noch etwas deutlich: Beide Projektionen zeigen jeweils nur einen Teilaspekt des Objektes. Beide Teilaspekte ergänzen sich und geben zusammen ein vollkommeneres Bild der Realität. Dass es verschiedene, sich ergänzende

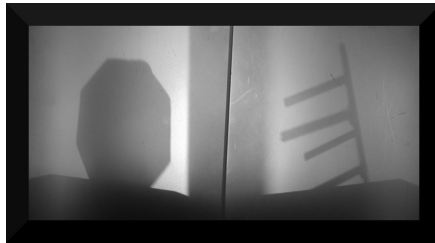


Abb. 5.23. Zwei verschiedene Projektionen eines Objektes.

Perspektiven auf die Wirklichkeit geben kann, macht auch Abbildung 5.24 deutlich. Das linke und rechte Bild kennen wir schon: Beide Bilder enthalten das Sternbild des großen Bären. Links ist es in einem Foto oberhalb der Burg Hohenzollern zu sehen, und rechts hat Vincent van Gogh es im Sternhimmel über der französischen Stadt Arles, deren Lichter sich in der Rhône spiegeln, gemalt. Das mittlere Bild zeigt ebenfalls diese Sternkonstellation, diesmal jedoch in einer eher wissenschaftlichen Darstellung auf einer astronomischen Sternkarte. Jedes der drei Bilder stellt einen anderen Aspekt desselben Teils der Realität dar. Und jedes vermittelt neue Einsichten. Oder finden Sie nicht?



Sichtweisen der Wirklichkeit

Es gibt verschiedene Sichtweisen der Wirklichkeit, die sich gegenseitig ergänzen können. Die physikalische Sichtweise ist eine von ihnen.

5. Unterrichtseinheit zu Möglichkeiten und Grenzen der Naturwissenschaften

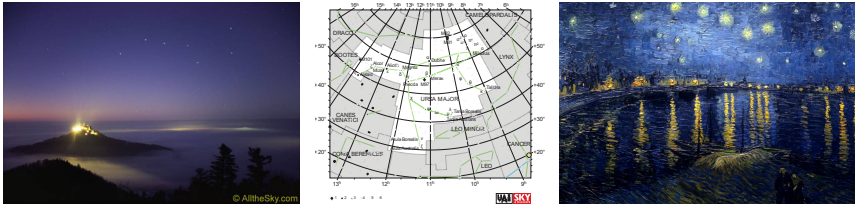


Abb. 5.24. Das Sternbild des Großen Bären auf einer Photographie, einer Sternkarte und Vincent van Goghs Gemälde *Nuit étoilée sur le Rhône*. [Bildquellen: Credner T. (o. J.) (links), IAU and Sky & Telescope (o. J.) (Mitte)].

? Fragen

1. Verschiedene Perspektiven, unter denen man einen Tisch betrachten kann sind z. B.: Sein Nutzen (um etwas darauf abstellen zu können), seine Ästhetik (ob man ihn »schön« findet) oder auch seine physikalischen Eigenschaften (z. B. die Festigkeit seines Materials). Welche Perspektiven fallen Ihnen bei den folgenden Phänomenen oder Objekten ein? Welche sind davon für Sie wichtig?

- Ein Regenbogen
- Die Sonne
- Ihr Handy

Warum gab es den Urknall?

Wir haben uns mit den Methoden der Physik vertraut gemacht und gelernt, dass aus ihnen einige Beschränkungen resultieren. Schauen wir jetzt, was sich daraus für unsere Ausgangsfrage ergibt: Kann die Physik beantworten, *warum* das Universum einen Anfang hatte?

Zunächst fällt das Wörtchen »warum« auf. Wie oben angemerkt, ist es mehrdeutig. Es kann nach einer physikalischen Ursache oder nach einem Zweck - im Sinne von »wozu« - gefragt sein. Wie erwähnt, beschäftigt sich die physikalische Forschung lediglich mit physikalischen Ursachen, nicht mit möglichen Zwecken. Was heißt das für unsere Frage? Wer z. B. der Meinung ist, dass das Universum existiert, damit Leben entstehen kann, begründet dessen Existenz mit einem Zweck. Eine solche Begründung lässt sich aber *physikalisch* weder beweisen noch widerlegen. Das gleiche gilt übrigens für die Ansicht, dass das Universum »einfach so« entstanden ist und keinerlei Zweck oder Sinn hat. Auch dieser Standpunkt ist mit den Mitteln der Physik nicht zu beurteilen. Derartige Erklärungen und Aussagen über die Realität, die über das naturwissenschaftlich

Prüfbare hinausgehen, werden auch *metaphysisch* genannt⁵⁹.



Fazit

Nicht alle Aussagen über die Realität lassen sich mit physikalischen Methoden prüfen. Daher sind verschiedene metaphysische Positionen mit der Physik vereinbar.

Zum Schluss noch eine wichtige Bemerkung: Wir haben gesehen, welche Grenzen der Physik sich aus den Methoden physikalischer Forschung ergeben. Diese Methoden sind charakteristisch für die moderne Naturwissenschaft. Im Ringen der Menschen sich die Welt begreifbar zu machen, stellen sie eine entscheidende und äußerst erfolgreiche Neuerung dar. Doch Wissenschaft findet in der Gesellschaft statt, und - wie diese - entwickelt sie sich. Es ist daher nicht ausgeschlossen, dass sich auch der Charakter und die Methoden der Physik in Zukunft verändern werden. Das kann niemand vorhersagen.

⁵⁹ Mit metaphysischen Fragen beschäftigt man sich in der Philosophie. Die *Metaphysik* ist eine ihrer klassischen Grunddisziplinen.



Zum Weiterdenken

- Lässt sich physikalisch etwas über die Ursache des Urknalls sagen? In den letzten Jahren wurden verschiedene Theorien entwickelt, um eine *physikalische* Erklärung des Urknalls zu finden. Bislang konnte sich aber noch keine dieser Theorien endgültig durchsetzen, u. a. weil ihre Vorhersagen schwierig zu prüfen sind^a. Aber selbst wenn dies einmal möglich sein sollte, lässt sich die Frage, ob die Welt eine Sinn oder Zweck hat, mit ihnen nicht entscheiden.
- Inwieweit die Physik auch etwas zu Beantwortung metaphysischer Fragen beitragen kann, ist durchaus umstritten. Zum Beispiel scheint es so zu sein, dass die Eigenschaften der Natur (inklusive der Naturgesetze) sehr gut zur Existenz von Leben im Universum passen. Oder besser gesagt, schon eine kleine Änderung in diesen Eigenschaften würde Leben (wie wir es kennen) unmöglich machen. Dies wird allerdings unterschiedlich interpretiert: Einige sehen darin einen deutlichen Hinweis auf einen Zweck (»das Universum existiert, damit sich Leben entwickeln kann«), andere sehen darin einen neuen Typ von Naturgesetzen (aus dem sich ebenfalls prüfbare Folgerungen ableiten lassen). Daran wird auch deutlich, dass die Ziele und die Methoden der Physik nicht völlig eindeutig und unveränderlich sind, sondern Gegenstand wissenschaftlicher und gesellschaftlicher Debatten sein können.
- Neben den methodischen Grenzen der Physik existieren noch weitere: Zum Beispiel begrenzt der aktuelle Stand der Technik die Genauigkeit von Experimenten. Durch den Fortschritt der Wissenschaft ließen sich hier aber bislang immer Verbesserungen erzielen. Auch aus den Naturgesetzen selbst ergeben sich Grenzen: Zum Beispiel bedingt die Endlichkeit der Lichtgeschwindigkeit, dass wir stets nur ein vergangenes Bild von Sternen oder Galaxien beobachten können. Nicht zuletzt sind es auch die gesellschaftlichen Rahmenbedingungen, die die Wissenschaft beschränken: Beispielsweise, weil moderne physikalische Experimente oft sehr teuer sind und vom Staat oder privaten Unternehmen finanziert werden müssen.

^a Ein Literaturhinweis, falls Sie mehr über diese Theorien wissen möchten: »Der Ur-Sprung des Alls« von Martin Bojowald; Spektrum der Wissenschaft 2009, Heft 5.

6. Quantitative Studie

Das in dieser Arbeit beschriebene Forschungsprojekt war wesentlich dadurch motiviert, dass bis dato nur wenig empirische Informationen über die Ansichten von Schülerinnen und Schüler zu den Grenzen der Naturwissenschaften existierten. Dies gilt insbesondere für quantitative Daten. Die Frage, ob sich derart komplexe Konstrukte überhaupt sinnvoll mit quantitativen Methoden erheben lassen, ist meines Erachtens nicht leicht zu beantworten. In der Tat werden insbesondere 'paper-and-pencil'-Tests von einigen im Bereich Nature of Science arbeitenden Wissenschaftlern mit Skepsis betrachtet (siehe z. B. Lederman (2007)). Der in diesem Kapitel beschriebenen empirischen Studie¹ liegt die Annahme zugrunde, dass sich auch mit einem geschlossenen Fragebogen valide und interessante Informationen über erkenntnis- und wissenschaftstheoretische Ansichten gewinnen lassen.

6.1. Fragestellungen und Hypothesen

Ein Teil der Fragestellungen, die empirisch untersucht werden sollten, ist weitgehend explorativer Natur. Dazu zählt z. B. die Frage, wie verbreitet szientistische Standpunkte unter Schülern sind. Eine zweite Zielsetzung war die Prüfung von Hypothesen zum Zusammenhang von diskrepantem Weltbild und dem Interesse an Physik. Die dritte Gruppe von Fragen betrifft den Einfluss einer expliziten wissenschaftstheoretischen Instruktion - insbesondere auf Einstellungen, Kenntnisse und das Interesse von Schülern. Angestrebt waren möglichst repräsentative Ergebnisse, was mit leistbarem Aufwand nur im Rahmen einer quantitativen Studie und weitgehender Verwendung von Testinstrumenten mit geschlossenen Antwortformaten möglich war². Als Kohorte für die Stichprobe der Untersuchung wurden Schülerinnen und Schüler der gymnasialen Oberstufe gewählt. Für diese Gruppe lässt sich am ehesten erwarten, dass sich bereits ein etwas gefestigteres und differenziertes Bild der Naturwissenschaften entwickelt hat.

¹ Die Planung der Studie erfolgte in Zusammenarbeit mit Martin Hänze von der Universität Kassel.

² Eine Ausnahme bilden die Wissenstests, die offene Antworten erlauben.

6. Quantitative Studie

Im Folgenden werden die Fragestellungen aufgeführt, zu denen in diesem Kapitel Ergebnisse berichtet werden. Für einige Fragen existierten vor Durchführung der Studie auf theoretischen Überlegungen basierende Erwartungen und Hypothesen. Sie werden ebenfalls in knapper Form angeführt. Dies soll einerseits den Forschungsprozess dokumentieren und andererseits die Einordnung der hier präsentierten Resultate unterstützen. Für weitere Erläuterungen der den Hypothesen zugrunde liegenden theoretischen Konzepte sei auf 3.1.2 verwiesen.

(A) Einstellungen zur Reichweite der Physik (»Szientismus«)

a) *Wie sind die Ansichten von Schülerinnen und Schülern?*

Die Ergebnisse der ROSE-Studie (vgl. z. B. Schreiner & Sjøberg, 2007, S. 10) deuteten bereits darauf hin, dass Schülerinnen und Schüler in den westlichen Industrienationen im Durchschnitt keine besonders szientistischen Ansichten vertreten. Dabei waren die Ansichten der Jungen etwas szientistischer als die der Mädchen. Die Frage war, ob sich diese Ergebnisse mit der Szientismus-Skala bestätigen würden.

b) *Welche Ansichten vermuten Schülerinnen und Schüler bei Physikern? Gibt es dabei Unterschiede zwischen Mädchen und Jungen?*

Hinsichtlich der Einschätzung von Physikern deuteten die Interviews von Hansson und Lindahl (Hansson & Lindahl, 2007) darauf hin, dass mit der Naturwissenschaft ein eher szientistisches Weltbild assoziiert wird. Die Hypothese war, dass sich dies in den Einschätzungen der Ansichten von Physiker/innen auf der Szientismus-Skala widerspiegeln würde. Außerdem konnte vermutet werden, dass sich die geringere Identifikation von Mädchen mit Physik als Schulfach und Forschungsdisziplin in einer größeren Diskrepanz niederschlagen würde (vgl. z. B. Höttecke, 2001, S. 10).

c) *Mit welcher Häufigkeit finden sich die in Tabelle 3.1 beschriebenen vier Typen?*

Aufgrund der Annahme, dass die Schülerinnen und Schüler Physiker in der Regel szientistischer einschätzen als sich selbst, war zu vermuten, dass die Kombination IV eher selten auftreten würde. Für die anderen Typen existierten keine Hypothesen hinsichtlich der Häufigkeit ihres Auftretens.

(B) Szientismus und Interesse an Physik

a) *Gibt es einen Zusammenhang zwischen szientistische Ansichten und dem Interesse an Physik?*

Vermutet jemand, dass sich für ihn bedeutsame Fragen naturwissenschaftlich beantworten lassen, könnte dies zu einem hohen Interesse an den Naturwissenschaften führen, da in ihnen dann eine wichtige Quelle für das Verständnis der Welt gesehen wird (aus Sicht der Interessentheorie müssen für die Entwicklung eines individuellen Interesses jedoch weitere Voraussetzungen - insbesondere eine hinreichende Befriedigung der »basic needs« - erfüllt sein). Umgekehrt könnte ein hohes Interesse (das verschiedene Ursachen haben kann) eine vergleichsweise intensive Beschäftigung mit der Naturwissenschaft zu Folge haben. Wird dabei die Erfahrung gemacht, dass diese sehr leistungsfähig in der Beschreibung und Erklärung von Phänomenen ist, könnte dies zu der Vermutung führen, dass sich die meisten oder alle Probleme naturwissenschaftlich klären lassen. Die Vermutung war also, dass Szientismus und das Fachinteresse an Physik positiv miteinander korrelieren.

- b) *Ist eine Diskrepanz zwischen den eigenen und den bei Physikern vermuteten Ansichten mit einem geringeren Interesse an Physik verbunden?*

Hier war die Vermutung, dass eine große Diskrepanz zwischen den eigenen und den vermuteten Ansichten zu einer geringen Identifikation mit den Zielen und Inhalten des Faches Physik führen und so das Interesse vermindern könnte.³ Die Ergebnisse der Interviewstudie von Hansson und Lindahl deuteten ebenfalls in diese Richtung.

(C) Wirkung der Unterrichtseinheit

- a) *Verändert die Unterrichtseinheit die eigenen und die bei Physikern vermuteten Ansichten über die Reichweite der Naturwissenschaften?*

Es wurde erwartet, dass nach dem Unterricht zur Kosmologie die Reichweite der Naturwissenschaften ähnlich oder etwas größer eingeschätzt wird, da hier an einem Beispiel die Möglichkeiten physikalischen Forschung aufgezeigt werden. Der wissenschaftstheoretische Teil sollte in der Tendenz einen entgegengesetzten Einfluss haben, da hier Grenzen thematisiert werden. Falls Schüler davon ausgehen, dass Physikern diese Grenzen auch bewußt sind, könnten sie deren durchschnittliche Haltung dann ebenfalls als weniger szientistisch

³ Studien zum »Self-to-prototype matching« (vgl. z. B. Hannover und Kessels (2004)) zeigen einen entsprechenden Zusammenhang hinsichtlich anderer Persönlichkeitsmerkmale. Vielen Dank an Dietmar Höttecke für den Hinweis auf diese Arbeiten.

vermuten⁴. Bei Schülern mit sehr diskrepanten Einschätzungen vor dem Unterricht (Gruppe II), könnte dies zu einer Verringerung der Diskrepanz führen. Ein möglicher Einflussfaktor ist dabei der Lernerfolg. Es könnte sein, dass ein besseres Verständnis der Möglichkeiten bzw. Grenzen die erwarteten Effekte vergrößert.

- b) *Hat die Unterrichtseinheit eine Auswirkung auf das Interesse an Physik? Falls ja, gibt es Unterschiede zwischen Schülern mit kongruenten bzw. diskrepanten Ansichten?*

Die Vermutung war hier, dass die wissenschaftstheoretische Instruktion einen differenziellen Effekt auf das Interesse⁵ haben würde: bei nicht-szientistischen Schülern mit diskrepantem Weltbild (Gruppe II in Tabelle 3.1) wurde eine Zunahme des Interesses erwartet, sofern durch den Unterricht die Diskrepanz vermindert wird. Dies könnte gelingen, wenn ein zentrales Unterrichtsziel nachvollzogen würde, nämlich dass Naturwissenschaft nicht automatisch ein szientistisches Weltbild impliziere, sondern mit verschiedenen erkenntnistheoretischen Positionen verträglich sei. Bei Schülern mit szientistischer Auffassung und kongruentem Weltbild (Gruppe III) wurden unterschiedliche Effekte in Abhängigkeit vom Bedürfnis nach kognitiver Geschlossenheit erwartet: bei Schülern mit geringem Geschlossenheitsbedürfnis wurde kein Effekt auf das Interesse erwartet. Bei Schülern mit hohem Geschlossenheitsbedürfnis wurde vermutet, dass die Naturwissenschaft für sie attraktiv sein könnte, weil sie sich von ihr vergleichsweise klare und eindeutige Antworten erhoffen. Sollten sie aufgrund des Unterrichts zu dem Ergebnis kommen, dass für sie wichtige Fragen nicht naturwissenschaftlich entscheid- oder beantwortbar sind, so könnte dies ihr Interesse vermindern.

Ein weiterer Faktor, der das Fachinteresse kurzfristig beeinflussen könnte, ist die Interessantheit des Unterrichts.

- c) *Vergrößert die Unterrichtseinheit die fachlichen und wissenschaftstheoretischen Kenntnisse (zur Kosmologie bzw. zu den Methoden der Physik)?*

⁴ Es sei noch einmal darauf hingewiesen, dass eine Widerlegung szientistischer Überzeugungen *kein* Lernziel des Unterrichts ist. Vielmehr soll durch ihn deutlich gemacht werden, dass *verschiedene* - eben auch nicht-szientistische - Ansichten mit den methodologischen Prinzipien der Naturwissenschaft vereinbar sind.

⁵ Obwohl das Fachinteresse ein relativ stabiles Merkmal ist, wurde erwartet, dass eine Änderung des aktuellen Interesses sich (zumindest kurzfristig) in einer entsprechenden Änderung des Fachinteresses niederschlägt.

Es wurde erhofft, dass die fachliche wie auch die wissenschaftstheoretische Instruktion zu einer Zunahme des Wissens bei den im Unterricht behandelten Themenbereichen führen würde.

- d) *Wird die Unterrichtseinheit als motivierend und interessant empfunden? Welche Aspekte stoßen auf besonderes Interesse?*

Hier wurde, wenn nicht erwartet, so doch gehofft, dass der Unterricht als motivierend empfunden werden würde. In Interessensstudien wird der Kontext »Universum« sowohl von Jungen als auch von Mädchen als interessant angegeben (vgl. z. B. Elster (2007), Kahnt (2009)). Hinsichtlich der Wissenschaftstheorie bestand die Hoffnung, dass die für den Physikunterricht ungewöhnliche Thematisierung der Grenzen der Wissenschaft Physik neugierig machen könnte.

6.1.1. Messinstrumente

Im Folgenden sind die in der Studie zu verschiedenen Zeitpunkten erhobenen Variablen sowie die zugehörigen Messinstrumente aufgeführt.

- *Szientismus*. Für die Erfassung der Ansichten zur Reichweite der Naturwissenschaften wurde der selbst entwickelte Fragebogen eingesetzt (vgl. Kapitel 4). Er erhebt die eigenen Ansichten der Schüler/innen sowie die von ihnen bei Physiker/innen vermuteten Ansichten.
- *Interesse*. Hierfür wurden zehn (geringfügig veränderte) Items einer Skala für das Interesse am Fach Physik (*Fachinteresse*) von Horstendahl (1999) verwendet. Diese Skala basiert auf dem Fragebogen zum Studieninteresse (FSI) von Krapp, Schiefele, Wild und Winteler (1993). Die Items beziehen sich auf den *Physikunterricht* und sind unabhängig von konkreten fachlichen Inhalten.
- *Topologisches Interesse*. Hiermit ist das Interesse an verschiedenen Aspekten der im Unterricht behandelten Themengebiete (*Topoi*) gemeint. Für die Kosmologie und die Wissenschaftstheorie wurde jeweils eine Skala mit 8 bzw. 6 Items formuliert. Angelehnt an (L. Hoffmann et al., 1998) (vgl. auch Daniels (2008, S. 157ff)) wurde dabei versucht die Aspekte Kontext (z. B. Unterricht oder Forschung), Thema (z. B. Rotverschiebung oder Merkmale der physikalischen Methode) und Tätigkeit (z. B. Nachdenken, Begründen oder Diskutieren) zu berücksichtigen.
- *Interessantheit des Unterrichts*. Hierfür wurden vier Items einer Skala zur Messung der motivierenden Wirkung eines Unterrichtsthemas von

6. Quantitative Studie

(L. Hoffmann et al., 1998) eingesetzt; jeweils erhoben für den Unterricht zur Kosmologie und zur Wissenschaftstheorie. Die motivierende Wirkung dient hier als Maß für die Interessantheit des Themas. Ergänzend wurde (mit offenem Antwortformat) gefragt, welche Aspekte des Unterrichts gefallen bzw. nicht gefallen haben.

- *Kognitive Geschlossenheit.* Hierfür wurden 6 Items der deutschsprachigen Skala zum Bedürfnis nach kognitiver Geschlossenheit verwendet (vgl. z. B. Hänze (2002), Schlink und Walther (2007)).
- *Motivationale Orientierung.* Es wurde eine Subskala (12 Items) der SELLMO-Skalen zur motivationalen Orientierung (U. Berger et al., 2005) verwendet. Diese Skalen dienen der Erhebung verschiedener Motive für das Erbringen schulischer Leistungen. Die Items sind unabhängig von Schulfächern oder Unterrichtskontexten formuliert.
- *Wissen.* Es wurden jeweils Tests zum fachliche Wissen für die Kosmologie und die Wissenschaftstheorie entwickelt. Die Aufgaben zur Wissenschaftstheorie beziehen sich auf die im Unterricht behandelten methodischen Merkmale der Physik. Als Antworten waren frei formulierte Begründungen und Stellungnahmen gefordert. Die Aufgaben zur Kosmologie besitzen verschiedene Antwortformate, darunter Multiple Choice, frei formulierbare Texte und graphische Darstellungen. Die Bewertung erfolgte jeweils anhand einer Musterlösung.
- Außerdem wurden Schule, Alter, Geschlecht, Jahrgangsstufe, Kurstyp (Grund- Leistungskurs, Seminarfach) und die letzte Zeugnisnote in Physik erhoben.

Alle eingesetzten Fragebögen und Tests finden sich in Anhang A.1.3.

6.1.2. Untersuchungsplan und Ablauf

Die Untersuchung wurde als Längsschnittstudie im Panel-Design durchgeführt, d. h. alle Schüler/innen der Stichprobe nahmen an der gesamten Unterrichtseinheit teil⁶ Die Messzeitpunkte waren vor und nach dem Unterricht zur Kosmologie sowie nach dem Unterricht zur Wissenschaftstheorie. Die Tests erfolgten in der Regel jeweils direkt vor bzw. nach dem Unterricht; sofern dies nicht möglich

⁶ Prinzipiell ist ein experimenteller Untersuchungsplan für eine Prüfung des Effektes einer Intervention angemessener. Kosmologie und Wissenschaftstheorie sind jedoch nicht Teil des Curriculums, so dass es nicht leicht war Lehrkräfte für die Teilnahme an der Untersuchung zu gewinnen. Es wurde daher entschieden, alle verfügbaren Schüler an dem neu entwickelten Unterricht teilhaben zu lassen. Siehe aber Abschnitt 6.2.4 für eine ergänzende Studie mit experimentellem Design.

war im Abstand weniger Tage. Ein kleiner Teil der Stichprobe (ca. 20 %) nahm an einem weiteren (»verzögerten«) Test etwa sechs Wochen nach dem letzten Unterricht teil. Abbildung 6.1 fasst den Untersuchungsplan zusammen.

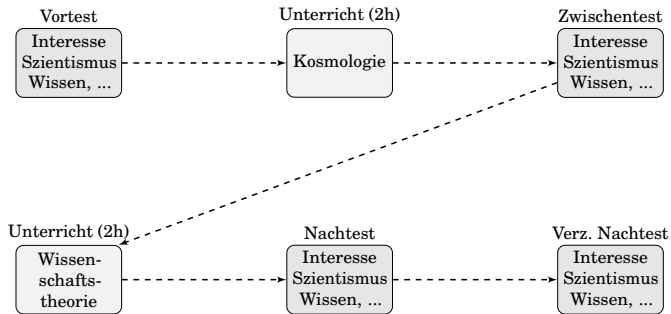


Abb. 6.1. Untersuchungsplan der Studie.

Zur weiteren Validierung wurde mit einigen Schülern nach Abschluss der Unterrichtseinheit kurze Interviews geführt. Außerdem wurde in zwei Klassen der Unterricht zur Wissenschaftstheorie mit Audiorekordern aufgezeichnet. Die Ergebnisse der Validierung sind in Abschnitt 6.2.4 zusammengefasst.

Insgesamt nahmen an der Untersuchung 233 Schülerinnen und Schüler aus 11 Klassen der gymnasialen Oberstufe (Klasse 11 bis 13) teil. Beteiligt waren 4 Schulen aus Niedersachsen und 3 aus Nordrhein-Westfalen. Der Unterricht fand in der Regel im Fach Physik statt⁷ und wurde in 8 Fällen von den jeweiligen Lehrkräften, zweimal vom Verfasser dieser Arbeit und einmal von Prof. Berger durchgeführt.

6.2. Ergebnisse

In diesem Abschnitt werden die Resultate der statistischen Analyse der Daten vorgestellt.

Auswertungsverfahren Die Auswertung erfolgt - soweit nicht anders angegeben - im Rahmen der klassischen Testtheorie, d. h. die Werte der gemessenen Variablen werden als arithmetisches Mittel der Antworten auf die Items einer

⁷ Zweimal wurde der Unterricht in einem Seminarfach mit naturwissenschaftlichem Schwerpunkt durchgeführt. Das Seminarfach wird in Niedersachsen in der gymnasialen Oberstufe angeboten und soll interdisziplinäre Inhalte behandeln.

6. Quantitative Studie

Skala berechnet. Alle Likert-Skalen sind fünfteilig und wurden mit Werten von 1 bis 5 kodiert⁸. Invertierte Items wurden rekodiert. Die Interpretation der gemessenen Werte ist daher für alle Variablen einheitlich: Der Wert 1 entspricht der minimalen, der Wert 5 der maximalen Ausprägung eines Merkmals.

Die Prüfung der Signifikanz von Mittelwertunterschieden zwischen zwei Variablen einer Stichprobe bzw. zwischen zwei Stichproben hinsichtlich einer Variable erfolgt mit Hilfe von t-Tests. Bei Mehrfachvergleichen werden dabei - soweit nicht anders angegeben - Bonferroni-korrigierte Signifikanzniveaus zugrunde gelegt⁹. Da die Annahme normalverteilter Variablen häufig verletzt ist, werden zusätzlich jeweils auch nicht-parametrische Tests durchgeführt (Wilcoxon-Test bzw. Mann-Whitney-Test). Der Einfluss der Instruktion auf die Szientismus-Variablen bzw. das Interesse wird mit Hilfe gemischter linearer Regressionsmodelle geprüft. Diese erlauben es Korrelationen zwischen verschiedenen Messzeitpunkten bei möglicherweise unvollständigen Datensätzen zu modellieren und zu schätzen. Insbesondere bei Untersuchungen mit Messwiederholung liegen häufig solche Bedingungen vor. Zum Vergleich wird jeweils auch eine »traditionelle« Varianzanalyse durchgeführt¹⁰. Ergänzend wird als nicht-parametrischer Test der Friedman-Test für verbundene Stichproben verwendet. Berichtet werden die Ergebnisse dieser beiden Verfahren allerdings nur wenn sich bezüglich der Signifikanz des Gesamteffektes oder der paarweisen Vergleiche der Mittelwertdifferenzen nennenswerte Unterschiede zu dem gemischten Regressionsmodell ergeben. In Anhang A.3 findet sich weitere Erläuterungen zu diesen Verfahren sowie Hinweise zur verwendeten Software. Wie in der psychologischen Literatur üblich werden die Ergebnisse eines Tests in der Form 'Teststatistik (Freiheitsgrade) = Testwert, Signifikanzniveau' angegeben.

Für die Ansichten zum Szientismus und ihrem Zusammenhang mit dem Interesse an Physik sind auch die Daten der Vor- und Validierungsfragebögen (vgl. die Abschnitte A.2.4 sowie 4.2.3) relevant und werden in die Auswertung einbezogen. In den folgenden Tabellen und Abbildungen werden die drei Erhebungen kurz

8 In der Sprechweise von Kapitel 4 entspricht dies folgendem Messmodell: Jedes Item trägt mit der gleichen Ladung zur gemessenen latenten Variablen bei und die Schwellenwerte der Itemkategorien sind äquidistant.

9 Die Tests zur Prüfung auf Signifikanz sind Standardverfahren, die in der verwendeten Statistik-Software implementiert sind. Die Bonferroni-Korrektur gilt als konservativ. Vor Anwendung von t-Tests wird die Varianzgleichheit mit einem Levene-Test geprüft. Ist er signifikant, wird stattdessen der Welch-Test angegeben. Die nicht-parametrischen Tests sind Rangsummentests, die keine Normalverteilung voraussetzen.

10 Als Varianzanalysen bzw. ANOVAs bezeichnet man in der Psychologie die Untersuchung spezieller linearer Regressionsmodelle. Sie lassen sich als Spezialfälle gemischter Modelle auffassen. Vorausgesetzt wird hier unter anderem, dass die Fehler der abhängigen Variablen unabhängig, normalverteilt und varianzgleich («homoskedastisch») sind. Laut Bortz und Schuster (2010) sind die Ergebnisse in vielen Anwendungsfällen allerdings relativ robust gegenüber (nicht allzu starken) Verletzungen ihrer Voraussetzungen.

mit 'Studie', 'Vorfragebogen' und 'Validierung' bezeichnet. Die vier Messzeitpunkte der Längsschnittstudie werden in Tabellen mit 'vor' (vor dem Unterricht zur Kosmologie), 'zwischen' (zwischen Kosmologie und Wissenschaftstheorie), 'nach' (nach dem Unterricht zur Wissenschaftstheorie) und 'nach verz.' für den verzögerten Nachtest gekennzeichnet.

Allgemeine Daten zu den Stichproben Tabelle 6.1 fasst allgemeine Daten zu den Schülerinnen und Schülern der drei Erhebungen zusammen. Auffällig ist die vergleichsweise geringe Zahl von Mädchen in der Stichprobe der Studie. Dies ist vermutlich darauf zurückzuführen, dass es sich hier in der Mehrheit um Physik-Kurse handelt und das Fach Physik bevorzugt von Jungen gewählt wird. Ebenfalls bemerkenswert ist der Unterschied in der Note in Physik zwischen Studie und Vorfragebogen: die Schülerinnen und Schüler des Vorfragebogens haben im Mittel eine signifikant bessere Note ($p < 0.001$). Ob dies mit der unterschiedlichen regionalen Herkunft (Niedersachsen/Nordrhein-Westfalen bzw. Hessen) zusammenhängt, ist nicht bekannt.

Tab. 6.1. Deskriptive Daten zu Geschlecht und Schule.

Variable	Studie	Vorfragebogen	Validierung ^a
<i>N</i>	233	888	227
<i>Geschlecht</i>			
Mädchen	66	405	122
Jungen	137	470	96
unbekannt	30	13	9
<i>Jahrgang</i>			
11	132	458	134
12	84	267	93
13	17	163	-
<i>Kurse^b</i>			
Grundkurs	120	.	83
Leistungskurs	94	.	14
Sonstige	19	.	130
<i>Schulnote in Physik^c</i>	2,76	2,42	.

^a Es werden hier nur Schüler/innen (keine Studierenden) berücksichtigt.

^b Der Kurstyp wurde für den Vorfragebogen nicht erhoben. In der Studie handelt es sich um das Seminarfach, bei der Validierung um andere Schulfächer als Physik.

^c Angegeben ist der Mittelwert basierend auf $N = 208$ (Studie) bzw. $N = 865$ (Vorfragebogen) Schüler/innen. Bei der Validierung wurde die Schulnote nicht erhoben.

6.2.1. Szientismus

Die Ergebnisse zu den Ansichten zur Reichweite der Naturwissenschaften sind für jede der drei Erhebungen getrennt in Tabelle 6.2 dargestellt. Angegeben sind die Mittelwerte und Standardabweichungen bei den eigenen Ansichten und den bei Physikern vermuteten Ansichten zur Reichweite der Naturwissenschaften ('Szientismus Schüler' bzw. 'Szientismus Physiker'). Außerdem wird zwischen Jungen und Mädchen unterschieden. Alle drei Erhebungen zeigen die einheitliche Tendenzen: Bei den eigenen Ansichten sind Jungen etwas szientistischer als Mädchen, aber alle Mittelwerte sind kleiner als der Wert 3, den man bei einer Skala von 1 (»trifft gar nicht zu«) bis 5 (»trifft ganz genau zu«) als mittlere oder indifferente Position auffassen könnte¹¹. Physiker schätzen Jungen wie Mädchen dagegen deutlich szientistischer als sich selbst ein. Dies gilt für alle drei Erhebungen, allerdings unterscheiden sich die absoluten Werte durchaus erheblich. Zur Prüfung der Abhängigkeit von der Erhebung wurde eine Regression der Szientismus-Variablen mit den den Kovariablen Geschlecht und Erhebung durchgeführt. Tatsächlich ergibt sich bei den eigenen Ansichten eine schwache, aber signifikante Abhängigkeit von der Erhebung ($\beta_{\text{Erhebung}} = 0.07$, $p = 0.017$, zum Vergleich: $\beta_{\text{Geschlecht}} = 0.22$, $p < 0.001$)¹². Bei den vermuteten Ansichten der Physiker ist der Einfluss nicht signifikant. Warum sich insbesondere die Werte für den Szientismus der Schüler/innen zwischen Studie und Vorfragebogen um mehr als eine halbe Standardabweichung unterscheiden ist unklar. Unterschiede zwischen den Stichproben sind die regionale Herkunft (beim Vorfragebogen stammt ein großer Teil der Schüler/innen aus Hessen, bei der Studie aus Niedersachsen bzw. Nordrhein-Westfalen) sowie eine im Schnitt schlechtere Zeugnisnote bei der Stichprobe der Studie. Auch die Einbettung der Items in den Fragebogen könnte relevant sein, insbesondere weil beim Vorfragebogen die zehn Items der Skala Teil eines Pools von 66 verwandten Items sind.

Am Beispiel der Stichprobe des Vorfragebogens verdeutlichen die Histogramme in Abbildung 6.5 noch einmal die Verteilung der Ansichten¹³. Der Unterschied zwischen den eigenen und den vermuteten Ansichten ist augenfällig. Bei den eigenen Ansichten ist außerdem ein Bodeneffekt erkennbar.¹⁴

11 Diese Interpretation ist normativ in dem Sinne, dass sie die theoretische Einschätzung der Testentwicker und -auswerter widerspiegelt und sich nicht an den statistischen Daten orientiert. Dieser Standpunkt wurde auch schon bei der Wahl des klassischen Messmodells eingenommen. Es sei auch noch einmal betont, dass das Adjektiv 'szientistisch' hier stets nur zur Kennzeichnung einer Position relativ zur verwendeten 'Szientismus'-Skala dient.

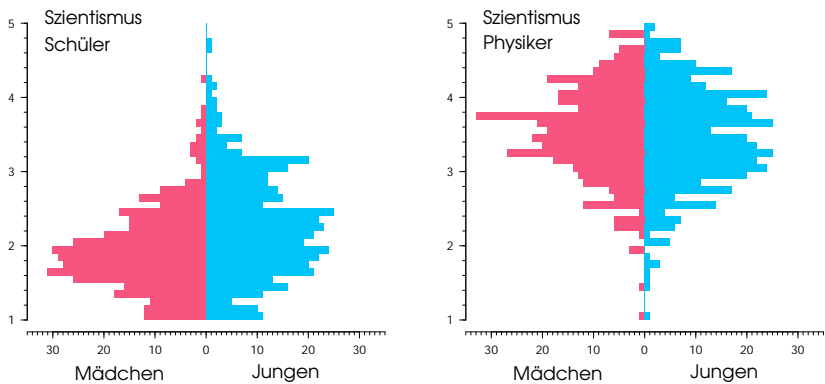
12 Mit β seien im Folgenden stets die Regressionskoeffizienten standardisierter Kovariablen bezeichnet. Für die gewöhnlichen Koeffizienten wird b verwendet.

13 Aufgrund der signifikanten Unterschiede zwischen den Mittelwerten der drei Erhebungen wurden die Stichproben hier nicht zusammengefasst

14 In Abbildung 6.2 und 6.5 (s. u.) wurden nur Schüler/innen berücksichtigt, die alle drei Skalen

Tab. 6.2. Szientismus.

Erhebung		Szientismus Schüler			Szientismus Physiker		
		Mädchen	Jungen	Alle	Mädchen	Jungen	Alle
Studie ^b	Mittelwert	2.57	2.68	2.59	3.9	3.7	3.75
	SD ^a	0.61	0.71	0.71	0.58	0.77	0.7
	N	55	107	184	55	107	184
Vorfragebogen	Mittelwert	2.04	2.32	2.19	3.59	3.49	3.54
	SD	0.57	0.7	0.66	0.63	0.67	0.65
	N	405	470	880	399	464	868
Validierung	Mittelwert	2.19	2.54	2.34	3.93	3.75	3.85
	SD	0.64	0.83	0.75	0.7	0.81	0.75
	N	122	96	227	121	94	224

^a Standardabweichung.^b Basierend auf dem Fragebogen vor dem Unterricht zur Wissenschaftstheorie.**Abb. 6.2.** Eigener Szientismus der Schüler/innen (links) versus vermuteter Szientismus bei Physiker/innen (rechts). Erhebung: Vorfragebogen; N = 758 (359 Mädchen, 399 Jungen).

(‘Szientismus Schüler’, ‘Szientismus Physiker’ und ‘Interesse an Physik’) vollständig bearbeitet hatten. Dies hat die Verringerung der Stichprobengröße auf N = 758 zur Folge. Wie an den Histogrammen in Abbildung 6.2 erkennbar, erfasst die Szientismus-Skala das Spektrum ausgeprägt nicht-szientistischer Einstellungen von Schüler/innen offenbar nicht vollständig - die Verteilung ist nach unten hin »abgeschnitten« (vgl. auch Abschnitt 4.2.2). Geht man von einer symmetrischen Verteilung der Ansichten aus, so überschätzen die gemessenen Mittelwerte also Erwartungswert. Die Schüler/innen sind also vermutlich tendenziell noch etwas weniger szientistisch eingestellt.

6. Quantitative Studie

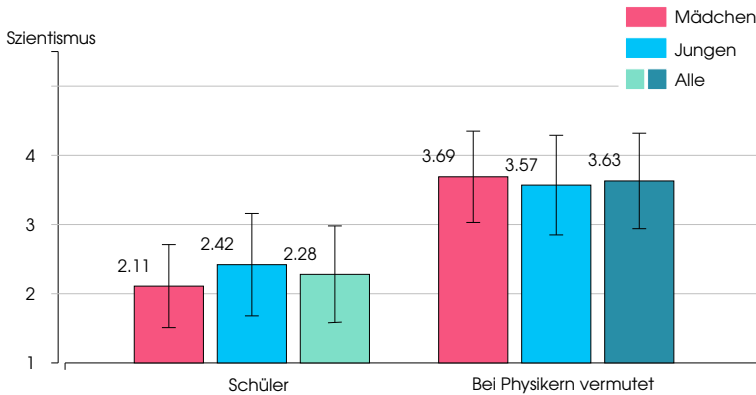


Abb. 6.3. Eigene und bei Physikern vermutete Ansichten zur Reichweite der Naturwissenschaften. Zusammenfassung aller Stichproben (N = 1202; 555 Mädchen, 647 Jungen).

In Abbildung 6.3 sind die drei Stichproben zusammengefasst. Ein Mittelwert von 2.28 bei den eigenen Ansichten deutet darauf hin, dass Schülerinnen und Schüler insgesamt offenbar nicht allzu szientistisch eingestellt sind. Die Auffassungen von Physiker/innen dagegen werden offensichtlich wesentlich anders eingeschätzt. Der bei ihnen vermutete Szientismus liegt fast zwei Standardabweichungen darüber, entsprechend einer Effektstärke¹⁵ von $d = 1.9$. Wie zu erwarten ist der t-Test signifikant mit $t(1189) = 57.684$, $p < 0.001$. Der Wilcoxon-Test bestätigt dies mit $Z = 29.28$, $p < 0.001$. Deutlich geringer, aber immer noch signifikant sind die Unterschiede zwischen Mädchen und Jungen: Bei den eigenen Ansichten sind die Jungen etwas szientistischer als die Mädchen. Ein t-Test ergibt ein signifikantes Ergebnis mit $t(1159) = 7.85$, $p < 0.001$ ¹⁶. Der Mann-Whitney-Test ist ebenfalls signifikant mit $U = 124366$, $p < 0.001$. Der Effekt ist mit $d = 0.4$ von mittlerer Stärke. Bei der Einschätzung der Physiker

Wir vernachlässigen diesen Effekt jedoch im Folgenden. Die Skala zum Interesse am Fach Physik scheint dagegen an beiden Enden (sehr uninteressierte Mädchen, sehr interessierte Jungen) wenig sensitiv (vgl. Abb. 6.5). Dies mag damit zusammenhängen, dass hier lediglich eine aus drei Items bestehende Kurzskaala eingesetzt wurde.

- 15** Die Effektstärke ist ein Maß für den Unterschied von Mittelwerten in Einheiten der Standardabweichung. Im Folgenden wird hierfür stets Cohens d in der Form $d = \frac{|\bar{x}_1 - \bar{x}_2|}{\sigma_{pooled}}$ mit der gepoolten

Standardabweichung $\sigma_{pooled} = \sqrt{\frac{(n_1 - 1)s_1^2 + (n_2 - 1)s_2^2}{n_1 + n_2 - 2}}$ angegeben. Dabei sind $\bar{x}_{1,2}$ die empirischen Mittelwerte, $s_{1,2}$ die Standardabweichungen und n_1, n_2 die Stichprobengrößen. Dunlap, Cortina, Vaslow und Burke (1996) folgend wird dieses Maß auch für abhängige Stichproben verwendet.

- 16** Der Levene-Test auf Varianzgleichheit ist hier signifikant. Ein Welch-Test bestätigt aber das Ergebnis des t-Tests mit gleicher Signifikanz

ist die Situation interessanterweise umgekehrt: Mädchen schätzen Physiker wissenschaftlicher ein als Jungen. Der Effekt ist mit $d = 0.2$ schwach, aber signifikant. Ein t-Test ergibt $t(1152) = 2.9$, $p = 0.004$. Der Mann-Whitney-Test $U = 151500$, $p = 0.06$. Beide Effekte sind in Übereinstimmung mit der Vermutung, dass bei Mädchen die Diskrepanz zwischen eigenen und vermuteten Ansichten größer ist als bei Jungen. Der t-Test für die Szientismus-Diskrepanz liefert $t(1152) = 9.5$, $p = 0.001$; der Mann-Whitney-Test $U = 222607$, $p < 0.001$. Die Effektstärke beträgt $d = 0.6$.

Zusammengefasst lässt sich festhalten:

1. Die große Mehrheit der Schülerinnen und Schüler besitzt keine wissenschaftlichen Ansichten.
2. Mädchen schätzen die Reichweite der Naturwissenschaften im Mittel etwas geringer ein als Jungen ($d = 0.4^{***}$)¹⁷.
3. Schülerinnen und Schüler vermuten, dass Physiker/innen die Möglichkeiten der Naturwissenschaften deutlich größer einschätzen als sie selbst es tun ($d = 1.9^{***}$).
4. Bei Mädchen ist die Diskrepanz zwischen eigenen und vermuteten Ansichten größer als bei Jungen ($d = 0.6^{***}$).

In Hinblick auf mögliche Wirkungen der wissenschaftstheoretischen Instruktion wurden vier verschiedene Kombinationen von eigenem und bei Physikern vermutetem Szientismus unterschieden; vgl. Tabelle 3.1. Um deren Verteilung in den Stichproben zu verdeutlichen, zeigt Abbildung 6.4 einen Streuplot bei dem die beiden Dimensionen gegeneinander aufgetragen sind. Wie vermutet, kommt die Kombination III (hoher eigener Szientismus/geringer vermuteter Szientismus) so gut wie nicht vor. Überhaupt ist es sehr selten, dass die Einschätzung der Physiker unter der eigenen liegt (Punkte rechts der roten Linie). Zur Charakterisierung der vier Gruppen kennzeichnen die vier Bögen in der Abbildung jeweils Punkte mit gleichem (euklidischen) Abstand von den jeweiligen Eckpunkten. Diese stellen die Extrempositionen innerhalb der Gruppen dar. Ein Datenpunkt wird zu einer Gruppe gezählt, wenn sein Abstand von der nächstgelegenen Extremposition kleiner als 2 ist¹⁸, so dass sich auf Basis dieses

¹⁷ Die Sternchen dienen hier und im Folgenden der Angabe von (zweiseitigen) Signifikanzniveaus. Wie üblich gelte dabei die Zuordnung: *** ($p < 0.001$), ** ($p < 0.01$), * ($p < 0.05$).

¹⁸ Natürlich ist dieses geometrische Kriterium der Aufteilung willkürlich. Es entspricht aber dem hier in der Auswertung eingenommenen »normativen« Standpunkt. Eine Clusterung nach statistischen Kriterien erscheint hier weniger angemessen und wäre zudem ebenso willkürlich. Letztlich geht es

6. Quantitative Studie

Kriteriums maximale, disjunkte Gruppen ergeben. Bei dieser Einteilung entfallen 11 % auf Gruppe I, 47 % auf Gruppe II, 9 % auf Gruppe III, weniger als 0,2 % auf Gruppe IV. Diese Zahlen spiegeln nochmals die bisherigen Ergebnisse wider. Interessant ist, dass die Gruppen I und II, also diejenigen mit »kongruenten« Einschätzungen, ähnlich groß sind.

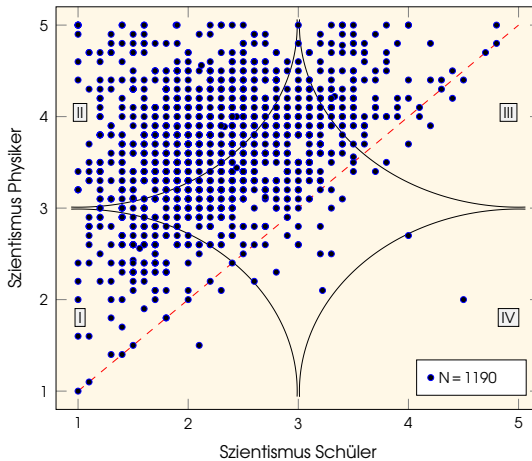


Abb. 6.4. Der bei Physikern vermutete Sziientismus versus die eigene Ansicht der Schülerinnen (Daten aus allen Erhebungen). Die Datenpunkte sind semitransparent, so dass Überlagerungen dunkler erscheinen. Verteilung auf die einzelnen Bereiche: I: 127, II: 554, III: 110, IV: 2, Übrige: 397.

6.2.2. Sziientismus & Interesse an Physik

In den drei Erhebungen wurde neben dem Sziientismus auch das Interesse an Physik erhoben. Aufgrund der verschiedenen Zielsetzungen und Zusammensetzungen der Stichproben wurden allerdings unterschiedliche Skalen verwendet: In der Studie und beim Vorfragebogen wurde das Fachinteresse (s. o.), bei der Validierung das Sachinteresse ermittelt. Zudem wurde beim Vorfragebogen lediglich eine Kurzskala mit drei Items verwendet. Bevor die Ergebnisse zum Zusammenhang zwischen Sziientismus und Interesse vorgestellt werden, sei am Beispiel dieser Kurzskala (und der recht großen Stichprobe) der Unterschied zwischen Mädchen und Jungen hinsichtlich ihres Interesses an Physik demonstriert: Die Histogramme in Abbildung 6.5 zeigen augenfällig, dass Jungen im

hier nur darum einen Eindruck von der Häufigkeit der vier Kombinationen zu gewinnen.

Durchschnitt interessierter sind. Diese Beobachtung bestätigt die Ergebnisse zahlreicher anderer Untersuchungen.

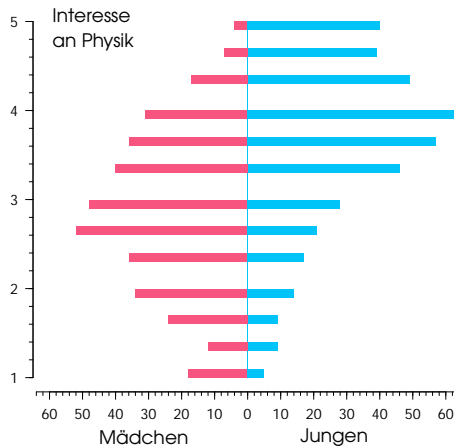


Abb. 6.5. Interesse am Fach Physik (Kurzsкала): Mädchen versus Jungen. Stichprobengröße: N = 758 (359 Mädchen, 399 Jungen).

Hinsichtlich des Zusammenhangs von Fachinteresse und Szientismus war die Vermutung, dass die Diskrepanz zwischen den eigenen und den bei Physikern vermuteten Ansichten negativ mit dem Interesse an Physik korrelieren. Bei allen drei Erhebungen wurde diese Vermutung bestätigt. Die negative Korrelation war dabei stets mit einer etwas kleineren positiven Korrelation zwischen den eigenen Ansichten und dem Szientismus verbunden. Tabelle 6.3 zeigt die Werte: Es sei nochmals darauf hingewiesen, dass in den Erhebungen verschiedene Skalen für das Interesse eingesetzt wurden. Nichtsdestotrotz sind die Werte ähnlich. Die höchsten Korrelationen zeigen sich in der Längsschnittstudie. Einen visuellen Eindruck geben die Streudiagramme in den Abbildungen 6.6 und 6.7. Abbildung 6.6 zeigt den Zusammenhang zwischen den eigenen Ansichten der Schüler und dem Fachinteresse in der Studie. Ein linearer Fit¹⁹ ergibt einen Regressionskoeffizienten von 0.5. Die zugehörige Regressionsgerade ist rot eingezeichnet. Für den in Abbildung 6.7 dargestellten Zusammenhang zwischen Szientismus-Diskrepanz und Fachinteresse ergibt sich eine Steigung von -0.5.

¹⁹ Da die Streudiagramme keine stark nicht-linearen Verläufe nahe legen, wird ein linearer Zusammenhang zugrunde gelegt.

6. Quantitative Studie

Tab. 6.3. Pearson-Korrelationen zwischen *Interesse an Physik* und *Szientismus*.

Erhebung	N	r^a	p	r^b	p
Vorfragebogen	757	0.33	< 0.001	-0.40	< 0.001
Validierung ^c	224	0.25	< 0.001	-0.40	< 0.001
Studie ^d	182	0.42	< 0.001	-0.47	< 0.001

^a Korrelation zwischen Interesse & Szientismus.

^b Korrelation zwischen Interesse & Szientismus-Diskrepanz.

^c Teilstichprobe Schüler.

^d Zwischenfragebogen.

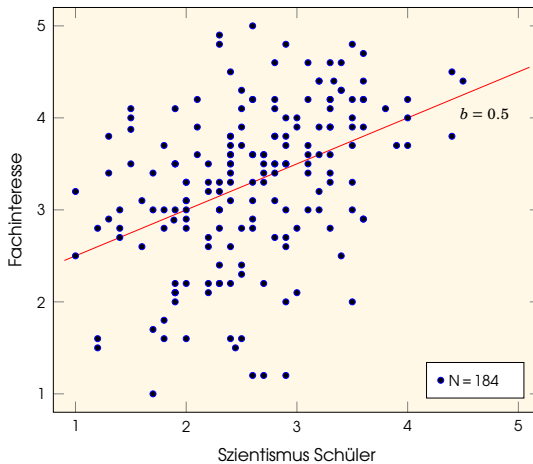


Abb. 6.6. Zusammenhang von Szientismus (eigene Ansicht) und Fachinteresse (Studie, Zwischenfragebogen).

Es stellt sich hier natürlich die Frage, inwieweit dies auf die Korrelation der eigenen Ansichten mit dem Interesse zurückzuführen ist. In der Tat zeigt die Auftragung des Interesses gegen die bei Physikern vermuteten Ansichten (Abbildung 6.8) nur einen schwachen Zusammenhang. Die Steigung ist mit -0.14 zwar negativ, aber nicht signifikant ($p = 0.1$).

Eine Regression, die sowohl die eigenen Ansichten als auch die bei Physikern vermuteten einbezieht, zeigt jedoch, dass letztere sehr wohl einen signifikanten - wenn auch geringeren - Einfluss auf das Fachinteresse haben (6.4): Der Regressionskoeffizient von »Szientismus Physiker« ist signifikant, auch wenn er mit -0.32 nur gut halb so groß ist wie der Wert 0.57 von »Szientismus Schüler«²⁰

²⁰ Dies könnte allerdings zum Teil in einem »Deckeneffekt« begründet sein, da viele Einschätzungen

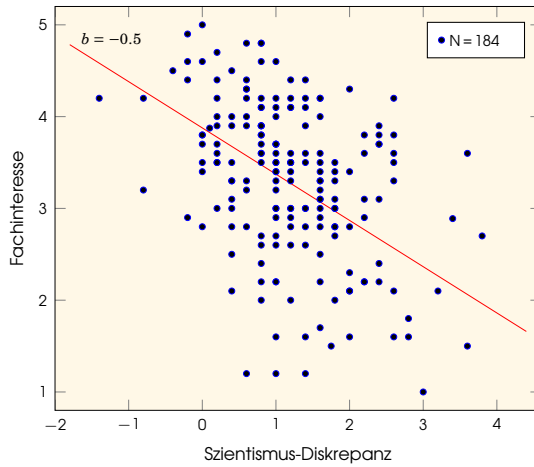


Abb. 6.7. Zusammenhang von Szientismus-Diskrepanz und Fachinteresse (Studie, Zwischenfragebogen).

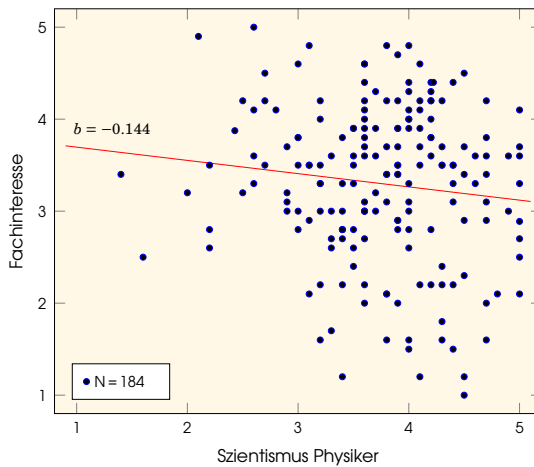


Abb. 6.8. Zusammenhang von Szientismus (bei Physikern vermutete Ansicht) und Fachinteresse (Studie, Zwischenfragebogen).

Aufgrund der signifikanten Unterschiede zwischen Mädchen und Jungen bei Szientismus und Fachinteresse wurde das Geschlecht ebenfalls in die Regression aufgenommen. Die Geschlechtszugehörigkeit hat einen geringeren Einfluss auf

der Physiker am oberen Ende der Skala angesiedelt sind.

Tab. 6.4. Regression zum *Fachinteresse*.

Variable	b^a	σ_n^b	β^c	t^d	p
Konstante	3.11	0.33		9.47	< 0.001
<i>Szientismus Physiker</i>	-0.32	0.10	-0.28	-3.64	< 0.001
<i>Szientismus Schüler</i>	0.57	0.10	0.48	6.40	< 0.001
<i>Geschlecht</i>	-0.21	0.12	-0.12	-1.67	0.01

$R^2 = 0.24$, $F(157) = 16.65$, $p < 0.001$.

^a Regressionskoeffizient.^b Standardfehler.^c Standardisierter Regressionskoeffizient.^d t -Statistik.

das Interesse als die Szientismus-Variablen, ist aber nach wie vor eine signifikante Kovariable. Ein erweitertes Modell mit Interaktionen zwischen Geschlecht und Szientismus-Variablen ergab keinen signifikanten Interaktionseffekt und keine höhere Modellgüte. Man beachte, dass, falls »Szientismus-Diskrepanz« anstelle von »Szientismus Physiker« als Kovariable gewählt wird, diese den Regressionskoeffizienten -0.32 und der Koeffizient von »Szientismus Schüler« den Wert $0.57 + (-0.32) = 0.25$ erhält.

Zusammenfassung Die wesentlichen Ergebnisse zum Zusammenhang zwischen szientistischen Ansichten und Fachinteresse sind:

1. Es existiert eine positive Korrelation zwischen szientistischen Ansichten und dem Interesse am Fach Physik ($r = 0.42^{***}$).
2. Eine höhere Diskrepanz zwischen den bei Physikern vermuteten und den eigenen Ansichten ist mit einem geringeren Interesse an Physik verbunden ($b = -0.32^{***}$).
3. Die Diskrepanz hat einen größeren Einfluss auf das Fachinteresse als die Geschlechtszugehörigkeit ($|\Delta b| = 0.11^{**}$).

Diese quantitativen Resultate bestätigen die Hypothese, dass diskrepante Ansichten häufig mit einem verminderten Fachinteresse einhergehen.

6.2.3. Wirkung des Unterrichts

Für die vier in Tabelle 3.1 beschriebenen Schülertypen wurde eine zum Teil unterschiedliche Wirkung des Unterrichts prognostiziert. Legt man die gleichen Kriterien für die Gruppenzugehörigkeit wie in Abschnitt 6.2.1 zu Grunde, ergibt sich für die Stichprobe der Studie folgende Verteilung:

Gruppe I: 13 (7 %),

Gruppe II: 65 (35 %),

Gruppe III: 35 (19 %),

Gruppe IV: 1 (< 0,1 %),

Sonstige: 70 (< 38 %),

49 Schüler können aufgrund unvollständiger Daten nicht zugeordnet werden.

Auch in dieser Stichprobe ist Gruppe II - also Schüler mit großer Szientismus-Diskrepanz - mit 35 % am größten, gefolgt von Gruppe III mit 19 %. In Hinblick auf die erwarteten Effekte sind diese beiden Gruppen von besonderem Interesse.

Szientismus

Abbildung 6.9 zeigt die im Verlauf der Studie gemessenen Mittelwerte der beiden Szientismus-Variablen (eigene Ansichten bzw. bei Physikern vermutete Ansichten). Um die Änderungen visuell deutlicher zu machen, sind außerdem Trendlinien hinzugefügt. Als Maß für die Streuung der Werte sind jeweils »Fehlerbalken« mit der Breite von zwei empirischen Standardabweichungen eingezeichnet. Beide Variablen zeigen einen ähnlichen Verlauf: Nach dem Kosmologie-Unterricht ist ein leichter Anstieg, nach dem Wissenschaftstheorie-Unterricht ein leichter Abfall erkennbar. Beim verzögerten Nachtest - an dem allerdings nur etwa ein Drittel der Schüler teilgenommen hat - sind die Werte wieder geringfügig angestiegen.

Im Folgenden werden diese Änderungen statistisch modelliert und auf Signifikanz geprüft.

Szientismus: Schüler Tabelle 6.5 zeigt die anhand des gemischten Modells geschätzten Änderungen bei den eigenen Ansichten der Schüler im Laufe der Studie. Der Übersichtlichkeit halber sind die Messzeitpunkte in der Tabelle in folgender Weise durch Zahlen abgekürzt:

1: Vor dem Unterricht zur Kosmologie (Vortest).

2: Nach dem Unterricht zur Kosmologie (Zwischentest).

3: Nach dem Unterricht zur Wissenschaftstheorie (Nachtest).

6. Quantitative Studie

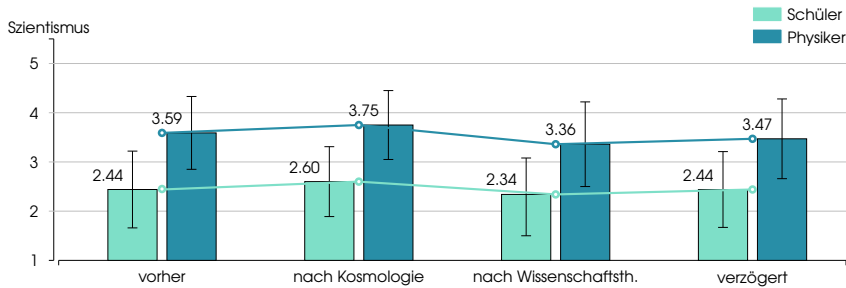


Abb. 6.9. Einfluss des Unterrichts auf den Szi-entismus.

4: Ca. sechs Wochen Nach dem Unterricht zur Wissenschaftstheorie (verzögerte Nachtest).

Tab. 6.5. Zeitliche Änderung der eigenen Ansichten (»Szi-entismus Schüler«).

Zeitpunkte	Änderung ^a	σ_n^b	d, f^c	p	d^d
1 - 2	-0.154	0.042	188.1	0.002	0.2
1 - 3	0.111	0.045	177.5	0.091	
1 - 4	0.036	0.060	83.1	1	
2 - 3	0.265	0.036	176.9	< 0.001	0.4
2 - 4	0.190	0.054	79.3	0.004	0.2
3 - 4	-0.075	0.051	66.2	0.849	

Haupteffekt Zeit: $F(3, 109) = 18.98, p < 0.001$.

^a Geschätzter Wert.

^b Standardfehler.

^c Freiheitsgrade.

^d Effektstärke (angegeben nur für signifikante Effekte).

Die Tabelle zeigt, dass sich die eigenen Ansichten im Laufe der Studie signifikant ändern (»Haupteffekt Zeit«). Den stärkeren Einfluss hat dabei offenbar der Unterricht zur Wissenschaftstheorie, der mit einer Effektstärke von 0.4 den Mittelwert der Szi-entismus signifikant verringert²¹. Beim verzögerten Nachtest hat sich die Stärke dieses Effektes halbiert, ist aber immer noch signifikant. Demgegenüber vergrößert der Unterricht zur Kosmologie zunächst den Szi-

²¹ Dieser Formulierung wird der Unterricht in nahe liegender Weise als Ursache der Änderung angenommen. Diese Annahme ist streng genommen nicht gerechtfertigt, zumal die Studie nicht experimenteller Natur ist. Um allzu umständliche Formulierungen zu vermeiden, wird diese - übliche - Sprechweise im Folgenden jedoch beibehalten.

tismus. Dieser Anstieg ist deutlich geringer als der Abfall infolge der zweiten Unterrichtseinheit, aber mit $p = 0.002$ immer noch hoch signifikant. Diese entgegengesetzten Effekte führen dazu, dass beide Unterrichtseinheiten zusammen die Ansichten nicht mehr in signifikanter Weise ändern. Der Wert sinkt zwar zwischen Zeitpunkt 1 und 3 noch um 0.111 ab, zum Zeitpunkt vier ist diese Änderung jedoch nahezu verschwunden.

Prüfung der Modellannahmen Im Q-Q-Plot zeigen sich am unteren Rand eine leichte Abweichung von der Normalverteilung. Der Kolmogoroff-Smirnov-Test ist allerdings mit $p = 0.234$ nicht signifikant.

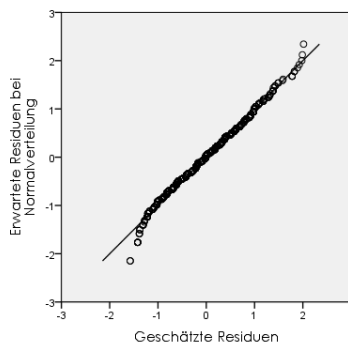


Abb. 6.10. Q-Q-Plot der Residuen. Auf der Ordinate sind die bei einer Normalverteilung erwarteten, auf der Abzisse die mit dem Modell geschätzten Werte aufgetragen.

Szientismus: Physiker In Tabelle 6.6 sind die Änderungen bei den vermuteten Ansichten von Physikern zusammengefasst. Tendenziell zeigt sich hier ein ähnliches Bild. Allerdings fallen die Änderungen und Effektstärken noch etwas größer als bei den eigenen Ansichten aus. Insbesondere verringert der Unterricht zur Wissenschaftstheorie den bei Physikern vermuteten Szientismus beträchtlich. Die Stärke dieses Effektes ist 0.5 für den Zeitpunkt direkt nach dem Unterricht und immer noch 0.4 beim verzögerten Nachtest. Der Effekt des gesamten Unterrichts (Zeitraum 1 - 4) ist jedoch auch hier wieder nicht signifikant.

Zusammengefasst lässt sich sagen, dass die explizite Thematisierung der Möglichkeiten und Grenzen der Physik sowohl die eigenen wie auch die vermuteten Ansichten zumindest kurzfristig beeinflussen kann²².

²² (Neumann et al., 2011, S. 1376f.) weisen auf das Problem der »sozialen Erwünschtheit« hin: Schüler

Tab. 6.6. Zeitliche Änderung der bei Physikern vermuteten Ansichten (»Szientismus-Physiker«).

Zeitpunkte	Änderung ^a	σ_n^b	df^c	p	d^d
1 - 2	-0.154	0.045	186.5	0.005	0.2
1 - 3	0.256	0.059	191.1	< 0.001	0.3
1 - 4	0.140	0.086	98.6	0.64	
2 - 3	0.411	0.052	183.2	< 0.001	0.5
2 - 4	0.295	0.078	89.8	0.002	0.4
3 - 4	-0.116	0.067	62.3	0.525	

Haupteffekt Zeit: $F(3, 119.6) = 21.63, p < 0.001$.

^a Geschätzter Wert.^b Standardfehler.^c Freiheitsgrade.^d Effektstärke (angegeben nur für signifikante Effekte).

Prüfung der Modellannahmen Der Kolmogoroff-Smirnov-Test auf normalverteilte Residuen ist für die Variable »Szientismus Physiker« mit $p = 0.023$ signifikant. Im Q-Q-Plot zeigen sich an den Rändern deutliche Abweichungen von der Normalverteilung. Es wurden daher alternative Modelle mit nichtlinear transformierter abhängiger Variable getestet. Als Transformationen wurden Potenzen mit den Exponenten zwischen 1 und 2 gewählt²³. Für den Exponenten 1.6 ergibt sich dabei der beste Fit. Der Kolmogoroff-Smirnov-Test ist mit $p = 0.53$ nicht signifikant und auch im Q-Q-Plot zeigen sich keine relevanten Abweichungen. Das Modell mit der transformierten Variable ergibt hinsichtlich der Signifikanzen der Mittelwertunterschiede keine nennenswerten Änderungen, so dass in Tabelle 6.6 die Werte des ursprünglichen Modells angegeben wurden.

Verlauf in den Gruppen Einen visuellen Eindruck von den individuellen Verläufen der Ansichten in den einzelnen Gruppen vermittelt Abbildung 6.12 (Da Gruppe IV lediglich aus einer Person besteht, wurde diese nicht dargestellt). Zusätzlich ist für jede Gruppe der mittlere Verlauf eingezeichnet (dunkelblaue Linie). Zu Grunde gelegt wurden dabei nicht die nicht geschätzten, sondern

antworten in dem Sinne, wie sie vermuten, dass es von der Lehrkraft oder auch den Durchführenden einer Studie bevorzugt wird (»Rosenthal« bzw. »Hawthorne«-Effekt). Es könnte sein, dass durch die explizite Thematisierung von Möglichkeiten bzw. Grenzen der Naturwissenschaften einige Schüler vermuten, dass von ihnen eine entsprechende Einstellungsänderung erwartet wird. Inwieweit ein solcher Effekt bei den hier diskutierten Ergebnissen eine Rolle spielt, lässt sich nicht beurteilen.

²³ Diese Wahl der Exponenten ist nicht inhaltlich motiviert und weitgehend willkürlich. Das Ziel ist hier durch eine geeignete Abbildung der ursprünglichen Variablen die Voraussetzungen für die Schätzung besser zu gewährleisten.

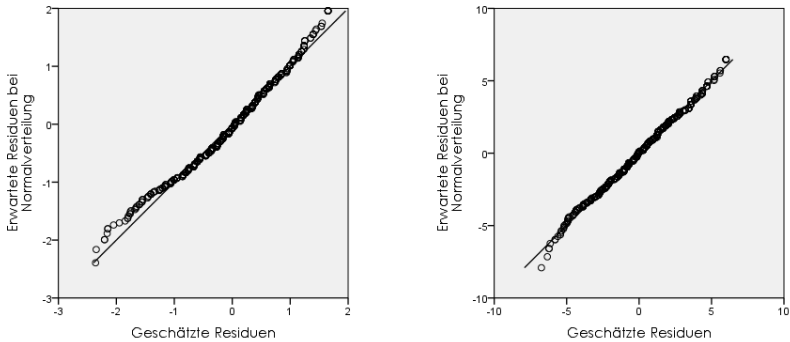


Abb. 6.11. Q-Q-Plot der Residuen. Links: ursprüngliches Modell. Rechts: Modell mit transformierter abhängiger Variable.

die gemessenen Werte. Qualitativ entsprechen die mittleren Verläufe der Gruppe II und III weitgehend dem Verlauf in der gesamten Stichprobe. Gruppe I unterscheidet sich etwas: hier verkleinert sich zwischen Zeitpunkt 1 und 2 sowohl der eigene wie auch der vermutete Szientismus. Aufgrund der geringen Mitgliederzahl dieser Gruppe ist der Abfall jedoch nicht signifikant. Weiterhin fällt ins Auge, dass sich bei Schülern aus Gruppe 1 und 2 die eigenen Ansichten vergleichsweise wenig ändern. Darauf wird gleich noch etwas genauer eingegangen. Ebenfalls erkennbar ist, dass die Streuung der Werte nach dem Unterricht zu Wissenschaftstheorie größer ist.

Einfluss von Wissen Für einen relevanten Einfluss des Wissens zur Wissenschaftstheorie ergeben sich keine klaren Hinweise. Bei den eigenen Ansichten ist der Effekt des Wissens bzw. der Interaktion von Wissen und Zeit mit $F(8, 186) = 1.1, p = 0.36$ bzw. $F(17, 159) = 1.0, p = 0.41$ nicht signifikant. Bei den vermuteten Ansichten von Physikern ergibt sich für den Effekt des Wissens $F(8, 198) = 0.36, p = 0.94$. Die Interaktion mit der Zeit ist hier größer, aber ebenfalls nicht signifikant ($F(17, 157) = 1.6, p = 0.07$)²⁴.

Szientismus-Diskrepanz Es wurde vermutet, dass eine Verringerung der Diskrepanz zwischen eigenen und bei Physikern vermuteten Ansichten (»Szientismus-Diskrepanz«) das Fachinteresse vergrößern könnte. Tabelle 6.7 gibt die geschätzte Änderung der Diskrepanz wider (es sei daran erinnert, dass die Diskrepanz

²⁴ Als Maß für das Wissen wurde dabei jeweils das Ergebnis von Aufgabe 1 der Wissenschaftstheorie-Tests zugrunde gelegt. Diese Aufgabe wurde zu den Zeitpunkten 1, 3 und 4 erhoben.

6. Quantitative Studie

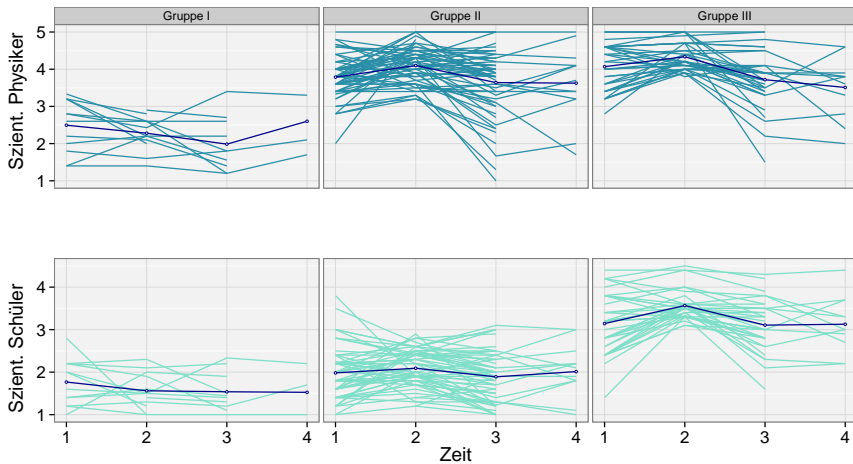


Abb. 6.12. Zeitlicher Verlauf des Szientismus (oben: Einschätzung von Physikern, unten: Eigene Ansicht) für die Gruppen I - III (1: vorher, 2: nach Kosmologie, 3: nach Wissenschaftsth., 4: nachher verzögert).

hier durch die Differenz definiert ist). Aufgrund der gleich gerichteten Effekte bei den eigenen und vermuteten Ansichten ergibt sich lediglich infolge des Unterrichts zur Wissenschaftstheorie eine Verringerung der Diskrepanz mit einer kleinen Effektstärke von 0.2^{25} .

Abbildung 6.13 zeigt die Verläufe in den Gruppen. Bei den Mittelwerten zeigen sich keine nennenswerten Unterschiede. Da in Gruppe zwei, also bei Schülern mit großer Diskrepanz, am ehesten Änderungen vermutet wurden, zeigt Abbildung 6.14 die Verläufe in dieser Gruppe noch einmal vergrößert. Sie wurde hier abermals aufgeteilt in Schüler, die vor dem Unterricht zur Wissenschaftstheorie oberhalb bzw. unterhalb des Gruppendurchschnitts lagen (dunkel- bzw. hellrote Linien).

Betrachtet man die Mittelwerte dieser Untergruppen zeigt sich eine »Spreizung« infolge des Unterrichts zur Kosmologie. In der Untergruppe mit geringerer Diskrepanz verringert sich diese durch den Unterricht - wie auch in Gruppe III.

²⁵ Eine Varianzanalyse mit Messwiederholung ergibt für den geschätzten Unterschied zwischen Zeitpunkt 1 und 3 einen größeren und signifikanten Wert (-0.167 , $p = 0.03$, $df = 148$). Auch der Friedmann-Test gibt die Änderung zwischen diesen Zeitpunkten als signifikant an ($Z = 0.32$, $p = 0.02$).

Tab. 6.7. Zeitliche Änderung der Differenz zwischen eigenen und vermuteten Ansichten («Szientismus-Diskrepanz«).

Zeitpunkte	Änderung ^a	σ_n^b	df^c	p	d^d
1 - 2	0.001	0.052	190.1	1	
1 - 3	0.145	0.059	169.7	0.092	
1 - 4	0.089	0.079	104.8	1	
2 - 3	0.145	0.046	178.0	0.023	0.2
2 - 4	0.089	0.070	88.9	1	
3 - 4	-0.056	0.059	59.5	1	

Haupteffekt Zeit: $F(3, 115) = 3.72, p < 0.013$.

^a Geschätzter Wert.

^b Standardfehler.

^c Freiheitsgrade.

^d Effektstärke (angegeben nur für signifikante Effekte).

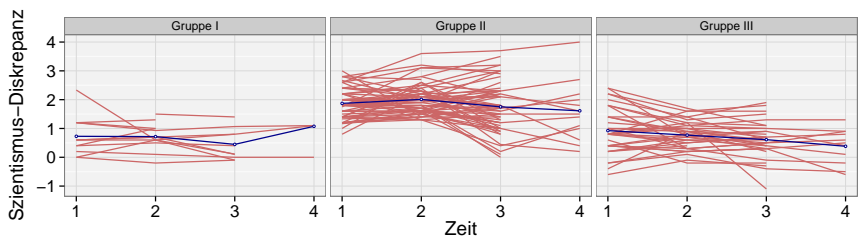


Abb. 6.13. Zeitlicher Verlauf der Szientismus-Diskrepanz für die Gruppen I - III (1: vorher, 2: nach Kosmologie, 3: nach Wissenschaftsth., 4: nachher verzögert).

Allerdings ist dieser Abfall nicht signifikant. In der Untergruppe mit höherer Diskrepanz vergrößert der Unterricht zur Kosmologie die Diskrepanz nochmals signifikant um 0.64 ($p = 0.008$). Tatsächlich ist es so, dass sich in dieser Untergruppe die eigenen Ansichten zu keinen Zeitpunkt signifikant ändern, die Einschätzung von Physikern dagegen beträchtlich (-0.65, $d = 1.3$, $p = 0.001$ durch die Kosmologie und 0.5, $d = 0.8$, $p = 0.007$ durch die Wissenschaftstheorie). Schüler mit besonders hoher Diskrepanz zeichnen sich also durch vergleichsweise stabile eigene Ansichten zur Reichweite der Naturwissenschaften aus. Ihre Einschätzung von Physikern ändert sich unter dem Einfluss des Unterrichts dagegen stärker als im Durchschnitt der Stichprobe. Hinsichtlich der Wirkung des Unterrichts zur Wissenschaftstheorie entspricht dies weitgehend der Erwartung. Dass der Unterricht zur Kosmologie auf die eigenen Ansichten in dieser

6. Quantitative Studie

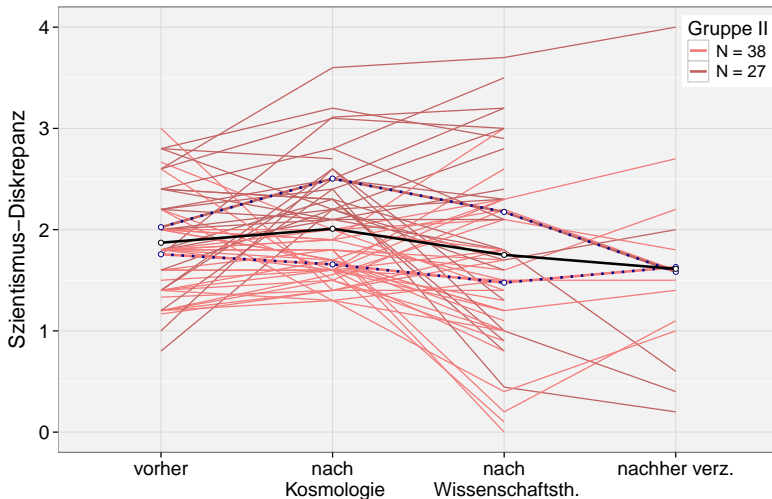


Abb. 6.14. Zeitlicher Verlauf der Szientismus-Diskrepanz für Gruppe II. Diese Gruppe ist nochmals aufgeteilt in zwei Untergruppen mit über- und unterdurchschnittlicher Diskrepanz.

Teilgruppe dagegen einen signifikant geringeren Einfluss haben würde²⁶, war nicht unbedingt zu erwarten. Ob die Einstellungen dieser Schüler tatsächlich gefestigter sind, oder andere Ursachen, wie z. B. der Unterrichtskontext oder das geringere Fachinteresse (siehe folgender Abschnitt) hierbei eine Rolle spielen, kann an dieser Stelle nicht geklärt werden.

Prüfung der Modellannahmen Der Kolmogoroff-Smirnov-Test auf normalverteilte Residuen war auch hier wieder mit $p = 0.006$ signifikant. Im Q-Q-Plot zeigen sich an beiden Rändern deutliche Abweichungen von der Normalverteilung. Wie zuvor wurden daher getestet, ob Transformationen der abhängigen Variable den Fit verbessern können. In diesem Fall führen Exponenten kleiner 1 zu geringeren Abweichungen. Für den Exponenten 0.8 ergibt sich dabei der beste Fit²⁷. Der Kolmogoroff-Smirnov-Test ist mit $p = 0.17$ nicht signifikant. Im

²⁶ Ein weiteres Indiz dafür, dass weniger szientistische Schüler vom Kosmologie-Unterricht in geringerem Maße beeinflusst werden, ist eine positive Korrelation von $r = 0.27$, $p < 0.001$, zwischen eigenem Szientismus (vor dem Unterricht) und seiner Änderung (Szientismus nach dem Unterricht - Szientismus vor dem Unterricht).

²⁷ Getestet wurden die Exponenten $y = 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9$. Da die Szientismus-Differenz in wenigen Fällen auch negative Werte annimmt, wurden hier Transformationen der Form $x \mapsto \text{sign}(x)|x|^y$ verwendet.

Q-Q-Plot zeigt sich am linken Ende der Verteilung eine leichte Abweichung. Das Modell mit der transformierten Variable ergibt etwas kleinere Werte für p , aber auch hier ist lediglich der Übergang 2 - 3 signifikant. Tabelle 6.7 zeigt die Werte für die ursprüngliche Variable.

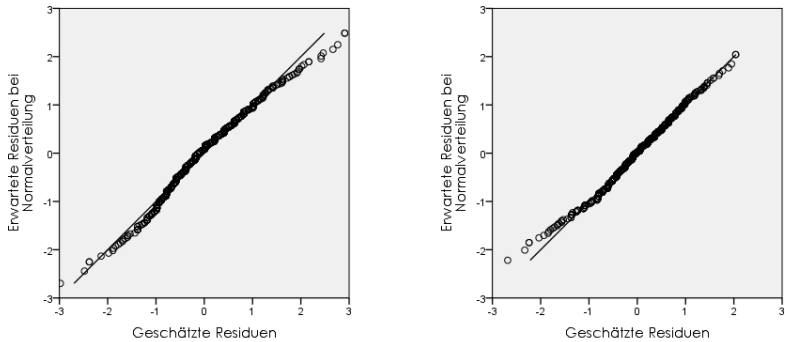


Abb. 6.15. Q-Q-Plot der Residuen. Links: ursprüngliches Modell. Rechts: Modell mit transformierter abhängiger Variable.

Fachinteresse

Hinsichtlich des Fachinteresses war vor allem die Wirkung der wissenschaftstheoretischen Instruktion von Interesse. Hier waren unterschiedliche Effekte für Schüler mit kongruenten bzw. diskrepanten Ansichten erwartet worden.

In Abbildung 6.20 ist jedoch zunächst der Verlauf der empirischen Mittelwerte für die gesamte Stichprobe dargestellt. Wiederum sind Trendlinien hinzugefügt, sowie »Fehlerbalken« mit der Breite von zwei empirischen Standardabweichungen. Der Verlauf ist ähnlich wie bei den Szientismus-Variablen: Nach dem Kosmologie-Unterricht steigt das Interesse leicht an, nach dem Wissenschaftstheorie-Unterricht ist es geringfügig abgefallen. Beim verzögerten Nachtest sind die Werte wieder - in ebenfalls sehr geringem Maße - angestiegen. Die Änderungen sind insgesamt deutlich kleiner als beim Szientismus. Im Folgenden werden die Änderungen beim Fachinteresse auf Signifikanz geprüft und anschließend der Verlauf für die verschiedenen Schülergruppen untersucht. Zudem wird der mögliche Einfluss von erworbenem Wissen und der Interessantheit des Unterrichts mit Hilfe einer Regression abgeschätzt.

6. Quantitative Studie

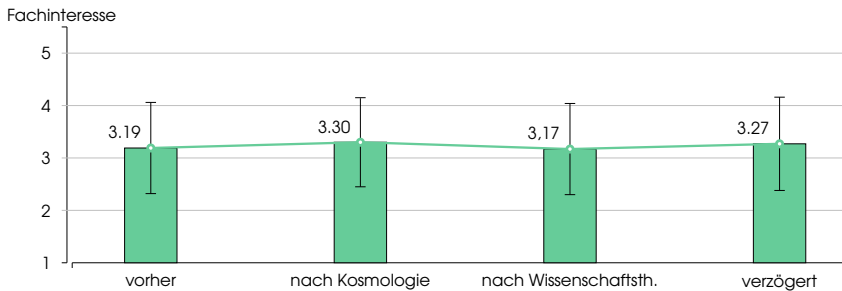


Abb. 6.16. Einfluss des Unterrichts auf das Fachinteresse.

Tabelle 6.8 zeigt die mit Hilfe des gemischten Modells geschätzten Änderungen zwischen den Messzeitpunkten und deren Signifikanzen. Der Anstieg nach dem Kosmologie-Unterricht wird mit mit kleiner Effektstärke als signifikant geschätzt. Eine Varianzanalyse mit Messwiederholung ergibt hier ebenfalls eine Änderung von ähnlicher Größe (0.102) mit einer Signifikanz von $p = 0.017$. Der Friedmann-Test liefert mit $p = 0.084$ dagegen einen nicht signifikanten Wert (alle Signifikanzen sind Bonferroni-korrigiert). Ebenfalls wird mit dem gemischten Modell ein signifikanter *Abfall* von 0.16 zwischen Zeitpunkt 2 und 4 geschätzt. Dies mag zunächst überraschen, da die empirischen Mittelwerte zwischen diesen beiden Zeitpunkten sich lediglich um 0.03 ändern. Der Grund dafür ist, dass die empirischen Werte zu den Zeitpunkten 2 und 3 für die wesentlich kleinere Teilstichprobe zum Zeitpunkt 4 ($N = 61$), deutlich höher als für die Gesamtstichprobe sind. Diese Tatsache macht sich in den Modellschätzungen bemerkbar.²⁸ Dass die Effektstärke nahe bei Null ist, liegt daran, dass diese anhand der empirischen Mittelwerte berechnet wird. Dass der Kosmologie-Unterricht eine leichte Steigerung des Fachinteresses mit sich bringt, ist durchaus plausibel, da hier ja im Rahmen eines als interessant geltenden Kontextes die Leistungsfähigkeit der Physik verdeutlicht wird. Im Mittel der gesamten Stichprobe hat die wissenschaftstheoretische Instruktion dagegen offenbar keinen Einfluss auf das Interesse. Allerdings war hier die Prognose, dass der Unterricht differentiell auf verschiedene Teilgruppen wirken sollte. Dem wird im Folgenden nachgegangen.

Verlauf in den Gruppen Zunächst sind in Abbildung 6.17 wieder die Verläufe in den Gruppen I, II und III gezeigt. Gut erkennbar sind die Unterschiede im

²⁸ Eine Varianzanalyse mit Messwiederholung, die den Zeitpunkt 4 einbezieht, ergibt ebenfalls einen signifikanten Wert für diese beiden Zeitpunkte (0.211, $p = 0.002$, $df = 49$). Das gleiche gilt für einen entsprechenden Friedmann-Test ($Z = 0.75$, $p = 0.018$).

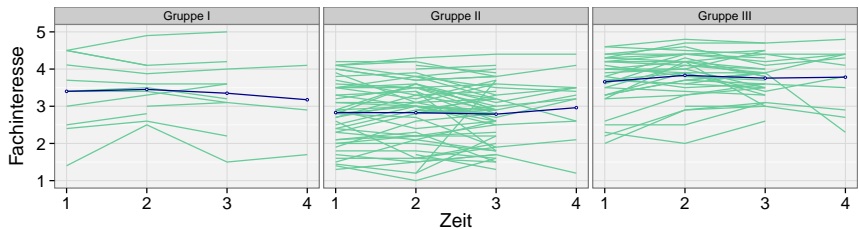
Tab. 6.8. Zeitliche Änderung des Fachinteresses.

Zeitpunkte	Änderung ^a	σ_n ^b	df ^c	p	d^d
1 - 2	-0.109	0.034	152.5	0.009	0.1
1 - 3	-0.025	0.044	167.6	1	
1 - 4	0.051	0.056	67.2	1	
2 - 3	0.084	0.040	180.1	0.213	
2 - 4	0.160	0.052	52.6	0.021	< 0.1
3 - 4	0.076	0.065	99.6	1	

Haupteffekt Zeit: $F(3, 119.6) = 21.63, p < 0.001$.

^a Geschätzter Wert.^b Standardfehler.^c Freiheitsgrade.^d Effektstärke (angegeben nur für signifikante Effekte).

Interessensniveau zwischen den Gruppen. Aufgrund der schon bekannten Korrelationen zwischen Szientismus, Szientismus-Diskrepanz und Fachinteresse ist es nicht überraschend, dass das Interesse von Gruppe II, über Gruppe I zu Gruppe III ansteigt. Tatsächlich gilt diese Ordnung zu jedem Messzeitpunkt. Wie in der Gesamtstichprobe sind die zeitlichen Änderungen in allen drei Gruppen dagegen gering. Lediglich die Anstieg zwischen Zeitpunkt 1 und 2 in Gruppe III sowie der Abfall zwischen Zeitpunkt 2 und 4 in Gruppe II sind signifikant²⁹. Der Kosmologie-Unterricht »wirkt« also vor allem auf die zuvor schon stärker an Physik interessierten Schüler.

**Abb. 6.17.** Zeitlicher Verlauf des Fachinteresses für die Gruppen I - III (1: vorher, 2: nach Kosmologie, 3: nach Wissenschaftsth., 4: nachher verzögert).

Da ursprünglich erhofft wurde, dass die wissenschaftstheoretische Instruktion

²⁹ Wie für die Gesamtstichprobe beziehen sich diese Signifikanzen auf die geschätzten Mittelwerte, die zwischen den Zeitpunkten 2 und 4 in Gruppe II einen Abfall ergeben.

6. Quantitative Studie

zu einer Vergrößerung des Interesses bei Schülern mit zunächst diskrepanten Auffassungen führen könnte, wird Gruppe II wiederum genauer betrachtet. Abbildung 6.18 zeigt die Verläufe in dieser Gruppe. Unterschieden werden - wie in Abbildung 6.14 - Schüler mit über- und unterdurchschnittlicher Szientismus-Diskrepanz in dieser Gruppe. Anders als erhofft, verringern sich sogar noch die

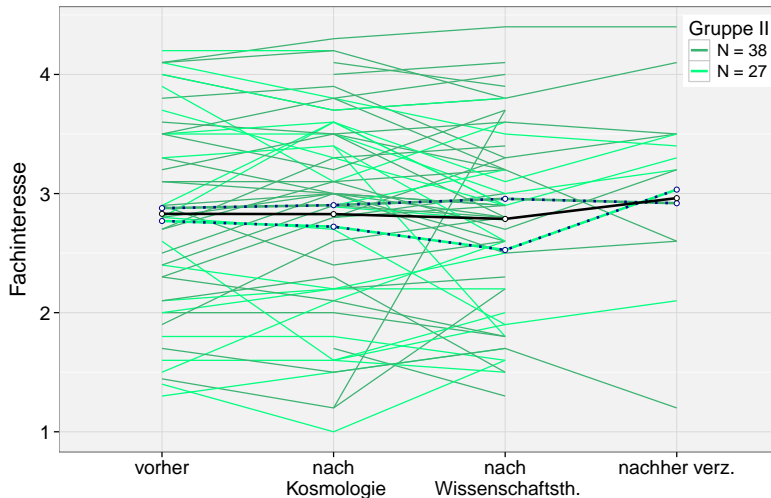


Abb. 6.18. Zeitlicher Verlauf des Fachinteresses in Gruppe II. Die Untergruppen mit über- und unterdurchschnittlicher Szientismus-Diskrepanz sind farblich unterschieden (hell- bzw. dunkelgrün).

Mittelwerte bei der Untergruppe mit überdurchschnittlicher Diskrepanz nach den beiden Unterrichtseinheiten (hellgrün-gepunktete Linie). Diese Änderungen sind allerdings - genauso wie in der anderen Teilgruppe - nicht signifikant. Dieses Ergebnis ist andererseits in Übereinstimmung mit dem vermuteten Zusammenhang zwischen Szientismus-Diskrepanz und Fachinteresse: Hier wurde ja vermutet, dass eine Verminderung der Diskrepanz das Interesse vergrößern würde. Da die Diskrepanz in Gruppe II durch den Unterricht nicht wesentlich beeinflusst wurde, war gemäß dieser Hypothese auch kein Anstieg des Interesses zu erwarten.

Als weiterer Indikator wurde außerdem die Korrelation zwischen der Änderung der Szientismus-Diskrepanz und der Änderung des Fachinteresses (bezogen auf die Messzeitpunkte vor und nach der wissenschaftstheoretischen Konstruktion) berechnet. Entsprechend der Hypothese sollten diese beiden Änderungen negativ

korrelieren. Es ergibt sich jedoch kein signifikant von Null verschiedener Wert ($r = 0.02$, $p = 0.76$)³⁰. Hierin spiegelt sich allerdings auch die insgesamt geringe zeitliche Änderung des Fachinteresses und der Szientismus-Diskrepanz wider.

Bei Schülern aus Gruppe III, also solchen mit eher kongruenten Einschätzungen, war ein differentieller Effekt in Abhängigkeit vom Bedürfnis nach kognitiver Geschlossenheit erwartet worden: bei Schülern mit geringer kognitiver Geschlossenheit wurde kein Effekt, bei Schülern mit hoher kognitiver Geschlossenheit eine Abnahme des Interesses erwartet. Abbildung 6.19 zeigt die Verläufe in Gruppe III. Farblich unterschieden sind Untergruppen mit über- und unterdurchschnittlicher kognitiver Geschlossenheit. Schüler mit niedriger kognitiver Geschlossenheit sind zu allen Zeitpunkten im Durchschnitt interessierter, jedoch ohne dass die Unterschiede ein signifikantes Niveau erreichen würden. Die Änderungen in Folge der beiden Unterrichte sind in beiden Teilgruppen ähnlich. Insgesamt zeigen sich auch hier keine signifikanten Unterschiede. Dabei sollte man jedoch beachten, dass die relativ kleine Mitgliederzahl dieser Gruppe eine Detektion kleinerer Effekte praktisch verhindert.

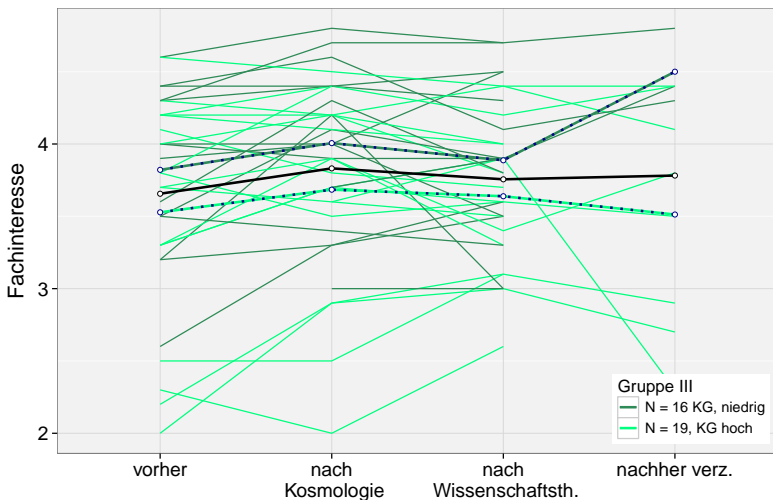


Abb. 6.19. Zeitlicher Verlauf des Fachinteresses in Gruppe III. Die Untergruppen mit über- und unterdurchschnittlicher kognitiver Geschlossenheit (»KG hoch« bzw. »KG niedrig«) sind farblich unterschieden.

³⁰ Für Schüler in Gruppe II ist die Korrelation mit $r = 0.18$, $p = 0.19$ höher, aber ebenfalls nicht signifikant. Insbesondere sollte sie *negativ* sein.

6. Quantitative Studie

Zum Abschluss dieses Abschnitts sei noch mit einer weiteren Grafik die große Stabilität des Fachinteresses im Verlauf der Studie verdeutlicht. Aufgetragen ist dessen Verlauf für Schülergruppen, die sich hinsichtlich des eigenen Szientismus unterscheiden. Berücksichtigt sind hier nur solche Schüler, die zu allen drei Zeitpunkten teilgenommen haben. Auch ohne quantitative Analyse verdeutlicht die Abbildung sowohl die geringe Änderung des Interesses als auch den Zusammenhang zwischen Szientismus und Interesse in augenfälliger Weise.

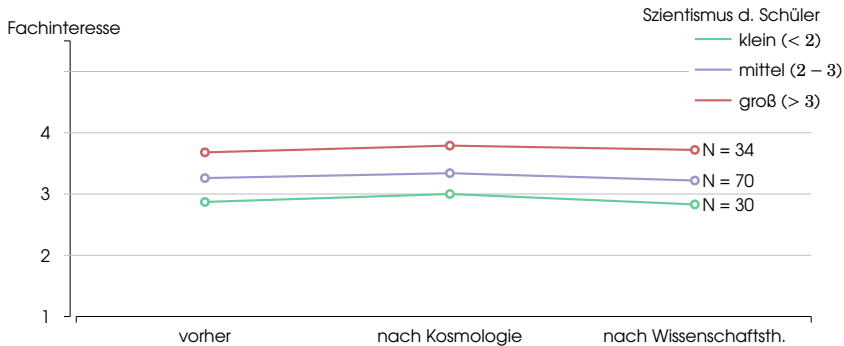


Abb. 6.20. Einfluss des Unterrichts auf das Fachinteresse für Schüler mit unterschiedlich ausgeprägtem Szientismus.

Einflussfaktoren auf das Fachinteresse Tabelle 6.9 zeigt die Ergebnisse einer Regression, die dazu dienen soll, die Bedeutung unterrichtsspezifischer Faktoren auf das Fachinteresse einzuschätzen. Als Faktoren wurden die Interessantheit des Unterrichts und das Wissen gewählt. Zum Vergleich wurden auch »Szientismus-Schüler« und die Szientismus-Diskrepanz in die Regression aufgenommen. Wie erwähnt, werden die Skalen für die motivierende Wirkung der Unterrichts als Maß für dessen Interessantheit verwendet. Beim Wissen werden die Ergebnisse der Nachtests zugrunde gelegt. Alle in die Regression eingehenden Größen wurden zum Zeitpunkt 3 (nach dem Unterricht zur Wissenschaftstheorie) erhoben.

Für die Interpretation betrachten wir in diesem Fall die standardisierten Koeffizienten, da die Kovariablen unterschiedliche Skalen besitzen. Für beide Unterrichtsteile ist das erworbene Wissen ein positiver Indikator für das Fachinteresse. Bei der Interessantheit ist lediglich der Koeffizient des Kosmologie-Unterrichts signifikant; er besitzt zudem mit 0.31 den höchsten Wert aller in die Regression

Tab. 6.9. Regression zu Einflussfaktoren auf das *Fachinteresse* zum Zeitpunkt 3.

Variable	b^a	σ_n^b	β^c	t^d	p
Konstante	0.90	0.33		2.73	0.007
<i>Interessantheit Wissenschaftstheorie</i>	0.08	0.05	0.09	1.49	0.14
<i>Interessantheit Kosmologie</i>	0.25	0.05	0.31	4.88	< 0.001
<i>Wissen Wissenschaftstheorie</i>	0.00	0.00	0.15	2.49	0.01
<i>Wissen Kosmologie</i>	0.01	0.00	0.21	3.49	0.001
<i>Szientismus Schüler</i>	0.32	0.08	0.27	4.22	< 0.001
<i>Szientismus-Diskrepanz</i>	-0.19	0.07	-0.19	-2.82	0.005

$R^2 = 0.50$, $F(160) = 26.10$, $p < 0.001$.

^a Regressionskoeffizient.

^b Standardfehler.

^c Standardisierter Regressionskoeffizient.

^d t -Statistik.

aufgenommenen Größen³¹. Dies korrespondiert zu der etwas größeren Wirkung des Kosmologie-Unterrichts auf das Fachinteresse. Wie erwartet, besitzen die Szientismus-Diskrepanz und »Szientismus Schüler« einen negativen respektive positiven Einfluss auf das Fachinteresse.

Prüfung der Modellannahmen Der Kolmogoroff-Smirnov-Test war auch beim gemischten Modell für das Fachinteresse mit $p = 0.049$ signifikant. Es wurden daher wie zuvor Potenzen der abhängigen Variable getestet. Für Exponenten zwischen 1.1 und 2 ergeben sich nicht-signifikante Tests mit der besten Passung für den Wert 1.7 ($p = 0.36$). Die sich durch Transformation ergebenden Änderungen der Signifikanzniveaus sind wiederum geringfügig. Tabelle 6.8 zeigt daher die Werte für die ursprüngliche Variable.

Wissen

Ein wichtiges Anliegen der wissenschaftstheoretischen Instruktion war die Vermittlung grundlegender Kenntnisse zu methodischen Merkmalen der Wissenschaft Physik. Hinsichtlich der Kosmologie bestand die Hoffnung, dass der

³¹ Interessanterweise korrelieren die Einschätzung der Interessantheit des Unterrichts und das erworbene Wissen nahezu nicht mit einander: Die empirischen Korrelationen sind mit $r = 0.056$ (Kosmologie) bzw. $r = 0.029$ (Wissenschaftstheorie) sehr klein und nicht signifikant.

6. Quantitative Studie

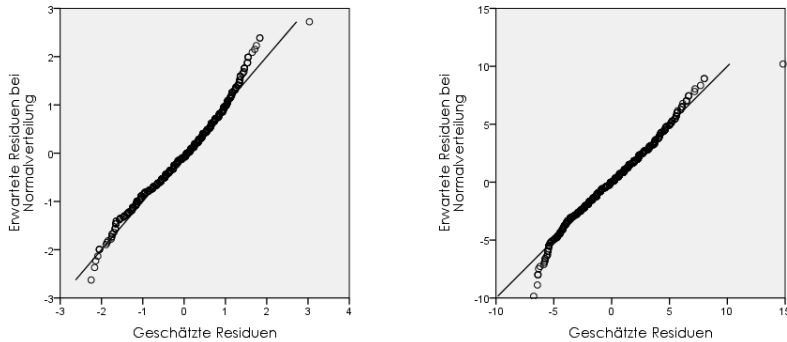


Abb. 6.21. Q-Q-Plot der Residuen. Links: ursprüngliches Modell. Rechts: Modell mit transformierter abhängiger Variable.

Unterricht zumindest hinsichtlich einiger zentraler Unterrichtsinhalte einen Wissenszuwachs zur Folge haben würde³².

Die verwendeten Tests inklusive der Musterlösungen finden sich in Abschnitt A.1.3 des Anhangs.

Wissenschaftstheorie Wissenschaftstheoretische Kenntnisse wurden zu drei Messzeitpunkten erhoben: Beim Vortest, nach der wissenschaftstheoretischen Instruktion (Nachttest) und ca. sechs Wochen später (verzögerter Nachttest). Aufgabe 1 war jeweils bei allen drei Tests identisch. Alle Aufgaben beziehen sich auf die drei im Unterricht behandelten, methodischen Merkmale der Physik. Die Teilaufgaben von Aufgabe 1 erfordern die Anwendung jeweils eines dieser Merkmale auf ein einfaches Beispiel (1a: Nachprüfbarkeit, 1b: Abgrenzung physikalischer Ursachen von Zwecken, 1c: »Alle«-Aussagen). Aufgabe 2 und 3 des Nachttests sind offener als Aufgabe 1 formuliert. Aufgabe 3 erfordert zudem die Argumentation mit allen drei Merkmalen an einem komplexeren Beispiel.

In Tabelle 6.23 sind die durchschnittlich erzielten Ergebnisse der Tests zur Wissenschaftstheorie aufgeführt³³. Sie sind für die einzelnen Aufgaben jeweils in % angegeben (erreichte Punktzahl / maximal mögliche Punktzahl). Betrachtet man Aufgabe 1, so zeigen sich bei allen Testaufgaben verbesserte

³² Wie in Kapitel 5 näher erläutert, diente dieser Unterrichtsabschnitt in erster Linie der Einbettung des wissenschaftstheoretischen Teils in den Kontext der Kosmologie. Hierzu wurden aufgrund eines engen Zeitrahmens Abstriche bei der Festigung der Unterrichtsinhalte in Kauf genommen.

³³ Die Bewertung der Tests erfolgte anhand der Musterlösungen (siehe Anhang A.1.3). Eine Teilstichprobe von 20 Fällen wurden unabhängig von zwei Bewertern korrigiert. Die Intra-Klassen-Korrelation (ICC) hatte einen befriedigenden Wert von 0.76.

Resultate, die bei 1b und 1c besonders deutlich ausfallen. Teilaufgabe 1a - offenbar die leichteste Teilaufgabe - erzielt bereits im Vortest einen hohen Wert. Die drei Teilaufgaben decken mit den Werten 33 %, 59 % und 84 % im Vortest offenbar verschiedene Schwierigkeitsgrade ab. Diese Reihenfolge bleibt im Nachtest erhalten, auch wenn sich die Werte von 1b und 1c nahezu angleichen. Die Aufgaben 2 und 3 des Nachtests erzielen geringere Werte, was aufgrund des höher eingeschätzten Schwierigkeitsgrades dieser Aufgaben den Erwartungen entspricht. Das durchschnittliche Ergebnis für Aufgabe 1 im Nachtest ist 81 %, für die Aufgaben 2 und 3 beträgt es 46 %. Aus Zeitgründen wurde in den verzögerten Nachtest wiederum nur Aufgabe 1 aufgenommen. Die Ergebnisse liegen bei allen drei Teilaufgaben sogar noch über denen des Nachtests, was einen nachhaltigen Lerneffekt erhoffen lässt - zumindest auf dem Aufgabe 1 entsprechenden, grundlegenden Anforderungsniveau. Statistisch ist die Änderung bei Aufgabe 1 zwischen Vor- und Nachtest signifikant ($p = 0.001$), die Änderung zwischen Nachtest und verzögertem Nachtest dagegen nicht. Abbildung 6.23 zeigt die Verteilung der Ergebnisse von Aufgabe 1 beim Vor- und Nachtest. Das Histogramm zum Vortest zeigt, dass die Aufgabenschwierigkeiten offenbar geeignet sind das Leistungsspektrum in der Stichprobe zu diesem Zeitpunkt zu erfassen. Das Histogramm zum Nachtest macht die klare Verbesserung der Leistungen deutlich. Mehr als zwei Drittel der Schüler erzielen ein Resultat zwischen 80 und 100 %. Hier ermöglichen die Aufgaben 2 und 3 eine bessere Differenzierung. Insgesamt legen die Ergebnisse den Schluss nahe, dass die wissenschaftstheoretische Instruktion einen Lernzuwachs auf grundlegendem Niveau bewirken kann.

Tab. 6.10. Testergebnisse Wissenschaftstheorie.

Test vor Unterricht (N = 157)									
Aufgabe	1a	1b	1c						gesamt
Ergebnis in %	84	59	33						56
Test nach Unterricht (N = 188)									
Aufgabe	1a	1b	1c	2a	2b	2c	3	gesamt	
Ergebnis in %	89	78	75	48	34	58	45	55	
Verzögerter Test nach Unterricht (N = 80)									
Aufgabe	1a	1b	1c						gesamt
Ergebnis in %	91	81	87						86

6. Quantitative Studie

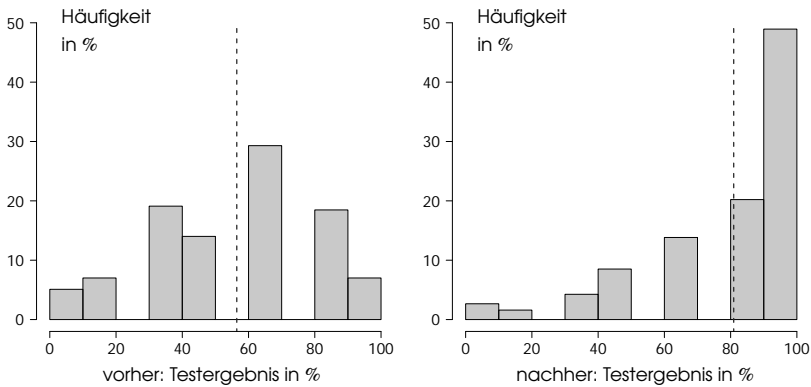


Abb. 6.22. Ergebnisse zu Aufgabe 1 des Wissenstests zur Wissenschaftstheorie vor bzw. nach der Instruktion (N = 157 bzw. N = 188). Die gestrichelte Linien zeigen die Mittelwerte.

Kosmologie Bei den Tests zur Kosmologie stand die Vergleichbarkeit von Leistungen zu verschiedenen Zeitpunkten weniger im Vordergrund. So sollte der Vortest vor allem detektieren, in welchem Ausmaß überhaupt grundlegende, für den Unterricht relevante, physikalische Kenntnisse bei den Schülern vorhanden sind. Zum Beispiel wurde gefragt, ob Begriffe wie Lichtjahr oder Wellenlänge bekannt sind. Im Einzelnen betreffen die Aufgaben des Vortests: die Einschätzung von Größenordnungen im Kosmos (Aufgabe 2), die Begriffe Lichtgeschwindigkeit und Lichtjahr (Aufgabe 3 und 4), die Begriffe Spektrum und Wellenlänge (Aufgabe 5 und 6), sowie den für die Kosmologie spezifischen Begriff der Rotverschiebung (Aufgabe 7). In Tabelle 6.11 sind die Ergebnisse beider Tests zusammengefasst. Die Rotverschiebung gaben beim Vortest lediglich 13 % als bekannten Begriff an, ein noch geringerer Prozentsatz konnte ihn korrekt einordnen. Ebenfalls nur ein sehr kleiner Teil der Schüler (14 %) konnte mit dem Linienspektrum eines Gases eine physikalisch angemessene Vorstellung verbinden. Wie sich in Gesprächen mit den Lehrkräften herausstellte, waren Spektren, ebenso wie Wellenphänomene häufig noch nicht im Unterricht behandelt worden. Die Aufgaben des Nachtests beziehen sich direkt auf Inhalte des Kosmologie-Unterrichts: auf ein Modell zu Größenordnungen im Kosmos (Aufgabe 1), auf den Betrag der Lichtgeschwindigkeit (Aufgabe 2), auf die Entfernungsangabe in »Lichteinheiten« (Aufgabe 3), auf die Rotverschiebung (Aufgabe 4), auf die Expansion des Raumes (Aufgabe 5), und auf die Bestimmung der Entfernungen von Galaxien anhand ihrer Rotverschiebung (Aufgabe

Tab. 6.11. Testergebnisse Kosmologie.

Test vor Unterricht (N = 170)								
Aufgabe	2	3	4 ^a	5	6 ^b	7a ^c	7b	gesamt
Ergebnis in %	49	49	55	14	63	5	8	37
Test nach Unterricht (N = 188)								
Aufgabe	1	2	3	4	5	6	gesamt	
Ergebnis in %	11	71	51	36	65	27	44	

^a Begriff »Lichtjahr« bekannt? ja: 55 %, nein: 7 %, weiß nicht: 18 %.

^b Begriff »Wellenlänge« bekannt? ja: 66 %, nein: 1 %, weiß nicht: 23 %.

^c Begriff »Rotverschiebung« bekannt? ja: 13 %, nein: 69 %, weiß nicht: 18 %.

6). Aus dem Vortest übernommen wurde lediglich Aufgabe 2 (Aufgabe 3 des Vortests). Bei dieser Aufgabe verbessert sich das Ergebnis von 49 auf 71 %. Deutlich am schlechtesten schneidet im Nachtest Aufgabe 1 mit lediglich 11 % ab. Die Einführung drei verschiedener Modelle in kurzer Zeit im Rahmen eines Lehrervortrages hat offenbar weniger unterstützt, sondern eher zur Verwirrung der Schüler beigetragen. Die Aufgaben 4,5 und 6 beziehen sich im engeren Sinne auf die Kosmologie. Die Aufgaben 4 und 6 konnten von weniger als einem Drittel der Schüler gelöst werden. Bei Aufgabe 6 war dies durchaus erwartet worden, da sie auch bei der Konzeption als schwierigste Aufgabe eingeschätzt wurde³⁴. Als erfreulich wird der Wert von 65 % bei Aufgabe 5 bewertet. Etwa zwei Drittel der Schüler konnten einen zentralen Unterrichtsinhalt, nämlich die Erklärung der sich vergrößernden Abstände zwischen den Galaxien als Effekt der Raumexpansion, korrekt wiedergeben. Abbildung 6.23 zeigt wiederum die Verteilung der Ergebnisse des Vor- und Nachtests. Der Anteil der Schüler mit mittleren bis guten Resultaten ist beim Nachtest deutlich größer. Dies deutet auf einen gewissen Lernerfolg bei zumindest einem Teil der Stichprobe in.

Interessantheit und topologisches Interesse

Interessantheit Die Interessantheit der beiden Unterrichtsteile wurden bereits als möglicher Einflussfaktor auf das Fachinteresse untersucht. Dabei zeigte sich lediglich bei der Kosmologie ein signifikanter Effekt. Die empirischen Mittelwerte der Interessantheit sind 2.74 bei der Wissenschaftstheorie und 3.28 bei der Kosmologie (bei einer Standardabweichung 1.0 bzw. 1.1). Ein t-Test signalisiert mit $t(182) = -5.87$, $p < 0.001$ einen signifikanten Unterschied. Es ist daher

³⁴ Zur Lösung ist das korrekte Erinnern der quantitativen Definition der Rotverschiebung, das Ablesen von Werten aus einem Diagramm und eine Berechnung erforderlich.

6. Quantitative Studie

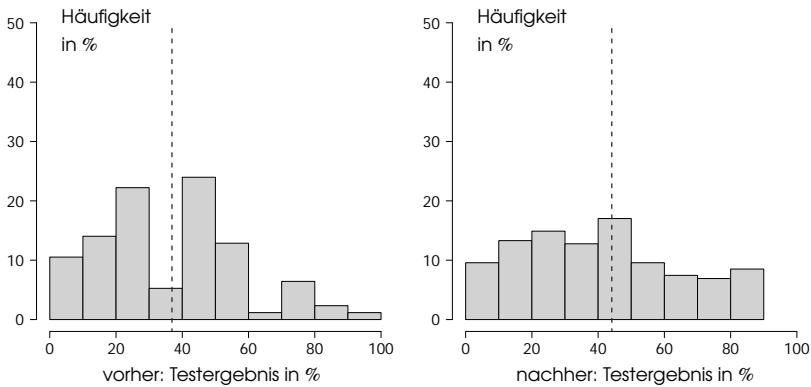


Abb. 6.23. Ergebnisse der beiden Wissenstests zur Kosmologie (jeweils $N = 188$). Die Resultate sind nicht direkt vergleichbar, da die Tests verschiedene Aufgaben enthalten. Die gestrichelte Linien zeigen die Mittelwerte.

naheliegend, zu vermuten, dass dieser Unterschied in der Interessanztheit eine Ursache dafür ist, dass lediglich der Kosmologie-Unterricht zu einem (kleinen) Anstieg des Fachinteresses führt.

Da die Kosmologie als interessanter Unterrichtskontext gilt, ist ihre positivere Bewertung nicht allzu überraschend. Die Hoffnung, dass die ungewohnte Thematisierung von Grenzen der Wissenschaft Physik motivierend wirken könnte, hat sich - zumindest im Durchschnitt - nicht erfüllt. Einige Hinweise auf mögliche Ursachen geben die Anmerkungen der Schülerinnen und Schüler zu den Unterrichtseinheiten. Zu den Fragen »Was hat Ihnen am Unterricht besonders gut gefallen?« bzw. »Was hat Ihnen nicht gefallen?« konnten freie Eintragungen auf dem Fragebogen nach dem Unterricht zu Wissenschaftstheorie gemacht werden. Zur Auswertung wurden nach Durchsicht der Anmerkungen Kategorien gebildet, denen jene anschließend zugeordnet wurden. Auf die Erstellung eines Kodiermanuals wurde hierbei verzichtet und die Kategorien lediglich durch ein oder zwei Worte charakterisiert. Trotzdem war die Zuordnung nach subjektiver Einschätzung gut möglich³⁵, da die Anmerkungen sehr häufig nur aus einzelnen Worten bestanden (zum Beispiel wurde bei der Kategorie »Gruppenarbeit« von den Schülern tatsächlich häufig nur das Wort »Gruppenarbeit« geschrieben). Die Kriterien für die Bildung der Kategorien war, dass sie nach subjektiver

³⁵ Ein ICC von 0.77 bei zwei Kategorisierern von 40 zufällig ausgewählten Anmerkungen bestätigt diesen subjektiven Eindruck.

Einschätzung häufiger genannt wurden³⁶ und eine gewisse Relevanz für die Evaluation des Unterrichts besitzen. Nach ihrer Festlegung wurden die Anmerkungen erneut durchgesehen und den Kategorien zugeordnet. Wurden in einer Anmerkung mehrere Aspekte genannt, so wurden diese getrennt gezählt. Alle Anmerkungen, die keiner der zuvor festgelegten Kategorien zuzuordnen waren, wurden zur Kategorie »Sonstiges« gezählt. Die Abbildungen 6.24 und 6.25 zeigen die resultierenden Häufigkeiten.

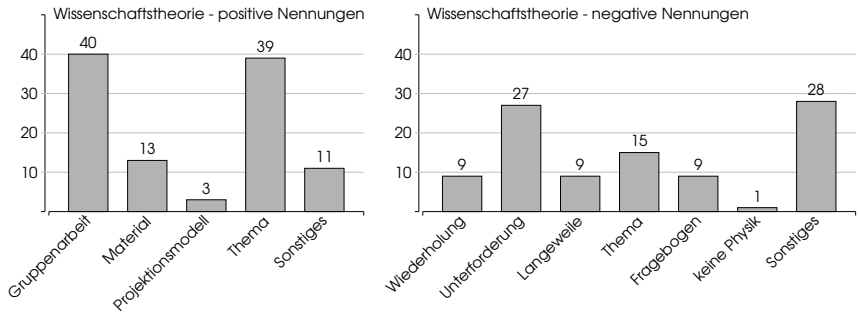


Abb. 6.24. Aspekte der Unterrichtseinheit zur Wissenschaftstheorie, die Schülern gefallen bzw. nicht gefallen haben.

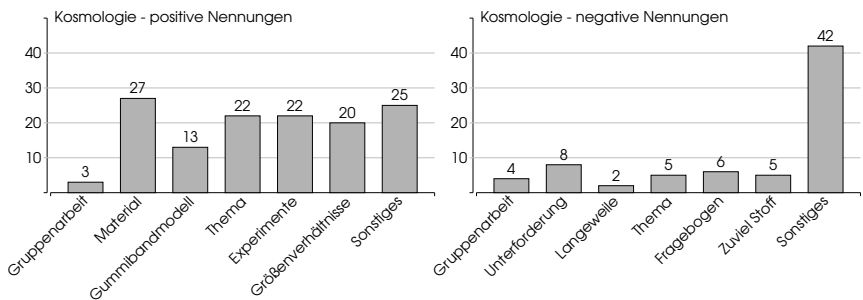


Abb. 6.25. Aspekte der Unterrichtseinheit zur Kosmologie, die Schülern gefallen bzw. nicht gefallen haben.

Zur Bedeutung der Kategorien und zur Einordnung der Beiträge einige Erläuterungen:

1. Wissenschaftstheorie - positiv

³⁶ Eine Ausnahme von dieser Regel bildet die Kategorie »keine Physik«.

6. Quantitative Studie

- *Gruppenarbeit*: Hier findet sich in den meisten Beiträgen tatsächlich nur das Wort »Gruppenarbeit«. »Gruppenpuzzle« (eine Nennung) wurde ebenfalls dieser Kategorie zugeordnet.
- *Material*: Beispiele für diese Kategorie sind »Texte leicht verständlich«, »Arbeitsblätter«, »Material war äußerst verständlich«. Ebenfalls hier aufgenommen wurden »Die didaktisch überaus hochwertigen und abwechslungsreichen Methoden«, »Vielschichtigkeit der Methoden«. Die alleinstehenden Begriffe »Methode«, »Methoden« und »phy. Methode« (jeweils eine Nennung) wurden dagegen der Kategorie 'Thema' zugeordnet. Ihre Bedeutung erschien in diesem Zusammenhang ambivalent und war schwierig einzuschätzen. Als Alternative wurde eine eigene Kategorie 'Methoden' erwogen.
- *Projektionsmodell*: So wurde im Unterricht das Modell zur Verdeutlichung verschiedener Sichtweisen auf die Realität genannt. »beleuchtete Box« wurde ebenfalls dieser Kategorie zugeordnet.
- *Thema*: Hier wurde häufig nur allgemein »Thema« geschrieben, zum Teil aber auch spezifiziert, etwa »Physikalische Methode« oder »Grenzen der Physik«.
- *Sonstiges*: Unter anderem sind unter dieser Rubrik allgemeine Zustimmung wie zum Beispiel »interessant« subsummiert. Auch »selbstständiges Arbeiten« (zweimal genannt) wurde hier eingeordnet. Zweimal wurde die erste Stunde als besser benannt.

2. Wissenschaftstheorie - negativ

- *Wiederholung*: Meistens wurde hier einfach »Wiederholung« geschrieben, auch in betonter Form zum Beispiel »ständige Wiederholungen«.
- *Unterforderung*: In dieser Kategorie sind typische Anmerkungen »Texte zu einfach«, »Stoff zu leicht« oder auch die ausführlichere Bemerkung »man hätte tiefer in die Materie eindringen und verschiedene Standpunkte diskutieren können«. Zweimal wurde bemängelt, dass die zweite Stunde wenig Neues bringe.
- *Langeweile*: Hier findet sich in der Regel einfach das Adjektiv »langweilig«, oft in Kombination mit einer Bemerkung aus der Kategorie »Unterforderung«.
- *Thema*: Genannt werden hier oft lediglich das Wort »Thema« oder auch »uninteressantes Thema«.
- *Fragebogen*: Es wird in der Regel das Wort »Fragebogen« geschrieben,

ohne zusätzliche Erläuterung.

- *keine Physik*: Diese Kategorie wurde eher der Kuriosität wegen aufgenommen. Die zugehörige Anmerkung lautet vollständig: »keine richtige Physik mit Zahlen«. Es handelt sich um die einzige Bemerkung, die explizit das nicht-fachliche Thema des Unterrichts monierte.
- *Sonstiges*: Neben unspezifischen Bemerkungen wie »alles« oder »nichts« wurden hier auch Hinweise »zuviel Theorie« (in ähnlicher Form fünfmal genannt) eingeordnet.

3. Kosmologie positiv

- *Gruppenarbeit*: Die Bedeutung dieser Nennungen ist unklar, da in dieser Unterrichtseinheit bis auf eine kurze Partnerarbeitsphase keine Gruppenarbeit stattfand. Möglicherweise beziehen sie sich auf die Unterrichtseinheit zur Wissenschaftstheorie.
- *Material*: In diese Kategorie wurden zum Beispiel eingeordnet »Präsentation«, »Arbeitsblatt«, »Beispiele und Modelle« oder »der besonders abwechslungsreiche Medienrummel«.
- *Gummibandmodell*: In dieser Kategorie finden sich lediglich die expliziten Nennungen dieses Modellversuchs. Allgemeine Formulierungen wie »Modelle« sind der Kategorie 'Material' zugeordnet.
- *Thema*: Neben dem allgemeinen Begriff »Thema« wurden in diese Kategorie zum Beispiel »Galaxien«, »Rotverschiebung« oder »Ausbreitung des Universums« eingeordnet.
- *Experimente*: In diese Kategorie wurden »Versuche«, »Experimente« und z. B. auch »Spektrometer« aufgenommen.
- *Größenverhältnisse*: In diese Kategorie wurden Bemerkungen aufgenommen, die sich explizit auf den Unterrichtsabschnitt zu den Größenverhältnissen im Universum beziehen, zum Beispiel »Größenmodelle«, »Modell zu den Größenverhältnissen« oder »Bildliche Darstellung der großen Entfernungen«.
- *Sonstiges*: Hier finden sich zum Beispiel »spannend«, »allgemeine Relativitätstheorie«, »Bezug zum Physik-Unterricht« oder »selbst ausprobieren«.

4. Kosmologie negativ

- *Gruppenarbeit*: Siehe oben.
- *Unterforderung*: Hier sind Bemerkungen wie »teils unterfordert bei

6. Quantitative Studie

Fragen« oder »zu einfach aufgebaut« eingeordnet.

- *Langeweile*: Die beiden in diese Kategorie eingeordneten Anmerkungen lauten »manchmal war es ein bisschen langweilig« und »es war langweilig«.
- *Thema*: Dieser Kategorie wurde zweimal die Nennung »Thema« und dreimal »Rotverschiebung« zugeordnet.
- *Fragebogen*: Siehe oben.
- *Zuviel Stoff*: Die Bemerkungen lauten hier zum Beispiel »zu viel Informationen in zu wenig Zeit« oder »Zeitdruck«.
- *Sonstiges*: Hier finden sich Bemerkungen wie »alles«, »zu kurz«, »ab und zu ein wenig kompliziert«, »nicht abirelevant«, sowie Kritik an der Unterrichtsdurchführung bzw. -methode z. B. »man hätte bei Experimenten mehr einbezogen werden können« und »wenig selbst erarbeitet« oder an speziellen Teilen des Unterrichts, z. B. »die Hausaufgabe« oder »Rotverschiebung nicht sehr ausführlich«.

Allzu weitgehende Schlussfolgerungen aus den Abbildungen 6.24 und 6.25 sind sicherlich nicht gerechtfertigt. Dennoch legen sie einige Vermutungen hinsichtlich der Ursachen des Unterschiedes in der Interessantheit der beiden Unterrichtseinheiten nahe: Bei der Wissenschaftstheorie werden sowohl die Unterrichtsmethode als auch die -materialien einhellig positiv bewertet. Auch das Unterrichtsthema sticht mit sehr vielen positiven Nennungen heraus, allerdings existiert hier eine zwar kleinere, aber augenfällige Zahl negativer Bewertungen. Ein gewisser Teil der Schüler empfindet das Anforderungsniveau des Unterrichts offenbar als zu niedrig und fühlt sich unterfordert. Dies scheint bei der Unterrichtseinheit zur Kosmologie in deutlich geringerem Maße der Fall zu sein. Im Gegenteil, bezüglich der Stofffülle wird von einigen Schülern eher eine Überforderung vermerkt (Kategorie »Zuviel Stoff«). Materialien und Themen werden - wie bei der Wissenschaftstheorie - weitgehend als positive Aspekte des Unterrichts bewertet. Als eine mögliche Ursache für die geringere Interessantheit des Wissenschaftstheorie-Unterrichts könnte die gefühlte Unterforderung eines Teils der Schüler vermutet werden. Bei den 27 Schülern, deren Anmerkungen der Kategorie Unterforderung zugeordnet wurden, ist der Mittelwert der Interessantheit des Wissenschaftstheorie-Unterrichts in der Tat mit 2.63 geringer als bei den übrigen Schülern (2.76). Der Unterschied ist jedoch nicht signifikant. Interessanterweise schätzt diese Teilgruppe die Interessantheit des Kosmologie-Unterrichts signifikant höher ein (3.81 gegenüber 3.20 bei den übrigen Schülern, $p = 0.006$). Dies ist in Übereinstimmung mit

der Vermutung. Diese 27 Schüler schneiden tatsächlich auch im Nachtest zur Wissenschaftstheorie mit 62 % gegenüber 54 % beim Rest der Stichprobe signifikant besser ab ($p = 0.017$)³⁷. Allerdings zeigt der Wert von 62 % auch, dass die gefühlte Unterforderung nicht unbedingt mit einer sehr guten Beherrschung des Lernstoffs einhergeht.

Topologische Interesse Die Skalen zum topologischen Interesse beinhalten Items zu verschiedenen Aspekten der beiden Unterrichtsthemen. Ein Vergleich der Mittelwerte der Skalen scheint hier wenig sinnvoll. Stattdessen betrachten wir, welche Items jeweils als besonders interessant bzw. wenig interessant bewertet wurden. Bei den acht Items zur Kosmologie variieren die Mittelwerte zwischen 2.36 und 3.54. Als am interessantesten wurden die Items

»Ein leistungsfähiges Spektrometer selbst konstruieren.« (3.54)

und

»Berechnen, wie viele Lichtjahre eine Galaxie bei einer bestimmten Rotverschiebung von uns entfernt ist.« (3.40)

bewertet - also eine praktisch konstruktive und eine theoretische Tätigkeit. Als am wenigsten interessant wurden die Items

»Weitere Indizien kennenlernen, die auf den Urknall hindeuten.« (2.36)

und

»Mehr Informationen darüber erhalten, welchen aktuellen Forschungsfragen Kosmologen nachgehen.« (2.76)

bewertet. Das Interesse an einer vertieften Beschäftigung mit der Kosmologie scheint also - zumindest im Durchschnitt - nicht allzu ausgeprägt.

Bei den sechs Items zur Wissenschaftstheorie variieren die Mittelwerte in geringerem Maße, nämlich zwischen 2.81 und 3.36. Als am interessantesten wurde

»Jemandem erklären, warum sich Physik nicht mit allen Fragen beschäftigt.« (3.36)

bewertet - also das Erklären des zentralen Unterrichtsthemas. Als am wenigsten interessant wurde

»Darüber diskutieren, ob das Universum einen Sinn hat.« (2.81)

eingeschätzt. Interessanterweise ist bei der Wissenschaftstheorie das Interesse an vertiefenden Informationen überdurchschnittlich: Das Item

»Noch mehr über die Merkmale der physikalischen Methode erfahren.«

hat mit 3.18 den zweithöchsten Mittelwert.

³⁷ Diese Teilgruppe erzielt auch beim Nachtest zur Kosmologie bessere Ergebnisse (50 % gegenüber 43 % und hat eine durchschnittlich bessere Zeugnisnote in Physik (2.46 gegenüber 2.80). Beide Unterschiede sind aber nicht signifikant.

Zusammenfassung Die wesentlichen Ergebnisse hinsichtlich der Wirkung des Unterrichts sind:

1. Beide Unterrichtseinheiten haben kurzfristig eine signifikante Änderung der eigenen wie auch der bei Physikern vermuteten Ansichten zur Folge. Die Verringerung durch den Wissenschaftstheorie-Unterricht ist dabei ein etwa doppelt so starker Effekt ($d = 0.4^{***}$ bzw. 0.5^{***}) wie die Vergrößerung infolge des Kosmologie-Unterrichts (jeweils $d = 0.2^{**}$).
2. Als Konsequenz wird die Diskrepanz der Ansichten durch den Wissenschaftstheorie-Unterricht kurzfristig signifikant verringert. Für die gesamte Stichprobe ist die Stärke dieses Effektes $d = 0.2^{**}$.
3. Ein signifikanter Effekt auf das Fachinteresse ist damit nicht verbunden. Lediglich in Folge des Kosmologie-Unterrichts erhöht sich dieses kurzfristig. Dieser Effekt ist aber klein ($d = 0.1$) und nur bei zwei der drei Tests signifikant.
4. Der Wissenschaftstheorie-Unterricht führt - offenbar auch längerfristig - zu einem Zuwachs an Wissen über die im Unterricht behandelten methodischen Merkmale der Physik.

Die Effekte der beiden Unterrichtseinheiten auf die Ansichten zur Reichweite der Naturwissenschaften entsprechen in ihrer Tendenz den Erwartungen. Obwohl der Wissenschaftstheorie-Unterricht die Diskrepanz verringert, führt dies jedoch nicht zum erhofften Anstieg des Fachinteresses. Nach dem Kosmologie-Unterricht bleibt die Diskrepanz unverändert, die Reichweite der Naturwissenschaften wird aber größer eingeschätzt. Auch wird dieser Unterricht als etwas interessanter bewertet. Da die Regression zum Fachinteresse (siehe Tabelle 6.9) die Interessantheit und den schülereigenen Szientismus als wichtige Einflussfaktoren auf das Fachinteresse identifiziert, ist es naheliegend, hierin zwei Gründe für deren (geringe) Zunahme nach dem Kosmologie-Unterricht zu sehen. Als sehr erfreulich ist es zu bewerten, dass das im Unterricht erworbenene Wissen zu den methodischen Merkmalen der Physik offenbar auch nach längerer Zeit noch vorhanden ist.

6.2.4. Evaluation

Es wurde versucht die Ergebnisse der Studie in verschiedener Weise zu validieren. Zum einen wurden qualitative Daten in Form von Interviews sowie von

Audiomitschnitten des Unterrichts erhoben. Zum anderen wurde im Rahmen einer weiteren quantitativen Studie sowohl der Kontext als auch die Methode des Unterrichts variiert. Diese Studie, wie auch die Analyse der Audiomitschnitte, wurden von Christian Imwalle im Zuge seiner Bachelor- bzw. Masterarbeit durchgeführt.

Interviews zur Unterrichtseinheit

Bei zwei der an der Studie beteiligten Kurse ergab sich die Möglichkeit mit einigen Schülern Interviews zu führen. Ziel dieser Interviews war es detaillierte Informationen über die Wirkung des Unterrichts zu erhalten und damit eine gewisse Validierung der quantitativen Daten zu verbinden. Der Einfluss des Unterrichts auf die Überzeugungen und das Interesse sowie der Lernerfolg standen dabei im Mittelpunkt. Insgesamt konnten sechs vollständige Interviews mit einer Dauer von etwa 15 Minuten geführt werden³⁸.

Planung und Inhalt der Interviews Im Fokus der Interviews standen die folgenden drei Aspekte:

1. Wie erlebten die Schüler den Unterricht? Vor allem, wie interessant fanden sie den Unterricht zur Wissenschaftstheorie, was war besonders interessant bzw. uninteressant, und hat dieser Unterricht - nach ihrer Einschätzung - ihr Interesse am Fach Physik beeinflusst.
2. An welche Inhalte des Wissenschaftstheorie-Unterrichts konnten sich die Schüler erinnern und inwieweit waren sie in der Lage diese zu erläutern?
3. Wie beurteilen Sie den Einfluss des Unterrichts auf ihr eigenes »Weltbild« bzw. ihre Einschätzung der Ansichten von Physikern?

Außerdem wurden die Schüler gebeten Vorschläge für die Verbesserung der beiden Unterrichtseinheiten zu machen. Ebenfalls in die Interviews aufgenommen wurde eine Frage zur Validierung der Szientismus-Skala³⁹. Die Interviews wurde »halb-offen« anhand eines Leitfadens (siehe Anhang A.4.1) geführt. Der Leitfaden enthält Beispielformulierungen für Fragen sowie einen möglichen Ablauf eines Interviews. In Abhängigkeit von den Antworten der Schüler, stand es dem Interviewer jedoch frei von diesen Vorgaben abzuweichen, sofern ihm dies im Sinne eines flüssigeren Ablaufs angebracht erscheinen sollte.

³⁸ Ein weiteres Interview musste leider wegen des Beginns der nächsten Schulstunde vorzeitig abgebrochen werden.

³⁹ Es wurde gefragt, inwieweit eine Variation der Formulierung »Mehrheit der Physiker/innen« das Antwortverhalten beeinflusst hätte.

6. Quantitative Studie

Bei den beiden Kursen handelte es sich um Physik-Leistungskurse, was zur Folge hatte, dass ausnahmslos Schülerinnen und Schüler mit mittleren bis hohen Werten des Fachinteresses zur Verfügung standen. Hinsichtlich der Ansichten zum Szientismus wurden jeweils drei Schülerinnen und Schüler aus den Gruppen II und III für die Interviews gewonnen. Bei einem der Kurse wurden die Interviews direkt im Anschluss an den Unterricht geführt, bei dem anderen mit einem zeitlichen Abstand von wenigen Wochen.

Auswertung der Interviews Zu den Interviews wurden anhand der Audioaufzeichnungen schriftliche Zusammenfassungen angefertigt. Jede Zusammenfassung ist in folgende Abschnitte gegliedert:

1. *Allgemeiner Eindruck.* Hier sind die Eindrücke vom Unterricht zusammenfasst. Was ist aufgefallen, was war gut, was schlecht?
2. *Interessantheit und Interesse.* Als wie interessant wurde der Unterricht zur Wissenschaftstheorie empfunden? Was war besonders interessant, was weniger? Hat der Unterricht das Interesse am Fach Physik beeinflusst?
3. *Wissen.* Welche Inhalte des Wissenschaftstheorie-Unterrichts werden erinnert und können erläutert werden?
4. *Ansichten.* Wie ist die Ansicht zu der Auffassung, dass ein szientistisches Weltbild zwangsläufiges Ergebnis der physikalischen Forschung sei?⁴⁰ Hat der Unterricht das eigene oder das bei Physikern vermutete Weltbild verändert? Aus welchen Gründen werden Physiker als eher szientistisch eingeschätzt?
5. *Frage zur Validierung der Skala.* Wie empfindlich hängt die Antwort auf die Items der Szientismus-Skala von einer Variation der Formulierung »Mehrheit der Physiker/innen« ab.
6. *Verbesserungsvorschläge.* Gibt es Verbesserungsvorschläge für den Unterricht?

Teile der Interviews, die sich vor allem auf die für die Fragestellungen der Studie wichtigen Aspekte *Interesse* und *Ansichten* beziehen, wurden transkribiert und in die Zusammenfassungen eingefügt. Sie dienen einerseits der Illustration, und sollen andererseits dem Leser ermöglichen, sich eigenes Bild von Inhalt und Form der Interviews zu verschaffen. Auf eine vollständige schriftliche

⁴⁰ Diese Frage bezieht sich - zumindest implizit - auf ein Ergebnis des Unterrichts (Kompatibilität verschiedener philosophischer Standpunkte mit den Prinzipien physikalischer Forschung). Zugleich ist sie der Aufhänger für die anschließenden Fragen zu den Ansichten der Schüler. Dafür wurde die etwas umständliche Einführung des neuen Begriffs »szientistisch« während des Interviews in Kauf genommen.

Transkription der Interviews wurde verzichtet.

Die Zusammenfassungen finden sich in Abschnitt A.4.2 des Anhangs. Den sechs Schülerinnen und Schülern wurden fiktive Namen gegeben. Am Anfang jeder Zusammenfassung sind zum Vergleich die quantitativen Daten zum Szientismus, dem Fachinteresse, dem Wissen (Nachtest Wissenschaftstheorie) und der Interessantheit der beiden Unterrichtseinheiten angegeben, außerdem das Geschlecht und der Kurs (mit A, B bezeichnet).

Im Folgenden werden die Zusammenfassungen der Interviews abschnittsweise verglichen. Auf eine statistische Analyse wird aufgrund der kleinen Zahl von Interviews verzichtet.

1. *Allgemeiner Eindruck.* Die von den Schülern geschilderten Eindrücke zu den beiden Unterrichtseinheiten bestätigen weitgehend die Ergebnisse der Fragebögen zur Interessantheit. Zwei Schüler nennen explizit die Kosmologie als das interessante Thema. Dies korrespondiert zu den Werten der beiden Interessantheits-Variablen, die bei der Kosmologie jeweils deutlich höher ausfallen (4.75 zu 2.5 bei Berta, 4.5 zu 2.75 Jan). Die Vermutung, dass eine Unterforderung die Ursache für die im Durchschnitt geringere Interessantheit des Wissenschaftstheorie-Unterrichts sein könnte, wird von den Interviews nicht unbedingt bestätigt. Die beiden Schüler (Anna und Max), die auf dem Fragebogen eine höhere Interessantheit des Wissenschaftstheorie-Unterrichts angegeben haben (3.5 zu 1.25 bzw. 3.25 zu 2.5), sind nämlich genau diejenigen, die ein etwas zu niedriges Niveau für ihre (12.) Jahrgangsstufe bemängeln. Als positiv wurde beim Kosmologie-Unterricht die Präsentation und das Gummibandmodell (jeweils zweimal), sowie die Größenordnungen im Weltall und das Arbeiten mit den Spektrometern (jeweils einmal) hervorgehoben. Beim Wissenschaftstheorie-Unterricht wurde die Gruppenarbeit (zweimal) sowie die Arbeitsblätter und das Projektionsmodell (jeweils einmal) genannt.
2. *Interessantheit und Interesse.* In diesem Abschnitt wurde speziell nach der Wissenschaftstheorie gefragt. Lediglich ein Schüler (Jan) findet den Unterricht zur Wissenschaftstheorie interessanter als den durchschnittlichen Physikunterricht, führt dafür aber eher Unterrichtsmethoden als Gründe an. Eine Schülerin (Dora) findet ihn uninteressanter und bestätigt auf Nachfrage, dass sie »richtige Physik« mehr interessiere. Auch der Schüler Jan findet die Wissenschaftstheorie als Thema nicht so interessant, weil es für ihn nicht »wirklich physikalisch« sei. Hier ist sicherlich zu beachten, dass er sich durchweg um Schüler aus Physik-Leistungskursen handelt. Alle Schüler geben an, dass sie das Fach Physik schon zuvor in-

6. Quantitative Studie

interessant fanden, und sich ihr Interesse daran durch den Unterricht nicht geändert habe. Dies entspricht den weitgehend geringen Änderungen des Fachinteresses auf dem Fragebogen.

3. *Wissen.* Fünf der sechs Schüler können sich an wenigstens zwei der drei im Unterricht behandelten methodischen Merkmale erinnern und diese auch mehr oder weniger korrekt erläutern. Insgesamt wurde jedes Merkmal gleich häufig (viermal) genannt. Hinsichtlich der zweiten Unterrichtsstunde fällt zwei Schülern das Projektionsmodell ein. Sie können dessen Bedeutung auch entsprechend der Verwendung im Unterricht wiedergeben.
4. *Ansichten.* Gemäß den Angaben auf dem Fragebogen gehören drei Schüler (Anna, Berta und Tim) zur Gruppe II und die übrigen drei (Dora, Jan und Max) der zur Gruppe III. Anna und Berta betonen die Grenzen der Physik. Sie geben die Frage nach dem »Sinn des Lebens« (Anna, Berta) oder moralische Fragen (Berta) als nicht durch die Physik beantwortbar an. Beide vermuten, dass Physiker eher szientistische Ansichten besitzen. Anna glaubt, dass nur so die große Hingabe der Physiker für ihr Fach (die sie vermutet) erklärbar sei. Sie vermutet, dass Physiker vielleicht weniger szientistisch denken würden, wenn sie sich - wie im Unterricht - mit den Grenzen der Physik beschäftigen würden. Sie ist sich dabei aber nicht sicher. Berta gibt ihr »Bauchgefühl« als Begründung an und sieht offenbar - zumindest bei einem Teil der Naturwissenschaftler - eine Verbindung zu einem fehlenden Bezug zur Religion. Tim scheint dagegen die Grenzen eher im fachlich-technischen Bereich zu sehen (Beispiel Teilchenbeschleuniger). Nach seiner Einschätzung, denkt er (noch) nicht so szientistisch wie Physiker, weil er noch nicht deren Kenntnisse über die Möglichkeiten der Physik besitzt. Bei den anderen drei Schülern sehen Jan und Max ebenfalls Grenzen bei moralischen Fragen oder dem Sinn des Lebens. Beide glauben aber, das vielleicht einmal die Ursache der Existenz von Menschen oder »warum sich etwas entwickelt« (Max) naturwissenschaftlich erklärt werden könnte. Max wurde durch den Unterricht zum Nachdenken über die Grenzen der Physik angeregt. Er sieht auch eine Grenze bei Allem, was sich im Gehirn »abspielt«, wie Gedanken oder Gefühle. Jan gibt außerdem »Zwischenmenschliches« wie »Liebe oder so« an. Dora nennt keine explizite Grenze, sondern sieht ein stetes Hinausschieben der Grenzen durch fortwährende Forschung.

Auch wenn die Unterschiede zwischen den beiden Gruppen bei den eigenen Auffassungen nicht so groß erscheinen, wie man vielleicht aufgrund der beträchtlichen Unterschiede in den Szientismus-Werten vermuten

könnte, ist doch auffällig, dass die Schüler in Gruppe III neben den Grenzen auch bestimmte Möglichkeiten betonen. Moralischen Fragen und der der »Sinn des Lebens« werden in beiden Gruppen am häufigsten bei den Grenzen genannt. Betrachtet man die Bewertungen der Items auf der Szientismus-Skala, so passen diese sehr gut zu den Aussagen der Schüler: die entsprechenden zwei Items (das zweite und das sechste der Skala) sind niedrig bewertet (vgl. Tabelle A.12 im Anhang). In der Tat haben diese beiden Items auch die kleinsten Mittelwerte in der gesamten Stichprobe (1.92 bzw. 1.93 beim Test nach dem Kosmologie-Unterricht; der Mittelwert über alle Items ist hier 2.60, siehe 6.9)

5. *Frage zur Validierung der Skala.* Alle Schüler sehen eine Variation in der Formulierung als irrelevant an.
6. *Verbesserungsvorschläge.* Den Unterricht zur Wissenschaftstheorie wünscht sich Max etwas anspruchsvoller, insbesondere die zweite Stunde. Außerdem fände er es gut, wenn hier mehr diskutiert würde. Bei der Kosmologie wünscht sich Jan mehr über Planetensysteme, Supernovae oder Schwarze Löcher zu erfahren. Dora würde gern mehr über die Expansion des Universums erfahren und fände ein Handout zum Nachlesen gut.

Die übrigen Schüler haben keine Verbesserungsvorschläge bzw. befinden beide Unterrichtseinheiten für in Ordnung.

Résumé Rückblickend betrachtet, erscheinen einige Interviewfragen - insbesondere die nach dem Einfluss des Unterrichts - als außerordentlich schwierig beantwortbar. Sie erfordern einen enormen Maß an Selbstreflexion. In der Tat fallen die meisten Antworten hier auch sehr kurz aus. Außerdem wäre sicherlich an einigen Stellen ein genaueres Eingehen des Interviewers auf die Schülerantworten wünschenswert gewesen, insbesondere dort, wo diese nicht eindeutig interpretierbar sind.

Die Aussagekraft der Interviews ist zudem durch verschiedene Faktoren eingeschränkt - unter anderem die relativ kleinen Zahl von Teilnehmern, sowie der Tatsache, dass alle Schüler aus zwei Physik-Leistungskursen stammen. Für diesen kleinen Ausschnitt der gesamten Stichprobe lässt sich jedoch eine gute Übereinstimmung zwischen quantitativen und qualitativen Daten konstatieren.

Insgesamt sind fünf der sechs interviewten Schüler offenbar der Ansicht, dass die physikalische Forschung fundamentale Grenzen besitzt. Genannt werden hier vor allem moralische Fragen oder die nach dem Sinn des Lebens. Aus den Interviews geht jedoch wenig über die Ursachen für diese Auffassung hervor.

6. Quantitative Studie

Einige Schüler geben an, der Unterricht habe sie in ihren Ansichten bestätigt. Inwieweit diese Grenzen von ihnen - wie im Unterricht - auf methodische Merkmale der Physik zurückgeführt werden, ist unklar. Hinsichtlich des Wissenserwerbs durch den Unterricht ist zweifellos positiv zu bewerten, dass sich alle Schüler an wenigstens zwei der drei im Unterricht behandelten Merkmale erinnern und diese auch weitgehend richtig erläutern konnten. Dies bestätigt die guten Ergebnisse zu Aufgabe 1 des Wissenstests⁴¹.

Schließlich vermitteln bereits diese wenigen und recht kurzen Interviews einen lebendigen Eindruck von der Vielfältigkeit der Auffassungen - ein Eindruck, der sich durch die quantitativen Daten allein nicht gewinnen lässt.

Experimentelle Studie von C. Imwalle

Wie in diesem Kapitel ausgeführt, hat der Unterricht zur Wissenschaftstheorie offenbar signifikante Effekte auf die szientistischen Überzeugungen als auch auf das Wissen über die methodischen Merkmale der Physik. Ein Manko ist jedoch zweifellos das Fehlen einer Kontrollgruppe. Im Rahmen der Bachelorarbeit von Christian Imwalle (Imwalle, 2010) ermöglichte nun eine Verkürzung der Unterrichtszeit auf lediglich eine Stunde die Realisierung eines experimentellen Untersuchungsplans bei hinreichend großer Stichprobe. Die Frage war, ob auch in derart kurzer Zeit eine Vermittlung grundlegender Kenntnisse möglich ist. Hierzu sollten die Grenzen der Physik wiederum explizit thematisiert werden. Die Verkürzung der Unterrichtszeit machte es erforderlich sowohl die Unterrichtsmethode als auch den Kontext zu verändern. Die Arbeit wurde von der Arbeitsgruppe Physikdidaktik an der Universität Osnabrück betreut. Sie ergänzt die vorliegende Studie in wichtiger Weise. Im Folgenden soll sie daher mit ihren wesentlichen Ergebnissen in knapper Form zusammengefasst werden. Ursprünglich wurden in der statistischen Analyse keine Interaktionseffekte modelliert. Da diese jedoch bei einem experimentellen Design eine wichtige Rolle spielen können, wurde die Daten für diese Arbeit noch einmal neu analysiert.

Die Instruktion Für den Unterricht und die Erhebung der Daten mittels Fragebögen standen 45 Minuten zur Verfügung. Als Instruktionsform wurde daher ein sog. »Refutational Text« gewählt, der als geeignete Methode für derart kurze Interventionen gilt (für einen Überblick vgl. z. B. Tippett, 2010). Refutational Texts wurden vor allem in der Forschung zu Schüler(wohl)vorstellungen hinsicht-

⁴¹ Einen weitaus detaillierteren Einblick in den Prozess und Erfolg des Wissenserwerbs Unterricht geben die Audiomitschnitte des Unterrichts. Die Ergebnisse ihrer Analyse werden in Abschnitt 6.2.4 zusammengefasst.

lich ihres Potentials zur Herbeiführung von Konzeptwechseln untersucht. Sie zeichnen sich von anderen, z. B. Schulbuchtexten dadurch aus, dass sie direkt auf eine Schülervorstellung Bezug nehmen, diese zu widerlegen suchen und eine alternative, aus wissenschaftlicher Sicht angemessenere Erklärung anbieten. Zahlreiche Untersuchungen kommen zu dem Schluß, dass diese, allein auf dem Durchlesen eines Textes basierende Methode, ein effektives Mittel zu Einleitung von Konzeptwechseln sein kann (siehe Guzzetti et al. (1993); Tippett (2010)).

Als Grundlage für den Refutational Text wurde der im Gruppenpuzzle verwendete Text zu den drei Merkmalen der physikalischen Forschung und den aus ihnen resultierenden Grenzen gewählt (siehe A.1.2). Da hierin an einigen Stellen auf den Kosmologie-Unterricht Bezug genommen wird, wurden die entsprechenden Beispiele von Herrn Imwalle durch solche, die sich auf den herkömmlichen Physikunterricht beziehen, ersetzt. Ein Beispiel möge dies verdeutlichen. Im ursprünglichen Text heißt es:

»Was bedeutet die Forderung von Nachprüfbarkeit also in Bezug also auf das Licht entfernter Galaxien? Hat ein Physiker die rote Linie einer Galaxie mit seinem Spektrometer bei einer Wellenlänge von zum Beispiel 690 Nanometern beobachtet, so muss diese Wellenlänge von anderen Forschern zumindest prinzipiell bestätigt werden können.«

Die entsprechende Formulierung im Refutational Text lautet:»Was bedeutet die Forderung nach Nachprüfbarkeit also im Bezug auf unser Eisenstück? Hat ein Physiker eine Kraft von beispielsweise 64 Newton mit einem Kraftmesser gemessen, so muss dieses Ergebnis von anderen Forschern zumindest prinzipiell bestätigt werden können.«

Für die Vergleichsgruppe wurde von Herrn Imwalle auf der Basis von Schulbuchtexten ein weiterer Text entwickelt, der nicht explizit die Grenzen der Physik thematisiert, sondern lediglich über deren Methoden informiert. Beide Texte haben eine vergleichbare Länge.

Aufbau und Durchführung der Studie Die beiden Texte wurden in elf Kursen der Sekundarstufe II an Gymnasien im Umland von Osnabrück eingesetzt. Insgesamt nahmen 183 Schüler an der Studie teil (Interventionsgruppe: $N = 92$, Kontrollgruppe: $N = 91$). Die Texte wurden in jeder Klasse per Zufallsprinzip an die Schüler verteilt. Die Unterrichtszeit betrug inklusive Vor- und Nachtest 45 Minuten. Erhoben wurden jeweils die Überzeugungen zum Szientismus (eigene und bei Physikern vermutete Ansichten), das Fachinteresse sowie im Nachtest das Wissen⁴² zu den methodischen Merkmalen der Physik; außerdem die Jahrgangsstufe, das Geschlecht und der Kurstyp. Abbildung 6.26 zeigt den

⁴² Hierfür wurde Aufgabe 1 des Nachtests der Längsschnittstudie verwendet.

6. Quantitative Studie

Untersuchungsplan der Studie. Der verzögerte Nachtest wurde lediglich in einem Kurs erhoben (N = 38).

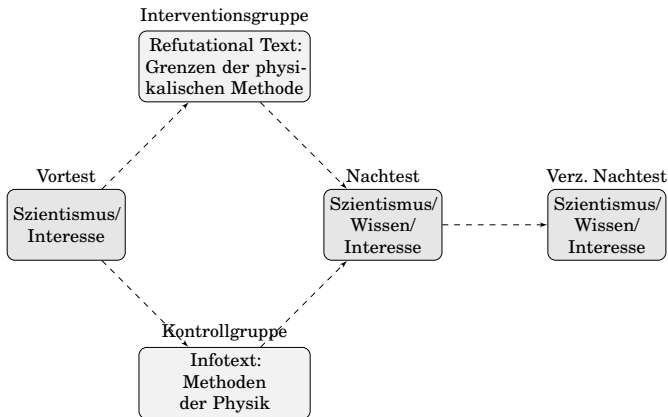


Abb. 6.26. Design der Studie mit der Instruktionsvariante Refutational Text.

Auswertung und Ergebnisse Im Folgenden werden lediglich die wesentlichen Resultate zusammengefasst. Wie erwähnt, wurden die Daten noch einmal neu analysiert. Analog zur Auswertung der Längsschnittstudie wurde ein gemischtes Modell mit einem zufälligen Effekt zur Berücksichtigung der Korrelationen zwischen zwei Zeitpunkten verwendet. Neben der Zeit ist die Instruktionsvariante (also die Textart) die zweite kategoriale Variable. Eine Interaktion zwischen diesen beiden Faktoren wurde ebenfalls in das Modell aufgenommen⁴³. Die Ergebnisse wurden mit denen einer Varianzanalyse mit den Faktoren Zeit und Instruktionsvariante verglichen. Aufgrund der geringen Stichprobengröße beim verzögerten Nachtest wurden bei beiden Modellen zunächst nur die ersten beiden Messzeitpunkte einbezogen. Berichtet werden die Ergebnisse des gemischten Modells, diejenigen der Varianzanalyse werden nur im Falle signifikanter Abweichungen gesondert erwähnt. Ein gemischtes Modell unter Einbezug aller drei Messzeitpunkte wurde ebenfalls berechnet. Die Ergebnisse werden wiederum nur im Falle signifikanter Abweichungen aufgeführt. Die Normalverteiltheit der Residuen wurde visuell mittels eines Q-Q-Plots sowie mit

⁴³ Man spricht von einer *Interaktion* zwischen zwei Kovariablen, wenn die Auswirkung der Veränderung einer Variable vom Wert der anderen abhängt. In der Regression wird dies durch Einführung des Produktes der beiden interagierenden Variablen als weitere Kovariable modelliert. Die Auswirkungen solcher Produktterme auf die abhängige Variable nennt man *Interaktionseffekte*, die übrigen *Haupteffekte*.

einem Kolmogoroff-Smirnov-Test geprüft. Im Folgenden wird darauf lediglich eingegangen, falls der Test signifikant ist.

Szientismus Schüler In Abbildung 6.27 ist der zeitliche Verlauf der eigenen Ansichten der Schüler in den beiden Gruppen gezeigt⁴⁴. Während in der Kontrollgruppe nahezu keine Veränderung sichtbar ist, sinkt der Wert in der Interventionsgruppe nach der Instruktion, steigt dann beim verzögerten Nachtest allerdings wieder an. Die Zeit ist hier ein signifikanter Haupteffekt ($F(1, 181) = 47.53, p < 0.001$), jedoch nicht die Instruktionsvariante. Ebenfalls signifikant ist die Interaktion zwischen Zeit und Instruktionsvariante ($F(1, 181) = 21.02, p < 0.001$). Da sich nach der Intervention der Wert in der Kontrollgruppe nur geringfügig verändert hat, ist der Interaktionseffekt ähnlich stark wie die Änderung in der Interventionsgruppe ($d = 0.4, p < 0.001$) allein⁴⁵. Das Absinken des Wertes nach der Instruktion ist mit $d = 0.4, (p < 0.001)$ ein mittelstarker Effekt. Der nachfolgende Anstieg ist wegen der kleinen Stichprobe beim Nachtest weniger signifikant, bleibt aber unter dem 0.05-Niveau ($d = 0.6, p < 0.03$). Die gesamte Änderung zwischen dem ersten und dem dritten Messzeitpunkt ist nicht signifikant.

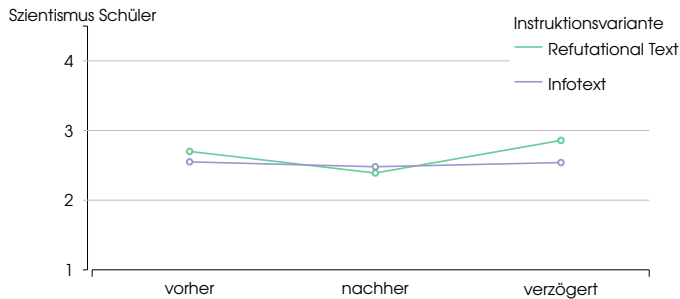


Abb. 6.27. Zeitlicher Verlauf der eigenen Ansichten der Schüler für Kontroll- und Interventionsgruppe.

⁴⁴ In solch einem »Interaktionsplot« wird häufig lediglich der relevante Ausschnitt auf der Ordinate dargestellt (hier z. B. zwischen den Werten 2 und 3). Dadurch werden die Änderungen betont, aber ihre Relation zu den absoluten Werten geht etwas verloren. In den Abbildungen 6.27 - 6.29 wurde versucht einen Mittelweg zu wählen.

⁴⁵ Die Effektstärke von Interaktionseffekten ist hier erneut über Mittelwertunterschiede in Einheiten der Standardabweichung definiert. Morris (2008) folgend, berechnen wir sie als Differenz der Änderungen der Mittelwerte geteilt durch die gepoolte Standardabweichung zum ersten Messzeitpunkt. Als Formel: $d = \frac{|\Delta\bar{x}_I - \Delta\bar{x}_K|}{\sigma_{pooled}}$. Hierbei sind $\Delta\bar{x}_I$ bzw. $\Delta\bar{x}_K$ die Änderungen der Mittelwerte in der Interventions- bzw. Kontrollgruppe zwischen den beiden Messzeitpunkten und σ_{pooled} ist die gepoolte Standardabweichung zum ersten Messzeitpunkt.

6. Quantitative Studie

Szientismus Physiker Bei den bei Physikern vermuteten Ansichten, deren Verlauf in Abbildung 6.28 dargestellt ist, sinkt der Wert in der Interventionsgruppe nach der Instruktion deutlich ab, während er in der Kontrollgruppe ansteigt. Beide Werte sind beim verzögerten Nachtest kaum verändert. Hier sind sowohl die Zeit ($F(1, 181) = 7.85, p < 0.006$) als auch die Instruktionsvariante ($F(1, 181) = 4.35, p < 0.04$) signifikante Haupteffekte. Deutlich am stärksten ist jedoch der Interaktionseffekt mit $F(1, 181) = 43.10, p < 0.001$. Die Stärke der Abnahme in der Interventionsgruppe ist mit $d = 0.5$ ($p < 0.001$) größer als die Zunahme in der Kontrollgruppe mit $d = 0.3$ ($p < 0.03$). Da beide Effekte entgegengerichtet sind, ergibt sich mit $d = 1.1$ ($p < 0.001$) ein starker Interaktionseffekt⁴⁶. Die Stärke dieser Effekte bleibt infolge der geringen Änderungen zwischen dem zweiten und dritten Messzeitpunkt auch beim verzögerten Nachtest erhalten. Aufgrund der kleinen Stichprobe zu diesem Zeitpunkt sind die Standardfehler jedoch so groß, dass sie weit von einer Signifikanz entfernt sind ($p > 0.5$ für Änderungen zwischen dem dritten und den beiden vorhergehenden Zeitpunkten).

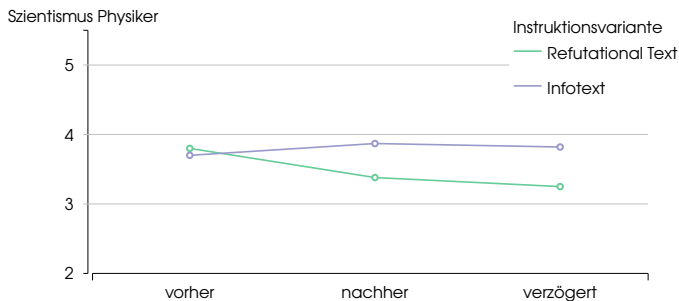


Abb. 6.28. Zeitlicher Verlauf der bei Physikern vermuteten Ansichten für Kontroll- und Interventionsgruppe.

Szientismus-Diskrepanz Wegen ihrer hypothetischen Bedeutung für das Interesse wird auch hier wieder die »Szientismus-Diskrepanz« für sich betrachtet. Der Verlauf ist in Abbildung 6.29 gezeigt. Die Diskrepanz steigt in der Kontrollgruppe nach dem Unterricht leicht an, in der Interventionsgruppe verkleinert

⁴⁶ Dass dieser nochmals größer als die Summe der beiden Einzeleffekte ist, liegt an den vergleichsweise kleinen Varianzen beim Vortest. Es sei darauf hingewiesen, dass ein gemischtes Modell unter Einbezug aller drei Zeitpunkte keinen signifikanten Haupteffekt der Zeit liefert. Dieses Modell besteht allerdings den Kolmogoroff-Smirnov-Test nicht. Ein modifiziertes Modell mit einer transformierten abhängigen Variablen (Potenz mit dem Exponenten 1.6) besteht den Test und liefert auch wieder einen signifikanten Effekt der Zeit ($F(2, 59.3) = 3.99, p < 0.024$)

sie sich geringfügig. Diese geringe Änderung bringt noch einmal zum Ausdruck, dass die Intervention sowohl den eigenen wie den vermuteten Szientismus verringert. Aufgrund der entgegengerichteten Verläufe in dem Zeitraum zwischen Nachtest und verzögertem Nachtest verringert sich die Diskrepanz noch einmal beträchtlich. Da die individuellen Änderungen jedoch eine vergleichsweise hohe Streuung aufweisen und die Stichprobe beim Nachtest klein ist, ist dies kein signifikanter Effekt. Bei der Szientismus-Diskrepanz sind die Interventionsvariante mit $F(1, 181) = 5.1$, $p < 0.03$ und die Interaktion zwischen Interventionsvariante und Zeit mit $F(1, 181) = 18.20$, $p < 0.001$ signifikante Haupteffekte. Die Zeit selbst ist es nicht. Auch die Verminderung des Wertes in der Interventionsgruppe zwischen den beiden ersten Messzeitpunkten ist für sich allein nicht signifikant. Die Änderungen in beiden Gruppen ergeben jedoch einen signifikanten Interaktionseffekt zwischen den ersten beiden Messzeitpunkten. Er ist mit $d = 0.2$ ($p < 0.001$) allerdings von kleiner Stärke.

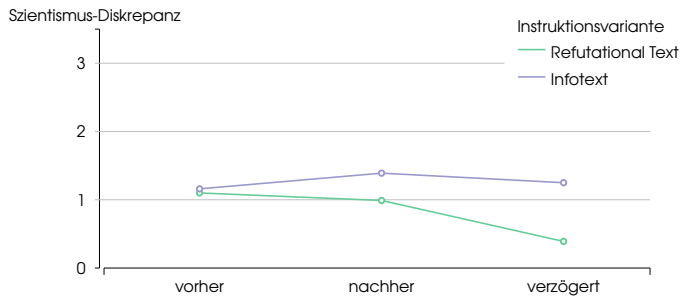


Abb. 6.29. Zeitlicher Verlauf der Szientismus-Diskrepanz für Kontroll- und Interventionsgruppe.

Fachinteresse Wie in der Längsschnittstudie ändert sich das Fachinteresse infolge der Intervention nur geringfügig. Alle Änderungen sind nicht signifikant ($p > 0.1$). Auch die Korrelation zwischen der Änderung des Fachinteresses und Änderung der der Szientismus-Diskrepanz (zwischen den ersten beiden Messzeitpunkten) ist mit $r = 0.067$, $p = 0.37$ nicht signifikant.

Wissen Die durchschnittliche Ergebnis der Interventionsgruppe beim Wissenstest lag mit durchschnittlich 75 % signifikant über dem der Kontrollgruppe (57 %). Da die Testaufgaben einen sehr direkten Bezug zum Inhalt des Refutational Text haben, ist dies per se nicht erstaunlich. Nichtsdestoweniger indiziert es einen erfolgreichen Wissenserwerb durch diese Instruktion.

6. Quantitative Studie

Anders als in der Längsschnittstudie ergab sich in dieser Untersuchung außerdem ein Zusammenhang zwischen dem Wissen zu den methodischen Merkmalen der Physik und den Überzeugungen zum Szientismus. Als ein Beispiel ist in Abbildung 6.30 die Änderung des bei Physikern vermuteten Szientismus gegen die Ergebnisse des Wissenstests aufgetragen. Die Abbildung zeigt, dass die Reduktion des Szientismus positiv mit einem höheren Wissen korreliert (Pearson-Korrelation: 0.29, $p < 0.001$). Eine ähnlich große Korrelation ergibt sich für die Verminderung des Szientismus der Schüler (vgl. (Imwalle, 2010)).

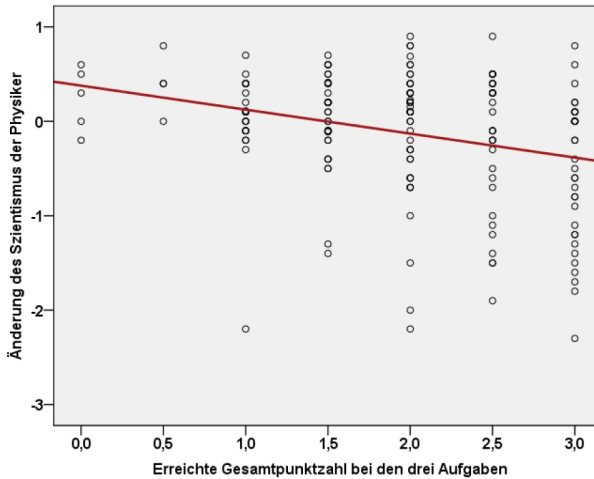


Abb. 6.30. Scatterplot zum Zusammenhang zwischen der Änderung des bei Physikern vermuteten Szientismus und dem Ergebnis beim Wissenstest. In roter Farbe ist die Ausgleichsgerade eingezeichnet. Die Steigung beträgt -0.25 ($p < 0.001$). [Abb. aus (Imwalle, 2010)]

Zusammenfassung und Diskussion Die Ergebnisse zeigen, dass mit dem Refutational Text ähnliche Effekte erzielt werden können wie mit der wesentlich umfangreicheren Unterrichtseinheit der Längsschnittstudie. Dies betrifft sowohl die eigenen, wie auch die bei Physikern vermuteten Überzeugungen zur Reichweite der Naturwissenschaften. In beiden Studien ist sowohl der eigene als auch der vermutete Szientismus nach dem Unterricht vermindert. Sogar die Stärke der Effekte ist mit 0.4 bzw. 0.5 in beiden Fällen gleich groß (im Rahmen der Rundung auf eine Nachkommastelle). Das Fehlen entsprechender Effekte in der Kontrollgruppe ist ein starkes Indiz dafür, dass diese Änderungen tatsächlich auf den Einfluss der Intervention zurückzuführen sind. Über eine längerfristige

Wirkung lässt sich aufgrund der kleinen Stichprobe beim verzögerten Nachtest wenig aussagen. Der statistisch signifikante Wiederanstieg auf etwa den alten Wert bei den eigenen Ansichten lässt jedoch vermuten, dass die Effekte - ähnlich wie in der Längsschnittstudie - möglicherweise nicht dauerhaft sind. Ebenfalls analog ist in beiden Studien die weitgehende Stabilität des Fachinteresses und der Szientismus-Diskrepanz. Beide Merkmale lassen sich durch die Interventionen nur geringfügig beeinflussen.

Das mittlere Testergebnis ist mit 75 % fast so hoch wie die im Mittel erreichten 81 % in der anderen Studie. Über die Nachhaltigkeit lässt sich in diesem Fall allerdings nichts sagen, da beim verzögerten Nachtest das Wissen nicht geprüft wurde. Interessant ist die in dieser Studie gemessene Korrelation zwischen Wissen und szientistischen Überzeugungen. Sie entspricht der Erwartung, dass eine bessere Kenntnis methodischer Grenzen physikalischer Forschung sowohl eigene als auch bei Physikern vermutete szientistischen Überzeugungen reduzieren könnte. In der Längsschnittstudie konnte ein derartiger Zusammenhang allerdings nicht festgestellt werden.

Insgesamt bestätigt diese Studie in wesentlichen Punkten die Ergebnisse der Längsschnittstudie. Ein besonderer Wert liegt darin, dass aufgrund des experimentellen Designs mit größerer Gewissheit auf die Intervention als Ursache der gefundenen Änderungen geschlossen werden kann.

Auswertung von Audiomitschnitten des Unterrichts

Die wissenschaftstheoretische Instruktion, also die beiden Unterrichtsstunden zu den Grenzen der Physik, wurden bei zwei an der Studie beteiligten Lerngruppen mit Audiorecordern aufgezeichnet. In seiner Masterarbeit hat Christian Imwalle diese Aufzeichnungen mit dem Verfahren der qualitativen Inhaltsanalyse ausgewertet (Imwalle, 2012). Ziele dieser Analyse waren zum einen eine weitere Validierung der quantitativen Daten, zum anderen die Evaluation des Unterrichts. Nachfolgend werden diese Untersuchung und ihre wesentlichen Ergebnisse in knapper Form vorgestellt. Für Details sei auf Imwalle (2012) verwiesen.

Daten Bei den beiden Lerngruppen handelte es sich um eine elfte Klasse (Fach Physik) und einen Kurs der zwölften Jahrgangsstufe (Seminarfach). Ausgewertet wurden die Aufnahmen der Gespräche in den Stamm- und Expertengruppen des Gruppenpuzzles der ersten Unterrichtsstunde sowie die zur Erarbeitung

6. Quantitative Studie

des »Rollenspiels«⁴⁷ in der zweiten Unterrichtsstunde. Es wurden die Gespräche von fünf Experten- und vier Stammgruppen beim Gruppenpuzzle und von fünf Gruppen bei der Erarbeitung des Rollenspiels ausgewertet. In diesen Gruppen waren insgesamt 28 Schüler vertreten.

Fragestellungen Bei der Evaluation des Unterrichts standen mögliche Schwierigkeiten bei der Erarbeitung der drei methodischen Merkmale der Physik während des Gruppenpuzzles, sowie deren Answertung beim Rollenspiel in der zweiten Unterrichtsstunde im Mittelpunkt. Im Einzelnen sollten folgende Fragen untersucht werden:

1. Wo traten Verständnisschwierigkeiten bei den Expertinnen und Experten auf, was wurde gut verstanden?
2. Welche Aspekte wurden in den Stammgruppen gut bzw. nicht gut von den Expertinnen und Experten erläutert?
3. Wie korrelieren die Antworten einer Stammgruppe beim Rollenspiel mit den Diskussionen in der Stammgruppe beim Gruppenpuzzle?
4. Welche Arbeitsaufträge wurden korrekt / falsch / unvollständig / gar nicht ausgeführt? Warum?
5. Welche Fragen haben intensive Diskussionen ausgelöst? Warum?
6. In welchem Umfang wurden die drei Merkmale der physikalischen Methode bei der Frage, ob die Physik als Schiedsrichterin fungieren könne, bei der Argumentation berücksichtigt?

Zur Validierung der Fragebogendaten wurde das Ergebnis des Wissenstests mit den Erklärungen in den Stammgruppen verglichen. Dazu sollte die Qualität der Erklärung eines Schülers als Experte für ein Thema mit seinem eigenem Ergebnis (und dem seiner Stammgruppe) im Test verglichen werden.

Auswertung Als Verfahren zur Analyse der Gespräche wurde die qualitative Inhaltsanalyse nach Mayring (vgl. z. B. Mayring, 2008) gewählt. Die Audioaufzeichnungen wurden zunächst vollständig transkribiert. Um die Daten inhaltlich zu strukturieren, wurden diese anschließend in zwei Stufen kategorisiert. Mit den Kategorien der ersten Stufe wurden die Schüleräußerungen verschiedenen Arbeitsaufträgen bzw. Handlungen, die für die jeweilige Gruppenarbeitsphase typisch sind, zugeordnet. Für die Stammgruppenphase lauteten diese zum Beispiel:

⁴⁷ Damit ist hier das »fiktive Gespräch« zwischen Herrn X und Dr. Y gemeint.

- Erklärung des Expertenthemas
- Wiederholung des Expertenthemas in eigenen Worten
- Vorstellung der Übungsaufgaben zum Expertenthema
- Lösung der Übungsaufgaben zum Experten Thema
- Nachfragen an die Betreuerin bzw. den Betreuer
- Sonstige Anmerkungen zu einem Expertenthema

Ebenfalls wurden in dieser Stufe irrelevante Äußerungen aus der weiteren Analyse ausgeschlossen (dazu gehören zum Beispiel Fragen zur Organisation, fachfremde Äußerungen, usw.). Die Kategorien der zweiten Stufe beschreiben verschiedene inhaltliche Aspekte der drei methodischen Merkmale der Physik, die in den Infotexten und Übungsaufgaben zum Gruppenpuzzle behandelt werden. Zwei Beispiele: »Warum-Fragen‘ können doppeldeutig sein.« und »Die meisten Naturgesetze sind ‚Alle-Aussagen‘« sind zwei Kategorien zu den Merkmalen »Zwecke« bzw. »Alle-Aussagen«. Insgesamt wurden 14 Kategorien zu den drei Merkmalen formuliert. Für die Beurteilung der Qualität der Erklärungen in den Stammgruppen wurde auf ein Kategoriensystem zurückgegriffen, das von Katharina Stukenborg im Rahmen ihrer Bachelorarbeit entwickelt wurde (Stukenborg, 2011). Es orientiert sich an gängigen Kriterien für guten Unterricht und enthält unter anderem Kategorien für die fachliche Richtigkeit, die Vollständigkeit, die Kompliziertheit oder den logischen Aufbau der Erklärung.

Nach Abschluss der Kategorisierung wurden die Schüleräußerungen in Hinblick auf die Fragestellungen inhaltlich beurteilt. Die Qualität der Erklärungen wurde quantitativ auf einer fünfstufigen Likert-Skala bewertet⁴⁸.

Ergebnisse In seiner Zusammenfassung kommt Imwalle zu dem Schluss, dass »ein großer Teil der Schülerinnen und Schüler die Merkmale der physikalischen Methode gut verstanden hat sowie gut erklären kann«. Zwar wurden bei einigen Aspekten Verständnisschwierigkeiten ermittelt, diese zeigten sich aber in der Regel nur bei einzelnen Schülern. Das Unterrichtsmaterial ist offenbar insgesamt gut verständlich. Die Arbeitsaufträge wurden weitgehend in der intendierten Weise ausgeführt. Offenbar aus Zeitmangel wurden jedoch jeweils die letzte Aufgabe in der Stammgruppen- und Rollenspielphase von den meisten Gruppen nicht bearbeitet. Hinsichtlich des Zusammenhangs zwischen den Ergebnissen im Wissenstest und der Qualität der Erklärungen in den Stammgruppen ergab sich eine signifikante Korrelation von 0.65 ($p < 0.05$) zwischen der Erklärungs-

⁴⁸ Ein Test auf Beurteilerübereinstimmung ergab (bei zwei Beurteilern) eine befriedigende Intra-Klassen-Korrelation von 0.75.

6. *Quantitative Studie*

qualität eines Experten und seinem eigenen Gesamtergebnis im Wissenstest. Dagegen wurde kein relevanter Zusammenhang zwischen dem Abschneiden bei den Teilaufgaben, die sich auf das eigene Expertenthema beziehen, festgestellt. Ebenfalls korrelieren die mittlere Erklärungsqualität in einer Stammgruppe mit dem mittleren Gesamtergebnis der Gruppenmitglieder. Der Wert ist mit 0.58 recht hoch, aber nicht signifikant. Aufgrund der kleinen Stichprobe sind diese Ergebnisse allerdings von beschränkter Aussagekraft.

Insgesamt passen die Ergebnisse der Analyse der Audioaufzeichnungen gut zu den Angaben auf den Fragebögen (vgl. 6.2.2) und den Interviews (vgl. 6.2.4). Dort wurden jeweils die Qualität und Verständlichkeit der Arbeitsmaterialien des Gruppenpuzzles positiv von den Schülern hervorgehoben. Die Tatsache, dass in den Gruppengesprächen keine gravierenden Verständnisschwierigkeiten zu Tage getreten sind, ist zudem in Übereinstimmung mit den Ergebnissen beim Wissenstest, die darauf hindeuten, dass die Vermittlung grundlegender Unterrichtsinhalte gelingt.

7. Interviews

Alle im Rahmen dieser Arbeit erhobenen quantitativen Daten ergeben eine positive Korrelation zwischen Szientismus und Interesse an Physik (dies gilt sowohl für das Sach- als auch Fachinteresse). Es stellt sich daher die Frage nach möglichen Ursachen für diesen Zusammenhang. Prinzipiell ist es auch im Rahmen einer quantitativen Analyse möglich kausale Zusammenhänge zu untersuchen. Im vorliegenden Fall ist jedoch aus theoretischer Perspektive ein komplexer Wirkungszusammenhang zu erwarten (siehe Abschnitt 7.1), so dass der Nutzen einer derartigen Analyse äußerst fraglich erscheint. Um diesen Zusammenhang trotzdem näher beleuchten zu können, wurden mit zehn Schülerinnen und Schüler Interviews (Dauer: ca. 15 Minuten) geführt. Darüber hinaus dienen diese Interviews der weiteren Validierung der quantitativ gefundenen Zusammenhänge.

In den folgenden Abschnitten werden theoretische Vorüberlegungen, Fragestellungen, Konzeption und ein erster Schritt zur Auswertung vorgestellt. Eine Analyse der Interviews war im Rahmen dieser Arbeit leider nicht mehr möglich.

7.1. Vorüberlegungen und Hypothesen

7.1.1. Vorüberlegungen

Auf Basis existierender Modelle zur Entwicklung von Interessen und Weltbildern (vgl. Abschn. 3.1.2, 3.1.2) muss davon ausgegangen werden, dass der beobachteten Korrelation zwischen diesen beiden Persönlichkeitskomponenten kein einfacher kausaler Mechanismus zugrunde liegt. Beide entwickeln sich im Kindes- und Jugendalter in Auseinandersetzung mit der sozialen und physischen Umwelt und unterliegen zahlreichen Einflussfaktoren. Die Interessentheorie betont, dass sowohl eine hohe Wertschätzung an einem Interessengegenstand (Bedeutsamkeit, Sinnzuschreibung) als auch positive emotionale Erfahrungen (insbesondere eine hinreichende Erfüllung der »basic needs«) vorhanden sein müssen, damit sich ein individuelles Interesse ausbilden kann. Zusätzlich spielen entwicklungsbedingte Faktoren eine bedeutende Rolle. Dabei ist zu beachten,

7. Interviews

dass sich die Interessen mit zunehmendem Alter stabilisieren und fokussieren (»Interessendifferenzierung«; vgl. Abschn. 3.1.2, S. 64 f.). Empirische Untersuchungen deuten darauf hin, dass für die Ausbildung eines individuellen Interesses am Physik das Fähigkeitsselbstkonzept in diesem Fach (Daniels, 2008) sowie subjektive Bedeutsamkeits- und Sinnzuschreibungen besonders wichtig sind (Lechte, 2008). Diese wiederum können von den im Unterricht behandelten Kontexten und Themen sowie außerschulischen Informationen (etwa aus populärwissenschaftlichen Büchern oder Fernsehsendungen) beeinflusst sein. So können für Schüler einzelne Themenbereiche sehr interessant sein (hohes »topologisches Interesse«), während ihr Interesse am Fach insgesamt relativ gering bleibt. Weitere mögliche Faktoren sind individuelle Unterrichtserfahrungen (zum Beispiel mit der Lehrperson) oder das Bild, das ein Schüler von Physikern hat (im Sinne des Self-to-Prototype Matching ((Hannover & Kessels, 2004) oder hinsichtlich metaphysischer Überzeugungen (Hansson & Lindahl, 2010)). Außerdem können auch epistemologische Überzeugungen das Interesse beeinflussen, etwa weil physikalisches Wissen als besonders valide und sicher eingeschätzt wird (vgl. z. B. Urhahne & Hopf, 2004).

Individuelle Interessen sind Teil der personalen Identität. Zu dieser gehört auch das Weltbild, das neben grundlegenden Werten auch metaphysische Überzeugungen umfasst. Mit zunehmendem Alter stabilisiert sich die personale Identität und mit ihr das System metaphysischer Überzeugungen. Wird nun ein potentieller Interessengegenstand mit metaphysischen Überzeugungen, die mit den eigenen im Konflikt stehen, identifiziert, so ist zu vermuten, dass sich kein ausgeprägtes Interesse an diesem Gegenstand entwickeln kann (etwa weil ihm im Rahmen des Systems der eigenen Überzeugungen keine hinreichende Bedeutung oder Sinnhaftigkeit zugeschrieben wird).

Wie können sich nun vor diesem Hintergrund metaphysische Überzeugungen auf das Interesse an Physik auswirken? Eine Person mit szientistischen Ansichten schätzt Bedeutung, Sinn und Wert der Naturwissenschaften außerordentlich hoch ein. Es ist anzunehmen, dass dies in der Tendenz einen positiven Einfluss auf das Interesse an Physik hat. Für jemand, der die Überzeugung hat, dass alle relevanten Fragen letztlich naturwissenschaftlich oder physikalisch beantwortet werden können, werden möglicherweise andere Erkenntniswege an Bedeutung verlieren, was eine Fokussierung seiner Interessen in Richtung der Naturwissenschaften oder der Physik zur Folge haben könnte. Eine Person, die keine szientistischen Positionen vertritt, wird die Bedeutung der Physik im Vergleich dazu geringer einschätzen, da die Naturwissenschaften nicht mehr als einzige Quelle von Sinn und Bedeutung angesehen werden. Nichtsdestotrotz kann sie sehr an Physik interessiert sein, wenn die Bedeutungseinschätzung

noch hinreichend hoch ist und andere das Interesse fördernde Faktoren, z. B. ein hohes Fähigkeitsselbstkonzept in diesem Fach, hinzu treten.

Ist das Weltbild, das ein Schüler bei Physikern vermutet, sehr verschieden von dem eigenen, so ist es naheliegend, dass dies - zumindest in der Tendenz - sein Interesse an Physik vermindert (Hansson & Lindahl, 2010). Vermutlich wird er z. B. eher selten den Wunsch entwickeln, selbst Physiker zu werden, wenn er sich nicht mit den bei ihnen vermuteten Vorstellungen identifizieren kann. Ein analoger Effekt wurde im Rahmen der Forschung zum Self-to-Prototype Matching bezüglich anderer Persönlichkeitmerkmale (wie Äußeres, soziale Eingebundenheit oder Emotionalität) beobachtet (Hannover & Kessels, 2004).

Der Einfluss, den das Interesse an Physik auf metaphysische Überzeugungen nehmen kann, erscheint weniger klar und ist vermutlich eher indirekter Natur. Allgemein führt das Interesse einer Person an einem Gegenstand dazu, dass diese Person in verstärktem Kontakt zu anderen Objekten gerät, die mit dem Interessengegenstand in Verbindung stehen. Konkret heißt dies zum Beispiel, dass ein Jugendlicher, der sich für Physik interessiert, u. U. populärwissenschaftliche Bücher liest oder Fernsehsendungen konsumiert, die sich mit Physik beschäftigen. Werden darin nun szientistische Positionen vertreten (was relativ häufig der Fall ist), so kann es sein, dass der Jugendliche einige dieser Ansichten übernimmt (dies kann sowohl seine eigenen Überzeugungen modifizieren, als auch seine Einschätzung der Physiker). Ein anderer denkbarer Weg ist, dass positive Erfahrungen mit der Erklärungsmacht der Physik im Bereich der Naturphänomene zu der Auffassung führen, dass dieser auch auf andere Bereiche, zum Beispiel den der Ethik, ausgedehnt werden können. Beide Mechanismen¹ - Übernahme und Übertragung - könnten auch durch Erfahrungen mit dem Physikunterricht initiiert oder verstärkt werden: Der erste Fall könnte z. B. eintreten, wenn die Lehrkraft explizit szientistische Positionen vertritt, die dann von einem sehr am Unterricht interessierten Schüler übernommen werden. Aber auch wenn dies nicht der Fall ist, könnte die beeindruckende Erfahrung des Erfolges der physikalischen Methodik im Physikunterricht einen Schüler zu dem Schluss führen, dass alle - oder fast - alle Probleme auf diese Weise lösbar sind. Dies könnte vor allem dann der Fall sein, wenn im Unterricht der Aspektcharakter der Physik nicht thematisiert wird, und die Naturwissenschaft als einzig sinnvoller Weg zum Naturverständnis dargestellt wird².

Insgesamt ist die positive Korrelation zwischen Szientismus und Interesse an

¹ Berücksichtigt man die theoretischen Überlegungen zur Weltbildentwicklung und zum »conceptual change« (siehe Abschn. 3.1.2, 3.1.2), so ist zu vermuten, dass der »Einbau« der neuen Vorstellungen vor allem dann vollzogen wird, wenn sie nicht im Konflikt mit dem bisherigen Weltbild stehen und/oder höhere Sinnzuschreibungen erlauben.

² Diese Befürchtung wurde z. B. vom Wagenschein geäußert (Wagenschein, 1965).

7. Interviews

Physik also theoretisch nachvollziehbar. Gleiches gilt für den negativen Einfluss einer Diskrepanz zwischen eigenen und vermuteten Ansichten auf das Interesse. Die Stärke dieser wechselseitigen Beeinflussung und die Bedeutung einzelner Einflussfaktoren scheint aber theoretisch kaum abschätzbar.

7.1.2. Fragestellungen und Hypothesen

Aufgrund der Vielzahl der möglichen Einflussfaktoren und der komplexen Dynamik der Interessen- und Weltbildgenese wurde nicht erwartet, dass sich aus vergleichsweise kurzen Interviews eindeutige Rückschlüsse auf kausale Zusammenhänge zwischen dem Interesse an Physik und szientistischen Vorstellungen gewinnen lassen. Die Hoffnung war jedoch, dass sich erste Indizien ergeben, die Anhaltspunkte für die Gestaltung weitergehender, zukünftiger Untersuchungen bilden könnten. Eine zweite Zielsetzung der Interviews war es, die quantitativen Befunde durch qualitative Daten zu ergänzen und zu validieren.

Die folgenden Fragen und Hypothesen standen dabei im Mittelpunkt:

Validität

Bestätigen die Interviews die positive/negative Korrelation zwischen Interesse an Physik und Szientismus/Szientismus-Diskrepanz?

Kausale Zusammenhänge

1.1 *Haben die Überzeugungen zum Szientismus einen Einfluss auf das Interesse an Physik?*

Anhand der Literatur und der eigenen Ergebnisse können insbesondere folgende Einflussfaktoren auf das Interesse vermutet werden:

- a) *Fähigkeitsselbstkonzept zur Physik*
Einschätzung der eigenen Fähigkeiten zur Lösung physikalischer Aufgaben
- b) *Subjektive Bedeutsamkeit der Physik*
Bedeutung der Physik für das eigene Leben
- c) *Subjektive Sinnzuschreibung zur Physik*
z. B. Verbindung zwischen Physik und eigener Lebenswelt
- d) *Externe Entwicklungsaufgaben*
Individuelle Einschätzung des Nutzens von Physik für schulische oder berufliche Anforderungen
- e) *Self-to-Prototype Matching*

Übereinstimmung zwischen Selbstbild und dem Bild von Naturwissenschaftlern (in Bezug auf Persönlichkeitsmerkmale)

- f) *Individuelle Unterrichtswahrnehmung*
Lehrperson, Unterrichtsklima, Lernbedingungen
- g) *Epistemologische Überzeugungen*
Quelle, Sicherheit, Entwicklung, Rechtfertigung von Wissen
- h) *Szientismus*
Eigene Überzeugungen zum Szientismus
- i) *»Szientismus-Diskrepanz«* (siehe auch Frage 1.2)
Diskrepanz zwischen den eigenen Auffassungen zum Szientismus und den bei Physikern vermuteten (negativer Einfluss)

Ein Hinweis auf einen direkten Einfluss szientistischer Überzeugungen wäre z. B., wenn ein Schüler sein Interesse mit außergewöhnlich hohen Bedeutungs- und Sinnzuschreibungen, oder auch epistemologischen Bewertungen in Bezug auf die Physik begründen würde, z. B. mit Aussagen wie »Ich interessiere mich vor allem für Physik, weil ich glaube, dass sich mit ihr letztlich alles erklären lässt« oder »..., weil letztlich nur physikalische Erkenntnisse sicher sind«.

- 1.2 *Wirkt sich die »Szientismus-Diskrepanz« negativ auf das Interesse an Physik aus? Falls ja, in welcher Weise?*

Es wurde angenommen, dass eine große Diskrepanz sich negativ auf das Interesse an Physik auswirkt, weil Schüler sich dann nicht hinreichend mit Physik oder ihren Vertretern identifizieren können.

- 2.1 *Hat das Interesse am Fach Physik einen Einfluss auf die Überzeugungen zum Szientismus?*

Zwei mögliche Mechanismen wurden bei Vorliegen eines hohen Interesses vermutet: 1. Szientistische Überzeugungen werden übernommen, z. B. aus Medien (Bücher, Zeitschriften, Fernsehen, Internet) oder von Personen mit hohem Prestige für den Schüler (zum Beispiel Physiklehrer). 2. Die physikalische Methode der Naturerkenntnis wird auf andere Aspekte des Lebens übertragen. Es war allerdings unwahrscheinlich, dass sich *direkte* Hinweise über diese Prozesse aus den Interviews gewinnen lassen, da hierfür eine erhebliche metakognitive Reflexion der Schüler erforderlich wäre.

- 2.2 *Falls ja, in welcher Weise, und spielt insbesondere der Physikunterricht hierbei eine Rolle?*

7. Interviews

Der Physikunterricht könnte eine Rolle spielen, z. B. falls er den Eindruck vermittelt, dass Physik der einzig sinnvolle Weg zum Naturverständnis ist oder falls die Lehrkraft szientistische Positionen vertritt. Ein sehr an Physik interessierter Schüler könnte dann dazu neigen, diese zu übernehmen.

3.1 *Aus welchen Gründen glauben Schüler häufig, dass Physiker szientistischer denken als sie selbst?*

Mögliche Gründe für die Diskrepanz könnten sein, dass von den Schülern vermutet wird, dass Physiker aufgrund ihres beruflichen und oder privaten Interesses an Physik sich mehr mit dieser identifizieren, oder aufgrund ihrer größeren fachlichen Kenntnisse mehr Anwendungsmöglichkeiten der Physik kennen.

7.2. Konzeption der Interviews

Da das Ziel der Interviews als subjektive Rekonstruktion der Ursachen eigener Interessen und Überzeugungen durch die Schüler aufgefasst werden kann, wurde auf Basis der Literatur das sog. problemzentrierte, teilnarrative Interview als Interviewform gewählt (vgl. Helfferich (2011), Mey und Mruck (2007)). Diese Interviewform gilt als besonders geeignet zum »Erfassen subjektiver Sinnbezüge, Sicht- Erfahrungs- und- Handlungsweisen« (Mey & Mruck, 2007, S. 256). Es handelt es sich hierbei um ein leitfadengestütztes Interview mit »zunehmend gezielteren Nachfragen und spezifischen Sondierungen« (Mey & Mruck, 2007, S. 256) zur »Generierung narrativer Teilerzählungen« (Helfferich, 2011, S. 179). Diese Variante erschien aus verschiedenen Gründen geeignet: einerseits besitzen die zu untersuchenden Fragestellungen eine thematische Gliederung, die auf natürliche Weise eine entsprechende Strukturierung des Interviews nahelegt. Andererseits sind die einzelnen Fragen recht allgemeiner Natur und erlauben ein großes Spektrum möglicher Antworten. Sofern über diese Hypothesen vorlagen, erschien die Vorbereitung von Nachfragen sinnvoll und möglich, was eine leitfadengestützte Interviewform vorteilhaft erscheinen ließ. Ein allzu starre Vorgabe des Interviewverlaufs oder Einengung des Antwortspektrums erschien wiederum ungeeignet, da erwartet wurde, dass sich vor allem aus Nacherzählungen über konkrete Erfahrungen und Geschehnisse Rückschlüsse über kausale Zusammenhänge ergeben könnten.

Auf Basis der gewählten Interviewform wurde bei der Erstellung der Leitfadens versucht, die folgenden, in der Literatur empfohlenen Punkte zu berücksichtigen (Helfferich, 2011, S. 182 ff.):

- Das Interview ist in mehrere inhaltliche Abschnitte gegliedert. Die Abschnitte sind so angeordnet, dass eine möglichst flüssige Erzählung mit fließenden Übergängen ohne allzu abrupte thematische Sprünge entstehen kann.
- Jeder Abschnitt beginnt mit einer offenen Erzählaufforderung, die den Interviewten möglichst wenig einengt und lenkt.
- Vom Interviewer als wichtig erachtete Aspekte zu einem Abschnitt, können durch ergänzende Gesprächsimpulse (»Mögliche Nachfragen«) eingeflochten werden, sofern sie nicht von allein angesprochen wurden. Diese Impulse werden der Erzählung des Interviewten angepasst und sind im Leitfaden als Stichpunkte aufgelistet. Zur Unterstützung des Interviewers sind im Leitfaden gegebenenfalls Beispielformulierungen angegeben.
- Bestimmte, konkrete Fragen, die auf jeden Fall gestellt werden sollen, werden am Ende eines Abschnitts (falls sie inhaltlich zu dem Abschnitt passen) bzw. am Ende des Interviews gestellt.
- Aufforderungen und Fragen sollten für den Interviewten möglichst verständlich formuliert sein. Hypothesen (insbesondere die Forschungshypothesen) werden nicht als Fragen formuliert, da diese den Interviewten in der Regel überfordern (Helfferich, 2011, S. 183) und die Gefahr eines positiven Bias im Sinne der Fragestellung besteht.

Als inhaltliche Abschnitte des Interviews wurden gewählt:

1. Eigenes Bild von Physik
2. Einschätzung von Physiker/innen
3. Ursachen für (Nicht-)Interesse an Physik
4. Ursachen für Szientismus
5. Ursachen für Szientismus-Diskrepanz

In Anlehnung an (Lechte, 2008) wird den Schülerinnen und Schülern in den ersten beiden Abschnitten ohne inhaltliche Vorgaben Gelegenheit gegeben über ihr Bild von Physik und Physikerinnen zu berichten. Dies hat zum einen die Funktion ihren Erzählfluss anzuregen und ergibt andererseits Informationen, die noch nicht durch das Forschungsinteresse gelenkt oder beeinflusst sind. Die folgenden drei Abschnitte gehen dann auf die oben genannten Forschungsfragen ein: Im dritten Abschnitt werden die Schüler zunächst gebeten ihr Interesse an Physik zu beschreiben. Anschließend sollen sie mögliche Gründe beschreiben, zum Beispiel bestimmte Themen oder Erlebnisse. Ist das Interesse an

7. Interviews

Physik gering, wird außerdem gefragt, was sich ändern müsste damit Physik für den Schüler interessant werden könnte. Im vierten Abschnitt werden die Schüler zunächst gefragt, wie sie über die Möglichkeiten und Grenzen der Naturwissenschaften denken. Anschließend werden Sie gebeten die Gründe für ihre Auffassung zu erläutern. Explizit wird nachgefragt, ob hierbei auch der Physikunterricht eine Rolle spielt. Der fünfte und letzte Abschnitt wird damit eingeleitet, dass die Schüler ihre Einschätzung zu den Ansichten der Physiker über die Möglichkeiten und Grenzen der Naturwissenschaften abgeben sollen. Anschließend wird wieder möglichen Gründe nachgegangen. Außerdem wird nach möglichen Unterschieden zwischen Physiklehrern und Forschern sowie anderen Naturwissenschaftlern und Physikern gefragt. Jeder Abschnitt endet damit, dass der Interviewer die Antworten der Schüler zusammenzufassen versucht und nachfragt, ob die Schüler dieser Zusammenfassung zustimmen können. Sie werden gebeten gegebenenfalls Korrekturen oder Ergänzungen vorzunehmen. Dieses Vorgehen wird in der Literatur empfohlen, um eine möglichst hohe Übereinstimmung zwischen der vom Interviewten intendierten Bedeutung seiner Antworten und ihrer Interpretation durch den auswertenden Forscher zu erreichen (»dialektisch-hermeneutischer Zirkel«)³.

Der vollständige Interviewleitfaden ist im Anhang in Abschnitt A.5.1 wiedergegeben.

7.3. Durchführung der Interviews

Rahmenbedingungen Die Interviews wurden im Sommer 2012 mit insgesamt zehn Schülern (6 Mädchen, 4 Jungen) im Alter von 16 - 17 Jahren geführt. Zwei Schüler besuchten die zehnte Klasse eines Gymnasiums in Münster, die übrigen acht Schüler waren Gymnasiasten einer elften Klasse in Osnabrück. Die Interviews in Münster fanden an der dortigen Schule statt, diejenigen mit den Osnabrücker Schülern an der dortigen Universität (die Klasse hielt sich dort im Rahmen einer Fachexkursion auf). Alle interviewten Schüler besuchten einen Grundkurs in Physik. Die Schüler hatten nicht an der quantitativen Studie zu den Möglichkeiten und Grenzen der Physik teilgenommen.

Sämtliche Interviews wurden mit einem Audiogerät aufgezeichnet. Vor Beginn

³ In Hinblick auf die Auswertung der Interviews hat dies den Vorteil, dass gleichsam eine vom Interviewten »autorisierte« Zusammenfassung seiner Ansichten zur Verfügung steht. Dass diese »live« formuliert werden muss, stellt allerdings hohe kognitive Anforderungen an den Interviewer und es kann leicht geschehen, dass Wichtiges ausgelassen wird. Hierbei spielt natürlich auch die Aufmerksamkeit und Mitarbeit des Interviewten eine große Rolle. Letztlich muss die Zusammenfassung immer im Kontext des gesamten Interviews beurteilt werden.

der Interviews wurde den Schülern versichert, dass keine personalisierten Informationen aus den Interviews an Dritte, insbesondere ihre Lehrkräfte, weitergegeben oder in irgendeiner Form benotet werden. Sämtliche Interviews wurden vom Verfasser der vorliegenden Arbeit mit Hilfe des Interviewleitfadens durchgeführt.

Ergänzender Fragebogen Vor Beginn des Interviews wurde jeder Schüler gebeten einen Fragebogen auszufüllen, der Skalen zum Fachinteresse und Fähigkeitsselbstkonzept in Physik und zum Szientismus enthält. Bei den Skalen zum Fachinteresse und Szientismus handelt es sich um diejenigen, die auch in der quantitativen Untersuchung verwendet wurden (vgl. 6.1.1). Sie wurden insbesondere zu Validierungszwecken erhoben. Die Skala zum Fähigkeitsselbstkonzept, das als sehr wichtiger Einflussfaktor auf das Fachinteresse gilt (s. o.), entstammt dem »DISK-Gitter« (siehe D. H. Rost & Sparfeldt, 2002). Der Fragebogen enthält eine weitere Skala, auf der den Schülern mögliche Gründe für ihr geringes oder hohes Interesse an Physik vorgegeben wurden, und die sie nach ihrer Wichtigkeit einschätzen sollten. Diese Skala wurde ausschließlich für den Fragebogen entworfen, mit der Absicht, dem Interviewer mögliche Anhaltspunkte für Nachfragen zu dieser Fragestellung zu geben⁴. Sie ist in Anhang A.5.2 wiedergegeben.

7.3.1. Transkription der Interviews

Alle Interviews wurden vollständig transkribiert. Die Transskripte sind im Anhang in Abschn. A.5.3 wiedergegeben. Es handelt sich dabei im Prinzip um wörtliche Wiedergaben der Interviews, wobei allerdings bereits im Prozess der Übertragung von der Audio- in die Schriftform verschiedene Bereinigungen und Glättungen vorgenommen wurden. Das leitende Prinzip war hierbei eine gut lesbare Darstellung zu erhalten, ohne den Inhalt in Hinblick auf das Forschungsziel maßgeblich zu verfälschen oder zu verkürzen. Im Einzelnen wurde nach folgenden Regeln vorgegangen:

- Die Aussagen des Interviewers sind in den Transkripten mit dem Großbuchstaben I gekennzeichnet, die der Schüler mit einem großen S (S1 bis S10). Die Transkripte aller Interviews sind durchgehend zeilenweise nummeriert.

⁴ Ursprünglich war beabsichtigt, mithilfe eines weitaus umfangreicheren Fragebogens eine geeignete Auswahl an Schülern für die Interviews zu ermitteln. Dies ließ sich jedoch aus praktischen Gründen nicht realisieren, so dass keine gezielte Vorauswahl getroffen werden konnte und sich die Interviewten letztlich anhand ihrer Bereitschaft und zeitlichen Verfügbarkeit ergaben.

7. Interviews

- Die Transkriptionen jedes Interviews beginnen mit der ersten inhaltlichen Interviewfrage und enden mit der Danksagung des Interviewers, die den inhaltlichen Teil des Interviews beendet.
- Es wurden keine Informationen über Hüsteln, Seufzer, Lachen etc. transkribiert.
- Satzbaufehler wurden behoben, Füllwörter (äh, öh, hmm, ...) und Wiederholungen ausgelassen. Außerdem sind in den Transkripten keine Pausen oder Stockungen gesondert markiert. Unvollständig ausgesprochene Wörter wurden gegebenenfalls ergänzt. Dies gilt sowohl für Aussagen des Interviewten als auch des Interviewers.
- Aussagen wurden nicht zensiert. Der Name einer in der Interviews häufiger genannten Lehrkraft wurde anonymisiert, in dem der Nachname durch G. ersetzt wurde (»Herr G.«).

7.4. Auswertung

Bei der Auswertung wurde im ersten Schritt ähnlich vorgegangen wie bei den im Rahmen der Evaluation der Unterrichtseinheit geführten Interviews (siehe 7.3). Jedes Interview wurde zunächst abschnittsweise zusammengefasst. Hierbei wurden die während der Interviews vorgenommenen Zusammenfassungen durch den Interviewer berücksichtigt, die paraphrasiert und gegebenenfalls ergänzt wurden. Dabei wurde versucht, relativ nah an den Formulierungen der Schüler zu bleiben und wenig zu abstrahieren. Jede Zusammenfassung ist in die fünf Bereiche

1. Eigenes Bild von Physik
2. Einschätzung von Physiker/innen
3. Ursachen für (Nicht-)Interesse an Physik
4. Ursachen für Szientismus
5. Ursachen für Szientismus-Diskrepanz

gegliedert, die der durch den Leitfaden vorgegebenen inhaltlichen Gliederung der Interviews entsprechen.

Die Zusammenfassungen stellen den ersten Schritt der Bündelung und Strukturierung des Interviewmaterials dar. Sie sind im folgenden Abschnitt wiedergegeben und können die Grundlage für eine weitere Auswertung bezüglich der in Abschnitt 7.1.2 aufgeführten Fragestellungen bilden. Dieser Teil der Auswer-

tung konnte in der vorgelegten Arbeit allerdings aus Zeitgründen nicht mehr realisiert werden.

Ein erster Eindruck ist: Die Interviews bestätigen weitgehend die zuvor gefundenen Zusammenhänge zwischen Interesse an Physik und Szientismus bzw. Szientismus-Diskrepanz. Auch ein Vergleich der Fragebogendaten zu diesen Merkmalen mit den Aussagen in den Interviews lässt keine gravierenden Unterschiede erkennen. Hinsichtlich der Fragestellungen zu möglichen kausalen Zusammenhängen könnte eine mögliche Schwierigkeit einer weiteren Auswertung sein, dass lediglich ein Schüler (Interview 10) vergleichsweise szientistische Ansichten vertritt.

7.4.1. Zusammenfassungen der Interviews

Den Zusammenfassungen der fünf Bereiche vorangestellt sind Daten aus den Fragebögen, die von den Schülern vor Beginn der Interviews ausgefüllt wurden. Der leichten Lesbarkeit halber wurde den Interviewten ein Pseudonym als Name zugeordnet. Die weiteren Daten sind: Ort des Interviews, Geschlecht, Jahrgangsstufe, sowie die Mittelwerte der Skalen Fachinteresse, Fähigkeitsselbstkonzept und Szientismus. Den Zusammenfassungen folgen zwei weitere Abschnitte: im ersten finden sich Besonderheiten zur Interviewführung, die bei der Zusammenfassung aufgefallen sind⁵. Der zweite Abschnitt enthält eine subjektive Einschätzung durch den Auswerter hinsichtlich der Übereinstimmung zwischen den Angaben zum Fachinteresse, Fähigkeitsselbstkonzept und Szientismus und dem Interview .

Die Auswertung der Fragebögen ergibt: der Korrelationskoeffizient für den Zusammenhang zwischen Szientismus und Interesse an Physik beträgt in dieser Stichprobe $r = 0.38$ ($p = 0.27$). Die Szientismus-Diskrepanz korreliert negativ mit dem Interesse: $r = -0.59$ ($p = 0.07$). Aufgrund der wenigen Fälle sind die Koeffizienten nicht signifikant, bestätigen aber in der Tendenz die früheren Resultate.

Interview 1

Name: Andreas

Ort: Osnabrück

Geschlecht: männlich

⁵ Zum Beispiel hat es der Interviewer an einigen Stellen versäumt, die Rückmeldung des Interviewten auf die Zusammenfassung einzuholen.

7. Interviews

Jahrgangsstufe: 10

Fachinteresse Physik: 2,8

Fähigkeitsselbstkonzept Physik: 3

Szientismus (Schüler/Physiker): 1,4/1,4

Eigenes Bild von Physik. (1 - 22)⁶

Andreas verbindet mit Physik Albert Einstein, Forschung, fortschrittliche Technik, das Begründen und Herausfinden logischer Zusammenhänge sowie den Physikunterricht in der Schule. Was den Physikunterricht betrifft, denkt er vor allem an seinen Physiklehrer Herrn G..

Einschätzung von Physiker/innen. (23 - 54)

Nach seiner Vorstellung unterscheiden sich Physiker hinsichtlich ihrer Persönlichkeit nicht wesentlich von anderen Menschen. Er ist jedoch der Meinung, dass ein »hochentwickelter« Physiker mehr von der Welt versteht als beispielsweise ein Chefredakteur einer Zeitung. Er ist der Ansicht, dass sich nicht alle religiösen Fragen beweisen lassen, hat aber keine Vermutung, wie Physiker darüber denken.

Ursachen für (Nicht)Interesse an Physik. (55 - 80)

Andreas interessiert sich für Physik. Als Grund gibt er an, dass er dort lernt wie Dinge grundlegend aufgebaut sind und wie sie funktionieren. Thematisch interessiert er sich für Astronomie und neue oder zukünftige Technik.

Ursachen für Szientismus. (81 - 119)

Er ist der Ansicht, dass Physik bestimmte Fragen untersucht und auch beantworten kann, wie die technische Funktionsweise von Dingen, oder solche die sich auf Naturvorgänge beziehen, dass es aber durchaus auch Fragen gibt, die nichts mit der Physik zu tun haben und die die Physik auch nicht beantworten kann, wie die Frage nach dem Sinn des Lebens oder der menschlichen Existenz. Im Physikunterricht wurde nicht weiter diskutiert, welche Fragen physikalisch beantwortbar sind und welche nicht.

Ursachen für Szientismus-Diskrepanz. (120 - 131)

Andreas sieht keine Unterschiede zwischen den Ansichten von Physikern und denen anderer Menschen. Er geht davon aus dass, dass Physiker genau wissen, was sich physikalisch begründen lässt und was nicht.

Besonderheiten.

Keine. *Vergleich mit dem Fragebogen.*

⁶ Hinter den Abschnittüberschriften sind in Klammern die Zeilennummern der Transkription des Interviewabschnitts angegeben, auf die sich die Zusammenfassung bezieht (siehe Anhang A.5.3).

Keine auffälligen Diskrepanzen.

Interview 2

Name: Anna

Ort: Osnabrück

Geschlecht: weiblich

Jahrgangsstufe: 11

Fachinteresse Physik: 2,4

Fähigkeitsselbstkonzept Physik: 3,9

Szientismus (Schüler/Physiker): 1,8/2,9

Eigenes Bild von Physik. (133 - 152)

Anna denkt bei Physik zuerst an Experimente, aber auch an Formeln und Rechnen. Personen, die sie mit Physik verbindet sind ihr Physiklehrer Herr G. sowie Albert Einstein.

Einschätzung von Physiker/innen. (153 - 189)

Typische Physiker stellt sie sich als sehr intelligent und gebildet vor, die dadurch aber in anderen Bereichen des Lebens etwas schusselig wirken. Sie glaubt, dass Physiker alles hinterfragen. Äußerlich stellt sie sich immer mit Brille und etwas längeren Haaren vor. Sie glaubt, dass Physiker keinen großen Bezug zur Religion haben, da sie für alles Gründe suchten, während in der Religion ja keine Gründe gebraucht würden. Sie glaubt, dass sich Physiker nur mit Physik beschäftigen und kann sich daher nicht vorstellen selbst Physikerin zu werden, da sie sich zum Beispiel auch noch für Religion interessiere.

Ursachen für (Nicht)Interesse an Physik. (190 - 209)

Anna sagt, dass sie sich schon für Physik interessiere. Vor allem finde sie es spannend, dass man jeder Sache einen Grund geben und alles irgendwie erklären könne. Besonders sei ihr Interesse an Physik in der zehnten Klasse geweckt worden, als sie gemerkt habe, dass sie dort auch etwas alleine schaffen könne (eine Gleichung lösen).

Ursachen für Szientismus. (210 - 236)

Anna glaubt das es Fragen gibt, die physikalisch nicht beantwort- oder untersuchbar sind, z. B. ob es Gott gebe, warum es Menschen gibt oder wie das Weltall entstanden ist. Im Physikunterricht sei dies aber nicht diskutiert worden, höchstens einmal etwas im Religionsunterricht.

Ursachen für Szientismus-Diskrepanz. (237 - 250)

7. Interviews

Anna glaubt, dass Physiker die Grenzen der Naturwissenschaften etwas anders einschätzen als sie selbst, weil sie mehr Wissen hätten. Sie denkt, dass ihnen trotzdem bewusst sei, dass man nicht alles erklären könne.

Besonderheiten.

Zu den Zusammenfassungen wurden keine Rückmeldungen vom Interviewten eingeholt.

Vergleich mit dem Fragebogen.

Keine auffälligen Diskrepanzen.

Interview 3

Name: Berta

Ort: Osnabrück

Geschlecht: weiblich

Jahrgangsstufe: 11

Fachinteresse Physik: 2,3

Fähigkeitsselbstkonzept Physik: 3,3

Szientismus (Schüler/Physiker): 2,3/4,3

Eigenes Bild von Physik. (252 - 275)

Bei Physik denkt Berta zuerst an den Unterricht sowie an die Serie »The Big Bang Theory« sowie an Albert Einstein. Besonders in Erinnerung geblieben sei ihr auch ein Fernsehbericht, in dem sich jemand mithilfe physikalischer Kenntnisse aus einer schwierigen Situation befreien konnte.

Einschätzung von Physiker/innen. (276 - 300)

Nach Bertas Einschätzung unterscheiden sich Physiker hinsichtlich ihres Weltbildes nicht allzu sehr von anderen Menschen. Sie wüssten zwar etwas mehr über Naturvorgänge, aber hinsichtlich ihrer Persönlichkeit oder auch religiösen Vorstellungen gebe es keine Unterschiede.

Ursachen für (Nicht)Interesse an Physik. (301 - 340)

Berta interessiert sich eher nicht für Physik. Physik sei zwar theoretisch interessant, aber sehr komplex. Im Umstellen von Formeln oder im dreidimensionalen Denken sei sie nicht so gut. Berta findet medizinische Anwendungen der Physik interessant oder auch Versuche. Berta findet es gut, wenn im Physikunterricht Versuche gemacht werden, so dass man vieles einfach sehe. Wenn dagegen nur Formeln angeschrieben und umgeformt würden, wie es bei ihr zwischenzeitlich im Physikunterricht der Fall gewesen sei, dann würde sie das

Interesse verlieren.

Ursachen für Szientismus. (341 - 364)

Berta glaubt, dass es Fragen gibt, die naturwissenschaftlich nicht bewiesen werden können, zum Beispiel die nach der Entstehung der Erde oder des Universums. Diese ordnet sie eher dem Bereich der Religion zu. Der Physikunterricht habe sich nicht mit diesem Thema beschäftigt.

Ursachen für Szientismus-Diskrepanz. (365 - 386)

Berta ist der Auffassung, dass Physiker die Möglichkeiten der Physik etwas größer einschätzen als sie selbst, weil Physik für Physiker wichtiger sei und sie mehr über ihre Möglichkeiten wüssten. Sie glaubt aber auch, dass Physiker Grenzen sehen, zum Beispiel bei bestimmten religiösen Fragen.

Besonderheiten.

Zu den Zusammenfassungen wurden keine Rückmeldungen vom Interviewten eingeholt.

Vergleich mit dem Fragebogen.

Die Diskrepanz der Einschätzungen zum Szientismus auf dem Fragebogen sind etwas größer als man es aufgrund des Interviews vermuten könnte.

Interview 4

Name: Christa

Ort: Osnabrück

Geschlecht: weiblich

Jahrgangsstufe: 11

Fachinteresse Physik: 2,4

Fähigkeitsselbstkonzept Physik: 2,6

Szientismus (Schüler/Physiker): 2,2/5

Eigenes Bild von Physik. (388 - 408)

Christa verbindet mit Physik in erster Linie die Urknall- und Relativitätstheorie. Besondere Ereignisse aus dem Physikunterricht oder auch sonst sind ihr nicht im Gedächtnis geblieben. Bei Personen denkt sie an Albert Einstein, ihren Physiklehrer Herrn G., sowie Sheldon Cooper, einer Figur aus der Fernsehserie »The Big Bang Theory«.

Einschätzung von Physiker/innen. (409 - 451)

Christa stellt sich Physiker als intelligente Menschen vor, aber nicht als »langweilig intelligente«, sondern als »aufregend intelligente«. Ansonsten glaubt sie

7. Interviews

nicht, dass es in der Persönlichkeit Unterschiede zu anderen Menschen gebe. Hinsichtlich ihres Weltbildes stellt sie sich Physiker eigentlich als atheistisch vor (allerdings sei ihr Physiklehrer Herr G. sehr religiös). Sie glaubt, dass Physiker oder Naturwissenschaftler eher rational und objektiv denken und deshalb weniger an das Übernatürliche glauben oder an Sachen, die sie nicht erklären könnten. Sie kann sich nicht vorstellen, später einmal Physikerin zu werden, da ihre Interessen stärker im sozialen Bereich angesiedelt seien.

Ursachen für (Nicht)Interesse an Physik. (452 - 483)

Christa interessiert sich für Physik, es sei aber nichts, womit sie sich ausschließlich beschäftigen wolle. Es interessiert sie, dass Physik religiöse Behauptungen widerlegen könne, so glaube sie eher der Urknalltheorie als der Aussage, dass Gott die Welt erschaffen habe. Aber sie würde sich nicht immer mit Physik beschäftigen wollen, weil sie manchmal einfach ihrem Gefühl nachgehe und in der Physik ja immer alles bewiesen werden müsse. Sie wünscht sich, dass in der Physik mehr Umgang mit Menschen geben würde, zum Beispiel Teamarbeit.

Ursachen für Szientismus. (484 - 506)

Christa glaubt, dass die Naturwissenschaften nicht alle Fragen beantworten können, zum Beispiel die Frage nach dem Sinn des Lebens. Im Physikunterricht wurden die Grenzen der Naturwissenschaften nicht thematisiert.

Ursachen für Szientismus-Diskrepanz. (507 - 520)

Christa denkt, dass Naturwissenschaftler schon glauben, dass sie vieles beantworten könnten. Allerdings würden sie auch Grenzen sehen und sich hier in ihren Ansichten nicht von anderen Menschen unterscheiden.

Besonderheiten.

Der vorletzte Abschnitt (Ursachen für Szientismus) wurde vom Interviewer zwar zusammengefasst, es wurde jedoch keine Rückmeldung eingeholt.

Vergleich mit dem Fragebogen.

Auf dem Fragebogen schätzt Christa die Ansichten der Physiker als sehr szientistisch ein. Im Interview sieht sie dagegen keine Unterschiede zwischen den Ansichten von Physikern und anderen Menschen.

Interview 5

Name: Dora

Ort: Osnabrück

Geschlecht: weiblich

Jahrgangsstufe: 11

Fachinteresse Physik: 2,6
 Fähigkeitsselbstkonzept Physik: 4
 Szientismus (Schüler/Physiker): 2,5/4,5

Eigenes Bild von Physik. (522 - 552)

Mit Physik verbindet Dora vor allem Begriffe oder wichtige Versuche aus dem Physikunterricht. Bei Personen fallen ihr Forscher, wie Albert Einstein, oder Physiklehrer, wie ihr Lehrer, Herr G. ein.

Einschätzung von Physiker/innen. (553 - 583)

Sie stellt sich Physiker als begeistert von Physik vor, auch als etwas einzelgängerisch und manchmal ein bisschen schusselig. Ansonsten seien sie aber wie ganz normale Menschen. Auch beim Weltbild sieht sie keine Unterschiede zwischen Physikern und »normalen« Menschen. Sie habe sich schon einmal überlegt Physikerin zu werden, es sei aber so, dass sie noch andere Hobbys habe, die ihr wichtiger seien. Für diese habe sie sich dann sozusagen entschieden. Physik sei ihr auch mit zuviel Arbeit verbunden und das Bild vom Einzelgänger finde sie nicht so schön.

Ursachen für (Nicht)Interesse an Physik. (584 - 616)

Dora sagt, dass sie sich schon für Physik interessiere, weil sie es einfach wichtig finde, Sachen auch zu verstehen. In dieser Hinsicht nennt sie ein Windrad, erneuerbare Energien oder Bewegungsabläufe wie bei dem Sprinter Usain Bolt. Den derzeitigen Physikunterricht findet Dora gut, insbesondere die vielen Versuche. Abgeschreckt habe sie aber einmal ein früherer Lehrer, der nicht gut vermitteln konnte.

Ursachen für Szientismus. (617 - 659)

Dora denkt, dass es Fragen gibt, die naturwissenschaftlich nicht beantwortbar sind, sie ist sich aber nicht sicher, welche dies sein könnten. Sie findet, dass im Physikunterricht die Frage, was physikalisch beantwortbar ist, nicht direkt, aber indirekt behandelt wurde, denn man habe ja gesehen, dass man sehr Vieles beantworten könne. Das gehe schon ziemlich weit und manchmal käme dann auch noch »das möchte ich euch jetzt nicht erklären, das ist zu schwer«.

Ursachen für Szientismus-Diskrepanz. (660 - 673)

Dora glaubt, dass es Physiker gibt, die denken, dass sich physikalisch alles beantworten lässt. Sie vermutet aber auch, dass es andere Physiker gibt, die religiös sind und Grenzen der Physik, z. B. bei moralischen Fragen, sehen.

Besonderheiten.

Keine.

7. Interviews

Vergleich mit dem Fragebogen.

Keine auffälligen Diskrepanzen.

Interview 6

Name: Bernd

Ort: Osnabrück

Geschlecht: männlich

Jahrgangsstufe: 11

Fachinteresse Physik: 2,6

Fähigkeitsselbstkonzept Physik: 2,6

Szientismus (Schüler/Physiker): 2,8/3,9

Eigenes Bild von Physik. (675 - 703)

Bei Physik denkt Bernd vor allem an den Physikunterricht (Mathematik, Versuche, Experimente). Wichtige Personen sind für ihn berühmte Physiker oder der Physiklehrer, Herr G.. Inhaltlich verbindet er mit Physik vor allem auch Astronomie (er besucht einen Astronomie-Kurs). Besondere Ereignisse sind ihm nicht allzu sehr in Erinnerung, außer vielleicht die Klassenarbeiten.

Einschätzung von Physiker/innen. (704 - 744)

Nach Bernds Ansicht sind Physiker in ihrer Persönlichkeit manchmal etwas »speziell«, z. B. in ihrem äußeren Erscheinungsbild. Er glaubt, dass sie sich vielleicht ein anderes Bild von der Welt machen und sich mehr erklären können. Er glaubt, dass sie etwas weiter und verzweigter denken als andere Menschen, und dass sie anders über Religion denken als Nichtphysiker, denn letztlich sei alles mit Wissenschaft zu erklären und die Religion würde dies nicht so sehen. Bernd kann sich selbst nicht vorstellen, Physiker zu werden, weil es ihm zu einseitig wäre und zu viel Mathematik. Er selbst hätte gern einen praktischen Anteil, wie etwa bei einem Ingenieur.

Ursachen für (Nicht)Interesse an Physik. (745 - 781)

Bernds Interesse an Physik geht über den Physikunterricht nicht hinaus, außer vielleicht etwas im Bereich der Astronomie. Seine Hobbys sind eher sportlicher Natur. Beruflich möchte er etwas im Bereich Sport und Management oder vielleicht auch in Richtung Ingenieurwesen machen. Physik würde für ihn interessanter werden, wenn sie weniger mathematisch wäre, aber dies sei natürlich ein Teil der Physik.

Ursachen für Szientismus. (782 - 807)

Bernd glaubt, dass es Fragen gibt, die die Physik nicht beantworten kann, etwa

die Frage nach dem Sinn des Lebens oder die nach einer Existenz über den Tod hinaus. Im Physikunterricht wurden derartige Fragen nicht diskutiert.

Ursachen für Szientismus-Diskrepanz. (808 - 834)

Bernd nimmt an, dass Physiker tendenziell eher glauben, dass man irgendwann alle Fragen naturwissenschaftlich beantworten kann. Er ist sich aber nicht ganz sicher. Als Grund vermutet er, dass man in den vergangenen Jahrzehnten auf immer mehr Fragen Antworten gefunden habe, von den man früher geglaubt habe, sie seien naturwissenschaftlich nicht untersuchbar.

Besonderheiten.

Keine.

Vergleich mit dem Fragebogen.

Keine auffälligen Diskrepanzen.

Interview 7

Name: Erna

Ort: Osnabrück

Geschlecht: weiblich

Jahrgangsstufe: 11

Fachinteresse Physik: 2,8

Fähigkeitsselbstkonzept Physik: 1,3

Szientismus (Schüler/Physiker): 1,8/2,1

Eigenes Bild von Physik. (836 - 860)

Erna verbindet wenig mit Physik, besondere Begriffe oder Ereignisse fallen ihr nicht ein. Bei Personen denkt sie an Newton und Einstein. Sie sagt, sie sei nicht so gut in Physik, wobei einige Themen in der Oberstufe schon interessanter seien.

Einschätzung von Physiker/innen. (861 - 889)

Einer sieht keine gravierenden Unterschiede zwischen Physikern und anderen Menschen. Äußerlich würden sie vielleicht gelegentlich etwas auffallen. Sie meint, dass Physiker die Welt vielleicht ein wenig anders sehen, da sie ein bisschen »mehr Ahnung« hätten. Sie glaubt nicht, dass Physiker in religiösen Fragen anders denken als Nichtphysiker, da dies nichts mit Physik zu tun hätte. Sie kann sich auf keinen Fall vorstellen, selbst Physikerin zu werden, weil sie in Mathematik und Physik schlecht sei, obwohl sie Einiges schon interessieren würde.

7. Interviews

Ursachen für (Nicht)Interesse an Physik. (890 - 932)

Erna sagt, dass sie sich eher wenig für Physik interessiert. Als einen Grund nennt sie, dass man dort Sachen hinterfragen würde, die eigentlich selbstverständlich erscheinen würden. Themen, die Sie interessant finden würden, fallen ihr nicht ein. Das aktuelle Thema - Schallwellen - sei aber schon interessant. Sie sagt, dass sie Sachen mögen würde, in die man sich hineindenken kann und die man sich vorstellen kann. Wenn man etwas versteht, würde es ein wenig mehr Spaß machen.

Ursachen für Szientismus. (933 - 956)

Erna fällt keine Frage ein, von der sie sagen würde, sie sei physikalisch nicht beantwortbar. Die Physik würde alles hinterfragen, aber als Person würde man dies ja nicht tun. Sie glaubt nicht, dass die Physik den Sinn des Lebens endgültig herausfinden kann, obwohl man bestimmt ein paar Ansätze machen könne. Ihr ist nicht bewusst, dass im Physikunterricht jemals diskutiert worden wäre, welche Fragen physikalisch beantwortbar sein könnten und welche nicht.

Ursachen für Szientismus-Diskrepanz. (957 - 994)

Erna meint, dass Physikerinnen und Physiker bestimmt probieren würden, alle Fragen zu beantworten, aber auch wüssten, dass sie nicht auf alles eine Antwort bekommen würden. Physiker würden dabei vielleicht noch ein bisschen tiefer gehen als Biologen. Unterschiede zwischen Forschern und Lehrern sieht sie nicht.

Besonderheiten.

Vergleich mit dem Fragebogen.

Keine auffälligen Diskrepanzen.

Interview 8

Name: Christoph

Ort: Osnabrück

Geschlecht: männlich

Jahrgangsstufe: 11

Fachinteresse Physik: 2,7

Fähigkeitsselbstkonzept Physik: 3,3

Szientismus (Schüler/Physiker): 2,8/3,9

Eigenes Bild von Physik. (996 - 1021)

Christoph verbindet mit Physik vor allen Dingen Technik oder auch fortschrittliche Technik. Typisch physikalisch ist für ihn die Mikrowelle. Am besten seien immer die Versuche, da erlebe man die Physik richtig mit; die Theorie sei manchmal etwas schleppend, aber im großen Ganzen auch nicht schlecht. Personen, die er mit Physik verbindet, seien berühmte Physiker, etwa Albert Einstein.

Einschätzung von Physiker/innen. (1022 - 1066)

Christoph glaubt, dass Physiker die Welt etwas anders sehen als Nichtphysiker, vor allem, weil sie wüssten, was hinter den Dingen steckt - insbesondere in der Technik. Ansonsten würden sie aber durch die Welt gehen, wie jeder andere auch. Hinsichtlich ihrer Position zur Religion glaubt er, dass sie diese eher ablehnen, zumindest sei das das Gefühl, was einem durch die Medien suggeriert würde. Es sei sich aber nicht sicher, ob dies stimmt. Christoph kann sich nicht vorstellen selbst Physiker zu werden, wohl aber zum Beispiel Wirtschaftsingenieur, worin ja auch Physik enthalten sei. Physik selbst verbindet er mit vielen Formeln, viel Lernen, sowie genauem und vernetzten Denken - damit habe er allerdings seine Probleme.

Ursachen für (Nicht)Interesse an Physik. (1067 - 1103)

Christoph schätzt sein Interesse an Physik im oberen Bereich ein, ihn interessiert, wie Dinge zusammenhängen. In diesem Sinne mag er auch den Physikunterricht, insbesondere, wenn es um Anwendungen aus dem täglichen Leben und der Technik geht, z. B. die Funktionsweise einer Fernbedienung. Ihm gefallen Versuche, die einem ein neues Thema näher bringen und veranschaulichen, weniger dagegen, wenn eine hohe Denkleistung oder ein große Vorstellungsvermögen erforderlich sei, dies sei beispielsweise in der Optik der Fall gewesen.

Ursachen für Szientismus. (1104 - 1126)

Christoph vermutet, dass zukünftig sehr viele, aber nicht alle Fragen naturwissenschaftlich beantwortbar sein werden. Er ist sich jedoch unsicher. Besonders im Bereich der Religion, vermutet er Probleme, die vielleicht nicht naturwissenschaftlich entschlüsselbar sind. Konkret nennt er die Frage nach der Existenz Gottes, er glaube nicht, dass hier irgendetwas messbar sei. Im Physikunterricht seien solche Fragen nach den Grenzen der Naturwissenschaften aber nicht diskutiert worden, lediglich im Religionsunterricht.

Ursachen für Szientismus-Diskrepanz. (1127 - 1151)

Christoph vermutet, dass Physiker die Möglichkeiten der Naturwissenschaften etwas optimistischer einschätzen, weil sie täglich damit zu tun hätten, den Stand der Forschung kennen würden, und wüssten, was möglich und erreichbar wäre. Er glaube jedoch nicht, dass sie sagen »wir können alles Mögliche begründen«. Er glaubt, dass Forscher in dieser Hinsicht etwas optimistischer als Physiklehrer

7. Interviews

sind, da sie näher am Stand der Forschung seien. Zwischen verschiedenen Naturwissenschaftlern, etwa Biologen und Physikern, sieht er keine besonderen Unterschiede.

Besonderheiten.

Keine.

Vergleich mit dem Fragebogen.

Keine auffälligen Diskrepanzen.

Interview 9

Name: Farah

Ort: Münster

Geschlecht: weiblich

Jahrgangsstufe: 10

Fachinteresse Physik: 2,3

Fähigkeitsselbstkonzept Physik: 2,9

Szientismus (Schüler/Physiker): 2,7/4,4

Eigenes Bild von Physik. (1153 - 1183)

Mit Physik verbindet Farah Themen, die im Unterricht behandelt wurden wie zum Beispiel Mechanik, Magnetismus oder Optik. Besonders im Gedächtnis geblieben ist ihr, was zuletzt behandelt wurde (die Bedeutung der Knautschzone bei Autos). Bei Personen, denkt sie an niemand besonderes, sie habe oft wechselnde Physiklehrer gehabt. Auf die Frage, ob sie mit Physik ein bestimmtes Weltbild verbinde, sagt sie, dass Physiker nur an das glauben, was sie mit Experimenten belegen und messen, und somit wirklich beweisen könnten.

Einschätzung von Physiker/innen. (1184 - 1218)

Farah stellt sich einen Physiker als Einzelgänger vor, der im Labor seine Experimente mache und dadurch, dass er an das glaube, was durch die Physik beweisbar sei, etwas »menschenfremd« sei. Sie glaubt, dass Physiker die Welt in Daten und Fakten sehen, die es zu untersuchen gilt. Sie schätzt Physiker eher als nicht-religiös ein, da sich »das mit Gott« ja nicht beweisen lasse. Gott habe die Welt im religiösen Sinne erschaffen, und sie glaubt, dass Physiker eher denken, dass dies irgendwie durch den Urknall geschehen sei, und dass Gott daher auch nicht existieren müsse. Nach ihrer Meinung schließen sich der Glaube an Gott und der Urknall aus, so dass man nur an das eine oder das andere glauben könne. Sie selbst kann sich nicht als Physikerin vorstellen, weil es ihr zu trocken sei immer nur zu sitzen und Experimente zu machen, sie

brauche etwas Lebendiges, den Umgang mit Menschen.

Ursachen für (Nicht)Interesse an Physik. (1219 - 1296)

Farah ist sich nicht sicher, wie sie ihr Interesse an Physik einschätzen soll. Auf jeden Fall interessiere sie Chemie oder Biologie mehr. Chemie findet sie verständlicher, außerdem gehe die Physik in Richtung Technik, und dies sei ein Bereich, der sie nicht so sehr interessiere. Sie interessiert sich außerdem für Mathematik und Sport. Sie denke immer ganz logisch, und das entspreche mehr der Mathematik und weniger der Physik, die für sie manchmal einfach unklar sei. Darüber hinaus findet sie die Themen, die im Physikunterricht behandelt werden nicht allzu interessant. Sie fände es besser, wenn im Unterricht noch mehr Themen mit Bezug zum Alltag behandelt würden, die dort auch nutzbar wären.

Ursachen für Szientismus. (1297 - 1350)

Farah sagt, Naturwissenschaften könnten beantworten, was und warum etwas passiere, zum Beispiel, warum ein Erdbeben ausgelöst werde oder warum jemand stirbt, wenn er mit 80 km/h gegen einen Baum fährt. Menschliche Werte könnten sie aber nicht herausfinden, weil dies nichts mit wissenschaftlichen Experimenten zu tun hätte. Auch zum Sinn des Lebens könnten die Naturwissenschaften nichts beitragen, weil dieser nicht darin liege irgendetwas zu beweisen, sondern auf der zwischenmenschlichen Ebene anzusiedeln sei. Er sei subjektiv und von Person zu Person auch immer etwas verschieden. Jeder sehe das ein bisschen anders. Man könne zwar Hirnströme messen oder beobachten, wie Leute miteinander umgehen, aber das erfasse nicht wirklich, was gemeint sei. Der Physikunterricht habe sie in diesen Auffassungen nicht beeinflusst.

Ursachen für Szientismus-Diskrepanz. (1351 - 1398)

Farah glaubt, dass Physiker die Möglichkeiten der Naturwissenschaften größer einschätzen als sie selbst, weil sie sehr von ihrem Tun überzeugt seien und wüssten, was man alles mit Physik machen könne. Aus diesem Grunde vermutet sie auch, dass Physiker der Ansicht sind, dass sie den Sinn des Lebens herausfinden können. Sie selbst sehe das anders und das sei auch ein Grund, warum sie sich weniger für Physik interessiere. Sie sagt, dass sie sich in ihrer Einschätzung der Physiker aber auch täuschen könne, und diese wüssten, was mit ihren Methoden erreichbar sei.

Besonderheiten.

Im Abschnitt über die Ursachen des (Nicht-) Interesses an Physik und auch bei Fragen zu den Grenzen der Physik wurde die Interviewte z. T. mit ihren Angaben auf dem Fragebogen konfrontiert. *Vergleich mit dem Fragebogen.* Keine auffälligen Diskrepanzen.

Interview 10

Name: Daniel

Ort: Münster

Geschlecht: männlich

Jahrgangsstufe: 10

Fachinteresse Physik: 3,5

Fähigkeitsselbstkonzept Physik: 4,5

Szientismus (Schüler/Physiker): 3,4/3,8

Eigenes Bild von Physik. (1400 -1414)

Daniel verbindet mit Physik die Begriffe Wissenschaft, Mechanik und auch Astronomie. Das Weltbild der Physik charakterisiert er als naturwissenschaftlich: »...nicht glauben, sondern wissen.«. Personen, die er mit Physik verbindet, sind Einstein und Newton. Als beeindruckende Erlebnisse aus dem Physikunterricht hat er eindrucksvolle Experimente eines früheren Physiklehrers in Erinnerung.

Einschätzung von Physiker/innen. (1415 - 1441)

Physiker sind für Daniel »ganz normale Leute«, außergewöhnliche Persönlichkeitseigenschaften verbindet er nicht mit ihnen. Hinsichtlich ihres Weltbildes glaubt er, dass dieses »eher das naturwissenschaftliche« ist. Darunter versteht er, dass man der Meinung ist, dass so etwas wie Gott nicht wirklich existiert und dass die Naturwissenschaft die Möglichkeit hat, die Welt so zu beschreiben, wie sie ist. Er kann sich sehr gut vorstellen, später Physiker zu werden.

Ursachen für (Nicht)Interesse an Physik. (1442 - 1457)

Daniel interessiert sich sehr für Physik - auch in seiner Freizeit. Als Grund gibt er an, es interessierte ihn einfach - vor allen Dingen das, was in Richtung Astronomie und Astrophysik gehe. Ein wesentlicher Anstoß dafür sei gewesen, dass im MINT-Fach in der siebten Klasse Astronomie gemacht worden sei.

Ursachen für Szientismus. (1458 - 1487)

Daniel ist der Ansicht, dass es theoretisch möglich ist, jede Frage naturwissenschaftlich zu beantworten. Im Einzelfall sei dies lediglich eine Frage des Aufwandes. Er ist der Auffassung, dass nichts existieren sollte, was sich nicht wenigstens prinzipiell naturwissenschaftlich beschreiben lässt. Auf die Frage, ob diese Ansicht auch ein Grund für sein Interesse an Physik ist, antwortet er, dass die schon sein könne; zum größten Teil sei es auch einfach seine Neugierde, wissen zu wollen, wie etwas funktioniert. Er kann sich gut vorstellen später im Bereich der physikalischen Forschung zu arbeiten.

Ursachen für Szientismus-Diskrepanz. ()

Besonderheiten.

Für das Interview standen lediglich 10 Minuten zur Verfügung. Es wurden daher vom Interviewer auf die Zusammenfassungen verzichtet. Außerdem wurde zum letzten Abschnitt keine Frage gestellt.

Vergleich mit dem Fragebogen.

Keine auffälligen Diskrepanzen.

8. Zusammenfassung

Die hier vorgelegte Arbeit beschäftigt sich mit den Ansichten von Schülerinnen und Schülern über die Möglichkeiten und Grenzen der Naturwissenschaft. Aus didaktischer Perspektive erscheinen diese mindestens in zweierlei Hinsicht von Bedeutung: der Erwerb von Grundkenntnissen über erkenntnis- und wissenschaftstheoretische Aspekte der Physik - oder allgemeiner der Naturwissenschaften - gilt heute als wichtiges Ziel naturwissenschaftlicher Bildung. Diese Kenntnisse sollten Schülerinnen und Schüler unter anderem ermöglichen, über das Potenzial und die Grenzen naturwissenschaftlicher Erkenntnisweisen zu reflektieren, um sie in die Lage zu versetzen, deren Bedeutung für die Gesellschaft - wie auch für das eigene Leben - einschätzen zu können. Ergebnisse empirischer Forschung deuten zum Zweiten darauf hin, dass diese Einschätzung auch mit dem Interesse an Physik in enger Verbindung steht. Hierbei scheint nicht nur die eigene Einschätzung von Bedeutung zu sein, sondern auch deren Beziehung zu den Ansichten, die von Schülerinnen und Schülern bei Vertretern der Physik vermutet werden. Die Forschungsergebnisse legen nahe, dass eine allzu große Diskrepanz zwischen der eigenen und der vermuteten Auffassung das Interesse an Physik - oder allgemeiner den Naturwissenschaften - negativ beeinflussen könnte.

Aufgrund der weitgehend qualitativen Natur bis dato existierender empirischer Studien, war ein erstes Ziel dieser Arbeit, diese um quantitative Daten zu ergänzen. Dazu wurde ein Instrument zur Erhebung von Schüleransichten zur Reichweite der Naturwissenschaften entwickelt, dass auch im Rahmen größerer quantitativer Untersuchungen einsetzbar ist. Es handelt sich hierbei um einen aus zehn Items bestehenden, geschlossenen Fragebogen. Die Items orientieren sich an einem Pol im Spektrum möglicher Ansichten, den man als szientistischen Standpunkt bezeichnen könnte. Der Fragebogen erhebt dabei nicht nur die eigenen Ansichten der Schülerinnen und Schüler, sondern auch diejenigen, die bei Physikern vermutet werden. Auf diese Weise sollte insbesondere ermöglicht werden, zu prüfen, ob tatsächlich häufiger diskrepante Einschätzungen auftreten. Die vorhergehenden qualitativen Forschungen legten dabei nahe, dass dabei Physik tendenziell mit szientistischeren Ansichten assoziiert wird. Mit verschiedenen Mitteln wurde versucht, eine größtmögliche Objektivität,

8. Zusammenfassung

Reliabilität und Validität des Fragebogens zu erreichen: Um die Reliabilität der Skala sicherzustellen, wurden die Items aus einem größeren Itempool anhand der Ergebnisse einer Voruntersuchung ausgewählt. Aufgrund der Komplexität des zu untersuchenden Konstruktes kommt insbesondere auch der Validität eine besondere Bedeutung zu. Zu den Maßnahmen, diese zu gewährleisten, gehören u. a. die theoretische Fundierung der Itemkonstruktion, eine Expertenbefragung, sowie die Durchführung einer Validierungsstudie, um theoretisch zu erwartende Korrelationen mit anderen Persönlichkeitskonstrukten zu prüfen. Legt man die üblichen Qualitätskriterien zu Grunde, kann die endgültige Skala als hinreichend reliabel und valide betrachtet werden.

Ein zweiter Teil dieser Arbeit betrifft die Vorbereitung, Durchführung und Auswertung einer Interventionsstudie, die neben der Erhebung der Schüleransichten mithilfe des entwickelten Messinstrumentes, den Einfluss einer expliziten unterrichtlichen Instruktion zu den Möglichkeiten und methodologischen Grenzen der Physik untersuchen sollte. Dabei standen mögliche Effekte auf die Ansichten der Schülerinnen und Schüler zur Reichweite der Naturwissenschaften, ihre Kenntnisse zu methodologischen Grenzen als auch mögliche Auswirkungen auf das Interesse im Vordergrund. Die Ergebnisse bestätigten vorhergehende Untersuchungen insoweit, dass Schülerinnen und Schüler in der Mehrheit keine szientistischen Auffassungen vertreten, solche aber tendenziell bei Physikern vermuten. In beiden Fällen ergeben sich bei Jungen etwas höhere Werte als bei Mädchen. Auch hinsichtlich des Zusammenhangs zwischen den Ansichten zur Reichweite der Naturwissenschaften und dem Interesse an Physik konnten die früheren qualitativen Beobachtungen bestätigt werden. So ergab sich eine positive Korrelation zwischen dem Ausmaß an szientistischen Ansichten und dem Interesse. Dieses korrelierte dagegen negativ mit der Diskrepanz zwischen eigenen und bei Physikern vermuteten Ansichten. Die unterrichtliche Intervention zeigte einen Einfluss auf die Ansichten zur Reichweite der Naturwissenschaften und auch auf die Kenntnisse der methodologischen Grenzen der Physik. Letztere konnten signifikant vergrößert werden. Der Unterricht zu den methodologischen Grenzen führte - zumindest kurzfristig - zu verminderten Werten hinsichtlich der eigenen Ansichten zum Szientismus und auch der Diskrepanz, es zeigt sich aber kein signifikanter Effekt auf das Interesse. Diese quantitativen Ergebnisse wurden durch Interviews, sowie im Rahmen studentischer Abschlussarbeiten durchgeführter Folgestudien evaluiert und validiert. Insgesamt ergaben die verschiedenen Studien weitgehende Übereinstimmung hinsichtlich der wesentlichen Ergebnisse. In einer weiteren Folge von Interviews wurde versucht, Indizien für kausale Mechanismen zu finden, die den gefundenen Korrelationen zugrunde liegen könnten. Obwohl eine Analyse im Rahmen

dieser Arbeit nicht mehr möglich war, ist ein erster Eindruck, dass auf diesem Wege nur wenige direkte Indizien auffindbar sind. Es ist zu vermuten, dass die psychologischen Zusammenhänge hier eher indirekter und komplexer Natur sind und umfangreichere oder anders konzipierte Interviews erfordern.

Die Beiträge des Autors dieser Arbeit zur Unterrichtseinheit über die Möglichkeiten und Grenzen betreffen vor allem die Entwicklung des Unterrichts zu den Möglichkeiten der Physik. Im Rahmen von zwei Unterrichtsstunden sollten die Leistungsfähigkeit der Physik im Kontext der Kosmologie verdeutlicht werden. Dieser Kontext war gewählt worden, weil er geeignet erschien, sowohl die Möglichkeiten als auch die Beschränkungen physikalischer Erkenntnisweisen zu demonstrieren. Im ersten Teil des Unterrichts wurde das Problem aufgeworfen, was die Physik zur Frage »Hatte das Universum ein Anfang?« beitragen kann. Daran anschließend, wurden im zweiten wissenschaftstheoretischen Teil des Unterrichts der Frage nachgegangen, ob sich mit physikalischen Mitteln auch etwas zu den Ursachen eines solchen Anfangs sagen lässt. Das Besondere am ersten Unterrichtsteil ist, dass versucht wurde, die Rotverschiebung der Galaxien als Indiz für den Urknall mit Hilfe von Konzepten der Allgemeinen Relativitätstheorie verständlich zu machen. Als zentrales Hilfsmittel wurde hierzu ein Versuch entwickelt, der die Rotverschiebung des Lichtes als Effekt der Expansion des Universums veranschaulicht.

Zur Unterstützung von Lehrkräften, die nicht mit der Kosmologie vertraut sind, wurden verschiedene, einführende Texte zu diesem Gebiet erstellt. Zum zweiten Unterrichtsteil wurde für diese Arbeit ein Lehrtext für Schüler entworfen, der an den Inhalten des Unterrichts angelehnt ist, diese jedoch in verschiedener Weise modifiziert und an einigen Stellen vertieft.

Nach Abschluss dieser Arbeit verbleiben zahlreiche Fragen und Probleme, die Anlass für zukünftige Forschung geben könnten. Ein offenes Problem ist nach wie vor, welche psychologischen Mechanismen für den Zusammenhang zwischen Interesse an Physik und Szientismus verantwortlich sind. Dasselbe gilt für die Frage, wie sich die Diskrepanz zwischen den eigenen und den bei Physikern vermuteten Ansichten im Detail auf das Interesse auswirkt. Insofern diese Diskrepanz ihre Ursache in einer - aus erkenntnistheoretischer Sicht nicht zwingenden - Verknüpfung der Naturwissenschaft mit bestimmten metaphysischen Positionen hat, bleibt auch die Entwicklung geeigneter Unterrichtskonzepte eine wichtige Aufgabe. Die Unterrichtseinheit, die im Rahmen der in dieser Arbeit durchgeführten Interventionsstudie eingesetzt wurde, bietet hierzu einen ersten Ansatzpunkt. Sie versucht deutlich zu machen, dass verschiedene metaphysische Standpunkte mit der Physik vereinbar sind und betont den Aspektcharakter der physikalischen Erkenntnisweise. Hier wäre es interessant, inhaltliche und

8. Zusammenfassung

methodische Alternativen zu entwickeln und auf ihre Wirksamkeit zu prüfen. In Hinblick auf einen dauerhaften Erfolg sollten dabei auch solche Konzepte in Betracht gezogen werden, die sich über einen längeren Zeitraum erstrecken, selbst wenn dies eine empirische Prüfung der Wirksamkeit erschwert oder sogar aus praktischen Gründen unmöglich macht.

Literatur

- Aikenhead, G. S. (1996). Science Education: Border Crossing into the Subculture of Science. *Studies in Science Education*, 27, 1–52.
- American Association for the Advancement of Science. (1993). *Benchmarks for science literacy: Project 2061*. Oxford Univ. Press.
- Appiah, A. (2010). Science knows best. *The New York Times (Sunday Book Review)*, October 3, 12.
- Aronson, E. (2002). Building empathy, compassion, and achievement in the jigsaw classroom. , 209-225.
- Aronson, E., Blaney, N., Stephan, C., Silkes, J. & Snapp, M. (1978). *The jigsaw classroom*. Beverly Hills, CA: Sage.
- Atmanspacher, H. (2011). Quantum Approaches to Consciousness. In E. N. Zalta (Hrsg.), *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Summer 2011 Aufl.). <http://plato.stanford.edu/archives/sum2011/entries/qt-consciousness/>.
- Baez, E. F., J. C.; Bunn. (2005). The meaning of einstein's equation. *American journal of physics*, 73 (7), 644–652.
- Baguley, T. (2013). *Using multilevel models to get accurate inferences for repeated measures anova designs*. Zugriff auf <http://seriousstats.wordpress.com/> (Weblog, Stand: 13.04.2013)
- Balaguer, M. (2014). Platonism in Metaphysics. In E. N. Zalta (Hrsg.), *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Spring 2014 Aufl.). <http://plato.stanford.edu/archives/spr2014/entries/platonism/>. (Online; Stand 21.02.2013)
- Barrow, J. D. (1999). *Impossibility: The limits of science and the science of limits*. Random House.
- Bechger, T. M., Maris, G., Verstralen, H. H. & Béguin, A. A. (2003). Using classical test theory in combination with item response theory. *Applied psychological measurement*, 27 (5), 319–334.
- Beckermann, A. (2008). *Analytische Einführung in die Philosophie des Geistes*. Walter de Gruyter.

- Bendixen, L. & Rule, D. (2004). An integrative approach to personal epistemology: A guiding model. *Educational Psychologist*, 39 (1), 69–80.
- Berger, R. & Hänze, M. (2004). Das Gruppenpuzzle im Physikunterricht der Sekundarstufe II–Einfluss auf Motivation, Lernen und Leistung. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 10, 205–219.
- Berger, R. & Hänze, M. (2009). Comparison of two small-group learning methods in 12th-grade physics classes focusing on intrinsic motivation and academic performance. *International Journal of Science Education*, 31 (11), 1511–1527.
- Berger, R. & Korte, S. (2009). Möglichkeiten und Grenzen der physikalischen Methode am Beispiel der Kosmologie. *Praxis der Naturwissenschaften - Physik in der Schule*, 58 (6), 34–41.
- Berger, U., Rockenbach, K., Spinath, B., Stiensmeier-Pelster, J., Schöne, C. & Dickhäuser, O. (2005). Skalen zur Erfassung der Lern- und Leistungsmotivation (SELLMO). *Diagnostica*, 51 (4), 207–211.
- Bühner, M. (2011). *Einführung in die Test- und Fragebogenkonstruktion* (3., aktualis. u. erw. Aufl. Aufl.). Pearson Deutschland.
- Bohnsack, R. (2008). *Rekonstruktive Sozialforschung: Einführung in qualitative Methoden* (7. Auflage Aufl., Bd. 8242). Utb.
- Bojowald, M. (2009). Der Ur-Sprung des Alls. *Spektrum der Wissenschaft*, 5.
- Borkenau, P. & Ostendorf, F. (2008). *NEO-FFI : NEO-Fünf-Faktoren-Inventar nach Costa und McCrae* (2. Aufl. Aufl.). Hogrefe.
- Borsboom, D., Mellenbergh, G. & Van Heerden, J. (2003). The theoretical status of latent variables. *Psychological review*, 110 (2), 203.
- Bortz, J. & Schuster, C. (2010). *Statistik für Human- und Sozialwissenschaftler*. Springer Verlag.
- Brügelmann, H. (2005). *Schule verstehen und gestalten: Perspektiven der Forschung auf Probleme von Erziehung und Unterricht*. Libelle.
- Bunn, E. F. & Hogg, D. W. (2009). The kinematic origin of the cosmological redshift. *American Journal of Physics*, 77 (8), 688–694.
- Carrier, M. (2004). Experimental Success and the Revelation of Reality: The Miracle Argument for Scientific Realism. In *Knowledge and the world: Challenges beyond the science wars* (S. 137 - 161). Springer.
- Carrier, M. (2006). *Wissenschaftstheorie zur Einführung*. Junius Hamburg.
- Carroll, S. M. (2004). *Spacetime and geometry. an introduction to general relativity* (Bd. 1).
- Chaitin, G. (2006). The limits of reason. *Scientific American*, 294 (3), 74–81.
- Chakravartty, A. (2014). Scientific Realism. In E. N. Zalta (Hrsg.), *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Spring 2014

8. Zusammenfassung

Aufl.). <http://plato.stanford.edu/archives/spr2014/entries/scientific-realism/>.

- Chalmers, A. (1999). *Grenzen der Wissenschaft*. Springer Verlag.
- Chen, S. (2006). Development of an instrument to assess views on nature of science and attitudes toward teaching science. *Science Education*, 90 (5), 803–819.
- Christoffersson, A. (1975). Factor analysis of dichotomized variables. *Psychometrika*, 40 (1), 5–32.
- Clough, M. P. (2006). Learners' responses to the demands of conceptual change: Considerations for effective nature of science instruction. *Science & Education*, 15 (5), 463–494.
- Cobern, W. W. (1991). *World view theory and science education research*. NARST Monograph No. 3. National Association for Research in Teaching.
- Cobern, W. W. (1996). Worldview theory and conceptual change in science education. *Science Education*, 80 (5), 579–610.
- Cobern, W. W. (2000). *Everyday thoughts about nature*. Kluwer Academic.
- Cobern, W. W. & Loving, C. C. (1998). The Card Exchange: Introducing the Philosophy of Science. *The Nature of Science in Science Education*, 73.
- Coc, A., Uzan, J.-P. & Vangioni, E. (2014). Standard big bang nucleosynthesis and primordial cno abundances after planck. *arXiv preprint arXiv:1403.6694*.
- Cook, R. J. & Burns, M. S. (2009). Interpretation of the cosmological metric. *American Journal of Physics*, 77 (1), 59–66.
- Correlation, P. (2012). *Partial Correlation - Wikipedia, The Free Encyclopedia*. Zugriff auf http://en.wikipedia.org/wiki/Partial_correlation (Online; Stand: 12.03.2013)
- Cronbach, L. J. (1951). Coefficient alpha and the internal structure of tests. *Psychometrika*, 16 (3), 297–334.
- Daniels, Z. (2008). *Entwicklung schulischer Interessen im Jugendalter* (Bd. 69). Waxmann Verlag.
- Deci, E. L. & Ryan, R. M. (2000). The »what« and »why« of goal pursuits: Human needs and the self-determination of behavior. *Psychological inquiry*, 11 (4), 227–268.
- Deci, E. L. & Ryan, R. M. (2002). *Handbook of Self-determination Research*. University Rochester Press.
- Deng, F., Chen, D., Tsai, C. & Chai, C. (2011). Students' views of the nature of science: A critical review of research. *Science Education*, 95 (6), 961–999.
- DeVellis, R. (2003). *Scale Development: Theory and Applications* (2nd editon Aufl.). SAGE Publications.
- Dodelson, S. (2003). *Modern Cosmology*. Academic press.

- Driver, R., Leach, J., Millar, R. & Scott, P. (1996). *Young people's images of science*. Open University Press Buckingham.
- Dunlap, W. P., Cortina, J. M., Vaslow, J. B. & Burke, M. J. (1996). Meta-analysis of experiments with matched groups or repeated measures designs. *Psychological Methods*, 1 (2), 170–177.
- Dürr, H.-P. (1986). *Physik und Transzendenz*. Scherz.
- Dürr, H.-P. (1990). *Das Netz des Physikers: naturwissenschaftliche Erkenntnis in der Verantwortung*. Deutscher Taschenbuch Verlag.
- Düwell, M., Hübenthal, C. & Werner, M. H. (2011). *Handbuch Ethik* (3. Auflage Aufl.). Stuttgart, Weimar: JB Metzler.
- Eastman, G. (1969). Scientism in science education. *The Science Teacher*, 36 (4), 19-22.
- Edwards, J. R. & Bagozzi, R. P. (2000). On the nature and direction of relationships between constructs and measures. *Psychological methods*, 5 (2), 155.
- Edwards, M. C. & Wirth, R. (2009). Measurement and the study of change. *Research in Human Development*, 6 (2-3), 74–96.
- Einstein, A. (1934). *Mein Weltbild* (hg. v. C. Seelig). (Erstdruck Amsterdam 1934). Wiederabdruck Ullstein 1982.
- Einstein, A. (1936). Physik und Realität. *Journal of the Franklin Institute*, 221 (3), 313–347.
- Einstein, A. (1979). *Aus meinen späten Jahren*. Deutsche Verlagsanstalt.
- Eisenstein, D. J. & Bennett, C. L. (2008). Cosmic sound waves rule. *Physics Today*, 61 (4), 44–50.
- Ellis, G. F. R. (2007). Issues in the Philosophy of Cosmology. In J. Butterfield J.; Earman (Hrsg.), *Philosophy of Physics Part A* (S. 1183-1287). Elsevier.
- Elster, D. (2007). Student interests—the German and Austrian ROSE survey. *Journal of Biological Education*, 42 (1), 5–10.
- Ericsson, K. A. & Simon, H. A. (1985). *Protocol analysis*. MIT press.
- Fahrmeir, L., Kneib, T. & Lang, S. (2007). *Regression*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Fan, X. & Sivo, S. A. (2009). Using δ -goodness-of-fit indexes in assessing mean structure invariance. *Structural Equation Modeling*, 16 (1), 54–69.
- Faraway, J. (2013). *Changes to the mixed effects models chapters in elm*. elektronisch. Zugriff auf <http://www.maths.bath.ac.uk/~jjf23/ELM/mixchange.pdf> (Online; Stand: 12.03.2013)
- Faraway, J. J. (2006). *Extending the linear model with r: generalized linear, mixed effects and nonparametric regression models* (Bd. 66). Chapman & Hall.

8. Zusammenfassung

- Ferdinand, H. (2013). *Entwicklung von Fachinteresse: Längsschnittstudie zu Interessenverläufen und Determinanten positiver Entwicklung in der Schule* (Bd. 89). Waxmann Verlag.
- Feynman, R. P., Leighton, R. B. & Sands, M. (1997). *Vorlesungen über Physik, Bd. 1*. Oldenbourg, München.
- Fink, B. (1991). Interest Development as Structural Change in Person-Object Relationships. In *The origins of action* (S. 175–204). Springer.
- for Astrophysics, H.-S. C. (2004). *Cosmic questions educators guide*. Zugriff auf <http://www.cfa.harvard.edu/seuforum/download/CQEdGuide.pdf> (Online; Stand: 03.12.2014)
- Francis, L. J. & Greer, J. E. (2001). Shaping adolescents' attitudes towards science and religion in northern ireland: the role of scientism, creationism and denominational schools. *Research in Science & Technological Education*, 19 (1), 39–53.
- Fromm, E. (1977). *Anatomie der menschlichen Destruktivität*. Reinbeck, Rowohlt.
- Fulljames, P., Gibson, H. M. & Francis, L. J. (1991). Creationism, scientism, christianity and science: a study in adolescent attitudes. *British Educational Research Journal*, 17 (2), 171–190.
- Gasperini, M. (2008). *The universe before the big bang: cosmology and string theory*. Springer.
- Gauch Jr, H. G. (2009). Science, worldviews, and education. In *Science, worldviews and education* (S. 27–48).
- Giulini, D. & Straumann, N. (2000). Kosmologie: Das Rätsel der kosmischen Vakuumenergiedichte und die beschleunigte Expansion des Universums. *Physikalische Blätter*, 56 (11), 41–48.
- Gläser-Zikuda, M. (2011). Qualitative Auswertungsverfahren. *Empirische Bildungsforschung*, 109–119.
- Grøn, Ø. & Hervik, S. (2007). *Einstein's general theory of relativity: with modern applications in cosmology*. Springer.
- Gühne, O. & Kleinmann, M. (2013). Auf den Kontext kommt es an. *Physik Journal*, 12 (2), 25.
- Guttman, L. (1953). Reliability formulas that do not assume experimental independence. *Psychometrika*, 18 (3), 225–239.
- Guzzetti, B. J., Snyder, T. E., Glass, G. V. & Gamas, W. S. (1993). Promoting conceptual change in science: A comparative meta-analysis of instructional interventions from reading education and science education. *Reading Research Quarterly* (28), 117–159.
- Hall, P. (2001). Statistical science—evolution, motivation and direction. *Mathematics Unlimited—2001 and Beyond, Springer, Berlin*, 565–575.

- Hannover, B. & Kessels, U. (2004). Self-to-prototype matching as a strategy for making academic choices. why high school students do not like math and science. *Learning and instruction*, 14 (1), 51–67.
- Hansson, L. (2014). Students' views concerning worldview presuppositions underpinning science: Is the world really ordered, uniform, and comprehensible? *Science Education*, 98 (5), 743–765.
- Hansson, L. & Lindahl, B. (2007). Students' presuppositions of what the world is like and their interest in choosing a science profile in their studies. *Paper presented at The 6th ESERA Conference, 21-25 August, Malmö, Sweden.*
- Hansson, L. & Lindahl, B. (2010). I have chosen another way of thinking. *Science & Education*, 19 (9), 895–918.
- Hansson, L. & Redfors, A. (2006). Swedish upper secondary students' views of the origin and development of the universe. *Research in Science Education*, 36 (4), 355–379.
- Hansson, L. & Redfors, A. (2007a). Physics and the possibility of a religious view of the universe: Swedish upper secondary students' views. *Science & Education*, 16 (3-5), 461–478.
- Hansson, L. & Redfors, A. (2007b). Upper secondary students in group discussions about physics and our presuppositions of the world. *Science & Education*, 16, 1007–1025.
- Hänze, M. (2002). Bedürfnis nach Struktur und Furcht vor Festlegung. *Zeitschrift für Differentielle und Diagnostische Psychologie*, 23 (3), 327–338.
- Harris, S. (2011). *The moral landscape: How science can determine human values*. Simon & Schuster.
- Harris, S. (2013). Glück ohne Gott. *Die Zeit*, Nr. 2. Zugriff auf <http://www.zeit.de/2013/02/Glueck-ohne-Gott-Moral>
- Hawking, S. & Mlodinow, L. (2010). *Der große Entwurf*. Rowohlt. Reinbeck bei Hamburg.
- Helfferich, C. (2011). *Die Qualität qualitativer Daten* (4. Aufl. Aufl.). VS, Verlag für Sozialwissenschaften.
- Hidi, S. & Renninger, K. A. (2006). The four-phase model of interest development. *Educational psychologist*, 41 (2), 111–127.
- Hofer, M. (2010). Adolescents' development of individual interests: A product of multiple goal regulation? *Educational Psychologist*, 45 (3), 149–166.
- Hoffmann, D. W. (2011). *Grenzen der Mathematik: eine Reise durch die Kerngebiete der mathematischen Logik*. Springer.
- Hoffmann, L., Häußler, P. & Lehrke, M. (1998). *Die IPN-Interessenstudie Physik*. Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften.
- Hofheinz, V. (2008). *Erwerb von Wissen über »Nature of Science«*. Dissertation. Universität Siegen.

8. Zusammenfassung

- Hooper, D., Coughlan, J. & Mullen, M. R. (2008). Structural equation modeling: Guidelines for determining model fit. *Electronic Journal of Business Research Methods*, 6 (1), 53–60.
- Horstendahl, M. (1999). *Motivationale Orientierungen im Physikunterricht*. Logos-Verlag.
- Höttecke, D. (2001). Die Vorstellungen von Schülern und Schülerinnen von der „Natur der Naturwissenschaften“. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 7 (1), 7–23.
- Hoyningen-Huene, P. (1999). Kommt die Physik der Wahrheit immer näher? Steven Weinberg kritisiert Thomas Kuhn. *Physikalische Blätter*, 55 (3), 56–58.
- Hoyningen-Huene, P. (2008). Systematicity: The nature of science. *Philosophia*, 36 (2), 167–180.
- Hoyningen-Huene, P. (2010). Paradigma. In J. Sandkühler (Hrsg.), *Enzyklopädie philosophie* (2. überarbeitete und erweiterte Auflage Aufl., S. 1897-1899). Hamburg: Meiner.
- Hubble, E. (1936). *The Realm of the Nebulae*. Yale University Press, reprinted 1958 by Dover Publications, Inc., New York.
- Hubble, E. & Humason, M. L. (1931). The velocity-distance relation among extra-galactic nebulae. *The Astrophysical Journal*, 74, 43.
- Hume, D. (1792). *über die menschliche Natur. Dritter Band. Ueber die Moral*. Hemmerde und Schwetschke, Halle.
- Hüttemann, A. (1997). *Idealisierungen und das Ziel der Physik: eine Untersuchung zum Realismus, Empirismus und Konstruktivismus in der Wissenschaftstheorie* (Bd. 12). Walter de Gruyter.
- Hüttemann, A. & Papineau, D. (2005). Physicalism decomposed. *Analysis*, 65 (285), 33–39.
- Imwalle, C. (2010). *Eine empirische Untersuchung im Bereich »Natur der Naturwissenschaften« mittels Refutational Text* (Unveröffentlichte Diplomarbeit). Universität Osnabrück.
- Imwalle, C. (2012). *Validierung einer Unterrichtseinheit zur »Natur der Naturwissenschaften« mittels Audioanalyse* (Unveröffentlichte Diplomarbeit). Universität Osnabrück.
- information, F. (2013). *Fisher information - Wikipedia, The Free Encyclopedia*. Zugriff auf http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Fisher_information (Online; Stand: 21.03.2013)
- Institution, S. (o. J.). *How fast do galaxies move?* Zugriff auf <http://www.cfa.harvard.edu/seuforum/galSpeed/> (Online; Stand: 03.09.2012)
- Institution, S. (2013). *Universeforum (website)*. Zugriff auf <http://mo-www.harvard.edu/Java/MiniSpectroscopy.html> (Online; Stand:

- 21.02.2013)
- Janich, P. (1992). *Grenzen der Naturwissenschaft: Erkennen als Handeln*. Beck.
- Jöreskog, K. G. (1971). Statistical analysis of sets of congeneric tests. *Psychometrika*, 36 (2), 109–133.
- Kahnt, M. (2009). Kosmologie im Physikunterricht der Oberstufe. In: *Höttecke, Dietmar (Hrsg.): Chemie-und Physikdidaktik für die Lehramtsausbildung*, 86–88.
- Kanitscheider, B. (1984). *Kosmologie: Geschichte und Systematik in philosophischer Perspektive*. Reclam.
- Kelava, A., Kohler, M., Krzyżak, A. & Weinbender, D. (2012). Nonparametric estimation of a latent variable model. *Preprint*.
- Kelle, U. (2007). Integration qualitativer und quantitativer Methoden. *Qualitative Datenanalyse: computergestützt*, 50–64.
- Kessels, U. & Taconis, R. (2012). Alien or alike? how the perceived similarity between the typical science teacher and a student's self-image correlates with choosing science at school. *Research in Science Education*, 42 (6), 1049–1071.
- Kiefer, C. (2012). Auf dem Weg zur Quantengravitation. *Spektrum der Wissenschaft*, 4, S. 34 - 43.
- Kienhues, D., Bromme, R. & Stahl, E. (2008). Changing epistemological beliefs: The unexpected impact of a short-term intervention. *British Journal of Educational Psychology*, 78 (4), 545–565.
- Kinney, W. H. (2003). Cosmology, inflation, and the physics of nothing. *arXiv preprint astro-ph/0301448*.
- Koltko-Rivera, M. (2004). The Psychology of Worldviews. *Review of General Psychology*, 8 (1), 3.
- Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland. (2004a). *Bildungsstandards*. Zugriff auf <http://www.kmk.org/bildung-schule/qualitaetssicherung-in-schulen/bildungsstandards/ueberblick.html> (Online; 03.03.2014)
- Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland. (2004b). *Einheitliche Prüfungsanforderungen in der Abiturprüfung Physik. (Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 01.12.1989 i.d.F. vom 05.02.2004)*. Zugriff auf http://www.kmk.org/fileadmin/veroeffentlichungen_beschluesse/1989/1989_12_01-EPA-Physik.pdf (Online; 03.03.2014)
- Korte, S., Berger, R., Imwalle, C. & Hänze, M. (2014). Entwicklung und erste Validierung eines Fragebogens zur Erfassung von Szientismus. *eingereicht bei Diagnostica*.

8. Zusammenfassung

- Krapp, A. (1998). Entwicklung und Förderung von Interessen im Unterricht. *Psychologie in Erziehung und Unterricht*, 45 (3), 185–201.
- Krapp, A. (2002). Structural and dynamic aspects of interest development: Theoretical considerations from an ontogenetic perspective. *Learning and Instruction*, 12 (4), 383–409.
- Krapp, A. (2005). Basic needs and the development of interest and intrinsic motivational orientations. *Learning and Instruction*, 15 (5), 381–395.
- Krapp, A. & Hascher, T. (2014a). Die Erforschung menschlicher Motivation. In *Theorien in der Entwicklungspsychologie* (S. 234–251). Springer.
- Krapp, A. & Hascher, T. (2014b). Theorien der Lern- und Leistungsmotivation. In *Theorien in der Entwicklungspsychologie* (S. 252–281). Springer.
- Krapp, A. & Prenzel, M. (2011). Research on interest in science: Theories, methods, and findings. *International Journal of Science Education*, 33 (1), 27–50.
- Krapp, A. & Ryan, R. M. (2002). Selbstwirksamkeit und Lernmotivation. *Zeitschrift für Pädagogik*, 44, 54–82.
- Krapp, A., Schiefele, U., Wild, K. P. & Winteler, A. (1993). Der "Fragebogen zum Studieninteresse" (FSI). *Diagnostica*, Jg. 39, 335–351.
- Kuckartz, U. (2010). Sozialwissenschaftliche Ansätze für die kategorienbasierte Textanalyse. *Einführung in die computergestützte Analyse qualitativer Daten*, 72–107.
- Kuhn, T. S. (1962). *Die Struktur wissenschaftlicher Revolutionen (mit Postscriptum - 1969)* (2. Aufl. 1976 Aufl.). Suhrkamp Frankfurt aM.
- Kuhn, T. S. (1978). *Die Entstehung des Neuen: Studien zur Struktur der Wissenschaftsgeschichte* (Bd. 236). Suhrkamp Verlag.
- Kühne, U. (1999). Wissenschaftstheorie. In H. J. Sandkühler (Hrsg.), *Enzyklopädie Philosophie* (Bd. Bd. 2: O-Z, S. 1778-1791). Felix Meiner Verlag, Hamburg.
- Laplace, P. S. & Simon, P. (1951). *A philosophical essay on probabilities, translated from the 6th French edition by Frederick Wilson Truscott and Frederick Lincoln Emory*. Dover Publications (New York, 1951).
- Lechte, M. (2008). *Sinnbezüge, Interesse und Physik: Eine empirische Untersuchung zum Erleben von Physik aus Sicht von Schülerinnen und Schülern* (Bd. 23). Barbara Budrich.
- Lederman, N. G. (2007). Nature of science: Past, present, and future. *Handbook of research on science education*, 831–879.
- Lederman, N. G., Abd-El-Khalick, F., Bell, R. L. & Schwartz, R. S. (2002). Views of nature of science questionnaire: Toward valid and meaningful assessment of learners' conceptions of nature of science. *Journal of research in science teaching*, 39 (6), 497–521.

- Leinfellner, W. (1980). *Einführung in die Erkenntnis- und Wissenschaftstheorie*. Bibliograph. Inst., Hochschultaschenbücher-Verlag.
- Lenman, J. (2013). Moral Naturalism. In E. N. Zalta (Hrsg.), *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Summer 2013 Aufl.). <http://plato.stanford.edu/archives/sum2013/entries/naturalism-moral/>.
- Liddle, A. (2012). *Einführung in die moderne Kosmologie*. John Wiley & Sons.
- Lienert, G. A. & Raatz, U. (1998). *Testaufbau und Testanalyse* (6. Auflage Aufl.). Beltz.
- Lin, H.-S. & Chiu, C.-Y., H.-L. & Chou. (2004). Student understanding of the nature of science and their problem-solving strategies. *International Journal of Science Education*, 26, 101–112.
- Lineweaver, C. H. (2009). Increasingly overlapping magisteria of science and religion. *Divine Action and Natural Selection: Science, Faith and Evolution*, 155.
- Litt, T. (1952). Naturwissenschaft und Menschenbildung. *Physikalische Blätter*, 8 (11), 481–492.
- Lombrozo, T., Thanukos, A. & Weisberg, M. (2008). The importance of understanding the nature of science for accepting evolution. *Evolution: Education and Outreach*, 1 (3), 290–298.
- Lyre, H. (2003). Ein Einblick in die Philosophie der Physik. *Online paper, prophysik.de*. Zugriff auf http://www.pro-physik.de/Phy/pdfs/NEWS_PDF_GER_2851.pdf (Online; Stand: 12.03.2013)
- Machamer, P. (1998). Philosophy of science: An overview for educators. *Science & Education*, 7 (1), 1–11.
- Matthews, M. R. (2012). Changing the focus: From nature of science (NOS) to features of science (FOS). In *Advances in nature of science research* (S. 3–26). Springer.
- Matthews, R. (2009). Manche Schwäne sind grau. *Spektrum der Wissenschaft*, 2, 72–76.
- Max-Planck-Institut für Bildungsforschung. (o.J.). *Homepage des BIJU-Projektes*. Zugriff auf <http://www.biju.mpg.de/biju/index.html> (Online; 03.03.2013)
- Mayring, P. (2000). Qualitative Inhaltsanalyse. *Forum Qualitative Sozialforschung / Forum: Qualitative Social Research [Online Journal]*, 1 (2).
- Mayring, P. (2002). *Einführung in die qualitative Sozialforschung: Eine Anleitung zu qualitativem Denken*. Beltz.
- Mayring, P. (2008). *Qualitative Inhaltsanalyse. Grundlagen und Techniken* (10. Aufl. Aufl.). Weinheim: Beltz.
- Mayring, P. (2010). Qualitative Inhaltsanalyse. *Handbuch Qualitative Forschung in der Psychologie*, 601–613.

8. Zusammenfassung

- Mayring, P. & Gläser-Zikuda, M. (2008). *Die Praxis der Qualitativen Inhaltsanalyse*. Beltz.
- McComas, W. F., Clough, M. P. & Almazroa, H. (2002). The role and character of the nature of science in science education. In *The nature of science in science education* (S. 3–39). Springer.
- McFadden, D. (1973). *Conditional logit analysis of qualitative choice behavior*. Institute of Urban and Regional Development, University of California.
- Mey, G. & Mruck, K. (2007). Qualitative Interviews. *Qualitative Marktforschung in Theorie und Praxis*, 247–278.
- Misner, C. W. & Wheeler, J. A. (1973). *Gravitation*. Macmillan.
- Mittelstaedt, P. (1986). *Sprache und Realität in der modernen Physik* (Bd. 650). Bibliographisches Institut.
- Moosbrugger, A., Helfried und Kelava. (2012). *Testtheorie und Fragebogenkonstruktion* (2., aktual. u. überarb. Auflage Aufl.). Springer.
- Morris, S. B. (2008). Estimating effect sizes from pretest-posttest-control group designs. *Organizational Research Methods*, 11 (2), 364–386.
- Mukhanov, V. (2005). *Physical foundations of cosmology*. Cambridge University Press.
- Murphy, P. K. & Mason, L. (2006). Changing knowledge and beliefs. *Handbook of educational psychology*, 2, 305–324.
- Muthén, B. (1978). Contributions to factor analysis of dichotomous variables. *Psychometrika*, 43 (4), 551–560.
- Mutschler, H.-D. (2002). *Naturphilosophie*. Kohlhammer, Stuttgart.
- Nagel, T. (1974). What is it like to be a bat? *The philosophical review*, 83 (4), 435–450.
- Nagel, T. (2012). *Mind and cosmos: why the materialist neo-darwinian conception of nature is almost certainly false*. Oxford University Press.
- Neumann, I., Neumann, K. & Nehm, R. (2011). Evaluating instrument quality in science education: Rasch-based analyses of a nature of science test. *International Journal of Science Education*, 33 (10), 1373–1405.
- Niedersächsischen Kultusministerium (Hrsg.). (2009). *Kerncurriculum Physik*. Zugriff auf http://db2.nibis.de/1db/cuvo/datei/kc_physik_go_i_2009.pdf (Online; Stand: 03.09.2014)
- Nilsson, A. (2013). *The Psychology of Worldviews: Toward a Non-Reductive Science of Personality*. Dissertation. Universität Siegen.
- Nilsson, A. (2014). A non-reductive science of personality, character, and well-being must take the person's worldview into account. *Frontiers in psychology*, 5.
- Olive, K., Group, P. D. et al. (2014). Review of particle physics. *Chinese Physics C*, 38 (9), 090001.

- Organisation for Economic Cooperation and Development. (2007). *PISA 2006: Science Competencies for Tomorrow's World: Volume 1: Analysis*. OECD Publishing.
- Ostriker, J. P. & Steinhardt, P. J. (2001). The quintessential universe. *Scientific American*, 284 (1), 46.
- Østvang, D. (2013). Interpretations of cosmological spectral shifts. *Central European Journal of Physics*, 11 (3), 269–278.
- Papineau, D. (1998). Confusions about Consciousness. In *Concepts for Neural Networks* (S. 269–273). Springer.
- Papineau, D. (2009). Naturalism. In E. N. Zalta (Hrsg.), *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Spring 2009 Aufl.). <http://plato.stanford.edu/archives/spr2009/entries/naturalism/>.
- Peebles, P. J. E. (1993). *Principles of physical cosmology*. Princeton University Press.
- Penrose, R. (1991). *Computerdenken: des Kaisers neue Kleider, oder die Debatte um die Künstliche Intelligenz, Bewusstsein und die Gesetze der Physik*. Spektrum der Wissenschaft.
- Penrose, R. (2004). *The Road to Reality: A Complete Guide to the Physical Universe*. Johnathan Cape.
- Physikalismus. (2013). *Physikalismus — Wikipedia, Die freie Enzyklopädie*. Zugriff auf <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Physikalismus&oldid=113771499> (Online; Stand 21.02.2013)
- Piaget, J. (1985). *The equilibration of cognitive structures: The central problem of intellectual development* (Bd. 985). University of Chicago Press Chicago.
- Pietschmann, H. (1978). Die drei Grenzen physikalischer Erkenntnis. *Philosophia Naturalis*, 17, 90.
- Pietschmann, H. (2007). *Phänomenologie der Naturwissenschaft. Wissenschaftstheoretische und philosophische Probleme der Physik*. 2., erweiterte Auflage. Wien: Ibero.
- Pintrich, P. R., Marx, R. W. & Boyle, R. A. (1993). Beyond cold conceptual change: The role of motivational beliefs and classroom contextual factors in the process of conceptual change. *Review of Educational research*, 63 (2), 167–199.
- Poland, J. S. (1994). *Physicalism: The philosophical foundations*. Clarendon Press Oxford.
- Poole, M. (1995). *Beliefs and values in science education*. McGraw-Hill International.
- Popper, K. R. (2005). *Logik der Forschung* (Bd. 3). Mohr Siebeck.
- Posner, G. J., Strike, K. A., Hewson, P. W. & Gertzog, W. A. (1982). Accommodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change.

8. Zusammenfassung

Science education, 66 (2), 211–227.

- Prüfer, P. & Rexroth, M. (1996). Verfahren zur Evaluation von Survey-Fragen: Ein Überblick. *ZUMA-Nachrichten*, 39, 20.
- Price, R. H. & Grover, E. (2001). Cosmological expansion in the classroom. *American Journal of Physics*, 69 (2), 125–128.
- Priemer, B. (2003). Ein diagnostischer Test zu Schüleransichten über Physik und Lernen von Physik - eine deutsche Version des Tests „Views About Science Survey“. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 9 (1), 160–178.
- Pruscha, H. (2000). *Vorlesungen über mathematische Statistik*. Vieweg+ Teubner.
- Rasch, G. (1960). *Studies in mathematical psychology: I. Probabilistic models for some intelligence and attainment tests*. Nielsen & Lydiche.
- Rehfus, W. D. (2003). *Handwörterbuch Philosophie* (Bd. 8208). Vandenhoeck & Ruprecht.
- Revelle, W. (2013a). *An introduction to psychometric theory with applications in R*. e-Book. Zugriff auf <http://personality-project.org/r/book/> (Online; Stand: 21.02.2013)
- Revelle, W. (2013b). *R package 'psych', Version 1.3.2*. Zugriff auf cran.r-project.org/web/packages/psych/psych.pdf (Online; Stand: 21.02.2013)
- Rizopoulos, D. (2013). *ltm: Latent Trait Models under IRT*. Zugriff auf <http://rwiki.sciviews.org/doku.php?id=packages:cran:ltm> (Online; Stand: 15.02.2013)
- Robinson, H. (2012). Dualism. In E. N. Zalta (Hrsg.), *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Winter 2012 Aufl.). <http://plato.stanford.edu/archives/win2012/entries/dualism/>.
- Rosseel, Y. (2012). Lavaan: an R package for structural equation modeling. *JOURNAL OF STATISTICAL SOFTWARE*, 48 (2), 1–36.
- Rost, D. H. & Sparfeldt, J. R. (2002). Facetten des schulischen Selbstkonzepts. *Diagnostica*, 48 (3), 130–140.
- Rost, J. (2004). *Lehrbuch Testtheorie-Testkonstruktion* (2., vollständig überarbeitete und erweiterte Aufl.). Hans Huber, Bern.
- Russel, B. (2001). *Philosophie des Abendlandes: ihr Zusammenhang mit der politischen und der sozialen Entwicklung*. München: Europa Verlag.
- Russell, G. (2010). In Defence of Hume's Law. In C. Pigden (Hrsg.), *Hume on Is and Ought*. Palgrave MacMillan, New York.
- Ryden, B. (2003). *Introduction to cosmology*. Addison Wesley.
- Saldern, M. v. (1995). Zum Verhältnis von qualitativen und quantitativen Methoden. König, Eckardt; Zedler, Peter (Hg.): *Bilanz qualitativer Forschung*,

- 1, 331–372.
- Samejima, F. (1994). Roles of Fisher type information in latent trait models. In *Proceedings of the First US/Japan Conference on the Frontiers of Statistical Modeling: An Informational Approach* (S. 347 - 378).
- Schecker, H. (2007). Die Bildungsstandards Physik. Orientierungsrahmen für den Unterricht. *Naturwissenschaften im Unterricht - Physik*, 18 (97), 4–11.
- Schecker, H., Fischer, H. & Wiesner, H. (2004). Physikunterricht in der gymnasialen Oberstufe. In H.-E. Tenorth (Hrsg.), *Kerncurriculum Oberstufe II* (S. 148-234). Weinheim: Beltz.
- Schiefele, U. (2009). Motivation. In J. Wild E.; Möller (Hrsg.), *Pädagogische psychologie* (S. 151-175). Heidelberg: Springer.
- Schilpp, P. A. & Hartmann, H. (1979). *Albert Einstein als Philosoph und Naturforscher*. Vieweg.
- Schlink, S. & Walther, E. (2007). Kurz und gut: Eine deutsche Kurzsкала zur Erfassung des Bedürfnisses nach kognitiver Geschlossenheit. *Zeitschrift für Sozialpsychologie*, 38 (3), 153–161.
- Schmalt, H. & Langens, T. A. (2009). *Motivation* (4. Auflage Aufl.). Kohlhammer, Stuttgart.
- Schmidt, H.-J. (2014). Structuralism in Physics. In E. N. Zalta (Hrsg.), *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Winter 2014 Aufl.). <http://plato.stanford.edu/archives/win2014/entries/physics-structuralism/>.
- Schneider, P. (2006). *Extragalaktische Astronomie und Kosmologie*. Springer.
- Schreiner, C. & Sjøberg, S. (2007). Sowing the seeds of ROSE: background, rationale, questionnaire development and data collection for ROSE (The Relevance of Science Education): a comparative study of students views of science and science education. *Acta Didactica*, 4.
- Scientism. (2013). *Scientism - Wikipedia, The Free Encyclopedia*. Zugriff auf <http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Scientism&oldid=539543590> (Online; Stand: 21.02.2013)
- Scrimgeour, M. I., Davis, T., Blake, C., James, J. B., Poole, G. B., Staveley-Smith, L., ... others (2012). The WiggleZ Dark Energy Survey: the transition to large-scale cosmic homogeneity. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 425 (1), 116–134.
- Sekretariat der Ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland (Hrsg.). (2005). *Bildungsstandards im Fach Physik für den Mittleren Schulabschluss (Jahrgangsstufe 10). Beschluss vom 16.12.2004*. München, Neuwied: Luchterhand.
- Singh, S. (2007). *Big Bang*. Deutscher Taschenbuch Verlag.

8. Zusammenfassung

- Sjøberg, S. & Schreiner, C. (2007). *Reaching the minds and hearts of young people. (Vortrag am International Space Science Institute, Bern).* Zugriff auf <http://roseproject.no/network/countries/norway/eng/nor-sjoberg-issi-2007.pdf> (Online; Stand: 03.06.2014)
- Skrondal, A. & Rabe-Hesketh, S. (2007). Latent Variable Modelling: A Survey. *Scandinavian journal of statistics*, 34 (4), 712–745.
- Smolin, L. (2013). A perspective on the landscape problem. *Foundations of Physics*, 43 (1), 21–45.
- Spinath, B. (2011). Lernmotivation. In *Empirische Bildungsforschung* (S. 45–55). Springer.
- Springer, L., Stanne, M. E. & Donovan, S. S. (1999). Effects of small-group learning on undergraduates in science, mathematics, engineering, and technology: A meta-analysis. *Review of educational research*, 69 (1), 21–51.
- Stathopoulou, C. & Vosniadou, S. (2007). Exploring the relationship between physics-related epistemological beliefs and physics understanding. *Contemporary Educational Psychology*, 32 (3), 255–281.
- Stenmark, M. (1997). What is scientism? *Religious studies*, 15–32.
- Stenmark, M. (2001). Scientism: Science, ethics and religion.
- Stoljar, D. (2009). *Physicalism* (Fall 2009 Aufl.). Zugriff auf <http://plato.stanford.edu/archives/fall2009/entries/physicalism/> (Online; Stand: 03.12.2014)
- Straumann, N. (1988). *Allgemeine Relativitätstheorie und relativistische Astrophysik*. Springer.
- Stukenborg, K. (2011). *Subjektive und objektive Erfassung der Erklärqualität im Rahmen eines Gruppenpuzzles zur astronomischen Entfernungsmessung.* (Unveröffentlichte Diplomarbeit). Universität Osnabrück.
- Suppes, P. & Zanotti, M. (1981). When are probabilistic explanations possible? *Synthese*, 48 (2), 191–199.
- Taylor, J. E. (2010). The new atheists. *Internet Encyclopedia of Philosophy*. Zugriff auf <http://www.iep.utm.edu/n-atheis/> (Online; Stand: 03.09.2012)
- Theory, G. (2012). *Grounded Theory - Wikipedia*. Zugriff auf http://en.wikipedia.org/wiki/Grounded_theory (Online; Stand: 03.09.2012)
- Thomas, G. & O'quigley, J. (1993). A geometric interpretation of partial correlation using spherical triangles. *The American Statistician*, 47 (1), 30–32.
- Tippett, C. D. (2010). Refutation text in science education: A review of two decades of research. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 8 (6), 951–970.

- Tuerlinckx, F., Rijmen, F., Verbeke, G. & Boeck, P. (2006). Statistical inference in generalized linear mixed models: A review. *British Journal of Mathematical and Statistical Psychology*, 59 (2), 225–255.
- Tworuschka, M. T. U. (2005). *Als die Welt entstand...: Schöpfungsmythen der Völker und Kulturen in Wort und Bild: Schöpfungsmythen der Völker und Kulturen in Text und Bild*. Herder.
- Tye, M. (2013). Qualia. In E. N. Zalta (Hrsg.), *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Fall 2013 Aufl.). <http://plato.stanford.edu/archives/fall2013/entries/qualia/>. (Online; Stand: 03.06.2014)
- Urhahne, D. & Hopf, M. (2004). Epistemologische Überzeugungen in den Naturwissenschaften und ihre Zusammenhänge mit Motivation, Selbstkonzept und Lernstrategien. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*; Jg, 10, 71–87.
- van de Schoot, R., Lugtig, P. & Hox, J. (2012). A checklist for testing measurement invariance. *European Journal of Developmental Psychology*, 9 (4), 486–492.
- Velicer, W. F. (1976). Determining the number of components from the matrix of partial correlations. *Psychometrika*, 41 (3), 321–327.
- Voland, E. (2004). Genese und Geltung - Das Legitimationsdilemma der Evolutionären Ethik und ein Vorschlag zu seiner Überwindung. *Philosophia naturalis*, 41 (1), 139–133.
- Wagenschein, M. (1965). *Die pädagogische Dimension der Physik*. Westermann Braunschweig.
- Wallace, C. S. & Prather, E. E. (2012). Teaching physics with hubble's law and dark matter. *American Journal of Physics*, 80 (5), 382–390.
- Webster, D. M., Kruglanski, A. W. et al. (1994). Individual differences in need for cognitive closure. *Journal of personality and social psychology*, 67, 1049–1049.
- Weinberg, S. (2008). *Cosmology*. Oxford Univ. Press.
- Weiss, A. (2006a). Big bang nucleosynthesis: Cooking up the first light elements. *Einstein Online*, 02, 1017. Zugriff auf <http://www.einstein-online.info/spotlights/BEN> (Online; Stand: 01.06.2014)
- Weiss, A. (2006b). Elements of the past: Big bang nucleosynthesis and observation. *Einstein Online*, 02, 1019. Zugriff auf http://www.einstein-online.info/spotlights/BEN_obs ([Online; Stand: 01.06.2014])
- West, B. T., Welch, K. B. & Galecki, A. T. (2007). *Linear mixed models: practical guide using statistical software*. Chapman & Hall/CRC.
- Wirth, R. & Edwards, M. C. (2007). Item factor analysis: current approaches and future directions. *Psychological methods*, 12 (1), 58.

8. Zusammenfassung

Wittgenstein, L. (1982). *Tractatus logico-philosophicus, Logisch-philosophische Abhandlung*. Suhrkamp, Frankfurt am Main.

Online-Bildquellen

Berliner Illustrierte. (1919). Zugriff auf <https://blogs.stsci.edu/livio/2012/07/Einstein.jpg> (Online; Stand: 12.12.2014)

Credner T., K. S. (o. J.). *Burg Hohenzollern und der Große Wagen über den Wolken*. Zugriff auf <http://www.allthesky.de/various/co07umacastle28-d.html> (Online; Stand: 12.03.2013)

ESA & the Planck Collaboration. (2013). *Planck CMB*. Zugriff auf http://www.esa.int/spaceinimages/Images/2013/03/Planck_CMB (Online; Stand: 21.09.2014)

ESA/VIPERS. (2014). *VIMOS Public Extragalactic Redshift Survey (VIPERS)*. Zugriff auf <http://vipers.inaf.it./rel-pdr1.html> (Online; Stand: 21.11.2014)

Hubble, E. & Humason, M. L. (1931). The velocity-distance relation among extra-galactic nebulae. *The Astrophysical Journal*, 74, 43.

IAU and Sky & Telescope. (o. J.). *IAU Ursa Major chart*. Zugriff auf <http://www.iau.org/static/public/constellations/pdf/UMA.pdf> (Online; Stand: 03.09.2012)

Kirshner, R. P. (2004). Hubble's diagram and cosmic expansion. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 101 (1), 8–13. Zugriff auf www.pnas.org/content/101/1/8.full.pdf (Online; 03.03.2014)

Kruesi, L. (2007). Cosmology: 5 things you need to know. *Astronomy Magazine*, 35, 28 - 32. Zugriff auf <http://home.earthlink.net/~rarydin/hot%20stuff.htm> (Online; Stand: 21.02.2013)

Lineweaver, C. H. & Davis, T. M. (2005). Misconceptions about the big bang. *Scientific American*, 292 (3), 36–45. Zugriff auf <http://www.mso.anu.edu.au/~charley/papers/LineweaverDavisSciAm.pdf> (Online; Stand: 21.02.2013)

NASA/ESA. (2014). *Hubble Ultra Deep Field 2014*. Zugriff auf <http://hubblesite.org/newscenter/archive/releases/survey/hubble-ultra-deep-field/2014/27/> (Online; Stand 12.12.2014)

Olive, K., Group, P. D. et al. (2014). Review of particle physics. *Chinese Physics C*, 38 (9), 090001.

- Sambruna, R. M. (2005). *INTRODUCTION TO MODERN ASTRONOMY II; Lecture 18*. Zugriff auf <http://physics.gmu.edu/~rms/astro113/myimages/fig26-13new.jpg> (Online; Stand: 21.09.2014)
- Schmidke, S. (o.J.). *Der Urknall*. Website. Zugriff auf <http://home.arcor.de/sebastian.schmidtkе/urknall.html> (Online; Stand: 03.09.2014)
- Weiss, A. (2006). Big bang nucleosynthesis: Cooking up the first light elements. *Einstein Online*, 02, 1017. Zugriff auf <http://www.einstein-online.info/spotlights/BBN> (Online; Stand: 01.06.2014)

Abbildungsverzeichnis

Abb. 3.1:	(Sjøberg & Schreiner, 2007, S. 18)	58
Abb. 3.2:	Diskrepanz und Interessenverlust.	78
Abb. 4.1:	Formatives vs. reflexives Testmodell.	84
Abb. 4.2:	Ein Pfaddiagramm.	86
Abb. 4.3:	Messmodelle	91
Abb. 4.4:	Logistische Wahrscheinlichkeitsdichte für Personenparameter.	96
Abb. 4.5:	Verlauf einer Itemfunktion im Raschmodell.	98
Abb. 4.6:	Itemfunktionen.	99
Abb. 4.7:	Itemprofil einer Antwortkategorie.	102
Abb. 4.8:	Pfaddiagramm mit drei latenten Variablen η_1 , η_2 und ξ	103
Abb. 4.9:	Item-Information der Gesamtskala des Vorfragebogens.	119
Abb. 4.10:	Histogramm der Verteilung der Personenparameter in der Stichprobe.	120
Abb. 4.11:	Parallelanalyse der 10-Item-Subskala des Vorfragebogens (eigene Ansichten der Schüler).	122
Abb. 4.12:	Messmodell 1 für Zwischen- und Nachttest.	125
Abb. 5.1:	Ablauf und Gegenstände der Unterrichtseinheit.	131
Abb. 5.2:	Ausschnitt des Sternhimmels im Sternbild Fornax.	136
Abb. 5.3:	Verteilung der Galaxien im Universum.	136
Abb. 5.4:	Von Hubble gemessene Galaxienspektren.	142
Abb. 5.5:	Messergebnisse zum Zusammenhang zwischen Rotverschiebung	143

Abb. 5.6:	Darstellung der kosmischen Expansion	145
Abb. 5.7:	Die Lichtquelle wird auf ihrem Weg zur Erde »gedehnt«. . .	146
Abb. 5.8:	Entfernungs-Rotverschiebungs-Relation für große Werte von z	151
Abb. 5.9:	Verlauf des Potentials U für $\Omega_M = 0,3$ und $\Omega_\Lambda = 0,7$	152
Abb. 5.10:	Die kosmische Entfernungsleiter.	153
Abb. 5.11:	Hubble-Diagramm (Infokasten)	154
Abb. 5.12:	Rekombination	155
Abb. 5.13:	Aufnahme der kosmischen Mikrowellenhintergrundstrahlung mit dem Planck-Satelliten.	156
Abb. 5.14:	Häufigkeiten leichter Elemente im Universum.	158
Abb. 5.15:	Die Entwicklung des Universums.	161
Abb. 5.16:	Fotografie des Himmels über der Burg Hohenzollern und van Goghs <i>Sternennacht über der Rhone</i>	163
Abb. 5.17:	Modell für Abstände der inneren Planeten zur Sonne	164
Abb. 5.18:	Spektraltafel, die zur Identifizierung der verschiedenen Elemente.	164
Abb. 5.19:	Rotverschiebung der Spektrallinien einer Galaxie	165
Abb. 5.20:	Albert Einstein auf der Titelseite der Berliner Illustrierten.	166
Abb. 5.21:	Modellexperiment zur Rotverschiebung.	167
Abb. 5.22:	Das »Projektions-Modell«.	172
Abb. 5.23:	Zwei verschiedene Projektionen eines Objektes.	187
Abb. 5.24:	Das Sternbild des Großen Bären auf einer Photographie, einer Sternkarte und Vincent van Goghs Gemälde <i>Nuit étoilée sur le Rhône</i>	188
Abb. 6.1:	Untersuchungsplan der Studie.	197
Abb. 6.2:	Eigener Szientismus der Schüler/innen (links) versus vermuteter Szientismus bei Physiker/innen (rechts). Erhebung: Vorfragebogen.	201
Abb. 6.3:	Eigene und bei Physikern vermutete Ansichten zur Reichweite der Naturwissenschaften. Zusammenfassung aller Stichproben.	202
Abb. 6.4:	Der bei Physikern vermutete Szientismus versus die eigene Ansicht der Schülerinnen (Daten aus allen Erhebungen). . .	204
Abb. 6.5:	Interesse am Fach Physik (Kurzskala).	205
Abb. 6.6:	Zusammenhang von Szientismus (eigene Ansicht) und Fachinteresse (Studie, Zwischenfragebogen).	206
Abb. 6.7:	Zusammenhang von Szientismus-Diskrepanz und Fachinteresse (Studie, Zwischenfragebogen).	207
Abb. 6.8:	Zusammenhang von Szientismus (bei Physikern vermutete Ansicht) und Fachinteresse (Studie, Zwischenfragebogen). .	207

Abb. 6.9:	Einfluss des Unterrichts auf den Szientismus.	210
Abb. 6.10:	Q-Q-Plot der Residuen.	211
Abb. 6.11:	Q-Q-Plot der Residuen.	213
Abb. 6.12:	Zeitlicher Verlauf des Szientismus.	214
Abb. 6.13:	Zeitlicher Verlauf der Szientismus-Diskrepanz für die Gruppen I - III.	215
Abb. 6.14:	Zeitlicher Verlauf der Szientismus-Diskrepanz für Gruppe II.	216
Abb. 6.15:	Q-Q-Plot der Residuen.	217
Abb. 6.16:	Einfluss des Unterrichts auf das Fachinteresse.	218
Abb. 6.17:	Zeitlicher Verlauf des Fachinteresses für die Gruppen I - III.	219
Abb. 6.18:	Zeitlicher Verlauf des Fachinteresses in Gruppe II.	220
Abb. 6.19:	Zeitlicher Verlauf des Fachinteresses in Gruppe III.	221
Abb. 6.20:	Einfluss des Unterrichts auf das Fachinteresse für Schüler mit unterschiedlich ausgeprägtem Szientismus.	222
Abb. 6.21:	Q-Q-Plot der Residuen.	224
Abb. 6.22:	Ergebnisse zu Aufgabe 1 des Wissenstests zur Wissenschaftstheorie.	226
Abb. 6.23:	Ergebnisse der beiden Wissenstests zur Kosmologie	228
Abb. 6.24:	Aspekte der Unterrichtseinheit zur Wissenschaftstheorie, die Schülern gefallen bzw. nicht gefallen haben.	229
Abb. 6.25:	Aspekte der Unterrichtseinheit zur Kosmologie, die Schülern gefallen bzw. nicht gefallen haben.	229
Abb. 6.26:	Design der Studie mit der Instruktionsvariante Refutational Text.	242
Abb. 6.27:	Zeitlicher Verlauf der eigenen Ansichten der Schüler für Kontroll- und Interventionsgruppe.	243
Abb. 6.28:	Zeitlicher Verlauf der bei Physikern vermuteten Ansichten für Kontroll- und Interventionsgruppe.	244
Abb. 6.29:	Zeitlicher Verlauf der Szientismus-Diskrepanz für Kontroll- und Interventionsgruppe.	245
Abb. 6.30:	Scatterplot zum Zusammenhang zwischen der Änderung des bei Physikern vermuteten Szientismus und dem Ergebnis beim Wissenstest.	246
Abb. A.1:	Item-Informationskurven für die Items des Vorfragebogens (bei Annahme eines eindimensionalen GRM-Modells.	382
Abb. A.2:	Heatmap der Korrelationen zwischen den Items des Vorfragebogens.	385
Abb. A.3:	Korrelationen der Items des Vorfragebogens (Forts.).	386
Abb. A.4:	Korrelationen der Items des Vorfragebogens (Forts.).	387

Abbildungsverzeichnis

Abb. A.5:	Korrelationen der Items des Vorfragebogens (Forts.). Ansichten der Schüler.	388
Abb. A.6:	Fragebogen zur Validierung der Szientismus-Skala.	391

Tabellenverzeichnis

Tab. 3.1:	Kombinationen der eigenen und vermuteten Überzeugungen von Schülern hinsichtlich der Reichweite der Naturwissenschaften	77
Tab. 4.1:	Reliabilität der Szientismus-Skala.	122
Tab. 4.2:	Faktorladungen der Szientismus-Items	124
Tab. 4.3:	Deskriptive Statistik der Skalen des Validierungsfragebogens	127
Tab. 4.4:	Korrelationen zwischen den Konstrukten des Validierungsfragebogens	128
Tab. 5.1:	Abhängigkeit der Energiedichte vom Expansionsparameter.	149
Tab. 5.2:	Entwicklung des Universums.	159
Tab. 5.3:	Entwicklung des Universums (Forts.).	160
Tab. 6.1:	Deskriptive Daten zu Geschlecht und Schule.	199
Tab. 6.2:	Szientismus.	201
Tab. 6.3:	Pearson-Korrelationen zwischen <i>Interesse</i> an Physik und Szientismus.	206
Tab. 6.4:	Regression zum <i>Fachinteresse</i>	208
Tab. 6.5:	Zeitliche Änderung der eigenen Ansichten (»Szientismus Schüler«).	210
Tab. 6.6:	Zeitliche Änderung der bei Physikern vermuteten Ansichten (»Szientismus-Physiker«).	212
Tab. 6.7:	Zeitliche Änderung der Differenz zwischen eigenen und vermuteten Ansichten (»Szientismus-Diskrepanz«).	215
Tab. 6.8:	Zeitliche Änderung des Fachinteresses.	219
Tab. 6.9:	Regression zu Einflussfaktoren auf das <i>Fachinteresse</i> zum Zeitpunkt 3.	223
Tab. 6.10:	Testergebnisse Wissenschaftstheorie.	225
Tab. 6.11:	Testergebnisse Kosmologie.	227
Tab. A.7:	Der Prä-Fragebogen	370
Tab. A.8:	Statistische Daten des Prä-Fragebogens (Forts.)	381
Tab. A.9:	Reliabilität des gesamten Prä-Fragebogens.	381

Tabellenverzeichnis

Tab. A.10:	Reliabilität der Subskalen des Prä-Fragebogens.	382
Tab. A.11:	Korrelationen: Schüler (unterhalb der Diagonalen) – Studierende (oberhalb der Diagonalen)	390
Tab. A.12:	Bewertungen der zehn Items der Szientismus-Skala.	402

Anhang A.

Anhang

Fragebögen und Unterrichtsmaterialien werden, sofern nicht anders gekennzeichnet, in ihrem originalem Layout wiedergegeben.

A.1. Materialien zu den Unterrichtseinheiten

A.1.1. Unterrichtseinheit zu den Möglichkeiten der Naturwissenschaften

Die auf den folgenden Seiten abgedruckten Materialien (Ablaufplan, Exemplarischer Unterrichtsverlauf mit Formulierungsvorschlägen, Arbeitsblatt zu Rotverschiebung, Musterlösung zum Arbeitsblatt, Hausaufgabe) wurden den Lehrkräften zur Durchführung des Unterrichts zur Verfügung gestellt.

Quellenhinweis: die Abbildungen der farbigen Spektren auf dem Arbeitsblatt in Anhang A.1.1, S. 314 stammen aus Smithsonian (2004, S. 50 ff.). Sie wurden leicht bearbeitet, um einzelne Spektrallinien deutlicher hervortreten zu lassen.

Ablaufplan

Ablaufplan Kosmologie		
Zeit	Inhalt	Aktion
ca. 15 Minuten	Fragebogen/Test	
	Einleitende Worte (bitte <u>kein</u> Hinweis auf das Ziel der Untersuchung, sondern z.B.: „Es wird etwas Neues ausprobiert.“)	
	„Fragebogen vorher“/Vorwissenstest zur Kosmologie	Den „Fragebogen vorher“/Vorwissenstest ¹ ausfüllen lassen und anschließend einsammeln.
1. Stunde	Kosmologie	Diese Stunde ist recht voll, sodass zügiges Voranschreiten erforderlich ist.
	<ol style="list-style-type: none"> 1. Hat das Universum einen Anfang? 2. Das heutige Bild von Universum 3. Das Lichtjahr als astronomische Entfernungseinheit 4. Ein Blick ins Weltall ist ein Blick in die Vergangenheit 5. Das Licht birgt weitere Geheimnisse 6. Spektren der Galaxien 7. Hausaufgabe: Rotverschiebung und Entfernung der Galaxien 	Unterrichtsverlauf im Anhang
2. Stunde	Kosmologie	
	<ol style="list-style-type: none"> 1. Rotverschiebung und Entfernung der Galaxien 2. Die Welleneigenschaft des Lichtes 3. Rotverschiebung als Vergrößerung der Wellenlänge 4. Einsteins neue Vorstellung von Raum und Zeit 5. Die Expansion des Raumes als Ursache der kosmologischen Rotverschiebung 6. Der <u>Anfang</u> des Universums 	Unterrichtsverlauf im Anhang
	„Fragebogen zwischen“	Den „Fragebogen zwischen“ ausfüllen lassen und anschließend einsammeln.

¹ Die Schüler bitte darauf hinweisen sich den Code-Namen für die weiteren Fragebögen und Tests zu merken.

A.1. Materialien zu den Unterrichtseinheiten

Unterrichtsverlauf ²	Medien	Kommentar	Zeit ³
1. Stunde			
<u>Einleitung: Hat das Universum einen Anfang?</u> Im Gegensatz zum Leben auf der Erdoberfläche scheinen die Sterne unveränderlich.	Folie ⁴ 1	Hinweis auf Diskussion dieser Frage in Philosophie und Religion	2'
<u>Das heutige Bild von Universum</u> Am Himmel sichtbare Objekte (Planeten, Sterne, Galaxien) werden vorgestellt und Größenverhältnisse im Weltall mit Hilfe von zwei Modellen veranschaulicht. 1.) Modell Sonnensystem: Die Sonne hat die Größe einer gelben Tischdecke von 1,5 m Durchmesser. 2.) Modell Milchstraße: Das Sonnensystem hat die Größe einer 1-Euro-Cent-Münze.	Folien 1 – 12, Gelbe Tischdecke, 1-Euro-Cent-Münze	Lehrervortrag; Die Schüler schätzen einige der Distanzen und Größenverhältnisse.	10'
<u>Das Lichtjahr als astronomische Entfernungseinheit</u> Lichteinheiten (Lichtjahr, Lichtstunde, etc.) werden als in der Astronomie gebräuchliche Entfernungseinheiten vorgestellt.	Folie 13 - 15, Tafel	Unterrichtsgespräch; Lernzielkontrolle: Die Schüler berechnen die Entfernung zur Sonne in Lichtminuten.	5'
<u>Ein Blick ins Weltall ist ein Blick in die Vergangenheit</u> Aufgrund der endlichen Ausbreitungsgeschwindigkeit des Lichtes sehen wir astronomische Objekte zu früheren Zeiten.	Folie 16	Unterrichtsgespräch; Die Schüler sollen den Zusammenhang den beiden Bildern (Dinosaurier, Galaxienkollision) erläutern.	3'
<u>Das Licht birgt weitere Geheimnisse</u> <ul style="list-style-type: none"> o Licht lässt sich in ein Spektrum zerlegen o Die Spektrallinien sind die ‚Fingerabdrücke‘ der Elemente 	Folie 17, Glühlampe, Prisma, Gasentladungslampen (H, Na, Cd), Handspektrometer	Experiment; Die Schüler betrachten die Spektren unterschiedlicher Gaslichtquellen mit Handspektrometern und ordnen sie mit Hilfe einer Spektraltafel den Elementen zu.	17'
<u>Die Spektren der Galaxien</u> <ul style="list-style-type: none"> o Unsere Milchstraße und die anderen Galaxien enthalten Wasserstoff, der im Spektrum der Galaxien identifizierbar ist o Die Linien des Wasserstoffs in den Galaxienspektren sind verschoben 	Folie 18 – 20	Unterrichtsgespräch; Gaswolken in Galaxien leuchten in der gleichen Farbe wie die Balmer-Lampe; Am Spektrum einer Beispielgalaxie ist die Verschiebung der Wasserstofflinien sichtbar.	3'
<u>Rotverschiebung und Entfernung der Galaxien</u> <ul style="list-style-type: none"> o An den Spektren ferner Galaxien ist eine Verschiebung der Spektrallinien in Richtung des roten Spektralbereichs erkennbar o Die prozentuale Verschiebung der Linien heißt Rotverschiebung 	Arbeitsblatt, Artikel ‚Hannys rätselhaftes Objekt‘ mit Aufgabe	Unterrichtsgespräch; Die Vorgehensweise zur Bearbeitung des Arbeitsblattes wird geklärt; Die Bearbeitung erfolgt als Hausaufgabe; Die Aufgabe zum Artikel ‚Hannys rätselhaftes Objekt‘ ist eine freiwillige Ergänzung zur Hausaufgabe.	5'

² Vorschläge zur Durchführung des Unterrichts mit Beispielen mündlicher Impulse finden sich in der Datei ‚Durchführung_Kosmologie‘.

³ Es handelt sich lediglich um Richtwerte für die Dauer (in Minuten) der einzelnen Abschnitte.

⁴ Die Foliennummerierung entspricht der der Powerpoint-Präsentation ‚Kosmologie_Folien.ppt‘.

Unterrichtsverlauf	Medien	Kommentar	Zeit
2. Stunde			
<u>Rotverschiebung und Entfernung der Galaxien</u> <ul style="list-style-type: none"> ○ Spektren ferner Galaxien weisen eine Rotverschiebung auf ○ Es ist ein Zusammenhang zwischen Verschiebung der Spektrallinien der Galaxien und ihrer Entfernung beobachtbar: Je entfernter eine Galaxie, desto größer ist die Rotverschiebung ihres Spektrums. 	Arbeitsblatt, Arbeitsblatt - Lösung ⁵ , Artikel, Hannys rätselhaftes Objekt ⁷ mit Aufgabe, Tafel	Unterrichtsgespräch; Die Schüler stellen ihre Ergebnisse vor; Die Rotverschiebung und ihr Zusammenhang mit der Entfernung der Galaxien werden an der Tafel festgehalten.	10'
<u>Die Welleneigenschaft des Lichtes</u> <ul style="list-style-type: none"> ○ Der Begriff ‚Wellenlänge‘ wird am Beispiel von Wasserwellen verdeutlicht ○ Die Position der Spektrallinien korrespondiert zu einer bestimmten Wellenlänge 	Simulation Wellenwanne, Folie 21	Unterrichtsgespräch; Die Wellenlänge von Wasserwellen wird mittels einer Simulation veranschaulicht.	5'
<u>Rotverschiebung als Vergrößerung der Wellenlänge</u> Rotverschiebung bedeutet eine Vergrößerung der Wellenlänge	Folie 22	Unterrichtsgespräch;	5'
<u>Einsteins neue Vorstellung von Raum und Zeit</u> Einsteins Allgemeine Relativitätstheorie erklärt die Rotverschiebung durch eine neuartige Beschreibung von Raum und Zeit	Folie 23, Gummibandmodell	Unterrichtsgespräch, Demonstrationsexperiment; Die Schüler versammeln sich um das Modell; Das Gummibandmodell wird vorgestellt.	5'
<u>Die Expansion des Raumes als Ursache der kosmologischen Rotverschiebung</u> <ul style="list-style-type: none"> ○ Experiment 1: Auf statischem Gummiband ändert sich die Wellenlänge nicht ○ Experiment 2: Auf expandierendem Gummiband vergrößert sich die Wellenlänge ○ Experiment 3: Je weiter entfernt die Galaxie, umso mehr vergrößert sich die Wellenlänge 	Gummibandmodell, Tafel, Folie 24 - 25	Unterrichtsgespräch, Demonstrationsexperiment; Verdeutlichung der Ergebnisse durch Videos; Die Expansion als Ursache der Rotverschiebung wird an der Tafel festgehalten.	12'
<u>Der Anfang des Universums</u> <ul style="list-style-type: none"> ○ Die Dichte im Universum war zu früheren Zeiten größer ○ Der ‚Urknall‘ bezeichnet den Beginn der Expansion und den Zustand größter Dichte ○ Er kennzeichnet - aus physikalischer Sicht- den Beginn des Universums 	Gummibandmodell, Tafel	Unterrichtsgespräch, Demonstrationsexperiment; Die Zeit wird ‚zurückspult‘, indem das Gummiband kontrahiert wird; Es wird auf weitere Indizien für das Urknallmodell hingewiesen; Weiterführende Materialien finden sich auf der Homepage AG Didaktik der Physik.	3'
‚Fragebogen zwischen‘ ⁷	Fragebogen	Den ‚Fragebogen zwischen‘ ausfüllen lassen und anschließend einsammeln.	5'

⁵ Eine Muster-Lösung des Arbeitsblattes findet sich in der Datei ‚Arbeitsblatt_Loesung.pdf‘.

Exemplarischer Unterrichtsverlauf

Hinweis: Die Foliennummern entsprechen denen der Powerpoint®-Präsentation Kosmologie_Folien.ppt (nicht abgedruckt).

Durchführung der Unterrichtseinheit Kosmologie

Es handelt sich im Folgenden – insbesondere bei den mündlichen Impulsen – lediglich um einen Vorschlag, den die Lehrkraft nach ihrem Ermessen verändern kann.

1. Stunde

1. Einleitung: Hat das Universum einen Anfang?

[Folie 1]

„Wir selbst, und das Meiste, was uns im Alltag umgibt, hat einen Anfang und ein Ende. Lebewesen werden geboren und sterben, technische Apparate werden produziert und gehen kaputt. Demgegenüber scheinen die Sterne am Himmel sich nie zu ändern - seit Jahrtausenden sehen die Menschen sie in den gleichen Konstellationen. Die Fotografie aus dem Jahre 2004 zeigt den großen Wagen in der gleichen Weise wie ihn Vincent Van Gogh vor 130 Jahre gemalt hat. Existiert das Weltall mit seinen Sternen, das Universum, also ewig, ohne Anfang und Ende - anders als die Dinge hier auf der Erde?“

[Folie 2]

Die Frage haben sich die Menschen oft gestellt. Wir wollen in den kommenden Stunden einen Einblick gewinnen, wie die moderne Naturwissenschaft dieser Frage untersucht und zu welchen Ergebnissen sie gekommen ist.“

2. Das heutige Bild von Universum

[Den Schülern wird ein Eindruck von den am Himmel beobachtbaren Objekten sowie den Distanzen und Größenverhältnissen im Universum vermittelt. Aus Zeitgründen erfolgt dies in Form eines Lehrervortrages, der natürlich keine vollständige Darstellung sein kann, sondern vor allem dazu dient, notwendige Grundlagen für die anschließend behandelte Expansion des Universums zu vermitteln.]

„Zunächst wollen wir uns einen Überblick über die Objekte verschaffen, die man am Himmel entdecken kann: Wie sehen sie aus, wie groß sind sie und wie weit sind sie von uns entfernt?“

[Folie 3]

Die Objekte, die uns im Weltall am nächsten sind, sind der Mond, der die Erde umläuft, die Planeten, die die Sonne umlaufen, und die Sonne selbst – alle zusammen bilden sie unser Sonnensystem. Die Fotografie zeigt den Mond, den uns nächsten Planeten, die Venus, und den größten Planeten im Sonnensystem, den Jupiter. Wir sehen sie, weil sie von der Sonne beschienen werden. Das Foto wurde am 30.11.2008 gemacht, einen Tag bevor die Venus vom Mond bedeckt wurde – ein recht seltenes Ereignis von dem Sie vielleicht in der Zeitung gelesen haben.

[Gelbe Tischdecke (Sonnenmodell) an Wand oder Tafel aufhängen]

Die Objekte, die wir am Himmel sehen können, und ihre Abstände, sind im Vergleich zu den Größenverhältnissen im Alltag riesig. Um sie anschaulicher zu machen verwendet man daher oft Modelle. Nehmen wir zum Beispiel an, die Sonne hätte den gleichen Durchmesser wie diese Tischdecke. Was denken Sie, wie groß wäre dann die Erde?“

Schüler stellen Vermutung an

[Lehrer zeigt 1-Eurocent-Münze]

„Die Erde wäre etwa so groß wie eine 1 Cent-Münze. Und wie groß schätzen Sie die Entfernung der Erde von der Sonne?“

Schüler stellen Vermutung an

[Folie 4]

„Die Erde wäre etwa 160 Meter entfernt. Auf dem Bild wurden einmal die Entfernungen der inneren Planeten – Merkur, Venus, Erde, Mars – in diesem Maßstab über einer Google-Earth- Karte von Osnabrück eingezeichnet. Die Sonne befindet sich dabei im Physikgebäude der Uni Osnabrück.

[Folie 5]

Die äußeren Planeten – Jupiter, Saturn, Uranus und Neptun – würden sich in diesem Modell über ganz Osnabrück verteilen, wie dieses Bild zeigt.“

[Folie 6]

„Das Sonnensystem ist im Weltall sozusagen unsere Nachbarschaft. Neben den Objekten des Sonnensystems sieht man am Nachthimmel aber vor allem Sterne.

[Folie 7]

Der Stern, der der Sonne am nächsten ist, heißt Proxima Centauri. Er hat aber schon eine, für irdische Verhältnisse riesige Distanz zur Erde, nämlich etwa 40 Billionen Kilometer. Wie weit wäre denn nun z. B. dieser Stern in unserem Modell entfernt?“

Schüler stellen Vermutung an

[Folie 7, Einblendung Modell]

„Er wäre ca. 43000 Kilometer entfernt. Dieser Stern, unsere Sonne und alle anderen mit bloßen Auge am Himmel sichtbaren Sterne bilden die Milchstraße [Folie 8], wie sie hier besonders schön über einem Feldweg zu sehen ist. Der Name rührt daher, das die Mehrzahl der Sterne eine milchig erscheinende ‚Straße‘ am Himmel bilden.

[Folie 9]

Dieses Bild zeigt die Milchstraße in einem 360°- Panorama, das aus verschiedenen Aufnahmen erstellt wurde. Aus solchen Aufnahmen und durch Bestimmung der Entfernung, der darauf sichtbaren Sterne konnten die Astronomen ein Bild der Milchstraße erstellen, dass hier zu sehen ist.

[Folie 10]

Die Milchstraße würde von außen als eine spiralförmige ‚Scheibe‘ erscheinen. Das Sonnensystem befindet sich außerhalb des Zentrums in einem der Spiralarme.

Wie groß ist nun die Milchstraße? Unser alter Maßstab ist hier nicht mehr sinnvoll, denn die meisten Sterne wären schon nicht mehr durch Punkte auf der Erdoberfläche darstellbar. Wir wählen daher jetzt einen neuen Maßstab: Nicht mehr die Erde, sondern unser gesamtes Sonnensystem soll jetzt die Größe eines Cent-Stücks besitzen.

[Folie 10, Einblendung des Modells]

„Auch dann ist die Milchstraße noch riesig: Sie wäre so groß wie Mitteleuropa!“

[Folie 10, Einblendung von Mitteleuropa]

Die Milchstraße ist aber nicht die einzige Sterninsel im Universum. Es gibt noch zahllose andere solcher ‚Inseln‘, die man als Galaxien bezeichnet.

[Folie 11]

Dieses, mit dem Hubble-Teleskop aufgenommen Bild zeigt etwa 10 000 von ihnen. Man schätzt ihre Zahl im sichtbaren Bereich des Universums - anhand solcher Aufnahmen – auf eine Größenordnung von 100 Milliarden.“

[Folie 12]

„Zusammengefasst gruppieren sich also die am Nachthimmel sichtbaren Objekte zu verschiedenen räumlichen Strukturen: Planeten umlaufen einzelne Sterne (Bspl: unser Sonnensystem), Anhäufungen von Sternen bilden Galaxien, und die Galaxien verteilen sich mehr oder weniger gleichmäßig im gesamten sichtbaren Universum.“

3. Das Lichtjahr als astronomische Entfernungseinheit

„Für die Angabe von Distanzen im Weltraum ergeben ,wie wir gesehen haben, im Alltag gebräuchliche Einheiten wie Meter oder Kilometer riesige Zahlenwerte.“

[Folie 13]

Die Astronomen verwenden daher oft eine andere Einheit: Das Lichtjahr.“

[Folie 14]

Lehrer erläutert die Definition an einem Beispiel (inkl. Angabe der Lichtgeschwindigkeit) und weist auf analoge Definitionen für Lichtsekunden, Lichtminuten usw. hin]

[Folie 15]

Die Schüler werden aufgefordert die Entfernung Erde – Sonne in Lichteinheiten zu berechnen.

4. Ein Blick ins Weltall ist ein Blick in die Vergangenheit

„Die Entfernungsangabe in Lichtjahren weist noch auf einen anderen wichtigen Aspekt bei astronomischen Beobachtungen hin: Angenommen in der Nähe des Milchstraßenzentrums würden menschenähnliche Wesen leben, von denen wir morgen eine Nachricht empfangen. Wir antworten Ihnen natürlich. Haben wir eine Chance mit dem Absender der ursprünglichen Nachricht in Kontakt zu treten?“

Unsere Nachricht benötigt ca. 27000 Jahre bis zum Zentrum der Milchstraße.

„Der Sachverhalt spiegelt sich auch in dieser Folie wider:

[Folie 16]

Können sie den Zusammenhang erläutern?

Zu der Zeit als das Licht, das wir von den kollidierenden Galaxien empfangen, ausgesandt wurde, lebten auf der Erde Dinosaurier.

5. Das Licht birgt weitere Geheimnisse

„Das Licht von Sternen und Galaxien zeigt uns nicht nur deren Form und Aussehen, sondern enthält noch viel mehr Informationen.“

Demonstration: Das Licht der Glühlampe des Overhead-Projektors wird mit Hilfe eines darauf gestellten wassergefüllten Behälters in Farben zerlegt. Der Bezug zum Regenbogen wird hergestellt. Der Begriff des Spektrums wird als Bezeichnung für die Zerlegung eingeführt.

Die Schüler erhalten Handspektrometer mit denen sie das Spektrum der Leuchtstoffröhren an der Decke beobachten sollen. Die Schüler werden aufgefordert ihre Beobachtungen zu beschreiben. Die Existenz von farbigen Linien – den Spektrallinien - wird festgehalten.

„Das Spektrum ist - unter anderem - deshalb von großer Bedeutung, weil jeder Stoff ein eigenes, für ihn charakteristisches Spektrum aussenden kann.“

Das Raumlicht wird gelöscht und die Spektren von Wasserstoff, Natrium und Cadmium werden mit Hilfe der Handspektrometer beobachtet. Die Schüler ordnen mit Hilfe einer Spektraltafel die beobachteten Spektren den Elementen zu.

[Folie 17]

Hinweis: Die Gasentladungslampen sind hinreichend entfernt voneinander zu postieren.

6. Spektren der Galaxien

„Das Spektrum des Wasserstoffs findet man mit Abstand am häufigsten, wenn man das Licht von Sternen und Galaxien analysiert.

Aufgrund dieser Beobachtungen glauben die Astronomen, dass 90% der Atome im Universum Wasserstoffatome sind. Man kann auf Aufnahmen die Gebiete mit hohem Wasserstoffanteil oft auch direkt an ihrer Farbe erkennen.“

[Folie 18]: Bild eines Nebels in unserer Galaxie und von einer anderen Galaxie
[Folie 19] mit leuchtenden Wasserstoffregionen wird gezeigt.

„Für die Beantwortung unserer Frage nach dem Anfang des Universums sind nun die Spektren der Galaxien von großer Bedeutung.“

Am Beamer wird das Bild einer Galaxie und ihr Spektrum als Beispiel gezeigt.

[Folie 20]

"Beschreibt bitte Gemeinsamkeiten und Unterschiede zum Spektrum des Wasserstoffs, das ihr im Handspektrometer gesehen habt."

Es finden sich ähnliche Linien wie beim Wasserstoff-Spektrum. Das Spektrum zeigt sehr viel mehr Linien.

7. Hausaufgabe: Rotverschiebung und Entfernung der Galaxien

„Die anderen Linien rühren daher, dass die Galaxien noch weitere Elemente enthalten, die Licht aussenden. Es gibt aber noch eine weitere Besonderheit, wie wir gleich sehen werden. Dazu werden wir die Spektren von vier Galaxien genauer untersuchen.“

Das Arbeitsblatt wird ausgeteilt und die Vorgehensweise zur Berechnung der Rotverschiebung geklärt. Die weitere Bearbeitung wird als Hausaufgabe gegeben.

Ausblick:

„In der nächsten Stunde werden wir die Ursache für die merkwürdige Verschiebung der Spektrallinien der Galaxien aufklären. Diese Ursache ist zugleich der Schlüssel zur physikalischen Antwort auf die Frage nach dem Beginn des Universums.“

Optionale Hausaufgabe:

Hannys rätselhaftes Objekt

Zweite Stunde

1. Besprechung der Hausaufgabe

Die Schüler stellen die Ergebnisse ihrer Bearbeitung des Arbeitsblattes vor. Die Rotverschiebung und ihr Zusammenhang mit der Entfernung der Galaxien werden an der Tafel festgehalten.

2. Einleitung:

Es wird an die Ausgangsfragestellung erinnert. Als Ziel der Stunde wird deren Beantwortung gesetzt. Die Lehrkraft weist darauf hin, dass die Aufklärung des Zusammenhangs zwischen Rotverschiebung und Entfernung der Galaxien ein entscheidendes Indiz für die Antwort liefern wird. Hierzu muss in einem ersten Schritt die physikalische Natur der Rotverschiebung genauer untersucht werden:

3. Die Welleneigenschaft des Lichtes

„Was bedeuten denn nun die Zahlenangaben auf den Aufnahmen der Spektren? Wir haben gesehen, dass Licht beim Durchgang durch ein Prisma in ein Spektrum zerlegt werden kann. Physikalisch ist dieser Vorgang erklärbar, wenn man annimmt, dass sich Licht – ähnlich wie Schall oder Wasser – wellenartig ausbreitet. Die detaillierte Erklärung ist für unser Vorhaben nicht wichtig – sie wird im nächsten Schuljahr detailliert behandelt werden. Wichtig ist für uns jedoch die Tatsache, dass jeder Position im Spektrum eine für die Welle charakteristische Größe, die sogenannte Wellenlänge, zugeordnet werden kann.“

Erläuterung und Definition der Wellenlänge mit Hilfe des Simulationsprogramms 'Wellenwanne' von Martin Pabst (Link zur Programm-Website mit kostenloser Downloadmöglichkeit:
<http://pabst.heim.at/wellenwanne/index.htm>).

[Folie 21]
Übertragung auf das Licht;

4. Rotverschiebung als Vergrößerung der Wellenlänge

Physikalische Beschreibung der Rotverschiebung mit Hilfe des Begriffs der Wellenlänge: [Folie 22]
„Beschreibt bitte mit Hilfe des neuen Begriffs der Wellenlänge die Rotverschiebung der Galaxienspektren!“

Ergebnis (Tafel): Die Rotverschiebung bedeutet, dass das von den Galaxien stammende Licht bei einer größeren Wellenlänge empfangen wird als es ausgesandt wurde.

5. Einsteins neue Vorstellung von Raum und Zeit

[Folie 23]
Die Lehrkraft zeigt ein Portrait von Albert Einstein.
Sie weist darauf hin, dass dessen revolutionäre Theorie, die Allgemeine Relativitätstheorie der Schlüssel zum Verständnis der Entfernungs-Rotverschiebungs-Relation ist.

[Hintergrund: Die Allgemeine Relativitätstheorie beschreibt die Gravitation. Die Gravitation ist die einzige Kraft, die zwischen den Sternen und Galaxien wirkt. Sie bestimmt daher die Struktur des Weltalls. Gleichzeitig wirkt sie in gleicher Weise auf alle Körper unabhängig von deren Masse. Einsteins hatte daher die Idee, die Gravitation nicht als eine spezielle Kraft, sondern durch neue Eigenschaften von Raum und Zeit zu beschreiben: Die Eigenschaften von Raum und Zeit sind nicht mehr 'starr', sondern dynamisch – sie hängen mit der Position und Bewegung der Körper untrennbar zusammen und können sich ändern.]

Am Beispiel eines Modells soll die Bedeutung von Einsteins Theorie für das Verständnis der kosmologischen Rotverschiebung verdeutlicht werden. Die Schüler versammeln sich dazu um das Modell.

Erläuterung des Modells durch die Lehrkraft:

„Raum“:

Das Gummiband stellt den Raum in einer Richtung dar.

„Erde“:

Festes Ende des Bandes.

„Galaxien“:

2 Pappscheiben, ruhend auf dem Band.

„Licht“:

Zwei Spielzeugloks bewegen sich mit gleicher Geschwindigkeit auf dem Gummiband von der Galaxie zur Erde. Die beiden Fahrzeuge repräsentieren einen Wellenzug einer von der Galaxie zur Erde gesandten Lichtwelle gegebener Wellenlänge. Zwei Wellenberge sind durch rote Scheibchen markiert.

6. Die Expansion des Raumes als Ursache der kosmologischen Rotverschiebung

Experiment1:

Der Wellenzug bewegt sich auf dem zunächst ruhenden Gummiband von einer Galaxie in Richtung Erde.

Ergebnis: Die Wellenlänge ändert sich nicht.

Experiment2:

Der Wellenzug bewegt sich auf einem expandierenden Gummiband von der näheren Galaxie in Richtung Erde.

„Die geniale Idee von Albert Einstein war, dass er der Raum nicht mehr als starr aufgefasst hat, sondern als einen Raum, der fähig zur Expansion ist - so wie dieses Gymnastik-Gummiband. Ihr habt eben gesehen, wie dieses Gummiband expandiert. Welche Konsequenzen hat das denn gehabt?“

Ergebnis von Experiment2:

Die Wellenlänge wird größer.

Experiment3:

Der Wellenzug bewegt sich auf einem expandierenden Gummiband von der fernerer Galaxie in Richtung Erde.

Ergebnis von Experiment3:

Die Wellenlänge wird hat sich stärker vergrößert.

Anm.: Zu den Experimenten 2 und 3 stehen Videos zur Verfügung [Folie 24 und 25], die zur Verdeutlichung eingesetzt werden können (oder ersatzweise, falls die Versuche nicht wie vorgesehen klappen). Durch Projektion der Videos auf die Tafel können die unterschiedlichen Wellenlängen dort markiert werden. Die Vergrößerung ist so klar ersichtlich.

Festhalten des Ergebnisses (Tafel):

Die Rotverschiebung des Spektrums ferner Galaxien kann nach Albert Einstein durch eine Expansion des Raumes erklärt werden. Auch die Zunahme der Rotverschiebung mit wachsender Entfernung der Galaxien ergibt sich daraus.

7. Der Anfang des Universums

„Was bedeutet das Ergebnis nun für unsere Ausgangsfrage 'Hat das Universum einen Anfang?' ? Lassen wir dazu einfach die Zeit in unserem Modell zurücklaufen!“

Experiment: Die Drehrichtung des Motors wird umgekehrt. Die Galaxien werden von der Rolle abgespult. Vor Erreichen der minimalen Dehnung wird der Motor abgestellt.

*„Beschreibt bitte, was in unserem Modell passiert, je weiter man in der Zeit zurückgeht?“
Das Universum ist immer dichter mit Galaxien 'bedeckt'.*

„Genau, die Massedichte des Universums steigt immer weiter an.“

Experiment: Motor wird weiter laufen gelassen bis sich das Gummi nicht weiter zusammenzieht und das Band mit Galaxien bedeckt ist.

„Angenommen der Raum würde sich – anders als in unserem Modell – immer konstant weiter zusammenziehen. Könnt Ihr erläutern, was mit der Dichte dann geschehen würde?“

Die Dichte würde immer weiter zunehmen und extrem groß werden – und zwar an jedem Punkt des Universums!

„Ja, gemäß unserem Modell dagegen bleibt die Dichte bei einem großen, aber endlichem Wert, weil sich das Gummi irgendwann nicht weiter zusammenzieht.“

„Wir sind damit bei dem Bild angelangt, das die moderne Naturwissenschaft von der Entwicklung des Universums hat: das Universum hat einen Anfang - den Beginn der Expansion - an dem die Dichte ungeheuer groß war. Man schätzt, dass dieser Anfangszustand, der oft als 'Urknall' bezeichnet wird, etwa 13,7 Milliarden Jahre zurückliegt. Ob die Dichte des Universums tatsächlich unendlich - oder nur sehr groß - wie unserem Modell - war, ist Gegenstand aktueller Forschung. Die Materie war auf jeden Fall so dicht 'zusammengedrückt', dass es noch keine Strukturen, wie z.B. Galaxien gab. Aus diesem Anfangszustand heraus expandierte dann das Universum und es bildeten sich Sterne und Galaxien.“

8. Hinweis auf weiterführende Materialien

Der Lehrer weist abschließend darauf hin, dass es noch zahlreiche weitere Indizien für das 'Urknallmodell' gibt sowie auf weiterführende Materialien und Literaturhinweise auf der Homepage der AG Didaktik der Physik an der Uni Osnabrück.

Arbeitsblatt zur Rotverschiebung

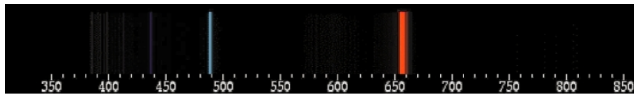
Arbeitsblatt: Spektren der Galaxien

Die folgenden Abbildungen zeigen das Spektrum von Wasserstoff, wie man es im Labor beobachtet, sowie die Spektren von vier Galaxien.

Einige Linien des Wasserstoffs sind auch in den Spektren der Galaxien erkennbar. Seltsamerweise sind die Linien jedoch in ihrer Position verschoben. Besonders gut ist dies an der hellsten Linie erkennbar, die sich beim irdischen Wasserstoff an der Position 656 im Spektrum befindet.

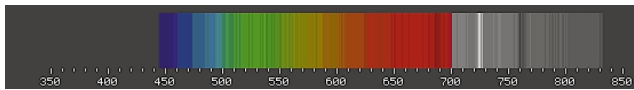
Aufgabe

1. Versuchen Sie einen Zusammenhang zwischen der Entfernung einer Galaxie und der Verschiebung ihrer Spektrallinien zu erkennen. Formulieren Sie ihn z. B. in der Form Je ..., desto ...!
2. Zur Veranschaulichung tragen Sie bitte jeweils die Verschiebung der hellsten Linie gegen die Entfernung einer Galaxie graphisch auf. Beachten Sie hierzu den Hinweis auf der Rückseite!



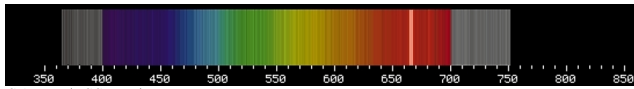
Wasserstoff

Entfernung: 0 Lichtjahre (im Labor)



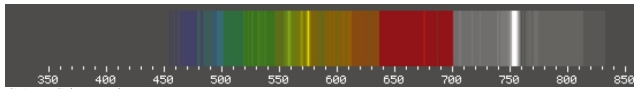
Galaxie A (anonym)

Entfernung: 1,52 Milliarden Lichtjahre



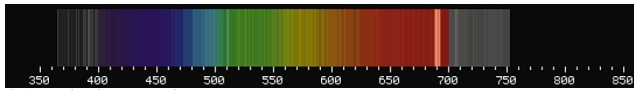
Galaxie B (UGC 12915)

Entfernung: 210 Millionen Lichtjahre



Galaxie C (anonym)

Entfernung: 2,26 Milliarden Lichtjahre



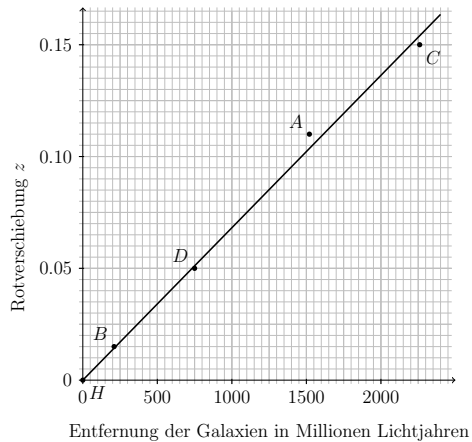
Galaxie D (KUG 1750+683B)

Entfernung: 750 Millionen Lichtjahre

Musterlösung zum Arbeitsblatt

Zusammenhang zwischen Rotverschiebung und Entfernung der Galaxien

	Galaxie			
	A	B	C	D
Entfernung in Millionen Lichtjahren	1520	210	2260	750
Rotverschiebung z	0,11	0,015	0,15	0,05

**Formulierung des Ergebnisses:**

Je entfernter eine Galaxie, desto größer ist die Rotverschiebung ihres Spektrums.

Hausaufgabe

| GEO Magazin Nr. 09/08 - Unser neuer Planet |

Astronomie: Hannys rätselhaftes Objekt

In einem einzigartigen Projekt, "Galaxy Zoo", klassifizieren zehntausende Freiwillige die Galaxien auf Millionen automatisch aufgenommenen Fotos. Der bislang spektakulärste Fund: ein riesiges, unbekanntes intergalaktisches Objekt. Seine Entdeckerin: eine niederländische Lehrerin



© D. Smith, P. Herbert, M. Jarvis / INT
Hanny's Voorwerp", das grüne Objekt unter der Spiralgalaxie IC 2497, versetzte Astronomen in aller Welt in Erstaunen. Die Aufnahme gelang mit dem Isaac-Newton-Teleskop auf der Kanarinsel La Palma

Die Frage, welche die Physiklehrerin Hanny van Arkel aus Heerlen in den Niederlanden im Forum der Astronomie-Website "Galaxy Zoo" stellte, schien völlig harmlos zu sein: "Was ist das blaue Ding da unten?", schrieb sie neugierig am 13. August 2007 an die Teilnehmer des Forums beim Betrachten einer astronomischen Fotografie in Falschfarben. "Das blaue Ding" - seine wahre Farbe ist grün - ist ein nebulöser Fleck auf einem Bild der rund 700 Millionen Lichtjahre

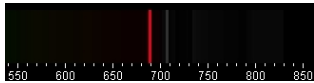
entfernten Spiralgalaxie IC 2497.

Die harmlose Frage sollte die Lehrerin unter Astronomen in aller Welt auf einen Schlag berühmt machen. Denn der Klecks war bisher niemandem aufgefallen. Und so starteten die Wissenschaftler ziemlich ratlos auf die milchig-grüne Stelle im Universum, die bald unter dem offiziellen Namen "Hanny's Voorwerp" (Niederländisch für "Objekt") international bekannt wurde. ... Um das Geheimnis endgültig zu entschlüsseln, soll im kommenden Jahr das Hubble-Weltraumteleskop den Fleck inspizieren. Die Entscheidung dazu fiel am 25. Geburtstag von Hanny van Arkel.

Aufgabe:

Den Astronomen war zunächst nicht klar, ob es sich bei Hanny's Voorwerp um einen Gasnebel in unserer Milchstraße oder ein entfernteres Objekt handelt. Im Frühjahr 2008 konnte dann ein Spektrum von Hanny's Voorwerp aufgenommen werden. Dabei zeigte sich, dass die Wolke neben anderen Gasen auch Wasserstoff enthält.

Die folgende Abbildung zeigt einen Ausschnitt des Spektrums:



Versuchen Sie herauszufinden, warum dieses Spektrum ein Indiz dafür ist, dass sich das Objekt in der Nähe der im Artikel erwähnten Galaxie IC 2497 befindet.

Tip: Verwenden Sie dazu das im Unterricht erarbeitete Rotverschiebungs-Entfernungs-Diagramm.

A.1.2. UE zu den Grenzen der Naturwissenschaften

Ablaufplan

Die auf den folgenden Seiten abgedruckten Materialien (Ablaufplan, Unterlagen zum Gruppenpuzzle, Arbeitsblatt: Ein Gespräch über die physikalische Methode) wurden den Lehrkräften zur Durchführung des Unterrichts zur Verfügung gestellt.

Ablaufplan Wissenschaftstheorie		
Zeit	Inhalt	Aktion
1. Stunde	Merkmale der physikalischen Methode	
Ca. 7 Minuten	Einleitung Prinzip Gruppenpuzzle Gruppenbildung	Folie Gruppeneinteilung
Ca. 20 Minuten	Expertengruppen	
Ca. 15 Minuten	Unterrichtsrgruppen	
2 Minuten vor Schluss	Hausaufgabe: Schülertext lesen	1. Teil des Schülertexts verteilen.
2. Stunde	Aspektcharakter der Physik	
< 8 Minuten	<ul style="list-style-type: none"> • Kurze Wiederholung • Projektions-Veranschaulichung mit dem Modell „Physikalischer Scheinwerfer“ 	
ca. 20 Minuten	„Dialog“: Ergänzung der Aussagen in den Stammgruppen	
Ca. 15 Minuten	Vorführung und Diskussion	
	Tafelanschrieb des Fazits	
		Hinweis auf Test (unbenotet in der nächsten Stunde)

1. Stunde

Vorstellung/Danksagung

Mein Name ist ... von der Arbeitsgruppe Didaktik der Physik an der Universität hier in Osnabrück. Bei dieser Gelegenheit möchte ich mich bei ... bedanken, dass wir hier die Möglichkeit bekommen haben, neue Dinge auszuprobieren, was für uns sehr wichtig ist.

Motivation

- Sie haben in den beiden Stunden zur Kosmologie ein Beispiel für die großartigen Möglichkeiten der Physik kennengelernt. Die Rotverschiebung der Spektren der Galaxien ist ein wichtiger Hinweis auf die Expansion des Universums und damit den Urknall.
- Angesichts dieser Leistungen der Physik könnte man auf den Gedanken kommen, dass die Physik in der Lage sei, auf alle denkbaren Fragen eine Antwort zu geben.
- Denken Sie z. B. an die Frage, warum das Universum entstanden ist. Als Antworten findet man hier eine riesige Bandbreite von „**Alles ist nach den Gesetzen der Physik von selbst entstanden.**“ bis „**Das Universum wurde geschaffen, damit es Leben gibt.**“
- Was kann die physikalische Methode zur Beantwortung solcher Fragen beitragen und was nicht? Um darauf eine Antwort geben zu können, müssen wir uns mit den Merkmalen der physikalischen Methode näher beschäftigen.

Prinzip Gruppenpuzzle [Folie]

Die Erarbeitung dieser Merkmale werden wir in einem so genannten Gruppenpuzzle durchführen. Kennzeichen des Gruppenpuzzles ist es, dass Sie sich zunächst in so genannten Expertengruppen mit einem Merkmal der physikalischen Methode intensiv beschäftigen. Anschließend werden die Gruppen neu gemischt und es entstehen neue Gruppen, so genannte Stammgruppen. Die Bildung der Gruppen erfolgt so, dass zu jedem von drei Merkmalen ein Experte vorhanden ist, der den anderen Gruppenmitgliedern das eigene Teilthema erklärt. Es kommt also darauf an, sich in den Expertengruppen möglichst gut auf das Erklären vorzubereiten.

Durchführung Gruppenpuzzle

Ich verteile nun Karten, aus denen hervorgeht, in welcher Expertengruppe Sie sind und in welcher Stammgruppe Sie anschließend unterrichten werden. Bitte gut aufheben, damit die Einteilung gut funktioniert.

Hinweise:

- Puzzle-Karten gut mischen damit eine zufällige Verteilung entsteht.
- Verteilen der Expertengruppen in drei Ecken, wo die Unterrichtsmaterialien für die Expertengruppen bereitliegen.
- Da die Expertengruppen in der Regel groß sein werden, werden sie noch mal (möglichst zufällig!) geteilt.
- „Sie haben für die Expertengruppen ca. 20 Minuten. Das reicht, aber Sie müssen sich von Anfang an ranhalten.“
- Aufrufen der Stammgruppen der Reihe nach und jeweils gleich einen Platz zuweisen („Stammgruppe 1 bitte an diesen Tisch“ etc.). An den entsprechenden Tisch vorher einen Zettel mit der Gruppenzuordnung legen.

Vor der 2. Stunde

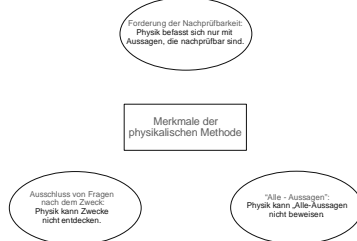
- Poster aufhängen
- Projektionsmodell aufstellen
- Stammgruppentzettel mit Codenamen im Raum verteilen

2. Stunde¹

Bitte setzen Sie sich wieder in den in Stammgruppen der letzten Stunde zusammen.

Wiederholung erste Stunde (max. 10 Minuten):

Anhand des **Posters** oder eines entsprechend vorbereiteten Tafelbildes:



- Sie haben in der letzten Stunde drei Merkmale der physikalischen Methode kennen gelernt. Erläutern Sie diese Merkmale bitte noch mal in knapper Form mit einem Beispiel.
- Man erkennt nun, dass sich die Physik einer Methode bedient, die von vornherein bestimmte Fragen ausschließt. Sie schließt deshalb bestimmte Fragen aus, damit sie bei den verbleibenden Fragen ihre Stärken voll zur Geltung bringen kann, und damit so großartige Erkenntnisse wie etwa in der Kosmologie ermöglicht.

Die „methodische Grenze“ der Physik

Die Merkmale der physikalischen Methode begrenzen die physikalische Forschung auf bestimmte Fragestellungen.

Fragen außerhalb dieser „methodischen Grenze“ werden daher nicht behandelt.

Veranschaulichung „Projektions-Modell“

¹ Tafelanschrieb ist links mit Strich markiert.



- Diese Begrenzung der Physik soll nun veranschaulicht werden.
- Ich schalte dazu zunächst eine Lampe ein und wir sehen den Schatten eines Gegenstands. Es ist ein Achteck, bei dem z. B. die Kantenlängen und Winkel gemessen werden können. Diese *Projektion* des Gegenstands soll ein Sinnbild für die physikalische Methode sein, da Physik viel mit Messen zu tun hat.
- Schalten wir nun die zweite Lampe ein, so bekommen wir eine *Projektion* aus einer anderen Richtung. Man erkennt nun zusätzlich (mit etwas Phantasie) den *Zweck* des Gegenstands: er lässt sich als Tisch nutzen! In dieser Projektion tritt also ein Zweck zutage, den die physikalische Methode nicht erkennen kann.
- Die beiden Projektionen symbolisieren also unterschiedliche Sichtweisen auf die Gesamtwirklichkeit, wovon die physikalische *Sichtweise* eine wichtige, aber eben nicht die einzig mögliche ist. Die Veranschaulichung mit diesem Modell soll zeigen, dass sich die verschiedenen Sichtweisen ergänzen können.

Tisch herausnehmen und kurz zeigen.

„Projektions-Modell“

Veranschaulicht sinnbildhaft verschiedene Sichtweisen auf die Gesamtwirklichkeit.

Überleitung

- Aufgabe der heutigen Stunde ist es, in einer Art Dialog mit den Merkmalen der Physik zu argumentieren. Sie sollen dazu in einem Dialog in die Rolle von Dr. Y. schlüpfen, der Fragen eines physikalischen Laien – Herrn X. – beantwortet.
- Der Dialog soll anschließend vorgetragen werden. Sie sollen den Dialog wieder in den Stammgruppen der letzten Stunde entwickeln.
- Alles weitere finden Sie auf diesem Arbeitsblatt.
- Sie haben 20 Minuten, d.h. bis ... (Zeit an Tafel schreiben) Zeit.
- Nach einiger Zeit herumgehen und **Folien und Stifte** für Antwort
- Ca. 7 Minuten vor Ende der Gruppenarbeit die Gruppen darauf hinweisen, die letzte Aufgabe zu bearbeiten.

Auswertung: (ca. 15 Minuten)

- Folie mit den drei Fragen auflegen. Antworten 1-3 von Dr. Y. von je einer Gruppe vorlesen lassen (bei „falschen“ Antworten noch zweite Aussage einholen). Verwendetes Merkmal am Poster identifizieren. (z. B. **gelbe Haftzettel** mit den Nummer 1-3 für die entsprechenden Antworten).
- Mehrere Antworten zu Aussage 4 auf **Tageslichtprojektor** auflegen. Argumente dem Poster zuordnen lassen und „Kernbegriffe“ (z. B. Zweck) auf der Folie mit anderer Farbe selbst unterstreichen.
- Den Zusammenhang mit „Projektions-Modell“ herstellen lassen.

Am Ende der Stunde:

Fazit:

Bei Aussagen, die außerhalb der methodischen Grenze der Physik liegen, kann die Physik nicht über deren „Richtigkeit“ entscheiden. Daher sind unterschiedliche Standpunkte („philosophische Überzeugungen“) möglich.

Das ist übrigens auch der Grund, warum sich Physiker in solchen Fragen nicht einig sind, auch wenn sie auf ihrem Gebiet sehr gut sind.

Unterlagen zum Gruppenpuzzle

Code-Name: _____

Expertengruppe I: Forderung der Nachprüfbarkeit

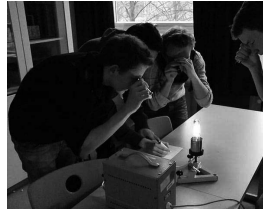
Viele Menschen gehen davon aus, dass die Physik auf alle Fragen des Lebens eine umfassende Antwort geben kann. Um entscheiden zu können, welche Fragen die Physik beantworten kann, und welche nicht, ist es notwendig, sich näher mit den Merkmalen der physikalischen Methode zu beschäftigen.

Sie lernen in der Expertengruppe *ein* Merkmal der physikalischen Methode kennen. Anschließend werden neue „Stammgruppen“ gebildet. Sie sollen dort als Experte Ihre Kenntnisse an die Gruppe weitergeben, die dieses methodische Merkmal noch nicht kennt. Es kommt daher darauf an, dass Sie sich jetzt das folgende Wissen möglichst gut aneignen.

Informationen zum Merkmal I: Forderung der Nachprüfbarkeit

Physikerinnen und Physiker befassen sich während ihrer Forschungsarbeit nur mit Beobachtungen, die sie und andere Kollegen nachprüfen können. Wir machen uns dies am Beispiel der Lampen klar, die Sie kürzlich im Physikunterricht beobachtet haben.

Eine bestimmte Farblinie (z. B. der Natrium-Lampe) haben Sie immer an derselben Stelle Ihres Hand-Spektrometers gesehen. Darüber hinaus war es gleichgültig, *wer* von Ihnen die Beobachtung durchführte: Immer hätten Sie sich mit den anderen über die Position einer bestimmten Farblinie einigen können. Es kommt also nicht mehr auf die Person des Beobachters an, sondern nur noch auf das untersuchte Objekt, in diesem Fall die Natrium-Lampe.



Der Vorteil der Beschränkung auf nachprüfbare Aussagen wird nun sehr deutlich. Derartige Beobachtungen sind nämlich verallgemeinerbar: „Die gelbe Linie der Natrium-Lampe befindet sich *immer* an dieser bestimmten Stelle des Hand-Spektrometers.“ Damit ist auch eine Vorhersage für die Zukunft möglich.

Was bedeutet die Forderung von Nachprüfbarkeit in Bezug auf Licht entfernter Galaxien? Hat ein Physiker die rote Linie einer Galaxie mit seinem Spektrometer bei einer Wellenlänge von z. B. 690 Nanometern beobachtet, so muss diese Wellenlänge von anderen Forschern zumindest prinzipiell bestätigt werden können.

Die Forderung der Nachprüfbarkeit macht eine Grenze deutlich: Vorgänge, die „keine Spuren hinterlassen“, sind nicht Gegenstand physikalischer Forschung. Dies wird an folgendem Beispiel besonders deutlich: Herr M. behauptet steif und fest, ein „Wunder“ gesehen zu haben, welches physikalisch nicht erklärbar ist. Sie können ihm mit physikalischen Mitteln nicht nachweisen, dass er lügt oder sich geirrt hat. Es bleibt Ihnen daher nichts anderes übrig, als seiner Aussage zu glauben oder nicht zu glauben.

Wir fassen zusammen:

Physik befasst sich nur mit Aussagen, die nachprüfbar sind.

Bitte wenden.

Aufgaben für die Expertengruppe I

Arbeiten Sie zunächst alleine.

1. Lesen Sie die Informationen zum methodischen Merkmal auf der Rückseite. Versuchen Sie den Inhalt möglichst gut zu begreifen.
2. Unterstreichen Sie zur Unterstützung des Verständnisses die wichtigsten Worte und Sätze.
3. Sie sollen im Anschluss an die Expertengruppe das von Ihnen erarbeitete Merkmal der Stammgruppe erklären. Formulieren Sie dazu einige Schlüsselbegriffe, die Ihnen als besonders wichtig erscheinen, und Ihnen als „Gedankenstütze“ beim Erklären dienen könnten:

Arbeiten Sie nun zusammen.

4. Das Erklären soll nun geübt werden: Ein Gruppenmitglied erklärt den anderen den Inhalt des Textes mithilfe der Schlüsselbegriffe in eigenen Worten. Denken Sie dabei daran, dass Ihre Erklärung so gut sein muss, dass sie später auch von der Stammgruppe verstanden wird!
5. Die anderen Gruppenmitglieder sollen genau zuhören, damit sie eine konstruktive Rückmeldung geben können. Berücksichtigen Sie bei der Rückmeldung folgende Gesichtspunkte:
 - a. Was war gut?
 - b. Wo hat etwas gefehlt oder war falsch?
 - c. Wurden Beispiele zur Veranschaulichung verwendet?
 - d. Was könnte noch verbessert werden?
6. Entscheiden Sie für die folgenden Aussagen, ob sie mit der physikalischen Methode nachprüfbar sind oder nicht. Geben Sie jeweils eine Begründung für Ihre Entscheidung.
 - a. Die rote Linie ist die schönste des Spektrums.
 - b. Die rote Linie ist die hellste des Spektrums.
 - c. Herr M. ist der Größte der ganzen Stadt. (Doppeldeutig!)

Die Antworten finden Sie im Umschlag auf dem Lehrertisch.
7. Lesen Sie den Informations-Text nochmals durch. Prüfen Sie dabei, ob alles klar ist.

Jetzt sollte beim Erklären in der Stammgruppe nichts mehr schief gehen. Viel Erfolg!

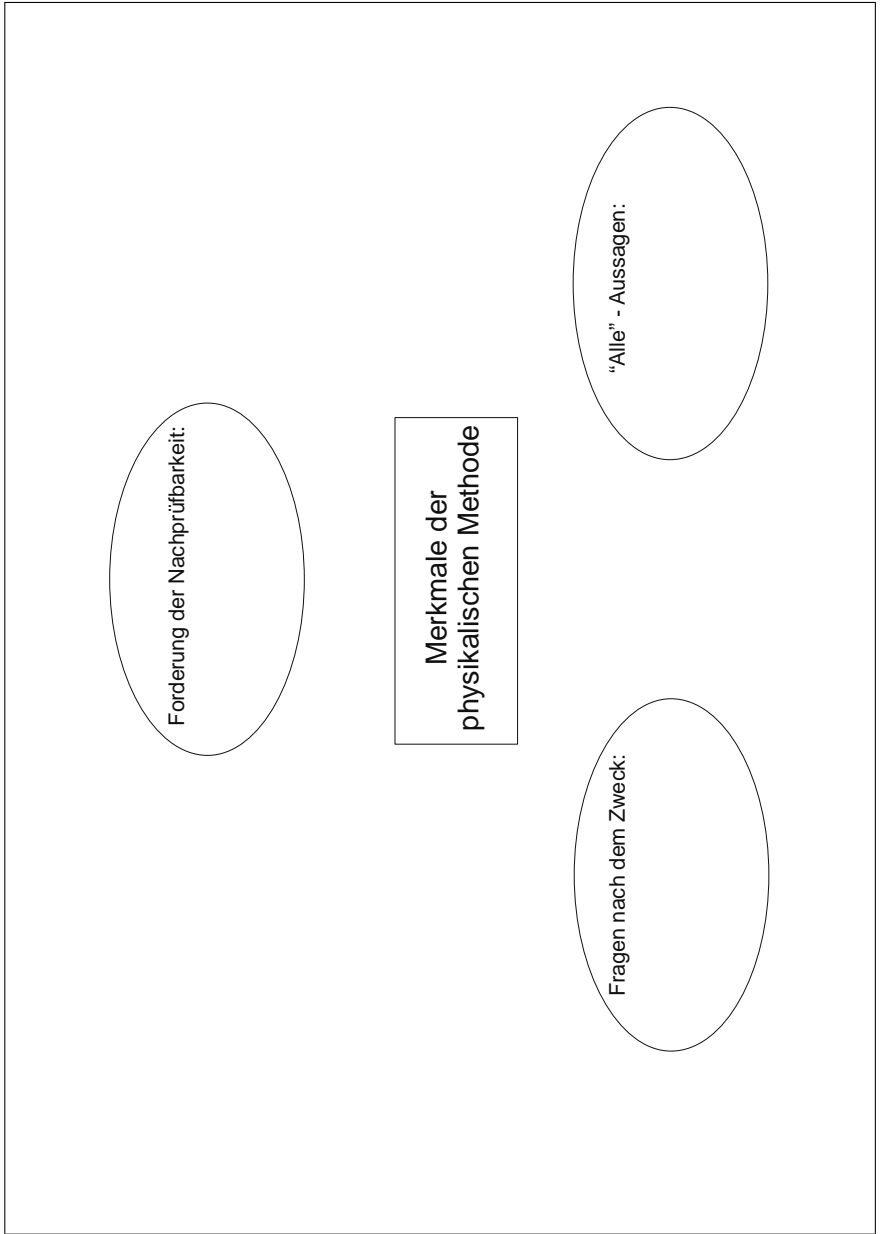
Aufgaben für die Stammgruppe

1. Erklären Sie den anderen Gruppenmitgliedern das Merkmal „Forderung der Nachprüfbarkeit“ der physikalischen Methode. Nutzen Sie dabei Beispiele zur Veranschaulichung!
2. Lassen Sie ein Mitglied Ihrer Stammgruppe den wesentlichen Inhalt in eigenen Worten wiederholen. Klären Sie Verständnislücken.
3. Legen Sie zur Festigung des Lernerfolgs Ihrer Stammgruppe die folgenden Aussagen vor. Lassen Sie als Verständniskontrolle jeweils entscheiden, ob sie mit der physikalischen Methode nachprüfbar sind:
 - a. Die rote Linie ist die schönste des Spektrums.
 - b. Die rote Linie ist die hellste des Spektrums.
 - c. Herr M. ist der Größte der ganzen Stadt. (Doppeldeutig!)

Wenn alle Experten ihr Merkmal der physikalischen Methode unterrichtet haben:

1. Fassen Sie die drei Merkmale jeweils in einem Satz zusammen und tragen sie sie in die runden Felder der Grafik auf der Rückseite ein.
2. Zur Vertiefung (falls noch Zeit ist): Die Merkmale der physikalischen Methode sind nicht unabhängig voneinander. Um dies zu sehen, erklären Sie bitte, wie das Merkmal „Ausschluss von Fragen nach dem Zweck“ mit dem Merkmal „Forderung der Nachprüfbarkeit“ begründet werden kann.

Bitte wenden.



Code-Name: _____

Expertengruppe II: Ausschluss von Fragen nach dem Zweck

Viele Menschen gehen davon aus, dass die Physik auf alle Fragen des Lebens eine umfassende Antwort geben kann. Um entscheiden zu können, welche Fragen die Physik beantworten kann, und welche nicht, ist es notwendig, sich näher mit den Merkmalen der physikalischen Methode zu beschäftigen.

Sie lernen in der Expertengruppe *ein* Merkmal der physikalischen Methode kennen. Anschließend werden neue „Stammgruppen“ gebildet. Sie sollen dort als Experte Ihre Kenntnisse an die Gruppe weitergeben, die dieses methodische Merkmal noch nicht kennt. Es kommt daher darauf an, dass Sie sich jetzt das folgende Wissen möglichst gut aneignen.

Informationen zum Merkmal II: Ausschluss von Fragen nach dem Zweck

Physikalische Forschung sucht nach der *physikalischen Ursache* von Beobachtungen. Beispielsweise hatten wir uns gefragt, welche physikalische Ursache die Rotverschiebung hat. Nach Einstein ist die physikalische Ursache die Expansion des Universums. Physikalische Forschung beschäftigt sich aber *nicht* mit Fragen nach dem *Zweck* seines Forschungsgegenstandes. Beispielsweise ist die Frage, ob das Universum einen Zweck hat, z. B. damit Leben entstehen kann, nicht Gegenstand physikalischer Forschung. Denn Zwecke lassen sich mit naturwissenschaftlichen Mitteln nicht erkennen, sondern nur dazudenken.

Wir veranschaulichen uns das am Beispiel einer Uhr. Angenommen, jemand wüsste nicht, welchen Zweck eine Uhr hat. Er könnte mit physikalischen Mitteln die Spannung der Batterie messen, die Länge der Zeiger bestimmen usw. Er könnte daraus vielleicht schließen, dass die Batterie die Zeigerdrehung verursacht. Aber auch wenn er alles an und in der Uhr physikalisch erforscht hat, so kann er aus seinen Messungen und Beobachtungen nicht auf den Zweck der Uhr schließen, nämlich die Zeit zu messen. Dieses Beispiel veranschaulicht, warum Fragen nach dem Zweck aus der physikalischen Forschung ausgeklammert werden, mögen sie noch so interessant und wichtig sein.

Zur Abgrenzung der beiden Gesichtspunkte betrachten wir noch eine andere Frage aus dem Alltag: „Warum ist es nachts dunkel?“ Eine Möglichkeit der Antwort wäre „Nachts ist es dunkel, *damit* ich schlafen kann“. Hier geht es also um den *Zweck* der Dunkelheit. Anders ist es dagegen bei der anderen möglichen Antwort: „Nachts ist es dunkel, *weil* sich die Sonne auf der anderen Seite der Erde befindet.“ Hier geht es im Gegensatz zur ersten Antwort um die *physikalische Ursache* der Dunkelheit.

Noch ein „Warnhinweis“: Bei Fragen, die mit „Warum“ beginnen, lässt sich häufig nicht ohne weiteres entscheiden, ob nach einer physikalischen Ursache gefragt wird oder nach einem Zweck. „Warum entstand das Universum?“ Wenn die physikalische Ursache gemeint ist, so könnte man antworten: „Weil es den Urknall gab.“ Die Frage „Warum entstand das Universum?“ kann aber auch gestellt werden, um einen *Zweck* zu erfahren. In diesem Fall sollte man präziser fragen: „Wozu entstand das Universum?“ „Warum“-Fragen können also doppeldeutig sein.

Wir fassen zusammen:

Physik kann Zwecke nicht erkennen.

Bitte wenden.

Aufgaben für die Expertengruppe II

Arbeiten Sie zunächst alleine.

1. Lesen Sie die Informationen zum methodischen Merkmal auf der Rückseite. Versuchen Sie den Inhalt möglichst gut zu begreifen.
2. Unterstreichen Sie zur Unterstützung des Verständnisses die wichtigsten Worte und Sätze.
3. Sie sollen im Anschluss an die Expertengruppe das von Ihnen erarbeitete Merkmal der Stammgruppe erklären. Formulieren Sie dazu einige Schlüsselbegriffe, die Ihnen als besonders wichtig erscheinen, und Ihnen als „Gedankenstütze“ beim Erklären dienen könnten:

Arbeiten Sie nun zusammen.

4. Das Erklären soll nun geübt werden: Ein Gruppenmitglied erklärt den anderen den Inhalt des Textes mithilfe der Schlüsselbegriffe in eigenen Worten.
Denken Sie dabei daran, dass Ihre Erklärung so gut sein muss, dass sie später auch von der Stammgruppe verstanden wird!
5. Die anderen Gruppenmitglieder sollen genau zuhören, damit sie eine konstruktive Rückmeldung geben können. Berücksichtigen Sie bei der Rückmeldung folgende Gesichtspunkte:
 - a. Was war gut?
 - b. Wo hat etwas gefehlt oder war falsch?
 - c. Wurden Beispiele zur Veranschaulichung verwendet?
 - d. Was könnte noch verbessert werden?
6. Entscheiden Sie für die folgenden Fragen, ob nach einer physikalischen Ursache oder nach einem Zweck gefragt wird. Geben Sie jeweils eine Begründung.
 - a. Wozu dient ein Spektrometer?
 - b. Worauf ist die Lichtablenkung im Spektrometer zurückzuführen?
 - c. Warum läuft der Elektro-Ofen? (Doppeldeutig!)

Welche der Fragen kann demnach nicht mit der physikalischen Methode behandelt werden? Die Antworten finden Sie im Umschlag auf dem Lehrertisch.
7. Lesen Sie den Informations-Text nochmals durch. Prüfen Sie dabei, ob alles klar ist.

Jetzt sollte beim Erklären in der Stammgruppe nichts mehr schief gehen. Viel Erfolg!

Aufgaben für die Stammgruppe

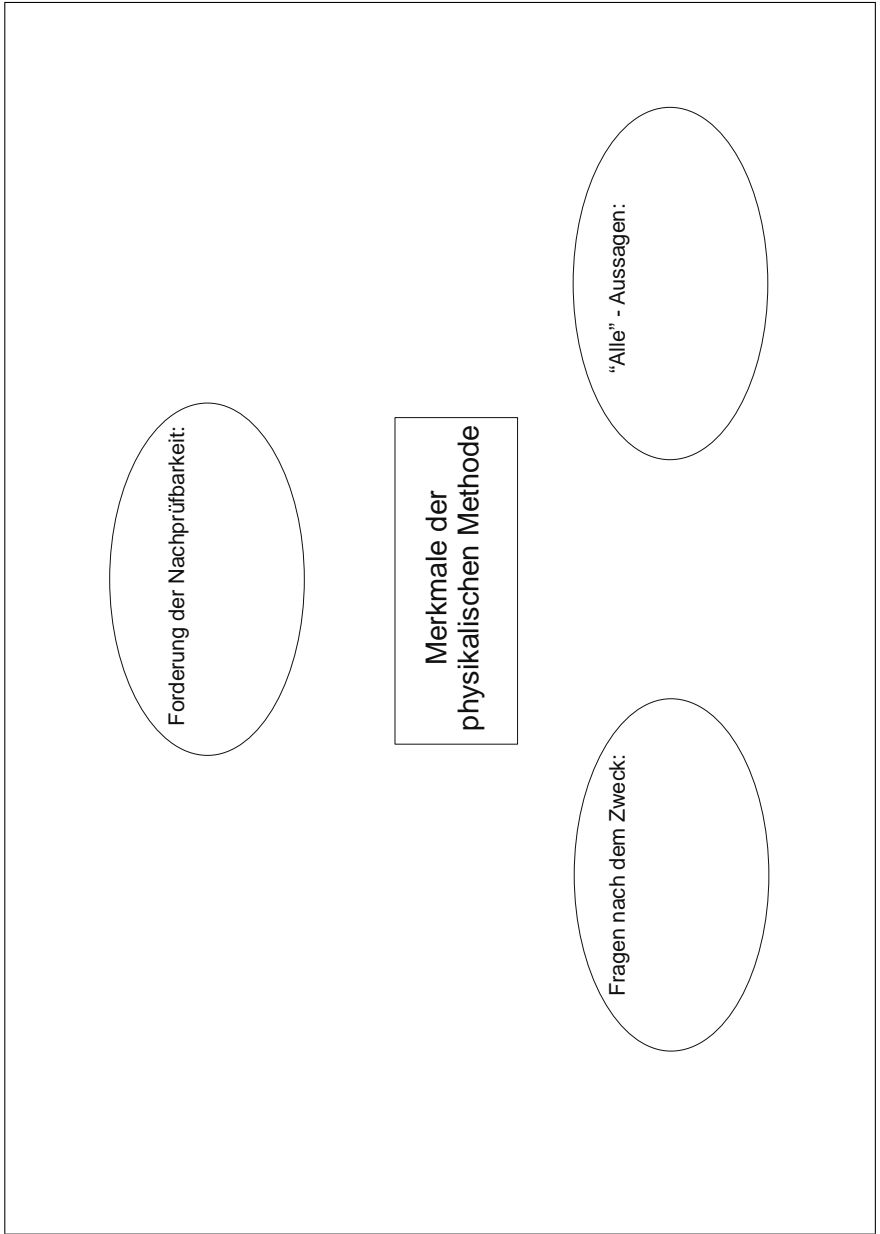
1. Erklären Sie den anderen Gruppenmitgliedern das Merkmal „Ausschluss von Fragen nach dem Zweck“ der physikalischen Methode. Nutzen Sie dabei Beispiele zur Veranschaulichung!
2. Lassen Sie ein Mitglied Ihrer Stammgruppe den wesentlichen Inhalt in eigenen Worten wiederholen. Klären Sie Verständnislücken.
3. Legen Sie zur Festigung des Lernerfolgs Ihrer Stammgruppe die folgenden Fragen vor.
 - a. Wozu dient ein Spektrometer?
 - b. Worauf ist die Lichtablenkung im Spektrometer zurückzuführen?
 - c. Warum läuft der Elektro-Ofen? (Doppeldeutig!)

Wo wird nach einem Zweck gefragt? Wo nach einer physikalischen Ursache? Welche Fragen sind daher nicht Gegenstand physikalischer Forschung?

Wenn alle Experten ihr Merkmal der physikalischen Methode unterrichtet haben:

1. Fassen Sie die drei Merkmale jeweils in einem Satz zusammen und tragen sie sie in die runden Felder der Grafik auf der Rückseite ein.
2. Zur Vertiefung (falls noch Zeit ist): Die Merkmale der physikalischen Methode sind nicht unabhängig voneinander. Um dies zu sehen, erklären Sie bitte, wie das Merkmal „Ausschluss von Fragen nach dem Zweck“ mit dem Merkmal „Forderung der Nachprüfbarkeit“ begründet werden kann.

Bitte wenden.



Code-Name: _____

Expertengruppe III: „Alle – Aussagen“ lassen sich nicht beweisen

Viele Menschen gehen davon aus, dass die Physik auf alle Fragen des Lebens eine umfassende Antwort geben kann. Um entscheiden zu können, welche Fragen die Physik beantworten kann, und welche nicht, ist es notwendig, sich näher mit den Merkmalen der physikalischen Methode zu beschäftigen.

Sie lernen in der Expertengruppe *ein* Merkmal der physikalischen Methode kennen. Anschließend werden neue „Stammgruppen“ gebildet. Sie sollen dort als Experte Ihre Kenntnisse an die Gruppe weitergeben, die dieses methodische Merkmal noch nicht kennt. Es kommt daher darauf an, dass Sie sich jetzt das folgende Wissen möglichst gut aneignen.

Informationen zum Merkmal III: „Alle – Aussagen“ lassen sich nicht beweisen

In der Physik werden häufig allumfassende Aussagen gemacht. Denken Sie beispielsweise an eine Aussage wie: „*Alle* Galaxien entfernen sich zu *allen* Zeiten voneinander.“ Wir nennen solche Aussagen „Alle – Aussagen“, da sie eine allumfassende Verallgemeinerung darstellen. Im Beispiel umfasst die Aussage *alle* Galaxien und *alle* Zeiten. „Alle – Aussagen“ lassen sich aber nicht beweisen. Warum nicht? Wir erklären es für das gewählte Beispiel: Zum einen ist man schon aus praktischen Gründen nicht in der Lage, die gigantische Anzahl an Galaxien zu untersuchen. Zum anderen ist es sogar prinzipiell unmöglich, die Prüfung der Galaxien *für alle Zeiten*, d. h. auch in der fernen Vergangenheit oder Zukunft durchzuführen.

Naturgesetze sind „Alle – Aussagen“. Dies erkennt man z. B. am Massenanziehungsgesetz (Gravitationsgesetz). Es besagt zum Beispiel, dass *alle* Gegenstände, die losgelassen werden, zur Erde hin beschleunigt werden. Damit wird auch eine Aussage über die Vergangenheit und eine Vorhersage für die Zukunft gemacht. Eine Überprüfung durch uns ist jedoch nur in der Gegenwart möglich. Naturgesetze lassen sich also nicht beweisen.

Auch wenn sich Naturgesetze nicht beweisen lassen, geht man zunächst davon aus, dass sie wahr sind, weil sie vielfach bestätigt wurden. Mit einem einzigen Gegenbeispiel lassen sie sich aber widerlegen: Angenommen, eines fernen Tages würde ein Stein von der Erde abgestoßen, so müsste man das Gravitationsgesetz für falsch erklären oder zumindest einschränken.

Beachten Sie, dass das Wörtchen „Alle“ gar nicht vorkommen muss, und es sich trotzdem um eine „Alle – Aussage“ handelt. Folgendes Beispiel soll dies verdeutlichen: „Warme Speisen kühlen ab, wenn ihre Umgebung kalt ist.“ Die Aussage ist eine Behauptung über alle warmen Speisen“. Man wird wahrscheinlich nie ein warmes Essen finden, welches von selbst heißer wird. Trotzdem lässt sich die Aussage nicht beweisen. Denn man kann sich für die Zukunft nicht absolut sicher sein. Es ist ja nicht völlig ausgeschlossen, dass irgendwann ein Mittagessen Energie aus der Umgebung aufnimmt und dadurch wärmer wird.

Wir fassen zusammen:

Physik kann „Alle – Aussagen“ nicht beweisen.

Bitte wenden.

Aufgaben für die Expertengruppe III

Arbeiten Sie zunächst alleine.

1. Lesen Sie die Informationen zum methodischen Merkmal auf der Rückseite. Versuchen Sie den Inhalt möglichst gut zu begreifen.
2. Unterstreichen Sie zur Unterstützung des Verständnisses die wichtigsten Worte und Sätze.
3. Sie sollen im Anschluss an die Expertengruppe das von Ihnen erarbeitete Merkmal der Stammgruppe erklären. Formulieren Sie dazu einige Schlüsselbegriffe, die Ihnen als besonders wichtig erscheinen, und Ihnen als „Gedankenstütze“ beim Erklären dienen könnten:

Arbeiten Sie nun zusammen.

4. Das Erklären soll nun geübt werden: Ein Gruppenmitglied erklärt den anderen den Inhalt des Textes mithilfe der Schlüsselbegriffe in eigenen Worten.
Denken Sie dabei daran, dass Ihre Erklärung so gut sein muss, dass sie später auch von der Stammgruppe verstanden wird!
5. Die anderen Gruppenmitglieder sollen genau zuhören, damit sie eine konstruktive Rückmeldung geben können. Berücksichtigen Sie bei der Rückmeldung folgende Gesichtspunkte:
 - a. Was war gut?
 - b. Wo hat etwas gefehlt oder war falsch?
 - c. Wurden Beispiele zur Veranschaulichung verwendet?
 - d. Was könnte noch verbessert werden?
6. Prüfen Sie, ob es sich bei den folgenden Aussagen um „Alle-Aussagen“ handelt. Geben Sie jeweils eine Begründung.
 - a. Sterne haben Planeten.
 - b. Es gibt Sterne, die Planeten haben.
 - c. Alle Äpfel fallen nach unten.
 - d. Alle Äpfel fallen nach oben.Was bedeutet dies für die Beweisbarkeit?
Die Antworten finden Sie im Umschlag auf dem Lehrertisch.
7. Lesen Sie den Informations-Text nochmals durch. Prüfen Sie dabei, ob alles klar ist.

Jetzt sollte beim Erklären in der Stammgruppe nichts mehr schief gehen. Viel Erfolg!

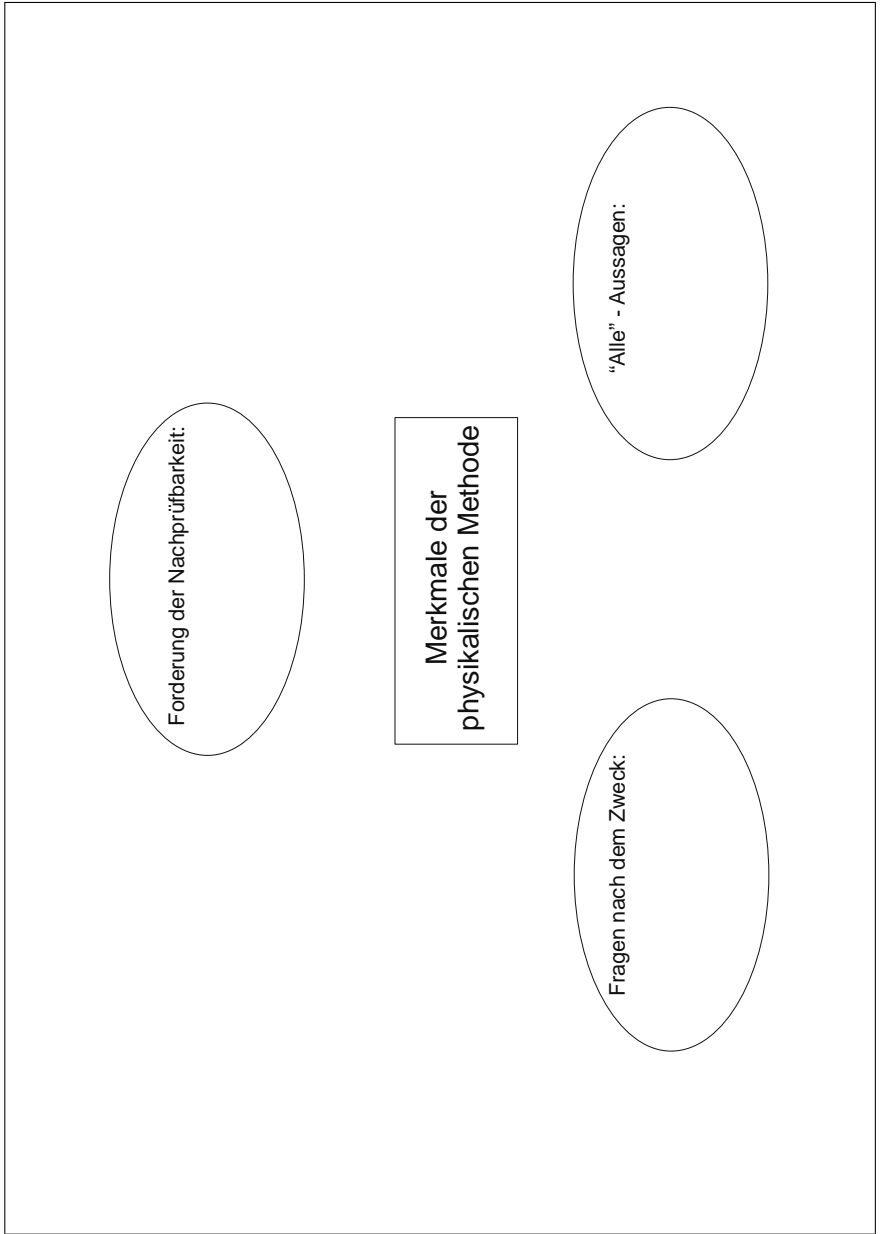
Aufgaben für die Stammgruppe

1. Erklären Sie den anderen Gruppenmitgliedern das Merkmal „Alle – Aussagen“ lassen sich nicht beweisen“ der physikalischen Methode. Nutzen Sie dabei Beispiele zur Veranschaulichung!
2. Lassen Sie ein Mitglied Ihrer Stammgruppe den wesentlichen Inhalt in eigenen Worten wiederholen. Klären Sie Verständnislücken.
3. Legen Sie zur Festigung des Lernerfolgs Ihrer Stammgruppe die folgenden Aussagen vor. Lassen Sie jeweils prüfen, ob es sich um eine „Alle–Aussage“ handelt.
 - a. Sterne haben Planeten.
 - b. Es gibt Sterne, die Planeten haben.
 - c. Alle Äpfel fallen nach unten.
 - d. Alle Äpfel fallen nach oben.Was bedeutet das für die Beweisbarkeit?

Wenn alle Experten ihr Merkmal der physikalischen Methode unterrichtet haben:

1. Fassen Sie die drei Merkmale jeweils in einem Satz zusammen und tragen sie sie in die runden Felder der Grafik auf der Rückseite ein.
2. Zur Vertiefung (falls noch Zeit ist): Die Merkmale der physikalischen Methode sind nicht unabhängig voneinander. Um dies zu sehen, erklären Sie bitte, wie das Merkmal „Ausschluss von Fragen nach dem Zweck“ mit dem Merkmal „Forderung der Nachprüfbarkeit“ begründet werden kann.

Bitte wenden.



Arbeitsblatt: Ein Gespräch über die physikalische Methode

Ein Gespräch über die physikalische Methode

Herr X., ein naturwissenschaftlich sehr interessierter Laie, hat den Vortrag von Dr. Y. über „Möglichkeiten und Grenzen der physikalischen Methode am Beispiel der Kosmologie“ gehört. Er ist sehr interessiert, hat aber nicht alles verstanden und spricht den Referenten daher nach dem Vortrag an.

Arbeitsauftrag

Arbeiten Sie gemeinsam. Ergänzen Sie schriftlich die fehlenden Antworten von Dr. Y. In jeder Antwort soll Dr. Y. mit einem Merkmal der physikalischen Methode argumentieren. Nutzen Sie ein separates Blatt, falls der Platz für die Antwort nicht ausreicht.

Herr X.: Einen Moment bitte, Dr. Y.. Ich hätte noch einige Verständnisfragen zu Ihrem interessanten Vortrag. Ich dachte immer, die Physik habe bewiesen, dass sich alle Galaxien voneinander entfernen. Sie sagten, dass diese Art von Aussagen von der Physik grundsätzlich nicht zu beweisen seien. Könnten Sie mir das noch mal erklären?

Dr. Y.:

Herr X.: Aber kann denn die Physik nicht alles mit Experimenten nachprüfen? Gibt es denn Dinge, die nicht nachprüfbar sind?

Dr. Y.:

Herr X.: Mich interessiert besonders die grundsätzliche Frage: „Warum entstand das Universum?“ Die Antwort darauf hat die Physik doch gegeben: „Weil es den Urknall gab!“ Damit ist die Frage doch vollständig beantwortet, oder?

Dr. Y.:

Hier steigen wir aus dem Gespräch zunächst aus.

Arbeitsauftrag:

Einigen Sie sich auf Antworten von Dr. Y., damit Sie das Gespräch anschließend der Klasse präsentieren können.

Bitte wenden.

A.1.3. Fragebögen und Tests

Der Zwischentest und der verzögerte Nachtest enthalten jeweils die Skalen »Fachinteresse« und »Szientismus«. Letzterer außerdem Aufgabe 1 des Nachtests. Diese beiden Tests sind hier nicht gesondert abgedruckt.

Vortest

Fragebogen V

Schule:

Alter:

männlich

weiblich

Jahrgangsstufe 11 12 13

6K LK Seminarfach

Code-Name: _____

Über Inhalte des Physikunterrichts zu reden macht mir Spaß.	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	trifft ganz genau zu
Die Beschäftigung mit den Inhalten des Physikunterrichts hat für mich mit Selbstverwirklichung zu tun.	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	trifft ganz genau zu
Wenn ich genügend Zeit hätte, würde ich mich mit bestimmten Inhalten des Physikunterrichts intensiver beschäftigen.	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	trifft ganz genau zu
Manchmal freue ich mich auf den Physikunterricht.	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	trifft ganz genau zu
Manche Inhalte des Physikunterrichts helfen mir dabei, mein eigenes Weltbild zu formen.	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	trifft ganz genau zu
Das Fach Physik entspricht meinen persönlichen Neigungen.	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	trifft ganz genau zu
Die Inhalte des Physikunterrichts lassen mich innerlich völlig gleichgültig.	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	trifft ganz genau zu
Im Vergleich zu anderen mir wichtigen Dingen messe ich dem Physikunterricht eine sehr geringe Bedeutung bei.	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	trifft ganz genau zu
Manche Inhalte des Physikunterrichts beeinflussen meine Persönlichkeit positiv.	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	trifft ganz genau zu
Physik ist ein Fach, das ich so schnell wie möglich abwählen würde.	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	trifft ganz genau zu

Ich mag es nicht, wenn die Aussage einer Person mehrdeutig ist.	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	trifft ganz genau zu
Ich bevorzuge Tätigkeiten, bei denen stets klar ist, was getan und wie es getan werden muss.	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	trifft ganz genau zu
Ich mag Aufgaben, bei denen noch unklar ist, wie der genaue Lösungsweg aussieht.	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	trifft ganz genau zu
Ich ziehe Dinge, die ich gewohnt bin, solchen vor, die ich nicht kenne und die ich nicht vorhersagen kann.	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	trifft ganz genau zu
Wenn ich über ein Problem nachdenke, versuche ich möglichst unterschiedliche Positionen zu der Sache einzunehmen.	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	trifft ganz genau zu
Ich mag keine unvorhersehbaren Situationen.	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	trifft ganz genau zu

Wie ist Ihre Ansicht zu den folgenden Behauptungen?

Uns interessiert Ihre eigene Ansicht sowie diejenige, die Sie bei der Mehrheit der Physiker/innen vermuten.

1. Die Naturwissenschaften werden irgendwann in der Lage sein, alle für die Menschheit bedeutsamen Fragen zu beantworten.

Meine eigene Ansicht	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	trifft ganz genau zu
Ansicht der Physiker/innen	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	trifft ganz genau zu

2. Die Naturwissenschaften können den Sinn des Lebens herausfinden.

Meine eigene Ansicht	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	trifft ganz genau zu
Ansicht der Physiker/innen	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	trifft ganz genau zu

3. Naturwissenschaftliches Wissen ist das mit Abstand wertvollste Wissen.

Meine eigene Ansicht	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	trifft ganz genau zu
Ansicht der Physiker/innen	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	trifft ganz genau zu

4. Ein vernünftiger Mensch sollte nur an Dinge glauben, die naturwissenschaftlich erklärbar sind.

Meine eigene Ansicht	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	trifft ganz genau zu
Ansicht der Physiker/innen	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	trifft ganz genau zu

5. Die Naturwissenschaften werden alle anderen Wissenschaften irgendwann überflüssig machen.

Meine eigene Ansicht	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	trifft ganz genau zu
Ansicht der Physiker/innen	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	trifft ganz genau zu

Was war Ihre letzte Zeugnisnote in Physik?	Sehr gut	gut	befriedigend	ausreichend	mangelhaft	ungenügend
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

1. Aufgabe

a. Entscheiden Sie, ob die folgenden Aussagen mit der physikalischen Methode nachprüfbar sind. Geben Sie eine Begründung für Ihre Einschätzung.

- i. Die Temperatur ist heute in Hamburg geringer als in München.
- ii. Die Temperatur ist heute in Hamburg angenehmer als in München.

b. Entscheiden Sie, ob in den folgenden Fragen nach einer physikalischen Ursache gefragt wird. Geben Sie eine Begründung für Ihre Einschätzung.

- i. Wozu dient ein Thermometer?
- ii. Worauf ist die Ausdehnung der Flüssigkeit im Thermometer zurückzuführen?

c. Entscheiden Sie, ob die folgenden Aussagen mit der physikalischen Methode beweisbar sind.

Geben Sie eine Begründung für Ihre Einschätzung.

- i. Es gibt Substanzen, die in flüssiger Form eine höhere Temperatur als in fester Form haben.
- ii. Alle Substanzen haben in flüssiger Form eine höhere Temperatur als in fester Form.

Bitte wenden.

Nachtest

2. Aufgabe: Ordnen Sie bitte die folgenden Objekte nach ihrer Entfernung von der Erde:
Sonne, Venus, Polarstern, Mond, Andromeda-Galaxie

Nah _____ Fern

3. Aufgabe: Die Lichtgeschwindigkeit beträgt etwa

300 m/s 300 000 m/s 30 000 km/s 300 000 km/s 3 000 000 km/s unendlich weiß nicht

4. Aufgabe: Kennen Sie den Begriff Lichtjahr?

Ja Nein Weiß nicht

Falls ja, was verstehen Sie darunter?

5. Aufgabe: Falls Sie den Begriff des Spektrums kennen, skizzieren Sie bitte das typische Spektrum eines Gases:

6. Aufgabe: Kennen Sie den Begriff der „Wellenlänge“?

Ja Nein Weiß nicht

Falls ja, markieren Sie die Wellenlänge der folgenden Welle:



7. Aufgabe: In der Kosmologie ist der Begriff der „Rotverschiebung“ von großer Bedeutung. Kennen Sie diesen Begriff?

Ja Nein Weiß nicht

Falls ja, kreuzen Sie bitte die Ihrer Ansicht nach richtige Aussagen an.

a.) die Rotverschiebung ist ...

- eine Verschiebung des blauen in den roten Spektralbereich.
- eine Verschiebung des roten in den blauen Spektralbereich.
- eine Verschiebung des gesamten Spektrums hin zu kleineren Wellenlängen.
- eine Verschiebung des gesamten Spektrums hin zu größeren Wellenlängen.
- eine Verschiebung des roten Spektralbereichs hin zu kleineren Wellenlängen.
- eine Verschiebung des roten Spektralbereichs hin zu größeren Wellenlängen.
- Ich weiß nicht

b.) Die Rotverschiebung der Spektren ferner Galaxien ist ein Indiz für

- die Kontraktion des Universums
- das Alter der Galaxien
- die Expansion des Universums
- die Größe der Galaxien
- die Leuchtkraft der Galaxien
- die Unendlichkeit des Universums
- Ich weiß nicht

Vielen Dank.

Fragebogen N

Code-Name: _____

Kreuzen Sie bitte jeweils das Zutreffende an.

	Mein Interesse daran ist ...				
	sehr groß	groß	mittel	gering	sehr gering
Mehr Informationen darüber erhalten, welchen aktuellen Forschungsfragen Kosmologen nachgehen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Mehr darüber erfahren, wie die Farben von Galaxien zustande kommen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ein leistungsfähiges Spektrometer selbst konstruieren.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ein Modell zur Veranschaulichung der gigantischen Entfernungen im Universum selbst bauen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Berechnen, wie viele Lichtjahre eine Galaxie bei einer bestimmten Rotverschiebung von uns entfernt ist.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Begründen, warum die Rotverschiebung ein Indiz für den Urknall ist.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Weitere Indizien kennenlernen, die auf den Urknall hindeuten.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Mit anderen über die Bedeutung der Kosmologie für unser Weltbild diskutieren.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

	Mein Interesse daran ist ...				
	sehr groß	groß	mittel	gering	sehr gering
Noch mehr über die Merkmale der physikalischen Methode erfahren.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Noch mehr Wissenschaftsphilosophie im Physikunterricht betreiben.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Mehr Informationen darüber erhalten, mit welchen Themen sich Wissenschaftsphilosophen sonst noch beschäftigen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Jemandem erklären, warum sich Physik nicht mit allen Fragen beschäftigt.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Darüber nachdenken, ob eine bestimmte Frage mit der physikalischen Methode beantwortet werden kann oder nicht.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Darüber diskutieren, ob das Universum einen Sinn hat.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Bitte wenden.

Wie ist Ihre Ansicht zu den folgenden Behauptungen?

Uns interessiert Ihre eigene Ansicht sowie diejenige, die Sie bei der Mehrheit der Physiker/innen vermuten.

1. Die Naturwissenschaften werden irgendwann in der Lage sein, alle für die Menschheit bedeutsamen Fragen zu beantworten.

Meine eigene Ansicht	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	trifft ganz genau zu
Ansicht der Physiker/innen	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	trifft ganz genau zu

2. Die Naturwissenschaften können den Sinn des Lebens herausfinden.

Meine eigene Ansicht	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	trifft ganz genau zu
Ansicht der Physiker/innen	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	trifft ganz genau zu

3. Naturwissenschaftliches Wissen ist das mit Abstand wertvollste Wissen.

Meine eigene Ansicht	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	trifft ganz genau zu
Ansicht der Physiker/innen	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	trifft ganz genau zu

4. Ein vernünftiger Mensch sollte nur an Dinge glauben, die naturwissenschaftlich erklärbar sind.

Meine eigene Ansicht	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	trifft ganz genau zu
Ansicht der Physiker/innen	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	trifft ganz genau zu

5. Die Naturwissenschaften werden alle anderen Wissenschaften irgendwann überflüssig machen.

Meine eigene Ansicht	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	trifft ganz genau zu
Ansicht der Physiker/innen	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	trifft ganz genau zu

6. Moralische Vorstellungen sollten naturwissenschaftlich begründet werden.

Meine eigene Ansicht	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	trifft ganz genau zu
Ansicht der Physiker/innen	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	trifft ganz genau zu

7. Nur die Naturwissenschaften können uns zuverlässige Informationen über die Welt liefern.

Meine eigene Ansicht	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	trifft ganz genau zu
Ansicht der Physiker/innen	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	trifft ganz genau zu

8. Nur was man zumindest prinzipiell messen kann, existiert auch tatsächlich.

Meine eigene Ansicht	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	trifft ganz genau zu
Ansicht der Physiker/innen	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	trifft ganz genau zu

9. Physik ist Vorbild für alle anderen Wissensgebiete.

Meine eigene Ansicht	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	trifft ganz genau zu
Ansicht der Physiker/innen	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	trifft ganz genau zu

10. Alles was real ist, kann auch physikalisch beschrieben werden.

Meine eigene Ansicht	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	trifft ganz genau zu
Ansicht der Physiker/innen	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	trifft ganz genau zu

Kreuzen Sie bitte jeweils das Kästchen an, welches für Sie zutrifft.

	Thema Kosmologie			Thema Wissenschaftsphilosophie		
Ich würde über dieses Thema gern noch mehr erfahren.	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	trifft ganz genau zu	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	trifft ganz genau zu
Die Schule würde mir mehr Spaß machen, wenn wir öfter solche Themen behandeln würden.	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	trifft ganz genau zu	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	trifft ganz genau zu
Mit solchen Themen hätte ich mich auch freiwillig gern beschäftigt.	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	trifft ganz genau zu	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	trifft ganz genau zu
Mein Interesse an Physik ist größer geworden, seit wir diesen Stoff durchgenommen haben.	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	trifft ganz genau zu	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	trifft ganz genau zu

a) Was hat Ihnen im Unterricht besonders gut gefallen?

Unterricht Kosmologie	Unterricht Wissenschaftsphilosophie

b) Was hat Ihnen nicht gefallen?

Unterricht Kosmologie	Unterricht Wissenschaftsphilosophie

Bitte wenden.

Anhang A. Anhang

Kreuzen Sie bitte jeweils das Zutreffende an.

Über Inhalte des Physikunterrichts zu reden macht mir Spaß.	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	trifft ganz genau zu
Die Beschäftigung mit den Inhalten des Physikunterrichts hat für mich mit Selbstverwirklichung zu tun.	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	trifft ganz genau zu
Wenn ich genügend Zeit hätte, würde ich mich mit bestimmten Inhalten des Physikunterrichts intensiver beschäftigen.	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	trifft ganz genau zu
Manchmal freue ich mich auf den Physikunterricht.	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	trifft ganz genau zu
Manche Inhalte des Physikunterrichts helfen mir dabei, mein eigenes Weltbild zu formen.	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	trifft ganz genau zu
Das Fach Physik entspricht meinen persönlichen Neigungen.	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	trifft ganz genau zu
Die Inhalte des Physikunterrichts lassen mich innerlich völlig gleichgültig.	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	trifft ganz genau zu
Im Vergleich zu anderen mir wichtigen Dingen messe ich dem Physikunterricht eine sehr geringe Bedeutung bei.	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	trifft ganz genau zu
Manche Inhalte des Physikunterrichts beeinflussen meine Persönlichkeit positiv.	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	trifft ganz genau zu
Physik ist ein Fach, das ich so schnell wie möglich abwählen würde.	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	trifft ganz genau zu

In der Schule geht es mir darum ...							
... etwas Interessantes zu lernen.	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	trifft ganz genau zu
... bessere Noten zu bekommen als andere.	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	trifft ganz genau zu
... dass niemand merkt, wenn ich etwas nicht verstehe.	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	trifft ganz genau zu
... zu Hause keine Arbeiten erledigen zu müssen.	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	trifft ganz genau zu
... komplizierte Inhalte zu verstehen.	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	trifft ganz genau zu
... zu zeigen, dass ich die Inhalte beherrsche.	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	trifft ganz genau zu
... nicht durch dumme Fragen aufzufallen.	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	trifft ganz genau zu
... keine schwierigen Fragen oder Aufgaben lösen zu müssen.	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	trifft ganz genau zu
... zum Nachdenken angeregt zu werden.	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	trifft ganz genau zu
... dass die Anderen merken, wenn ich in Klausuren gut abschneide.	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	trifft ganz genau zu
... nicht zu zeigen, wenn mir eine Aufgabe schwerer fällt als den anderen.	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	trifft ganz genau zu
... mit wenig Arbeit durch die Schule zu kommen.	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	trifft ganz genau zu

1. Aufgabe

- a. Entscheiden Sie, ob die folgenden Aussagen mit der physikalischen Methode nachprüfbar sind. Geben Sie eine Begründung für Ihre Einschätzung.
- i. Die Temperatur ist heute in Hamburg geringer als in München.
 - ii. Die Temperatur ist heute in Hamburg angenehmer als in München.

- b. Entscheiden Sie, ob in den folgenden Fragen nach einer physikalischen Ursache gefragt wird. Geben Sie eine Begründung für Ihre Einschätzung.
- i. Wozu dient ein Thermometer?
 - ii. Worauf ist die Ausdehnung der Flüssigkeit im Thermometer zurückzuführen?

- c. Entscheiden Sie, ob die folgenden Aussagen mit der physikalischen Methode beweisbar sind. Geben Sie eine Begründung für Ihre Einschätzung.
- i. Es gibt Substanzen, die in flüssiger Form eine höhere Temperatur als in fester Form haben.
 - ii. Alle Substanzen haben in flüssiger Form eine höhere Temperatur als in fester Form.

2. Aufgabe

Nehmen Sie zu den folgenden Aussagen Stellung. Verwenden Sie dabei geeignete Merkmale der physikalischen Methode.

- a. Mit der physikalischen Methode hat man herausgefunden, warum es die Ozonschicht gibt.

Bitte wenden.

b. Mit der physikalischen Methode kann man beweisen, dass in Zukunft die Temperatur überall auf der Erde immer weiter abnehmen wird.

c. Mit der physikalischen Methode kann man nachprüfen, wie hoch die Temperatur am Südpol ist.

3. Aufgabe

Diskussion auf dem Pausenhof. Tim: „Die Sonne gibt es, damit wir auf der Erde leben können.“

Max: „Das ist Unsinn. Die Sonne gibt es, weil sich durch die Massenanziehung genügend Materie angesammelt hat.“

Kommentieren Sie die Äußerungen der beiden Schüler aus der Perspektive der physikalischen Methode möglichst genau.

1. Aufgabe

Stellen Sie sich vor, das Sonnensystem hätte einen Durchmesser von einem Zentimeter.

Dann hätte die Milchstraße
etwa die Größe

von Osnabrück

von Niedersachsen

von Deutschland

von Mitteleuropa

des Pazifischen Ozeans

Weiß nicht

2. Aufgabe

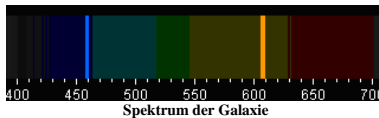
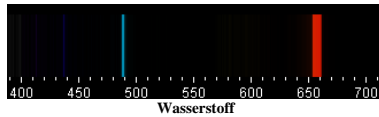
Die Lichtgeschwindigkeit beträgt etwa

300 m/s 300 000 m/s 30 000 km/s 300 000 km/s 3 000 000 km/s unendlich weiß nicht

3. Aufgabe

Der Planet Merkur ist von der Sonne etwa 60 Millionen Kilometer entfernt. Bestimmen Sie diese Entfernung in Lichtsekunden. Bitte geben Sie dabei auch Ihren Rechenweg an.

4. Aufgabe



Ein junger Forscher kommt mit den obigen Spektren zu Ihnen und ruft begeistert: „Habe Rotverschiebung der Galaxie nachgewiesen!“

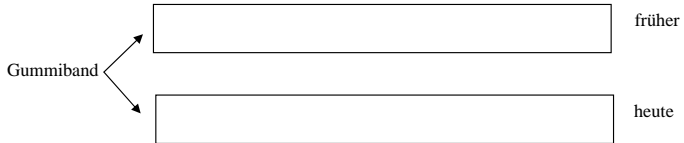
Erläutern Sie, warum dies nicht der Fall sein kann.

Bitte wenden.

Musterlösungen der Tests

5. Aufgabe

Erklären Sie mit Hilfe des Gummimodells, dass der Abstand der Galaxien früher kleiner war als heute. Nutzen Sie die nachfolgende Skizze für Ihre Erklärung.



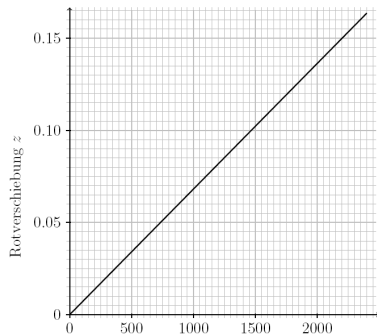
Erklärung:

6. Aufgabe

Eine ferne Galaxie sendet Licht mit einer Wellenlänge von 600 nm aus. Wir empfangen dieses Licht auf der Erde aber bei einer Wellenlänge von 660 nm.

Wie weit ist die Galaxie etwa von der Erde entfernt, wenn man den im Diagramm dargestellten Zusammenhang zwischen Rotverschiebung und Entfernung zugrunde legt?

Antwort:



Entfernung der Galaxien in Millionen Lichtjahren

Geben Sie bitte eine Begründung Ihrer Antwort:

Vielen Dank!

Tests zur Wissenschaftstheorie - Musterlösung

Vortest: Aufgabe 1

Nachtest: Aufgabe 1 - 3

Bewertung

Aufgabe	Punkte
1 a	1
1 b	1
1 c	1
2 a	2
2 b	2
2 c	2
3	3
Gesamtpunktzahl:	12

I. Aufgabe

- a. Entscheiden Sie, ob die folgenden Aussagen mit der physikalischen Methode nachprüfbar sind. Geben Sie eine Begründung für Ihre Einschätzung.
- Die Temperatur ist heute in Hamburg geringer als in München.
 - Die Temperatur ist heute in Hamburg angenehmer als in München.

Die erste Äußerung ist nachprüfbar, die zweite nicht, da es nur im ersten Fall eine Übereinstimmung zwischen allen Personen geben wird.

(1 P.)

- b. Entscheiden Sie, ob in den folgenden Fragen nach einer physikalischen Ursache gefragt wird. Geben Sie eine Begründung für Ihre Einschätzung.
- Wozu dient ein Thermometer?
 - Worauf ist die Ausdehnung der Flüssigkeit im Thermometer zurückzuführen?

In der ersten Frage wird nach einem Zweck und nicht nach einer physikalischen Ursache gefragt. In der zweiten Frage wird nach einer physikalischen Begründung gefragt.

(1 P.)

- c. Entscheiden Sie, ob die folgenden Aussagen mit der physikalischen Methode beweisbar sind. Geben Sie eine Begründung für Ihre Einschätzung.
- Es gibt Substanzen, die in flüssiger Form eine höhere Temperatur als in fester Form haben.
 - Alle Substanzen haben in flüssiger Form eine höhere Temperatur als in fester Form.

Die zweite Aussage ist nicht beweisbar, da es sich um eine Alle-Aussage handelt. Die erste ist beweisbar (sie trifft z. B. bei Wasser zu).

(1 P.)

2. Aufgabe

Nehmen Sie zu den folgenden Aussagen Stellung. Verwenden Sie dabei geeignete Merkmale der physikalischen Methode.

- a. Mit der physikalischen Methode hat man herausgefunden, warum es die Ozonschicht gibt.

Bei Warum-Fragen muss man unterscheiden, ob nach der physikalischen Ursache, oder nach dem Zweck gefragt ist. Im zweiten Fall müsste man besser formulieren: „Wozu gibt es die Ozonschicht?“ Bei der Frage nach der physikalische Ursache wäre die Form „Wie ist die Ozonschicht entstanden?“ sinnvoll.

(2 P.)

- b. Mit der physikalischen Methode kann man beweisen, dass in Zukunft die Temperatur überall auf der Erde immer weiter abnehmen wird.

Die Aussage bezieht sich auf alle Zeitpunkte in der Zukunft auf alle Orte der Erde und ist daher eine „Alle-Aussage“ und damit nicht beweisbar.

(2 P.)

- c. Mit der physikalischen Methode kann man nachprüfen, wie hoch die Temperatur am Südpol ist.

Ist nachprüfbar mit einer Temperaturmessung.

(2 P.)

3. Aufgabe

Diskussion auf dem Pausenhof. Tim: „Die Sonne gibt es, damit wir auf der Erde leben können.“ Max: „Das ist Unsinn. Die Sonne gibt es, weil sich durch die Massenanziehung genügend Materie angesammelt hat.“

Kommentieren Sie die Äußerungen der beiden Schüler aus der Perspektive der physikalischen Methode möglichst genau.

Tim nennt einen Zweck der Sonne. Solche Aussagen sind nicht Gegenstand der physikalischen Methode. Die Bewertung der Äußerung von Tim ist eine persönliche Überzeugung, und kann nicht durch die physikalische Methode begründet werden. Die fachliche Aussage von Max (Materieansammlung) ist hingegen Gegenstand der physikalischen Methode.

(3 P.)

Vorwissenstest Kosmologie - Musterlösung

2.) Ordnen Sie bitte die folgenden Objekte nach ihrer Entfernung von der Erde:
Sonne, Venus, Polarstern, Mond, Andromeda-Galaxie

1 Pkt

Nah Mond, Venus, Sonne, Polarstern, Andromeda-Galaxie Fern
(Mond, Sonne, Venus, Polarstern, Andromeda-Galaxie)

3.) Die Lichtgeschwindigkeit beträgt etwa

- 300 m/s 300 000 m/s 30 000 km/s 300 000 km/s 3 000 000 km/s unendlich weiß nicht

1 Pkt

4.) Kennen Sie den Begriff Lichtjahr?

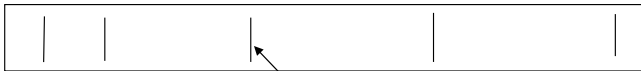
- Ja
 Nein
 Weiß nicht

Falls ja, was verstehen Sie darunter?

Ein Lichtjahr ist die Strecke, die das Licht in einem Jahr im Vakuum zurücklegt.

1 Pkt

5.) Falls Sie den Begriff des Spektrums kennen, skizzieren Sie bitte das typische Spektrum eines Gases:



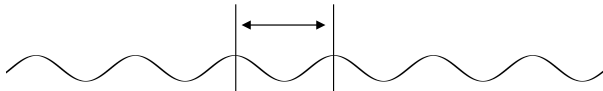
1 Pkt

Spektrallinien

6.) Kennen Sie den Begriff der „Wellenlänge“?

- Ja
 Nein
 Weiß nicht

Falls ja, markieren Sie die Wellenlänge der folgenden Welle:



1 Pkt

7.) In der Kosmologie ist der Begriff der „Rotverschiebung“ von großer Bedeutung. Kennen Sie diesen Begriff?

- Ja
 Nein
 Weiß nicht

Falls ja, kreuzen Sie bitte die Ihrer Ansicht nach richtige Aussagen an.

a.) die Rotverschiebung ist ...

- eine Verschiebung des blauen in den roten Spektralbereich.
 eine Verschiebung des roten in den blauen Spektralbereich.
 eine Verschiebung des gesamten Spektrums hin zu kleineren Wellenlängen.
 eine Verschiebung des gesamten Spektrums hin zu größeren Wellenlängen.
 eine Verschiebung des roten Spektralbereichs hin zu kleineren Wellenlängen.
 eine Verschiebung des roten Spektralbereichs hin zu größeren Wellenlängen.
 Ich weiß nicht

1 Pkt

b.) Die Rotverschiebung der Spektren ferner Galaxien ist ein Indiz für

- die Kontraktion des Universums
 das Alter der Galaxien
 die Expansion des Universums
 die Größe der Galaxien
 die Leuchtkraft der Galaxien
 die Unendlichkeit des Universums
 Ich weiß nicht

1 Pkt

Bewertung

Aufgabe	Lösung	Punkte
2	Mond, Venus, Sonne, Polarstern, Andromeda-Galaxie ¹	1
3	300 000 m/s	1
4	Ein Lichtjahr ist die Strecke, die das Licht in einem Jahr im Vakuum zurücklegt.	1
5	Zeichnung der Spektrallinien	1
6	Zeichnung: Markierung des Abstandes der Wellenberge	1
7 a)	a) Rotverschiebung ist eine Verschiebung des gesamten Spektrums hin zu größeren Wellenlängen.	1
7 b)	b) Die Rotverschiebung der Spektren ferner Galaxien ist ein Indiz für die Expansion des Universums.	1
Gesamtpunktzahl:		7

¹ Die Lösung dieser Aufgabe ist leider nicht eindeutig, wie nachträglich bemerkt wurde. Befindet sich die Venus in oberer Konjunktion, so ist die Reihenfolge Mond, Sonne, Venus, Polarstern, Andromeda-Galaxie korrekt. Diese Lösung wurde daher ebenfalls als richtig bewertet.

Test nach Kosmologie - Musterlösung

1.) Stellen Sie sich vor, das Sonnensystem hätte einen Durchmesser von einem Zentimeter.

Dann hätte die Milchstraße etwa die Größe

- von Osnabrück von Niedersachsen von Deutschland von Mitteleuropa des Pazifischen Ozeans Weiß nicht

1 Pkt

2.) Die Lichtgeschwindigkeit beträgt etwa

- 300 m/s 300 000 m/s 30 000 km/s 300 000 km/s 3 000 000 km/s unendlich weiß nicht

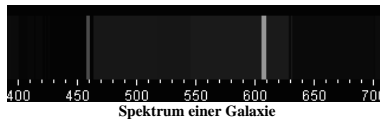
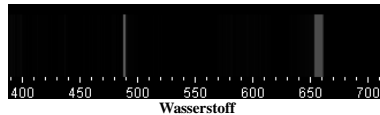
1 Pkt

3.) Der Planet Merkur ist von der Sonne etwa 60 Millionen Kilometer entfernt. Bestimmen Sie diese Entfernung in Lichtsekunden. Bitte geben Sie dabei auch Ihren Rechenweg an.

60 000 000 km / 300 000 km/s = 200 Sekunden. D.h. die Entfernung beträgt 200 Ls.

2 Pkt

4.)



Ein junger Forscher kommt mit den obigen Spektren zu Ihnen und sagt: „Habe Rotverschiebung der Galaxie nachgewiesen!“

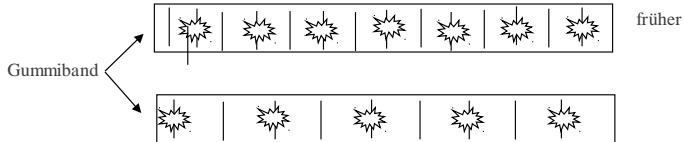
Erläutern Sie, warum dies nicht der Fall sein kann.

Die Spektrallinien sind zu kleineren Wellenlängen hin verschoben. Im Fall einer

Rotverschiebung müssten sie zu größeren Wellenlängen hin verschoben sein.

2 Pkt

5.) Erklären Sie mit Hilfe des Gummimodells, dass der Abstand der Galaxien früher kleiner war als heute. Nutzen Sie die nachfolgende Skizze für Ihre Erklärung.



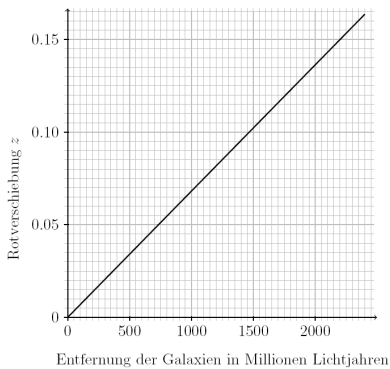
Erklärung:

2 Pkt

Der Raum zwischen den Galaxien dehnt sich aus. Dadurch vergrößert sich deren Abstand.

6.) Eine ferne Galaxie sendet Licht mit einer Wellenlänge von 600 nm aus. Wir empfangen dieses Licht auf der Erde aber bei einer Wellenlänge von 660 nm.

Wie weit ist die Galaxie etwa von der Erde entfernt, wenn man den im Diagramm dargestellten Zusammenhang zwischen Rotverschiebung und Entfernung zugrunde legt?



Antwort:

Etwa 1,5 Milliarden Lichtjahre.

Geben Sie bitte eine Begründung Ihrer Antwort:

Die Rotverschiebung des Lichtes ist

$z = (660 \text{ nm} - 600 \text{ nm}) / 600 \text{ nm} = 0,1$.

Gemäß dem Diagramm entspricht diese

Rotverschiebung einer Entfernung von 1500

Millionen bzw. 1,5 Milliarden Lichtjahren.

2 Pkt

Bewertung

Aufgabe	Lösung	Punkte
1	Dann hätte die Milchstraße etwa die Größe von Deutschland.	1
2	300 000 m/s	1
3	60 000 000 km/300 000 km/s = 200 Sekunden.	1
	D.h. die Entfernung beträgt 200 Ls.	1
4	Die Spektrallinien sind zu kleineren Wellenlängen hin verschoben.	1
	Im Fall einer Rotverschiebung müssten die beiden Spektrallinien zu größeren Wellenlängen hin verschoben sein.	1
5	Zeichnung: Abstand der Galaxien vergrößert sich in gleicher Weise wie sich das Gummiband dehnt	1
	Der Raum zwischen den Galaxien dehnt sich aus. Dadurch vergrößert sich deren Abstand.	1
6	Ergebnis: Etwa 1,5 Milliarden Lichtjahre.	1
	Erklärung: Die Rotverschiebung des Lichtes ist $z = (660 \text{ nm} - 600 \text{ nm})/600 \text{ nm} = 0,1$. Gemäß dem Diagramm entspricht diese Rotverschiebung einer Entfernung von 1500 Millionen bzw. 1,5 Milliarden Lichtjahren.	1
Gesamtpunktzahl:		10

**A.2. Materialien zur Skala 'Reichweite der
Naturwissenschaften'**

A.2.1. Manual zur Skala 'Reichweite der Naturwissenschaften'

Manual zur Skala 'Reichweite der Naturwissenschaften'

Vorbemerkung: Alle nachfolgend beschriebenen Standpunkte beziehen sich auf die Naturwissenschaften und ihre Methoden. Sowohl für den Begriff der Naturwissenschaft als auch den der naturwissenschaftlichen Methode existieren jedoch keine allgemein anerkannten Definitionen¹. Dies führt zu einer unvermeidlichen Ambivalenz. Im Folgenden sollen als Naturwissenschaften diejenigen Wissenschaften angesehen werden, die inhaltlich und methodisch den klassischen Naturwissenschaften Physik, Chemie und Biologie sehr nahe stehen. Typische Merkmale der Methodologie sind etwa die Forderung nach intersubjektiver Prüfbarkeit, logischer Konsistenz und empirischer Testbarkeit ihrer Behauptungen. Die nachfolgend für die einzelnen Standpunkte gegebene Beschreibungen und Abgrenzungen orientieren sich an Stenmark (1997).

Wissenschaft

Wissenschaft-Reduktion-1, Wissenschaft-Reduktion-2 und Wissenschaft-Reduktion-3 beziehen sich auf die mögliche Reduktion der Inhalte und Ergebnisse anderer Wissenschaften (z.B. Geistes- oder Sozialwissenschaften) auf die Naturwissenschaften bzw. die Physik. Wissenschaft-Methode bezieht sich auf die Methoden und Kriterien der Erkenntnisgewinnung.

Wissenschaft-Reduktion-1

Alle akademischen Disziplinen können auf die NW zurückgeführt werden.

Beschreibung

Inhalte und Resultate aller Wissenschaften können vollständig auf die Naturwissenschaften zurückgeführt werden, d.h. sie können in die Termini naturwissenschaftlicher Theorien übersetzt und mittels dieser beschrieben bzw. erklärt werden. Sofern dies heute noch nicht der Fall ist, werden entsprechende Begriffsbildungen zukünftig zur Verfügung stehen.

Abgrenzung

Es geht hier vorrangig um wissenschaftliche Sachverhalte, während Gesellschaft-Epistemologisch bis Gesellschaft-Umfassend Wissen jeder Art und Herkunft umfassen. Im Unterschied zu Wissenschaft-Methode bezieht sich Wissenschaft-Reduktion1 auf Inhalte der Wissenschaften und nicht auf den Methoden der Erkenntnisgewinnung.

Beispiel

Sozialwissenschaftliche Forschungsergebnisse werden sich in Zukunft vollständig auf die Erkenntnisse der Biologie zurückführen lassen.

Wissenschaft-Reduktion-2

Alle NW könne auf die Physik zurückgeführt werden.

Inhalte und Resultate aller Naturwissenschaften können vollständig auf die Physik zurückgeführt werden, d.h. sie können in physikalische Termini übersetzt und mittels physikalischer Theorien beschrieben bzw. erklärt werden. Sofern dies heute noch nicht der Fall ist, wird es zukünftig möglich sein.

Im Vergleich zu Wissenschaft-Reduktion-1 geht es hier lediglich um die Naturwissenschaften, die zurückführbar sein sollen. Eine Verschärfung bezüglich Wissenschaft-Reduktion-1 besteht in der Reduzierbarkeit auf eine einzige Naturwissenschaft, die Physik.

Die Neurophysiologie ist auf die Physik zurückführbar.

¹ Diese wären vermutlich auch weder möglich noch sinnvoll.

Zweifelsfälle	Sachverhalte und Fragestellungen gelten als wissenschaftlich, sofern sie Gegenstand wissenschaftlichen Interesses sind. Dies schließt nicht aus, dass sie z. B. auch im Alltag häufig diskutiert werden (Beispiel: „Was ist die Liebe?“).	Auch Teile z. B. der Psycho- oder der Soziologie verwenden naturwissenschaftliche Forschungsmethoden. Im Zweifel sind nur solche Wissenschaften als Naturwissenschaften zählen, die ausschließlich eine naturwissenschaftliche Methodologie (stehe Vorbemerkung) anerkennen.
Wissenschaft-Reduktion-3	<i>Die gesamte Physik lässt sich auf die Mikrophysik zurückführen.</i>	Wissenschaft-Methode <i>Alle Wissenschaften sollten ausschließlich naturwissenschaftliche Methoden der Erkenntnisgewinnung verwenden.</i>
Beschreibung	Jedes physikalische System lässt sich in räumliche Subsysteme aufteilen, z. B. Atome oder Elementarteilchen. Das Verhalten des Gesamtsystems lässt sich dann vollständig durch die Eigenschaften und die Wechselwirkung dieser Teilsysteme verstehen und beschreiben. Alle physikalischen Phänomene lassen sich auf die Theorie der kleinsten Bausteine der Materie zurückführen.	Alle Wissenschaften, insbesondere auch die Geisteswissenschaften, sollten die gleichen Kriterien an ihre Forschung anlegen wie die Naturwissenschaften. Zum Beispiel sollten ihre Ergebnisse intersubjektiv testbar sein.
Abgrenzung	Diese Position behauptet die logische Zurückführbarkeit aller physikalischen Disziplinen auf eine physikalische Theorie (hier als 'Mikrophysik' bezeichnet). Sie bezieht sich also nur auf physikalische Disziplinen.	Im Vergleich zu Wissenschaft-Reduktion1 und Wissenschaft-Reduktion2 geht es hier nicht um eine Einschätzung des Vermögens der Naturwissenschaften die Ergebnisse anderer Wissenschaften zu beschreiben oder zu erklären. Vielmehr wird eine Beschränkung dessen gefordert, was als wissenschaftlich anerkannt werden sollte. Im Vergleich zur umfassenderen Aussage Gesellschaft-Rational bezieht sich diese Forderung jedoch nur auf die Wissenschaften.
Beispiel	Alle Naturphänomene sind auf die Mikrophysik zurückführbar.	Alle soziologischen Methoden sollten Ergebnisse hervorbringen, die empirisch testbar sind.
Zweifelsfälle		Items, die zu Wissenschaft-Methode oder Gesellschaft-Rational passen und die Bezeichnungen <i>glaubwürdig</i> oder <i>sinnvoll</i> enthalten, sollten Gesellschaft-Rational zugeordnet werden.

Gesellschaft

Die Positionen Gesellschaft-Epistemologisch bis Gesellschaft-Umfassend beziehen sich auf jede (nicht notwendigerweise wissenschaftliche) Art von Erkenntnis oder Wissen, die der Mensch erlangen kann.

Gesellschaft-Epistemologisch

Nur über diejenigen Bereiche der Wirklichkeit, die mit naturwissenschaftlichen Methoden zugänglich sind, können wir etwas zuverlässig wissen.

Beschreibung

Jede Art von Erkenntnis muss den Kriterien der Naturwissenschaften genügen, um als zuverlässig gelten zu können. Subjektives Wissen, das von anderen nicht überprüft werden kann, genügt dieser Anforderung beispielsweise nicht.

Abgrenzung

Während es in Wissenschaft-Methode gefordert wird, was die Wissenschaft anerkennen sollte, geht es hier darum, was das Individuum zuverlässig wissen kann. Dies ist zu unterscheiden von Gesellschaft-Rational, wo es darum geht, was das Individuum vernünftigerweise als wahr anerkennen sollte.

Beispiel

Jede Art von Wissen muss eindeutig und widerspruchsfrei formulierbar sein.

Zweifelsfälle

Items, die auch zu Wissenschaft-Methode passen, aber keinen expliziten Bezug zur Wissenschaft in ihrer Formulierung haben, werden Gesellschaft-Epistemologisch zugeordnet. Items, die auch zu Gesellschaft-Rational passen und die Zeichnungen glaubwürdig oder sinnvoll enthalten, werden Gesellschaft-Rational zugeordnet.

Gesellschaft-Rational

Vernünftig ist nur, was naturwissenschaftlich bewiesen oder bekannt ist.

Vernünftigerweise sollte man nur an naturwissenschaftlich fundierte Erkenntnisse glauben. An andere 'Wahrheiten' zu glauben, die nicht von den Naturwissenschaften nahe gelegt werden, oder sogar im Widerspruch zu ihnen stehen, kann nicht als vernünftig oder sinnvoll angesehen werden.

Dieser Standpunkt kann als Verschärfung von Gesellschaft-Epistemologisch aufgefasst werden. Nur an das, was im Sinne von Gesellschaft-Epistemologisch als zuverlässig anzusehen ist, sollte ein rational handelnder Mensch glauben. Dies ist zu unterscheiden von Gesellschaft-Axiologisch-1, wo eine Bewertung verschiedener Arten von Wissen vorgenommen wird.

Jede Art von Wissen muss eindeutig und widerspruchsfrei formulierbar sein.

Items, die auch zu Gesellschaft-Epistemologisch passen und die Zeichnungen glaubwürdig oder sinnvoll enthalten, werden Gesellschaft-Rational zugeordnet.

Gesellschaft-Ontologisch-1

Die Naturwissenschaften definieren, was existiert.

Gesellschaft-Ontologisch-2

Nur physikalische Objekte sind real – alles (Leben, Bewusstsein, Moral, Religion etc.) kann mit Hilfe physikalischer Begriffe und Entitäten beschrieben und erklärt werden.

Beschreibung	<p>Es gibt keine Realität außerhalb des naturwissenschaftlich Beschreibbaren. Es existiert kein Aspekt der Wirklichkeit, der den Naturwissenschaften nicht zugänglich wäre.</p>	<p>Alle Elemente der Realität haben physikalischen Charakter. Die Physik hat auch innerhalb der Naturwissenschaften eine Sonderstellung. Sie definiert, was tatsächlich existiert.</p>
Abgrenzung	<p>Dieser Standpunkt kann als erkenntnistheoretische Erweiterung von Gesellschaft-Epistemologisch aufgefasst werden: Die Naturwissenschaften definieren nicht nur, was der Mensch über die Realität wissen kann (Gesellschaft-Epistemologisch), sie sind auch in der Lage diese prinzipiell vollständig zu erfassen.</p>	<p>Gesellschaft-Ontologisch-2 ist eine Verschärfung von naturwissenschaftlichen Realität auf die physikalische Realität. Dies ist analog zur Verschärfung von Wissenschaft-Reduktion-1 auf Wissenschaft-Reduktion-2, allerdings wird hier der ontologische Aspekt („Welche ‚Dinge‘ sind real?“) hervorgehoben.</p> <p>Die Naturwissenschaften definieren nicht nur, was der Mensch über die Realität wissen kann (Gesellschaft-Epistemologisch), sie sind auch in der Lage diese prinzipiell vollständig zu erfassen.</p>
Beispiel	<p>Alle Aspekte des menschlichen Bewusstseins sind naturwissenschaftlich ergründbar.</p>	<p>Das menschliche Bewusstsein ist nichts anderes als ein physikalisches System.</p>
Zweifelsfälle	<p>Items, die auch zu Gesellschaft-Epistemologisch passen, werden Gesellschaft-Ontologisch-1 zugeordnet, sofern sie eine ontologische Aussage („was existiert?“) machen. Items, die auch zu Gesellschaft-Ontologisch-2 passen, werden Gesellschaft-Ontologisch-2 zugeordnet, sofern sie eine explizite Aussage über die physikalische Natur von Elementen der Realität machen.</p>	<p>Items, die auch zu Gesellschaft-Ontologisch-1 passen, werden Gesellschaft-Ontologisch-2 zugeordnet, sofern sie eine explizite Aussage über die physikalische Natur von Elementen der Realität machen.</p>
Gesellschaft-Axiologisch-1		Gesellschaft-Axiologisch-2
Beschreibung	<p><i>Naturwissenschaften sind das einzig Wertvolle. Alle anderen Bereiche des Lebens sind dagegen unbedeutend.</i></p> <p>Der bedeutendste Aspekt des menschlichen Lebens ist die Beschäftigung mit den Naturwissenschaften. Andere Bereiche, wie z. B. soziale Beziehungen, Politik oder Sport sind im Vergleich dazu unwichtig.</p>	<p><i>Moral kann naturwissenschaftlich erklärt werden. Die naturwissenschaftliche Ethik sollte die traditionelle Ethik ersetzen.</i></p> <p>Die Naturwissenschaft (zum Beispiel die Evolutionstheorie) kann moralisches Verhalten erklären und sollte zukünftig die einzige oder zumindest die wichtigste Quelle für die Entwicklung ethischer Normen sein.</p>

Abgrenzung	Es handelt sich hier nicht (wie etwa bei Gesellschafts-Epistemologisch oder Gesellschaft-Ontologisch-1) um eine erkenntnistheoretische Position, sondern um ein Werturteil über die Bedeutung verschiedener Aspekte des menschlichen Lebens.	In der Position Wissenschaft-Methode wird die ausschließliche Anwendung naturwissenschaftlicher Methoden in allen Wissenschaften gefordert. Hier wird diese Forderung speziell für die Ethik erhoben. Sie bezieht jedoch nicht nur auf akademisch diskutierte Normensysteme ein, sondern auch auf die tatsächlich in der Gesellschaft gültigen moralischen Regeln.
Beispiel	Im Vergleich zur Physik ist die Musik unwichtig.	Naturwissenschaftlich ermittelte moralische Regeln sollten die traditionellen Regeln ersetzen.
Zweifelsfälle	Items, die zu Gesellschaft-Axiologisch1 und Gesellschaft-Axiologisch2 passen werden Gesellschaft-Axiologisch2 zugeordnet, sofern sie sich explizit auf Ethik oder Werte beziehen.	Items, die auch zu Wissenschaft-Reduktion und Wissenschaft-Methode passen, werden Gesellschaft-Axiologisch-2 zugeordnet, sofern sie explizit auf Ethik oder moralisches Handeln beziehen.
Gesellschaft-Religiös		
<i>Die Naturwissenschaft kann alle religiösen und weltanschaulichen Fragen hinreichend beantworten.</i>		
Beschreibung	Alle religiös-weltanschaulichen Fragen (z. B. Hat das Leben/Universum Sinn oder ein Ziel? Gibt es einen Schöpfer?) können von den Naturwissenschaften untersucht und beantwortet werden. Sie können daher Religionen auch hinsichtlich ihrer sinnstiftenden Funktion vollständig ersetzen.	<i>Die Naturwissenschaft kann und wird in der Zukunft alle, oder fast alle, bedeutsamen Fragen beantworten können.</i>
Abgrenzung	Zählt man auch ethische Fragen zu den religiös-weltanschaulichen, so kann Gesellschaft-Religiös als Erweiterung von Gesellschaft-Axiologisch-2 aufgefasst werden. Gesellschaft-Religiös ist ein Spezialfall von Gesellschaft-Umfassend.	Die Naturwissenschaft hat keine prinzipiellen Grenzen. Sie hat das Vermögen in der Zukunft alle wichtigen theoretischen Fragen beantworten und Lösungen für all unsere praktischen Probleme liefern zu können.
Beispiel	Die Naturwissenschaften können ermitteln, ob es ein Leben nach dem Tod gibt.	Wie auch Wissenschaft-Reduktion-1 und Gesellschaft-Religiös beschreibt Gesellschaft-Umfassend die Leistungsfähigkeit der Naturwissenschaften. Erstere können als Spezialfälle von Gesellschaft-Umfassend angesehen werden.
Für jedes Problem gibt es eine naturwissenschaftliche Lösung.		

Zweifelsfälle

Items, die auch zu Gesellschaft-Axiologisch2 passen, werden Gesellschaft-Axiologisch-2 zugeordnet, sofern sie explizit auf Ethik oder moralisches Handeln beziehen. Items, die auch zu Gesellschaft-Umfassend passen, werden Gesellschaft-Religiös zugeordnet, sofern sie explizit auf religiös-weltanschaulichen Fragen beziehen.

Passende Items, die sich explizit auf wissenschaftliche Fragen beziehen, werden Wissenschaft-Reduktion-1 zugeordnet. Passende Items, die sich explizit auf religiös-weltanschaulichen Fragen beziehen., werden Gesellschaft-Religiös zugeordnet.

A.2.2. Fragebogen zur Validierung der Verständlichkeit

A.2.3. Zuordnung der Items zu den Szientismus-Varianten

Zuordnung der 66 Items des Vorfragebogens zu den Varianten des Szientismus. Als 'invertiert' sind negativ gepolte, also das Konstrukt verneinende Items gekennzeichnet. Die Zahlen in Klammern geben die Position der Items auf dem Vorfragebogen wieder. In der statistischen Auswertung (siehe Anhang A.2.4) sind die Messvariablen der Items mit dem Kürzel der Szientismus-Varianten und der Listennummer gekennzeichnet. 'w_red_1_S3' bzw. 'w_red_1_P3' bezeichnen z. B. die Messvariablen zum Item 'Menschliche Empfindungen, ...' (S steht für die eigene, P für die bei Physikern vermutete Ansicht).

Wissenschaft-Reduktion-1 (w_red_1)

Alle akademischen Disziplinen können auf die Naturwissenschaften zurückgeführt werden.

1. Die Naturwissenschaften werden zukünftig die Grundlage jeder anderen Wissenschaft bilden. (1)
 2. Das Handeln der Menschen ist vollständig auf die Naturgesetze zurückführbar. (12)
 3. Menschliche Empfindungen, wie Liebe oder Hass, sind im Prinzip vollständig durch biologische, chemische und physikalische Vorgänge beschreibbar. (23)
 4. Das Sozialverhalten des Menschen lässt sich vollständig biologisch erklären. (33)
 5. Die Naturwissenschaften werden alle anderen Wissenschaften irgendwann überflüssig machen. (45)
- invertiert:
6. Die menschliche Psyche wird von den Naturwissenschaften niemals vollständig erfasst werden können. (34)
 7. Es gibt wissenschaftliche Fragen, die die Naturwissenschaften niemals werden beantworten können. (57)

Wissenschaft-Reduktion-2 (w_red_2)

Alle Naturwissenschaften können auf die Physik zurückgeführt werden.

A.2. Materialien zur Skala 'Reichweite der Naturwissenschaften'

1. Eines Tages wird die Physik auch das Verhalten von Lebewesen vollständig beschreiben und erklären können. (2)
2. Alle biologischen Vorgänge sind vollständig physikalisch erklärbar. (13)
3. Die Gesetze der Chemie sind im Prinzip auf die Gesetze der Physik zurückführbar. (24)
4. Eines Tages werden alle naturwissenschaftlichen Beobachtungen mit den Gesetzen der Physik erklärt werden. (35)
invertiert:
 5. Bestimmte biologische Eigenschaften wird die Physik niemals erklären können. (46)
 6. Es gibt Gesetze der Chemie, die nicht aus der Physik folgen. (58)

Wissenschaft-Methode (w_meth)

Alle Wissenschaften sollten ausschließlich naturwissenschaftliche Methoden der Erkenntnisgewinnung verwenden.

1. Eine Aussage ist nur dann wissenschaftlich, wenn sie objektiv überprüfbar, d.h. von anderen Wissenschaftlern getestet und bestätigt werden kann. (3)
2. Für alle Wissenschaften, z.B. auch Soziologie oder Psychologie sollte gelten, dass ihre Aussagen experimentell prüfbar sind. (14)
3. Alle wissenschaftlichen Theorien müssen logisch widerspruchsfrei sein. (25)
4. Physik ist Vorbild für alle anderen Wissensgebiete. (36)
invertiert:
 5. Jede Wissenschaft hat ihre eigenen Methoden. All diese Methoden haben die gleiche Existenzberechtigung. (47)
 6. Kunst sollte nicht nur mit naturwissenschaftlichen Methoden untersucht werden. (59)

Gesellschaft-Epistemologisch (w_epis)

Nur über diejenigen Bereiche der Wirklichkeit, die mit naturwissenschaftlichen Methoden zugänglich sind, können wir etwas zuverlässig wissen.

Anhang A. Anhang

1. Wissen ist nur dann zuverlässig, wenn es mit Hilfe von Experimenten überprüft werden kann. (4)
2. Nur die Naturwissenschaften können uns zuverlässige Informationen über die Welt liefern. (15)
3. Alles was die Menschen sicher über die Realität wissen können, folgt aus den Naturwissenschaften. (26)

invertiert:

4. Neben den Ergebnissen der Naturwissenschaften gibt es noch anderes Wissen, das genauso zuverlässig ist. (37)
5. Es gibt Wahrheiten, die nicht naturwissenschaftlich überprüft werden können. (48)
6. Ein Mensch kann etwas sicher wissen, auch wenn es von anderen Menschen nicht überprüfbar ist. (60)

Gesellschaft-Rational (w_rati)

Vernünftig ist nur, was naturwissenschaftlich bewiesen oder bekannt ist.

1. Es ist unvernünftig an die Existenz von Außerirdischen zu glauben, solange es dafür keine gesicherten Beweise gibt. (5)
2. An Liebe zu glauben ist unvernünftig, sofern es keine naturwissenschaftliche Belege für sie gibt. (16)
3. Es ist unvernünftig an Wunder zu glauben. (27)
4. Ein vernünftiger Mensch sollte nur an Dinge glauben, die naturwissenschaftlich erklärbar sind. (38)

invertiert:

5. Auch wenn die Existenz Gottes naturwissenschaftlich nicht beweisbar ist, kann es vernünftig sein, an ihn zu glauben. (49)
6. Eine Idee kann vernünftig sein, auch wenn sie nicht wissenschaftlich beweisbar ist. (61)

Gesellschaft-Ontologisch-1 (w_ont_1)

Die Naturwissenschaften definieren, was existiert.

1. Ob Gott existiert, ist eine naturwissenschaftliche Frage. (6)

2. Schönheit ist eine subjektive Empfindung, sie existiert daher nicht wirklich, sondern nur in unserer persönlichen Vorstellung. (17)
3. Nur was man zumindest prinzipiell messen kann, existiert auch tatsächlich. (28)
4. Gefühle, wie z. B. Liebe oder Schmerz, sind Illusion, sofern sie mit naturwissenschaftlichen Methoden nicht nachweisbar sind. (39)
5. Nur Dinge, die durch die Naturwissenschaften erklärt werden können, existieren wirklich. (50,51)

invertiert:

6. Es existieren Dinge im Universum, die die Naturwissenschaft niemals beschreiben können wird. (62)

Gesellschaft–Ontologisch-2 (w_ont_2)

Nur physikalische Objekte sind real – alles (Leben, Bewusstsein, Moral, Religion etc.) kann mit Hilfe physikalischer Begriffe und Entitäten beschrieben und erklärt werden.

1. Real sind eigentlich nur physikalische Objekte, wie z. B. Atome. Alles andere existiert nur in unserer Einbildung. (7)
2. Ein Musikkonzert ist nichts anderes als Schallschwingungen. (18)
3. Ein Regenbogen ist nichts anderes als Lichtwellen. (29)
4. Alles was real ist, kann auch physikalisch beschrieben werden. (40)

invertiert:

5. Ideen können genauso real sein wie physikalische Objekte. (52)
6. Kunstwerke haben Eigenschaften, die physikalisch nicht beschreibbar sind. (63)

Gesellschaft–Axiologisch-1 (w_axi_1)

Naturwissenschaften sind das einzig Wichtige und Wertvolle. Alle anderen Bereiche des Lebens sind dagegen unbedeutend.

1. Alles, was nicht mit Formeln beschreibbar ist, ist nichts wert. (8)
2. Im Vergleich zur Physik ist Poesie unwichtig. (19)
3. Naturwissenschaftliches Wissen ist das mit Abstand wertvollste Wissen. (30)

invertiert:

4. Die Naturwissenschaften haben überwiegend Schaden angerichtet. (41)
5. Literatur ist genauso wichtig wie Naturwissenschaft. (53)
6. Die Erfahrung der Liebe ist im Leben wichtiger als Kenntnisse der Naturwissenschaften. (64)

Gesellschaft–Axiologisch-2 (w_axi_2)

Moral kann naturwissenschaftlich erklärt werden. Die naturwissenschaftliche Ethik sollte die traditionelle Ethik ersetzen.

1. Moralische Vorstellungen sollten naturwissenschaftlich begründet werden. (9)
2. Die Naturwissenschaft kann herausfinden, wie sich der Mensch moralisch richtig verhalten sollte. (20)
3. Ethische Normen werden sich in Zukunft naturwissenschaftlich begründen lassen. (31)
4. Durch Tradition oder Religion festgelegte Moralvorstellungen sollten Schritt für Schritt durch naturwissenschaftlich begründete moralische Werte ersetzt werden. (42)

invertiert:

5. Die Naturwissenschaften können nichts über moralische Werte aussagen. (54)
6. Werte und Normen könne nicht allein aus den Naturwissenschaften abgeleitet werden. (65)

Gesellschaft–Religiös (w_reli)

Die Naturwissenschaft kann alle religiösen und weltanschaulichen Fragen hinreichend beantworten.

1. Die Naturwissenschaften können herausfinden, ob das Leben einen Sinn hat. (10)
2. Die Naturwissenschaften können den Sinn des Lebens herausfinden. (21)
3. Die Naturwissenschaften werden irgendwann herausfinden, ob es Gott gibt. (32)

4. Die Naturwissenschaften können herausfinden, ob das Universum erschaffen wurde. (43)
5. Die Naturwissenschaften werden Religion irgendwann überflüssig machen. (55)
6. Die Naturwissenschaften können herausfinden, wozu es Menschen gibt. (66)

Gesellschaft-Umfassend (w_umfa)

Die Naturwissenschaft kann und wird in der Zukunft alle, oder fast alle, bedeutsamen Fragen beantworten können.

1. Die Naturwissenschaften werden irgendwann in der Lage sein, alle für die Menschheit bedeutsamen Fragen zu beantworten. (11)
2. Im Prinzip kann jede Frage mit naturwissenschaftlichen Methoden untersucht und beantwortet werden. (22)
3. Die Welt kann mit naturwissenschaftlichen Methoden prinzipiell vollständig verstanden werden. (44)
4. Im Prinzip hat alles eine naturwissenschaftliche Erklärung. (56)
invertiert:
5. Es gibt persönlich wichtige Fragen, die die Naturwissenschaft nicht beantworten kann. (67)

A.2.4. Der Vorfragebogen

Der Vorfragebogen

A.2.5. Leitfaden für die Interviews zur Validierung der Skala 'Reichweite der Naturwissenschaften'

A.2.6. Statistische Daten zum Vorfragebogen

Soweit nicht anders angegeben, werden in den folgenden Tabellen stets polychorische Korrelationen verwendet².

² berechnet mit der Prozedur 'polychoric' des 'psych'-Pakets (Revelle, 2013b).

Tab. A.7. Der Prä-Fragebogen

Item	Schüler ^a				Physiker ^b			
	N	P ^c	SD ^d	r.corr ^e	N	P	SD	r.corr
w_red1_1	840	0.51	1.03	0.29	835	0.78	0.90	0.31
w_red1_2	844	0.37	1.15	0.43	840	0.62	1.12	0.44
w_red1_3	842	0.36	1.33	0.56	840	0.66	1.17	0.47
w_red1_4	843	0.39	1.18	0.48	841	0.62	1.09	0.45
w_red1_5	844	0.19	0.96	0.61	843	0.52	1.20	0.60
w_red1_6	841	0.22	1.10	0.49	840	0.50	1.15	0.38
w_red1_7	840	0.29	1.16	0.45	838	0.58	1.19	0.43
w_red2_1	843	0.39	1.17	0.31	836	0.68	1.05	0.35
w_red2_2	842	0.44	1.13	0.36	839	0.66	1.15	0.42
w_red2_3	839	0.57	1.01	0.30	835	0.73	1.02	0.36
w_red2_4	839	0.46	1.08	0.44	836	0.74	0.95	0.48
w_red2_5	842	0.30	1.17	0.40	842	0.56	1.19	0.39
w_red2_6	838	0.41	1.10	0.23	830	0.52	1.14	0.21
w_meth_1	841	0.79	1.06	0.14	841	0.84	0.92	0.17
w_meth_2	836	0.35	1.24	0.43	833	0.60	1.14	0.39
w_meth_3	838	0.63	1.26	0.20	835	0.76	1.18	0.31
w_meth_4	844	0.34	1.09	0.51	841	0.73	1.03	0.51
w_meth_5	841	0.26	1.09	0.28	836	0.32	1.11	0.22
w_meth_6	844	0.26	1.25	0.39	839	0.46	1.12	0.37
g_epis_1	841	0.56	1.25	0.21	836	0.74	1.07	0.23
g_epis_2	842	0.48	1.29	0.45	837	0.77	1.03	0.48
g_epis_3	843	0.51	1.20	0.50	838	0.78	0.93	0.51
g_epis_4	840	0.24	1.08	0.46	838	0.53	1.18	0.41
g_epis_5	844	0.18	1.01	0.57	844	0.49	1.15	0.51
g_epis_6	842	0.25	1.16	0.41	836	0.52	1.24	0.36
g_rati_1	844	0.52	1.48	0.06	839	0.64	1.32	0.19
g_rati_2	845	0.07	0.74	0.57	841	0.27	1.15	0.53
g_rati_3	844	0.31	1.32	0.49	839	0.67	1.20	0.44
g_rati_4	844	0.24	1.09	0.64	843	0.64	1.13	0.62
g_rati_5	844	0.29	1.36	0.43	842	0.51	1.21	0.47
g_rati_6	844	0.16	0.91	0.47	840	0.46	1.15	0.52
g_ont1_1	841	0.20	1.25	0.34	841	0.49	1.40	0.41
g_ont1_2	842	0.60	1.40	0.11	837	0.67	1.18	0.14
g_ont1_3	842	0.31	1.17	0.51	838	0.65	1.14	0.54
g_ont1_4	843	0.12	0.96	0.62	842	0.45	1.25	0.56
g_ont1_5	837	0.23	1.07	0.64	840	0.60	1.16	0.61
g_ont1_6	838	0.30	1.20	0.52	837	0.59	1.19	0.42

^a Eigene Ansicht der Schüler/innen.^b Bei Physiker/innen vermutete Ansicht.^c Schwierigkeitsindex (der auf 1 normierte Mittelwert der ungewichteten Itemscores bei Kodierung der Itemkategorien durch 0, 1, 2, 3, 4).^d Standardabweichung der ungewichteten Itemscores (nicht normiert).^e Item-Testwert-Korrelation („Trennschärfe“). Angegeben ist hier der korrigierte Wert (siehe Revelle (2013b, S. 17)). Angegeben sind polychorische Korrelationen.

EvaSys	Fragebogen	
Universität Osnabrück		
Didaktik der Physik		

Markieren Sie so: Bitte verwenden Sie einen Kugelschreiber oder nicht zu starken Filzstift. Dieser Fragebogen wird maschinell erfasst.
 Korrektur: Bitte beachten Sie im Interesse einer optimalen Datenerfassung die links gegebenen Hinweise beim Ausfüllen.

Liebe Schülerin, lieber Schüler,

wir, die Arbeitsgruppe Didaktik der Physik an der Universität Osnabrück, führen ein Forschungsprojekt zu den Möglichkeiten und Grenzen der Naturwissenschaften durch. Wir interessieren uns für Ihre persönliche Einstellung zu diesem Thema. Dabei interessiert uns sowohl Ihre eigene Ansicht, als auch diejenige, die Sie bei der Mehrheit der Physikerinnen und Physiker vermuten.

Die Erfassung der Fragebögen erfolgt anonym. Sie können daher Ihre eigene Ansicht darlegen, ohne irgendwelche Nachteile befürchten zu müssen.

Sie würden uns sehr helfen, wenn Sie den Fragebogen ehrlich und sorgfältig ausfüllen würden. Bitte beachten Sie hierzu die obigen Markierungshinweise!

Vielen Dank für Ihre Mithilfe!

Ihre Jahrgangsstufe: 11 12 13

Ihr Geschlecht: Männlich Weiblich

Wie ist Ihre Überzeugung hinsichtlich den folgenden Behauptungen?

Uns interessiert Ihre eigene Ansicht sowie diejenige, die Sie bei der Mehrheit der Physiker/innen vermuten.
Wichtiger Hinweis: In den Aussagen ist oft von Wissenschaft die Rede. Damit sind dann alle Wissenschaften gemeint, zum Beispiel auch Literatur- oder Geschichtswissenschaft. Unter Naturwissenschaften sind dagegen lediglich Physik, Chemie und Biologie (mit ihren verschiedenen Teilgebieten) zu verstehen.

Die Naturwissenschaften werden zukünftig die Grundlage jeder anderen Wissenschaft bilden.

Meine eigene Ansicht	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	trifft völlig zu
Ansicht der Physiker/innen	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	trifft völlig zu

Eines Tages wird die Physik auch das Verhalten von Lebewesen vollständig beschreiben und erklären können.

Meine eigene Ansicht	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	trifft völlig zu
Ansicht der Physiker/innen	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	trifft völlig zu

Eine Aussage ist nur dann wissenschaftlich, wenn sie objektiv überprüfbar, d.h. von anderen Wissenschaftlern getestet und bestätigt werden kann.

Meine eigene Ansicht	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	trifft völlig zu
Ansicht der Physiker/innen	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	trifft völlig zu

Wissen ist nur dann zuverlässig, wenn es mit Hilfe von Experimenten überprüft werden kann.

Meine eigene Ansicht	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	trifft völlig zu
Ansicht der Physiker/innen	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	trifft völlig zu

Es ist unvernünftig an die Existenz von Außerirdischen zu glauben, solange es dafür keine gesicherten Beweise gibt.

Meine eigene Ansicht	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	trifft völlig zu
Ansicht der Physiker/innen	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	trifft völlig zu

Ob Gott existiert, ist eine naturwissenschaftliche Frage.

Meine eigene Ansicht	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	trifft völlig zu
Ansicht der Physiker/innen	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	trifft völlig zu

F184U24123P1PL0V1 27.10.2008, Seite 1/8

EvaSys	Fragebogen	 <small>Powered by Vivid Systems</small>
Wie ist Ihre Überzeugung hinsichtlich den folgenden Behauptungen? [Fortsetzung]		
Die Naturwissenschaften werden Religion irgendwann überflüssig machen.		
Meine eigene Ansicht	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> trifft völlig zu
Ansicht der Physiker/innen	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> trifft völlig zu
<hr/>		
Im Prinzip hat alles eine naturwissenschaftliche Erklärung.		
Meine eigene Ansicht	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> trifft völlig zu
Ansicht der Physiker/innen	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> trifft völlig zu
<hr/>		
Es gibt wissenschaftliche Fragen, die die Naturwissenschaften niemals werden beantworten können.		
Meine eigene Ansicht	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> trifft völlig zu
Ansicht der Physiker/innen	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> trifft völlig zu
<hr/>		
Es gibt Gesetze der Chemie, die nicht aus der Physik folgen.		
Meine eigene Ansicht	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> trifft völlig zu
Ansicht der Physiker/innen	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> trifft völlig zu
<hr/>		
Kunst sollte nicht nur mit naturwissenschaftlichen Methoden untersucht werden.		
Meine eigene Ansicht	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> trifft völlig zu
Ansicht der Physiker/innen	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> trifft völlig zu
<hr/>		
Ein Mensch kann etwas sicher wissen, auch wenn es von anderen Menschen nicht überprüfbar ist.		
Meine eigene Ansicht	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> trifft völlig zu
Ansicht der Physiker/innen	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> trifft völlig zu
<hr/>		
Eine Idee kann vernünftig sein, auch wenn sie nicht wissenschaftlich beweisbar ist.		
Meine eigene Ansicht	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> trifft völlig zu
Ansicht der Physiker/innen	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> trifft völlig zu
<hr/>		
Es existieren Dinge im Universum, die die Naturwissenschaft niemals beschreiben können wird.		
Meine eigene Ansicht	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> trifft völlig zu
Ansicht der Physiker/innen	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> trifft völlig zu
<hr/>		
Kunstwerke haben Eigenschaften, die physikalisch nicht beschreibbar sind.		
Meine eigene Ansicht	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> trifft völlig zu
Ansicht der Physiker/innen	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> trifft völlig zu
<hr/>		
Die Erfahrung der Liebe ist im Leben wichtiger als Kenntnisse der Naturwissenschaften.		
Meine eigene Ansicht	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> trifft völlig zu
Ansicht der Physiker/innen	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> trifft völlig zu
<hr/>		
Werte und Normen könne nicht allein aus den Naturwissenschaften abgeleitet werden.		
Meine eigene Ansicht	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> trifft völlig zu
Ansicht der Physiker/innen	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> trifft völlig zu
<hr/>		
Die Naturwissenschaften können herausfinden, wozu es Menschen gibt.		
Meine eigene Ansicht	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> trifft völlig zu
Ansicht der Physiker/innen	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> trifft völlig zu
<hr/>		
F184U24123P6PL0V1		
27.10.2008, Seite 6/8		

EvaSys	Fragebogen	 <small>Universität Bayreuth</small>								
Wie ist Ihre Überzeugung hinsichtlich den folgenden Behauptungen? [Fortsetzung]										
Es gibt persönlich wichtige Fragen, die die Naturwissenschaft nicht beantworten kann.										
Meine eigene Ansicht	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>								
Ansicht der Physiker/innen	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>								
<table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 50%; padding: 5px;">Ich fände es interessant, über solche Ansichten in der Schule zu diskutieren.</td> <td style="padding: 5px;">trifft gar nicht zu</td> <td style="padding: 5px;"> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> </td> <td style="padding: 5px;">trifft völlig genau zu</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">Über solche oder ähnliche Aussagen habe ich selbst schon nachgedacht.</td> <td style="padding: 5px;">trifft gar nicht zu</td> <td style="padding: 5px;"> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> </td> <td style="padding: 5px;">trifft völlig genau zu</td> </tr> </table>			Ich fände es interessant, über solche Ansichten in der Schule zu diskutieren.	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	trifft völlig genau zu	Über solche oder ähnliche Aussagen habe ich selbst schon nachgedacht.	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	trifft völlig genau zu
Ich fände es interessant, über solche Ansichten in der Schule zu diskutieren.	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	trifft völlig genau zu							
Über solche oder ähnliche Aussagen habe ich selbst schon nachgedacht.	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	trifft völlig genau zu							
Wie interessant finden Sie die folgenden Unterrichtsfächer?										
	sehr interessant interessant mittel weniger interessant gar nicht interessant									
Deutsch	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>					
Englisch	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>					
Mathematik	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>					
Geschichte	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>					
Geographie/Erdkunde	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>					
Biologie	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>					
Physik	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>					
Musik	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>					
Kunst	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>					
Sport	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>					
Religion	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>					
Welche dieser Fächer belegen Sie zur Zeit?										
<input type="checkbox"/> Deutsch	<input type="checkbox"/> Englisch	<input type="checkbox"/> Mathematik								
<input type="checkbox"/> Geschichte	<input type="checkbox"/> Geographie/Erdkunde	<input type="checkbox"/> Biologie								
<input type="checkbox"/> Physik	<input type="checkbox"/> Musik	<input type="checkbox"/> Kunst								
<input type="checkbox"/> Sport	<input type="checkbox"/> Religion									
Physik ist für mich ein Fach, das mir wichtig ist.										
Es macht mir keinen Spaß über die im Physikunterricht behandelten Themen zu sprechen.										
Über bestimmte Themen des Physikunterrichts denke ich auch in meiner Freizeit nach.										
trifft gar nicht zu										
trifft gar nicht zu										
trifft gar nicht zu										
Schulnoten										
Wie war Ihre letzte Zeugnisnote in Mathematik?	<input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 6							
Wie war Ihre letzte Zeugnisnote in Deutsch?	<input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 6							
Wie war Ihre letzte Zeugnisnote in Physik?	<input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 6							
Nochmals vielen Dank für Ihre Mitarbeit!										
F184U24123P7PLOV1 27.10.2008, Seite 7/8										

Leitfaden zur Validierung der Skala 'Reichweite der Naturwissenschaften' (Schülerbefragung)

Allgemeine Hinweise für die Schüler vor dem Ausfüllen der Fragebögen bzw. der Interviews:

- Kurze Bemerkung zur wissenschaftlichen Studie (Um was geht es?, Wer steht dahinter?, Was passiert mit den Daten?, Ort und Zeitrahmen der Befragung)
- Zusicherung von Anonymität und Datenschutz
- Aufforderung zu Offenheit und Ehrlichkeit - Es gibt keine richtigen oder falschen Antworten!
- Audio-Aufzeichnung der Interviews bei Einverständnis

Vorgehen:

Es werden zwei Gruppen gebildet. Schüler mit Schwerpunkten NW bzw. Geisteswissenschaften werden gleichmäßig auf beide Gruppen verteilt. Gruppe I füllt den Fragebogen aus, anschließend folgen Interviews mit einzelnen Schülern zu Items, die als unverständlich oder unsicher markiert wurden. Schülern aus Gruppe II werden ausgewählte Items vorgelegt, die mittels *Cognitive Pretesting* beantwortet werden sollen.

Gruppe I (Fragebogen):

- Verteilen der Fragebögen. Bitte um Ausfüllen. Hinweis:
 - „Bitte markieren Sie Worte deren Bedeutung Ihnen nicht klar ist!“ (Marker verteilen)
- Anschließend Interviews mit einzelnen Schülern:
 - *Allgemeine Einschätzung:*
 - „Hatten Sie Schwierigkeiten beim Ausfüllen des Fragebogens?“
 - Sind die Hinweistexte verständlich formuliert?
 - Einzelne Items, die als unverständlich oder unsicher markiert wurden, werden besprochen:
 - *Verständlichkeit*
 - Bei Items, die als nicht verständlich markiert wurden:
 - „Können Sie erläutern, was Ihnen unverständlich ist?“
 - Nachfragen hinsichtlich
 - Bedeutung potentiell missverständlicher Worte
 - Sinn der Aussage
 - *Sicherheit der Angabe:*
 - Beim Ankreuzen von 'nicht sicher':
 - „Können Sie erläutern, warum Sie sich nicht sicher sind?“
 - Ist die Aussage, bzw. einzelne Begriffe, nicht eindeutig genug?
 - „Fehlen Ihnen zur Einschätzung Informationen?“
 - Falls, ja welcher Art? (z. B. Fachliche Informationen, Zukünftige Entwicklungen nicht abschätzbar, ...)
 - „Sind Sie der Meinung, dass Ihre Ansicht durch das vorgegebene Antwortformat nicht angemessen wiedergegeben wird?“

A.2. Materialien zur Skala 'Reichweite der Naturwissenschaften'

- *Auffassung der Items:*
 - Bei nichtkonsistentem Antwortverhalten innerhalb einzelner Kategorien die Auffassung der zugehörigen Items prüfen:
 - „Können Sie den Inhalt dieser Aussage mit eigenen Worten wiederholen?“
 - Können Sie ein Beispiel für den in der Aussage beschriebenen Sachverhalt nennen?
- Sofern einfach möglich, werden unklare Begriffe erläutert, der Item gegebenenfalls umformuliert und erneut zur Bewertung hinsichtlich Verständlichkeit und Sicherheit angeboten.
- *Auffassung einzelner Schlüsselbegriffe und -inhalte*

Unabhängig von den einzelnen Items werden noch mal das Verständnis wichtiger oder potentiell missverständlicher Begriffe erfragt :

 - „Würden Sie folgendes zu den Methoden der Naturwissenschaften zählen? Experimente, logisches Schließen, Formeln, eindeutige Aussagen, Objektivität“
 - „Muss nach Ihrer Auffassung naturwissenschaftliches Wissen jedes der folgenden Kriterien erfüllen? eindeutig, widerspruchsfrei, experimentell prüfbar“
 - Verständnis `kritischer` Worte: Mikrophysik, quantitativ, qualitativ, in Zukunft
 - *Motivation, Länge des Fragebogens*
 - „Empfanden Sie das Ausfüllen des Fragebogen insgesamt eher als langweilig oder als interessant?“
 - Hatten Sie Mühe die Konzentration über die gesamte Länge des Fragebogens aufrechtzuerhalten?
 - Gab es für Sie besonders interessante Aussagen?
 - Gab es Items für deren Beantwortung Sie besonders lange gebraucht haben?
 - Was war der Grund dafür?
 - *Soziale Erwünschtheit?*
 - „Warum geht es Ihrer Meinung nach in dem Fragebogen?“

Gruppe II (Interview):

- *Cognitive Pretesting* für ausgewählte Items (ein Item pro Kategorie?):
 - „Bitte versuchen Sie bei der Beurteilung der Aussage laut zu denken! “
 - Gegebenenfalls Fragen zu *Verständlichkeit* , *Kompetenz* und *Auffassung* (siehe Gruppe I)
- Sofern einfach möglich, werden unklare Begriffe erläutert, der Item gegebenenfalls umformuliert und erneut zur Bewertung hinsichtlich Verständlichkeit und Sicherheit angeboten.
- „Sehen Sie sich in der Lage ihre eigene Position zu der Frage (jeweils die `Leitfrage` der Kategorie) zu formulieren?“

- *Auffassung einzelner Schlüsselbegriffe und –inhalte*
 - „Würden Sie folgendes zu den Methoden der Naturwissenschaften zählen? Experimente, logisches Schließen, Formeln, eindeutige Aussagen, Objektivität“
 - „Muss nach Ihrer Auffassung naturwissenschaftliches Wissen jedes der folgenden Kriterien erfüllen? eindeutig, widerspruchsfrei, experimentell prüfbar“
 - Verständnis `kritischer` Worte: Mikrophysik, quantitativ, qualitativ, in Zukunft (Anschließend Einigung auf Begriffsbedeutungen)
- *Motivation, Länge des Fragebogens*
 - „Empfanden Sie das Ausfüllen des Fragebogens insgesamt eher als langweilig oder als interessant?“
 - Hatten Sie Mühe die Konzentration über die gesamte Länge des Fragebogens aufrechtzuerhalten?
 - Gab es für Sie besonders interessante Aussagen?
 - Gab es Items für deren Beantwortung Sie besonders lange gebraucht haben?
 - Was war der Grund dafür?
- *Soziale Erwünschtheit?*
 - „Warum geht es Ihrer Meinung nach in dem Fragebogen?“

Tab. A.8. Statistische Daten des Prä-Fragebogens (Forts.)

Item	Schüler				Physiker			
	N	P	SD	r.corr	N	P	SD	r.corr
g_ont2_1	839	0.34	1.29	0.36	835	0.60	1.30	0.24
g_ont2_2	842	0.37	1.46	0.39	839	0.73	1.19	0.36
g_ont2_3	843	0.61	1.37	0.38	838	0.85	0.98	0.32
g_ont2_4	838	0.42	1.19	0.54	836	0.72	1.01	0.56
g_ont2_5	832	0.33	1.14	0.32	830	0.52	1.13	0.39
g_ont2_6	842	0.24	1.17	0.50	843	0.49	1.19	0.44
g_axi1_1	843	0.12	0.87	0.48	842	0.46	1.28	0.46
g_axi1_2	845	0.36	1.35	0.48	841	0.69	1.15	0.42
g_axi1_3	841	0.39	1.24	0.60	840	0.82	0.96	0.55
g_axi1_4	841	0.68	1.10	0.09	842	0.82	1.00	0.12
g_axi1_5	840	0.29	1.20	0.50	835	0.53	1.20	0.46
g_axi1_6	838	0.19	0.98	0.42	840	0.51	1.18	0.43
g_axi2_1	840	0.14	0.88	0.43	835	0.41	1.18	0.46
g_axi2_2	841	0.18	0.91	0.45	843	0.45	1.15	0.54
g_axi2_3	843	0.21	0.90	0.54	842	0.52	1.12	0.58
g_axi2_4	842	0.22	1.03	0.52	843	0.51	1.20	0.59
g_axi2_5	842	0.29	1.11	0.40	842	0.52	1.11	0.36
g_axi2_6	834	0.19	0.99	0.50	836	0.43	1.08	0.54
g_reli_1	839	0.14	0.97	0.54	839	0.40	1.25	0.47
g_reli_2	844	0.14	0.92	0.59	844	0.44	1.26	0.57
g_reli_3	842	0.15	1.06	0.47	842	0.41	1.39	0.50
g_reli_4	845	0.54	1.31	0.42	841	0.78	1.04	0.38
g_reli_5	845	0.24	1.23	0.55	842	0.53	1.27	0.58
g_reli_6	837	0.25	1.17	0.41	839	0.53	1.23	0.42
g_umfa_1	842	0.31	1.26	0.53	841	0.62	1.27	0.46
g_umfa_2	845	0.26	1.05	0.52	841	0.57	1.22	0.53
g_umfa_3	840	0.41	1.21	0.61	839	0.71	1.03	0.55
g_umfa_4	844	0.42	1.19	0.62	837	0.74	1.01	0.60
g_umfa_5	838	0.09	0.75	0.50	836	0.36	1.18	0.50

Tab. A.9. Reliabilität des gesamten Prä-Fragebogens.

Schüler ^a				Physiker ^b			
α^c	std. α^d	G6 (smc) ^e	mittl. r^f	α	std. α	G6 (smc)	mittl. r
0.94	0.94	0.96	0.19	0.94	0.94	0.95	0.18

^a Eigene Ansicht (N = 846).

^b Bei Physiker/innen vermutete Ansicht (N = 846).

^c Cronbachs α .

^d Standardisiertes Cronbachs α (siehe Revelle, 2013b, S. 17).

^e Guttman's Lambda 6 Reliabilität (siehe Revelle, 2013b, S. 17).

^f Mittlere Korrelation zwischen den Items.

Tab. A.10. Reliabilität der Subskalen des Prä-Fragebogens.

Subskala	Schüler ^a				Physiker ^b			
	α^c	std. α^d	G6 (smc) ^e	mittl. r^f	α	std. α	G6 (smc)	mittl. r
w_red_1	0.72	0.72	0.77	0.26	0.62	0.61	0.69	0.18
w_red_2	0.68	0.68	0.72	0.26	0.57	0.57	0.63	0.17
w_meth	0.55	0.53	0.56	0.16	0.64	0.63	0.64	0.22
g_epis	0.64	0.63	0.72	0.22	0.67	0.67	0.69	0.25
g_rati	0.78	0.78	0.79	0.37	0.69	0.68	0.71	0.21
g_ont1	0.69	0.69	0.71	0.27	0.57	0.56	0.58	0.17
g_ont2	0.55	0.56	0.62	0.17	0.57	0.56	0.58	0.17
g_axi1	0.71	0.71	0.75	0.29	0.58	0.58	0.6	0.19
g_axi2	0.85	0.85	0.86	0.49	0.85	0.85	0.87	0.49
g_reli	0.87	0.87	0.89	0.52	0.82	0.82	0.83	0.43
g_umfa	0.82	0.82	0.83	0.47	0.74	0.74	0.76	0.37

^a Eigene Ansicht (N = 846).

^b Bei Physiker/innen vermutete Ansicht (N = 846).

^c Cronbachs α .

^d Standardisiertes Cronbachs α (siehe Revelle, 2013b, S. 17).

^e Guttmans Lambda 6 Reliabilität (siehe Revelle, 2013b, S. 17).

^f Mittlere Korrelation zwischen den Items.

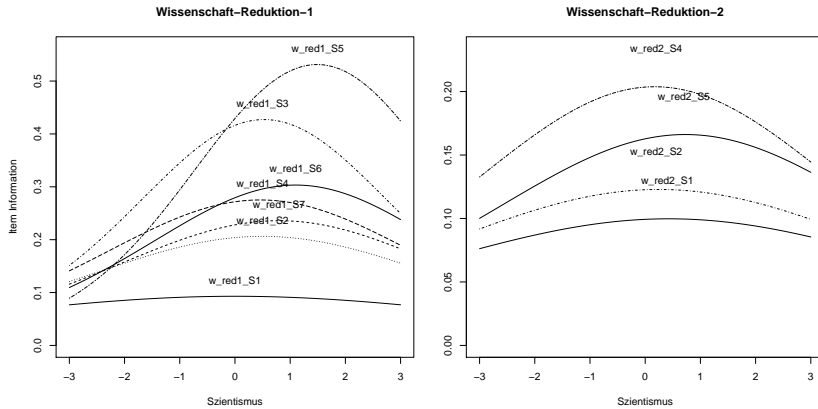
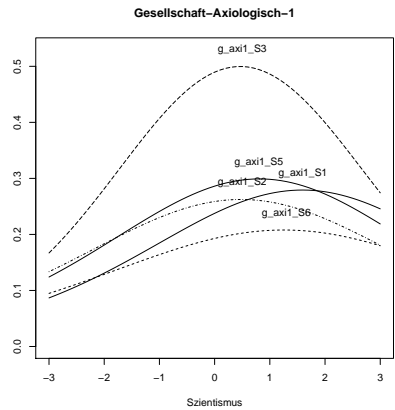
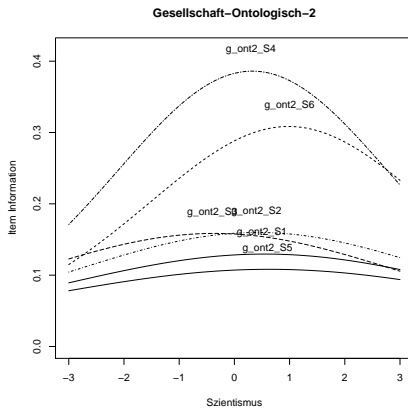
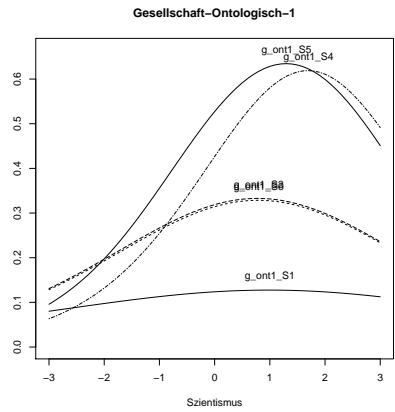
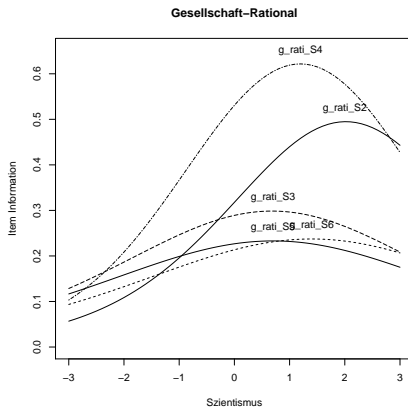
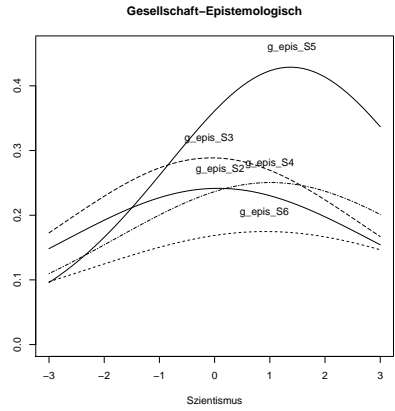
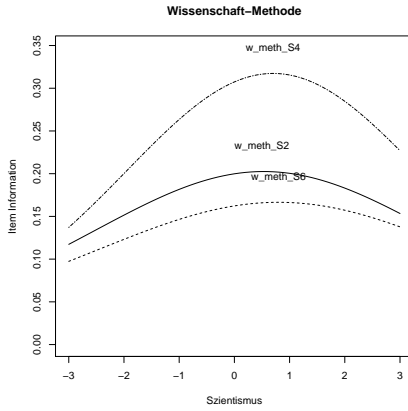
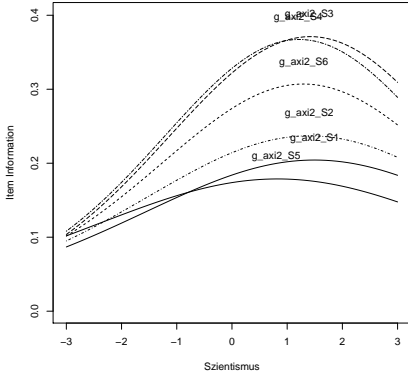


Abb. A.1. Item-Informationskurven für die Items des Vorfragebogens (bei Annahme eines eindimensionalen GRM-Modells).

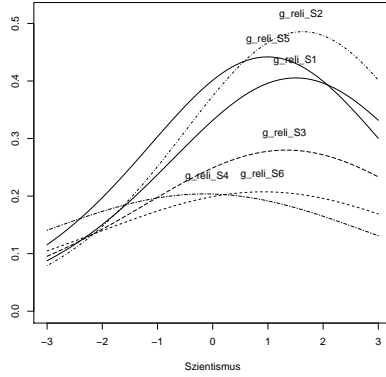
A.2. Materialien zur Skala 'Reichweite der Naturwissenschaften'



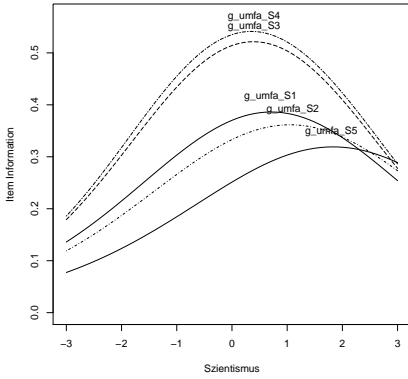
Gesellschaft-Axiologisch-2



Gesellschaft-Religiös



Gesellschaft-Umfassend



A.2. Materialien zur Skala 'Reichweite der Naturwissenschaften'

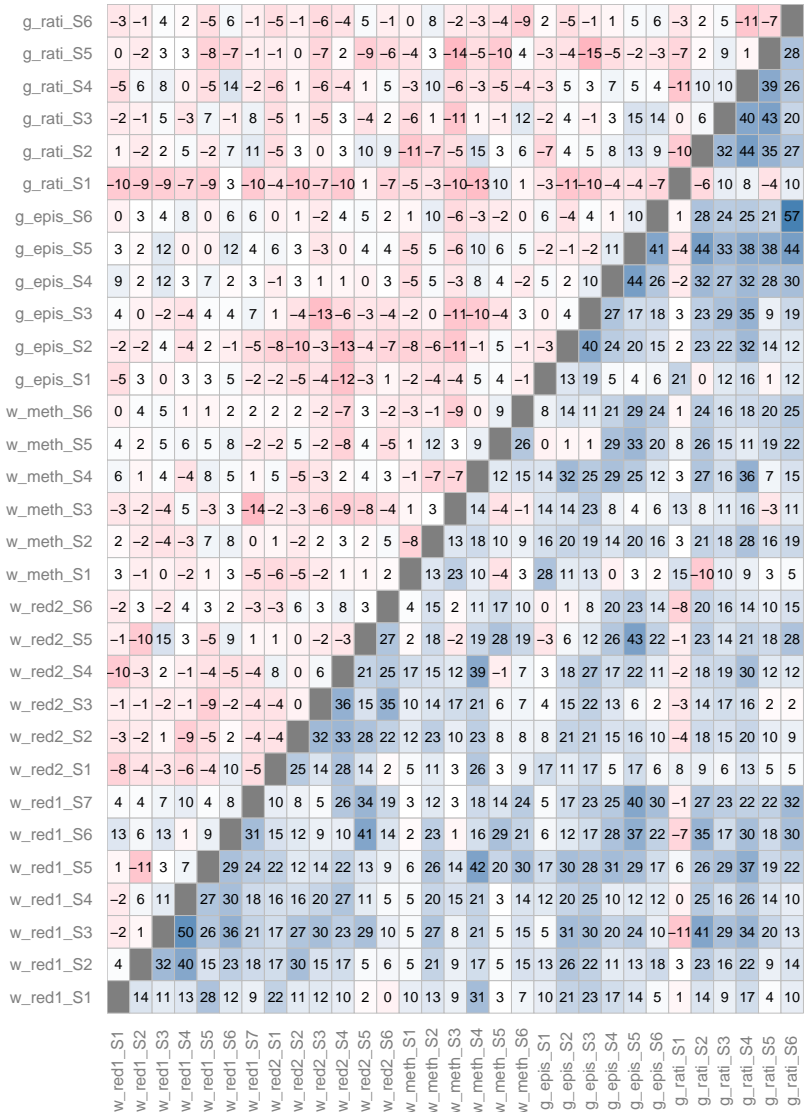


Abb. A.2. Heatmap der Korrelationen zwischen den Items des Vorfragebogens. Unterhalb der Diagonalen: Ansichten der Schüler. Oberhalb der Diagonalen: Differenz zwischen Einschätzung von Physikern und eigenen Ansichten der Schüler. Der Übersichtlichkeit halber sind keine Signifikanzen angegeben.

A.2. Materialien zur Skala 'Reichweite der Naturwissenschaften'

g_umfa_S5	-7	5	16	8	-2	11	4	-2	0	8	-3	8	7	3	14	0	-6	-3	-1	-2	1	4	3	2	2	-5	-4	9	-4	-8	-12	
g_umfa_S4	7	-1	11	7	-2	7	-3	5	1	4	-6	-5	3	-1	4	0	-1	2	-4	10	-7	3	7	-9	-1	-7	6	5	3	7	-10	
g_umfa_S3	5	-7	9	11	5	4	1	6	0	0	0	-5	2	2	1	-3	4	4	1	0	0	1	0	0	-5	-5	0	7	7	8	-1	
g_umfa_S2	-5	-4	-9	1	3	-3	9	-8	-9	-6	-1	2	6	-3	-2	-7	3	4	1	-2	-2	-1	-1	0	1	-4	-8	-3	4	7	0	
g_umfa_S1	4	-7	5	7	9	4	-1	4	-7	-5	5	-1	3	0	3	-10	7	6	9	2	8	11	9	4	11	-4	-6	1	14	4	-2	
g_reli_S6	-6	-7	8	4	1	-2	6	-3	-5	2	3	-3	1	4	-1	-7	-10	-4	-6	-1	2	0	-1	-2	-1	-2	-3	2	-1	5	1	
g_reli_S5	1	-8	3	3	-7	-1	-3	0	-8	-2	-5	-4	-3	-7	6	-4	-1	-3	-5	2	0	-2	4	-8	-7	-7	11	10	3	14	-7	
g_reli_S4	2	-8	8	6	1	4	-1	4	-3	-7	3	-8	6	13	5	-6	-6	6	0	17	-4	2	6	2	0	-3	7	6	2	10	1	
g_reli_S3	3	1	-4	-15	-1	-12	1	-11	-4	-9	-3	-9	3	-1	5	-3	-3	1	-4	1	-2	2	-4	-4	2	-9	-1	-3	4	4	-1	
g_reli_S2	0	0	2	0	10	6	6	-1	-6	-4	4	4	4	-1	0	-8	-3	6	2	3	-2	2	-7	9	1	-12	-10	4	8	1	0	
g_reli_S1	-2	-5	3	6	10	6	9	-2	-4	-5	5	4	6	-1	-1	-3	-4	5	9	-6	8	6	0	8	9	-9	-14	4	10	6	5	
g_axi2_S6	4	3	0	4	-5	8	2	7	-12	-4	-9	1	-4	-5	2	-10	-5	5	-2	-2	-1	-7	3	2	3	-3	7	1	-10	-1	-8	
g_axi2_S5	0	7	9	4	-1	14	8	6	0	2	-1	5	-5	-2	7	-3	12	-2	1	-2	3	2	-2	0	-1	-14	4	6	-7	2	-2	
g_axi2_S4	-1	-6	0	3	-4	-7	-10	-4	-4	-5	-1	-7	1	3	8	-4	-4	0	-7	4	0	-3	-7	-7	-3	-7	-3	6	1	7	-15	
g_axi2_S3	-1	2	-5	-7	-1	7	3	-3	-3	-6	-7	2	4	-4	0	-3	0	8	9	-1	-7	-10	2	0	2	-5	-2	-5	-4	-6	1	
g_axi2_S2	-11	-2	-6	-5	-8	2	3	-11	-6	-2	-7	-1	3	-5	-4	0	-3	6	3	-8	-1	0	0	0	-10	-6	-3	-9	-1	0	-3	-8
g_axi2_S1	-5	1	-5	0	1	13	6	-1	-13	3	-5	5	2	-3	0	-3	-5	10	7	5	-7	-5	-2	-1	3	6	-12	-9	0	-4	2	
g_axi1_S6	-4	1	13	1	-12	-2	-1	0	3	-4	-2	4	-5	1	5	-1	10	2	-5	3	6	3	-3	0	-2	10	3	3	-1	-3		
g_axi1_S5	7	4	13	1	11	7	-7	1	1	1	-7	-2	-5	-2	8	-7	4	2	12	-2	-1	2	8	6	6	-10	9	4	-1	-10	-1	
g_axi1_S4	1	-5	9	2	-6	2	-1	5	1	-7	-9	2	-10	8	-1	-9	-5	-6	-2	-8	-9	-7	-7	-1	-6	-2	2	5	-3	0	0	
g_axi1_S3	2	3	4	-2	10	16	0	1	-4	-14	-11	10	-1	-6	1	-9	-1	6	7	1	4	0	6	7	6	-13	6	-6	-1	-3	0	
g_axi1_S2	3	2	4	1	8	8	6	3	3	0	8	-2	-1	11	0	-2	12	0	10	6	-3	2	2	4	3	-1	-1	8	5	-7	4	
g_axi1_S1	-3	-6	0	3	11	6	0	-11	-8	2	-2	6	-1	-1	2	0	4	11	8	-2	3	5	7	13	5	-2	6	-4	-2	-2	-2	
g_ont2_S6	4	1	11	-2	4	9	3	-5	-2	-2	-2	5	2	2	9	-4	5	9	7	-2	0	2	4	4	0	-9	10	9	1	-7	-4	
g_ont2_S5	-7	0	3	4	-6	5	-5	-12	-11	-5	-12	-4	-5	1	9	-12	-1	4	-4	-2	1	-3	-4	4	-2	-6	5	5	-6	-18	-6	
g_ont2_S4	-7	-1	7	2	0	13	2	-2	-8	-6	-1	-10	4	-1	3	-9	-5	-2	-5	-8	1	7	-1	4	5	-16	12	-4	0	-3	-4	
g_ont2_S3	-3	0	7	4	5	13	-5	12	-6	-7	-2	3	-3	-2	2	-11	6	1	9	-8	-5	-10	1	3	3	-4	12	3	12	2	2	
g_ont2_S2	-2	9	2	2	1	15	-6	6	-3	5	5	6	-2	10	-3	2	7	7	9	0	-5	-5	-1	1	-2	-1	-9	-8	4	-10	-5	
g_ont2_S1	3	2	13	5	7	9	5	0	-3	7	4	3	3	2	9	-5	13	7	3	1	6	5	9	10	5	-7	2	4	15	1	5	
g_ont1_S6	8	6	13	5	5	3	7	1	5	-3	7	4	3	0	0	-6	0	8	4	2	0	3	8	14	12	-2	19	20	10	3	-4	
g_ont1_S5	-6	2	9	3	-5	9	3	-3	-1	-3	2	3	7	1	5	-5	1	-3	-7	-2	2	7	7	7	5	-5	7	5	6	-6	-1	
g_ont1_S4	0	12	13	4	0	4	6	-1	2	1	5	8	3	-7	4	0	5	5	-4	-5	8	4	4	8	13	-14	9	7	0	-3	-4	
g_ont1_S3	0	-1	0	-5	6	4	-1	-6	-9	-4	-8	-5	4	-1	0	-7	-4	1	-6	-2	1	5	-2	1	-3	-12	-2	-4	-7	0	-9	
g_ont1_S2	2	2	-3	-1	-11	-2	0	-9	3	5	2	1	8	-2	-6	-3	-1	3	6	-3	0	7	5	2	4	-5	-2	0	10	1	-9	
g_ont1_S1	-6	-1	-3	-5	-10	-1	-3	-15	-8	-4	-6	-10	2	-2	-1	-8	-12	1	-9	-2	-7	0	2	-4	-4	-14	-8	-4	1	17	-12	
w_red1_S1																																
w_red1_S2																																
w_red1_S3																																
w_red1_S4																																
w_red1_S5																																
w_red1_S6																																
w_red1_S7																																
w_red2_S1																																
w_red2_S2																																
w_red2_S3																																
w_red2_S4																																
w_red2_S5																																
w_red2_S6																																
w_meth_S1																																
w_meth_S2																																
w_meth_S3																																
w_meth_S4																																
w_meth_S5																																
w_meth_S6																																
g_epis_S1																																
g_epis_S2																																
g_epis_S3																																
g_epis_S4																																
g_epis_S5																																
g_epis_S6																																
g_rati_S1																																
g_rati_S2																																
g_rati_S3																																
g_rati_S4																																
g_rati_S5																																
g_rati_S6																																

Abb. A.4. Korrelationen der Items des Vfragebogens (Forts.).

A.2.7. Der Valdierungsfragebogen

Tab. A.11. Korrelationen: Schüler (unterhalb der Diagonalen) – Studierende (oberhalb der Diagonalen)

	Sachinteresse	Offenheit für Erfahrungen	Need for Cognition	Scientismus Eigener	Scientismus Physiker	Scientismus-Diskrepanz	Kognitive Geschlossenheit	Naturwiss. Orientierung
Sachinteresse	<i>r</i> ^a <i>p</i> ^b N	1 .940 232	-184** .002 275	.107 .075 275	-245** .000 255	-370** .000 255	-182** .002 275	.318** .000 275
Offenheit für Erfahrungen	<i>r</i> <i>p</i> N	.030 .646 232	1 .000 276	-498** .000 276	-130* .031 276	-.085 .178 256	-.021 .737 276	-.374** .000 276
Need for Cognition	<i>r</i> <i>p</i> N	-.287** .000 232	1 .000 232	1 .013 276	.147* .019 256	.086 .170 256	.576** .000 276	.045 .459 276
Scientismus Eigener	<i>r</i> <i>p</i> N	.252** .000 232	-.136* .038 232	1 .535 232	.357** .000 256	-.350** .000 256	.110 .067 276	.191** .001 276
Scientismus Physiker	<i>r</i> <i>p</i> N	-.274** .000 228	-.051 .445 228	.068 .306 228	1 .057 228	.639** .000 256	.205** .001 256	-.052 .406 256
Scientismus-Diskrepanz	<i>r</i> <i>p</i> N	-.337** .000 228	.056 .400 228	.136* .041 228	-.569** .000 228	.512** .000 228	1 .082 256	-.223** .000 256
Kognitive Geschlossenheit	<i>r</i> <i>p</i> N	-.082 .214 232	-.361** .000 232	.533** .000 232	.106 .107 232	.152* .022 228	1 .405 232	.000 .996 276
Naturwiss. Orientierung	<i>r</i> <i>p</i> N	.136* .038 232	-.098 .137 233	-.061 .356 232	.097 .139 232	-.123 .065 228	-.182** .006 228	1 .089 232

^a Korrelation (Pearson).
^b Signifikanz (zweiseitig).

A.2. Materialien zur Skala 'Reichweite der Naturwissenschaften'

Fragebogen Val

männlich weiblich

Jahrgangsstufe 11 12 13

	Gk	Lk	Sonstiges
Physik	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Andere Naturwissenschaften	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Sprachen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Religion	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Geschichte/Erkunde/Politik	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Mathematik	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Sport	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Sonstige	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Kreuzen Sie bitte jeweils das Zutreffende an.

Die Beschäftigung mit physikalischen Themen ist für mich wichtig.	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	trifft ganz genau zu
Die Beschäftigung mit Physik hat mir immer viel Freude gemacht.	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	trifft ganz genau zu
In physikalische Inhalte kann ich mich manchmal so richtig vertiefen.	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	trifft ganz genau zu
Für die Beschäftigung mit physikalischen Dingen bin ich auch bereit, meine Freizeit zu verwenden.	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	trifft ganz genau zu
Ich mag meine Zeit nicht mit Tagträumereien verschwenden.	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	trifft ganz genau zu
Ich finde philosophische Diskussionen langweilig.	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	trifft ganz genau zu
Mich begeistern die Motive, die ich in der Kunst und in der Natur finde.	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	trifft ganz genau zu
Ich glaube, dass es Schüler oft nur verwirrt und irreführt, wenn man sie Rednern zuhören lässt, die kontroverse Standpunkte vertreten.	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	trifft ganz genau zu
Poesie beeindruckt mich wenig oder gar nicht.	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	trifft ganz genau zu
Ich probiere oft neue und fremde Speisen aus.	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	trifft ganz genau zu
Ich nehme nur selten Notiz von den Stimmungen oder Gefühlen, die verschiedene Umgebungen hervorrufen.	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	trifft ganz genau zu

↑ Sachinteresse

↓

↑

Offenheit für Erfahrung

↓

Bitte wenden.

Abb. A.6. Fragebogen zur Validierung der Szientismus-Skala. Der Kopf der ersten Seite ist für Schüler und Studierende unterschiedlich. Die Bezeichnungen der Skalen sind nachträglich hinzugefügt.

Fragebogen Val

männlich weiblich

Alter:

- Studium: Physik
- Andere Naturwissenschaften
- Sprachen
- Religion
- Gesellschaftswissenschaften
- Mathematik
- Sport
- Sonstige

- Bachelorstudiengang
- Masterstudiengang

Kreuzen Sie bitte jeweils das Zutreffende an.

- | | | | | | | | |
|--|---------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|----------------------|
| Die Beschäftigung mit physikalischen Themen ist für mich wichtig. | trifft gar nicht zu | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | trifft ganz genau zu |
| Die Beschäftigung mit Physik hat mir immer viel Freude gemacht. | trifft gar nicht zu | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | trifft ganz genau zu |
| In physikalische Inhalte kann ich mich manchmal so richtig vertiefen. | trifft gar nicht zu | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | trifft ganz genau zu |
| Für die Beschäftigung mit physikalischen Dingen bin ich auch bereit, meine Freizeit zu verwenden. | trifft gar nicht zu | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | trifft ganz genau zu |
| Ich mag meine Zeit nicht mit Tagträumereien verschwenden. | trifft gar nicht zu | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | trifft ganz genau zu |
| Ich finde philosophische Diskussionen langweilig. | trifft gar nicht zu | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | trifft ganz genau zu |
| Mich begeistern die Motive, die ich in der Kunst und in der Natur finde. | trifft gar nicht zu | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | trifft ganz genau zu |
| Ich glaube, dass es Schüler oft nur verwirrt und irreführt, wenn man sie Rednern zuhören lässt, die kontroverse Standpunkte vertreten. | trifft gar nicht zu | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | trifft ganz genau zu |
| Poesie beeindruckt mich wenig oder gar nicht. | trifft gar nicht zu | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | trifft ganz genau zu |
| Ich probiere oft neue und fremde Speisen aus. | trifft gar nicht zu | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | trifft ganz genau zu |
| Ich nehme nur selten Notiz von den Stimmungen oder Gefühlen, die verschiedene Umgebungen hervorrufen. | trifft gar nicht zu | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | trifft ganz genau zu |

Bitte wenden.

A.2. Materialien zur Skala 'Reichweite der Naturwissenschaften'

Ich glaube, dass wir bei ethischen Entscheidungen auf die Ansichten unserer religiösen Autoritäten achten sollten.	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	trifft ganz genau zu
Wenn ich Literatur lese oder ein Kunstwerk betrachte, empfinde ich manchmal ein Frösteln oder eine Welle der Begeisterung.	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	trifft ganz genau zu
Ich habe wenig Interesse, über die Natur des Universums oder die Lage der Menschheit zu spekulieren.	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	trifft ganz genau zu
Ich bin sehr wissbegierig.	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	trifft ganz genau zu
Lieber würde ich meine eigenen Wege gehen als eine Gruppe anführen.	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	trifft ganz genau zu
Ich finde es nicht sonderlich aufregend, neue Denkweisen zu lernen.	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	trifft ganz genau zu
Ich finde wenig Befriedigung darin, angestrengt stundenlang nachzudenken.	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	trifft ganz genau zu
Abstrakt zu denken reizt mich nicht.	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	trifft ganz genau zu
Die Vorstellung, mich auf mein Denkvermögen zu verlassen, um es zu etwas zu bringen, spricht mich nicht an.	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	trifft ganz genau zu
Ich würde lieber etwas tun, das wenig Denken erfordert, als etwas, das mit Sicherheit meine Denkfähigkeit herausfordert.	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	trifft ganz genau zu
Denken entspricht nicht dem, was ich unter Spaß verstehe.	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	trifft ganz genau zu
Ich trage nicht gern die Verantwortung für eine Situation, die sehr viel Denken erfordert.	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	trifft ganz genau zu
Ich versuche, Situationen vorauszuahnen und zu vermeiden, in denen die Wahrscheinlichkeit groß ist, dass ich intensiv über etwas nachdenken muss.	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	trifft ganz genau zu
Es genügt, dass etwas funktioniert, mir ist egal, wie oder warum.	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	trifft ganz genau zu
Ich akzeptiere die Dinge meist lieber so wie sie sind, anstatt sie zu hinterfragen.	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	trifft ganz genau zu
Es genügt mir, einfach die Antwort zu kennen, ohne die Gründe für die Antwort auf ein Problem zu verstehen.	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	trifft ganz genau zu
Wenn ich eine Aufgabe erledigt habe, die viel geistige Anstrengung erfordert hat, fühle ich mich eher erleichtert als befriedigt.	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	trifft ganz genau zu
Das Denken in neuen und unbekanntem Situationen fällt mir schwer.	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	trifft ganz genau zu
Ich würde lieber eine Aufgabe lösen, die Intelligenz erfordert, schwierig und bedeutend ist, als eine Aufgabe, die zwar irgendwie wichtig ist, aber nicht viel Nachdenken erfordert.	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	trifft ganz genau zu

↑ Offenheit für Erfahrung

↓ Need for Cognition

Wie ist Ihre Ansicht zu den folgenden Behauptungen?

Uns interessiert Ihre eigene Ansicht sowie diejenige, die Sie bei der Mehrheit der Physiker/innen vermuten.

1. Die Naturwissenschaften werden irgendwann in der Lage sein, alle für die Menschheit bedeutsamen Fragen zu beantworten.

Meine eigene Ansicht	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	trifft ganz genau zu

Ansicht der Physiker/innen	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	trifft ganz genau zu

2. Die Naturwissenschaften können den Sinn des Lebens herausfinden.

Meine eigene Ansicht	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	trifft ganz genau zu

Ansicht der Physiker/innen	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	trifft ganz genau zu

3. Naturwissenschaftliches Wissen ist das mit Abstand wertvollste Wissen.

Meine eigene Ansicht	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	trifft ganz genau zu

Ansicht der Physiker/innen	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	trifft ganz genau zu

4. Ein vernünftiger Mensch sollte nur an Dinge glauben, die naturwissenschaftlich erklärbar sind.

Meine eigene Ansicht	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	trifft ganz genau zu

Ansicht der Physiker/innen	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	trifft ganz genau zu

5. Die Naturwissenschaften werden alle anderen Wissenschaften irgendwann überflüssig machen.

Meine eigene Ansicht	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	trifft ganz genau zu

Ansicht der Physiker/innen	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	trifft ganz genau zu

6. Moralische Vorstellungen sollten naturwissenschaftlich begründet werden.

Meine eigene Ansicht	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	trifft ganz genau zu

Ansicht der Physiker/innen	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	trifft ganz genau zu

7. Nur die Naturwissenschaften können uns zuverlässige Informationen über die Welt liefern.

Meine eigene Ansicht	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	trifft ganz genau zu

Ansicht der Physiker/innen	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	trifft ganz genau zu

8. Nur was man zumindest prinzipiell messen kann, existiert auch tatsächlich.

Meine eigene Ansicht	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	trifft ganz genau zu

Ansicht der Physiker/innen	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	trifft ganz genau zu

9. Physik ist Vorbild für alle anderen Wissensgebiete.

Meine eigene Ansicht	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	trifft ganz genau zu

Ansicht der Physiker/innen	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	trifft ganz genau zu

10. Alles was real ist, kann auch physikalisch beschrieben werden.

Meine eigene Ansicht	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	trifft ganz genau zu

Ansicht der Physiker/innen	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	trifft ganz genau zu

Bitte wenden.

Szientismus

Ich mag es nicht, wenn die Aussage einer Person mehrdeutig ist.	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	trifft ganz genau zu
Ich finde, nachdem ich eine Lösung für ein Problem gefunden habe, ist es Zeitverschwendung, weitere mögliche Lösungen in Betracht zu ziehen.	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	trifft ganz genau zu
Ich mag keine unvorhersehbaren Situationen.	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	trifft ganz genau zu
Ich finde es spannend nicht zu wissen, was das Leben einem bringen wird.	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	trifft ganz genau zu
Ein Problem aus verschiedenen Blickwinkeln zu betrachten, führt nur zu Verwirrung.	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	trifft ganz genau zu
Im Allgemeinen suche ich nicht nach Alternativlösungen für Probleme, für welche ich schon eine Lösung parat habe.	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	trifft ganz genau zu
Ich bevorzuge die Gesellschaft guter Freunde, weil ich weiß, was ich von ihnen zu erwarten habe.	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	trifft ganz genau zu
Ich fühle mich unbehaglich, wenn ich es nicht schaffe eine schnelle Antwort auf Probleme zu geben, denen ich gegenüber stehe.	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	trifft ganz genau zu
Ich bevorzuge Tätigkeiten, bei denen stets klar ist, was getan und wie es getan werden muss.	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	trifft ganz genau zu
Wenn ich ein Problem lösen muss, verschwende ich im Allgemeinen keine Zeit damit, die unterschiedlichen Standpunkte dazu zu erwägen.	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	trifft ganz genau zu
Ich mag Aufgaben, bei denen noch unklar ist, wie der genaue Lösungsweg aussieht.	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	trifft ganz genau zu
Ich liebe die Ungewissheit und die Überraschung, die oft im Alltäglichen steckt.	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	trifft ganz genau zu
Jedwede Lösung eines Problems ist besser, als in einem Zustand der Ungewissheit zu verharren.	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	trifft ganz genau zu
Ich ziehe Dinge, die ich gewohnt bin, solchen vor, die ich nicht kenne und die ich nicht vorhersagen kann.	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	trifft ganz genau zu
Im Allgemeinen vermeide ich es, mich an Diskussionen über uneindeutige und umstrittene Themen zu beteiligen.	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	trifft ganz genau zu
Ich bevorzuge es, mich für die erstmögliche Lösung zu entscheiden, anstelle lange darüber nachzudenken, was für eine Entscheidung ich treffen sollte.	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	trifft ganz genau zu
Wenn ich über ein Problem nachdenke, versuche ich, möglichst unterschiedliche Positionen zu der Sache einzunehmen.	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	trifft ganz genau zu

Bedürfnis nach kognitiver Geschlossenheit

Vielen Dank!

A.3. Verfahren zur Analyse der Längsschnittdaten

Wie in Abschnitt 6.2 erwähnt, wurden für die Auswertung der Längsschnittdaten ein klassisches Messmodell zu Grunde gelegt. Bei Likert-Skalen wurden die fünf Antwortkategorien der Items äquidistant von 1-5 kodiert. Der Messwert für das jeweilige Merkmal, das mit der Skala erfasst werden soll, wurde als ungewichteter Mittelwert der Item-Antworten definiert³. Bei den Wissenstests wurde der Quotient aus erreichter und maximal möglicher Punktzahl als Messwert gewählt. Für die statistische Modellierung der Änderung eines Merkmals y in Abhängigkeit von der Zeit und gegebenenfalls weiterer Kovariablen x_i wurden sogenannte gemischte lineare Regressionsmodelle zu Grunde gelegt (vgl. z. B. Fahrmeir et al. (2007, Kap. 6), West, Welch und Galecki (2007)). Gemischte Modelle sind eine Erweiterung klassischer Regressionsmodelle um »zufällige Effekte«. Da sie die stochastische Modellierung korrelierter und unvollständiger Beobachtungen ermöglichen, sind sie für Längsschnittdaten besonders geeignet. Das Prinzip sei hier kurz erläutert:

Für eine Merkmal Y seien die vorliegenden Beobachtungen mit y_{ij} bezeichnet. Der Index $i \in \{1, \dots, m\}$ kennzeichne hierbei die einzelnen Schüler und $j \in \{1, \dots, n_i\}$ diejenigen Messzeitpunkte für die Beobachtungen vorliegen. In der Studie gab es vier Messzeitpunkte, die von 1 bis 4 nummeriert seien, so dass also $n_i \in \{1, \dots, 4\}$. Die Messwerte möglicher Kovariablen seien im Vektor $\mathbf{x}_{ij}^t = (1, x_{1ij}, \dots, x_{kij}, \dots, x_{lij})$ zusammengefasst⁴. Bei Annahme eines linearen Zusammenhangs zwischen den y_{ij} ⁵ und den Kovariablen würden nun bei der klassischen Regression die Regressionsparameter $\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_l$ anhand der Gleichung

$$y_{ij} = \mathbf{x}_{ij}^t \boldsymbol{\beta} + \epsilon_{ij} \quad (\text{A.1})$$

mit $\boldsymbol{\beta}^t = (\beta_1, \dots, \beta_l)$ geschätzt. Die Größen ϵ_{ij} sind hierbei die Messfehler.

Betrachten wir als Beispiel den einfachen Fall, bei dem lediglich die Änderung von Y (beispielsweise könnte es sich um das Fachinteresse handeln) mit der Zeit modelliert wird. Es seien keine weiteren Kovariablen in die Regression einbezogen. Die Zeit wird nun als kategoriale Kovariable (»Faktor«) mit vier Werten modelliert⁶. Eine Möglichkeit kategoriale Variablen bei einer Regression

³ D.h. die Schwankungen zwischen den Items einer Skala wurden im Weiteren - zum Beispiel bei Bestimmung der Modellgüte - nicht mehr berücksichtigt.

⁴ Der erste Eintrag ergibt die Regressionskonstante.

⁵ Es werden in diesem Abschnitt die gleichen Symbole für die Variablen und ihre gemessenen Werte verwendet.

⁶ Alternativ könnte die Zeit als metrische Variable angesehen werden. Dies wird häufig getan, wenn zeitliche Verläufe modelliert werden sollen. Da in der Studie die tatsächlichen Zeitabstände zwischen den einzelnen Messungen durchaus beträchtlich variierten, scheint ein solches Vorgehen

zu berücksichtigen, ist die Verwendung von »Dummy«-Variablen (siehe z. B. Fahrmeir et al. (2007)). Für die vier Zeitpunkte werden drei Indikatorvariablen t_k , $k = 1, \dots, 3$ mit

$$t_k = \begin{cases} 1 & \text{für Zeitpunkt } i \\ 0 & \text{sonst,} \end{cases}$$

definiert⁷. Gleichung (A.1) hat dann die Form⁸

$$y_{ij} = \mu + \alpha_j + \epsilon_{ij} \tag{A.2}$$

mit den für dieses Modell häufig verwendeten Bezeichnungen der Variablen.⁹ Die Größen μ und $\mu + \alpha_j$, $j = 1 \dots 3$ sind die anhand der Daten zu schätzenden Erwartungswerte von Y zu den vier Zeitpunkten. Werden die ϵ_{ij} als unabhängig angenommen, so korrelieren die Variablen y_{ij} nicht miteinander. Wird aber dieselbe Größe bei einer Person wiederholt gemessen, ist eine Korrelation der Messwerte nahe liegend. Im Rahmen der gemischten Modelle wird dies durch Einführung »zufälliger Effekte« modelliert. Addiert man auf der rechten Seite von Gleichung (A.2) die Werte einer Zufallsvariablen γ_i , also $y_{ij} = \mu + \alpha_j + \gamma_i + \epsilon_{ij}$, so ergeben sich die Kovarianzen

$$\text{Cov}(y_{ij}, y_{ik}) = \text{Var}(\gamma_i) + \text{Var}(\epsilon_{ij})\delta_{jk}.$$

Die Beobachtungen zu verschiedenen Zeiten korrelieren in diesem Modell also jetzt miteinander. Mit Hilfe der Zufallsvariablen γ_i werden die individuellen Abweichungen von den Mittelwerten modelliert. Diese Schwankungen werden gewissermaßen von den Fehlervariablen in die zufälligen Effekte »ausgelagert«. Diese Variablen werden als normalverteilt und zentriert angenommen, sie sind also - abgesehen von möglichen Kovarianzen - vollständig durch ihre Varianz bestimmt¹⁰.

für die Längsschnittdaten unserer Studie weniger angebracht.

7 Bei der Kodierung diese Variablen existiert eine gewisse Freiheit. Falls eine Konstante im Regressionsmodell enthalten ist, sind für r Werte $r - 1$ Dummy-Variablen erforderlich.

8 Dieses Modell wird in der Psychologie als Modell der einfaktoriellen Varianzanalyse bezeichnet. Der »Faktor« ist in diesem Beispiel die Zeit.

9 Es sind $\mu = \beta_0$ und $\alpha_j = \beta_j(1 - \delta_{j0})$, $j = 1 \dots 3$.

10 Sind die Varianzen von γ_i und ϵ_{ij} unabhängig von i und j , entspricht dies dem Modell der »einfaktoriellen Varianzanalyse mit Messwiederholung«. Bezeichnen wir die beiden Varianzen mit σ_γ^2 und σ_ϵ^2 , so ist die Korrelation zwischen zwei »Faktorstufen« (hier Zeitpunkten) gleich $\frac{\sigma_\gamma^2}{\sigma_\gamma^2 + \sigma_\epsilon^2}$.

Sie wird als *Intraklassen-Korrelation* (ICC) bezeichnet. Unter diesen Voraussetzungen kann das Modell mithilfe der Methode der kleinsten Quadrate geschätzt werden, sofern vollständige Beobachtungen vorliegen (d. h. die einzelnen Stichproben »balanciert« sind). Im allgemeinen Fall werden Maximum-Likelihood-Verfahren verwendet.

Im allgemeinen Fall hat das gemischte Modell die Form

$$y_{ij} = \mathbf{x}_{ij}^t \boldsymbol{\beta} + \mathbf{u}_{ij}^t \gamma_i + \epsilon_{ij}. \quad (\text{A.3})$$

Die zufälligen Effekte γ_{ki} für das i -te Individuum sind im Vektor γ_i zusammengefasst. Die zugehörigen Kovariablen $\{u_k\}$ sind häufig eine Teilmenge der $\{x_k\}$. Für diese Variablen setzt sich also die Steigung additiv aus einem fixen Part β_k und einen zufälligen Part γ_{ki} zusammen. Die Zufallsvektoren γ_i und $\epsilon_i = (\epsilon_{ij})$ werden als normalverteilt und unabhängig angenommen; außerdem sind sie auch untereinander (für verschiedene i) unabhängig. Ihre Kovarianzmatrizen werden als positiv definiert angenommen, unterliegen aber sonst zunächst keiner Beschränkung.

Die Grundidee gemischter Modelle wurde hier am Beispiel von Längsschnittdaten erläutert. Natürlich sind auch andere Anwendungen möglich. Zum Beispiel kann es sein, dass die Fälle einer Stichprobe einzelnen Gruppen angehören (zum Beispiel Schulklassen) und man vermutet, dass die Werte der abhängigen Variablen für Mitglieder einer Gruppe korreliert sind. In diesem Fall würde der Index i die einzelnen Gruppen nummerieren und der Index j die Beobachtungen an den Mitgliedern der Gruppen. Auch hier sind wieder unvollständige Daten möglich, zum Beispiel, falls nicht für jedes Mitglied einer Gruppe eine Beobachtung vorliegt.

Bei den im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten Regressionen zur Untersuchung der zeitlichen Änderung von Merkmalen wurde jeweils ein zufälliger Effekt für die Regressionskonstante angenommen, um die Korrelation zwischen verschiedenen Zeitpunkten zu ermöglichen¹¹.

Beim gemischten Modell wird angenommen, dass sowohl die zufälligen Effekte als auch die Fehler normalverteilt sind. Um dies zu prüfen wurden wie in West et al. (2007, Abschn. 5.9) zunächst die unter Annahme normalverteilter zufälliger Effekte geschätzten Werte der abhängigen Variablen berechnet. Die auf dieser Schätzung basierenden Residuen wurden dann jeweils visuell mittels eines Q-Q-Plots und anhand eines Kolmogorff-Smirnov-Tests auf Normalverteilung geprüft.

Zum Vergleich wurde außerdem jeweils eine »traditionelle« Varianzanalyse mit Messwiederholung unter Einbezug der ersten drei Messzeitpunkte durchge-

¹¹ Mögliche Erweiterungen dieses einfachen Modells wären z. B. die Einführung von zufälligen Effekten für die einzelnen Zeitpunkte (bzw. für die Steigungen zwischen diesen). Davon wurde aus zwei Gründen abgesehen: Einerseits erhöht sich die Modellkomplexität und die Zahl der in das Modell eingehenden Annahmen. Andererseits ergaben sich bei Tests mit solchen erweiterten Modellen teilweise Konvergenzprobleme - vermutlich bedingt durch eine nicht hinreichende Datenbasis.

führt. Hier erfolgt die Schätzung mit Hilfe der Methode der kleinsten Quadrate und es werden nur vollständige Fälle (bei denen Beobachtungen für jeden Messzeitpunkt vorliegen) berücksichtigt. Der vierte Messzeitpunkt wurde nicht berücksichtigt, da hier nur etwa für ein Drittel der Fälle Daten vorliegen.

Als weitere Testvariante wurde der nicht-parametrische Friedmann-Test für verbundene Stichproben gewählt. Bei diesem Rangsummen-Test werden keine Verteilungsannahmen gemacht. Er berücksichtigt jedoch ebenfalls nur vollständige Fälle, so dass wie bei Varianzanalyse mit Messwiederholung der vierte Messzeitpunkt nicht einbezogen wurde.

Die Schätzung der gemischten Modelle erfolgte mit der MIXED Prozedur der Statistik Software SPSS Statistics 20. Für paarweise »Post-Hoc«-Vergleiche auf signifikante Unterschiede der Mittelwerte verschiedener Zeitpunkte wurde die Unterprozedur EMMEANS mit Bonferroni-Korrektur für multiple Vergleiche verwendet¹². Die Varianzanalyse mit Messwiederholung sowie der Friedmann-Test wurden ebenfalls mit SPSS berechnet. Es wurden die Prozeduren GLM (Varianzanalyse) bzw. NPTESTS (Friedmann-Test) verwendet.

A.4. Interviews nach dem Unterricht

A.4.1. Leitfaden zu den Interviews

Leitfragen für Interviews

Durch die Eingangsfrage sollen die Schüler spontan berichten, was ihnen einfällt. Die Abfolge der Themen ist frei und kann sich danach richten, welche Themen die Schüler von sich aus ansprechen. Vertiefungsfragen (Vtf) werden nur gestellt, wenn die Thematik nicht sowieso schon angesprochen wurde.

Zu Beginn:

1. Dank für Bereitschaft am Interview teilzunehmen
2. Hinweis auf Audio-Aufnahme, Anonymität
3. Code-Name

¹² Diese Prozedur verwendet einen F-Test auf Basis der *geschätzten* Parameter der Randverteilung der zufälligen Effekte. Obwohl verschiedene etablierte Statistik-Software -Pakete dieses Vorgehen wählen, ist es nicht unproblematisch (vgl. J. J. Faraway (2006); J. Faraway (2013)). Die Ergebnisse in Abschnitt 6.2.3 wurden daher auch mit alternativen Verfahren, wie sie in J. Faraway (2013) beschrieben werden (parametrisches Bootstrapping, Markov Ketten Monte Carlo (MCMC)), überprüft. Da sich keinen gravierenden Unterschiede ergaben, werden lediglich die mit SPSS gewonnenen Werte dokumentiert. Für diese alternativen Tests wurden die Open Source R-Programmpakete *lme4* (Prozedur `lmer` für die Modellschätzung), *pbkrtest* (Prozedur `KRmodComp` und `languageR` (Prozedur `pvals.fnc`) verwendet (vgl. auch Baguley (2013) für eine Diskussion dieser Methoden).

Eingangsfrage zu Erfahrungen mit dem Unterricht

»Wir interessieren uns dafür, wie Sie den Unterricht erlebt haben. Was ist Ihnen positiv aufgefallen, oder negativ? Erzählen Sie doch zu Anfang einfach von Ihren Erfahrungen!«

Interesse & Wissenschaftstheorie-Unterricht

»Wie interessant fanden Sie den Unterricht zur Wissenschaftsphilosophie - was hat besonders interessiert, was weniger?«

Vtf: »Hat das Thema Ihr Interesse mehr geweckt als der sonstige Physikunterricht?«

Vtf: »Glauben Sie, dass sich Ihr Interesse am Fach Physik dadurch geändert hat?«

Vtf: »Können Sie die Gründe dafür erläutern? «

Unterrichtsinhalte

»Könnten Sie bitte den Unterricht zur Wissenschaftsphilosophie in eigenen Worten kurz zusammenfassen?« (ggfs. mit Stichworten erinnern oder helfen)

An Beispielen wird kurz erläutert, was ein »szientistisches Weltbild« ist.

»Würden Sie sagen, dass solch ein szientistisches Weltbild zwangsläufiges Ergebnis physikalischer Forschung ist?«

Einfluss des Unterrichts auf eigene bzw. vermutete Überzeugungen

Eigene Einschätzung

»Würden Sie sagen, dass der Unterricht Ihr eigenes Weltbild beeinflusst hat?«

Vtf: »In welcher Weise?«

Vtf: »Wie schätzen Sie die Mehrheit Ihre Klassenkameraden in dieser Hinsicht ein?«

Einschätzung Physiker

»Hatte der Unterricht Einfluss auf das Weltbild, welches Sie bei den Physikern vermuten?«

Vtf: »Woran liegt das genau?«

Vtf: »Die meisten Schülerinnen und Schüler schätzen Physiker als szientistischer ein als sich selbst. Wie kommt es nach Ihrer Meinung zu dieser Ansicht?«

Verständnis von »Physiker«

»Auf dem Fragebogen wurden Sie aufgefordert anzugeben, welche Ansicht Sie bei 'der Mehrheit der Physiker/innen vermuten'. Hätten Sie anders geantwortet, wenn die Formulierung 'den meisten Physiker/innen vermuten' gelautet hätte?«

Verbesserung des Unterrichts

»Wir arbeiten daran, den Unterricht zur Kosmologie und Wissenschaftsphilosophie weiter zu verbessern. Können Sie Verbesserungsvorschläge machen?«

Vtf: »Was sollte man aus Ihrer Sicht anders machen?«

A.4.2. Zusammenfassungen der Interviews

Nachfolgend sind die Zusammenfassungen der Interviews wiedergegeben, auf die in Abschnitt 6.2.4 Bezug genommen wird. Zur Illustration sind - insbesondere zu den Abschnitten *Interessantheit und Interesse* sowie *Ansichten* - transkribierte Interviewpassagen eingefügt. Der besseren Lesbarkeit wegen wurden dabei Fülllaute wie »Äh« oder »Hm« nicht transkribiert. Wurden bei einer zusammenhängenden Aussage Abschnitte ausgelassen, so ist dies mit ... gekennzeichnet. Hierbei handelt es sich in der Regel um Wiederholungen oder Variationen, die (nach Ansicht des Auswertenden) keinen neuen oder relevanten inhaltlichen Aspekt enthalten. Sind Interviewteile, zwischen denen mehrere Aussagen liegen, aneinander gefügt, so ist dies durch (...) gekennzeichnet. Bezieht sich eine Aussage auf einen vorhergegangenen Interviewinhalt, so sind zum leichteren Verständnis ergänzende Bemerkungen hinzugefügt. Diese sind durch eckige Klammern [] markiert. Den interviewten Schülerinnen und Schülern wurden fiktive Namen gegeben.

Zu den quantitativen Daten:

»Szientismus Schüler« und »Szientismus Physiker« bezeichnen wie in Kapitel 6 die beiden Variablen der Szientismus-Skala. Die drei Angaben zu diesen beiden Variablen und dem Fachinteresse beziehen sich auf die Zeitpunkte »vorher« - »nach Kosmologie« - »nach Wissenschaftstheorie«.

Zum Vergleich der Interview-Aussagen zu verschiedenen Grenzen der Physik und den Angaben auf dem Fragebogen sind nachfolgend die zehn Items der Szientismus-Skala und ihre Bewertungen durch die interviewten Schüler wiedergegeben. Die Angaben beziehen sich auf den Zeitpunkt »nach Kosmologie«.

Item 1: Die Naturwissenschaften werden irgendwann in der Lage sein, alle für die Menschheit bedeutsamen Fragen zu beantworten.

Item 2: Die Naturwissenschaften können den Sinn des Lebens herausfinden.

Item 3: Naturwissenschaftliches Wissen ist das mit Abstand wertvollste Wissen.

Item 4: Ein vernünftiger Mensch sollte nur an Dinge glauben, die naturwissenschaftlich erklärbar sind.

Item 5: Die Naturwissenschaften werden alle anderen Wissenschaften irgendwann überflüssig machen.

Item 6: Moralische Vorstellungen sollten naturwissenschaftlich begründet werden.

Item 7: Nur die Naturwissenschaften können uns zuverlässige Informationen über die Welt liefern.

Anhang A. Anhang

Item 8: Nur was man zumindest prinzipiell messen kann, existiert auch tatsächlich.

Item 9: Physik ist Vorbild für alle anderen Wissensgebiete.

Item 10: Alles was real ist, kann auch physikalisch beschrieben werden.

Tab. A.12. Bewertungen der zehn Items der Szientismus-Skala.

	Item 1	Item 2	Item 3	Item 4	Item 5	Item 6	Item 7	Item 8	Item 9	Item 10
<i>Anna</i>	1	1	3	1	1	1	2	3	1	5
<i>Max</i>	5	3	3	5	3	4	5	4	3	4
<i>Berta</i>	2	1	3	2	3	1	4	3	2	4
<i>Jan</i>	4	4	5	3	4	1	4	2	4	4
<i>Tim</i>	2	1	3	1	1	2	4	1	2	4
<i>Dora</i>	3	2	4	4	2	4	4	3	4	4

Interview 1

Name: Anna

Kurs: A

Geschlecht: weiblich

Interessantheit Kosmologie: 1.25

Interessantheit Wissenschaftstheorie: 3.5

Szientismus Schüler: 1.4 - 1.9 - 1.7

Szientismus Physiker 3.2 - 3.1 - 2.7

Fachinteresse: 3.3 - 3.5 - 3.1

Wissen Wissenschaftstheorie: 75 % (Aufgabe 1: 100 %)

Bei Anna ist Wert für die Interessantheit des Wissenschaftstheorie-Unterrichts deutlich über dem des Kosmologie-Unterrichts. Beide Szientismus-Werte sind vergleichsweise niedrig. Ihr Fachinteresse ist durchschnittlich und das Ergebnis beim Nachtest zur Wissenschaftstheorie überdurchschnittlich gut.

Allgemeiner Eindruck.

Beim Unterricht zu Kosmologie findet Anna das Modell (welches genau, wurde vom Interview leider nicht nachgefragt) sehr gut. Ihrer Ansicht nach wurde nicht zu viel Unterrichtsstoff behandelt. Beim Wissenschaftstheorie-Unterricht hebt sie die Arbeitsblätter zum Mit-Nachhause-Nehmen positiv hervor. Sie empfindet das Unterrichtsniveau hier als ein wenig zu niedrig, es sei eher einer

Jahrgangsstufe tiefer angemessen.

Interessantheit und Interesse.

Auf die Frage ob sie den Unterricht zur Wissenschaftsphilosophie interessant gefunden habe, antwortet sie:

Anna: »Ich fand das interessant, weil wir das vorher noch nie gemacht haben ...«
Besonders gut findet sie auch die Methode des Gruppenpuzzles mit dem gegenseitigem Erklären, sie hebt auch nochmals das Arbeitsblatt positiv hervor.

Sie findet es offenbar gut, dass diese wissenschaftsphilosophische Thematik im Physikunterricht behandelt wird, kann sich aber eine noch längere Beschäftigung damit nicht vorstellen:

Interviewer: »Fanden Sie das Thema jetzt interessanter als den normalen Physikunterricht, oder nicht?«

Anna: »Fand es gut das man da für einen begrenzten Zeitraum rein geschaut hat, aber länger könnte ich mir das nicht vorstellen mich damit zu beschäftigen.«

Interviewer: »Warum?«

Anna: »Weil ich diese philosophische Fragestellung sehr verwirrend finde, da kann man immer im Kreis diskutieren.«

Interviewer: »Hat sich Ihr Interesse am Fach Physik dadurch geändert?«

Anna: »Nein, weil es halt nur ein Randbereich war und weil ich halt vorher dieses Interesse schon hatte.«

Wissen.

Von den drei im Unterricht behandelten methodischen Merkmalen der Physik kann sich Anna lediglich an die Nachprüfbarkeit erinnern und dieses Merkmal auch erläutern. Zur zweiten Stunde fallen ihr das Projektions-Modell zur Verdeutlichung verschiedener Sichtweisen auf die Wirklichkeit ein. Dessen intendierte Bedeutung kann sie ebenfalls erläutern.

Ansichten.

Anna ist offenbar der Ansicht, dass eine intensive Beschäftigung mit der Physik zu einer szientistischen Haltung führen kann. Sie selbst ist der Ansicht, dass sich physikalisch nur ein gewisser Bereich der Wirklichkeit erklären lässt, aber Anderes nicht, zum Beispiel Fragen nach dem Sinn. Sie hatte diese Einstellung schon vor dem Unterricht und sieht sich durch diesen noch einmal in ihrer Auffassung bestätigt. Sie geht davon aus, dass ihre Klassenkameraden ähnlich denken wie sie selbst.

[Der Interviewer führt die Bezeichnung »szientistisch« für die Auffassung, dass letztlich Alles physikalisch beschreib- und erklärbar sein werde, ein. Als Beispiele werden »Der Sinn des Lebens« und die Aussage »Alles was real ist, kann

auch physikalisch beschrieben werden« genannt.]

Interviewer: »Ist so eine [szientistische] Haltung zwangsläufig das Ergebnis physikalischer Forschung?«

Anna: »Vielleicht, wenn man das ziemlich intensiv betreibt, so dass man sich da nur noch drin dreht, quasi und das andere nicht mehr sieht, aber generell für mich würd ich das nicht so sagen.«

(...)

Interviewer: »Hatte der Unterricht Ihre eigene Haltung in dieser Hinsicht irgendwie beeinflusst oder verändert?«

Anna: »Nee, mir ist nur nochmal klar geworden, dass die Physik nur nen bestimmten Bereich abdecken kann, und dass man das Andere durch Physik nicht mehr erklären kann, also zum Beispiel Fragen nach dem Sinn.«

Interviewer: »Diese Einschätzung hatten Sie vorher auch schon?«

Anna: »Ja, das hat sich dann nur noch, quasi, nur nochmal wissenschaftlich erklärt.«

(...)

Interviewer: »Auf dem Fragebogen wurde ja auch nach der Ansicht Physikerinnen und Physiker gefragt. Was vermuten Sie da, liegen die ähnlich wie Sie, oder denken die sozusagen szientistischer?«

Anna: »Ich hab wahrscheinlich ein bisschen verkorkstes Bild von Physikern, aber ich denk, dass die das szientistischer sehen, weil sie sich ja immer damit beschäftigen.«

(...)

Interviewer: »Hatte der Unterricht irgendwie Einfluss auf ihrer Einschätzung - dass die Physiker vielleicht doch nicht so szientistisch denken, wie Sie ursprünglich gedacht hatten, oder nicht?«

Anna: »Ja, wenn sie sich vielleicht auch so damit beschäftigen, wie wir das gemacht haben, ja, dann denke ich werden sie sehr [unverständlich] sein, dass sie dann nicht mehr so szientistisch.«

Interviewer: »Aber da sind sie sich nicht so sicher?«

Anna: »Ja, das ist Vorurteil.«

Anna ist der Ansicht, dass Physiker als eher szientistisch eingeschätzt werden, weil man sich die große Hingabe der Physiker für ihr Fach nur durch deren Glauben an die große Bedeutung der Physik für die Welt erklären könne. Auf die Frage, wieso sie glaube, dass sie von Schülerinnen und Schülern eher szientistisch eingeschätzt werden, antwortet sie:

Anna: »Weil wir zum Beispiel an der ... Uni hier waren und an so nem Physik-Teil teilgenommen haben, und da Menschen waren, also Physiker, die sich nur

mit Lichtstrahlen beschäftigen, wie sie halt diesen richtigen Weg jetzt durch die Apparatur finden, und man halt denkt, dass das nicht so lebenswichtig ist, und man die deswegen in eine Schublade sozusagen steckt und dass man dann noch denkt von ihnen, dass sie das nur machen können, weil sie so'n Bild haben, dass Physik das Wichtigste ist.«

Interviewer: »Ah ja, und Sie gehen auch davon aus, dass die dann glauben, dass sie eigentlich - wenn sie nur lange genug forschen - alles beantworten können?«

Anna: »Nein, schon so'n bisschen in die Richtung, aber nicht nein ...«

Interviewer: »Was würden Sie sagen, was glauben die dann tatsächlich ...?«

Anna: »Sie müssen das Denken haben, weil sonst würden sie, glaube ich, nicht so lange daran forschen.«

Interviewer: »Welches Denken?«

Anna: »Dass sie da halt was total für die Welt Wichtiges herausfinden.«

(...)

Interviewer: »Glauben die Physiker, dass sie den Sinn des Lebens herausfinden können?«

Anna: »Nein.«

Interviewer: »'Alles was real ist kann auch physikalisch beschrieben werden', glauben Sie, dass das die meisten das Physiker denken?«

Anna: »Ja.«

Frage zur Validierung der Skala.

Ein Einfluss einer geänderten Formulierung auf dem Fragebogen (»... bei der Mehrheit der Physiker/innen vermuten.« statt »... bei den meisten Physiker/innen vermuten.«) auf das eigene Antwortverhalten wird verneint.

Verbesserungsvorschläge.

Anna findet beide Unterrichtseinheiten in Ordnung und macht keine Verbesserungsvorschläge.

Interview 2

Name: Max

Kurs: A

Geschlecht: männlich

Interessantheit Kosmologie: 2.5

Interessantheit Wissenschaftstheorie: 3.25

Szientismus Schüler: 4.2 - 3.9 - 3.8

Szientismus Physiker 4.0 - 4.1 - 4.1

Fachinteresse: 3.3 - 3.7 - 3.6

Wissen Wissenschaftstheorie: 75 % (Aufgabe 1: 83 %)

Bei Max ist der Wert der Interessantheit des Wissenschaftstheorie-Unterrichts - wie bei Anna - größer als diejenige des Kosmologie-Unterrichts. Beide Szientismus-Werte sind hoch und er würde Gruppe III zugerechnet werden. Seine Werte beim Fachinteresse, wie auch das Ergebnis beim Nachtest sind überdurchschnittlich.

Allgemeiner Eindruck.

Positiv hebt Max am Unterricht die Anschaulichkeit der beiden Modelle - des Gummibandmodells in der Kosmologie und des Projektionsmodells in der Wissenschaftstheorie - hervor. Die Einheit zur Wissenschaftstheorie sei manchmal ein wenig anspruchslos gewesen.

Interessantheit und Interesse.

Max findet die Thematisierung von »Grenzen und Methoden der Physik« im Wissenschaftstheorie-Unterricht sowie dessen Methoden interessant. Er sei schon vorher an Physik interessiert gewesen, so dass sich sein Interesse am Fach Physik durch den Unterricht jedoch nicht geändert habe.

Max: »... Thema war auf jeden Fall interessant, auch von den Methoden her, nicht das was man sonst so im Unterricht macht ...« (...)

Interviewer: »Fanden Sie das Thema jetzt interessanter als den durchschnittlichen Physikunterricht, oder weniger interessant?«

Max: »Ich würde jetzt nicht sagen interessant oder weniger interessant...«

Interviewer: »Hat sich Ihr Interesse am Fach Physik dadurch geändert?«

Max: »Ich war vorher schon am Fach Physik interessiert, sonst hätte ich auch nicht den LK gewählt. Aber hat sich jetzt auch eigentlich nicht mehr groß geändert. ... Weniger interessant geworden auf keinen Fall, das mit den Grenzen und den Methoden, dadurch ist es eher noch ein bisschen interessanter geworden ...«

Wissen.

Max konnte sich an die methodischen Merkmale »Alle-Ausagen« und »Zwecke« sowie das Projektions-Modell der zweiten Stunde erinnern. Sowohl die Merkmale als auch das Modell konnten von ihm erläutert werden.

Ansichten.

Max ist der Ansicht, dass Moral oder der »Sinn des Lebens« sich nicht »direkt« durch physikalische Forschung herausfinden lassen, die Ursache für die Existenz der Menschheit oder warum sich etwas entwickle, möglicherweise schon. Er sagt, dass er über die Grenzen der Physik zuvor wenig nachgedacht habe. Deren Thematisierung im Unterricht habe dadurch schon einen gewissen Einfluss auf sein Weltbild. Der Physikunterricht würde den Eindruck vermitteln, dass Physiker eher szientistisch denken, da immer nur einzelne Themen durchgearbeitet würden, ohne die Betrachtung von Querbezügen oder die Diskussion von Möglichkeiten und Grenzen physikalischer Erklärungen. Die Ansichten seiner Klassenkameraden schätzt er ähnlich ein, da es sich um einen Leistungskurs handle.

[Der Interviewer führt die Bezeichnung »szientistisch« für die Auffassung, dass letztlich alles physikalisch beschreib- und erklärbar sein werde, ein. Als Beispiele werden »Der Sinn des Lebens« und die Aussage »Alles, was real ist, kann auch physikalisch beschrieben werden« genannt.]

Interviewer: »Ist eine solche [szientistische] Ansicht zwangsläufiges Ergebnis physikalischer Forschung ...?«

Max: »... Nicht komplett, vielleicht gerade so was Moral angeht, oder diese Sachen oder den Sinn des Lebens ... das kann man nicht so jetzt direkt rausfinden, ... vielleicht wenn man mit irgendwelchen Forschungen darauf stößt, warum die Menschheit existiert oder warum sich irgendwas entwickelt hat, das vielleicht ...«

(...)

Interviewer: »Alles was was real ist, kann auch physikalisch beschrieben werden?« *Max:* »Ich denke schon, aber es gibt immer auch wieder Sachen die schwierig sind ... auch bei der Kosmologie oder so ...«

Hatte der Unterricht Einfluss auf Ihr eigenes Weltbild? *Max:* »So bisschen schon, gerade auch dass man merkt dass die Physik Grenzen hat oder dass man nicht alles erklären kann ...«

Interviewer: »Das war also nochmal ne Neuigkeit für Sie?«

Max: »Da denkt man sonst nicht so genau drüber nach, ... man guckt da nicht so richtig über seinen Tellerrand hinaus ...«

(...)

Interviewer: »Können Sie ein bisschen begründen, woran das jetzt liegt, dass sich das geändert hat ... also aufgrund welches Inhalts?«

»Einmal das mit der physikalischen Methoden ... auch das einfache Beispiel mit diesem Leuchtkasten.«

(...)

Interviewer: »Hatte der Unterricht Einfluss auf das Weltbild, das Sie bei Physikern vermuten?«

Max: »Weiß nicht genau das kann man sich schwer vorstellen, wenn man selber sagen soll, wie die jetzt denken ...«

Interviewer: »Glauben Sie, dass der Unterricht in dieser Hinsicht Einfluss auf Ihre Ansicht gehabt hat?«

Max: »Das denke ich schon, also zum Beispiel das Beispiel mit den physikalischen Methoden oder den Grenzen, also man kann ja nicht alles erklären, also ich denke schon, dass man dann so'n Eindruck kriegt ...«

Interviewer: »Würden Sie sagen, dass der Physikunterricht sonst irgendwie den Eindruck vermittelt, dass Physiker eher szientistisch denken?«

Max: »Das hat manchmal schon den Anschein, weil, man hat da wirklich ein Thema, das man jetzt so durcharbeitet, man guckt da jetzt nicht nach in welche Richtung das noch verzweigt ist oder wo das endet, was man damit noch erklären kann oder was nicht mehr.«

Auf die Frage, wieso er glaube, dass Physiker von Schülerinnen und Schülern eher szientistisch eingeschätzt werden, führt er noch einmal den Physikunterricht an, und den Eindruck, den dieser seiner Ansicht nach vermittelt:

Max: »Das liegt halt an dem Unterricht, dass man da halt wirklich so Themenportionen hat, man fängt halt irgendwo an und dann ist das Thema abgeschlossen, ... dass man dann irgendwie den Eindruck kriegt, dass das bei Allem so ist.«

Frage zur Validierung der Skala.

Ein Einfluss einer geänderten Formulierung auf dem Fragebogen (»... bei der Mehrheit der Physiker/innen vermuten.« statt »... bei den meisten Physiker/innen vermuten.«) auf das eigene Antwortverhalten wird verneint.

Verbesserungsvorschläge.

Der Unterricht zur Wissenschaftstheorie hätte nach Max' Ansicht für eine zwölfte Klasse etwas anspruchsvoller sein können, insbesondere das »Gespräch« in der zweiten Stunde. Vermisst habe er, dass nicht nur ein »klassisches Unterrichtsgespräch« geführt, sondern mehr diskutiert würde.

Interview 3

Name: Berta

Kurs: A

Geschlecht: weiblich

Interessantheit Kosmologie: 4.75

Interessantheit Wissenschaftstheorie: 2.5

Szientismus Schüler: 2 - 2.5 - 2

Szientismus Physiker 4 - 4.2 - 4.3

Fachinteresse: 4.1 - 4.3 - 4.4

Wissen Wissenschaftstheorie: 92 % (Aufgabe 1: 100 %)

Der Wert der Interessantheit für den Kosmologie-Unterricht sowie das Fachinteresse ist bei Berta sehr hoch. Hinsichtlich der Szientismus-Variablen gehört sie zu Gruppe II. Mit 92 % im Nachtest erzielte sie das beste Ergebnis in der gesamten Stichprobe.

Allgemeiner Eindruck.

Beim Wissenschaftstheorie-Unterricht findet Berta das Gruppenpuzzle mit selbstständigem Durchlesen, Erarbeiten und Weitergeben gut. Das könne man im Unterricht öfter machen. Inhaltlich finde sie die Kosmologie interessanter, der andere Unterricht sei aber auch nicht uninteressant.

Interessantheit und Interesse.

Bei der Wissenschaftsphilosophie findet Berta interessant, dass es »da überhaupt Unterschiede« gebe, zum Beispiel, »das mit den Alle-Aussagen«. Weil man selbst mehr erarbeiten müsse, sei das Gruppenpuzzle ihrer Ansicht nach besser als die zweite Stunde. Das fiktive Gespräch zwischen Herrn X und Dr. Y wird von ihr nicht als Erarbeitung empfunden.

Ihr Interesse am Physikunterricht habe sich nicht wesentlich geändert, es sei schon vorher da gewesen:

Interviewer: »Hat das Thema mehr Interesse geweckt als der normale Physikunterricht?«

Berta: »Ne, nicht unbedingt interessanter aber auch nicht langweiliger.«
(...)

Interviewer: »Hat sich Ihr Interesse am Fach Physik dadurch geändert?«

Berta: »Nö.«

Interviewer: »... es ist jetzt also nicht so, dass Sie sagen, das war jetzt was besonders Interessantes, was im Physikunterricht sonst nicht dran kommt?«

Berta: »Nee, Interesse für Physikunterricht ist eigentlich schon immer da gewesen, insofern hat sich da jetzt nicht groß was geändert.«

Wissen.

Berta konnte sich an die Merkmale »Alle-Aussagen« und »Zwecke« erinnern und sie sehr gut erläutern.

Ansichten.

Berta ist der Ansicht, dass sich nicht alle Fragen physikalisch beantworten lassen. Dazu zählen für sie zum Beispiel moralische Fragen. Den Unterricht sieht sie als Bestätigung ihrer Ansicht. Über die Sichtweise von Physikern habe sie zuvor nie nachgedacht, sie vermutet bei ihnen jedoch ein szientistisches Weltbild. Sie begründet dies mit ihrem »Bauchgefühl«, der Physikunterricht habe dazu nichts beigetragen.

[Der Interviewer führt die Bezeichnung »szientistisch« für die Auffassung, dass letztlich Alles physikalisch beschreib- und erklärbar sein werde, ein. Als Beispiele werden »Der Sinn des Lebens« und die Aussage »Alles was real ist, kann auch physikalisch beschrieben werden« genannt.]

Interviewer: Ist so ein [szientistisches] Weltbild zwangsläufiges Ergebnis physikalischer Forschung?«

Berta: »Nein würde ich nicht sagen. Ich persönlich glaube nicht, dass die Physik irgendwann einmal alle Fragen beantworten kann. Schon gar nicht ... zum Beispiel ... moralische Fragen, das glaube ich nicht, dass das ne Wissenschaft jemals alles irgendwie nachprüfen kann und beweisen kann.«

(...)

Interviewer: »Hatte der Unterricht Einfluss auf Ihr eigenes Weltbild?«

Berta: »Nee.«

(...)

Interviewer: »Sie würden sich eher als nicht-szientistisch einschätzen?«

S. »Ja.«

Interviewer: »Und der Unterricht hat jetzt ihre Ansicht auch bestätigt?«

S. »Ja, eigentlich schon.«

(...)

Interviewer: »Wie schätzen Sie die Mehrheit Ihre Klassenkameraden in dieser Hinsicht ein?«

S. »Ich denke, das ist ähnlich.«

(...)

Interviewer: »Hatte der Unterricht Einfluss auf das Weltbild, welches Sie bei den Physikern vermuten...?«

Berta: »Hab ja vorher nie so darüber nachgedacht, wie die Sicht der Physiker so ist. Ich hab da vorher schon gedacht, dass die Physiker - irgendwie so - szientistisch sind, glaube ich - Und das glaube ich auch immer noch!«

Interviewer: »Also, nur weil wir das jetzt im Unterricht machen, kommen Sie

jetzt nicht zu einer anderen Auffassung?«

Berta: »Nein.«

(...)

Interviewer: »Es ist tatsächlich so, dass die meisten Schülerinnen und Schüler so denken wie Sie - also dass die Physiker Szientisten sind. Können Sie erläutern, wie Sie zu dieser Ansicht kommen?«

Berta: »Also, ich denke so, ..., dass die echt Hardcore so'n bisschen sind. Da gibt es bestimmt viele, die da total von überzeugt sind und irgendwann also auch daran glauben, dass die Physik irgendwann alle Fragen beantworten kann....«

Interviewer: »Auch zum Beispiel Fragen nach dem Sinn des Lebens?«

Berta: »Ja ich denke schon. Das ist nicht die Mehrheit, aber so'n paar aber bei vielen der Fragen auf dem Fragebogen schon...«

Interviewer: »Zum Beispiel 'Alles was real ist, kann physikalisch beschrieben werden'?«

Berta: »Ja, denke schon, dass es da viele von gibt...«

Interviewer: »...und "moralische Vorstellungen sollten naturwissenschaftlich begründet werden"?«

Berta: »Doch, da denke ich auch, dass es da einige gibt, die jetzt mit Religion zum Beispiel gar nichts am Hut haben und eher auf diesem wissenschaftlichen Weg sind.«

Interviewer: »Hat ihrer Ansicht nach der Unterricht auch dazu beigetragen, dass sie der Meinung sind, dass Physiker so denken?«

Berta: »Nein.«

Interviewer: »Das haben sie jetzt aus ihren sonstigen Beobachtungen? Wie kommen Sie zu ihrer Ansicht?«

Berta: »Ja... das ist einfach so'n Bauchgefühl... meine Überzeugung ist es ja nicht, ...könnt ich mir gut vorstellen, dass es halt viele Menschen gibt, die das so denken. Weil es ja auch zum Beispiel viele gibt, die nicht mit Religion irgendwas anfangen können.«

Interviewer: »Und bei Physikern würden Sie das jetzt besonders stark vermuten...?«

Berta: »Nein, ich denke bei anderen Naturwissenschaftlern, die sich zum Beispiel auf das Fach Chemie spezialisiert haben, ist das genauso.«

Frage zur Validierung der Skala.

Ein Einfluss einer geänderten Formulierung auf dem Fragebogen (»... bei der Mehrheit der Physiker/innen vermuten.« statt »... bei den meisten Physiker/innen vermuten.«) auf das eigene Antwortverhalten wird verneint.

Verbesserungsvorschläge.

Aber sie betont noch einmal, dass sie bei der Kosmologie das Experiment gut fand, sowie die Möglichkeit etwas Praktisches machen zu können. Bei der Wissenschaftstheorie fand sie das Gruppenpuzzle und dem Projektionskasten gut, auch das fiktive Gespräch sei in Ordnung gewesen.

Interview 4

Name: Jan

Kurs: B

Geschlecht: männlich

Interessantheit Kosmologie: 4.5

Interessantheit Wissenschaftstheorie: 2.75

Szientismus Schüler: 3.8 - 3.5 - 3.5

Szientismus Physiker 4.0 - 4.1 - 3.9

Fachinteresse: 4.0 - 4.1 - 3.9

Wissen Wissenschaftstheorie: 33 % (Aufgabe 1: 100 %)

Die Interessantheit des Kosmologie-Unterrichts und das Fachinteresse haben bei Jan hohe Werte. Das Gleiche gilt für die beiden Szientismus-Variablen, so dass er Gruppe III zugeordnet würde. Sein Ergebnis beim Wissenschaftstheorie-Test ist unterdurchschnittlich.

Allgemeiner Eindruck.

Jan findet das Thema Kosmologie insgesamt sehr interessant. Besonders positiv am Unterricht hebt er die Präsentation sowie das Arbeiten mit den Spektrometern hervor. Zur Wissenschaftstheorie sagt er:

Jan: »...diese Wissenschaftstheorie ist mal ganz nett sich damit auseinander zu setzen, aber ist für mich jetzt nicht so interessant, weil's jetzt nicht so wirklich für mich physikalisch ist.«

Interessantheit und Interesse.

Jan findet auch den Wissenschaftstheorie-Unterricht interessanter als den normalen Physikunterricht. Die Arbeitsform sei einmal unüblich gewesen. Inhaltlich habe ihn besonders die Frage der Nachweisbarkeit interessiert. Der Unterricht habe sein Interesse an Physik nicht verändert, da es schon vorhanden gewesen sei.

Jan: »Interessant fand ich, ob etwas wirklich nachweisbar ist, also beweisbar, die anderen so lala..«

(...)

Interviewer: »Fanden Sie das Thema interessanter als den durchschnittlichen Physikunterricht?«

Jan: »Ich fand das viel interessanter, würd ich schon sagen.«

Interviewer: »Auch die Wissenschaftstheorie?«

Jan: »Ja, das auch. weil es was Anderes ist als man sonst so macht. Auch von der Arbeitsform war das schon was anderes...«

(...)

Interviewer: »Hat sich Ihr Interesse am Fach Physik dadurch geändert?«

(...)

Jan: »Ich würd sagen, nur bestätigt, weil ich das Fach vorher schon ganz interessant fand...«

Wissen.

Jan kann sich an die Merkmale »Nachprüfbarkeit« und »Alle-Aussagen« erinnern und deren Inhalt zusammenfassen. Auf Nachfrage kann auch das Merkmal »Zwecke« von ihm korrekt erläutert werden. Die zweite Stunde fasst er so zusammen, dass man die Inhalte der vorhergehenden Stunde noch einmal in einen Dialog umgeschrieben habe.

Ansichten.

Jan ist der Ansicht, dass viele, jedoch nicht alle Fragen, von den Naturwissenschaften beantwortet werden können. Gegenstände aus der moralischen oder religiösen Sphäre sind für ihn nicht naturwissenschaftlich erklärbar, dafür aber möglicherweise die Ursache der menschlichen Existenz. Der Unterricht habe ihn zum Nachdenken darüber angeregt, was Physik wirklich genau erklären könne. Seiner Ansicht nach nur das, was »wirklich da« sei, alles, »was sich im Gehirn abspiele«, wie Gedanken und Gefühle, dagegen nicht. Jan glaubt, dass die Abneigung vieler Schüler gegen das Fach Physik und andere naturwissenschaftliche Fächer dazu führt, dass den Naturwissenschaften weniger zugetraut würde.

[Der Interviewer führt die Bezeichnung »szientistisch« für die Auffassung, dass letztlich Alles physikalisch beschreib- und erklärbar sein werde, ein. Als Beispiele werden »Der Sinn des Lebens« und die Aussage »Alles was real ist, kann auch physikalisch beschrieben werden« genannt.]

Interviewer: »Würden Sie sagen, dass so'n [szientistisches] Weltbild zwangsläufiges Ergebnis physikalischer Forschung ist?«

Jan: »Zum Teil, zum Teil auch nicht, denke, dass die Physik und die Naturwissenschaften einen sehr großen Teil von unserer Welt erklären können und erklären können werden, nur ... so Sachen, wie moralische Dinge oder religiöse Dinge werden sie halt nicht erklären können, sondern vielleicht auch eher erklären können, warum wir hier sind oder sowas, vielleicht... denke schon, dass das in die Richtung geht, dass also viele Fragen von den Naturwissenschaften beantwortet werden können, aber halt nicht alle.«

Interviewer: »Welche?«

Jan: »Moralische Fragen, gibt es dort, die richtige Religion, vielleicht auch zwischenmenschliche Sachen, irgendwie die Beziehung oder sowas...«

Interviewer: »Würden Sie sagen, dass eine Aussage wie 'Alles was real ist, kann auch physikalisch beschrieben werden' richtig ist?«

Jan: »Nein, nein, sowas Zwischenmenschliches wie Liebe oder so, denk ich mal, kann nicht durch die Physik erklärt werden.«

(...)

Interviewer: »Hatte der Unterricht Einfluss zu den Grenzen der Physik einen Einfluss auf Ihr eigenes Weltbild?«

S. »Ja, im Nachhinein habe ich überlegt, was die Physik wirklich genau erklären kann. Sie kann ja nur das erklären, was auch wirklich da ist. Nur unsere Gedanken, oder was sich in unserem Gehirn abspielt, kann nicht durch die Physik erklärt werden, also sowas wie Gefühle.«

(...)

Interviewer: »Wie schätzen Sie die Mehrheit Ihre Klassenkameraden in dieser Hinsicht ein?«

Jan: »Da es ein Physik LK ist, denke ich schon, dass viele meine Meinung teilen würden. Ich glaube, dass es keinen geben wird, der sagt, dass die Naturwissenschaften alles erklären... wobei andere in der Schule, die jetzt nicht so an Physik interessiert sind... das noch stärker abschwächen, also dass sie Physik noch weniger erklären kann.«

(...)

Interviewer: »Hatte der Unterricht Einfluss auf Ihre Einschätzung der Physiker...?«

Jan: »Nein, das nicht. ...Es war nach wie vor so, dass ich das angekreuzt habe, wie ich das so sehe....«

(...)

Interviewer: »Die meisten Schülerinnen und Schüler schätzen Physiker eher szientistischer ein als sich selbst. Wie kommt es nach Ihrer Meinung zu dieser Ansicht?« *Jan:* »...Viele für Schüler finden es [Physik] als Hass-Fach..., dadurch kommt das Ganze zu Stande, also, dass sie jetzt ne stärkere Abneigung gegen diese Fächer haben und dadurch sich nicht vorstellen können, dass unser Leben

damit beschrieben werden kann.«

Frage zur Validierung der Skala.

Ein Einfluss einer geänderten Formulierung auf dem Fragebogen (»... bei der Mehrheit der Physiker/innen vermuten.« statt »... bei den meisten Physiker/innen vermuten.«) auf das eigene Antwortverhalten wird verneint.

Verbesserungsvorschläge.

Die Präsentation sei sehr gut gewesen, auch die Gruppenarbeit. Man solle sie gelegentlich - aber nicht zu oft - machen. Über Themen wie Planetensysteme, Supernovae oder Schwarze Löcher würde er gern mehr erfahren. Die Wissenschaftstheorie sei als Thema in Ordnung, das Philosophische sei aber nicht so »sein Ding«.

Interview 5

Name: Tim

Kurs: B

Geschlecht: männlich

Interessantheit Kosmologie: 4.75

Interessantheit Wissenschaftstheorie: 2.5

Szientismus Schüler: 3.0 - 2.6 - 2.1

Szientismus Physiker 4.4 - 3.9 - 2.5

Fachinteresse: 4.1 - 4.2 - 3.8

Wissen Wissenschaftstheorie: 33 % (Aufgabe 1: 67 %)

Auch bei Tim sind die Werte für die Interessantheit des Kosmologie-Unterrichts und das Fachinteresse hoch. Sein Abschneiden im Nachtest zur Wissenschaftstheorie ist unterdurchschnittlich. Bemerkenswert ist der starke Abfall bei beiden Szientismus-Werten nach dem Wissenschaftstheorie-Unterricht.

Allgemeiner Eindruck.

Tim findet die Dimensionen im Weltraum besonders interessant. Der Unterricht zur Wissenschaftstheorie enthält für ihn wenig Neues. Er sagt, dieser sei eher eine Bestätigung seiner bisherigen Ansichten.

Interessantheit und Interesse.

Tim meint, er sei grundsätzlich an Naturwissenschaft interessiert und das habe sich durch den Unterricht nicht geändert.

Interviewer: »Hat sich durch diesen Unterricht zur Wissenschaftsphilosophie Ihr Interesse am Fach Physik geändert?«

Tim: »Also, großartig nicht. ...«

Interviewer: »...auch nicht durch diese Grenzen?«

Tim: »Nein ganz und gar nicht, selbst wenn diese Grenzen noch da sind, finde ich das wirklich sehr interessant, besonders durch diese Riesen-Dimensionen...«

Wissen.

Für Tim sind die Grenzen der Physik das Thema des Wissenschaftstheorie-Unterrichts. Er kann sich an die Merkmale »Alle-Aussagen« und »Nachprüfbarkeit« erinnern und diese erläutern.

Ansichten.

Tim bezeichnet eine szientistische Auffassung als naiv. Man wisse nie genau, wo die Grenzen lägen. Als Beispiel führt er einen Teilchenbeschleuniger (gemeint ist vermutlich der am CERN) und auch Religion an. Hinsichtlich der Einschätzung von Physikern erwähnt er, dass er im Unterricht die Ansichten mehrerer Physiker aus der Vergangenheit kennengelernt habe. Diese hätten die Grenzen noch nicht so gekannt. Er geht jedoch davon aus, dass insgesamt unter Physikern verschiedene Ansichten vertreten sind. Er meint, dass er sich selbst weniger szientistisch als Physiker einschätzt, weil er noch nicht deren Kenntnisse darüber besäße, was mit Physik alles möglich wäre.

[Der Interviewer führt die Bezeichnung »szientistisch« für die Auffassung, dass letztlich Alles physikalisch beschreib- und erklärbar sein werde, ein. Als Beispiele werden »Der Sinn des Lebens« und die Aussage »Alles was real ist, kann auch physikalisch beschrieben werden« genannt.]

Interviewer: »Würden Sie sagen, dass so ein [szientistisches] Weltbild zwangsläufig das Ergebnis physikalischer Forschung ist?«

Tim: »Würde ich nicht sagen, gerade dadurch, dass man irgendwann an seine Grenzen stößt, würd ich sagen, dass diese Menschen eigentlich ziemlich naiv sind in ihrer Weltanschauung, weil man halt nie genau weiß, wann diese Grenze erreicht ist. ...Es kann halt sein, dass man in' paar Jahren sagt, dass man halt nicht mehr weiß, man kann einfach nicht mehr beweisen, ...dass meinetwegen dieser Teilchenbeschleuniger ... einfach sagt, ne es tut mir leid, man kann nichts mehr erreichen. ... Ich glaube nicht, dass es ein Weltbild ist, das sich durchsetzen wird.«

(...)

Interviewer: »Hatte der Unterricht zu den Grenzen der Physik Einfluss auf Ihr eigenes Weltbild?«

Tim: »Nö eigentlich nicht, von Anfang an hab ich mich sehr dafür begeistert, weil ich gesehen hab, dass man mit Physik sehr viel in seinem Leben auch erkennt, wo man hinterher sagt, oh guck mal, das hab ich im Physikunterricht mal besprochen, jetzt weiß ich wie das Ganze funktioniert ... ist einfach interessant mit anderen darüber zu reden.... aber das Weltbild hat mich dann nicht großartig vom Unterricht beeinflusst.«

Interviewer: »Das heißt, Sie hatten vorher schon ähnliche Ansichten?«

Tim: »Ja, ganz genau...«

(...) *Interviewer:* »Wie schätzen Sie die Mehrheit Ihre Klassenkameraden in dieser Hinsicht ein?«

Tim: »Ich glaube nicht dass wir eine Mehrzahl von Schülern mit szientistischen Weltbild haben, weil ganz viele davon zum Beispiel auch Religion haben - auch da merkt man, die Grenze ist irgendwann erreicht.«

Interviewer: »Hatte die Tatsache, dass wir im Unterricht das Thema Grenzen behandelt haben, einen Einfluss auf Ihre Einschätzung, die Sie bei Physikern vermuten...?«

Tim: »Kommt drauf an, hab jetzt in meiner Schullaufbahn mehrere Physiker, auch aus der Historie kennengelernt, und ich muss sagen, manche davon waren wirklich ziemlich naiv, weil man damals einfach diese Grenzen noch nicht so kannte. Aber ich glaube nicht, dass Physiker generell sagen, ja mit der Physik kann man später alles beweisen. Es wird da auch so'n Mischmasch geben,...«

Interviewer: » Also würden Sie sagen, so'n Unterricht zu diesem Thema hat jetzt nicht unbedingt einen Einfluss auf ihre Einschätzung der Physiker im Allgemeinen?«

Tim: »Also für mich nicht. ... Ich hab schon vorher mehrere kennengelernt, da ... musst ich auch schon merken, es gibt jetzt viele, die wirklich sehr naiv sind, aber auch viele, die sehr neutral aufgeschlossen sind.«

Interviewer: »Kennengelernt? Jetzt persönlich - oder durch Unterricht?«

Tim: »Durch Unterricht...teilweise auch im historischen Zusammenhang.«

(...)

Interviewer: »Die meisten Schülerinnen und Schüler schätzen Physiker szientistischer ein als sich selbst. ... Was würden Sie sagen, wie kommt es dazu?«

Tim: »...Weil ich als Schüler nur einen ganz kleinen Bruchteil von der Physik kenne, ... weil ich diesen Blick noch nicht habe, was mit der Physik alles möglich ist - dass die Physiker jetzt einfach mehr Ahnung davon haben, sich länger damit beschäftigen, einfach sagen, ich weiß schon so viel darüber, ich kann schon so

viel beantworten, ich werd irgendwann alles beantworten können. Das kann ich von mir leider noch nicht sagen, weil ich einfach noch nicht soviel Ahnung davon habe, und deswegen denke ich, dass ich mich selber noch nicht so szientistisch einschätze.«

Frage zur Validierung der Skala.

Ein Einfluss einer geänderten Formulierung auf dem Fragebogen (»...bei der Mehrheit der Physiker/innen vermuten.« statt »...bei den meisten Physiker/innen vermuten.«) auf das eigene Antwortverhalten wird verneint.

Verbesserungsvorschläge.

Tim würde gern mehr über die Dimensionen im Universum erfahren.

Interview 6

Name: Dora

Kurs: B

Geschlecht: weiblich

Interessantheit Kosmologie: 3.5

Interessantheit Wissenschaftstheorie: 2

Szientismus Schüler: 3.6 - 3.4 - 3.7

Szientismus Physiker 3.4 - 3.7 - 3.2

Fachinteresse: 3.9 - 4.3 - 4.2

Wissen Wissenschaftstheorie: 58 % (Aufgabe 1: 100 %)

Dora hat hohes Fachinteresse und ein etwas über dem Durchschnitt liegendes Ergebnis beim Nachtest zur Wissenschaftstheorie. Besonders auffällig sind ihre hohen Werte beim eigenen Szientismus, die zu zwei Zeitpunkten über denen des von ihr bei Physikern vermuteten Szientismus liegen.

Allgemeiner Eindruck.

Dora fand den Unterricht insgesamt interessant. Bei der Kosmologie hat ihr besonders die PowerPoint-Präsentation und bei der Wissenschaftstheorie besonders das Gruppenpuzzle gefallen.

Interessantheit und Interesse.

Inhaltlich gefiel Dora bei der Wissenschaftstheorie-Unterricht besonders das Merkmal »Alle-Aussagen«. Insgesamt gefiel ihr dieser Unterricht jedoch weniger

als der übliche Physikunterricht. Zu den Grenzen der Physik meint sie, dass ja immer weiter geforscht werde und diese Grenzen irgendwann überwunden würden.

Interviewer: »Fanden Sie dieses Thema 'Wissenschaftsphilosophie' jetzt interessanter als den durchschnittlichen Physikunterricht, oder eher weniger?«

(...)

Dora: »Eher weniger.«

Interviewer: »Eher weniger. Also, so richtige Physik finden Sie dann doch interessanter?«

Dora: »Doch. Also ich fand es interessant, um sich so Sachen zu erklären und ich find sowas könnt man schon häufiger machen, aber insgesamt, ja.«

Interviewer: »Glauben Sie, dass sich dadurch, dass sich im Unterricht jetzt mit Grenzen der Physik beschäftigt wurde, ihr Interesse am Fach Physik verändert hat?«

Dora: »Also, im Prinzip, das Interesse war schon immer da, nur dass man sich jetzt so Gedanken über die Kosmologie, und so, gemacht hat. ...«

Interviewer: »Und diese Grenzen der Physik, hat das jetzt auch irgend nen Einfluss gehabt ...?«

Dora: »Also, es bestehen halt diese Grenzen, aber im Prinzip wird ja auch gegen diese Grenzen - ja, man versucht ja das immer weiter zu erforschen und irgendwann werden dann diese Grenzen auch wieder weg sein. Es gibt ja überall Grenzen.«

Wissen.

Dora kann sich an die Merkmale »Nachprüfbarkeit« und »Alle-Aussagen« erinnern und diese zusammenfassen.

Ansichten.

Dora sagt, dass es zu den Grenzen der Physik verschiedene Ansichten gebe. Ein großer Teil des Weltbildes basiere auf Forschung und durch diese würde sich das Weltbild ständig erweitern. Sie sagt, der Unterricht habe keinen Einfluss auf ihrer Einschätzung von Physikern gehabt. Sie glaubt, dass Physiker eher szientistisch denken, weil sie sich mit der Physik auseinandersetzen und denken, dass ihre Forschungen einen Beitrag zum Weltbild liefern.

[Der Interviewer führt die Bezeichnung »szientistisch« für die Auffassung, dass letztlich Alles physikalisch beschreib- und erklärbar sein werde, ein. Als Beispiele werden »Der Sinn des Lebens« und die Aussage »Alles was real ist, kann auch physikalisch beschrieben werden« genannt.]

Interviewer: »Würden Sie sagen, dass so'n [szientistisches] Weltbild automatisch

das Ergebnis physikalischer Forschung ist?«

Dora: »Ich denke, da gibt's einfach verschiedene Ansichten. Ich denke schon, dass ziemlich viel des Weltbildes auf Forschung basiert und durch die Forschung hat sich ja herausgestellt, dass die Welt keine Scheibe ist. Also es entwickelt sich halt immer weiter, und ich denke gerade dadurch, dass man halt an diesen Grenzen forscht, wird das halt immer erweitert.«

(...)

Interviewer: »Hatte die Tatsache, dass im Unterricht die Grenzen der Physik behandelt wurden einen Einfluss auf das, was Sie glauben, wie Physiker denken?«

Dora: »Nicht wirklich.«

Interviewer: »Hatten Sie schon vorher irgend eine Vorstellung ...?«

Dora: »Ich denke einfach, dass, ja, dass die schon denken, dass ihre Forschung schon was zum Weltbild beiträgt. Ja, sonst wäre es ja sinnlos, wenn man die Fragen beantwortet und sich dadurch nix ändert.«

(...)

Interviewer: »Die meisten Schülerinnen und Schüler gehen auch davon aus, dass die Physiker szientistischer denken als sie selbst. Was glauben Sie, wie kommt das ...?«

Dora: »Weil die sich halt mit dem Problem auseinandersetzen und immer damit beschäftigen.«

Frage zur Validierung der Skala.

Ein Einfluss einer geänderten Formulierung auf dem Fragebogen (»... bei der Mehrheit der Physiker/innen vermuten.« statt »... bei den meisten Physiker/innen vermuten.«) auf das eigene Antwortverhalten wird verneint.

Verbesserungsvorschläge.

Dora würde gern mehr über die Expansion des Universums erfahren und fände beim Kosmologie-Unterricht ein Handout zum Nachlesen gut.

A.5. Materialien zu den Interviews zum Zusammenhang zwischen Fachinteresse und Szientismus

A.5.1. Interviewleitfaden

Leitfaden für die Interviews

Vorbemerkung

»Bei den Interviews, die wir hier mit einigen Schülerinnen und Schülern führen, interessieren wir uns dafür wie das Interesse für Physik damit zusammenhängt, wie man

A.5. Materialien zu den Interviews zum Zusammenhang zwischen Fachinteresse und Szientismus

die Möglichkeiten und Grenzen der Naturwissenschaft einschätzt. Sie müssen keine Sorge haben, dass Sie bei dem Interview vielleicht etwas Falsches sagen könnten. Es geht nämlich nicht um Wissen, sondern vielmehr interessiert uns Ihre Meinung zu verschiedenen Dingen. Dabei ist es für uns umso hilfreicher, je ausführlicher Sie Ihre Ansicht schildern.«

1. Eigenes Bild von Physik

»Zum Einstieg – lassen Sie Ihren Gedanken einfach freien Lauf: Bitte schildern Sie mir doch, was Sie persönlich mit dem Begriff Physik verbinden!«

Mögliche Nachfragen:

Bestimmte Begriffe, Bilder, Ereignisse, Menschen, Weltbild

Beispielformulierungen:

- »Vielleicht kommen Ihnen besondere Begriffe in den Sinn?«
- »Oder Bilder?«
- »Fallen Ihnen bestimmte Ereignisse ein, die Ihnen besonders in Erinnerung geblieben sind?«
- Oder bestimmte Personen?

»Ich versuche jetzt ihr Bild der Physik noch einmal mit meinen Worten zusammenzufassen. Bitte korrigieren sie mich, wenn ich etwas falsch verstanden oder Wesentliches vergessen habe!«

2. Einschätzung von Physiker/innen

»Gut. Lassen Sie uns jetzt über Physiker oder Physikerinnen reden. Erzählen Sie mir doch bitte, wie Sie sich einen Physiker - oder eine Physikerin - vorstellen!«

Mögliche Nachfragen:

Bestimmte Persönlichkeitsmerkmale, Weltbild, Religiosität

Beispielformulierungen:

- »Wie würden Sie Physiker hinsichtlich ihrer Persönlichkeit beschreiben?«
- »Was denken Sie, wie sehen Physiker die Welt?«
- »Was denken Sie, welche Position haben Physiker zur Religion?«

Abschlussfrage zu diesem Abschnitt:

- »Können Sie sich selbst als Physiker/in vorstellen?«

Falls nein, nachfragen: »Aus welchen Gründen nicht?«

»Wieder versuche ich Ihre Sicht mit meinen Worten zusammenzufassen. Korrigieren sie mich bitte wieder, wenn ich etwas falsch verstanden oder Wesentliches vergessen habe!«

3. Ursachen für (Nicht)Interesse an Physik

»Wie würden Sie Ihr Interesse an Physik beschreiben?«

Anhang A. Anhang

Mögliche Nachfragen:

Gründe, bestimmte Themen, Erlebnisse, Aspekte aus Fragebogen

Beispielformulierungen:

- »Können Sie mir etwas über die Gründe erzählen, warum Sie Physik (nicht so) interessant finden?«
- »Fallen Ihnen bestimmte Themen/Erlebnisse ein, die Ihr Interesse an Physik geweckt haben/ Sie von Physik abgeschreckt haben?«
- »Auf dem Fragebogen haben Sie vermerkt, dass Sie Physik besonders (wenig) interessiert, weil ... “. Können Sie mir dazu etwas mehr erzählen?«

Bei geringem Physikinteresse, zusätzliche Abschlussfrage zu diesem Abschnitt:

- »Was müsste sich ändern, damit für Sie Physik interessant werden könnte?«

»Ich versuche ihre Antworten wieder meinen Worten zusammenzufassen. Bitte korrigieren sie mich, wenn ich Ihrer Meinung nach etwas falsch verstanden oder Wesentliches vergessen habe!«

4. Ursachen für Szientismus

»Gut. Kommen wir jetzt zu den Möglichkeiten und Grenzen der Naturwissenschaften. Bitte beschreiben Sie mir doch, wie Sie darüber denken?«

Mögliche Nachfragen:

Gründe, prinzipiell nicht beantwortbare Fragen?, Einfluss von Physikunterricht

Beispielformulierungen:

- »Können Sie mir erläutern, warum Sie zu dieser Auffassung gelangt sind?«
- »Gibt es bestimmte Erfahrungen/Überlegungen, die hierbei für Sie wichtig sind?«
- »Auf dem Fragebogen haben Sie angekreuzt, dass sie denken, dass es Fragen gibt, die nicht naturwissenschaftlich beantwortbar sind. Können Sie mir hierzu etwas mehr sagen?«
- »Können Sie mir sagen inwiefern der Physikunterricht Sie diesbezüglich beeinflusst hat?«

»Ich versuche auch diesen Teil wieder zusammenzufassen. Bitte korrigieren sie mich gegebenenfalls wieder!«

5. Ursachen für Szientismus-Diskrepanz

»Ich möchte Sie noch einmal bitten, eine Einschätzung abzugeben. Wie vermuten Sie, denkt die Mehrheit der Physiker und Physikerinnen über Möglichkeiten und Grenzen der Naturwissenschaften?«

Mögliche Nachfragen:

Gründe, Unterschiede Forscher/Physiklehrer, Physiker/andere Naturwissenschaftler

Beispielformulierungen:

A.5. Materialien zu den Interviews zum Zusammenhang zwischen Fachinteresse und Szientismus

- »Können Sie mir etwas mehr sagen, warum Sie vermuten, dass Physiker so denken?«
- »Vermuten Sie Unterschiede zwischen Forschern und Physiklehrern?«
- »Denken Sie, dass alle Naturwissenschaftler diesbezüglich so denken wie Physiker vermuten Sie hier Unterschiede?«

»Ich versuche auch diesen letzten Teil zusammenzufassen. Wie zuvor korrigieren sie mich bitte anschließend, falls ich etwas nicht angemessen wiedergegeben habe!«

»Damit ist unser Interview beendet. Vielen Dank für Ihre Mitarbeit!«

A.5.2. Skala zu Ursachen des Fachinteresses

Die folgende Skala ist Teil des Fragebogens, den die Schüler vor den Interviews ausgefüllt haben; vgl. Abschn. 7.3.

Bitte versuchen Sie mögliche Gründe für Ihr geringes oder hohes Interesse an Physik nach Ihrer Wichtigkeit einzuschätzen:

Physik ist für mich interessant, weil

ich Physik gut kann.	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	trifft ganz genau zu
Physik für meine berufliche Zukunft wichtig ist.	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	trifft ganz genau zu
Physik mir hilft die Welt zu verstehen.	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	trifft ganz genau zu
Physik meiner Denkweise entspricht.	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	trifft ganz genau zu
Physik mir neue Erfahrungen verschafft.	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	trifft ganz genau zu
mir der Physikunterricht Spaß macht.	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	trifft ganz genau zu
mir Physiker/innen sympathisch sind.	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	trifft ganz genau zu
andere Gründe:	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	trifft ganz genau zu

Physik ist für mich wenig interessant, weil

ich Physik nicht gut kann.	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	trifft ganz genau zu
Physik für meine berufliche Zukunft unwichtig ist.	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	trifft ganz genau zu
Physik mir wenig hilft die Welt zu verstehen.	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	trifft ganz genau zu
Physik nicht meiner Denkweise entspricht.	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	trifft ganz genau zu
Physik mir keine neuen Erfahrungen verschafft.	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	trifft ganz genau zu
mir der Physikunterricht keinen Spaß macht.	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	trifft ganz genau zu
mir Physiker/innen unsympathisch sind.	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	trifft ganz genau zu
andere Gründe:	trifft gar nicht zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	trifft ganz genau zu

A.5.3. Transkripte der Interviews

1 Interview 1

2 **I:** »Es gibt ein paar Aspekte, nach denen ich dich fragen werde und ich möchte dich
3 bitten, möglichst ausführlich zu antworten. Nach jedem Abschnitt versuche ich eine
4 Zusammenfassung mit eigenen Worten und dann sagst du einfach, ob das so in etwa
5 richtig wiedergegeben ist oder nicht.«

6 **I:** »Zunächst geht es um das Bild, das du vielleicht von Physik hast. Lass deinen Gedanken
7 einfach mal freien Lauf: Was verbindest du persönlich mit dem Begriff „Physik“?«

8 **S1:** »Wenn ich an Physik denke, ist mein erster Gedanke Albert Einstein. Forschung,
9 fortschrittliche Technik und natürlich auch an den Physikunterricht in der Schule. Herr
10 G. ist ja so der Hauptphysiker an unserer Schule, an den würde ich direkt denken und an
11 logische Zusammenhänge, wie man diese herausfinden und begründen kann.«

12 **I:** »Fallen dir bestimmte Ereignisse ein, die dir besonders in Erinnerung geblieben sind?
13 Aus dem Unterricht oder aus den Medien?«

14 **S1:** »Etwas physikalisches fällt mir so nicht ein.«

15 **I:** »Zu Personen hast du ja gerade schon etwas gesagt.«

16 **S1:** »Da denke ich direkt immer an Albert Einstein, wie er seine Zunge herausstreckt. In
17 der Schule haben wir so ein Plakat mit der Aufschrift „My difficulties in physics are still
18 greater than yours, so don't worry, be happy“.«

19 **I:** »Ich versuche das jetzt einmal zusammenzufassen: Wenn du an Physik denkst, denkst
20 du an Albert Einstein, einen Physiker und du verbindest Physik mit Technik und logi-
21 schem Denken. Was die Schule betrifft, verbindest du Physik vor allem mit Herrn G. als
22 Physiklehrer.«

23 **I:** »Im nächsten Abschnitt geht es zu deiner Einschätzung von Physikern. Erzähle doch
24 bitte, wie du dir einen Physiker vorstellst.«

25 **S1:** »Einen Physiker stelle ich mir so vor, dass er eine ganz klare Vorstellung vom Leben
26 hat und nicht so, wie es zum Beispiel in der TV-Serie „The Big Bang Theory“ übertrieben
27 dargestellt wird. Ich stelle mir das eher so vor, dass ein Physiker klar unterscheiden kann
28 zwischen etwas, das man in einem Versuch messen kann und was nicht, also dass er nicht
29 sagt, man könne Liebe oder moralische Vorstellungen messen. Ein Physiker ist einfach
30 ein ganz normaler, bodenständiger Mensch, der seinen Job oder seine Arbeit macht, gut
31 logisch denken kann und den es interessiert, wie alles aufgebaut ist.«

32 **I:** »Würdest du sagen, dass sich Physiker in ihrem Weltbild unterscheiden von anderen
33 oder gibt es da keine Unterschiede?«

34 **S1:** »Vielleicht nicht unterscheiden, aber schon einen spezielleren Aspekt einnehmen. So ein
35 „hochentwickelter“ Physiker hat schon mehr Ahnung und Durchblick in der Welt als
36 jemand, der Chefredakteur bei einer Zeitung ist.«

37 **I:** »Kannst du sagen, inwiefern ein Physiker deiner Meinung nach mehr Einblick in der
38 Welt hat als ein Chefredakteur?«

39 **S1:** »Für mich hat das diesen technischen Zusammenhang, er weiß wie alles funktioniert
40 und entsteht.«

41 **I:** »Würdest du sagen, dass sich Physiker in ihrer Persönlichkeit von der Mehrheit unter-
42 scheiden?«

43 **S1:** »Nein, ich würde sagen nur von ihrem Wissen. Vom Charakter her sind das ja ganz
44 normale Menschen wie andere auch.«

45 **I:** »Wie ist das mit ihrer Haltung zur Religion? Gibt es da auch keine Unterschiede?«

46 **S1:** »Das würde mich ehrlich gesagt auch mal interessieren, was ein typischer Physiker

- 47 dazu sagt, weil viele Aspekte mit Gott und Jesus ja nicht zu beweisen sind. Ich weiß es
48 ehrlich gesagt nicht, aber es würde mich sehr interessieren, was ein Physiker dazu sagt.«
- 49 **I:** »Um das noch einmal zusammenzufassen, du siehst also keine großen Unterschiede
50 zwischen Physikern und der Mehrheit der Menschen in ihrer Persönlichkeit. Physiker
51 denken logisch und wissen in technischer und naturwissenschaftlicher Hinsicht viel von
52 der Welt, aber sonst würdest du sagen, dass Physiker nicht prinzipiell verschieden sind
53 hinsichtlich Ihrer Persönlichkeit oder in Bezug auf ihr religiöses Denken weiß du das auch
54 nicht.«
- 55 **I:** »Okay, dann kommen wir jetzt zu dem Teil zum Interesse an Physik. Dazu gab es schon
56 Fragen auf dem Fragebogen, aber vielleicht auch noch einmal mündlich. Wie würdest du
57 dein Interesse an Physik beschreiben?«
- 58 **S1:** »Also wenn ich jetzt begründen müsste, warum ich Physik weitergemacht habe und
59 nicht zum Beispiel Bio oder Chemie, ist das, weil man in Physik lernt, wie die grund-
60 legendsten Dinge, sei es ein einfacher Stromkreislauf, funktionieren. Das interessiert
61 mich mehr als biologische oder chemische Aspekte. Damit würde ich mein Interesse am
62 Physikunterricht begründen, dass ich hier lerne wie manche Dinge aufgebaut sind und
63 wie sie funktionieren.«
- 64 **I:** »Hast du vor allem Interesse an technischen Fragen oder auch anderen Aspekten wie
65 zum Beispiel astronomischen Fragen oder Naturereignissen?«
- 66 **S1:** »Astronomen sind die, die die Sterne beobachten? Ich verwechsle das immer mit den
67 Astrologen.«
- 68 **I:** »Genau, dass sind die, die Sterne beobachten.«
- 69 **S1:** »Ich bin in der Schule im Seminarfach Astronomie, das interessiert mich auch. Als
70 ich klein war, war sogar immer mein Traum, entweder Fußballspieler oder Astronaut zu
71 werden. Astronomie interessiert mich, ja.«
- 72 **I:** »Es ist also schon Interesse für Physik da, gab es bestimmte Ereignisse oder Themen,
73 die dieses Interesse geweckt haben?«
- 74 **S1:** »Also ich interessiere mich viel mehr für neue Technik, also zukünftige Technik als für
75 vergangene Sachen. Wenn man etwas hört in Richtung Warp-Antrieb, so etwas Science-
76 Fiction-mäßiges, das vielleicht wirklich einmal sein könnte in der Zukunft, das interessiert
77 mich sehr.«
- 78 **I:** »Um das nochmal zusammenzufassen, du interessierst dich durchaus sehr für Physik,
79 auch für technische Fragen oder Aspekte, die man am Rand der Physik versteht, aber
80 auch für andere Dinge wie das Weltall und weil Physik die Möglichkeit bietet, zukünftige
81 Technologien zu entwickeln.«
- 82 **S1:** »Ja genau.«
- 83 **I:** »Jetzt geht es um die Frage nach Möglichkeiten und Grenzen in den Naturwissen-
84 schaften und speziell in der Physik. Wie denkst du darüber, was kann man physikalisch
85 beantworten, was nicht?«
- 86 **S1:** »Was sind die Grenzen der Physik? Ich weiß es ehrlich gesagt nicht. Was denken Sie
87 denn zu der Frage?«
- 88 **I:** »Auf dem Fragebogen waren ja bereits ein paar Aspekte angegeben, zum Beispiel „Kann
89 die Physik den Sinn des Lebens herausfinden“?«
- 90 **S1:** »Ach so. Ich denke nicht, dass ein Physiker sagen würde, dass die Physik einen
91 physikalischen Sinn des Lebens begründen oder weisen kann. So etwas würde ich der
92 Physik nicht zusprechen, also dass sie das begründet, sondern eher physikalische Dinge.«
- 93 **I:** »Kannst du beschreiben, was physikalische Dinge deiner Meinung nach sind und was
94 die Physik sinnvollerweise untersuchen kann? Schwere Frage, ich weiß.«

A.5. Materialien zu den Interviews zum Zusammenhang zwischen Fachinteresse und Szientismus

- 95 **S1:** »Das weiß ich ehrlich gesagt auch nicht, wenn Sie mir jetzt etwas sagen würden würde
96 ich wahrscheinlich denken „Ach ja klar, natürlich.“«
- 97 **I:** »Ein paar Sachen haben wir ja schon benannt, vielleicht technische Geräte und wie
98 diese funktionieren oder Vorgänge beschreiben.«
- 99 **S1:** »Genau, oder die Entstehung von Leben und dem Weltall.«
- 100 **I:** »Okay, das würdest du auch als physikalische Frage ansehen. Würdest du auch ei-
101 ne Frage warum das Weltall überhaupt existiert oder warum Menschen existieren als
102 physikalische Frage ansehen?«
- 103 **S1:** »Das würde ich nicht mehr als physikalische Frage ansehen. Das könnte natürlich
104 sein, aber ich würde es nicht mehr in die Physik stecken.«
- 105 **I:** »Kannst du benennen, warum nicht? Also warum das nicht physikalisch untersucht
106 werden kann?«
- 107 **S1:** »Das weiß ich nicht, tut mir Leid.«
- 108 **I:** »Ich versuche das noch einmal zusammenzufassen: Du bist der Ansicht, dass Physik
109 bestimmte Fragen untersuchen und auch beantworten kann, wie die technische Funk-
110 tionsweise von Dingen oder diese auf Naturvorgänge beziehen, dass es aber durchaus
111 auch Fragen gibt, die nichts mit der Physik zu tun haben und die die Physik auch nicht
112 beantworten kann, wie die Fragen nach dem Sinn des Lebens oder auch warum wir
113 existieren.«
- 114 **I:** »Eins habe ich noch vergessen: Hat der Physikunterricht in dieser Hinsicht einmal
115 etwas dazu gesagt, was eine physikalische Frage ist und was nicht?«
- 116 **S1:** »Also zu dem Bereich, an dem Physik anfängt und endet? Naja eigentlich machen
117 wir ja nur Dinge, die die zentrale Physik betreffen. Zum Beispiel gibt uns Herr G. ein
118 Blatt und ein paar Aufgaben und dann sollen wir selber den Sinn hinter dieser Aufgabe
119 herausfinden und am Ende mit einem Antwortsatz oder einer Formel beweisen, warum
120 das so ist. Also ganz klare Grenzen haben wir da nie gemacht, wo es jetzt genau anfängt
121 und wo es psychologisch oder biologisch ist.«
- 122 **I:** »Letzter Punkt, noch einmal eine Einschätzung. Auf dem Fragebogen kam das ja auch
123 dran, da wurde gefragt wie die Mehrheit der Physiker über bestimmte Fragen denkt.
124 Siehst du da einen Unterschied zwischen der Denkweise der Physiker zu den Grenzen der
125 Naturwissenschaften und der Denkweise der Mehrheit der Bevölkerung?«
- 126 **S1:** »Ich habe ja eben schon gesagt, dass ich Physiker als ganz normale Menschen einschät-
127 ze und auch so, dass die genau wissen wo die Grenze von Physik ist, wo es anfängt und
128 endet. Deswegen würde ich einfach sagen, dass die genau wissen, was Physik begründen
129 kann und was nicht. Allerdings weiß ich auch nicht, wie der größte Teil der Gesellschaft
130 die Physiker sieht, vielleicht nicht so wie ich. Es könnte ja sein, dass viele sagen, die sind
131 alle so wie Sheldon Cooper aus „The Big Bang Theory“, der sagt, Physik sei alles. So sind
132 meiner Meinung nach Physiker aber nicht.«
- 133 **I:** »Vielen Dank, das war es schon.«

134 **Interview 2**

- 135 **I:** »Es gibt verschiedene Aspekte, zu denen ich jetzt Fragen stelle. Zunächst einmal geht
136 es um dein allgemeines Bild zu Physik. Was verbindest du persönlich mit dem Begriff
137 Physik?«
- 138 **S2:** »Als erstes denke ich da an die Experimente, die man so macht. Für mich hat Physik
139 aber auch viel mit Formeln und Rechnen zu tun.«
- 140 **I:** »Fallen dir bestimmte Begriffe zur Physik ein?«
- 141 **S2:** »An die ganzen Einheiten denke ich immer gleich und Schallwellen und etwas von der

- 142 Erde, zum Beispiel die Lichtgeschwindigkeit.«
- 143 **I:** »Sind dir bestimmte Ereignisse besonders in Erinnerung geblieben? Sei es aus dem
144 Physikunterricht oder auch sonst irgendwie, vielleicht aus den Medien?«
- 145 **S2:** »Da weiß ich jetzt eigentlich so nichts.«
- 146 **I:** »Oder bestimmte Personen, die du mit Physik verbindest?«
- 147 **S2:** »Berühmte Personen?«
- 148 **I:** »Es können auch andere Personen, vielleicht aus der Schule, sein.«
- 149 **S2:** »Als erstes denke ich immer an Herrn G., weil ich ihn schon so lange in Physik habe.
150 Und an Albert Einstein denkt man immer, wenn man auch an Physik denkt.«
- 151 **I:** »Das war schon der erste kleine Abschnitt. Nach jedem Abschnitt versuche ich, eine
152 eigene Zusammenfassung zu machen. Du kannst dann sagen, ob das in etwa stimmt. Du
153 verbindest Physik also mit bestimmten Begriffen wie Formeln, Rechnen oder Experimen-
154 ten. Aber auch mit Personen, wie deinem Physiklehrer Herr G. oder berühmten Physikern
155 wie Albert Einstein. Besondere Ereignisse sind dir aber nicht im Gedächtnis geblieben.«
- 156 **I:** »Der zweite Teil wäre jetzt zu deiner Einschätzung von Physikerinnen und Physi-
157 kern. Versuche doch einmal zu beschreiben, wie du einen typischen Physiker oder eine
158 Physikerin sehen würdest.«
- 159 **S2:** »Ich stelle mir einen Physiker immer mit Brille und ein bisschen längeren Haaren
160 vor. Ich stelle mir das so vor, dass die sehr schlau sind und viel wissen, aber dadurch ein
161 bisschen schusselig wirken in anderen Bereichen des Lebens. Physiker hinterfragen alles,
162 wenn ich gut Physik könnte, könnte ich mir vorstellen, dass ich durch die Welt gehe und
163 jede kleine Sache physikalisch erklären könnte und mir etwas dazu denken würde.«
- 164 **I:** »Würdest du sagen, dass Physiker die Welt anders sehen, als andere Menschen?«
- 165 **S2:** »Ich würde sagen schon, weil sie einfach mehr wissen und dadurch über bestimmte
166 Sachen nachdenken, bei denen sich andere Menschen, die sich dafür nicht interessieren,
167 einfach gar keinen Kopf machen und nicht darüber nachdenken.«
- 168 **I:** »Und hinsichtlich ihrer Persönlichkeit? Unterscheiden sie sich da von anderen Men-
169 schen?«
- 170 **S2:** »Ich weiß nicht, ob man das so allgemein sagen kann. Das kommt immer auf die
171 Person an, aber ich glaube nicht, dass die Persönlichkeit nur von der Physik abhängt. Ich
172 glaube schon, dass sie damit etwas zu tun hat, aber allgemein wüsste ich das jetzt nicht.«
- 173 **I:** »Was denkst du, wie ist so die Position hinsichtlich der Religion?«
- 174 **S2:** »Das ist schwer zu sagen. In der Bibel stehen ja viele Sachen, die nicht naturwis-
175 senschaftlich erklärbar sind. Von daher würde ich sagen, dass Physiker nicht so einen
176 großen Bezug zur Religion haben. In der Physik ist es ja so, dass man sich alles irgend-
177 wie erklären möchte, man sucht ja für alles irgendeinen Grund. Das ist in der Religion
178 genau andersherum, also dass man keine Gründe braucht und alles einfach so hinnimmt.
179 Deshalb ist es für Physiker bestimmt schwer, da einen Bezug zu finden.«
- 180 **I:** »Letzte Frage zu diesem Abschnitt: Könntest du dir selbst vorstellen, Physikerin zu
181 werden oder zu sein?«
- 182 **S2:** »Nicht direkt Physikerin, ich finde so etwas schon interessant, kann mir aber nicht
183 vorstellen, dass das die Hauptsache in meinem Leben sein könnte.«
- 184 **I:** »Kannst du sagen warum nicht?«
- 185 **S2:** »Weil ich so viele andere Sachen noch interessant finde, zum Beispiel Religion.«
- 186 **I:** »Würdest du denn sagen, dass sich Physiker zwangsläufig nur mit Physik beschäftigen?«
- 187 **S2:** »Ja, das würde ich so sagen.«
- 188 **I:** »Okay, ich versuche jetzt zusammenzufassen. Du denkst schon, dass Physiker aus Leib
189 und Seele Physiker sind und die Welt aus einer physikalischen Perspektive betrachten und

A.5. Materialien zu den Interviews zum Zusammenhang zwischen Fachinteresse und Szientismus

190 die Dinge versuchen zu verstehen. Möglicherweise zur Religion, da bist du dir nicht ganz
191 sicher, sind sie ein bisschen skeptischer, weil man Dinge hinnehmen muss und manches
192 nicht begründen kann. Ansonsten gibt es aber keine besonderen Persönlichkeitsmerkmale,
193 wo man jetzt sagen könnte, sie seien definitiv so.«

194 **S2:** »Nächster Abschnitt zu Interesse. Dazu gab es ja schon Fragen auf dem Fragebogen,
195 kannst du vielleicht noch einmal mit eigenen Worten schildern, wie du dich für Physik
196 interessierst oder auch nicht interessierst?«

197 **S2:** »Ich würde sagen, dass ich mich schon viel dafür interessiere, weil ich auch gerne
198 Mathe mag und Physik irgendwie dazugehört. Ich finde es spannend, dass es für jede
199 Sache einen Grund gibt und man alles irgendwie erklären kann. Manchmal verstehe ich
200 selber nicht alles, aber ich habe schon ein großes Interesse daran, es zu verstehen.«

201 **I:** »Ist das ein wesentlicher Grund, warum du dich dafür interessierst?«

202 **S2:** »Um Sachen zu verstehen, genau.«

203 **I:** »Fallen dir bestimmte Themen oder Erlebnisse ein, die dein Interesse an Physik gesteigert
204 oder geweckt haben?«

205 **S2:** »In der zehnten Klasse habe ich mich das erste Mal richtig mit Physik beschäftigt
206 und gemerkt, dass ich auch alleine etwas schaffen kann, also alleine eine Gleichung lösen
207 kann. Daran habe ich Spaß gefunden und wollte mehr wissen. Dieser Erfolg hat mich
208 sozusagen dazu gebracht, Physik spannender zu finden.«

209 **I:** »Ich versuche das jetzt wieder zusammenzufassen, du interessierst dich durchaus
210 für Physik. Ein wichtiges Erlebnis, dass das Interesse durchaus gesteigert hat war ein
211 Erfolgserlebnis in der zehnten Klasse, dass du festgestellt hast, dass du es verstehen und
212 auch selbst rechnen kannst. Dass man die Dinge verstehen kann ist auch ein wesentlicher
213 Grund, warum du dich für Physik interessierst.«

214 **I:** »Der nächste Abschnitt ist zu den Möglichkeiten und Grenzen der Naturwissenschaften
215 und speziell der Physik. Kannst du beschreiben, wie du darüber denkst? Was kann man
216 physikalisch untersuchen, was nicht?«

217 **S2:** »Also ich glaube, dass man nicht alles physikalisch untersuchen kann, das kann ich
218 mir nicht vorstellen. Allein die Theorien zur Weltentstehung machen im physikalischen
219 für mich noch nicht so richtig einen Sinn. Man muss auch an solche Wunder glauben finde
220 ich, denn ich glaube nicht, dass man jemals alles erklären kann und für alles einen Grund
221 finden kann. «

222 **I:** »Kannst du ein Beispiel sagen für ein Wunder, das deiner Meinung nach physikalisch
223 nicht erklärbar ist?«

224 **S2:** »Ja allein die Erdentstehung, dass es Menschen gibt und Gott, man kann nicht
225 physikalisch erklären ob er da war oder nicht. Oder auch wie groß das Weltall ist, man
226 wird niemals alle anderen Planeten erforschen können und physikalisch kann man auch
227 nicht sagen, was es auf diesen Planeten gibt.«

228 **I:** »Das ist eine sehr schwierige Frage, aber kannst du erklären, wie du zu dieser Ansicht
229 gekommen bist, dass Physik nicht alles erklären kann? Hast du schon immer so gedacht?«

230 **S2:** »Früher habe ich mir noch keine Gedanken dazu gemacht, erst als ich wirklich darüber
231 nachgedacht habe, was es noch alles anderes gibt.«

232 **I:** »Hat dich der Physikunterricht bei dieser Frage irgendwann einmal beeinflusst oder
233 wurde das überhaupt thematisiert?«

234 **S2:** »Mit den Grenzen? Ich kann mich an vieles aus meinem Physikunterricht nicht mehr
235 erinnern, aber ich glaube nicht, dass das schon einmal thematisiert wurde. Das ist eher
236 etwas für den Religionsunterricht, da haben wir einmal über so etwas geredet.«

237 **I:** »Ich versuche zusammenzufassen, du denkst schon, dass es Fragen gibt, die physikalisch

238 nicht beantwortbar oder untersuchbar sind, zum Beispiel ob es Gott gibt, warum es uns,
239 also den Menschen, gibt oder wie das Weltall entstanden ist. Im Physikunterricht wurde
240 das nicht diskutiert, vielleicht im Religionsunterricht mal, aber sonst nicht.«

241 **I:** »Letzter Abschnitt, das wurde auf dem Fragebogen auch schon gefragt, hier sollst du
242 einschätzen, wie Physiker zu solchen Dingen stehen. Was würdest du da sagen, denken
243 Physiker über die Grenzen der Naturwissenschaften anders?«

244 **S2:** »Ich würde schon sagen, dass die ein bisschen anderes als ich darüber denken. Weil
245 sie mehr Wissen haben und sich Sachen erklären können, die ich mir noch nicht erklären
246 kann. Trotzdem denke ich, dass auch Physiker wissen, dass man nicht alles erklären kann,
247 wahrscheinlich dadurch, dass sie selbst erfahren haben, dass man in gewissen Sachen
248 keinen weiteren Sinn sieht. Ich denke schon, dass die Wissen, dass es Grenzen gibt.«

249 **I:** »Also denken sie eigentlich ganz ähnlich?«

250 **S2:** »Ja, das würde ich so einschätzen.«

251 **I:** »Um das nochmal zusammenzufassen, du denkst, dass Physiker sich da nicht unter-
252 scheiden vom Rest der Bevölkerung.«

253 **S2:** »Ja, zumindest nicht stark.«

254 **I:** »Okay, das war es eigentlich schon. Vielen Dank für die Antworten!«

255 Interview 3

256 **I:** »Okay, starten möchte ich damit, dass du mir einfach mal dein Bild von Physik schilderst.
257 Was fällt dir so ein, wenn du den Begriff Physik hörst?«

258 **S3:** »Als Erstes denke ich auf jeden Fall an Unterricht, weil ich den ja Jahre lang hatte und
259 an die Serie „The Big Bang Theory“. Dass durch die Physik viele Sachen erklärt wurden,
260 die man vorher auf Gott zurückgeführt hat, hat auch etwas damit zu tun. Ich denke, dass
261 es eine sehr praktische Erfindung war.«

262 **I:** »Gibt es bestimmte Begriffe, die du mit Physik verbindest?«

263 **S3:** »Als erstes fällt mir Albert Einstein ein und berühmte Formeln, die man immer mal
264 gehört hat. Das sind Dinge, die man sofort damit verbindet.«

265 **I:** »Gibt es besondere Ereignisse, die dir in Erinnerung geblieben sind? Aus dem Physikun-
266 terricht oder aus den Medien, etwas das haften geblieben ist?«

267 **S3:** »Ich habe einmal einen Versuch gesehen, da waren die in etwas eingesperrt und
268 mussten sich retten, ich glaube es war bei Galileo. Da konnte man sehen, wie man sich mit
269 physikalischen Zusammenhängen und Alltagsgegenständen aus so einem großen Laster
270 befreien kann und das war schon beeindruckend.«

271 **I:** »Mit Hilfe physikalischer Überlegungen sozusagen?«

272 **S3:** »Ja.«

273 **I:** »Ich versuche nach jedem Abschnitt eine kurze Zusammenfassung mit eigenen Worten
274 und du sagst mir dann, ob das so im Wesentlichen richtig ist. Also wenn du an Physik
275 denkst, denkst du vor allem auch an den Physikunterricht und das was da drangekommen
276 ist oder an die Fernsehserie „The Big Bang Theory“. Ansonsten ist dir ein beeindruckendes
277 Ereignis aus der Fernsehserie Galileo in Erinnerung geblieben, dass sich Leute mit Hilfe
278 physikalischer Gesetze aus dem Auto befreien konnten. Allgemeiner gesagt, dass man
279 Probleme lösen kann mit Hilfe von Physik.«

280 **I:** »Nächste Frage, wie stellst du dir Physikerinnen oder Physiker vor?«

281 **S3:** »Da habe ich noch nie drüber nachgedacht, dass sind ja auch ganz normale Leute.«

282 **I:** »Also du würdest nicht sagen, dass es da Unterschiede hinsichtlich der Persönlichkeit
283 gibt?«

284 **S3:** »Wenn man das so hört hat man schon dieses Bild eines verschrobene Professors im

A.5. Materialien zu den Interviews zum Zusammenhang zwischen Fachinteresse und Szientismus

- 285 Kopf. Ein Mischmasch aus Albert Einstein, ein bisschen durchgeknallt. Aber im Grunde
286 stimmt das ja nicht wirklich.«
- 287 **I:** »Würdest du sagen, dass Physiker die Welt anders sehen als andere Menschen, also
288 Nicht-Physiker?«
- 289 **S3:** »Ich denke, jeder sieht die Welt ein bisschen anders. Daher kann man nicht sagen,
290 Physiker sehen das auf eine Art und Weise und Künstler auf eine andere Art und Weise.
291 Wenn ich jetzt zum Beispiel Strom aus der Steckdose kriege, muss ich ehrlich sein, ich
292 weiß zwar, dass es mit Wasser- und Luftenergie zu tun hat, aber ich könnte es nicht
293 erklären. Physiker werden sich da vielleicht nichts bei denken, wissen aber im Grunde,
294 wie es funktioniert.«
- 295 **I:** »Denkst du, dass Physiker über Religion anders oder ähnlich denken wie der Rest der
296 Bevölkerung?«
- 297 **S3:** »Ich denke, man kann Physiker sein und trotzdem an Gott glauben, das hat nicht viel
298 miteinander zu tun.«
- 299 **I:** »Okay, ich versuche wieder zusammenzufassen. Deiner Ansicht nach unterscheiden sich
300 Physiker hinsichtlich Ihrer Persönlichkeit und ihres Weltbildes nicht so sehr von anderen
301 Menschen. Jeder ist natürlich individuell, aber es gibt aus deiner Sicht grundsätzlich
302 keinen Grund, warum Physiker die Welt anders sehen sollten. Natürlich wissen sie mehr
303 über Naturvorgänge, aber ansonsten sind sie hinsichtlich Ihrer Persönlichkeit oder auch
304 religiösen Vorstellungen nicht verschieden von anderen Menschen.«
- 305 **I:** »Der nächste Bereich wäre das Interesse an Physik. Wie würdest du dich da einschätzen,
306 interessierst du dich eher für Physik oder nicht?«
- 307 **S3:** »Eher nicht.«
- 308 **I:** »Kannst du mir einige Gründe nennen, warum du dich nicht, oder nur wenig, für Physik
309 interessierst?«
- 310 **S3:** »Ich weiß es auch nicht genau. Physik ist ja theoretisch interessant, aber auch sehr
311 komplex. Das ist einfach nichts für mich, dieses Formeln umstellen, ich bin nicht so der
312 Mathe-Typ.«
- 313 **I:** »Du hast gesagt, es ist theoretisch interessant, das heißt...? Im Prinzip würden dich
314 physikalische Fragen schon interessieren, aber wie man sie beantworten kann, ist nicht
315 dein Ding.«
- 316 **S3:** »In diesem dreidimensionalen Denken, was man oft für so etwas braucht, bin ich nicht
317 die Beste. Ich fände es interessant, wenn man es auf einem richtig schönen Grundschul-
318 niveau erklären könnte.«
- 319 **I:** »Fällt dir eine Frage ein, die du interessant finden würdest?«
- 320 **S3:** »Wie vieles funktioniert vielleicht.«
- 321 **I:** »Also technische Fragen?«
- 322 **S3:** »Nicht unbedingt Technik. Zum Beispiel habe ich Probleme mit dem Knie und deswe-
323 gen auch MRT und CT. Dieses genaue Bild, das man da bekommt, finde ich schon sehr
324 interessant, also wie man das macht. Aber ich glaube nicht, dass ich es verstehen würde,
325 wenn man es mir mit Formeln erklärt.«
- 326 **I:** »Fallen dir bestimmte Erlebnisse ein, die du im Hinblick auf Physik besonders inter-
327 essant fandest? Vielleicht auch Erlebnisse, die dich abgeschreckt haben?«
- 328 **S3:** »Es gibt interessante Versuche, die man machen kann. Aber es ist auch nie so etwas,
329 wo ich sagen würde „wow, das könnte ich mir zehn Mal am Tag angucken“. Interessante
330 Sachen sind aber auf jeden Fall dabei.«
- 331 **I:** »Letzte Frage hierzu, fällt dir etwas ein das sich ändern müsste, damit Physikunterricht
332 vielleicht interessanter wird, als er momentan ist? Oder Physik allgemein?«

333 **S3:** »Ich glaube bei uns im Physikunterricht ist es gut so wie es ist, weil wir viele Versuche
334 machen, so dass man vieles einfach sieht, das ist für mich sehr wichtig. Mein Problem ist
335 wirklich, dass wir zwischenzeitlich auch Lehrer hatten, die Formeln angeschrieben haben,
336 umgeformt und wenn es so theoretisch wird, schaltet mein Gehirn automatisch ab. Da
337 habe ich dann auch keine Lust mehr. So wie wir es momentan haben ist es immer erst
338 Versuche, dann ausprobieren und so ist das eigentlich gut.«

339 **I:** »Ich fasse mal wieder zusammen. Du interessierst dich nicht so sehr für Physik, vor
340 allen Dingen aber, weil dir mathematische Methoden, mit denen Physiker antworten,
341 nicht so liegen. Im Prinzip findest du physikalische Fragestellungen oder irgendetwas
342 physikalisch verstehen zu können durchaus interessant. Nur ist die Art und Weise, mit
343 der die Physiker das versuchen zu beantworten, nicht so deine Sache. Den Unterricht, so
344 wie er momentan stattfindet, findest du so in Ordnung.«

345 **I:** »Jetzt kommt der Bereich Möglichkeiten und Grenzen der Naturwissenschaften, das
346 war ja auch auf dem Fragebogen mit drauf. Wie siehst du das, welche Fragen können
347 Naturwissenschaften beantworten und welche vielleicht nicht? Gibt es welche, die man
348 nicht naturwissenschaftlich beantworten kann?«

349 **S3:** »Wenn man in diesen Religionsbereich geht auf jeden Fall, ich denke dass da nicht
350 wirklich irgendetwas naturwissenschaftlich bewiesen werden kann und auch wie die Erde
351 und das Universum entstanden ist. Es gibt zwar die Urknalltheorie, aber auch die braucht
352 wieder diesen Anstoß. Ich denke dieses „woher kam das, damit das passieren konnte“ wird
353 immer da sein.«

354 **I:** »Also das sind Fragen für dich, die nicht naturwissenschaftlich beantwortbar sind?«

355 **S3:** »Ja.«

356 **I:** »Du hast jetzt eine bestimmte Auffassung dazu, die sich wahrscheinlich irgendwann
357 herausgebildet hat. Kannst du sagen, ob es da besonders einschneidende Erlebnisse oder
358 Erfahrungen gab?«

359 **S3:** »Ich denke eigentlich nicht. Jeder glaubt an einen anderen Gott und ich denke nicht,
360 dass irgendwann jemand mit einer Formel kommt, die sagt, das ist der Gott und deshalb
361 gibt es einen anderen Gott nicht, ich denke, dass das nicht möglich ist.«

362 **I:** »Hat der Physikunterricht sich irgendwie mit dieser Frage beschäftigt? Mit Grenzen
363 der Naturwissenschaften?«

364 **S3:** »Nicht dass ich wüsste.«

365 **I:** »Okay, also du bist der Ansicht, dass es Fragen gibt, die naturwissenschaftlich nicht
366 beantwortbar sind, vor allen Dingen religiöse Fragen. Fragen, woher die Dinge kommen
367 und woher die Welt kommt, warum sie da ist. Der Physikunterricht hat sich eigentlich
368 nicht mit diesem Thema beschäftigt.«

369 **I:** »Auf dem Fragebogen wurde ja auch gefragt, wie die Mehrheit der Physiker und
370 Physikerinnen darüber denken mag. Siehst du da einen Unterschied zwischen Physikern
371 und dem Rest der Bevölkerung?«

372 **S3:** »Also ich habe meistens unterschiedliche Sachen angekreuzt, weil Physik für die Leute
373 wichtiger ist und ich glaube, dass wenn man generell schon mehr mit Physik erklären
374 kann, man auch denkt, dass man auch weiterhin vielmehr mit Physik erklären als ich, wo
375 ich die Möglichkeiten vielleicht gar nicht sehe. Ich denke schon, dass die vielleicht mehr
376 Hoffnung in die Physik legen als ich.«

377 **I:** »Mehr Hoffnung heißt, dass sie auch glauben, dass man religiöse Fragen beantworten
378 kann?«

379 **S3:** »Ich glaube nicht. Größtenteils würde die sagen, so etwas kann man einfach nicht
380 beantworten. Aber bei anderen Sachen, die mir gerade spontan nicht einfallen, würden sie

A.5. Materialien zu den Interviews zum Zusammenhang zwischen Fachinteresse und Szientismus

- 381 sagen „das kriegen wir hin“, wo ich sagen würde „nicht unbedingt“.«
382 **I:** »Okay. Du würdest also keinen großen Unterschied zwischen deinen eigenen Ansichten
383 und den von Physikern vermuten?«
384 **S3:** »Keinen großen.«
385 **I:** »Ich fasse noch einmal zusammen. Du denkst, dass Physiker vielleicht bei bestimmten
386 Fragen noch ein bisschen optimistischer sind, dass man sie beantworten kann, weil sie
387 selbst Physiker sind und einiges auch wissen. Im Prinzip glauben sie aber auch nicht, dass
388 man typische religiöse Fragen naturwissenschaftlich beantworten kann.«
389 **S3:** »Ja.«
390 **I:** »Okay, damit sind wir durch. Vielen Dank für die Antworten!«

Interview 4

- 391 **I:** »Starten möchte ich mit dem Bild, das du von Physik hast. Vielleicht kannst du einfach
392 mal sagen, was du so mit dem Begriff Physik verbindest. Erzähl doch einfach mal frei,
393 was dir dazu einfällt.«
394 **S4:** »Grundsätzlich erst mal die Urknalltheorie, weil mich das am meisten interessiert.
395 Ich habe auch Religion als Leistungskurs und das ist ein krasser Unterschied. Das ist erst
396 mal mein Bild von Physik.«
397 **I:** »Fallen dir bestimmte Ereignisse ein, die im Gedächtnis haften geblieben sind im
398 Zusammenhang mit Physik? Das kann aus dem Physikunterricht sein oder auch Dinge
399 aus den Medien.«
400 **S4:** »Was mich interessiert ist die Urknalltheorie und Relativitätstheorie.«
401 **I:** »Gibt es bestimmte Personen, die du irgendwie mit Physik verbindest?«
402 **S4:** »Albert Einstein, Herr G. und vielleicht Sheldon Cooper.«
403 **I:** »Aus „The Big Bang Theory“?«
404 **S4:** »Genau. Das ist so das grundsätzliche Bild, das ich im Kopf habe.«
405 **I:** »Okay, ich versuche das einmal zusammenzufassen. Nach jedem Abschnitt versuche ich
406 das in eigenen Worten wiederzugeben. Also du verbindest Physik in erster Linie mit der
407 Theorie über den Urknall und der Entstehung des Weltalls oder auch der Relativitäts-
408 theorie. Besondere Ereignisse aus dem Physikunterricht oder auch sonst sind dir nicht im
409 Gedächtnis geblieben aber Personen wie Albert Einstein, ein berühmter Forscher, Herr G.,
410 dein Lehrer und Sheldon Cooper, ein Physiker aus dieser Fernsehserie. Trifft das das so?«
411 **S4:** »Ja.«
412 **I:** »Nächster Abschnitt wäre zu der Frage, wie du dir so einen typischen Physiker oder
413 eine Physikerin vorstellst.«
414 **S4:** »Wie?«
415 **I:** »Wie Sheldon?«
416 **S4:** »Nein, Physiker ist nur ein Beruf, ich stelle mir da jetzt nicht irgendwie so einen Freak
417 vor. Im Fernsehen sind die ja immer ein bisschen verrückt und Albert Einstein hatte ja
418 auch diese Frisur. Er ist sehr intelligent und weiß das auch einzusetzen, aber er ist nicht
419 langweilig intelligent. Ich stelle mir einen aufregenden Menschen vor, einen intelligenten,
420 aufregenden Menschen.«
421 **I:** »Ein bisschen hast du das ja gerade schon gesagt, also von der Persönlichkeit her,
422 würdest du sagen, dass Physiker da irgendwie anders sind als normale Menschen?«
423 **S4:** »Nein.«
424 **I:** »Und hinsichtlich ihres Weltbildes, glaubst du, dass es da Unterschiede gibt?«
425 **S4:** »Ich glaube das Physiker vieles mit der Physik oder den Naturwissenschaften begrün-
426 den und erklären und weniger auf Glauben setzen.«
427

- 428 **I:** »Okay, das wäre meine nächste Frage gewesen. Glaubst du, dass die Position von
429 Physikern zur Religion eine andere ist? Also gibt es da Unterschiede?«
- 430 **S4:** »Ich weiß es nicht, aber ich glaube Herr G. ist sehr religiös. Erstmal stelle ich mir
431 einen Physiker aber eigentlich atheistisch vor.«
- 432 **I:** »Kannst du das begründen?«
- 433 **S4:** »Weil Physiker, oder Naturwissenschaftler ganz grundsätzlich, denken ja eher rational
434 und objektiv und glauben weniger an das Übernatürliche oder an Sachen, die sie nicht
435 erklären können.«
- 436 **I:** »Okay, letzte Frage hierzu: Könntest du dir dich selbst als Physikerin vorstellen?«
- 437 **S4:** »Nein, ich will später in den sozialen Bereich, also eigentlich eher weg von der Natur-
438 wissenschaft.«
- 439 **I:** »Warum kommt das für dich nicht in Frage?«
- 440 **S4:** »Ich finde es schon spannend, also die Physik und interessiere mich auch dafür, aber
441 es ist nichts, was ich erforschen will. Also es interessiert mich nicht so sehr, als dass ich da
442 weiter drauf eingehen und mich in meinem Leben nur damit auseinandersetzen möchte.
443 Ich möchte eigentlich mit Menschen arbeiten.«
- 444 **I:** »Ist das deine Auffassung, also das man sich im Physikgeschäft eigentlich ausschließlich
445 mit Physik beschäftigt?«
- 446 **S4:** »Ja, also mit Experimenten. Ein Student sitzt vorne im Raum und bastelt da ein
447 bisschen, so stelle ich mir das schon vor.«
- 448 **I:** »Dass es das Leben auch sehr in Anspruch nimmt?«
- 449 **S4:** »Ja, denke ich mal.«
- 450 **I:** »Ich versuche das noch einmal zusammenzufassen, du glaubst, dass Physiker sich
451 hinsichtlich Ihrer Persönlichkeit nicht so unterscheiden von „normalen“ Menschen, sag
452 ich mal, von Nicht-Physikern. Hinsichtlich ihres Weltbildes versuchen sie Dinge immer
453 rational zu erklären und sind deswegen skeptischer, also glauben nicht so viele Dinge
454 wie andere Menschen. Das bezieht sich dann auch auf religiöse Fragen. Etwas wichtiges
455 vergessen?«
- 456 **S4:** »Nein, das wars.«
- 457 **I:** »Wie ist das mit deinem eigenen Interesse an Physik, wie würdest du das beschreiben?
458 Eher gering oder hoch?«
- 459 **S4:** »Wie gesagt, es interessiert mich schon, ist aber nichts, womit ich mich ausschließlich
460 beschäftigen wollen würde.«
- 461 **I:** »Was würdest du sagen interessiert dich an Physik, was nicht so sehr?«
- 462 **S4:** »Naja, man kann damit gewisse religiöse Sachen widerlegen. Die Urknalltheorie
463 glaube ich auf jeden Fall eher, als dass Gott die Welt erschaffen hat. Grundsätzlich bin
464 ich auch eher ein skeptischer Mensch, aber ich würde mich da in soweit nicht immer mit
465 beschäftigen wollen, weil ich nicht immer objektiv überlege, sondern einfach nach Gefühl
466 gehe und in der Physik muss man ja alles beweisen.«
- 467 **I:** »Gibt es bestimmte Erlebnisse oder Themen, die dein Interesse an Physik geweckt oder
468 auch abgeschreckt haben?«
- 469 **S4:** »Nein, eigentlich nicht. Spontan fällt mir dazu jetzt nichts ein.«
- 470 **I:** »Gibt es deiner Ansicht nach Dinge, die sich an der Physik ändern müssten, um sie für
471 dich auch interessanter zu machen? Zum Beispiel auch im Physikunterricht.«
- 472 **S4:** »Den Physikunterricht finde ich so, wie er im Moment läuft bei Herrn G. gut, da freue
473 ich mich auch immer drauf. Aber so grundsätzlich in der Physik, also auch im Studium
474 oder so, wenn ich es studieren würde, würde ich mir den Umgang mit Menschen mehr
475 wünschen, also nicht nur das viele Arbeiten mit Zahlen und Fakten, sondern auch die

A.5. Materialien zu den Interviews zum Zusammenhang zwischen Fachinteresse und Szientismus

- 476 Physik den Menschen näher zu bringen. Sonst vielleicht noch Teamarbeit, also einfach
477 arbeiten in größeren Gruppen.«
- 478 **I:** »Interessant, wie ist deine Vorstellung, was die Arbeitsweise von Physikern angeht?
479 Glaubst du, dass die eher alleine arbeiten?«
- 480 **S4:** »Das stelle mir schon vor. Also dass man seine eigenen Thesen aufstellt und die
481 vielleicht mit anderen vergleicht, aber hauptsächlich die eigenen Gedanken erarbeitet,
482 aufschreibt, beweist.«
- 483 **I:** »Ich fasse das einmal zusammen. Im Prinzip findest du einige physikalische Fragen
484 schon interessant, aber dich selbst würde abschrecken von der Physik, dass man sich nur
485 so rational mit den Dingen beschäftigt und man vielleicht sehr häufig alleine arbeitet und
486 alleine logisch denkt und der Kontakt zu Menschen keine so große Rolle in der Physik
487 spielt. Also das würde dich vielleicht so ein bisschen abschrecken.«
- 488 **S4:** »Ja.«
- 489 **I:** »Kommen wir zu den Möglichkeiten und Grenzen der Naturwissenschaften. Da gab
490 es ja auch auf dem Fragebogen Sachen zu. Wie siehst du das, gibt es Fragen, die die
491 Naturwissenschaften nicht beantworten können?«
- 492 **S4:** »Bestimmt, also ich glaube schon, dass es Fragen gibt, die die Naturwissenschaften
493 nicht beantworten können.«
- 494 **I:** »Fallen dir da Beispiele ein?«
- 495 **S4:** »Spontan fällt mir da ehrlich gesagt nichts ein, aber ich denke es gibt in allen Bereichen
496 Fragen, die sich noch nicht klären lassen und vielleicht auch niemals klären lassen. Das
497 ist in der Naturwissenschaft so, das ist in der Religion so.«
- 498 **I:** »Genau, geht es jetzt so um religiöse Fragen oder Fragen nach dem Sinn des Lebens
499 oder die Frage, warum es uns Menschen gibt?«
- 500 **S4:** »Ja ich finde dass sich das nicht mit der Naturwissenschaft klären lässt und ich wüsste
501 spontan auch nicht wie sich das klären lassen könnte. Der Sinn des Lebens ist ja keine
502 Formel in dem Sinne, das ist nicht rechnerisch bestimmt.«
- 503 **I:** »Wurde dieses Thema im Physikunterricht einmal angesprochen? Also wurden diese
504 Grenzen einmal thematisiert, also welche Fragen Naturwissenschaften beantworten
505 können und welche nicht?«
- 506 **S4:** »Nein.«
- 507 **I:** »Gut, also du denkst, dass die Naturwissenschaften schon nicht alle Fragen beantworten
508 können, ganz konkrete Beispiele fallen dir nicht ein, aber du hattest ja zugestimmt,
509 dass Fragen nach dem Sinn des Lebens nicht naturwissenschaftlich beantwortet werden
510 können, weil es sich nicht auf eine Formel reduzieren lässt. Im Physikunterricht wurde
511 diese Thematik auch nicht thematisiert.«
- 512 **I:** »So, letzter Punkt. Ihr wurdet ja auch gefragt, was ihr denkt, wie ein Naturwissen-
513 schaftler zu den Möglichkeiten und Grenzen in den Naturwissenschaften steht. Glauben
514 Naturwissenschaftler vielleicht eher, dass diese Fragen beantwortbar sind oder nicht, was
515 glaubst du da?«
- 516 **S4:** »Ich denke schon, dass Naturwissenschaftler glauben, dass sie vieles beantworten
517 können, aber ich glaube nicht, dass sie denken, dass sie alles damit beantworten können,
518 weil die Frage des Lebens - das geht nicht. Deshalb glaube ich nicht, dass Physiker oder
519 Naturwissenschaftler da anders denken, weil sonst müssten sie es ja eigentlich auch
520 irgendwie beweisen. Da habe ich auf jeden Fall noch nichts von gehört.«
- 521 **I:** »Okay, du denkst eigentlich, dass Physiker und Nicht-Physiker sich nicht so unter-
522 scheiden in dieser Hinsicht, dass sie also auch glauben, dass es Grenzen gibt und das da
523 eigentlich kein wesentlicher Unterschied ist.«

524 **I:** »Okay, dann bin ich durch mit meinen Fragen. Vielen Dank für die Antworten.«

525 **S4:** »Gerne.«

526 Interview 5

527 **I:** »Es geht im Grunde um die Thematik, die auch auf dem Fragebogen schon angeklungen
528 ist und starten möchte ich damit, dass du einmal schilderst, was du mit dem Begriff Physik
529 verbindest, ganz allgemein. Was fällt dir ein, wenn du an Physik denkst?«

530 **S5:** »Auf jeden Fall, dass man damit viele Sachen erklären kann, was in der Natur so vor
531 sich geht. Zum Beispiel auch das, was wir jetzt haben, das mit den Wellen und natürlich
532 viel Rechnen, Formeln, Einheiten und auch Versuche, was wir auch oft im Unterricht
533 machen.«

534 **I:** »Gibt es bestimmte Begriffe, die dir irgendwie in den Sinn kommen und die du mit
535 Physik verbinden würdest?«

536 **S5:** »CASSY, weil wir so etwas viel im Unterricht machen und vielleicht Einheiten, so
537 etwas wie Ampere wäre etwas, an das man als Erstes denkt.«

538 **I:** »Gibt es Dinge außerhalb des Physikunterrichts, die du mit Physik verbinden würdest?«

539 **S5:** »Nein, außer Hausaufgaben eigentlich nicht. Ich hatte mal überlegt, ob ich später so
540 etwas studieren will, aber ich habe mich umentschieden.«

541 **I:** »Ah ja, da können wir gleich noch einmal drauf zurückkommen. Gibt es bestimmte
542 Ereignisse, sei es aus dem Unterricht oder auch sonst wie, die dir in Erinnerung geblieben
543 sind im Zusammenhang mit Physik?«

544 **S5:** »Ja, zum Beispiel machen wir immer viel mit Raumsonden. Ich weiß gerade nicht
545 mehr wie sie heißt, aber wir hatten einmal so eine Raumsonde und auch einen Versuch
546 mit Usain Bolt und CASSY und wir machen auch immer viel mit Federexperimenten.«

547 **I:** »Welche Personen fallen die ein, wenn du an Physik denkst?«

548 **S5:** »Einstein. Und Herr G.. Newton. Wir haben ja auch die Physiker gelesen in Deutsch
549 und daher Newton und Einstein.«

550 **I:** »Okay. Nach jedem kleinen Abschnitt versuche ich so eine kleine Zusammenfassung mit
551 meinen eigenen Worten und du sagst mir dann, ob das okay ist.«

552 **S5:** »Ja klar.«

553 **I:** »Dir fallen also, wenn du an Physik denkst, vor allem so Begriffe aus dem Unterricht wie
554 Einheiten und Messwerterfassungssysteme wie CASSY ein. Die Personen die dir einfallen
555 sind Forscher, wie Einstein, oder dein Physiklehrer, Herr G.. Ereignisse sind auch aus
556 dem Unterricht, wichtige Versuche, die vielleicht beeindruckend waren. Ist das so im
557 Wesentlichen in Ordnung?«

558 **S5:** »Ja, das trifft es ganz gut.«

559 **I:** »Die nächste Frage ist zu deiner Vorstellung von Physikern und Physikerinnen, also
560 wie stellst du dir so einen typischen Physiker vor?«

561 **S5:** »Sehr begeistert von Physik auf jeden Fall. Ich denke, wenn man Physiker ist, dass
562 das auch sehr einschneidend im Leben ist. Auf jeden Fall ein bisschen einzelgängerisch,
563 weil das einfach viel damit zu tun hat und manchmal auch ein bisschen verwirrt, also in
564 den Gedanken. Eigentlich aber wie ein ganz normaler Mensch.«

565 **I:** »Das war jetzt ja zur Persönlichkeit, würdest du sagen, dass Physiker ein ähnliches
566 Weltbild haben wie andere Menschen, also wie sie die Welt sehen, oder ist das unterschied-
567 lich?«

568 **S5:** »Weiß ich nicht, wenn ich an Physik denke, dann denke ich nicht unbedingt an ein
569 Weltbild, sondern nur an diese Physik. Ich denke auch, wenn man Physiker ist, muss man
570 nicht unbedingt denken, dass die Physik alles in der Welt bestimmt, sondern auch andere

A.5. Materialien zu den Interviews zum Zusammenhang zwischen Fachinteresse und Szientismus

571 Sachen, irgendwelche moralischen Ansichten aus der Religion. Das kommt immer ganz
572 darauf an, was für ein Mensch man auch ist.«

573 **I:** »Okay, denkst du, dass sie hinsichtlich der Religion anders oder ähnlich denken wie
574 Nicht-Physiker?«

575 **S5:** »Ich denke das ist bei jedem Menschen anders und hat nichts damit zu tun, was für
576 einen Beruf man hat, also die Religion.«

577 **I:** »Könntest du dir selbst vorstellen, Physikerin zu sein?«

578 **S5:** »Das habe ich schon einmal überlegt und war schon einmal hier, um mich zu erkun-
579 digen, aber bei mir ist es einfach so, dass ich andere Hobbies noch habe, die mir einfach
580 wichtiger sind und für die ich mich sozusagen entschieden habe. Mich interessiert das
581 auch alles, aber ich glaube es ist mir mit zu viel Arbeit verbunden und ich habe so ein
582 bisschen das Bild von dem Einzelgänger und das ist eine Sache, die ich einfach nicht so
583 schön finde.«

584 **I:** »Ich fasse das einmal wieder zusammen. Du hast einmal mit dem Gedanken gespielt, so
585 etwas wie Physikerin zu werden, aber da du glaubst, dass man da sehr viel als Einzelgän-
586 ger arbeitet und weil dir andere Dinge inzwischen wichtiger sind als Physik, hast du dich
587 dagegen entschieden. Ansonsten glaubst du aber, dass Physiker von ihrer Persönlichkeit
588 her nicht so verschieden sind vom Rest, vielleicht ein bisschen schusseliger, aber hinsicht-
589 lich ihres Weltbildes oder auch ihrer religiösen Vorstellungen sich nicht so unterscheiden
590 von anderen Menschen. Okay?«

591 **S5:** »Ja.«

592 **I:** »Gut. Nächster Bereich wäre dein Interesse an Physik. Da hast du ja schon ein bisschen
593 was zu gesagt. Wie würdest du das so einschätzen, also interessiert dich Physik oder
594 nicht?«

595 **S5:** »Doch, also ich denke schon, weil ich es auch einfach wichtig finde, Sachen auch zu
596 verstehen. Wenn ich jetzt nach draußen gehe und ein Windrad sehe, möchte ich auch
597 gerne verstehen, was da passiert. Vielleicht nicht bei allen Sachen, aber das kommt ja
598 auch immer darauf an, was einen interessiert. Aber sonst interessiert es mich schon, ja.«

599 **I:** »Gibt es bestimmte Bereiche, die dich besonders interessieren?«

600 **S5:** »Ja, im Moment ist ja diese Energiekrise mit den ganzen erneuerbaren Energien, das
601 finde ich ziemlich interessant. Da hatte ich erst überlegt, ob ich das machen will. Sonst
602 generell Energien und Kräfte, wie sich das alles so miteinander verhält. Wie bei Usain
603 Bolt, mit diesen Bewegungsabläufen, das finde ich interessant.«

604 **I:** »Fallen dir bestimmte Themen oder Erlebnisse ein, die dein Interesse an der Physik
605 geweckt haben oder dich vielleicht auch abgeschreckt haben?«

606 **S5:** »Abgeschreckt auf jeden Fall ein Lehrer, den wir einmal hatten, der das einfach nicht
607 so gut vermitteln konnte. Dann habe ich einen anderen Lehrer bekommen und es war
608 schlagartig viel besser. In den fünften Klasse habe ich noch gesagt „ich wähle Physik ab“
609 und jetzt im Moment stehe ich ziemlich gut in Physik, was auch toll ist. Wir machen
610 viele Versuche, das habe ich ja schon gesagt, wie CASSY und auch das Fadenpendel fand
611 ich total interessant. Was wir mit dem Lautsprecher machen finde ich im Moment schon
612 ziemlich kompliziert, aber es geht alles, auch mit den Stimmwellen, das finde ich schon
613 interessant.«

614 **I:** »Gibt es Dinge, die sich ändern müssten, damit du Physik vielleicht noch interessanter
615 finden würdest? Zum Beispiel im Physikunterricht, fehlen dir da irgendwelche Themen?«

616 **S5:** »Ich weiß nicht, vielleicht wenn ich jetzt ein paar Themen zur Auswahl hätte, die wir
617 jetzt nicht hätten würde ich sagen „das fehlt jetzt“, aber so auf die Schnelle fällt mir da
618 eigentlich nichts ein. Ich lasse mich immer überraschen.«

619 **I:** »Du findest Physik also im Prinzip interessant. Dinge, gerade auch Experimente, die
620 da gemacht werden, auch so Experimente wie das Fadenpendel findest du interessant.
621 Abgeschreckt hat dich ein Lehrer, der das sehr schlecht vermittelt hat, das spielt also
622 auch eine Rolle für dich, für dein Interesse. Auch wie gut du das kannst oder verstehst
623 natürlich, momentan geht das ganz gut, das ist auch ein wichtiger Faktor für das Interesse.
624 Themen, die vielleicht auch interessant wären, fallen dir spontan nicht ein, könnte es
625 vielleicht geben. Noch was zu ergänzen?«

626 **S5:** »Nein, das wars eigentlich.«

627 **I:** »Jetzt geht es zu diesen Möglichkeiten und Grenzen der Physik oder Naturwissenschaften
628 im Allgemeinen. Glaubst du, dass es bestimmte Fragen gibt, die die Naturwissenschaften
629 nicht beantworten können? Oder können sie alle Fragen im Prinzip beantworten?«

630 **S5:** »Technische Sachen und alles, was man irgendwie ausrechnen kann auf alle Fälle.
631 Das was auf dem Zettel schon war mit Moral und dem Weltbild ist glaube ich für jeden
632 Menschen anders, also was er darin sieht. Die Physik erklärt das auf ihre Weise und zum
633 Beispiel die Religion erklärt es auf eine ganz andere Weise und was für jemanden richtig
634 ist, ist für jeden Menschen einzeln entscheidend. Von daher kann die Physik das schon
635 erklären, man muss es aber nicht annehmen.«

636 **I:** »Du sagst die Physik kann das schon erklären, also glaubst du, dass sie im Prinzip schon
637 alle Fragen erklären kann oder nicht?«

638 **S5:** »Ich weiß nicht...«

639 **I:** »Wir nehmen mal diese Frage nach dem Sinn des Lebens, die ist ja auf dem Fragebogen
640 drauf. Glaubst du, dass diese Frage im Prinzip von der Physik oder den Naturwissenschaften
641 beantwortet werden kann?«

642 **S5:** »Sinn des Lebens, ich weiß nicht.«

643 **I:** »Oder ist es aus deiner Sicht überhaupt eine sinnvolle Frage?«

644 **S5:** »Ich finde die Frage nach dem Sinn des Lebens kann man generell einfach nicht
645 beantworten, also ich für mich jedenfalls nicht. Für manche Leute kann die Physik das
646 bestimmt irgendwie entscheiden, die sagen dann vielleicht „der Sinn des Lebens ist es,
647 mit Physik irgendetwas zu entdecken“, aber für manche Menschen hat die Physik damit
648 eigentlich gar nichts zu tun. Das war auch mein erster Gedanke dabei. Erst habe ich mich
649 gewundert, dass das da drauf stand und dann dachte ich, vielleicht hat es ja doch etwas
650 damit zu tun.«

651 **I:** »Wurde diese Frage, was physikalisch beantwortbar ist und was nicht, eigentlich einmal
652 im Physikunterricht behandelt oder nicht?«

653 **S5:** »Ich denke indirekt. Wir haben ja schon viel gemacht in den elf Jahren und da schon
654 gesehen, dass man viel beantworten kann. Manchmal kommt dann auch „das möchte ich
655 euch jetzt nicht erklären, das ist zu schwer“, es geht auf jeden Fall schon ziemlich weit,
656 aber genau weiß ich gar nicht.«

657 **I:** »Es gibt ja Fragen, die vielleicht schwer zu beantworten sind physikalisch und man
658 könnte ja auch sagen, es gibt Fragen, die prinzipiell nicht zu beantworten sind. Würdest
659 du sagen, dass es diese prinzipiell nicht beantwortbaren Fragen gibt?«

660 **S5:** »Ja, ich denke schon. Ich glaube man kann nicht alles irgendwie erklären, es gibt
661 immer irgendwelche Sachen, die man nicht erklären kann, egal in wie weit sich die
662 Technik oder die Physik weiterentwickelt, es wird immer irgendetwas geben, das man
663 nicht erklären kann. Ich kann mir nicht vorstellen, dass man alles erklären kann.«

664 **I:** »Okay, ich versuche einmal zusammenzufassen. Du denkst schon, dass es Fragen gibt,
665 die naturwissenschaftlich nicht so gut beantwortet werden können. Ganz klar ist dir
666 aber nicht, welche Fragen nicht beantwortet werden können oder vielleicht doch und im

A.5. Materialien zu den Interviews zum Zusammenhang zwischen Fachinteresse und Szientismus

667 Physikumterricht wurde das zumindest nicht direkt behandelt, sondern nur in so fern, als
668 dass man einen Bereich von Fragen beantwortet hat und andere nicht behandelt hat.«

669 **S5:** »Genau.«

670 **I:** »Okay, glaubst du, dass die Mehrheit der Physiker und Physikerinnen irgendwie anders
671 denkt zu der Frage der Grenzen der Naturwissenschaften?«

672 **S5:** »Ich denke es gibt durchaus Physiker, die denken, dass das alles beantworten kann.
673 Es gibt in jedem Feld irgendwelche Menschen, die denken, dass das alles ist und vielleicht
674 ist das ja auch so, kann ja sein. Aber ich denke, dass es auch durchaus Leute gibt, die
675 da anders denken, die sagen „Physik erklärt das und das“. Es wird ganz sicher Physiker
676 geben, die religiös sind und dann sagen sie vielleicht „mein moralisches Menschenbild
677 erkläre ich mit Religion und andere Sachen mit Physik“, ich denke das mischt sich dann
678 so.«

679 **I:** »Du denkst jetzt nicht, dass Physiker grundsätzlich eher glauben, dass die Naturwis-
680 senschaft unbedingt viel mehr erklären kann, sondern es gibt solche und solche.«

681 **S5:** »Also ich denke schon, dass die überzeugt sind von dem, was sie machen.«

682 **I:** »Aber sich eben auch ihrer Grenzen bewusst sind.«

683 **S5:** »Genau.«

684 **I:** »Okay. Vielen Dank, das wars schon. Danke für die Antworten!«

685 Interview 6

686 **I:** »Zum Einstieg kannst du mir einmal schildern, was du mit dem Begriff Physik verbind-
687 dest, ganz allgemein.«

688 **S6:** »Ganz allgemein auf jeden Fall den Physikumterricht, viele Zahlen, viel Mathematik,
689 aber auch praktische Übungen, was man in der Schule an Versuchen macht, so wie jetzt
690 auch. Bei uns in der Schule gibt es noch den Astronomie-Kurs, den macht Herr G. ja auch
691 und das hat mit Physik auf jeden Fall etwas zu tun, da sind wir drin. Das gehört auch auf
692 jeden Fall dazu.«

693 **I:** »Gibt es bestimmte Begriffe, die du mit Physik verbindest?«

694 **S6:** »Nicht so direkt.«

695 **I:** »Oder Personen?«

696 **S6:** »Auf jeden Fall Herr G. und dann natürlich Leute, die die Physik geprägt haben, wie
697 Newton, Galileo, solche berühmten Physiker, die man so kennt und was man in der Schule
698 lernt.«

699 **I:** »Gibt es außerhalb der Schule Dinge, die du mit Physik verbinden würdest?«

700 **S6:** »Ja, Astronomie bei Herr G., das prägt schon, denn wenn man durch die Nacht läuft,
701 guckt man schon einmal an den Himmel und fragt sich, wie das alles entstanden ist, das
702 lernen wir da. Sonst eher weniger, man redet vielleicht einmal über Physik mit ein paar
703 Freunden, darüber wie das sein kann. Meine Cousins studieren beide Physik, mit denen
704 habe ich da auch drüber geredet.«

705 **I:** »Gibt es bestimmte Ereignisse, die dir besonders in Erinnerung geblieben sind? Vielleicht
706 aus dem Unterricht?«

707 **S6:** »Physikarbeiten, aber sonst nicht so besonders.«

708 **I:** »Gut, nach jedem kurzen Abschnitt mache ich eine Zusammenfassung in eigenen Worten
709 und du sagst dann, ob ich das im Wesentlichen richtig wiedergegeben habe. Bei Physik
710 denkst du vor allem an den Physikumterricht und was ihr da so gemacht habt, zum
711 Beispiel Experimente. Personen waren berühmte Physiker oder der Physiklehrer, Herr G..
712 Inhaltlich auch Astronomie. Besondere Ereignisse sind dir nicht so in Erinnerung, außer
713 vielleicht die Klassenarbeiten. Okay?«

- 714 **S6:** »Ja, genau.«
715 **I:** »Nächster Bereich wäre, wie du dir Physiker und Physikerinnen vorstellst. Hast du da
716 so ein Bild?«
717 **S6:** »Es gibt auf jeden Fall zwei Seiten. Wie Herr G., das sind ja schon immer spezielle
718 Typen, das ist etwas für sich, aber es gibt auch andere. Meine Cousins sind ganz normal,
719 denen merkt man das nicht an, aber ich glaube schon, dass die eine andere Anschauung
720 von der Welt haben als der normale Mensch.«
721 **I:** »Du sagst, es sind spezielle Typen, kannst du versuchen einmal zu beschreiben, was an
722 denen so anders ist?«
723 **S6:** »Oft geht man auch über das Äußere, vielleicht die Kleidung, darüber fällt es auf.
724 Das Verhalten, die sehen die Welt auch ein bisschen anders, mit anderen Augen, man
725 denkt auf jeden Fall, dass sie sich mit Zahlen vieles erklären und dadurch ein anderes
726 Bild entsteht von der Welt.«
727 **I:** »Würdest du sagen, dass Physiker die Welt irgendwie anders sehen als ein normaler
728 Nicht-Physiker?«
729 **S6:** »Ja auf jeden Fall, ich glaube schon. Sie haben vielleicht ein anderes Bild und können
730 sich mehr erklären, denken manchmal weiter und verirrt, also ein bisschen verzweigter.
731 Das einfache Denken fehlt, wenn die ihre Rechnungen haben ist es alles komplizierter.
732 Für uns sieht in Physik alles kompliziert aus und deswegen denken die vielleicht auch ein
733 bisschen komplizierter.«
734 **I:** »Würdest du sagen, dass Physiker über Religion anders denken als Nicht-Physiker?«
735 **S6:** »Könnte ich mir vorstellen, weil einiges, das die Religion so ansieht, ist schon wider-
736 legt. So etwas wie die Wiedergeburt, ich glaube, dass man das schon widerlegen konnte
737 größtenteils. Mit Wissenschaft ist alles zu erklären und die Religion sieht das nicht so an,
738 wie die Physiker das erklären, daher könnte das schon einen Widerspruch geben.«
739 **I:** »Könntest du dir vorstellen, Physiker zu werden?«
740 **S6:** »Physiker glaube ich nicht, das wäre mir zu viel Mathe, aber es gibt ja Sachen, die
741 haben mit Physik zu tun, so etwas wie Autobau, da muss man auch Ingenieur sein und
742 das hat mit Physik zu tun. Direkt Physiker glaube ich aber nicht.«
743 **I:** »Der Grund wäre vor allem die Mathematik oder gibt es noch andere Gründe?«
744 **S6:** »Mir wäre es zu einseitig, den ganzen Tag nur mit Zahlen zu arbeiten, ich brauche
745 etwas Praktisches dabei. Auch wenn Versuche dabei sind, trotzdem.«
746 **I:** »Gut, ich versuche zusammenzufassen. Physiker sind deiner Ansicht nach in ihrer
747 Persönlichkeit manchmal etwas besonders, vielleicht auch äußerlich in ihrem Erschei-
748 nungsbild, aber es gibt auch Normale. Sie sind sehr fixiert auf die Physik, in manchen
749 Fällen zumindest und versuchen alles sehr mathematisch zu sehen, versuchen, die Welt
750 mathematisch zu begreifen. Im Hinblick auf religiöse Fragen denkst du, dass sie schon
751 glauben, dass es da Unterschiede gibt, weil man letztendlich alles naturwissenschaftlich
752 erklären kann. Du selbst kannst dir nicht vorstellen, Physiker zu werden, weil es dir zu
753 einseitig wäre oder zu viel Mathematik und du hättest gerne einen praktischen Anteil,
754 das wäre ein wesentlicher Grund für dich. Habe ich das in etwa richtig wiedergegeben?«
755 **S6:** »Ja, das passt so ungefähr.«
756 **I:** »Nächster Aspekt wäre dein Interesse an Physik. Wie würdest du das so einschätzen
757 oder beschreiben?«
758 **S6:** »Über den Physikunterricht geht das eigentlich nicht hinaus, bis auf Astronomie
759 vielleicht ein bisschen, aber sonst ist es nicht mehr als in der Schule.«
760 **I:** »Kannst du mir sagen, warum das so ist? Also warum du dich darüber hinaus nicht
761 interessierst?«

A.5. Materialien zu den Interviews zum Zusammenhang zwischen Fachinteresse und Szientismus

- 762 **S6:** »Ich glaube ich verbinde Physik zu sehr mit Schule und wenn ich morgens meinen Teil
763 Schule gehabt habe, ist es so, dass ich da nachmittags nicht noch mehr von brauche.«
- 764 **I:** »Wie würdest du deine Interessen so beschreiben wollen, also außerhalb der Physik?
765 Du hattest ja schon gesagt, du konntest dir durchaus vorstellen, etwas Technisches zu
766 machen.«
- 767 **S6:** »Was ich jetzt so an Hobbies habe?«
- 768 **I:** »Ja, zum Beispiel.«
- 769 **S6:** »Eher sportlich, Fußball spiele ich selber, es geht eher in diese Richtung.«
- 770 **I:** »Und beruflich, hast du da irgendwie schon eine Idee?«
- 771 **S6:** »Vielleicht Sport mit Management zusammen. Ich habe auch schon mal darüber
772 nachgedacht, irgendetwas in Richtung Ingenieur zu machen.«
- 773 **I:** »Okay, gibt es bestimmte Themen, die dich in der Physik besonders interessieren?«
- 774 **S6:** »Astronomie und auch das Thema, das wir im Moment haben, das mit den Wellen,
775 finde ich nicht uninteressant.«
- 776 **I:** »Gibt es Dinge, die dich eher abgeschreckt haben?«
- 777 **S6:** »Auf jeden Fall das letzte Thema, das wir in der Schule hatten, das hat mir nicht so
778 gelegen.«
- 779 **I:** »Gibt es deiner Ansicht nach Dinge, die sich ändern müssten, damit Physik für dich
780 noch interessanter werden würde?«
- 781 **S6:** »Viele Zahlen abschaffen oder das viele Rechnen.«
- 782 **I:** »Also das Mathematische ist schon...«
- 783 **S6:** »...das ist schon ein schwerer Teil der Physik, ja. Aber das kann man natürlich nicht
784 abschaffen.«
- 785 **I:** »Ich versuche das noch einmal zusammenzufassen. Du findest Physik im Prinzip so
786 mittelmäßig interessant, besonders interessant so etwas wie Astronomie. Es gab auch
787 Themen, die dich eher abgeschreckt haben, du kannst dich aber nicht mehr so genau daran
788 erinnern, was es eigentlich war. Physiker möchtest du nicht werden, denn deine Interessen
789 sind eher andersweitig gelagert, aber eine Ingenieurwissenschaft hast du durchaus schon
790 einmal ins Auge gefasst, also etwas Technisches kannst du dir vorstellen. Für dich wäre
791 es besser, wenn weniger Mathematik dabei wäre, aber du würdest schon sagen, dass das
792 irgendwie dazugehört. Trifft es das so ungefähr?«
- 793 **S6:** »Ja doch, das passt.«
- 794 **I:** »Okay, jetzt geht es zu diesem Thema Möglichkeiten und Grenzen der Naturwissen-
795 schaften. Wie ist da deine Ansicht, glaubst du die Naturwissenschaften können letztlich
796 alle Fragen beantworten oder gibt es Fragen, die sie nicht beantworten können?«
- 797 **S6:** »Alle Fragen glaube ich nicht. Ich weiß nicht, ob das mit dem Tod alles so erklärbar
798 ist. Ein gewisser Teil, aber nicht alles. Wie weit man ins Weltall schauen kann, das hängt
799 ja mit Astronomie zusammen, das kann man auch nicht genau sagen, also das weiß ich
800 nicht genau. Aber irdische Sachen können schon ziemlich weit erklärt werden durch
801 Naturwissenschaften.«
- 802 **I:** »Ein paar Sachen waren auch auf dem Fragebogen, zum Beispiel kann die Physik den
803 Sinn des Lebens erklären?«
- 804 **S6:** »Weiß ich nicht.«
- 805 **I:** »Oder gibt es den überhaupt?«
- 806 **S6:** »Darüber kann man streiten. Ich glaube, das ist eher eine theologische Frage, ich
807 glaube nicht, dass das so viel mit Physik zu tun hat.«
- 808 **I:** »Würden diese Fragen im Physikunterricht einmal angesprochen oder diskutiert?«
- 809 **S6:** »So weit ich mich zurückerinnern kann, hatten wir das noch nicht in Physik. Ich weiß

- 810 nicht ob das im Leistungskurs noch kommt, aber wir hatten es nicht.«
811 **I:** »Fallen die konkrete Fragen ein, wo du sagst, die kann die Physik nicht beantworten?«
812 **S6:** »Der Sinn des Lebens ist, glaube ich, nicht zu beantworten und was nach dem Tod
813 kommt, ist auch schwer zu beantworten. Ich habe gehört, dass man da auch schon ein
814 bisschen was drüber weiß, es gibt da schon Forschungen.«
815 **I:** »Okay, zusammengefasst: Du glaubst schon, dass es manche Fragen gibt, die die Physik
816 nicht beantworten kann, also Fragen nach dem Sinn des Lebens oder Fragen nach der
817 Existenz nach dem Tod, wie es da aussieht. Im Physikunterricht wurde das aber nicht
818 diskutiert. Ist da noch etwas zu ergänzen?«
819 **S6:** »Nein, das passt.«
820 **I:** »Würdest du sagen, das Physiker das ähnlich sehen oder glauben die eher, dass man
821 alles beantworten kann?«
822 **S6:** »Auf dem Zettel habe ich angekreuzt, dass Physiker zum großen Teil das glauben, aber
823 ganz sicher beantworten kann ich es nicht. Ich könnte mir vorstellen, dass sie irgendwann
824 soweit sind, dass die das denken. Aber das dauert vielleicht noch ein bisschen.«
825 **I:** »Warum glaubst du, dass die da sozusagen optimistischer sind?«
826 **S6:** »Weil es vielleicht vor 50 Jahren auch Themen gab, bei denen man überzeugt war, oder
827 bei denen zumindest Nicht-Physiker überzeugt waren, dass das nicht zu beantworten ist
828 und heutzutage kann man darüber etwas sagen. Deshalb glaube ich, dass die Physiker
829 auch davon überzeugt sind.«
830 **I:** »Glaubst du, dass es einen Unterschied zwischen Forschern und Physiklehrern gibt in
831 dieser Hinsicht?«
832 **S6:** »Ob die jetzt glauben alles erklären zu können?«
833 **I:** »Ja genau.«
834 **S6:** »Ja ich würde sagen Forscher sind da zuversichtlicher, weil sie sich damit befassen
835 und Physiklehrer teilweise.«
836 **I:** »Glaubst du denn, um das noch einmal zu unterteilen, dass es da einen Unterschied
837 zwischen Naturwissenschaftlern und Physikern gibt, also anderen Naturwissenschaftlern,
838 zum Beispiel Biologen, und Physikern?«
839 **S6:** »Das weiß ich nicht genau.«
840 **I:** »Okay, ich fasse nochmal zusammen. Du denkst im Prinzip schon, dass Physiker oder
841 Naturwissenschaftler vielleicht eher glauben, dass man viele, oder vielleicht irgendwann
842 sogar alle Fragen, naturwissenschaftlich beantworten kann, zumindest von der Tendenz
843 her. Vielleicht auch aus dem Grunde, weil in den vergangenen Jahrzehnten immer mehr
844 Fragen, von denen man früher geglaubt hat, das kann man naturwissenschaftlich gar
845 nicht untersuchen, jetzt untersucht werden oder für die man Antworten gefunden hat.
846 Okay, dann sind wir durch, vielen Dank für die Antworten!«

847 Interview 7

- 848 **I:** »Starten möchte ich damit, dass du einmal schilderst, was du mit dem Begriff Physik
849 verbindest, ganz allgemein, lass deinen Gedanken freien Lauf.«
850 **S7:** »Nicht so viel, ich bin nicht so gut in Physik, aber in der Oberstufe gibt es jetzt schon
851 Themen, die interessanter sind.«
852 **I:** »Fallen dir irgendwelche Begriffe ein, die du mit Physik verbinden würdest?«
853 **S7:** »Nur die, die wir im Unterricht haben.«
854 **I:** »Irgendwelche Personen?«
855 **S7:** »Keine Ahnung.«
856 **I:** »Irgendwelche Physiker oder Physiklehrer?«

A.5. Materialien zu den Interviews zum Zusammenhang zwischen Fachinteresse und Szientismus

- 857 **S7:** »Newton. Einstein, war der auch Physiker?«
858 **I:** »Ja, der war auch Physiker.«
859 **S7:** »Sonst keine anderen.«
860 **I:** »Ist dir außerhalb des Physikunterrichts Physik schon einmal über den Weg gelaufen?«
861 **S7:** »Nicht bewusst.«
862 **I:** »Gibt es besondere Ereignisse, die dir in Erinnerung geblieben sind, aus dem Physikun-
863 terricht oder so?«
864 **S7:** »Nein.«
865 **I:** »Nach jedem Abschnitt fasse ich deine Antworten kurz zusammen und du sagst mir
866 dann, ob ich das im Wesentlichen richtig wiedergegeben habe.«
867 **S7:** »Okay.«
868 **I:** »Du verbindest mit dem Begriff Physik nicht so viel, außer ein bisschen den Physikun-
869 terricht, aber es fallen dir jetzt keine besonderen Begriffe ein oder Ereignisse, die haften
870 geblieben sind. Bei Personen fallen dir Forscher ein, Newton oder Einstein, zwei Physiker.
871 Ansonsten ist nicht so viel haften geblieben. Trifft es das so ungefähr?«
872 **S7:** »Ja.«
873 **I:** »Nächster Abschnitt wäre zu Physikern und Physikerinnen. Kannst du mir erzählen,
874 wie du dir einen typischen Physiker oder eine Physikerin vorstellst?«
875 **S7:** »Es gibt ja unterschiedliche. Bestimmt gibt es welche, die schon äußerlich auffallen, wo
876 man das denken könnte, aber eigentlich gibt es bestimmt alles. Die sind ja nicht irgendwie
877 anders.«
878 **I:** »Du glaubst also, dass Physiker äußerlich manchmal auffälliger sind?«
879 **S7:** »Ich denke es gibt überall ein paar Leute, die äußerlich ein bisschen anders sind,
880 sodass man sie dem zuordnet.«
881 **I:** »Glaubst du, dass sie in ihrer Persönlichkeit irgendwie anders sind als andere, „normale“
882 Menschen?«
883 **S7:** »Ich glaube nicht. Also es gibt bestimmt welche, die sich normal dafür interessieren
884 und welche, die sich stärker dafür interessieren.«
885 **I:** »Glaubst du, dass die Art, wie sie die Welt sehen, sich unterscheidet von der von
886 Nicht-Physikern?«
887 **S7:** »Vielleicht, da sie ein bisschen mehr Ahnung haben als andere von einzelnen Sachen,
888 aber allgemein – vielleicht ein bisschen.«
889 **I:** »Glaubst du, dass sie über Religion anders denken als Nicht-Physiker?«
890 **S7:** »Ich glaube nicht, das hat ja nicht so viel damit zu tun.«
891 **I:** »Könntest du dir selbst vorstellen, Physikerin zu werden?«
892 **S7:** »Auf gar keinen Fall.«
893 **I:** »Aus welchen Gründen nicht?«
894 **S7:** »Ich bin in Mathe schlecht und in Physik und damit würde das sowieso nicht gehen.
895 Teilweise würde es mich schon interessieren, aber es ginge ja sowieso nicht wegen Mathe
896 und Physik.«
897 **I:** »Okay, ich fasse einmal wieder zusammen. Du kannst dir nicht vorstellen, Physikerin
898 zu werden, weil du fachlich nicht so gut bist, obwohl dich die ein oder andere Frage schon
899 interessieren würde. Ansonsten schätzt du Physiker nicht so verschieden ein von anderen
900 Menschen, vielleicht sind sie manchmal hinsichtlich ihres Äußeren verschieden, aber in
901 ihrem Weltbild oder ihrer Haltung zur Religion eigentlich ähnlich zu Nicht-Physikern.«
902 **I:** »Gut. Der nächster Abschnitt wäre zu deinem Interesse an Physik. Wie würdest du das
903 beschreiben, interessierst du die viel für Physik / wenig für Physik?«
904 **S7:** »Eher wenig, aber mehr als für Chemie.«

- 905 **I:** »Kannst du mir Gründe nennen, warum du dich wenig für Physik interessierst?«
906 **S7:** »Man hinterfragt da Sachen, die eigentlich selbstverständlich erscheinen.«
907 **I:** »Kannst du einmal ein Beispiel nennen?«
908 **S7:** »So etwas mit Schallwellen, das würde man sonst nicht hinterfragen. Oder auch mit
909 Licht, was man da schon alles gemacht hat.«
910 **I:** »Das heißt für dich ist es nicht interessant, das zu hinterfragen?«
911 **S7:** »Ja, nicht alles jedenfalls.«
912 **I:** »Verstehe ich das richtig, dass du sagst „okay, das ist eben so, die Schallwellen brechen
913 irgendwie aus, aber mich interessiert es nicht so genau, wie das passiert“?«
914 **S7:** »Manche Sachen schon, aber im Allgemeinen nicht so.«
915 **I:** »Kannst du sagen, was dich vielleicht interessieren würde?«
916 **S7:** »Ich glaube nicht.«
917 **I:** »Du hast ja gerade gesagt, manches vielleicht schon.«
918 **S7:** »Manches ist spannender und manches nicht so. Das mit den Schallwellen ist schon
919 interessant.«
920 **I:** »Fallen dir Themen ein, die dich gar nicht interessieren und welche, die dich ein bisschen
921 mehr interessieren?«
922 **S7:** »Ich weiß nicht ob das ein Thema ist, das mit den Ionen. Ich mag Sachen, in die man
923 sich hineindenken kann und die man sich vorstellen kann.«
924 **I:** »Das mit den Ionen hat dich jetzt mehr interessiert oder weniger?«
925 **S7:** »Weniger.«
926 **I:** »Weil es sehr abstrakt ist und nicht so anschaulich?«
927 **S7:** »Nicht so interessant, also es ist nicht so wichtig.«
928 **I:** »Gab es bestimmte Themen, die dich besonders abgeschreckt haben oder die du beson-
929 ders interessant fandest?«
930 **S7:** »Ich glaube nicht.«
931 **I:** »Wenn ich dich richtig verstanden habe, dann gab es einzelne Themen, die dich besonders
932 interessiert haben?«
933 **S7:** »Nein. In manchen Sachen ist man besser und versteht sie, aber es macht trotzdem
934 nicht mehr Spaß. Ein bisschen mehr, weil man es versteht.«
935 **I:** »Gibt es deiner Ansicht nach etwas, das sich ändern könnte oder müsste, damit Physik
936 für dich interessanter wird?«
937 **S7:** »Ich glaube nicht.«
938 **I:** »Okay, ich fasse das einmal zusammen. Dich interessiert Physik eher nicht so, die ein
939 oder andere Sache vielleicht ein bisschen mehr, zum Beispiel Schallwellen verglichen mit
940 Ionen, aber insgesamt eigentlich nicht und du siehst auch nicht, dass irgendetwas sich
941 ändern könnte, dass Physik für dich interessanter wird. Das was du ein bisschen besser
942 verstehst, macht auch ein bisschen mehr Spaß, aber eigentlich interessiert dich das Thema
943 trotzdem nicht so wirklich. Ist das ungefähr richtig?«
944 **S7:** »Ja.«
945 **I:** »Nächstes Thema wäre das nach den Möglichkeiten und Grenzen der Physik. Würdest
946 du sagen, dass es Fragen gibt, die Physiker oder Naturwissenschaftler nicht beantworten
947 können oder können die im Prinzip alles beantworten?«
948 **S7:** »Es gibt bestimmt Sachen, die sie nicht beantworten können, aber es gibt bestimmt
949 vieles, das sie beantworten können.«
950 **I:** »Würde dir etwas einfallen, von dem du sagst „da glaube ich nicht, dass das physikalisch
951 beantwortbar ist“?«
952 **S7:** »Nein, gerade nicht.«

A.5. Materialien zu den Interviews zum Zusammenhang zwischen Fachinteresse und Szientismus

- 953 **I:** »Ein paar Sachen standen ja auf dem Fragebogen, kann die Physik den Sinn des Lebens
954 herausfinden? Würdest du sagen das stimmt oder stimmt nicht?«
- 955 **S7:** »Ich würde sagen das stimmt nicht. Man hinterfragt ja nicht alles, es geht um ein
956 bisschen mehr.«
- 957 **I:** »Du meinst die Physik hinterfragt nicht alles?«
- 958 **S7:** »Die Physik bestimmt. Aber als Person geht man ja nicht durch das Leben und
959 hinterfragt alles, da geht es ja nicht nur dadrum.«
- 960 **I:** »Also Physik heißt für dich, Sachen zu hinterfragen?«
- 961 **S7:** »Ja, schon.«
- 962 **I:** »Würde im Physikunterricht das einmal diskutiert, welche Fragen physikalisch beant-
963 wortbar sein könnten und welche nicht?«
- 964 **S7:** »Nicht das ich wüsste.«
- 965 **I:** »Ich fasse das wieder zusammen, du glaubst schon, dass es Fragen gibt, die naturwissen-
966 schaftlich nicht beantwortbar sind, weil es einfach Dinge gibt, die man nicht hinterfragt
967 oder hinterfragen kann. Im Physikunterricht wurde diese Thematik aber auch nie behan-
968 delt.«
- 969 **S7:** »Ja.«
- 970 **I:** »Letztes Thema. Was glaubst du, wie denken Physikerinnen und Physiker darüber, zu
971 dieser Frage was Physik kann? Glauben die auch, dass es Fragen gibt, die naturwissen-
972 schaftlich nicht beantwortbar sind oder sind die da optimistischer?«
- 973 **S7:** »Die probieren es bestimmt, aber ich denke schon, dass die wissen, dass man nicht auf
974 alles eine Antwort kriegen kann. Es sind ja nur Menschen.«
- 975 **I:** »Ja genau.«
- 976 **S7:** »Manches dauert bestimmt auch sehr lange, bis man es herausgefunden hat, das
977 kriegen die vielleicht gar nicht mehr mit, falls es dann doch passiert.«
- 978 **I:** »Und bei solchen Fragen die wir eben hatten, nach dem Sinn den Lebens oder warum
979 gibt es überhaupt Menschen? Glaubst du, dass Physiker da glauben, dass man das heraus-
980 kriegen kann?«
- 981 **S7:** »Man kann bestimmt ein paar Ansätze machen, aber dass man da endgültig eine
982 Antwort bekommt, kann ich mir nicht vorstellen.«
- 983 **I:** »Glaubst du, das es da noch einmal einen Unterschied gibt zwischen Naturwissenschaft-
984 lern, wie Biologen, und Physikern in der Denkweise über die Grenzen?«
- 985 **S7:** »Vielleicht kleine Unterschiede. Die Physiker gehen vielleicht noch ein bisschen tiefer
986 und die Biologen sind eher auf andere Sachen eingerichtet.«
- 987 **I:** »Was heißt auf anderes eingerichtet?«
- 988 **S7:** »Vielleicht das mit der Schallgeschwindigkeit, das ist ja für Biologen – ich weiß es
989 nicht.«
- 990 **I:** »Glaubst du, dass es einen Unterschied zwischen Forschern und Lehrern gbt, was sie
991 glauben, was man alles beantworten kann?«
- 992 **S7:** »Wie zwischen Forschern und Lehrern?«
- 993 **I:** »Jemandem, der als Forscher arbeitet an der Universität oder einem Physiklehrer.
994 Glaubst du, dass es da einen Unterschied gibt, was die glauben, was alles beantwortbar
995 ist?«
- 996 **S7:** »Ich glaube nicht.«
- 997 **I:** »Okay, ich fasse wieder zusammen. Du denkst, dass Physiker im Prinzip auch glauben,
998 dass manche Fragen im Prinzip nicht oder nur schwer beantwortbar sind. Vielleicht
999 glauben sie etwas mehr als andere, dass das möglich ist. Bei manchen Dingen kann man
1000 das nicht so ohne Weiteres jetzt schon sagen, das mag auch eine Frage der Entwicklung

1001 sein. Du siehst einen leichten Unterschied zwischen Physikern und zum Beispiel Biologen,
1002 dass Physiker da eher glauben, dass die Sachen beantwortbar sind. Stimmt das so? Ich
1003 war mir nicht sicher, ob ich diesen Teil richtig verstanden habe.«

1004 **S7:** »Ja.«

1005 **I:** »Okay und zwischen Forschern und Physiklehrern siehst du keinen Unterschied.«

1006 **S7:** »Ja.«

1007 **I:** »Dann haben wir es geschafft. Vielen Dank für die Antworten.«

1008 **S7:** »Kein Problem.«

1009 Interview 8

1010 **I:** »Bei dem Interview geht es um ähnliche Dinge, wie auch schon auf dem Fragebogen
1011 draufstanden. Die erste Frage wäre, was du mit dem Begriff Physik verbindest. Schildere
1012 doch einmal, was dir dazu einfällt.«

1013 **S8:** »Bei Physik denke ich immer an Verbindungen aus der Natur, die sich gerade in
1014 technischen Sachen widerspiegeln. Ich weiß nicht wo überall Physik drin ist, ich denke
1015 mal in ziemlich vielen Sachen, aber im Großen und Ganzen verbinde ich das mit Technik
1016 oder auch mit fortschrittlicher Technik.«

1017 **I:** »Kommen dir bestimmte Begriffe in den Sinn, die du mit Physik verbinden würdest?«

1018 **S8:** »Die Mikrowelle, das ist für mich das typisch Physikalische. Ich weiß nicht warum,
1019 aber das ist so.«

1020 **I:** »Gibt es bestimmte Ereignisse, die dir besonders in Erinnerung geblieben sind? Aus
1021 dem Unterricht?«

1022 **S8:** »Am besten sind immer die Versuche. Da erlebt man am meisten, man erlebt das
1023 richtig mit, die Physik. Die Theorie ist manchmal ein bisschen schleppend, aber im Großen
1024 und Ganzen auch nicht schlecht.«

1025 **I:** »Gibt es bestimmte Personen, die du mit Physik verbinden würdest?«

1026 **S8:** »Berühmte Physiker, vielleicht Albert Einstein.«

1027 **I:** »Ich fasse das einmal kurz zusammen, nach jedem kürzeren Abschnitt mache ich eine
1028 Zusammenfassung mit meinen eigenen Worten und du sagst mir dann, ob das passt.«

1029 **S8:** »Okay.«

1030 **I:** »Du verbindest Physik vor allen Dingen mit Technik, mit fortschrittlicher Technik. Der
1031 Begriff Mikrowelle ist für dich ein bisschen ein Synonym für Physik. An Ereignissen sind
1032 dir besonders Experimente in Erinnerung, die Theorie auch ein bisschen, aber Experimente
1033 offenbar mehr und bei Personen fallen dir nicht so viele ein, aber vielleicht Albert Einstein
1034 als Physiker. Passt das so ungefähr?«

1035 **S8:** »Absolut.«

1036 **I:** »Die nächste Frage wäre jetzt zu deiner Vorstellung von Physikern und Physikerinnen.
1037 Wie würdest du einen typischen Physiker beschreiben?«

1038 **S8:** »Ich habe ja eben schon Albert Einstein gesagt, ein bisschen so, dass sie sehr viel
1039 drinnen sind und viel experimentieren.«

1040 **I:** »Sie sind also viel im Inneren von Häusern?«

1041 **S8:** »Ja, so würde ich das schon sagen. Sie sind auf jeden Fall öfter drinnen als draußen.
1042 Ansonsten, dass sie manchmal schlauer daher reden, wenn man das so sagen kann. Das
1043 ist das, was ich mit Physikern verbinden würde.«

1044 **I:** »Denkst du, dass sie sich von ihrer Persönlichkeit her unterscheiden von Nicht-Physikern?«

1045 **S8:** »Ich glaube, dafür habe ich zu wenig Physiker bis jetzt getroffen, aber die Lehrer, die
1046 wir hatten, würde ich nicht sagen, nein, absolut nicht.«

1047 **I:** »Würdest du glauben, dass sie die Welt irgendwie anders sehen als Nicht-Physiker?«

A.5. Materialien zu den Interviews zum Zusammenhang zwischen Fachinteresse und Szientismus

1048 **S8:** »Schon, vor allem weil sie auch wissen, was dahinter steckt. Gerade jetzt in unserer
1049 modernen Welt, was alles an Technik hinter einzelnen Sachen steht. Da denke ich schon,
1050 dass sie das ein bisschen genauer alles erfassen können. Trotzdem würde ich sagen gehen
1051 sie durch die Welt wie jeder andere auch.«

1052 **I:** »Und hinsichtlich ihrer Position zur Religion? Glaubst du, dass es da Unterschiede
1053 gibt?«

1054 **S8:** »Ich würde sie eher ablehnend halten, zumindest hat man das Gefühl, bei dem was
1055 einem durch die Medien suggeriert wird, dass das eine recht ablehnende Haltung ist. Ob
1056 das im Einzelfall wirklich immer übereinstimmt, weiß ich nicht genau, würde ich nicht
1057 unbedingt sagen.«

1058 **I:** »Könntest du dir selbst vorstellen, Physiker zu werden?«

1059 **S8:** »Persönlich jetzt nicht, allerdings etwas, das ein bisschen was mit Physik zu tun hat
1060 schon. Also nicht direkt Physik, aber ich wollte wohl Wirtschaftsingenieur werden und da
1061 hat die Physik durchaus eine Berechtigung drin.«

1062 **I:** »Kannst du eine Begründung nennen, warum du jetzt nicht direkt Physiker werden
1063 wolltest?«

1064 **S8:** »Mit Physik verbinde ich immer recht viele Formeln, recht viel Lernen und dieses
1065 vernetzen, dass das man alles was man direkt sieht in einem Versuch, was man sehr
1066 schnell erfassen muss, dann auch schriftlich wiedergeben muss und dementsprechend
1067 auch richtig und genau. Da hätte ich meine Probleme mit.«

1068 **I:** »Also du würdest es für sehr schwierig halten?«

1069 **S8:** »Ja genau, eher ein bisschen schwieriger einordnen.«

1070 **I:** »Okay, ich versuche einmal wieder zusammenzufassen. Du denkst von ihrer Persönlich-
1071 keit her sind Physiker nicht so verschieden vom Rest, vielleicht halten sie sich ein bisschen
1072 mehr drinnen auf als draußen aufgrund ihrer Tätigkeit. Sie betrachten die Welt nicht
1073 grundsätzlich verschieden von anderen Leuten, aber manchmal etwas genauer, weil sie bei
1074 technischen Dingen mehr Hintergrundwissen haben. In ihrer Position zur Religion bist du
1075 dir nicht ganz sicher, aber unter Umständen eher etwas ablehnender als Nicht-Physiker,
1076 zumindest ist das der Eindruck, der vermittelt wird. Du selbst möchtest nicht Physiker
1077 werden, weil es sehr schwierig ist und viel mit Mathematik zu tun hat.«

1078 **S8:** »Nein Mathematik eher nicht, eher mit diesem Erfassen.«

1079 **I:** »Achso, mit dem Erfassen, genau, weil es viel mit dem Erfassen von verschiedenen
1080 Querverbindungen zu tun hat. Okay, das passt so ungefähr?«

1081 **S8:** »Ja, das würde ich so sagen.«

1082 **I:** »Genau, jetzt geht es um dein Interesse an Physik. Wie würdest du das beschreiben,
1083 eher hoch, eher niedrig?«

1084 **S8:** »Schon im höheren Bereich, jetzt nicht dass ich unbedingt Physiker werden wollen
1085 würde, aber es interessiert mich schon, gerade wie die Sachen auch zusammenhängen. Ich
1086 habe auch gerne Physikunterricht in dem Zusammenhang, das ist interessant.«

1087 **I:** »Gibt es Sachen, die dich besonders interessieren?«

1088 **S8:** »Ja, gerade Sachen aus dem alltäglichen Leben, also wie zum Beispiel etwas funktio-
1089 niert, das man täglich nutzt. Zum Beispiel die Übertragung von der Fernbedienung auf
1090 den Fernseher, so etwas zum Beispiel. Das finde ich schon interessant und man kann es
1091 auch ab und an einmal anbringen, das ist nicht schlecht.«

1092 **I:** »Gibt es Dinge von denen du sagt „das interessiert mich eher nicht so“?«

1093 **S8:** »Da müsste ich jetzt überlegen, aber ein paar Sachen sicherlich nicht. Zum Beispiel
1094 die Optik finde ich als Teilbereich nicht wirklich ansprechend. Zumindest nicht für mich
1095 selber.«

- 1096 **I:** »Kannst du das ein bisschen konkreter sagen, hast du da etwas im Kopf?«
1097 **S8:** »Ja, ich habe noch die Versuche im Kopf, die waren immer ein bisschen tricky. Da
1098 musste man immer ein bisschen überlegen, bis man den Kasus Knaxus sozusagen gefun-
1099 den hatte, es war viel Denkleistung. Da musste man im Kopf immer unheimlich aufpassen,
1100 man musste sich das Ganze vorstellen, was der Lehrer gerade meinte und dadurch war es
1101 schon schwieriger als andere Teilbereiche der Physik.«
1102 **I:** »Also das hat dann auch ein bisschen das Interesse verringert?«
1103 **S8:** »Vermindert, ja, denke ich schon.«
1104 **I:** »Fallen dir bestimmte Dinge oder Erlebnisse ein, die das Interesse an Physik besonders
1105 geweckt hätten?«
1106 **S8:** »Ad hoc fällt mir jetzt nichts ein.«
1107 **I:** »Gibt es Dinge, die sich in Physik ändern müssten, damit es noch interessanter würde?«
1108 **S8:** »Ich bin ja immer für mehr Versuche, das finde ich persönlich eine gute Sache. Gerade
1109 auch um neue Themen den Schülern näher zu bringen und um das noch einmal zu
1110 veranschaulichen. Rechenleistung kann man nicht abstellen, ist ja klar, aber das man die
1111 vielleicht noch mehr ergänzt durch praktische Einlagen, das wäre eine gute Maßnahme.«
1112 **I:** »Ich fasse noch einmal zusammen. Du glaubst, dass viele Versuche das Interesse an
1113 Physik noch ein bisschen verbessern könnten und es noch anschaulicher würde dadurch.
1114 Bei Themen interessieren dich vor allem technische Dinge, wo man technische Einrichtun-
1115 gen oder technische Gegenstände irgendwie verstehen kann. Ein bisschen abschreckend
1116 war für dich die Optik, weil es sehr schwer zu verstehen war offensichtlich und das hat
1117 ein bisschen das Interesse vermindert. Passt das so oder habe ich etwas vergessen?«
1118 **S8:** »Das ist alles gut so, ja.«
1119 **I:** »Jetzt geht es zu der Frage nach den Grenzen der Naturwissenschaften. Wie ist da deine
1120 Idee, gibt es Fragen, die naturwissenschaftlich nicht beantwortbar sind oder können sie
1121 im Prinzip, wenn man lange genug forscht, alles beantworten?«
1122 **S8:** »Das finde ich persönlich schwierig zu beantworten, aber ich denke schon, dass es sehr
1123 sehr vieles gibt, das man begründen kann mit der Physik, auch was man noch entdecken
1124 kann. Aber ein paar Sachen, gerade was Religion und Naturwissenschaften angeht, ob es
1125 da nicht ein bisschen was gibt, das man nicht entschlüsseln kann? Das kann man so aber
1126 auch nicht sagen.«
1127 **I:** »Okay, da bist du dir nicht so ganz sicher, aber wie ist deine persönliche Auffassung,
1128 gibt es Sachen, die man naturwissenschaftlich nicht beantworten kann?«
1129 **S8:** »Also im Großen und Ganzen würde ich schon sagen, dass es ein paar Sachen geben
1130 könnte, die man eventuell nicht erfassen kann durch die Physik.«
1131 **I:** »Würde dir da eine konkrete Frage einfallen?«
1132 **S8:** »Vielleicht die Frage nach Gott. Ich glaube nicht, wenn man daran glaubt, dass man
1133 da irgendetwas messen könnte. Kann ich mir zumindest nicht vorstellen.«
1134 **I:** »Wurden im Physikunterricht diese Fragen einmal diskutiert?«
1135 **S8:** »Also im Religionsunterricht ja, aber im Physikunterricht bislang noch nicht. Nein,
1136 absolut nicht.«
1137 **I:** »Ich fasse einmal zusammen. Du denkst, dass viele, aber nicht alle Fragen naturwissen-
1138 schaftlich beantwortbar sind. Möglicherweise Fragen nach der Existenz von Gott, dass das
1139 deiner Ansicht nach nicht naturwissenschaftlich beantwortbar ist. Im Physikunterricht
1140 wurde so etwas aber eigentlich nicht diskutiert bislang.«
1141 **S8:** »Ja.«
1142 **I:** »Okay, letzter Abschnitt. Glaubst du, dass Physiker und Physikerinnen genauso denken
1143 oder sind die da vielleicht optimistischer was die Grenzen der Naturwissenschaften

A.5. Materialien zu den Interviews zum Zusammenhang zwischen Fachinteresse und Szientismus

1144 angeht?«

1145 **S8:** »Ich würde sagen, dass die noch einen Tick optimistischer sind, weil sie tagtäglich
1146 damit zu tun haben und wissen, was alles geht und wo die Forschung steht und was man
1147 damit alles erreichen könnte. Aber ich würde sie schon als normal einordnen. Ich glaube
1148 nicht, dass sie sagen „wir können alles Mögliche begründen“, das sehe ich nicht so, dass
1149 das viele Physiker von sich denken oder von ihrer Naturwissenschaft.«

1150 **I:** »Glaubst du, dass es da noch Unterschiede gibt zwischen Physikern und anderen
1151 Naturwissenschaftlern, zum Beispiel Biologen?«

1152 **S8:** »Nein, das kann ich mir so nicht vorstellen. Das sind ja alles normale Menschen und
1153 ich glaube nicht, dass da einer so große Höhenflüge ansetzt oder hat.«

1154 **I:** »Und zwischen Leuten, die in der Forschung arbeiten und zum Beispiel Physiklehrern?«

1155 **S8:** »Da, gerade was Forschung und Lehramt angeht, ist glaube ich schon ein Unterschied.
1156 Gerade Physiker in der Forschung, die mehr mit Versuchen zu tun haben sehen schon eher,
1157 was noch geht und was man aus der Physik noch alles herausholen kann. Von daher denke
1158 ich sind sie auf alle Fälle optimistischer als Lehrer, die keine neuen Sachen entdecken, die
1159 ja eher Altes lehren. Da wird ein Unterschied spürbar sein.«

1160 **I:** »Okay, ich fasse noch einmal zusammen. Du glaubst, dass Physiker prinzipiell nicht
1161 wesentlich eher glauben, dass man alles beantworten kann, aber dass sie vielleicht ein
1162 bisschen optimistischer sind, weil sie mehr Kenntnisse haben oder sich auch sehr stark
1163 mit aktuellen Fragen beschäftigen. Unter den Physikern selbst sind vielleicht die Forscher
1164 noch ein bisschen optimistischer als Physiklehrer, zwischen verschiedenen Naturwis-
1165 senschaftlern bestehen aber keinen großen Unterschiede, also zwischen Biologen und
1166 Physikern. Okay, das wars. Vielen Dank für die Antworten.«

1167 **S8:** »Gerne.«

1168 Interview 9

1169 **I:** »Zum Einstieg lass deinen Gedanken bitte einmal freien Lauf. Was würdest du mit dem
1170 Begriff Physik verbinden?«

1171 **S9:** »Mit Physik verbinde ich irgendwelche mechanischen Sachen, Autos oder wie Flugzeuge
1172 ge funktionieren. So etwas in Richtung Mechanik.«

1173 **I:** »Fallen dir noch bestimmte Begriffe ein, die du mit Physik verbinden würdest?«

1174 **S9:** »Magnetismus noch und was wir alles im Unterricht hatten, Kräfte und Optik.«

1175 **I:** »Wie ist es so mit bestimmten Ereignissen, kannst du dich an verschiedene Dinge
1176 erinnern, die besonders im Gedächtnis haften geblieben sind? Dinge, die sich mit Physik
1177 beschäftigen, das kann aus dem Unterricht sein, kann auch irgendetwas anderes sein.«

1178 **S9:** »Was mir im Kopf geblieben ist, ist das, was wir zuletzt im Physikunterricht gemacht
1179 haben, Autos, dass die Knautschzone und alles sehr wichtig ist. Vorher ist mir noch gar
1180 nicht bewusst gewesen, warum das alles vorhanden ist.«

1181 **I:** »Und bestimmte Menschen, Lehrer zum Beispiel? Hast du jemanden im Gedächtnis, der
1182 irgendwie aufgefallen wäre?«

1183 **S9:** »Bis jetzt hatte ich oft wechselnde Physiklehrer und da konnte man sich gar nicht
1184 an einen richtig gewöhnen, so dass man sagen könnte „der macht wirklich richtig guten
1185 Unterricht, der kann das gut rüberbringen“.«

1186 **I:** »Würdest du mit Physik auch ein bestimmtes Weltbild verbinden, also eine bestimmte
1187 Auffassung?«

1188 **S9:** »Ich würde damit verbinden, dass die Physiker nur das, was sie mit Experimenten
1189 belegen können, was sie messen können, also dass sie nur an das, was sie wirklich beweisen
1190 können, dass sie nur da dran glauben.«

1191 **I:** »Das war schon mal der erste Teil. Ich mache es immer so, das ich kurz versuche
1192 zusammenzufassen, was du gesagt hast, in meinen eigenen Worten und dann kannst du
1193 sagen, ob ich das halbwegs richtig wiedergegeben habe. Was das Weltbild betrifft hast du
1194 gesagt, dass Physiker sich nur mit Dingen beschäftigen, die sie irgendwie beweisen können
1195 oder durch Experimente belegen können und nicht mit anderen Dingen. Im Gedächtnis
1196 sind dir haften geblieben diese fachlichen Dinge, wie Mechanik oder Optik, während
1197 Lehrer keinen besonderen Eindruck hinterlassen haben, vielleicht auch, weil du nicht so
1198 viel Erfahrung damit hast. Ist das halbwegs richtig wiedergegeben?«

1199 **S9:** »Ja.«

1200 **I:** »So, das war der erste Teil. Jetzt im zweiten Teil geht es nicht um Physik als Fach,
1201 sondern insbesondere um diejenigen, die das Betreiben, also Physikerinnen und Physiker.
1202 Wie würdest du dir eine Physikerin oder einen Physiker vorstellen, hast du da irgendein
1203 Bild?«

1204 **S9:** »Ein bisschen allein, so ein Einzelgänger, der da sitzt, vielleicht in seinem Labor, seine
1205 Experimente macht, der dadurch, dass er an die Sachen glaubt, die er bewiesen hat oder
1206 die durch die Physik beweisbar sind, ein bisschen menschenfremd ist. Ich denke, dass er
1207 auf der Ebene des Menschlichen vielleicht nicht so ganz normal ist.«

1208 **I:** »Würdest du sagen, dass Physiker ein bestimmtes Weltbild haben?«

1209 **S9:** »Ich glaube, die sehen die Welt in Daten und Fakten. Vielleicht als Gegenstand, den es
1210 zu untersuchen gilt.«

1211 **I:** »Wie würdest du das einschätzen, wie stehen Physiker wohl zur Religion? Sind sie eher
1212 religiös oder nicht religiös?«

1213 **S9:** »Ich würde eher sagen nicht, weil das mit Gott lässt sich ja alles nicht beweisen. Daher
1214 glaube ich nicht, dass sie besonders großen Wert auf Religion legen.«

1215 **I:** »Abschließende Frage zu diesem Abschnitt. Könntest du dir dich selbst als Physikerin
1216 vorstellen?«

1217 **S9:** »Nein.«

1218 **I:** »Warum nicht?«

1219 **S9:** »Das ist mir zu trocken, da immer nur zu sitzen und Experimente zu machen. Ich
1220 brauche irgendetwas lebendiges, mit Menschen umgehen oder so.«

1221 **I:** »Okay, ich versuche wieder zusammenzufassen. Physiker sind für dich Menschen, die
1222 eher für sich sind, sich mit ihrem Fach beschäftigen und nicht so sozial eingestellt sind und
1223 deswegen in diesem Sinne nicht ganz so normal sind wie viele andere. Sie beschäftigen
1224 sich nur mit den Dingen, die sie wissenschaftlich nachprüfen können und sind eher nicht
1225 so religiös, weil so etwas wie Gott nicht nachprüfbar ist. Weil er nicht nachprüfbar ist,
1226 kann man auch nicht an ihn glauben. Passt das so?«

1227 **S9:** »Gott hat im religiösen Sinne die Welt geschaffen und ich glaube, da denken die
1228 Physiker eher, dass das irgendwie durch den Urknall passiert ist und daher Gott auch
1229 nicht existieren muss.«

1230 **I:** »Noch einmal eine Nachfrage dazu: Glaubst du, dass sich der Glaube an Gott und der
1231 Urknall ausschließen? Also kann man nur an das eine oder an das andere glauben?«

1232 **S9:** »Mit der Erschaffung der Welt ist es klar, da schließt sich das auf jeden Fall aus.
1233 Ich glaube, wenn man an Gott glaubt, dann glaubt man ganz an ihn und nicht nur ein
1234 bisschen, also dann würde sich das schon ausschließen.«

1235 **I:** »Jetzt geht es ein bisschen genauer noch um das Interesse, um dein Interesse an Physik.
1236 Wie würdest du dein Interesse beschreiben? Also hast du Interesse an Physik?«

1237 **S9:** »Ich weiß nicht, es ist nicht so groß wie in anderen Naturwissenschaften, zum Beispiel
1238 Chemie oder Biologie.«

A.5. Materialien zu den Interviews zum Zusammenhang zwischen Fachinteresse und Szientismus

- 1239 **I:** »Kannst du sagen, warum du dich mehr für Chemie oder Biologie interessierst und
1240 weniger für Physik?«
- 1241 **S9:** »Ich interessiere mich am meisten für Chemie zum Beispiel, Physik ist für mich
1242 manchmal ein bisschen widersprüchlich, zum Beispiel das mit den Kräften, das mit den
1243 Wechselwirkungspartnern. Natürlich ist das logisch, aber wenn man nicht so viel Ahnung
1244 davon hat, hat man ja eine total andere Vorstellung davon. Mit den Kräften zum Beispiel,
1245 ich habe jetzt eine Kraft und schiebe damit den Schrank und nicht, dass da noch eine
1246 Kraft vom Schrank auf mich wirkt. In der Chemie sind zwar auch festgeschriebene Regeln,
1247 aber die sind für mich logischer als die aus der Physik.«
- 1248 **I:** »Ah ja, das ist ja interessant. Das heißt also Chemie, das ist ja auch eine Naturwissen-
1249 schaft, findest du schon interessant, aber logischer als Physik oder auch verständlicher.«
- 1250 **S9:** »Das kann natürlich auch sein, weil Physik für mich in Richtung Technik geht und
1251 der Bereich interessiert mich nicht so sehr. Deshalb ist für mich die Physik auch nicht so
1252 interessant.«
- 1253 **I:** »Du sagst ja Chemie interessiert dich besonders, würdest du jetzt sagen irgendetwas
1254 anderes, zum Beispiel Gesellschaftswissenschaften, interessieren dich noch mehr?«
- 1255 **S9:** »Nein, schon Chemie und Mathe. Aber auch sportliche Sachen.«
- 1256 **I:** »Ich habe hier noch einmal ein paar Aspekte aus dem Fragebogen, ich lese sie einfach
1257 noch einmal vor. Du kannst einmal sagen, welche dieser möglichen Gründe, die ich jetzt
1258 gleich vorlese, für dich Wichtigkeit haben. Also werte einmal die möglichen Gründe für
1259 dein Interesse an Physik nach ihrer Wichtigkeit. Du kannst dann immer sagen es ist gar
1260 nicht wichtig, wichtig, oder sehr wichtig. Also, ich interessiere mich nicht oder wenig für
1261 Physik, das hattest du ja so eingeschätzt, weil ich Physik nicht gut kann.«
- 1262 **S9:** »Schriftlich kann ich es nicht, aber im Unterricht, wenn Sachen erklärt wurden, kann
1263 ich das schon kombinieren und dann auch mitarbeiten im Unterricht.«
- 1264 **I:** »...weil Physik für meine berufliche Zukunft nicht wichtig ist.«
- 1265 **S9:** »Das stimmt, ja.«
- 1266 **I:** »Also du möchtest nicht Physikerin werden? Oder das hat nichts mit Physik zu tun, was
1267 du dir vorstellst?«
- 1268 **S9:** »Nein.«
- 1269 **I:** »Okay. ...weil Physik mir wenig hilft, die Welt zu verstehen.«
- 1270 **S9:** »Physik ist ja ein bisschen gegen das, was man sich als normaler Mensch vorstellt.
1271 Deswegen finde ich hilft es vielleicht ein bisschen, aber nicht wirklich.«
- 1272 **I:** »... weil Physik nicht nicht meiner Denkweise entspricht.«
- 1273 **S9:** »Das stimmt wohl eher.«
- 1274 **I:** »Wie würdest du deine Denkweise beschreiben oder was ist da der Unterschied zur
1275 physikalischen Denkweise?«
- 1276 **S9:** »Ich weiß nicht, aber das ist meine Einschätzung. Ich denke immer ganz logisch, mehr
1277 nach der Mathematik würde ich sagen und da ist die Physik für mich manchmal einfach
1278 unklar, ein bisschen komisch.«
- 1279 **I:** »Das ist interessant. ...weil Physik mir keine neuen Erfahrungen verschafft.«
- 1280 **S9:** »Das stimmt nicht wirklich.«
- 1281 **I:** »Es ist also schon so, dass du da Neues erfährst?«
- 1282 **S9:** »Ja.«
- 1283 **I:** »... weil der Physikunterricht mir keinen Spaß macht.«
- 1284 **S9:** »Nicht so wirklich.«
- 1285 **I:** »Also macht dir eher keinen Spaß?«
- 1286 **S9:** »Ja, macht mir keinen Spaß.«

- 1287 **I:** »Aus den Gründen, die du jetzt schon genannt hast?«
1288 **S9:** »Weil es einfach keine Themen sind, die mich wirklich interessieren und deswegen
1289 verliert man auch den Spaß daran.«
1290 **I:** »Könntest du dir vorstellen, dass es andere Themen geben könnte im Physikunterricht,
1291 die dir mehr Spaß machen würden?«
1292 **S9:** »Ich fand zum Beispiel die Optik ganz interessant, aber das war nur ein ganz kleiner
1293 Block bei uns, den wir behandelt haben und die Themen, die im Moment so sind, Kräfte
1294 und so, interessiert mich nicht so ganz.«
1295 **I:** »... weil mir Physiker unsympathisch sind?«
1296 **S9:** »Ich kenne ja nicht wirklich Physiker.«
1297 **I:** »Physiklehrer?«
1298 **S9:** »Eigentlich gehen die, menschlich finde ich die in Ordnung, also die meisten.«
1299 **I:** »Irgendwelche anderen Gründe, die ich nicht aufgezählt habe?«
1300 **S9:** »Nein, da fällt mir so nichts ein.«
1301 **I:** »Okay, eine letzte Frage hierzu. Was müsste sich ändern, damit Physik für dich inter-
1302 essant werden könnte?«
1303 **S9:** »Vielleicht den Unterricht noch alltagsbezogener gestalten, dass im Physikunterricht
1304 Themen vorkommen, die man im Alltag wiederfindet und man vielleicht für sich nutzen
1305 kann.«
1306 **I:** »Ich versuche wieder zusammenzufassen. Wesentliche Gründe, warum Physik dich nicht
1307 interessiert sind, weil die Denkweise der Physik etwas anders ist, als deine eigene. Du
1308 selbst denkst eher mathematisch, während du den Eindruck hast, dass in der Physik nicht
1309 so logisch gedacht wird. Ein weiterer wichtiger Grund ist, dass Themen im Physikunter-
1310 richt behandelt werden, die für dich nicht so interessant sind. Es gäbe aber schon Themen,
1311 die man machen könnte, die dich mehr interessieren würden. Passt das?«
1312 **S9:** »Ja.«
1313 **I:** »So, jetzt soll es ein bisschen genauer über diese Möglichkeiten und Grenzen der
1314 Naturwissenschaften gehen, da haben wir ja schon ein bisschen drüber gesprochen. Wie
1315 würdest du das einschätzen, welche Fragen können Naturwissenschaften beantworten
1316 und welche eher nicht?«
1317 **S9:** »Naturwissenschaften können vielleicht die Fragen beantworten, was gerade so pas-
1318 siert, zum Beispiel warum ein Erdbeben ausgelöst wird oder warum jemand, der mit 80
1319 km/h gegen einen Baum gefahren ist, tot ist. Aber diese menschlichen Werte können die
1320 nicht beantworten, weil das gar nichts mit wissenschaftlichen Experimenten in dem Sinne
1321 zu tun hat.«
1322 **I:** »Gibt es bestimmte Erfahrungen oder Überlegen, die für dich da irgendwie wichtig
1323 waren, zum Beispiel der Physikunterricht? Also in deiner Einschätzung, was Physik kann
1324 oder auch nicht kann. Schwere Frage, vielleicht, dass du im Physikunterricht festgestellt
1325 hast, man kann das und das physikalisch beantworten. Etwas das dich sehr beeindruckt
1326 hat?«
1327 **S9:** »Etwas, das mich physikalisch sehr beeindruckt hat habe ich im Maße des Physikun-
1328 terrichts noch nicht mitbekommen.«
1329 **I:** »Auf dem Zettel gab es auch Fragen, wie man einschätzt, was die Naturwissenschaften
1330 beantworten können. Du hast zum Beispiel hier angekreuzt, dass du davon ausgehst, dass
1331 Naturwissenschaften den Sinn des Lebens eher nicht herausfinden können. Kannst du
1332 einmal versuchen das zu begründen, warum du glaubst, dass das nicht möglich ist?«
1333 **S9:** »Den Sinn des Lebens jetzt genau?«
1334 **I:** »Ja. 'Naturwissenschaftler können den Sinn des Lebens herausfinden', da hast du gesagt,

A.5. Materialien zu den Interviews zum Zusammenhang zwischen Fachinteresse und Szientismus

- 1335 trifft eher nicht zu, deiner eigenen Ansicht nach.«
- 1336 **S9:** »Weil der Sinn des Lebens liegt für mich nicht darin, irgendetwas zu beweisen. Der
1337 Sinn des Lebens ist für mich eher auf der zwischenmenschlichen Ebene.«
- 1338 **I:** »Das heißt, du würdest sagen, mit dem Zwischenmenschlichen beschäftigt sich die
1339 Physik nicht so.«
- 1340 **S9:** »Nein, nicht so.«
- 1341 **I:** »Aber wäre es denn prinzipiell möglich diese zwischenmenschliche Ebene naturwis-
1342 senschaftlich zu untersuchen? So etwas gibt es ja auch, also könnte man dann trotzdem
1343 irgendwie den Sinn herausfinden naturwissenschaftlich?«
- 1344 **S9:** »Ich weiß nicht. Der Sinn des Lebens wird ja schon seit es Menschen gibt gesucht
1345 und ich meine da hat es auch keine Naturwissenschaft bis jetzt geschafft, irgendeinen
1346 Sinn dahinter zu sehen und ich denke der Sinn des Lebens ist von Person zu Person
1347 auch immer etwas anderes. Jeder sieht das ein bisschen anders. Manche sagen, die eher
1348 wissenschaftlich eingestellt sind, „den Sinn des Lebens können wir herausfinden durch
1349 die Naturwissenschaft“ oder „es ist für mich schon bewiesen“ durch irgendwelche Sachen
1350 und andere sagen „der Sinn des Lebens bleibt mir für immer fremd und das kann auch
1351 durch keine naturwissenschaftlichen Experimente herausgefunden werden“. Ich zähle
1352 eher zu den Letzteren.«
- 1353 **I:** »Okay, ich versuche einmal zusammenzufassen. Du würdest sagen, dass sich die Mög-
1354 lichkeiten der Naturwissenschaften darauf beschränken, was sie mit ihren Methoden und
1355 Experimenten irgendwie überprüfen können und andere Dinge, wie zum Beispiel den Sinn
1356 des Lebens oder überhaupt zwischenmenschliche Dinge sind naturwissenschaftlich nicht
1357 untersuchbar.«
- 1358 **S9:** »Im physikalischen Sinne sind die nicht untersuchbar. Ich weiß jetzt nicht genau, ob
1359 das mit der Gehirnforschung auch zur Physik gehört.«
- 1360 **I:** »Nehmen wir einmal allgemein Naturwissenschaften.«
- 1361 **S9:** »Man kann ja irgendwelche Gehirnströme messen, aber wie Leute miteinander umge-
1362 hen – klar, da gibt es ganz viele Experimente und Tabellen, aber ich finde, das erfasst das
1363 nicht wirklich, was da so gemeint ist.«
- 1364 **I:** »So, wir haben es gleich geschafft. Jetzt geht es darum zu überlegen oder einzuschätzen,
1365 wie man glaubt, dass Physikerinnen und Physiker denken. Das war auch schon auf dem
1366 Fragebogen gefragt, also wie die die Möglichkeiten und Grenzen von Naturwissenschaft
1367 einschätzen. Wie würdest du das beurteilen?«
- 1368 **S9:** »Ich glaube die Leute, die Physiker sind, sind ziemlich überzeugt von dem, was sie
1369 da machen. Daher glaube ich, dass sie das so einschätzen, weil die ja auch die ganzen
1370 Möglichkeiten kennen, die hinter der Physik stecken, da weiß ich nicht ganz so viel
1371 Bescheid, dass sie sich schon alles dadurch erklären können.«
- 1372 **I:** »Also ist das auch ein Grund, warum du glaubst, dass Physiker zum Beispiel eher der
1373 Ansicht sind, dass sie den Sinn des Lebens herausfinden können.«
- 1374 **S9:** »Ja, weil sie wissen, was man alles mit der Physik machen kann.«
- 1375 **I:** »Es könnte ja auch sein, dass sie, weil sie das wissen, auch sagen „so etwas können wir
1376 gar nicht herausfinden, weil das mit unseren Methoden gar nicht möglich wäre“. Das wäre
1377 ja auch eine Möglichkeit, oder?«
- 1378 **S9:** »Ja das kann sein. Sie können sich da schon ziemlich viel erklären glaube ich, durch
1379 die ganzen Sachen, die sie herausfinden. Vor allem mit der Hilfe von anderen Naturwis-
1380 senschaften noch dazu können sie glaube ich ziemlich weit herausfinden, wo der Sinn
1381 liegt.«
- 1382 **I:** »Hast du den Eindruck, wenn man Physiker wird (du hast wahrscheinlich noch nicht so

1383 viel mit Physikern gesprochen, aber vielleicht aus dem Fernsehen), dass die irgendwie den
1384 Eindruck haben, dass sie eher überzeugt sind, dass sie fast alles herauskriegen können?
1385 Also dass sie mehr davon überzeugt sind als du zum Beispiel?«

1386 **S9:** »Ja, das glaube ich auf jeden Fall.«

1387 **I:** »Würdest du da noch Unterschiede zwischen einem Forscher und einem Physiklehrer
1388 sehen?«

1389 **S9:** »Ja, auf jeden Fall. Ich glaube ein Forscher ist da noch anders eingestellt als ein
1390 Physiklehrer, er ist vielleicht von kleinen Dingen schon begeistert und will die weiter
1391 vermitteln und ein Forscher forscht, vielleicht sogar auf so einem Gebiet, nach dem Sinn
1392 des Lebens, ob man da physikalisch irgendetwas erreichen kann.«

1393 **I:** »Und gibt es einen Unterschied zwischen Physikern und anderen Naturwissenschaft-
1394 lern?«

1395 **S9:** »Ich weiß nicht, ich glaube im Endeffekt sind sie sich alle relativ gleich. Sie forschen
1396 auf verschiedenen Gebieten, aber am Ende ist das schon ziemlich ähnlich.«

1397 **I:** »Jetzt die letzte Frage. Du hast ja gesagt, um das noch einmal zusammenzufassen, dass
1398 die Ansichten der Physiker zu diesen Fragen, ihr Weltbild sozusagen, ein bisschen anders
1399 ist als deins. Also dass die eher glauben, dass sie die meisten Fragen beantworten können,
1400 während du glaubst, dass man manche Dinge naturwissenschaftlich nicht beantworten
1401 kann. Würdest du sagen, dass das auch ein Grund dafür ist, dass du dich sozusagen
1402 weniger für Physik interessierst, also weil die dir sozusagen fremder sind?«

1403 **S9:** »Das würde ich schon in etwa so sagen. Es ist alles ein bisschen anders, als ich mir
1404 das vorstellen.«

1405 **I:** »Okay, ich versuche noch einmal das, was du vorher gesagt hast, zu wiederholen. Du
1406 denkst also, dass Physiker, weil sie sich genauer auskennen mit ihren Methoden und weil
1407 sie sich damit beschäftigen, eher glauben, dass sie alles, oder das meiste, herauskriegen
1408 können, während du da skeptischer bist.«

1409 **S9:** »Das würde ich schon so sagen.«

1410 **I:** »Vielleicht auch, weil du nicht so viel weist darüber.«

1411 **S9:** »Genau, weil ich einfach nicht die Möglichkeiten weiß, die die Physiker nachher
1412 wissen, was man alles herausfinden kann. Es kann ja auch sein, dass ich jetzt total falsch
1413 liege, dass die Physiker wissen, wo ihre Methoden liegen und dass sie das auf keinen Fall
1414 herausfinden können, dass sie es auch selber wissen, aber das weiß ich nicht so.«

1415 **I:** »Vielen Dank, das wars schon. Das war ein sehr schönes Interview, also sehr interessant
1416 für uns. Damit sind wir sozusagen durch, ich bedanke mich noch einmal herzlich.«

1417 Interview 10

1418 **I:** »Ich habe ja schon ein bisschen gesagt worum es geht, es geht also mehr um eure
1419 Einschätzung und weniger um eine Abfrage von Wissen, das ist wichtig vielleicht für die
1420 Antworten. Erste Frage: Was verbindest du mit dem Begriff Physik? Was fällt die da als
1421 wichtigstes ein?«

1422 **S10:** »Erstmal Wissenschaft, Mechanik, ich bin auch über Astronomie da dran gekommen.«

1423 **I:** »Also bestimmte Themen?«

1424 **S10:** »Ja.«

1425 **I:** »Okay. Auch ein bestimmtes Weltbild? Also wenn du einmal allgemeiner betrachtest.«

1426 **S10:** »Eher das naturwissenschaftliche, nicht glauben, sondern wissen.«

1427 **I:** »Sind dir besondere Ereignisse oder Menschen in Erinnerung, die du mit Physik verbin-
1428 dest? Jemand der dich besonders beeindruckt hat oder ein Erlebnis?«

1429 **S10:** »Einstein, Newton.«

A.5. Materialien zu den Interviews zum Zusammenhang zwischen Fachinteresse und Szientismus

- 1430 **I:** »Hat der Physikunterricht auch irgendwelche beeindruckenden Erlebnisse hinterlas-
1431 sen?«
- 1432 **S10:** »Wir hatten damals einen Lehrer hier an der Schule, Herrn H., der gerne eindrucks-
1433 volle Experimente gemacht hat.«
- 1434 **I:** »Also Experimente. Ich beeile mich jetzt ein bisschen und komme schon einmal zum
1435 nächsten Thema. Welche Vorstellung hast du von einem Physiker?«
- 1436 **S10:** »Das sind doch ganz normale Leute.«
- 1437 **I:** »In der Persönlichkeit gibt es deiner Ansicht nach keine Unterschiede zwischen Physi-
1438 kern und anderen?«
- 1439 **S10:** »Mir fällt spontan keiner ein, was ich damit verbinden würde.«
- 1440 **I:** »Und hinsichtlich ihres Weltbildes, also wie sie auf die Welt blicken?«
- 1441 **S10:** »Ich denke, dass da Kirche und Gott keine große Rolle spielt, sondern eher dieses
1442 naturwissenschaftliche Weltbild.«
- 1443 **I:** »Kannst du ein bisschen genauer sagen, was du unter naturwissenschaftlichem Weltbild
1444 verstehst?«
- 1445 **S10:** »Dass man der Meinung ist, dass Sachen wie Gott nicht wirklich existieren und dass
1446 die Naturwissenschaft die Möglichkeit hat, die Welt so zu beschreiben, wie sie ist und man
1447 dafür keinen Gott braucht.«
- 1448 **I:** »Wie würdest du die naturwissenschaftliche Sicht beschreiben?«
- 1449 **S10:** »Dass man versucht objektiv Sachen zu beschreiben, auch neue Dinge zu finden und
1450 dass man versucht, alles in einen Rahmen zu bekommen.«
- 1451 **I:** »Würdest du sagen, dass es Dinge gibt, die naturwissenschaftlich nicht untersuchbar
1452 sind oder lässt sich alles naturwissenschaftlich ermitteln und ist überprüfbar?«
- 1453 **S10:** »Ich vermute schon. Es kann natürlich sein, dass die im Moment noch nicht be-
1454 schreibbar sind, aber ich denke, theoretisch sollten sie beschreibbar sein.«
- 1455 **I:** »Auch so etwas wie der Sinn des Lebens?«
- 1456 **S10:** »Da ist die Frage, ob man daran glaubt, ob es so etwas überhaupt gibt.«
- 1457 **I:** »Wie würdest du deine eigene Position beschreiben, gibt es so etwas?«
- 1458 **S10:** »Ich glaube eher, dass es so etwas nicht gibt.«
- 1459 **I:** »Könntest du dir selbst vorstellen, Physiker zu werden?«
- 1460 **S10:** »Ja doch, in die Richtung geht es.«
- 1461 **I:** »Wie würdest du dein Interesse an Physik beschreiben?«
- 1462 **S10:** »Ich bin sehr interessiert daran, auch in meiner Freizeit.«
- 1463 **I:** »Aus welchen Gründen?«
- 1464 **S10:** »Es interessiert mich einfach, vor allen Dingen das, was in Richtung Astronomie und
1465 Astrophysik geht.«
- 1466 **I:** »Also das ist ein Schwerpunkt des Interesses?«
- 1467 **S10:** »Ja.«
- 1468 **I:** »Wie ist das zustande gekommen, gab es da irgendwelche Erlebnisse?«
- 1469 **S10:** »Wir haben hier diesen MINT-Zweig und da haben wir in der siebten Klasse im Fach
1470 MINT Astronomie gemacht und darüber bin ich dazu gekommen.«
- 1471 **I:** »Da hat also schon der Physikunterricht eine Rolle gespielt?«
- 1472 **S10:** »Das war ja nicht speziell der Physikunterricht.«
- 1473 **I:** »Genau, der MINT-Zweig, der Unterricht in Astronomie und Astrophysik.«
- 1474 **S10:** »Ja.«
- 1475 **I:** »Das würdest du sagen ist schon ein wesentlicher Anstoß gewesen?«
- 1476 **S10:** »Ja, auf jeden Fall, sonst wäre ich da überhaupt nicht darauf gekommen.«
- 1477 **I:** »Dann möchte ich noch einmal kurz zu diesen Möglichkeiten und Grenzen kommen.

- 1478 Was würdest du sagen, was kann Naturwissenschaft alles beantworten, was nicht?«
1479 **S10:** »Ich denke theoretisch ist es möglich, alles zu beantworten. Die Frage ist, ob das im
1480 Rahmen ist.«
1481 **I:** »Was heißt im Rahmen ist?«
1482 **S10:** »Problemlösung erfordert ziemlich viel Arbeit und es ist die Frage, ob es sich lohnt,
1483 diesen Aufwand zu betreiben.«
1484 **I:** »Also ist es mehr eine Art praktische Frage?«
1485 **S10:** »Genau.«
1486 **I:** »Zu diesem Sinn des Lebens. Da hast du gesagt das kann man nicht naturwissenschaftlich
1487 beantworten, aber dann gibt es den auch gar nicht.«
1488 **S10:** »Ja.«
1489 **I:** »Also würdest du sagen, alles was nicht naturwissenschaftlich untersuchbar ist, das
1490 existiert im Grunde auch gar nicht?«
1491 **S10:** »Wir können im Moment noch nicht alles beschreiben und bestimmt gibt es Sachen,
1492 die wir im Moment noch nicht beschreiben können, die aber trotzdem existieren. Aber
1493 grundsätzlich denke ich, dass es theoretisch nichts geben sollte, was man nicht beschreiben
1494 kann.«
1495 **I:** »Ist diese Tatsache, dass du glaubst, dass man letztendlich alles untersuchen kann,
1496 vielleicht auch ein Grund dafür, dass du dich für Physik interessierst? Es ist ja eine feine
1497 Sache, wenn man alles untersuchen kann.«
1498 **S10:** »Das kann schon sein, es ist zum größten Teil auch einfach Neugierde, dass man
1499 wissen möchte, wie das funktioniert.«
1500 **I:** »Also ein Forscherinteresse letztendlich auch.«
1501 **S10:** »Ja.«
1502 **I:** »Möchtest du auch im Bereich der Forschung irgendwann einmal arbeiten?«
1503 **S10:** »Ja, doch.«
1504 **I:** »Auch Physik tatsächlich?«
1505 **S10:** »Also wenn Naturwissenschaften, dann auch Physik.«
1506 **I:** »Vielen Dank, das haben wir schon geschafft. Das war wirklich sehr interessant.«